



**AYDINLATMA/ OPTİK
LABORATUVARLARININ GELİŞİMİ
İLE KURULUM VE DEĞERLENDİRME
ÖLÇÜTLERİNİN BELİRLENMESİ
Sanatta Yeterlik Tezi**

Ferhan KIZILTEPE

Eskişehir 2025

**AYDINLATMA/ OPTİK LABORATUVARLARININ GELİŞİMİ İLE
KURULUM VE DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ferhan KIZILTEPE

SANATTA YETERLİK TEZİ

İç Mimarlık Anasanat Dalı

Danışman: Prof. Buğru Han Burak KAPTAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2025

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ferhan KIZILTEPE'nin, "AYDINLATMA/ OPTİK LABORATUVARLARININ GELİŞİMİ İLE KURULUM VE DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİNİN BELİRLENMESİ" başlıklı tezi, 11/ 08/ 2025 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek, "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarında, İçmimarlık Anasanat dalında Sanatta Yeterlik tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Ünvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. B. Burak KAPTAN	..
Üye	: Prof. Dr. Alper ÇALGÜNER	..
Üye	: Doç. Dr. Kıvanç KİTAPÇI	..
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Şaha ASLAN	..
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Simay ÖZKAN BİLGİÇ	..

..

Prof. Dr. Harun BÖCÜK
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

11/08/2025

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Sanatta Yeterlilik ğrencisi Ferhan KIZILTEPE, “AYDINLATMA/ OPTİK LABORATUVARLARININ GELİşİMİ İLE KURULUM VE DEğERLENDİRME ÖLÇÜTLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Buğru Han Burak KAPTAN

ÖZET

AYDINLATMA/ OPTİK LABORATUVARLARININ GELİŞİMİ İLE KURULUM VE DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİNİN BELİRLENMESİ

Ferhan KIZILTEPE

İç Mimarlık Anasanat Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos, 2025

Danışman: Prof. Buğru Han Burak KAPTAN

Bu tez çalışması, modern bilim ve teknoloji ekosistemindeki kritik rolüne rağmen, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihsel gelişim sürecinin sistematik olarak incelenmemiş olmasından ve bu alana özgü kapsamlı bir standardizasyon ile akreditasyon çerçevesinin bulunmayışından hareket etmektedir. Tezin amacı; aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihsel gelişim sürecini incelemek; özelleşmiş bu laboratuvarlara özel ihtiyaçların karşılanmasında, mevcut uluslararası standart protokolleri ve akreditasyon düzenlemelerin yetersizliklerini tespit etmek ve nihayetinde disiplinlerarası ve sürdürülebilir bir kurulum ilke ve ölçütler bütünü önermektir. Üç ana hipotez üzerine kurgulanan araştırmada, kapsamlı literatür taraması, belge analizi ve meta analizi yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan tez çalışmasının sonucunda, hem akademik bir boşluğu dolduracak tarihsel bir analiz hem de sektör paydaşları için rehber niteliğinde, verimliliği ve güvenilirliği artırmayı hedefleyen bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir. Bu çaba, yalnızca aydınlatma/ optik laboratuvarları için değil; benzer konumda bulunan laboratuvarlar için de alana özelleşmiş metodolojik bir model teşkil edebilme kapasitesi bakımından önemli görülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Aydınlatma, Optik laboratuvarları, Tarih, Standart ve akreditasyon, İlke ve ölçüt

ABSTRACT

DETERMINING THE DESIGN AND EVALUATION CRITERIA FOR LIGHTING/OPTICS LABORATORIES AND THEIR DEVELOPMENT

Ferhan KIZILTEPE

Department of Interior Architecture

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2025

Supervisor: Prof. Buğru Han Burak KAPTAN

This thesis is based on the fact that, despite their critical role in the modern science and technology ecosystem, the historical development process of lighting/optical laboratories has not been systematically examined, and no comprehensive standardisation or accreditation framework exists that is specific to this field. The aim of the thesis is to examine the historical development process of lighting/optical laboratories; to identify the inadequacies of existing international standards and accreditation protocols in addressing the specific needs of these specialised laboratories; and ultimately to propose a set of interdisciplinary and sustainable principles and criteria for their establishment. The research structured around three main hypotheses, utilised comprehensive literature review, document analysis, and meta-analysis methods. The thesis seeks to provide both a historical analysis that addresses a clear academic gap and a practical framework that serves as a guide handbook for industry stakeholders, with the goal of enhancing efficiency and reliability. This endeavour is significant not only for lighting/optical laboratories but also for laboratories in comparable positions, as it has the potential to offer a specialised methodological model for the field.

Keywords: Lighting, Optic laboratories, History, Standard and accreditation, Principles and criteria

TEŞEKKÜR

Siz okuyucuların dikkatine sunulan bu tezin ortaya çıkmasında, direkt veya dolaylı olarak birçok kişinin büyük katkısı bulunmaktadır. Tezin yazarı olarak, tasarrufu bana bırakılan bu bölümde her birinin ismini geçirmem imkânsız olacağından, en azından önde gelen isimleri sıralamak isterim.

Ayrı ayrı eğitimlerini aldığım ve senelerce üzerinde çalıştığım matematik, sanat, tasarım, form, modüler tasarım ve tarihleri konularında her zaman yanımda olan, bu çalışmaların tüm safhalarında eğitim ve öğretimime sağladıkları önemli katkılar sayesinde bilgi ve entelektüel birikiminin gelişiminde büyük rol oynayan ve bu tezi yapabilme kapasitemin şekillenmesini sağlayan, çeşitli alanlardan çok sayıda Hocam oldu. Bir şekilde birbirlerini tanıyan bu Hocalarıma karşı bir saygı durusu olarak bir kısmını, ismende olsa burada kayda geçirmeyi bir borç biliyorum. Merak edildiği taktirde Hocalarım hakkında bilgi edinilmesi çok kolay olacağından fazla detay aktarmadan kalemime gelenleri buraya bırakıyorum.

Matematikçi; Prof. Dr. Hüseyin Azcan, Prof. Dr. Sahin Koçak, Prof. Dr. Cem Tezer, Prof. Dr. Prof. György Darvas, Prof. Dr. Slavik Jablan, Dr. István Lénárt. Makine Müh. Mehmet Akmanalp. Mimar; Çelik Erengezgin, Prof. Dr. Claudio Guerri, Prof. Dr. William S. Huff, Prof. Dr. Celestino Soddu. İletişim bilimleri; Prof. Dr. Levent Kılıç. Endüstriyel tasarımcı; Prof. Dr. Önder Küçükerman, Doç. Dr. Mehmet Asatekin. Sanatçı; Prof. Ali Teoman Germanalp, Prof. Aytaç Katı, Prof. Devrim Erbil, Afet Erengezgin, Prof. Bihret Mavitan, Dr. Mihrişah Bora Türkkan, Prof. Turan Aksoy, Prof. Dr. Ole Lislerud, Prof. Dorothee von Windheim, Prof. Norbert Radermacher, Prof. Friederike Feldmann. Müzisyen ve müzikolog; Dr. Albert van der Schoot, Eray Düzgünsoy, Erkan Oğul, Şenol Filiz. Sanat tarihçi; Doç. Dr. Sema Öner.

Akademik hayatımda her zaman stratejik rehberliğini esirgememiş olan Prof. Dr. Mustafa Erdem Üreyen Hocamın bu teze en büyük katkısı, tez danışmanı olarak Prof. Burak Kaptan Hocamızla çalışmam gerektiği konusundaki ısrarıydı. Mustafa Hocamın bu konudaki yönlendirmesi, tez çalışmamın kapasitesini arttıran çok değerli bir rehberlikti. Kendisine çok teşekkür ederim.

Beklenilmedik olayların peşi sıra geldiği yoğun ve yorucu tez sürecinde, son güne kadar zamanı ve süreci muhteşem bir şekilde yönetip son dakikaya kadar beni yalnız bırakmayan ve rehberliğini esirgemeyen Hocam Burak Kaptan'a müteşekkirim. O olmasaydı bu tezi yazamayabilirdim.

Tezin zorlu süreçlerinde Prof. Dr. Alper Çalgüner ve Dr. Öğr. Üyesi Şaha Aslan Hocalarımın her birinin gösterdikleri sabır, verdikleri destek, çok kritik zamanlarda ve noktalarda getirdikleri zarif çözüm önerileriyle, bu limana sağ salım yanaşmamı imkânlı kılmaları çok değerli. Her iki Hocama da çok teşekkür ederim.

Diğer taraftan, Doç. Dr. Kıvanç Kitapçı ve Dr. Öğr. Üyesi Simay Özkan Bilgiç Hocaların jüri üyesi görevini aldıklarında tezin son safhasına gelmiştim. İki jüri üyesi Hocamın; çok kısa zaman ve süreçlerde bir şekilde bir araya geldiğimizde gösterdikleri samimiyet, sorularına veya özellikle tez konusunda bir şekilde bir şeye ihtiyacım olduğunda ikinci kez dile getirmeme fırsat vermeden her şeyi mümkün hale getirmeleri; bir telefon veya bir kahve içimi zamanda benim için hacimli görülen durumları hafifletmeleri, benim için bu maceranın hafızasında her zaman hatırlanacak bir zarafettir.

Bu tez çalışmasında teknik konularda desteklerini esirgemeyen; tasarımcı Çağlar Sahin, lazer Müh. Kuthan Yelen, optik Müh. Beren Korkut Yelen, lazer teknisyeni Devrim Eribol, tasarımcı Korhan Şişman, Müh. Kutay Çelebioğlu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Aydınlatma, optik alanına katkı sağlayan ve bilmeden bu tezin yazılmasına yardımcı olan; Prof. İ. Şazi Sirel, Prof. Dr. Müjgan Şerefhanoglu Sözen, Prof. Dr. Hakan Ürey, Yurdem Göğüş- Pelsan, Akın Sezer- Pelsan, Burak Can Günaydın- Bahar Aydınlatma, Barış Taçyıldız- Arlight, Mesut Eral- Arlight, Beril Kurdan- Arlight nezdinde tüm profesyonellere teşekkür ederim.

Tez çalışmasının tüm idari konularında desteğini esirgemeyen Emel Celikel'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, tez çalışmasının her safhasında maddi, manevi desteklerini esirgemeyen, en zor safhalarda arkamda duran ve çözüm üreten Ailem Ayşe, Şefik, Refik, meslektaşım dostum Özgür Turan'a, kuzenim Melike Çakan ve kuzen arkadaşım Tuba Satılmış'a hayatım boyunca müteşekkiri kalacağım.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihâl tespit programı” yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihâl içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlâkî ve hukukî sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

..

Ferhan KIZILTEPE

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
TABLolar DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
GÖRSELLER DİZİNİ	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XX
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Konusu	6
1.2. Tezin Amacı Önem ve Hipotez	8
1.3. Tez Kapsamı	10
1.4. Tezin Sınırlılıkları	12
1.5. Tanımlar	13
1.5.1. Işık.....	14
1.5.2. Optik.....	15
1.5.3. Aydınlık/aydınlatma.....	17
1.5.4. Laboratuvar	18
1.5.5. Aydınlatma/ optik laboratuvarı	18
1.5.6. Akreditasyon/ kalite	18
1.5.7. Günümüz aydınlatma teknolojileri.....	19
1.5.8. Sürdürülebilirlik.....	19
1.6. Literatür ve Belge.....	20
1.7. Yöntem	27
2. LABORATUVAR	31
2.1. Laboratuvar Tanımı	31
2.2. Laboratuvar Gelişimi ve Kısa Tarihi	34

2.3. Laboratuvar Sınıflandırma Ölçütleri.....	55
2.4. Laboratuvarlarla İlgili Yasal Mevzuatlar	58
2.4.1. Uluslararası mevzuatlar.....	60
2.4.2. Ulusal mevzuatlar	71
3. IŞIK VE AYDINLATMA.....	76
3.1. Işık/ Optik	86
3.1.1. Fiziksel optik.....	95
3.1.2. Geometrik optik.....	98
3.1.3. Işık- görme ilişkisi ve görsel konfor	98
3.2. Aydınlatma	99
3.2.1. Güneş ışığı aydınlatma ve özellikleri.....	104
3.2.2. Yapay aydınlatma ve özellikleri.....	106
3.3. Günümüz Teknolojilerinde Yapay Aydınlatma.....	107
3.3.1. Aydınlatma teknolojileri ve sistemleri.....	108
3.3.1.1. <i>Halojen teknoloji</i>	111
3.3.1.2. <i>Yüksek yoğunluklu deşarjlı HID lambalar</i>	112
3.3.1.3. <i>LED's teknoloji</i>	113
3.3.1.4. <i>Kompakt floresan lambalar (CFL) teknoloji</i>	114
3.3.1.5. <i>Organik ışıyan diyotlar (OLED'ler) teknoloji</i>	115
3.3.1.6. <i>Fiber optik teknoloji</i>	117
3.3.1.7. <i>UV-C içerikli aydınlatmalar teknoloji</i>	118
3.3.1.8. <i>Lazer teknoloji</i>	119
4. AYDINLATMA/ OPTİK LABORATUVARI.....	124
4.1. Aydınlatma/ Optik Laboratuvarı	158
4.1.1. Aydınlatma/ optik laboratuvarı mevzuatları.....	161
4.1.1.1. <i>Uluslararası mevzuatları</i>	163
4.1.1.2. <i>Ulusal mevzuatları</i>	170
4.1.2. Aydınlatma/ optik laboratuvarı akreditasyon	173
4.1.2.1. <i>Uluslararası akreditasyon</i>	174
4.1.2.2. <i>Ulusal akreditasyon</i>	174
4.1.3. Uluslararası akredite aydınlatma/ optik laboratuvarı.....	174
4.1.4. Ulusal akredite aydınlatma/ optik laboratuvarı	174

5. YÖNTEM.....	175
5.1. Değerlendirme Yöntemi	175
6. VERİ VE BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	183
6.1. Değerlendirme Sonuçları.....	186
6.1.1 Aydınlatma laboratuvarı	196
6.1.2. Optik laboratuvarı	218
7. ÖNERİLER	227
KAYNAKÇA.....	261
EKLER	282
ÖZGEÇMİŞ	353



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Kurum Laboratuvarları	54
Tablo 2.2. Farklı kuruluşların geliştirdiği laboratuvar standartlarından bazıları	75
Tablo 3.1. Lazer Teknolojisinin Evrimi: 1917–2025 Zaman Çizelgesi.....	121
Tablo 4.1. Benediktbeuern Optik Laboratuvarı- Faaliyet Alanı, Mimari ve İşlevsel Özellikler Tablosu (Jackson, 2000)	128
Tablo 4.2. Cavendish Fizik (Optik) Laboratuvarları– Optik Laboratuvarlarına Sağladığı Katkılar Tablosu (Crowther, 1974).....	138
Tablo 4.3. Cavendish Fizik (Optik) Laboratuvarları– Optik ve İlgili Alanlara Sağladığı Katkılar Tablosu (Crowther, 1974).....	141
Tablo 4.4. Menlo Park Laboratuvarları– Kaydedilen Önemli Buluşlar Tablosu (Jenkins vd., 1989, Cilt. 1), (Rosenberg vd., 1998, Cilt.4), (Israel vd., 2004, Cilt.5)	149
Tablo 4.5. West Orange Laboratuvarları– Kaydedilen Önemli Buluşlar Tablosu (Millard ve Carlson, 1987), (Israel vd., 2004, Cilt.5)	154
Tablo 4.6. West Orange Laboratuvarları–Millard ve Carlson’a Göre İstatistiksel Verileri (Millard ve Carlson, 1987)	156
Tablo 4.7. West Orange Laboratuvarları– Önemli Ticari Ürünler (Millard ve Carlson, 1987), (Israel vd., 2004, Cilt.5)	156
Tablo 4.8. Aydınlatma, optik ve laboratuvar konularında uluslararası kurum ve mevzuatlar listesi	165
Tablo 4.9. Aydınlatma, optik ve laboratuvar konularında uluslararası kurum ve mevzuatlar listesi	166
Tablo 4.10. Aydınlatma, optik ve laboratuvar konularında diğer uluslararası kurum ve mevzuatlar listesi	169
Tablo 4.11. Aydınlatma, optik ve laboratuvar konularında ulusal kurum ve mevzuatlar listesi	172
Tablo 6.1. Aydınlatma/ optik laboratuvarları ideal ölçütleri.....	185
Tablo 6.2. Karanlık Oda (Dark Room) / Belirlenen ilke ve ölçütleri	204
Tablo 6.3. Karanlık Oda (Dark Room) / Belirlenen ilke ve ölçütleri- Ek.....	205
Tablo 6.4. Gri Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri	206
Tablo 6.5. Gri Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- Ek	208

Tablo 6.6. Beyaz Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri	210
Tablo 6.7. Beyaz Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- Ek.....	211
Tablo 7.1. Teknik verilerin oluşturulduğu mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri.....	233
Tablo 7.2. Teknik verilerin sınıandığı mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri	237
Tablo 7.3. Teknik verilerin paylaşıldığı mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- I	242
Tablo 7.4. Teknik verilerin paylaşıldığı mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- II	243
Tablo 7.5. Teknik süreçleri destekleyen yaşamsal mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri	247
Tablo 7.6. Depolama Alanı/ Belirlenen ilke ve ölçütleri	250
Tablo 7.7. Depolama Alanı/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- Ek	251
Tablo 7.8. Temiz ölçüm odalarının ilke ve ölçütleri	255

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Tez Akış Şeması.....	30
Şekil 2.1. Laboratuvarlar konusunda uluslararası ve ulusal mevzuat geliştiren kurumlar	70
Şekil 2.2. Genel laboratuvarlar standartları	71
Şekil 2.3. TSE'nin katkı sağladığı ISO standartları.....	73
Şekil 4.1. Aydınlatma/ optik konusunda mevzuat geliştiren uluslararası ve ulusal kurumların tez kapsamında yer alanlarının listesi	162
Şekil 4.2. Aydınlatma/ optik alanında geliştirilen örnek mevzuatlar	163
Şekil 5.1. Laboratuvar kurulum ilke ve ölçütler	179
Şekil 5.2. Laboratuvarlarda yasal mevzuat konuları.....	180
Şekil 6.1. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının temel işlev listesi	183
Şekil 6.2. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının temel faaliyet alanları listesi	184
Şekil 6.3. 19.yy. – 20.yy. Laboratuvarları	191
Şekil 6.4. 21.yy. Laboratuvarları	193
Şekil 6.5. Aydınlatma/ optik laboratuvarları sahibi kurum ve kuruluşların genel sınıfları	194
Şekil 6.6. Aydınlatma/ optik laboratuvar çeşitleri	194
Şekil 6.7. Aydınlatma/ optik laboratuvarları faaliyet alanları ve ilgili kurumlar	195
Şekil 6.8. Aydınlatma/ optik laboratuvar mekânları.....	196
Şekil 6.9. Aydınlatma/ optik laboratuvarlar veri islenen mekânlar	202
Şekil 7.1. Aydınlatma/ optik laboratuvarları mekânsal ihtiyaçla	228
Şekil 7.2. Aydınlatma laboratuvarları genel planı	229
Şekil 7.3. Optik laboratuvarları genel planı.....	230
Şekil 7.4. Geçiş alanı ilke ve ölçütleri/ Aydınlatma	253
Şekil 7.5. Geçiş alanı ilke ve ölçütleri/ HVAC, Sıcaklık/ Isı, HEPA Filtre	257
Şekil 7.6. Geçiş alanı ilke ve ölçütleri/ Akustik	259

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Uraniborg Araştırma Merkezi (Thoren, 1990)	35
Görsel 2.2. Wilhelm von Humboldt ve Schiller, Goethe, Wilhelm ve Alexander von Humboldt 1860 yılında Jane/ Almanya’da bahçede resmedilmiş (Berghahn, 2022)	36
Görsel 2.3. Liebig kimya laboratuvarı, Giessen Üniversitesi (EuChemS, 2025)	39
Görsel 2.4. Cavendish Laboratuvarı, Cambridge Üniversitesi (Crowther, 1974).....	42
Görsel 2.5. Volkswirtschaftslehre, Universität Zürich (Universität Zürich, 2025) ve Bilgisayar Bilimleri Enstitüsü, Universität Zürich (UZH Archiv, 2025)	43
Görsel 2.6. Campus Zentrum, ETH Zürich (ETH Zürich, 2025) ve ETH Zürich Kimya Laboratuvarı (Look and Learn, 2025).....	44
Görsel 2.7. Paris Belediye Kimya Laboratuvarı. Ferdinand Gueldry'nin (1858-1945) resminde 1887 yılındaki şekliyle görülmektedir. Laboratuvarda yer alan cam ve toprak eşyalar, kimyagerlerin giydikleri büyük önlükler dikkat çekicidir (Laszlo, 2023)	46
Görsel 2.8. École des Ponts et Chaussées Üniversitesi ve test laboratuvarı (L'Héritage des ponts et chaussées, 2025)	47
Görsel 2.9. Max Krehan seramik atölyesinden bir görünüş, Bauhaus Weimar, Dornburg, 1924 ve Gropius yapı çalıştay, 1927/ 28 (Siebenbrodt ve Schöbe,2009)	49
Görsel 2.10. Dokuma Atölyesi ve Doğrama Atölyesi, Bauhaus Weimar 1923 (Siebenbrodt ve Schöbe,2009)	50
Görsel 2.11. Laboratuvar ve üniversite enstitülerinin işaretlendiği, 1910 yılına ait Groningen şehir haritası ve İnorganik Kimya Laboratuvarı giriş planı (Berkel van, 2023)	51
Görsel 3.1. Gökkuşağı (görünür ışık), bir kişinin görüntüsü (kızılötesi) ve Alex Kasırgası radar görüntüsü (Bulut radar ile arka plan radyasyonu) (LEIFIphysik, 2025)	76
Görsel 3.2. Güneş’in X- ışınlarının görüntüsü, Güneş’in UV- ışınlarının görüntüsü ve gök cisimlerinin yaydığı Gama radyasyonu sayesinde	

elektromanyetik spektrumun Gama- ışını aralığında Evrenin görüntüsü (merkezdeki bant Samanyolu) (LEIFİphysik, 2025)	77
Görsel 3.3. Leonardo da Vinci, “St John the Baptist, 1513- 16”ve “Virgin and Child with Saint Anne, 1503- 19” (Shearman, 1962).....	78
Görsel 3.4. Caravaggio,,“The Calling of Saint Matthew, 1599- 1600”ve “David with the Head of Goliath, 1609- 10” (O’Neill, 1985).....	79
Görsel 3.5. Rembrandt Harmenszoon van Rijn, “Philosopher in Meditation, 1632”ve “Self- Potrait, 1669” (Wetering, 2011)	80
Görsel 3.6. J. M. William Turner, “Rain, Steam and Speed – The Great Western Railway, 1844”ve “The Slave Ship, 1840” (Shanes, 2008).....	80
Görsel 3.7. Camille Pissarro, “Le Boulevard de Montmartre, Matinée de Printemps, 1897”ve “Boulevard Montmartre, Effet de nuit, 1897” (Russell, 2017) 88	81
Görsel 3.8. Claude Monet, “La Cathédrale de Rouen, effet de soleil, fin de journée, 1892”, “Cathédrale de Rouen, façade ouest,1894”ve” La Cathédrale de Rouen. Le Portail et la tour d’Albane. Temps gris, 1894” (Kalitina, 2011)	82
Görsel 3.9. Augustus Osborne Lamplough, “An Arab on a Camel Surveying the Desert at Dusk, 1900” (Obelisk, 2025), Pekka Halonen “Talvimaisema Kinahmista, 1923” (Kansallisgalleria, 2025)	83
Görsel 3.10. Paul Klee, “Alter Klang 1925”ve “Rosengarten,1920” (Clemenz, 2016)	84
Görsel 3.11. Edgar Degas, “Répétition de ballet, 1873” (Brodskaiia, 2012), Édouard Manet “Le Déjeuner sur l’herbe, 1863” (Forty, 2013)	85
Görsel 3.12. Édouard Manet “Bal Masqué à l’opéra, 1863” (Forty, 2013), Toulouse-Lautrec-Monfa, “At the Moulin de la Galette, 1889” (Gruitrooy, 1996)	86
Görsel 3.13. Isaac Newton çizimi deney düzeneği ve gravürü (Linda Hall Library, 2023)	92
Görsel 3.14. Newton Işık Prizması (LiveScience, 2023), Young’un çift yarık deneyi (Lumen Learning, 2025)	93
Görsel 3.15. Rayleigh Saçılımı ve mavi hava molekülünde oluşan Rayleigh Saçılımı (Hecht, 2017)	97

Görsel 3.16. Fotoresseptör hücreleri (IES, 2011), Merkezi görme sinir yolu (SLL, 2009)	99
Görsel 3.17. Versay Sarayı, Aynalı Salon (Château de Versailles Official Web Side, 2025)	101
Görsel 3.18. Mum, kandil, yanan sivili lamba, gaz yağı lambası, gaz lambası (Russell, 2003)	102
Görsel 3.19. Patentli akkor filamentli lamba (MacTutor, 2024), Karbon filamentli lamba (Adiar, 1996)	103
Görsel 3.20. Light Cave ve Light Vortex (teamLAB, 2025)	104
Görsel 3.21. Gün- gece aydınlık değerler (SLL, 2009), Işık sıcaklık tablosu (IESNA, 2000)	105
Görsel 3.22. Ayada Maldivler Otel ve TEMA Ofisi aydınlatma tasarımları; Korhan Şişman tarafından kurulan PLANLUX Lighting Design tarafından yapılmıştır (PLANLUX, 2025)	107
Görsel 3.23. Çift taraflı halojen lamba (Simpson, 2003)	111
Görsel 3.24. HID Lamba çeşitleri ve spektrumları, HID lamba yapısı (Simpson, 2003)	112
Görsel 3.25. LED lamba yapısı, LED lamba örneği (Simpson, 2003)	113
Görsel 3.26. OLED yapısı, TADF organik molekülü enerji seması (Karlıcek vd., 2017)	114
Görsel 3.27. CFL yapısı (Simpson, 2003) ve CFL çeşitleri (Society of Light and Lighting, 2009).	115
Görsel 3.28. Fiber optik yapısı, fiber optik soket (Simpson, 2003)	117
Görsel 3.29. Lazer görüntüleme ekipmanı (solda optik bileşenler, ortada lazer kafası, sağda uzaktan kumanda için monte edilmiş görüntüleme ünitesi) (IESNA, 2000)	120
Görsel 4.1. Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü (Fraunhofer, 2025)	126
Görsel 4.2. Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü, Cam fırınları ve optik alet koleksiyonu (Fraunhofer, 2025)	127
Görsel 4.3. Cavendish Laboratuvar Planı (Crowther, 1974)	132
Görsel 4.4. Cavendish öğrenci laboratuvarı, seminer odası (Crowther, 1974)	133
Görsel 4.5. Ernest Rutherford'un Laboratuvarı, optik çalışmalarında kullanılan bazı aletler (Crowther, 1974)	134

Görsel 4.6. Max Planck Institute Kuantum Optik Laboratuvarı (Max-Planck-Gesellschaft, 2025)	145
Görsel 4.7. LIGO Lazer İnterferometre Kütleçekim Dalgası Gözlemevi Laboratuvarı, Caltech/ MIT (Caltech PMA, 2025).....	146
Görsel 4.8. Edison Menlo Park Laboratuvarı, New Jersey (Israel, 2002).....	147
Görsel 4.9. Edison West Orange Laboratuvarı, New Jersey (Millard ve Carlson, 1987)	149
Görsel 4.10. Galvanometre Odası ve Elektrik Şebekesi, Edison West Orange Laboratuvarı, New Jersey (Millard ve Carlson, 1987)	151
Görsel 4.11. Kimya Laboratuvarı ve Kütüphane (fotoğraflarda görülen kişi Edison), Edison West Orange Laboratuvarı, New Jersey (Millard ve Carlson, 1987).....	153
Görsel 4.12. Neumayer III İstasyonu planı, Inhabitat Green House Laboratuvarı, Antartika (AWI, 2025).....	160
Görsel 6.1. Il Teatro Anatomico (Biblioteca Comunale Dell'Archiginnasio ARCHIWEB, 2025), Il Teatro Anatomico (Biblioteca Comunale Dell'Archiginnasio, 2025)	186
Görsel 6.2. Libavius'un Alchymia adlı kitabında yer alan kimya evi (laboratuvarı) ve planı (Newman, 1999).....	187
Görsel 6.3. Ulbricht Küresi (Opsytec Dr. Gröbel, 2025)	199
Görsel 6.4. Aynalı Gonyofotometre T4 (Asselum, 2025), Gonyofotometre (GTS, 2025)	200
Görsel 6.5. Superior Lazer Spectroscopy (Universität Kassel, 2025), titreşimsiz optik masası üzerinde kurulu Superior Lazer Spectroscopy düzeneği (Johannes Gutenberg University Mainz (JGU), 2025)	201
Görsel 6.6. Düşen ağırlık test cihazı (ASLI, 2025) ve çekiçli darbe test cihazı (Guangzhou HongCe Equipment Co., Ltd., 2025)	212
Görsel 6.7. Yağmur test kabini (Indiamart, 2025) ve iklimlendirme test kabini (EUROLAB, 2025)	213
Görsel 6.8. Kızaran tel test cihazı (SCR Elektronik PVT. LTD., 2025) ve iğne alev test cihazı (LISUN GROUP, 2025).....	214
Görsel 6.9. Yüksek gerilim test cihazı (SCR Elektronik PVT. LTD., 2025) ve izolasyon direnci test cihazı (MarMonix, 2025)	214

Görsel 6.10. Aydınlatma armatürleri ömür testi odası (Aydınlatma Portalı, 2025)....	216
Görsel 6.11. OML Laboratuvarı’ndan bir görsel (OML, 2025).....	224
Görsel 6.12. OML Laboratuvarı’ndan bir görsel (OML, 2025).....	226



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAPG	: Accreditation Assessment Practices Group (Akreditasyon Değerlendirme Uygulamaları Grubu)
AFE	: L'Association française de l'éclairage (Fransız Aydınlatma Birliği)
AGİD	: Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği
ANSI	: American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü)
Ar- Ge	: Araştırma- Geliştirme
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği)
ASTM	: ASTM International: Advancing Standards. Transforming Markets., (ASTM Uluslararası: Standartları Geliştirmek. Piyasaları Dönüştürmek.)
ATMK	: Aydınlatma Türk Milli Komitesi
aygersan	: Aygersan Aydınlatma Gereçleri A.Ş.
BASF SE	: Badische Anilin- und Sodafabrik (Baden Aniline and Soda Factory)
BİT	: Bilgi İşlem Teknolojileri
CASCO	: ISO Committee for Conformity Assessment (ISO Uygunluk Değerlendirme Komitesi)
CCD	: Charge Coupled Device (Şarj Bağlantılı Cihazlar)
CE	: Conformité Européenne (CE) Certification (Conformité Européenne (CE) sertifikası)
CEN	: European Committee for Standardization (Avrupa Standardizasyon Komitesi)
CENELEC	: European Committee for Electrotechnical Standardization (Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi)
CERN	: European Organization for Nuclear Research (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi)

CFL	: Compact Fluorescent Lamp (Kompakt Floresan Lamba)
CHP	: Chemical Hygiene Plan (Kimyasal Hijyen Planı)
CIE	: International Commission on Illumination (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
CLSI	: Clinical and Laboratory Standards Institute (Klinik ve Laboratuvar Standartları Enstitüsü)
COPOLCO	: ISO Committee on Consumer Policy (ISO Tüketici Politikası Komitesi)
CRI	: Colour Rendering Index (Renksel Geriverim İndeksi)
DIN	: Deutsche Institut für Normung e.V. (Alman Standartlar Enstitüsü)
EA	: European Accreditation: European co-operation for Accreditation (Avrupa Akreditasyon İş Birliği)
EC	: European Commission (Avrupa Komisyonu)
EDL	: ITU Electro-Optic Devices Laboratory
EEA	: European Economic Area (Avrupa Ekonomi Alanı)
EMCCD	: Electron-multiplying CCDs (Elektron Çoğaltıcı CCD Kameralar)
EMOL	: ODTÜ Elektrik, Manyetik ve Optik Özellikler Ölçüm Laboratuvarı
EN	: European Standards (Avrupa Standartları)
EPA	: United State Environmental Protection Agency (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)
EPD	: Environmental Product Declarations (Çevresel Ürün Beyanı)
ESA	: The European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
ETSI	: European Telecommunications Standards Institute (Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi)
ETH Zürich	: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (Zürich Federal Teknoloji Enstitüsü)

EU	: European Union (Avrupa Birliği)
EuChemS	: European Chemical Society (Avrupa Kimya Derneği)
FARBA	: Farba Otomotiv A.Ş.
FDA	: U.S. Food and Drug Administration (A.B.D. Gıda ve İlaç Dairesi)
GLP	: Good laboratory practice (İyi Laboratuvar Uygulamaları)
GTÜMAR	: Gebze Teknik Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi
HDR	: High Dynamic Range (Yüksek Dinamik Aralık)
HID	: High-Intensity Discharge Lamp (Yüksek Yoğunluklu Deşarj Lambası)
HVAC	: Heating, Ventilation, and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve Klima)
IAAC	: Inter- American Accreditation Cooperation (InterAmerican Akreditasyon İş Birliği)
IAF	: International Accreditation Forum (Uluslararası Akreditasyon Forumu)
ICEL	: Industry Committee for Emergency Lighting (Acil Durum Aydınlatması Endüstri Komitesi)
ICT	: Information and communications technology (Bilgi ve İletişim Teknolojileri- BİT)
IEC	: International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IECEE	: IEC System of Conformity Assessment Schemes for Electrotechnical Equipment and Components (Elektroteknik Ekipman ve Bileşenler için Uygunluk Değerlendirme Planları IEC Sistemi)
IES	: Illuminating Engineering Society (Aydınlatma Mühendisliği Derneği)
ILAC	: International Laboratory Accreditation Cooperation (Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon İş Birliği)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)

ITU	: International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
ITU- T	: International Telecommunications Union Telecommunication Standardization Sector (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Telekomünikasyon Standartlaştırma Birimi)
IULTCS	: International Union of Leather Technologists and Chemists Societies (Uluslararası Deri Teknolojileri ve Kimyagerleri Dernekleri Birliği)
İLU	: İyi Laboratuvar Uygulamaları
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İYTE	: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
LCD	: Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
LED	: Light-Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LIA	: The Lighting Industry Association (Aydınlatma Endüstrisi Derneği)
MERV	: Minimum Efficiency Reporting Values (Minimum Verimlilik Raporlama Değerleri)
MIT	: The Massachusetts Institute of Technology (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü)
MSDS	: Material Safety Data Sheet (SDS, Safety Data Sheet), (Malzeme Güvenlik Bilgi Formu (Güvenlik Bilgi Formu))
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NR	: Noise Rating or NR Level Curves (Gürültü Derecelendirme Seviyeleri veya NR Seviye Eğrileri)
NRC	: Noise Reduction Coefficient (Gürültü Azaltma Katsayısı)
OCT	: Optical Coherence Tomography (Optik Koherans Tomografi)
odelo	: Odelo Otomotiv Aydınlatma A.Ş.
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi

OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
OLED	: Organic Light-Emitting Diode (Organik Işık Yayan Diyot)
OML	: Koç Üniversitesi Optik Mikrosistemler Laboratuvarı
OSHA	: Occupational Safety and Health Administration (İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi)
Pelsan	: Pelsan Aydınlatma Teknolojileri A.Ş.
RMS	: Root Mean Square Vibration Velocity (Titreşim Hızı Kuadratik Ortalaması)
ROKETSAN	: Roket Sanâyî ve Ticaret A.Ş.
SDGs	: UNECE Sustainable Development Goals (UNECE Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri)
SIB	: Swiss Institute of Bioinformatics (İsviçre Biyoenformatik Enstitüsü)
SNTG	: Hacettepe Üniversitesi Süperiletkenlik ve NanoTeknoloji Laboratuvarı
SUNUM	: Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
TAKDER	: Türk Akustik Derneği
TOBB	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TUSAS	: Türk Havacılık ve Uzay Sanâyî A.Ş.
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜBİTAK MAM	: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
TÜBİTAK Uzay	: TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Merkezi
TÜRKAK	: Türk Akreditasyon Kurumu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

UGR	: Unified Glare Rating (Birleşik Göz Kamaşması Değeri)
UN	: United Nations (Birleşmiş Milletler, BM)
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change, (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
UNECE	: United Nations Economic Commission for Europe (Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu)
UME	: Ulusal Metroloji Enstitüsü
USA	: United States of America US (Amerika Birleşik Devletleri A.B.D.)
UV	: Ultraviolet (Ultraviyole)
UV-C	: Germicidal UV, Ultraviolet-C (Kısa Dalga UV, kısa dalga boylu ultraviyole)
UZH	: Universität Zürich (Zürich Üniversitesi)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü, DSÖ)
WTO	: World Trade Organization (Dünya Ticaret Örgütü)
XRDL	: ODTÜ X-Işını Difraksiyon Laboratuvarı
YAL	: ODTÜ Yüzey Analiz Laboratuvarı
YÖK	: Yükseköğretim Kurulu
YTU	: Yapı Fiziği Uzmanlık Uygulamaları A.Ş.
YTÜ	: Yıldız Teknik Üniversitesi

1. GİRİŞ

Modern bilim ve teknoloji ekosisteminde laboratuvarlar, bilginin üretildiği, test edildiği ve teknolojiye dönüştürüldüğü kritik altyapılardır. Sahip oldukları bu kritik konum nedeniyle günümüzde laboratuvar sistemlerinden beklenen kalite, güvenilirlik, verimlilik, yeterlilik ve tutarlılık gibi özelliklerin sürekli artırılması ve bu performansın sürdürülebilir kılınması bir çeşit zorunluluk halini almıştır. Bu zorunluluk, laboratuvarların ulusal ve uluslararası pazarlarda rekabet avantajı elde etmesinin de temel bir koşulu olmuştur. Küresel ticaretin ve bilimsel iş birliğinin sağlıklı işleyebilmesi için, laboratuvar sonuçlarının dünyanın her yerinde kabul görmesi ve birbirleriyle karşılaştırılabilir olması esastır. Bu ihtiyaçtan hareketle, Dünya Ticaret Örgütü (WTO), Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon İşbirliği (ILAC), Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO), Türk Standartları Enstitüsü (TSE) gibi kuruluşlar, laboratuvarlar için evrensel standartlar geliştirmekte ve akreditasyon sistemleri oluşturmaktadır.

Türk Dil Kurumu'nun (TDK), "çeşitli araçlar kullanılarak tıp, eczacılık, fizik, kimya gibi bilim dallarıyla ilgili araştırmaların, deneylerin yapıldığı özel donanımlı yer" olarak tanımladığı laboratuvarlar; on dokuzuncu yüzyıldan itibaren kurumsallaşma sürecini büyük ölçüde tamamlayarak, bilimsel ve teknolojik (ekonomik olarak da) ilerlemelere paralel olarak evrimlerini sürdürmektedirler. Bu evrimleşme süreci, laboratuvarları mekanizasyon, dijitalleşme ve disiplinlerarasılık süreçleriyle çok katmanlı ve karmaşık yapılar haline getirmiştir. Karmaşıkleşan ve özelleşen laboratuvar yapılarının ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilmeye çalışılan standartlar ve akreditasyon sistemleri, karmaşıkleşan ve özelleşen bu sistemlerin her ihtiyacına karşılık verememektedir. Günümüz Dünya'sında var olan standardizasyon ve akreditasyon sistemleri, lazer, biyokimya veya tıp laboratuvarları gibi az sayıda ve son derece özelleşmiş alanlara özel protokollerin tanımlanmasına rağmen, hâlâ birçok uzmanlaşmış alan laboratuvarları için özel protokoller mevcut değildir. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarda, kendi dinamik ve ihtiyaçlarına özel standart veya akreditasyon protokolleri olmayan alanlardan biridir.

Işık, aydınlatma ve optik alanı, insanlık tarihinin en eski bilimsel merak konularından biri olagelmıştır. Bu alanda yapılan araştırmalar, ulaşılan bilgi ve geliştirilen teknolojiler, temel fizik yasalarının anlaşılmasından iletişim teknolojilerine, tıp teknolojilerinden uzay sanâyisine kadar geniş bir yelpazede belirleyici rol oynamaktadır. Bu nedenle, özellikle aydınlatma ve optik alanında faaliyet gösteren

laboratuvarlar, disiplinlerarası bir karaktere sahip olup hem temel hemde teorik ve uygulamalı bilimlerin kesişim noktasında merkezi bir konuma sahiptir.

Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihsel kökleri, basit prizma ve mercek deneylerinden, günümüzün fotonik kristal veya mikro-lazer araştırma sistemlerine uzanan köklü bir gelişim sürecine sahiptir. Bu tarihi gelişim içinde özellikle 19.yy.'da ışık alanında yapılan bilimsel çalışmaların ortaya çıkan sonuçları; beraberinde elektriğin kullanıma girmesi, vakum teknolojisindeki ilerlemeler, kontrollü ve tekrarlanabilir ilk aydınlatma/ optik deney düzeneklerinin kurulması, aydınlatma teknolojilerinin hızlı gelişimi ve benzeri teknolojik gelişmelere olanak tanımıştır. 20.yy.'a damgasını vuran lazerin icadı ve yarı iletken devrimi ise optik laboratuvarlarının fiziksel altyapı, güvenlik önlemleri ve mekânsal organizasyon anlayışını kökten değiştirmiştir. Tarih boyunca kayda giren Newton'un prizma deneyleri veya Young'ın girişim çalışmaları gibi kurucu deneyler, modern laboratuvar tasarımında işlevselliğin ve kontrollü esnekliğin önemini ortaya koymuştur. Günümüzde ise, spektral analizden fotometrik kalibrasyona, optik sensör geliştirmeden lazer güvenliğine, aydınlatma sistemlerinin test edilmesinden farklı coğrafi bölgelerde enerji verimliliği çalışmalarına kadar geniş bir yelpazede araştırma ve geliştirme faaliyetlerin yürütülüyor olması bu laboratuvarların dinamik ve sürekli güncellenen bir altyapıya olan bağımlılığını ortaya koymaktadır.

Tarih bağlamında bakıldığında, aydınlatma ve optik laboratuvarlarının tarihsel gelişim sürecinin sistematik olarak incelenmemiş olması, akademik literatürde önemli bir boşluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan literatür taramaları, bu laboratuvarların tarihsel gelişimini, kurulum standartlarını ve operasyonel kriterlerini sistematik bir şekilde inceleyen kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Mevcut literatür, genel laboratuvar standartlarına odaklanırken aydınlatma/optik laboratuvarlarının benzersiz teknik ve çevresel gereksinimlerini yeterince ele almamaktadır. Bu eksiklik, söz konusu laboratuvarların verimliliğini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyebilecek operasyonel tutarsızlıklara yol açmaktadır. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişim süreçlerinin belirlenmemiş olması, bu laboratuvarlar üzerine yapılacak herhangi bir çalışmanın sağlıklı olmamasının bir sebebi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ki yapılan sanatta yeterlilik çalışmasında, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişim sürecinin belirleme çalışması, tez konularından biri olarak belirlenmiştir.

Diğer taraftan, laboratuvar standardizasyonu ve akreditasyonu konusunda yapılan incelemeler; aydınlatma ve optik laboratuvarlarına özel bir standardizasyon protokolü veya akreditasyon sisteminin bulunmadığını ortaya koymaktadır. Söz konusu laboratuvarlar pratikte; ihtiyaç duydukları kalite ve güvenceyi sağlamak için başta ISO/IEC 17025 olmak üzere, OECD GLP yönetmeliği, ISO 15189 veya ISO 17034 protokolleri gibi mevcut genel standartlardan en uygun görülenleri uyarlamakta veya seçmektedir. Ancak, bu genel standartların, aydınlatma ve optik laboratuvarlarının benzersiz teknik gereksinimlerini tam olarak karşılamakta yetersiz kaldığı gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, aydınlatma/ optik laboratuvarları çalışma alanlarına göre ihtiyacı olan konularda sahip olmaları gereken standardizasyon ve akreditasyonu, bu protokolleri geliştiren IEC, OECD, CEN veya EA gibi uluslararası kurum ve kuruluşların bünyesinde ayrı ayrı sağlama yönüne gitmektedir. Bu durumda ilgili laboratuvarlar genel kapsamlı standardizasyon ve akreditasyon protokollerinin olmamasının getirisi olarak, birbirlerine göre farklılık gösteren protokollerin yürütülmesinin ortaya çıkardığı uyumsuzluklarla karşılaşmakta ve bu uyumsuz protokollerin birlikte uygulanabilmesi adına çözüm üretilmesi gerekmektedir. Ayrıca ortaya çıkabilecek bu tarz uyumsuzluklar beraberinde, sektörde standart dışı uygulamalara ve tutarsızlıklara yol açma potansiyeli taşımaktadır.

Aydınlatma/ optik laboratuvarları özelinde tarihi gelişim sürecine paralel olarak günümüzde var olan standardizasyon ve akreditasyon sistemlerinin bu laboratuvarlar için ne kadar işlevsel olduğunun belirlenmesi; bu laboratuvarlar için var olmayan laboratuvar kurulum ilke ve ölçütlerini araştırılması ve elde edilecek araştırma sonuçlarına göre bu ilke ve ölçütlerin belirlenmesinde vazgeçilmez bir dayanak noktası sağlamaktadır. Dolayısıyla, bu tez çalışmasının birincil amacı, giderek çeşitlenen ve sayıları artan aydınlatma ve optik laboratuvarlarının tarihsel gelişim süreçlerini sistematik bir şekilde ortaya koymak, var olan standardizasyon ve akreditasyon protokolleri içinde bu laboratuvarlarda uygulanan protokollerin neler olduğunun teknik olarak sınıflandırılması ve buradan hareketle rasyonel kurulum ilke ve ölçütleri için bir öneri geliştirmektir.

Bu amaç doğrultusunda, tezin dayandığı üç temel hipotez belirlenmiştir. Birinci hipotezde, aydınlatma ve optik laboratuvarlarının tarihsel gelişiminin, elektriğin keşfi, vakum teknolojisi, yarı iletken devrimi ve dijitalleşme gibi anahtar teknolojik ilerlemelerle doğrudan ve paralel bir ilişki içinde olduğunu öne sürmektedir. İkinci hipotezde, laboratuvar kurulum ve uygulamaları konusunda mevcut uluslararası standart

ve akreditasyon protokollerinin; aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ve uygulamalarındaki kendilerine özgü teknik ve çevresel gereksinimleri kapsamakta yetersiz kaldığını ve bu durumun standart dışı uygulamalara zemin hazırladığını iddia etmektedir. Üçüncü hipotezde ise aydınlatma ve optik laboratuvarları için disiplinlerarasılığı ve sürdürülebilirliği merkeze alan özel bir kurulum çerçevesi geliştirilmesinin, bu laboratuvarların verimliliğini, araştırma kalitesini ve güvenilirliğini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artıracaklarını öngörmektedir. Bu tez kapsamında belirtilen hipotezleri test ederek tezin amacına ulaşma konusunda yapılacak çalışmalarda; kapsamlı bir literatür taraması, belge inceleme ve nitel meta analizi yöntemleriyle gerçekleştirilecektir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihsel gelişim süreci ilk kez sistematik olarak ortaya konacaktır. Bu tarihsel analizden elde edilecek veriler; aydınlatma ve optik alanlarında kayda geçen gelişmeler ve buna bağlı olarak laboratuvarların gelişim süreçleri, mevcut uluslararası standart ve akreditasyon sistemlerinin alana ne ölçüde hizmet ettiğinin değerlendirilme sonuçları ve son olarak, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının güncel gereksinimlerinin sentezlenmesiyle, disiplinlerarası ve sürdürülebilir bir kurulum çerçevesi önerisi geliştirilecektir. Bu çerçevenin, laboratuvar tasarımcıları, yöneticileri, akreditasyon kuruluşları ve politika yapıcılar için örnek bir rehber niteliği taşıması öngörülmektedir. Önerilen çerçevenin, laboratuvar verimliliğini, üretilen araştırmanın kalitesini ve kalibrasyon veya test sonuçlarının güvenilirliğini arttırması beklenirken, biyokimya veya tıp laboratuvarlarında olduğu gibi, diğer özelleşmiş alanlar için de benzer standartlaşma çabalarına metodolojik bir örnek teşkil etmesi düşünülmektedir.

Bilim ve teknolojinin hızla geliştiği bir çağda, altyapıların bu gelişime ayak uyduracak şekilde tasarlanması hayati önem taşımaktadır. Aydınlatma ve optik teknolojileri, sürdürülebilir enerji, ileri iletişim, sağlık ve güvenlik gibi küresel öncelikli alanların temelini oluştururken, bu teknolojilerin geliştirildiği laboratuvarların en iyi şekilde yapılandırılması, toplumsal ilerleme için dolaylı ancak güçlü bir katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla, bu tez, salt bir mekânsal tasarım kılavuzu olmanın ötesinde, bilim ve teknoloji, optik, aydınlatma, ekonomi tarihi ve laboratuvar teknoloji yönetimi perspektiflerini bir araya getiren disiplinlerarası bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmanın bulgularının, ilgili akademik literatüre katkı sağlamasının yanı sıra, endüstriyel uygulamalara ve regülasyon süreçlerine de ışık tutması umulmaktadır. Böylece, gün

geçtikçe karmaşıklaşan laboratuvar sistemlerinde, aydınlatma ve optik laboratuvarlarının konumu ve ihtiyaçları netleşirken, evrilme sürecindeki ortaya çıkacak yeni durumların seri olarak yönetimine olanak sağlayacaktır.

Yukarıda konusu ana başlıklarıyla açıklanan tez çalışması; değerlendirme ve sonuç kısmı dâhil yedi bölümden oluşturulmuştur.

Tezin bölümleri, kısa açıklamalarıyla aşağıdaki gibidir:

1. BÖLÜM: Giriş. Bu bölüm, tez konusunun genel açıklamasını, tez konusunu, amacı ve önemi, kapsamı, sınırlılıkları, hipotezi, araştırma yöntemi ve temel kavramları gibi teknik açıklamalarının yanı sıra analiz yapılmamış literatür ve belge tarama sonuçlarını içermektedir.
2. BÖLÜM: Laboratuvar. Bu bölümde, laboratuvar kavramı, tarihçesi, laboratuvarın sınıflandırma ölçütleri, dikkat edilmesi gereken fiziki öğeleri, laboratuvar konusunda dikkat edilecek hususlar gibi teknik açıklamalar yer almaktadır. Özellikle çağdaş laboratuvar sistemlerine nasıl evrildiği konusunda açıklama yapılmıştır. Laboratuvar kavramının evrildiği karmaşık yapısında nasıl sınırlandırıldığı ve hangi özellikleri üzerinde inşaa olduğu ifade edilmiştir. Yeni nesil laboratuvarlar içinde yer alan tasarım laboratuvarları konusunda, dördüncü bölümde ele alınan aydınlatma/ optik laboratuvarlarının bir çeşidi olan aydınlatma tasarım laboratuvarları için bir zemin oluşturmak üzere açıklamalarda bulunulmuştur. Ayrıca, laboratuvar konusunda oluşturulmuş uluslararası ve ulusal mevzuat bilgileri aktarılmıştır.
3. BÖLÜM: Işık ve Aydınlatma. Bu bölümde ışık ve aydınlatma kavramları, temel ölçütleri ve gelişmiş teknolojileri ile ele alınmıştır. Işık ve aydınlatma kavramlarının geniş açıklanmasının yanı sıra tarihi gelişim süreçleri ve bu süreçlerin günümüz bilim ve teknolojilerinde nasıl yer aldığının izi sürülmüştür.
4. BÖLÜM: Aydınlatma/ Optik Laboratuvarları. Bu bölümde, aydınlatma/ optik laboratuvarların kısa tarihçesiyle, laboratuvarların, optik bilimi ve teknolojileri, aydınlatma teknolojilerinde izlenen gelişim süreci ile ilişkilendirilerek açıklanmıştır. Bu tez kapsamında yapılan literatür ve doküman tasama ve analizleri sonucu, aydınlatma/ optik laboratuvarlarına özelleşmiş, uluslararası ve ulusal mevzuat ve akreditasyon bulguları aktarılmıştır.
5. BÖLÜM: Araştırma Yöntemi. Bu bölümde belirlenen araştırma yöntemi tezin kapsamına göre açıklanmış, literatür ve doküman inceleme ve analizleri konusunda belirlenen 7 ilke ve ölçüt ile alt kırımları tanımlanmıştır.

6. BÖLÜM: Veri ve Bulguların Değerlendirilmesi. Tanımlanan yöntem ve araştırma kriterleri kullanılarak akredite laboratuvarlarda yapılan inceleme sonucu elde edilen veri ve bulgular paylaşılmıştır.
7. BÖLÜM: Öneriler: Tez çalışmasının son bölümü olan bu başlık altında, beşinci bölümde yer alan veril ve bulguların değerlendirme sonuçlarına göre, aydınlatma/optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütleri konusunda öneriler açıklanmıştır.

1.1. Tez Konusu

Günümüz bilim ve teknolojileri altında gelişen ve karmaşıklaşan laboratuvar sistemlerinin; kalitesinin, güvenilirliğinin, verimliliğinin, yeterliliğinin, tutarlılığının, pazar avantajlarının sürekli artırılması ve sürdürülebilir olması gerekmektedir. Bu sebeptendir ki World Trade Organization, WTO (Dünya Ticaret Örgütü), International Laboratory Accreditation Cooperation, ILAC (Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon İşbirliği), International Organization for Standardization, ISO¹ (Uluslararası Standardizasyon Örgütü), Türk Standartları Enstitüsü, TSE veya T.C. Dışişleri Bakanlığı Türk Akreditasyon Kurumu, TÜRKAK gibi uluslararası veya ulusal örgütler, laboratuvarların yüksek kaliteli çağdaş bir sistemi yakalayabilmeleri için standardizasyon çalışmalarını yapmakta, uluslararası düzeyinde birbirleriyle entegre standardizasyon ve bunlara bağlı olarak akreditasyon sistemlerini kurmaktadır. Uluslararası veya ulusal kurumların işbirlikleri sonucu; 19.yy.'dan bu yana kurumsallaşmasını geniş ölçüde tamamlamış, gelişen bilim ve teknolojilere ayak uydurarak bilgi ve teknoloji üretim kapasitelerini arttırmış, uluslararası entegrasyonda geniş ilerlemeler kaydetmiş, interdisipliner – multidisipliner özellikli çok katmalı yapılara evrilmiş olan laboratuvarlar konusunda çeşitli standartlar geliştirilmiş, akreditasyonlar tanımlanmıştır. Özellikle yapılan standardizasyon ve akreditasyon çalışmaları, yukarıda sıralanan, ulusal kurumların, uluslararası kurumlarla kurdukları işbirliği sayesinde uluslararası boyuta taşınmıştır. Bilgi ve teknoloji üretiminin çok özel bir biçiminde uzmanlaşan laboratuvarlar, mekanizasyon, dijitalizasyon, standardizasyon ve bunlara bağlı bir kısım akreditasyon uygulamalarıyla bir çeşit ekonomik rejim alanı oluşturmuşlardır. Günümüz

¹ISO; Uluslararası Standartlar Teşkilatı (International Organization for Standardization). 1947 yılında Cenevre'de kurulan teşkilat, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu IEC'nin faaliyet alanı olan elektrik ve elektronik alanları dışında kalan, tüm teknik ve teknik olmayan alanlarda standartların belirlenmesi çalışmalarını yürüten uluslararası bir teşkilattir. 162 ülkenin ulusal standart kurumları ISO teşkilatının üye ülkeleridir. ISO teşkilatı, teknolojik gelişmeler gereği yayınladığı standart belgelerini beş yılda bir gözden geçirmektedir (ISO, Erişim tarihi: 25.11.2025).

Dünya’ında kurulan laboratuvar sisteminde geliştirilen standardizasyon protokolleri ve akreditasyon düzenlemeleri büyük kısmıyla laboratuvar genel çerçevesinde yer almaktadır. Bu çerçevenin dışında kalan biyokimya, tip laboratuvarları gibi az sayıda olan özelleşmiş laboratuvarların kendilerine has özel ihtiyaçlarını karşılayacak standardizasyon protokolleri ve akreditasyon sistemleri geliştirilmiştir

Diğer taraftan, ışık, aydınlatma/ optik laboratuvarları, bilimsel araştırmanın evriminde ve Dünya’nın gelişiminde merkezi bir rol oynayan; temel deneylerden endüstriyel uygulamalara uzanan köklü bir tarihsel gelişim çizgisine sahip bir araştırma alanı ve laboratuvar sistemidir. 19. yüzyılın ortalarından itibaren, elektriğin kullanıma girmesi ve vakum teknolojisindeki ilerlemeler, kontrollü ve tekrarlanabilir aydınlatma deneylerinin önünü açarak ilk özelleşmiş optik laboratuvarlarının kurulmasını sağlamıştır. 20. yüzyılda lazerin icadı, yarı iletken teknolojisindeki devrim ve dijital ölçüm cihazlarının yaygınlaşması, bu laboratuvarların fiziksel altyapısını, güvenlik protokollerini ve mekânsal organizasyon modellerini kökten değiştirmesine sebep olurken, üretilen bilgi ve teknolojiler; var olan ve önceleri öngörülemeyen birçok yeni alanda öncelikli konuma gelmiştir. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihsel süreci incelendiğinde, Newton’un prizma deneylerinden Young’ın girişim çalışmalarına kadar kurucu deneylerin, çoğunlukla basit ama kontrollü ortamlarda gerçekleştirildiği; bu durumun modern laboratuvar tasarımında esneklik ve işlevselliğin önemini vurguladığı görülmektedir. Günümüz Dünya’ında bilim ve teknolojik ilerlemelerde geline noktalar; fotonik kristal, mikro lazerden optik görüntüleme sistemlerine kadar çok karmaşık ve özel teknolojilere adaptasyonu veya en basit şekilde spektral analizden fotometrik kalibrasyona geçiş süreçleri, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının sürekli evrilen dinamik bir altyapıya ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır. Disiplinlerarası etkileşimlerin tarihsel örnekleri, günümüzdeki çok fonksiyonlu ve işbirlikçi laboratuvarların şekillenmesinde etkili rol oynadığı açıktır. Mevcut standartların (ISO/IEC 17025 veya ISO 15189 gibi) ise, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının ışık kirliliği kontrolü, titreşim izolasyonu, termal stabilite ve özel elektromanyetik çevre gereksinimleri gibi pek çok özel ihtiyaçlarını kapsamakta genellikle yetersiz kaldığı gözlemlenmektedir. Bu nedenle, aydınlatma/optik laboratuvarlarının tarihsel gelişiminin sistematik olarak belirlenmesi, geçmişteki başarı ve hatalardan ders çıkararak geleceğe yönelik rasyonel kurulum ilke ve ölçütlerinin geliştirilmesi için vazgeçilmez bir temel oluşturmaktadır.

Dolayısıyla, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişim sürecinin belirlenmesi, buradan elde edilecek verilerin göz önünde bulundurularak; uluslararası entegrasyonu sağlanmış kurumsal yapıları güçlenen laboratuvarlar sistemleri için düzenlenen standardizasyon ve akreditasyon çalışmalarında, özel olarak aydınlatma/ optik laboratuvarlarına ait çalışmaların var olup olmadığının ortaya konması ve son olarak bu tip laboratuvarların kurulum ilke ve ölçütlerinin belirlenmesine dair yapılan çalışma, bu tezin konusu olarak belirlenmiştir.

1.2. Tezin Amacı Önem ve Hipotez

Günümüz Dünya'sında aydınlatma /optik konusu sosyal bilimlerden fen bilimlerine kadar birçok alanda yapılan çalışmalarda, etki alanını sürekli büyüterek yer almaktadır. Bu yer alışı en önemli mekânları ise aydınlatma/optik laboratuvarlarıdır. Bu tezin amacı olarak; gün geçtikçe çalışma ve üretim alanları çeşitlenerek sayıları artmakta olan aydınlatma/optik laboratuvarlarının tarihi gelişim süreçlerinin belirlenmesi ve kurulum ilke, ölçütlerinin neler olması gerektiği konusunda öneri geliştirmektir.

Her alanda olduğu gibi tarih bilimi; laboratuvar tarihinin, özellikle de aydınlatma ve optik gibi köklü bir alanda, güncel laboratuvar kurulum ilke ve ölçütlerini araştırırken temel bir dayanak noktası oluşturmaktadır. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının bilim tarihi paralelinde izlenecek tarihsel süreç; hangi deney düzeneklerinin, güvenlik önlemlerinin ve mekânsal organizasyon modellerinin zaman içinde test edilip olgunlaştığını göstererek, köklü bir tecrübe birikimin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Geçmişteki başarılı ve başarısız uygulamalar, "neyin neden işe yaradığı veya yaramadığı" konusunda önemli bilgiler kazandırırken, yeni tasarımların başarısını arttırmaktadır. Ayrıca, optik araştırmaların tarihi, temel deneylerin (Newton'un prizma deneyleri veya Young'ın girişim deneyi gibi) hangi fiziksel koşullar altında gerçekleştirildiğinin anlaşılmasını sağlarken optik laboratuvarlarının tasarımına ışık tutar. Teknolojik gelişimin seyriyle, laboratuvar altyapısının (karanlık oda ihtiyacından lazer güvenliğine geçiş gibi) nasıl evrildiğinin açıkça ortaya konması, modern aydınlatma/ optik laboratuvarlarının esnek ve uyarlanabilir mekânlarıyla planlanmasına büyük katkı sağlamaktadır. Bilimsel metodolojinin gelişimini takip etmek, aydınlatma/ optik laboratuvarının yalnızca bir donanım koleksiyonu değil, aynı zamanda bir düşünce ve keşif ortamı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan bilimde disiplinlerarası çalışma ve etkileşimlerin tarihsel örnekleri, günümüzdeki çok fonksiyonlu ve işbirlikçi

laboratuvarların şekillenmesini etkilemektedir. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişim sürecinin belirlenmesi; laboratuvar ortamında belirlenen zorunluluklar ve bu zorunluluklara bağlı olarak geliştirilen standartların ardındaki mantığın anlaşılmasını ve buna bağlı olarak, gelecekteki ihtiyaçların öngörülebilir olmasını sağlamaktadır. Bu sayede, modern aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütlerinin belirlenmesinde önemli rol oynayacağı çok açıktır.

Diğer taraftan, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ölçütlerinin belirlenmesinde önemli olan bu konuda yapılan alan yazım tarama sonucu; aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişim süreçleriyle ilgili kaynağa rastlanmamış olması, tezin amaçlarından biri olmasına yol açmıştır.

Laboratuvar ve çalışma alanları üzerinde yapılan alan yazım taramasıyla ulaşılan laboratuvar standardizasyon, kalite belgeleme ve akreditasyon sistemlerinde; aydınlatma/ optik laboratuvarlarına özel bir kayda rastlanmamıştır. Buna karşın var olan aydınlatma/ optik laboratuvarlarında yapılan ön inceleme sonucu, ilgili laboratuvarların ihtiyacı olan standardizasyon konusunda; laboratuvarların çalışma alanlarına göre ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda, uluslararası veya ulusal protokollerden var olan en uygun protokolleri kullandıkları görülmüştür. Alınmış akreditasyon örnekleri incelendiğinde; ilgili aydınlatma/optik laboratuvarının, tanımlı olan standardizasyon, kalite belgeleme ve akreditasyon sistemlerinden en uygun protokollere uyum sağladıkları görülmüştür. Hâlbuki, günümüz Dünya'sında var olan aydınlatma/ optik laboratuvarları incelendiğinde; bu laboratuvarların bilim ve teknolojinin her alanından, hizmet alanlarına göre uzmanlaşmış, var olan diğer laboratuvar ve Ar- Ge sistemlerine entegre, önemli boyutta problem çözme yeteneğine sahip oldukları görülür.

19.yy.'dan günümüze sürekli gelişme kaydeden aydınlatma/ optik laboratuvarlarının var olan imkânlar çerçevesinde kurumsallaşmış yapılarıyla, bir kısım ulusal ve/ veya uluslararası standardizasyon, kalite yönetim ve akreditasyon sistemleri içinde var olmaya çalıştığı açıktır. Bu nedenle aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütlerinin belirlenmesi; belirlenen ölçütlerin rasyonelleştirilerek bir protokol hâline çevrilmesi alanın önemli ihtiyaçlarından biridir. Çalışmanın önemi, ele aldığı konunun hem teorik, yani tarihsel boşluğu doldurma; hem de pratik, yani standart geliştirme ihtiyacını karşılama boyutlarından kaynaklanmaktadır. Tarihsel gelişimin izini sürerken amaç, yalnızca kronolojik bir liste sunmak değil, bilimsel metodolojinin ve keşif ortamlarının nasıl dönüştüğünün anlaşılmasıdır. Diğer taraftan söz konusu olan bu süreç,

aydınlatma/ optik laboratuvarının salt bir cihaz koleksiyonu olmadığını gösterirken, aynı zamanda bir düşünce ve yenilikçi bir ekosistem olduğunun açıkça anlaşılmasına olanak sağlayacaktır. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişim sürecinin araştırılması; bilgi üretim ve teknoloji geliştirme süreçlerinde örnek teşkil eden uygulamaların, mekânsal organizasyonların veya güvenlik önlemleri gibi birçok önemli konuda geliştirilen modellerin evriminin incelemesiyle, köklü bir tecrübe ve birikimin farkındalığını sağlamaktadır. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının gelişim sürecinde elde edilen bu tecrübe ve birikim; mevcut standartların ardındaki mantığı kavrama ve gelecekteki ihtiyaçları öngörme konusunda temel bir rol oynamaktadır.

Tezin amacı ve önemi konusunda yukarıda yapılan kısaca açıklamalar doğrultusunda ele alınan çalışma konusunun tüm bileşenlerini içeren 3 hipotez; “Aydınlatma/optik laboratuvarlarının tarihsel gelişimi, elektriğin keşfi, vakum teknolojisi, yarı iletken devrimi ve dijitalleşme gibi anahtar teknolojik ilerlemelerle doğrudan ve paralel bir ilişki içindedir”, “Var olan uluslararası laboratuvar akreditasyon ve standardizasyon ölçütleri (ISO/IEC 17025 vb.), aydınlatma/optik laboratuvarlarının kurulum ve operasyonundaki benzersiz teknik ve çevresel gereksinimleri kapsamakta yetersiz kalmakta ve bu durum sektörde standart dışı uygulamalara yol açmaktadır.” ve “Aydınlatma/optik laboratuvarları için disiplinlerarası ve sürdürülebilirliği merkeze alan özel bir kurulum çerçevesi geliştirilmesi, bu laboratuvarların verimliliğini, araştırma kalitesini ve güvenilirliğini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artıracaktır.” şeklinde belirlenmiştir.

1.3. Tez Kapsamı

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar; aydınlatma/ optik laboratuvarlarının gelişim tarihi ve laboratuvar genel başlığı altında yer alan, yalnızca aydınlatma, test, ölçüm ve optik teknolojilerine odaklanan ve tasarım, araştırma, geliştirme, üretim ve eğitim çalışmalarının yürütüleceği aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütlerinin belirlenmesi konularını kapsamaktadır. Bu konu kapsamında aydınlatma/optik laboratuvarı ölçütleri olarak aşağıda yer alan başlıklar ele alınmıştır:

1. Fiziksel Ölçütler
2. Çevresel Ölçütler
3. Güvenlik Ölçütleri
4. Makine Ekipman Ölçütleri

5. İnsan Kaynağı Ölçütleri
6. İşletme Ölçütleri
7. Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Ölçütleri

Yapılan bu çalışmada, aşağıda yer alan uluslararası ve ulusal kurum ve örgütlerin, laboratuvarlar için geliştirdikleri protokoller, akreditasyon, kalite sistemleri, aydınlatma/optik laboratuvarlarının gereksinimleri açısından göz önünde tutulmuştur:

1. The International Organization for Standardization (ISO)
2. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
3. International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)
4. European Accreditation: European co-operation for Accreditation (EA)
5. The European Committee for Standardization (CEN)
6. The European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)
7. The European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
8. The Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) (sağlık sektörü)
9. International Electrotechnical Commission (IEC)
10. IEC System of Conformity Assessment Schemes for Electrotechnical Equipment and Components (IECEE)
11. International Telecommunication Union (ITU)
12. Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN)
13. American Society for Testing and Materials International (ASTM)
14. The InterAmerican Accreditation Cooperation (IAAC)
15. International Accreditation Form (IAF)
16. Türk Standartları Enstitüsü (TSE)
17. T.C. Dışişleri Bakanlığı Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK)
18. TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME)
19. International Commission on Illumination (CIE)
20. The Illuminating Engineering Society (IES)
21. Aydınlatma Türk Milli Komitesi (ATMK)

Son olarak sürdürülebilirlik ve iklim değişiklikleri konusunda UNECE² Sustainable Development Goals (SDGs- UNECE Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri) ve EU³

²UNECE; United Nations Economic Commission for Europe (Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu).

³EU; European Union (Avrupa Birliği).

European Green Deal belgelerinin aydınlatma/ optik laboratuvarları için geçerli olan maddeleri dikkate alınmıştır.

Tezin saha çalışmasında Türkiye’de bulunan, ilgili alanda ulusal ve uluslararası standart belgesi sahibi akredite olmuş aydınlatma/optik laboratuvarları örnek laboratuvar olarak incelenmiştir. Yapılan saha ve kaynak/ belge incelemelerinde; güncel aydınlatma teknolojileri olarak özellikle yüksek yoğunluklu deşarj lambaları (HID), LED teknolojisi, kompakt florasan lambalar (CFL) teknolojisi, organik ışık yayan diyot (OLED’ler) teknolojisi, fiber optik teknolojisi, gerekli görüldüğü noktalarda lazer teknolojileri ve UV-C teknolojisi göz önünde bulundurulmuştur.

1.4. Tezin Sınırlılıkları

Aydınlatma/ optik laboratuvarları; bilimin ve tasarımın her alanında, bilgi üretim mekânları olarak yaygın bir şekilde yer almaktadır. Özellikle lazer teknolojileriyle birlikte optik çalışmalarına bakıldığında tıp teknolojilerinden, optobiyoloji⁴ veya nanoteknoloji⁵ çalışmalarına, askeri sanâyîden uzay sanâyîye kadar Dünya yaşamına dair, küçük veya büyük her konuda varlığının söz konusu olduğu görülür. Bu nedendir ki aydınlatma/ optik laboratuvarları konusunda yapılan çalışmada; aydınlatma, ölçüm, test, deney ve bir kısım optik teknolojilerinin geliştirildiği fizik alanlarının dışında kalan bilim alanları, savaş ve uzay sanâyîleri gibi özel alanlar tez kapsamının dışında tutulmuştur. Bu sınırlılığa bağlı olarak, 1960’lardan sonra geliştirilen lazer teknolojileri ile imkânlı olan holografi teknolojisi, ardından ‘90’larda tıp alanında görüntüleme teknolojisi olarak ortaya çıkan Optik Koherens Tomografi (OCT) sistemleri, Sıvı Kristal Ekranlar (LCD’ler), 1969’da geliştirilen Şarj Bağlantılı Cihazlar (CCD’ler), 1990’ların sonunda geliştirilen Uyarlanabilir Optikler, 1980’ler-1990’larda geliştirilen Fotonik Kristaller, mikro LED ekran veya sualtı dokunmatik ekran teknolojisi, genel olarak biyoloji alanında kullanılan optik cımbız ve 21.yy.’in ilk çeyreğinde geliştirilen kuantum teknolojileri ve süper- çözünürlüklü mikroskop teknolojileri tez kapsamının dışında tutulmuştur.

Tez kapsamında incelenen aydınlatma/optik laboratuvarları; zaman ve maliyet kısıtlamaları sonucu, karşılaştırmalı inceleme imkânı olmaması nedeni ile yurtdışından

⁴Optobiyoloji, ışığın biyolojik sistemler üzerindeki etkisini inceleyen disiplinler arası bir alandır (Max-Planck-Gesellschaft, Erişim tarihi: 15.11. 2025).

⁵Nanoteknoloji, atom ve molekülleri nanometre (milimetrenin yüz milyonda biri, 100 nanometre) ölçeğinde manipüle ederek yapıları, cihazları ve sistemleri tasarlamak, üretmek ve kullanmak konusunda çalışmaların yapıldığı bilim ve mühendislik alanı (EU Public Health, Erişim tarihi: 25.11. 2025).

seçilmemiştir. Bu konuya ek olarak; alanda standart belgesine sahip olmayan, akredite edilmemiş aydınlatma/ optik laboratuvarlarıyla, lazer laboratuvarları ve üretim, deney amaçlı temizodalar incelenen ulusal laboratuvarlar listesinin dışında bırakılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında belirlenen kapsam içinde yer alan ulusal ve uluslararası standartlar referans alınmış olmakla birlikte, bölgesel düzenlemelerdeki farklılıklar çalışma kapsamında detaylı olarak değerlendirilmemiştir. Buna bağlı olarak, aydınlatma/ optik laboratuvarı ölçütlerinin belirlenme çalışmasında aşağıda yer alan, ülke bazında veya uluslararası akreditasyon kuruluşlarına bağlı kurum ve organizasyonlar çalışma kapsamı dışında tutulmuştur:

1. Union of Japanese Scientists and Engineers (JUSE)
2. China Association for Quality (CAQ)
3. The Quality Circle Movement In India (QCFI)
4. Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS)
5. Normalizacion Espanola (UNE)
6. The Southern African Development Community Cooperation in Accreditation (SADCA)
7. British Standards Institute (BSI Group) (gerekli görüldüğü şartlar dışında)

Yapılan tez çalışmasında online kaynak tarama çalışması ve fiziki kaynaklara erişim Türkiye'nin var olan imkânlarıyla sınırlıdır. Türkçe, İngilizce, Almanca ve kısmen İspanyolca dillerinde yapılan araştırmada, özellikle İspanyolca kaynakların varsa İngilizceleri tercih edilmiştir.

1.5. Tanımlar

Bu tez çalışmasında üzerinde çalışılan konunun ana kavramlarının hangi çerçevede ele alınacağını ortaya konması önemlidir. Bu sebeple ele alınan kavramlar, 19.yy. ve sonrası bilimsel, teknolojik ve bunlara bağlı olarak ekonomik gelişmelerin ışığı altında genel çerçeveleriyle ortaya konmaktadır.

Tez kapsamında ele alınan dokuz ana kavram; ışık, optik, doğal aydınlatma, yapay aydınlatma, laboratuvar, aydınlatma laboratuvarı, akreditasyon/ kalite, günümüz aydınlatma teknolojileri ve sürdürülebilirlik olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kavramlar aşağıda sırası ile açıklanmaktadır.

1.5.1. Işık

Işık, insan gözüyle görülebilen bir elektromanyetik radyasyon şeklidir (Johnston, 2001). Yaklaşık 380 ile 780 nanometre (nm) dalga boyu aralığındaki kısmı olarak tanımlanır ve fotometrinin temel çalışma nesnesidir (IES, 2011). Görme duyusunu uyarak nesnelerin görünür hale gelmesini sağlayan fiziksel bir enerji biçimidir (ADB GmbH, 2000). Maxwell, Einstein gibi optik alanında büyük çalışmalar yapan bilim insanları sayesinde ışığın temel karakterinin hem dalga hem de parçacık (foton) özelliği içerdiği belirlenmiş ve bu çalışmaların devamında dalga-parçacık ikiliği konusu, modern optiğin temelini oluşturmuştur (Karlıcek vd., 2017).

Einstein'in 1915 yılında yayınladığı Genel Görelilik teorisinde hızının sabit olduğunu varsaydığı ve sonrasında ispat edilen Işık hızı, vakum ortamında saniyede 299.792.458 metre olup evrensel bir sabittir ve "c" sembolü ile gösterilir. Işığın davranışı; yansıma, kırılma, kırınım ve girişim gibi optik prensiplerle açıklanır (IESNA, 2000). Işık konusunda yapılan çalışmaların bir alanı da Fotometridir. Foto ve metry kelimelerinden türetilen Fotometri; ışığın insan gözünün spektral duyarlılığına ($V(\lambda)$ eğrisi) göre değerlendirilmiş niceliklerini ölçen ana bilim dalıdır (IES, 2011). Fotometri alanının bazı temel kavramları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Işık akısı (Luminous Flux); bir ışık kaynağından yayılan toplam görünür ışık gücünün ölçüsüdür ve radyometrik birim olan ışıyım akısı, ışık kaynağından çıkan, günışığında görmeye ait spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen enerji aksidir, birimi lümen (lm), (ADB GmbH, 2000).

- Işık şiddeti (Luminous Intensity); bir doğrultuda yayılan ışığın yoğunluğu ile ilgili bir özelliktir. Işık kaynakları her yönde eşit ışık akısı yaymazlar, bu nedenle ışık akısı yoğunlukları farklıdır. Dolayısıyla bir ışık kaynağından belirli bir yönde birim katı açı başına yayılan, dalga boyuna göre ağırlaştırılmış gücün ölçüsüdür ve birimi kandela (cd)'dir (ADB GmbH, 2000).

- Aydınlik düzeyi (Illuminance); bir yüzeyin üzerine düşen birim alandaki ışık akısı miktarıdır ve birimi lüks (lx) ile gösterilir ve lümen/metre-kare'dir (IESNA, 2000).

- Parlaklık (Luminance); bir yüzeyin birim alanından belirli bir yönde yaydığı veya yansıttığı ışık şiddetidir ve birimi kandela/metre-kare (cd/m^2)'dir; görsel algıda doğrudan ilişkili olduğu için en önemli fotometrik büyüklüklerden biridir (IES, 2011).

- Işığın renk özellikleri; kromatiklik ve korel renk sıcaklığı (CCT) gibi kolorimetrik kavramlarla tanımlanır (Karlıcek vd., 2017). Korel renk sıcaklığı, bir ışık kaynağının renk

görünümünü, mutlak sıcaklığındaki bir karacismin yaydığı ışıkla karşılaştırarak tanımlar ve birimi Kelvin (K)'dir (Karlıcek vd., 2017). Işık kaynaklarının renksel geriverim indeksi (CRI - Ra), ışığın nesnelerin doğal renklerini ne kadar doğru yansıttığının 0 ile 100 arasındaki bir ölçüsüdür (IES, 2011). Spektral güç dağılımı (SPD) ise bir ışık kaynağının her dalga boyunda ne kadar radyant güç yaydığını gösteren grafiksel bir temsildir ve kaynağın renk özelliklerini belirler. İnsan gözü, fotopik (gündüz/güçlü ışık), skotopik (gece/zayıf ışık) ve mezopik (alacakaranlık/orta ışık) olmak üzere üç farklı görüş seviyesine sahiptir; her seviyede spektral duyarlılık farklılık gösterir (ADB GmbH, 2000).

Fotometrik ölçümler, integre küreler, gonyofotometreler ve spektrometreler gibi hassas cihazlar kullanılarak standart koşullar altında yapılır (IES, 2011). Ayrıca, ışığın polarizasyonu, elektrik alan vektörünün salınım yönünü ifade eder ve LCD ekranlar, kamera filtreleri gibi birçok uygulamada kritik öneme sahiptir (IES, 2011).

1.5.2. Optik

Görme ve ışık bilimi anlamında kullanılan optik kelimesi Latince (ars) optikē'den, Yunanca ὀπτική (optikē technē)'dan gelmektedir. Opt- “görme, göz” anlamında iken – “ok” eki ile “görme ile ilgili” anlamına gelir (Wortbedeutung.info, 2025).

Optik; Türkçe, Almanca ve İngilizce⁶ dillerinde üç anlama sahiptir. Genel olarak ışık ve göz ile ilgili olan bu kelime; bir şeyin yarattığı dış izlenim anlamında “görünür, görünüm”; bir nesnenin ışık yayılımını etkileyen parçaları ve son olarak ışığın yayılması, algılanması ve ışığın madde (ve materyaller) ile etkileşimlerini konu alan fizik dalı olarak tanımlanmaktadır (Wortbedeutung.info, 2025).

IESNA kurumu, optiği aydınlatma mühendisliğinin temel taşı olarak tanımlar, çünkü ışığın yayılması, kontrolü ve yönlendirilmesi optik prensiplere dayanır (IESNA, 2000). Optik genel olarak geometrik optik, fiziksel optik ve kuantum optiği gibi alt disiplinlere ayrılır (Karlıcek vd., 2017). Geometrik optik, ışık ışınlarının doğrusal yayılımını, yansıma ve kırılma yasalarını inceleyerek mercek ve aynaların çalışma prensiplerini açıklar (IES, 2011). Bu yasalardan yansıma yasası, gelme açısının yansıma açısına eşit olduğunu belirtir ve bu prensip, armatür reflektörlerinin tasarımının temelini oluşturur (Meyer, 1938). Işığın kırılması, ışığın farklı optik yoğunluktaki iki ortamın

⁶Optik kelimesi için bakılan sözlükler; Oxford Learner's Dictionaries, Merriam- Webster, Cambridge Dictionary, Langenscheidt Deutsch-Türkisch Wörterbuch, Verben Netzwerk Wörterbuch, Türk Dil Kurumu Sözlüğüne bakılmıştır.

sınırından geçerken yön ve hız değiştirmesidir; bu yasa Snell Yasası ile matematiksel olarak ifade edilmiştir (ADB GmbH, 2000). Işığın bir prizmadan geçerken dalga boyuna bağlı olarak farklı açılarda kırılmasıyla renklerine ayrılması (dispersiyon) fenomeni, beyaz ışığın spektral bileşenlerini gösterir (Karlıcek vd., 2017). Fiziksel optik ise ışığın dalga doğasını ele alır ve girişim (interferenz), kırınım (beugung) ve polarizasyon (polarisation) gibi olguları inceler (IESNA, 2000). Işığın girişimi; aynı frekanstaki iki veya daha fazla ışık dalgasının, üst üste binerek, sonuçta şiddetinin artmasına (yapıcı girişim) veya azalmasına (yıkıcı girişim) yol açmasıdır (ADB GmbH, 2000). Kırınım, ışığın bir engelin kenarından veya dar bir yarıktan geçerken saçılarak yayılmasıdır; bu olay, ışık dalgalarının doğrusal yayılımından sapabileceğini kanıtlar (ADB GmbH, 2000). Polarizasyon ise ışık dalgasının hareket yönüne dik gelen elektrik alan vektörünün belirli bir düzlemde salınım yönünü ifade eder ve bu özellik deprembilim, telekomünikasyon, 3D gözlükler veya LCD ekranlar gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır (Karlıcek vd., 2017). Aydınlatma tekniğinde (Meyer, 1938) optik, ışık akısının istenen yüzeylere verimli ve kontrollü bir şekilde dağıtılmasında kritik öneme sahiptir. Bu kontrol, reflektör, refrakter (kırıcı elemanlar) ve lens gibi optik bileşenler vasıtasıyla sağlanmaktadır (IES, 2011).

Optik konusunda önemli bir konu olan tam iç yansım prensibi, iki ortam arasındaki sınırda meydana gelen bir ışık olayıdır. Bu olguda eğer birinci ortamdaki olay açısı, sistemin kritik açısında büyük olduğunda, tüm ışığın aynı ortama geri yansımadır. Tam iç yansım prensibi, optik fiberler, kolonoskop gibi görüntü oluşturan fiberskoplarda ve telekomünikasyon kablolarında, ışığın kayıpsız olarak iletilmesini sağlayan temel mekanizmadır (ADB GmbH, 2000). Diğer taraftan, optik malzemelerin kırılma indisi (n), ışığın boşluktaki hızının malzeme içindeki hızına oranı olarak tanımlanır ve malzemenin ışığı kırma gücünün bir ölçüsüdür (IESNA, 2000). Işık ışınlarının optik bir sistemden (mercek grupları aracılığıyla) geçişinin modellendiği ışın izleme yöntemi, karmaşık aydınlatma armatürlerinin ve projektörlerin tasarımında vazgeçilmez bir sayısal analiz aracı olarak kullanılmaktadır (Karlıcek vd., 2017). Fotometride, insan gözünün spektral duyarlılık eğrisi olan $V(\lambda)$, tüm optik hesaplamaların ve ölçümlerin fotopik koşullar altında insan algısıyla uyumlu olmasını sağlayan temel bir optik filtredir (IES, 2011). Fotometride yapılan tüm optik hesaplamalar ve ölçümler, kamera, teleskop ve mikroskoplar gibi görüntüleme sistemlerinin çalışma prensibini açıklar; bu sistemler

nesnelerden gelen ışık ışınlarını toplayıp odaklayarak görüntü oluşturmaktadırlar (ADB GmbH, 2000).

Optik çalışmalarında yer alan renk teorisi, ışığın fiziksel bir özelliği olan dalga boyu ile algılanan renk arasındaki ilişkiyi kurmaktadır (Meyer, 1938). Geliştirilen optik filtreler, belirli dalga boyu aralıklarındaki ışığı seçici olarak geçirir veya bloke eder; bu özellikleriyle spektrofotometrelerde ve renk ölçüm cihazlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Meyer, 1938).

1.5.3. Aydınlık/aydınlatma

Aydınlik, bir yüzey veya cisim üzerine düşen ışığın veya aydınlatılmanın genel durumunu tanımlamak için kullanılır. Aydınlik bir nicelik terimidir. Buna bağı olarak aydınlik, belirli bir alan veya mekânda bulunan ışık miktarı olarak tanımlandığında; aydınlatma da iç veya dış mekânların ihtiyacı olan ışığın oluşturulup kontrol edilebilmesi olarak ifade edilebilir (IES, 2011).

Günüşğı (Doğal)⁷ Aydınlatma: Doğada oluş an ışık kaynaklarından (Güneş ışığı, Ay ışığı, yıldız ışığı, ışık yayan canlılar, radyolüminesans⁸ ve ateş) yararlanarak yapılan aydınlatma tasarım sürecinin tamamıdır (Karlen ve Benya, 2004).

Yapay Aydınlatma: Nesnelere, bunların çevrelerine ya da bir bölgeye, bir bina veya kent bölgesine; görülebilmeleri için insan yapımı ışık kaynakları ile yapılan ışık uygulanmaları (CIE, 2024), (Karlen ve Benya, 2004).

Aydınlatmanın bilimsel, mühendislik ve uygulama yönlerinin tümünü kapsayan disiplinler arası bir alan olan Aydınlatma Tekniğı/ Mühendisliğı aşağıda yer alan ana beş alanda uzmanlaşmıştır (Meyer, 1938):

- Fotometri, renk bilimi, optik, elektrik mühendisliğı ve elektronik gibi teknik bilimlerde
- Işık kaynaklarının (LED, floresan, halojen vb.), lambaların ve aydınlatma kontrol sistemlerinin teknolojisi ve özelliklerinin incelendiğı ekipman bilgisi

⁷Doğal aydınlatma kavramı geçerliliğini kaybetmiştir. Bu terimin yerine “Günüşğı Aydınlatması” kullanılmaktadır (CIE, Erişim tarihi: 25. 11. 2025).

⁸Lüminesans; radyasyon bir madde üzerine düştüğü zaman bir kısım enerjisi soğrulur ve daha uzun dalga boyuna sahip bir ışık olarak yayılır (Stok Yasası). Kara cisim ışımasını içermeyen bu yayılımın, fosfor olarak adlandırılan katılardan yayılması olayına lüminesans denir (Gundermann, Erişim tarihi: 25. 11. 2025). Radyolüminesans ise kozmik ışınların, hızlandırıcıların, radyoaktif maddeler veya diğer kaynaklardan gelen yüksek enerjili parçacıklar nedeni ile ortaya çıkan lüminesans çeşididir (Gundermann, Erişim tarihi: 25. 11. 2025).

- İç ve dış mekanlar için aydınlatma konseptlerinin, aydınlatma hesaplarının ve uygulama planlarının oluşturulduğu tasarım ve planlama
- Görsel konforun sağlanması, kamaşmanın önlenmesi, biyolojik etkiler (sirkadiyen ritim) veya iş güvenliği gibi konular için yapılan aydınlatma çalışmalarında göz önünde bulundurulmuş insan faktörü konularında yapılan araştırmalar
- Aydınlatma projelerinin hazırlanmasında dikkate alınan ulusal ve uluslararası standartlar ve normlar konusunda

Kısacası, ışığın teknik olarak nasıl üretildiği, kontrol edildiği, dağıtıldığı, insan ihtiyaçlarına ve çevreye uygun bir şekilde nasıl uygulandığı ile ilgilenen mühendislik dalıdır (Meyer, 1938).

1.5.4. Laboratuvar

Türk Dil Kurumu, laboratuvar kelimesini ayrıştırma, birleştirme yoluyla bir sonuca ulaşmak veya teşhis koymak için çeşitli araçlar kullanılarak tıp, eczacılık, fizik, kimya gibi bilim dallarıyla ilgili araştırmaların, deneylerin yapıldığı özel donanımlı yer olarak açıklamaktadır (TDK, 2025).

1.5.5. Aydınlatma/ optik laboratuvarı

Özünde uzmanların veya eğitilmiş kişilerin bilimsel deneyler, araştırmalar ve analizler yürütmek için özel ekipman, alet ve kaynaklarla donatılmış kontrollü ortama sahip çalışma odaları olarak da ifade edilebilen laboratuvar (DGUV, 2020); optik ve aydınlatma teknolojilerinin ve sistemlerinin araştırılması, geliştirilmesi, test edilmesi ve analizine, çok çeşitli alanlarda optik çalışmalarının ve aydınlatma tasarımlarının yapılmasına adanmış bir tesistir.

1.5.6. Akreditasyon/ kalite

Akreditasyon, uygunluk değerlendirme kuruluşlarınca gerçekleştirilen çalışmaların ve dolayısıyla bu çalışmalar sonucunda düzenledikleri uygunluk teyit belgelerinin (deney ve muayene raporları, kalibrasyon sertifikaları, yönetim sistemi belgeleri, ürün belgelendirme belgeleri, personel belgelendirme belgeleri vb.) güvenilirliğini ve geçerliliğini desteklemek amacıyla oluşturulmuş bir kalite altyapısıdır (TÜRKAK, 2025).

Bu açıklamada geçen “kalite” en genel anlamı ile "bir nesnenin bir dizi doğal özelliğinin gereksinimleri karşılama derecesi" olarak tanımlanır (ISO, 2025).

1.5.7. Günümüz aydınlatma teknolojileri

Bu çalışmada günümüz aydınlatma teknolojileri başlığı altında; 1960- 1970’lerde geliştirilen Yüksek Yoğunluklu Deşarjlı Lamba Teknolojisi (HID), yine 1960’larda geliştirilen Işık Yayan İyot Teknolojisi (LED’ler), 1980’lerde kullanılmaya başlayan Kompakt Floresan Lamba Teknolojisi (CFL’ler), 20.yy sonu- 21.yy başında ortaya çıkan Organik Işık Yayan Diyot Teknolojisi (OLED’ler), fiber optik teknolojis, gerekli görüldüğü noktalarda lazer teknolojileri ve UV- C içerikli aydınlatma sistemleri yer almaktadır.

1.5.8. Sürdürülebilirlik

Bu tez kapsamında kullanılacak olan “sürdürülebilirlik” kavramı için, birbirlerini tamamlamaları nedeni ile United Nations, UN (Birleşmiş Milletler Topluluğu) ve United State Enviromantal Protection Agency, EPA (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı) kurumları tarafından yapılan açıklamalar dikkate alınmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramı için UN, “bugünün ihtiyaçlarının, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden karşılanması (UN, 2024)” olarak açıklarken; EPA bu tanımı daha detaylandırarak, “mevcut ve gelecek nesilleri desteklemek için insanların ve doğanın verimli bir uyum içinde var olabileceği koşulları yaratmak ve sürdürmek (EPA, 2025)” olarak tanımlar.

UN’in 2015 yılında kabul ettiği ve 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı (SDGs)’nı içeren 2030 Gündemi, yoksulluğu sona erdirmek, gezegeni korumak ve tüm insanların barış ve refah içinde yaşamasını sağlamak için evrensel bir eylem çağrısı oluşturmaktadır (UNDP, 2025). İklim değişikliği, SDGs’nın 13. amacında ele alınan ve tüm sürdürülebilirlik çabalarını tehdit eden varoluşsal bir kriz olup, United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi) ve Paris Anlaşmasıyla bu krize küresel bir çözüm önerisinin temelini oluşturmaktadır (UNDP, 2025). UN’nun yanı sıra EPA Ajansıda, endüstriyel emisyonları düzenleyerek, enerji verimliliği standartlarını teşvik ederek ve iklim direncini artırmaya yönelik programlar yürüterek iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir rol oynamaktadır (EPA, 2025). Sürdürülebilirliğin bir diğer temel ayağı olan ve SDGs’nın 12. amacında yer alan sorumlu üretim ve tüketim hedefi; kaynak verimliliğini artırmayı ve yaşam döngüsü boyunca çevresel bozulmayı en aza indirmeyi hedeflerken, EPA’nın Atık Hiyerarşisi (önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım,

bertaraf) UNFCCC'nin bu amacına hizmet eden temel bir ilke olarak ortaya çıkmaktadır (EPA, 2025). SDGs'nın 6. Amacı olan, temiz su ve sanitasyona evrensel erişim hem bir insan hakkı hem de sürdürülebilir kalkınmanın vazgeçilmez bir parçasıdır (UNDP, 2025). Benzer şekilde EPA Ajansında, ABD'de Güvenli İçme Suyu Yasası ve Temiz Su Yasası aracılığıyla su kalitesini korumak ve restore etmek için çalışmaktadır (EPA, 2025). Biyolojik çeşitlilik kaybı, karasal ve sucul ekosistemler üzerindeki baskı (SDGs 14. ve SDGs 15.), UN'in Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi kapsamında ele alınmakta olup (UNDP, 2025), EPA'nın pestisit yönetimi ve habitatın korunması yönetmeliğiyle, bu küresel çabaya katkıda bulunmaktadır (EPA, 2025).

Sürdürülebilir kalkınma, sosyal eşitsizliklerin azaltılmasını (SDGs 10.) ve her düzeyde etkili, hesap verebilir ve kapsayıcı kurumların (SDGs 16.) varlığını gerektirir. UN'in "Kimseyi Geride Bırakma" (Leave No One Behind) ilkesi, kalkınma çabalarının en savunmasız kesimlere odaklanmasının altını çizer (UNDP, 2025). EPA, çevresel adalet ilkeleri doğrultusunda, tüm nüfus gruplarının çevre yönetimi kararlarına adil bir şekilde katılmasını ve çevresel yüklerden orantısız şekilde etkilenmemesini sağlamayı taahhüt ederek, UNDP'nin "Kimseyi Geride Bırakma" ilkesinin sınırlarını genişletmiştir (EPA, 2025). Diğer yandan her iki kuruluşunda döngüsel ekonomi modellerine geçiş yönetmeliği/ önerileri; doğrudan "al-yap-at" modelinden uzaklaşarak kaynakların mümkün olduğunca uzun süre kullanımda tutulduğu kapalı döngü sistemlerini teşvik ederek, sürdürülebilirliğin merkezinde yer almaktadır. Sonuç olarak, UN ve EPA'nın çalışmaları, sürdürülebilirliğin; çevresel koruma, ekonomik refah ve sosyal adalet arasında derin bir sinerji gerektiren, çok boyutlu ve birbirine bağlı bir küresel hedef olduğunu göstermektedir.

1.6. Literatür ve Belge

Tez kapsamında çalışılması planlanan, aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri konusunda, Türkçe dilinde yapılan literatür taramasında konu ile doğrudan bağlantılı, kitap, makale ve tez çalışmasına rastlanmamıştır. Özellikle bu konuda, girilen anahtar kelimelere göre YÖK Tez Merkezi arama sonuçlarını iki başlık hâlinde toplanmaktadır (YÖK Tez Merkezi, 2025).

1. "Aydınlatma Tasarım Laboratuvar", "Aydınlatma Tasarımı", "Aydınlatma Laboratuvar", "Optik Laboratuvar", "Laboratuvar Kurulumu/ Kurulması", "Laboratuvar", "Optik" anahtar kelimelerin girilmesi sonucu ulaşılan belgelerin,

aydınlatma/ optik laboratuvarı kurulum ilke ve ölçütleriyle ilgili olmadığı görülmüştür.

2. Yapılan aramalarda, aydınlatma laboratuvarı, optik laboratuvarı ve laboratuvar kavramlarına; “ölçütler”, “kriterler”, standartlar”, “akreditasyon”, “ilkeler” kelimeleri eklenerek YÖK Tez Merkezi’nde yeniden tarama yapılmıştır. Yapılan tarama sonucu ulaşılan belgelerin, aydınlatma/ optik laboratuvarı kurulum ilke ve ölçütleri ile ilgili olmadığı görülmüştür.

Uluslararası kurumlar çerçevesinde yapılan literatür ve belge taramasında, OECD⁹ teşkilatının elektronik kitaplığında, laboratuvar, optik, aydınlatma, aydınlatma/ optik laboratuvarı, başlıklarında yapılan çeşitli arama sonuçlarında ulaşılan belgelerin tez konusu ile ilgili olmadığı belirlenmiştir. OECD teşkilatının kaynaklarında yapılan arama sonucu, OECD’nin test tesislerinin organizasyonu ve yönetimi için kalite standartlarını belirleyen, OECD Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring, GLP (OECD İyi Laboratuvar Uygulamaları İlkeleri) belgesine ulaşılmıştır (OECD, 2025), (Ek-1).

International Organization for Standardization, ISO (Uluslararası Standardizasyon Örgütü) kaynakları kullanılarak, OECD ile aynı kapsamda yapılan tarama sonucu, “Laboratuvar” başlığı altında aşağıda yer alan 5 adet laboratuvar standardizasyonu ile ilgili dokumana ulaşılmıştır (Ek-1). ISO kaynaklarında yapılan taramada aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri konusu ile ilgili belgeye ulaşılamamıştır.

1. ISO/ IEC 17025, test ve kalibrasyon laboratuvar standartları, <https://www.iso.org/ISO-IEC-17025-testing-and-calibration-laboratories.html>
2. ISO 15189, tıbbî test laboratuvarları standartları, <https://www.iso.org/standard/76677.html>
3. ISO/ IEC 17020, muayene/ denetim kuruluşları standartları, <https://www.iso.org/standard/52994.html>
4. ISO/ IEC 17043, yeterlilik testi sağlayıcıları, <https://www.iso.org/standard/80864.html>

⁹OECD; Organisation for European Economic Co-operation (Avrupa Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü). 2021 yılı itibari ile 38 üyesi bulunan örgüt; 1948 yılında Avrupa Ekonomik İşbirliği Teşkilatı (OEEC, Organisation for European Economic Co-operation) adı ile kurulmuş, 1960 yılında yapılan Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü Sözleşmesi ile OECD- Avrupa Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü olmuştur (OECD, Erişim tarihi: 25.11.2025).

5. ISO 17034, referans malzeme üreticileri,
<https://www.iso.org/standard/29357.html>

Aydınlatma/ optik bilim ve teknolojileri konusunda yetkin kurumların başında gelen International Commission on Illumination, CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) Komisyonu'nun kaynaklarında yapılan araştırmada, "Optik Laboratory", "Optic Laboratory Accreditation", "Optic Laboratory Quality Manual", "Lighting laboratory", "Illumination Laboratory" anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Ulaşılan CIE Publications listesinde 8 ana başlık bulunmaktadır. CIE Publications listesinde yer alan "International Standards" ana başlık altında aydınlatma ile ilgili 39 farklı aydınlatma standartları dosyasına ulaşılmıştır (Ek-1). CIE kaynaklarında yapılan taramada aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri konusu ile ilgili belgeye ulaşılamamıştır. (CIE, 2025).

Diğer bir uluslararası aydınlatma derneği olan Illuminating Engineering Society, IES (Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Derneği) kaynaklarında yapılan taramada aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri konusu ile ilgili belgeye ulaşılamamıştır. Kurumun, "The IES Lighting Library Standards Collection", başlığı altında ulaşılan 5 kitap çeşitli aydınlatma standartlarına aittir (IES, 2025). Ayrıca International Electrotechnical Commission, IEC¹⁰ (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) yayınları, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, ATMK web sitesinde yayınlanmaktadır (Ek-1).

Uluslararası ve ulusal standardizasyon ve akreditasyon kuruluşlarında laboratuvar, aydınlatma/ optik laboratuvarları ve sürdürülebilirlik konularında var olan standart, kalite kılavuzu ve benzeri kaynaklar aşağıda ilgili kuruma göre taranmıştır.

Uluslararası Kurumlar:

1. ISO The International Organization for Standardization
2. EN European Standards, (CEN/ CENELEC) ve ETSI The European Telecommunications Standards Institute
3. IEC International Electrotechnical Commission

¹⁰IEC- International Electrotechnical Commission'in (<https://www.iec.ch/homepage>), bir organı olan IECEE- IEC System of Conformity Assessment Schemes for Electrotechnical Equipment (Elektroteknik Ekipman ve Bileşenler için Uygunluk Değerlendirme Planları IEC Sistemi) elektrikli ve elektronik ekipmanların test edilmesi ve sertifikasyonu alanında hizmet vermektedir. Bu çalışmaları kapsamında var olan ISO standartlarını baz almaktadır (IECEE, Erişim tarihi: 25.11. 2025).

4. IECEE, IEC System of Conformity Assessment Schemes for Electrotechnical Equipment
5. ETSI The European Telecommunications Standards Institute
6. ITU International Telecommunication Union
7. DIN Deutsche Institut für Normung e.V.
8. OECD GLP The Good Laboratory Practice
9. CLSI Clinical and Laboratory Standards Institute
10. ILAC International Accreditation Cooperation
11. EA European Accreditation
12. IAF International Accreditation Forum
13. IAAC The InterAmerican Accreditation Cooperation
14. ASTM International, American Society for Testing and Materials International
15. CIE International Commission on Illumination
16. IES The Lighting Authority, Illuminating Engineering Society
17. TheLIA The Lighting Industry Association
18. SDGs UNECE Sustainable Development Goals
19. The European Green Deal, European Commission

Ulusal Kurumlar:

1. TSE Türk Standartları Enstitüsü
2. TÜRKAK, T.C. Dışişleri Bakanlığı Türk Akreditasyon Kurumu
3. ATMK Aydınlatma Türk Milli Komitesi
4. AGİD Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği

TSE'nin açıklamada sıralanan alanlarda yürüttüğü standardizasyon, rehber, kalite kılavuzu çalışmaları mevcut değildir. Diğer taraftan kurum laboratuvar, kalibrasyon ve metroloji (ölçüm bilimi) konusunda yürüttüğü çalışmalarda, üyesi olduğu ISO Örgütünün geliştirdiği standardizasyonlardan standartlarını baz almaktadır (TSE, 2025), (Ek-1).

TÜRKAK kaynaklarında yapılan taramada laboratuvar ve/ veya aydınlatma/ optik laboratuvarları konusunda, TÜRKAK Akreditasyon Karar Metinleri başlığında, “Deney Laboratuvarları”, “Kalibrasyon Laboratuvarları”, “Tıbbî Laboratuvarlar”, “Yeterlilik Testleri Sağlayıcıları” olacak şekilde dört ana başlık bulunmaktadır (Ek-1). Ayrıca, genel laboratuvar başlığı altında akredite edilmiş laboratuvarların çalışma alanlarına göre,

“Deney Laboratuvarları”, “Kalibrasyon Laboratuvarları”, “Tıbbî Laboratuvarları”, “Yeterlilik Testleri Sağlayıcıları “Yeterlilik Testleri Sağlayıcıları”, “Tıbbî Deney”, “İyi Laboratuvar Uygulamaları”, “Yönetim Sistemleri Belgelendirme”, “Deney”, “Ürün Belgelendirme” şeklinde sıralanmaktadır. Son olarak aydınlatma armatürleri, aydınlatma, optik, ışık konularında TSE ISO/ IEC standartlarında yer alan 6 çeşit standardizasyon sistemleri üzerinden akreditasyon belgesine ulaşamamıştır. TÜRKAK kaynaklarında yapılan tarama sonuçlarında, aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri konusunda herhangi bir belgeye ulaşamamıştır. (TÜRKAK, 2025).

Ayrıca, Türkiye’de TÜRKAK tarafından akredite olmuş aydınlatma veya optik laboratuvarlar konusunda yapılan taramada, aşağıdaki yer alan 7 kurum ve kuruluşu ulaşılmıştır:

1. TÜBİTAK UME Ulusal Metroloji Enstitüsü Laboratuvarları, TS EN ISO/ IEC 17025 standartlarına göre TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir. Kurum ayrıca TSE, CIE, ISO, IEC ve DIN kurumları ile işbirliği yürütmektedir. (<https://www.ume.tubitak.gov.tr/>)
2. Labbee Aydınlatma Laboratuvarları, TS EN ISO/ IEC 17025 Standartlarına göre TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir. (<https://labbee.com.tr/>)
3. PTC Testing Lab, PTC Laboratuvarı TS EN 60335-1 kapsamında TÜRKAK tarafından akredite olmuştur. (<https://www.ptctesting.com/>)
4. Gecem Aydınlatma, TS EN ISO/ IEC 17025 standartlarına göre TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir. (<https://www.ptctesting.com/>) Ayrıca, ISO 45001-2018 İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi Belgesi, ISO 14001 2015 Çevre Yönetim Sistemi ve CE belgelerine sahiptir.
5. Pelsan Aydınlatma, TS EN ISO/ IEC 17025 standartlarına göre TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir. (<https://pelsan.com.tr/>). Ayrıca, ISO 45001-2018 İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi Belgesi, ISO 14001 2015 Çevre Yönetim Sistemi belgelerine sahiptir.
6. EAE Aydınlatma, TS EN ISO/ IEC 17025 standartlarına göre TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir. Ayrıca, ISO 9001 Kalite Yönetimi, ISO 14001 Çevre Yönetimi, ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenlik Yönetimi, ISO 27001 Bilgi Güvenlik Yönetimi, ISO 50001 Enerji Yönetimi ve ISO 10002 Müşteri Memnuniyeti Yönetim Sistemleri Belgelerine sahiptir.

7. Arlight Aydınlatma Laboratuvarı, TS EN ISO/ IEC 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarları Yeterliliği standartlarına göre TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir. Ayrıca, TS EN 60598-1 Aydınlatma Armatürleri Güvenlik Gereksinimleri, TS EN 13032-1/ TS EN 13032-2 Aydınlatma Armatürü ve Lambaların Fotometrik Ölçümleri belgelerinin sahibidir (<https://www.arlight.net/kurumsal/aydinlatma-laboratuvari>).

Türkiye'nin ulusal aydınlatma komitesi ATMK'nın yayınları bildiri kitaplarından oluşmaktadır. Bildiri kitaplarında yapılan tarama sonucunda tez konusu ile ilgili bildiriye ulaşılamamıştır (ATMK, 2025), (Ek- 1).

1997 yılında kurulan Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği, AGİD, aydınlatma sektöründe faaliyet gösteren imalatçıları bir araya getiren derneğin; AGİD Yetkilendirilmiş Kuruluş, AGİMER Aydınlatma Merkezi (Aydınlatma Laboratuvarı, Eğitim Merkezi, Teknoloji Merkezi, Çevre Uyum Merkezi), MEİP Mesleki Eğitim İşbirliği Protokolü, TULPP Türkiye Aydınlatma Üreticileri Kümesi projeleri ve Bilgi Bankası başlığı altında yer alan Mevzuat, Standartlar, Yayınlar ve Faaliyet Raporları alt başlıkları altında yer alan belgelerin hepsi incelenmiştir. Tez konusu ile ilgili bilgiye ulaşılamamıştır. Mevzuatlar başlığında yer alan açıklamalar uluslararası protokol geliştiren kurum ve kuruluşların ilgili mevzuatlarını içermektedir (AGİD, 2025).

Tez kapsamında AGİD ile benzer statüde değerlendirilen; 2012 yılında Britanya merkezli Lighting Association, LA (Aydınlatma Derneği) ve The Lighting Industry Federation- LIF (Aydınlatma Endüstrisi Federasyonu) birleşmesiyle kurulan The Lighting Industry Association- LIA (Aydınlatma Endüstrisi Derneği) aydınlatma sektörü ve şirketlerini temsil etmenin yanı sıra sektörde yer alan aydınlatma şirketlerini destekleyen bir kuruluştur (The LIA, 2025). Acil durum aydınlatmaları alanında özelleşen Industry Committee for Emergency Lighting- ICEL (Acil Durum Aydınlatması Endüstri Komitesi) komitesini bünyesinde bulunduran LIA, aydınlatma, optik ve laboratuvarları konusunda standartlar geliştiren, yerelde British Standards Institution, BSI (BSI Group) (British Standartlar Enstitüsü) olmak üzere ISO, IEC, European Standards, EN (Avrupa Standartları) gibi uluslararası kurumların mevzuat ve standartlarını kabul etmektedir (The LIA, 2025). Alanlarında aydınlatma tasarımı, teknolojileri, sertifikasyon, aydınlatma yazılımları ve benzeri konularda yüz yüze ve uzaktan eğitim programları yürüten Derneğin, LIA Laboratuvarı ismi altında aydınlatma test laboratuvarı mevcuttur (The LIA, 2025). Alanında büyük bir dernek olan LIA'nın tüm faaliyetleri, eğitim programları,

laboratuvar bilgileri, ICEL çalışmaları, sektörel etkinlikleri ve erişilebilen yayınları incelenmiş ve tez konusu ile ilgili veriye ulaşılamamıştır.

Son olarak, Türkiye’de aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri konusunda resmî mevzuatlar araştırıldığında, CB- Mevzuat Bilgi Sisteminde yayınlanan Resmî Gazete ilanlarından ulaşılan sonuçların tez konusu ile ilgili olmadığı görülmüştür (Ek- 3).

Rehberler

Laboratuvar konusunda var olan uluslararası kalite, standart rehberi alanında yapılan taramada, çeşitli kurum ve kuruluşlara ait olmak üzere ulaşılan rehberlerden tez konusu ile ilgili rehberlere ulaşılamamıştır. Aydınlatma laboratuvarı konusunda yapılan tarama sonucunda, aşağıda isimleri yer alan iki rehberlere ulaşılmıştır:

1. “EPA- Recognized Lighting Lab Guide”, United States Environmental Protection Agency, Nisan 2019, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.energystar.gov/sites/default/files/asset/document/EPA-Recognized%20Lighting%20Lab%20Guide%20Rev-Nov%202019.pdf
2. “Guidelines, Building a Lighting Laboratory”, visosystems.com, 2023

Laboratuvar konusunda var olan ulusal kalite, standart rehberi alanında yapılan taramada sonucu ulaşılan, çeşitli kurum ve kuruluşlara ait rehber tez konusu ile ilgili değildir.

Laboratuvar tasarımı genel başlığı altında yapılan kaynak taramasında, 19 kitaba ulaşılmıştır. Ulaşılan kitaplardan iki adeti aydınlatma/ optik laboratuvarı tarihi ile ilgilidir. Bunlardan biri, Peter Galison ve Emily Thompson editörlüğünde, 1999 yılında MIT Press’ten yayınlanan “The Architecture of Science”, adlı laboratuvar tarihi kitabıdır. Ulaşılan ikinci kitap diğeri; J.G. Crowther tarafından kaleme alınan, 1974 yılında The MacMillan Press tarafından yayınlanan, Oxford Üniversitesinin Cavendish Laboratuvarları’ ni anlatan, “The Cavendish Laboratory 1874- 1974” adlı kitaptır (Ek-2).

Ayrıca, Türkiye’de bulunan kurum ve kuruluşların sahip oldukları akreditasyon ve kalite elkitapları alanında yapılan tarama sonuçları arasında tez konusu ile ilgili sonuca ulaşılamamıştır (Ek- 1).

1.7. Yöntem

Tez kapsamında yapılan çalışmada, araştırma yöntemi olarak kullanılan ve nitel araştırma yöntemleri içinde yer alan, literatür tarama, belge inceleme ve analiz yöntemi ile elde edilen veri ve bulguları bir araya getirerek sentezlenip, öneri geliştirilmesi için nitel meta analiz tekniği kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan bu nitel araştırma yöntemleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Literatür Tarama: Tez konusu ile ilgili bilgilere ulaşılmasına, aynı veya benzer konuda yapılan çalışmalar ve sonuçlarına, araştırmanın nasıl yapılacağına ait fikir vermesi açısından önemli bir safhasıdır (Büyüköztürk vd., 2023). Literatür tarama, belirli bir araştırma sorusu veya problemini incelemek için mevcut bilgi birikimine (kitap, makale, tez, rapor vb.) sistematik olarak ulaşma, eleştirel bir gözle değerlendirme ve analiz etme sürecidir (Büyüköztürk vd., 2023). Bu süreç, alanyazındaki temel kuramları, kavramları, metodolojileri, tartışmalı alanları ve araştırma boşluklarını belirlemeyi amaçlayan nitel bir araştırma aşaması olarak kabul edilir. Etkili bir literatür taraması, araştırma tasarımının şekillenmesine rehberlik eder ve mevcut çalışmanın alana nasıl bir katkı sağlayacağını ortaya koymaktadır. Literatür tarama yönteminde sistematik yaklaşım gösterilmesi, taramanın kapsam ve sınırlılıkları, kullanılacak anahtar kelimeleri, veri tabanlarını ve taramaya dâhil etme- etmem kriterlerini önceden tanımlamayı gerektirmektedir (Joanna Briggs Institute, 2020). Toplanan kaynaklar; analiz aşamasına gelindiğinde betimsel bir dökümün ötesine geçerek, tematik analiz veya içerik analizi gibi yöntemlerle kavramsal bir çerçeve oluşturacak şekilde kategorilere ayrılır ve yorumlanır. Toplanan kaynakların analiz sürecinde benzerlikler, farklılıklar, zıtlıklar ve nedensellik ilişkileri üzerinden ilerleyerek mevcut bilginin sentezlenmesine olanak tanır (Joanna Briggs Institute, 2020). Sürecin en kritik aşamalarından biri de kaynakların metodolojik kalitesinin ve geçerliliğinin, önyargıları tespit etmek amacıyla eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirilmesidir. Literatür taraması, nicel çalışmalarda hipotez kurmaya, nitel çalışmalarda ise derinlemesine bir bağlam anlayışı geliştirmeye zemin hazırlar (Yıldırım ve Şimşek, 2021). Nihâi olarak, etkili bir şekilde yürütülen bir literatür tarama ve analizi, araştırmacıyı, mevcut bilginin sınırlarında çalışmaya ve özgün bir katkı sunmaya hazır hale getirir.

Yukarıda ana hatlarıyla açıklana literatür tarama yönetmiş kullanılarak, tezin kapsamına uygun olarak ulaşılan kaynaklardan elde edilen veriler; nitel meta- analizi

yöntemi ile incelenmiş ve içerik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci bölümlerde yer almaktadır.

Belge İncelemesi ve Analizi: Belge incelemesi, araştırılması hedeflenen olgu veya olgular hakkında bilgi içeren yazılı, basılı veya dijital materyallerin sistematik bir şekilde analiz edilmesini esas alan nitel bir araştırma yöntemidir (Büyüköztürk vd., 2023). Bu yöntem, araştırmacının olaylara veya kişilere doğrudan müdahalesi olmadan, onlar hakkında üretilmiş ikincil kaynakların (resmi yazılar, raporlar, günlükler, mektuplar, medya- internet metinleri, arşiv kayıtları) çözümlemesine olanak tanıyarak veri toplama sürecini araştırmacı kaynaklı yanlılıktan büyük oranda arındırmaktadır. Süreç, araştırma sorusuna uygun olarak hangi belgelerin inceleneceğinin belirlenmesi ve bu belgelerin orijinalliğinin, güvenilirliğinin, temsil gücünün ve geçerliliğinin titizlikle değerlendirilmesi ile başlar (Joanna Briggs Institute, 2020). Analiz aşamasında ise içerik analizi veya söylem analizi gibi yaklaşımlar kullanılarak belgelerdeki tematik kalıplar, tutarlılıklar, çelişkiler ve altında yatan ideolojik yapılar ortaya çıkartılmaya çalışılır. Yöntemin en önemli avantajlarından biri, tarihsel süreç boyunca meydana gelen değişim ve dönüşümleri izleme imkânı sunmasıdır ki araştırma yönteminin bu özelliği, bu tez çalışmasında büyük kolaylıklar sağlamıştır (Yıldırım ve Şimşek, 2021). Ancak bu araştırma yönteminin sınırlılıkları da mevcuttur. Bu sınırlılıkları; mevcut belgelerin kapsamı ve erişilebilirliği ile sınırlı kalınması, ayrıca belgelerin oluşturulma bağlamından kaynaklanan kasıtlı veya kasıtsız yanlılık barındırma ihtimalidir. Diğer yandan araştırmacı, bu yöntemle elde edilen verilerin analiz sürecinde; toplanan verilerin ne olduğunun aktarılması düzeyinde kalabileceği gibi, yorumsal ve eleştirel bir düzeyde derinleşerek belgelerin arka planındaki sosyal, politik, ekonomik, teknik, kültürel ve tarihsel bağlamı anlamaya da odaklanabilir.

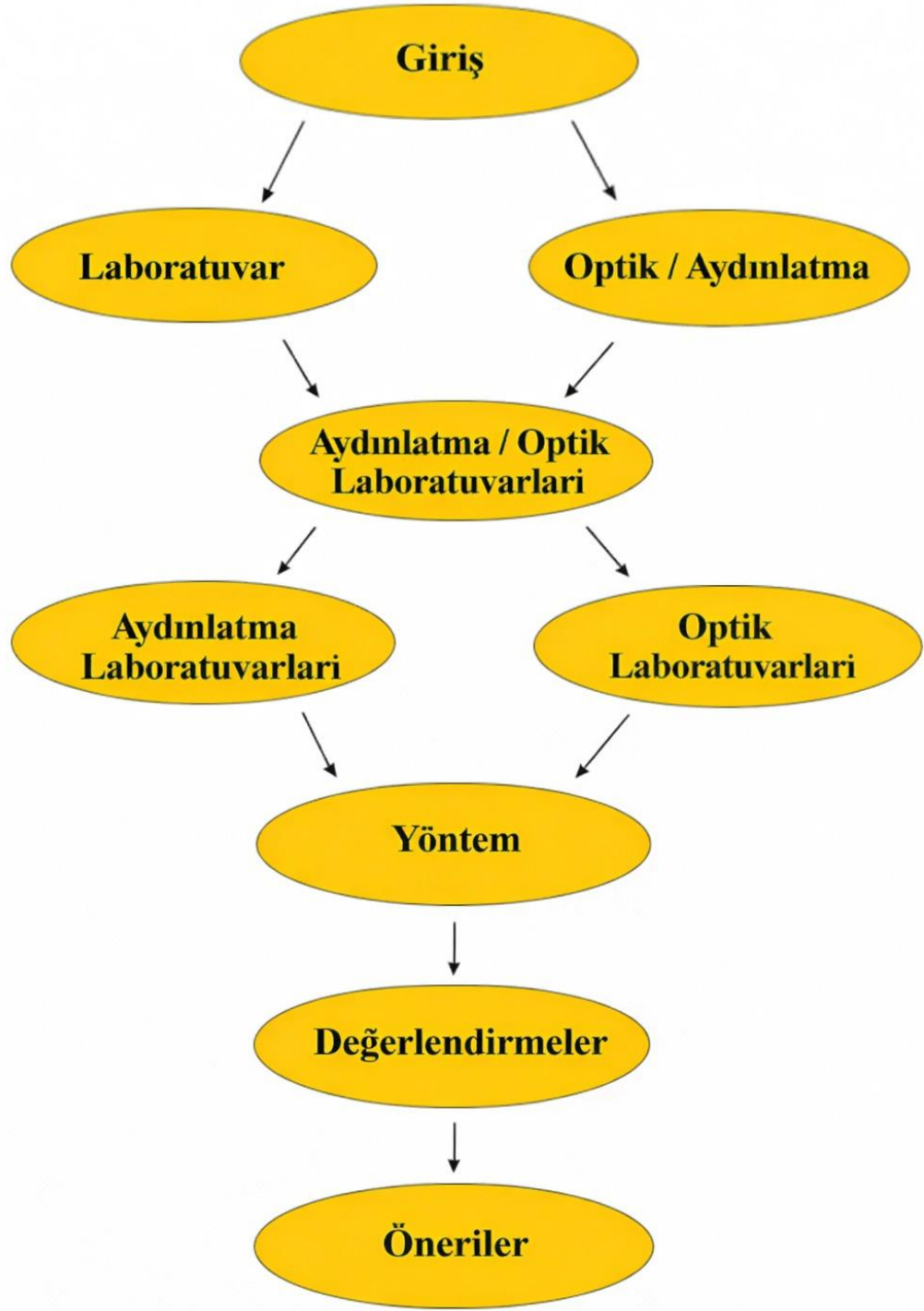
Sonuç olarak, Belge İnceleme ve Analiz yönteminin nihâi hedefi; dağınık haldeki ham veriyi düzenleyerek, anlamlı temalar ve kavramsal çerçeveler şeklinde örgütlemek ve böylece araştırma sorusuna mantıklı, derinlemesine ve kanıta dayalı yanıtlar üretebilmektir (Joanna Briggs Institute, 2020). Yapılan tez kapsamında kullanılan bu yöntemle, tez konusuyla ilgili ulusal, uluslararası kurum ve kuruluşların yayınladığı belgeler toplanarak incelenmiş ve içerik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci bölümlerde yer almaktadır.

Nitel Meta- Analizi: Nitel meta-sentez, belirli bir konuda yürütülmüş birincil nitel araştırmaların bulgularının sistematik olarak derlendiği, yorumlandığı ve yeniden

yapılandırıldığı bir üst-analiz yöntemidir (Joanna Briggs Institute, 2020). Nicel meta-analizden epistemolojik olarak farklılaşarak, istatistiksel bir etki büyüklüğü hesaplamaktan ziyade, nitel bulguları entegre ederek daha soyut, kuramsal ve kavramsal bir çerçeve geliştirmeyi amaçlamaktadır. Nitel meta-analizi süreci, kapsamlı ve şeffaf bir literatür taramasının ardından, çalışmaların önceden belirlenmiş kapsam ve sınırlılık kriterlerine göre seçilmesi ve metodolojik kalitelerinin CASP (Critical Appraisal Skills Programme) gibi standart kontrol listeleriyle değerlendirilmesi ile başlamaktadır. İçerik analizi odaklı bir sentez çalışmasında meta- analizi süreci; birincil çalışmaların bulgu kısımlarındaki ham veri (katılımcı alıntıları, yazar yorumları) kodlamaları, belirlenen kodlardan temalar ve kategoriler oluşturulması; ardından belirlenen temaların, niceliksel bir frekans sayımından ziyade, anlamsal ilişkileri ve bağlamları dikkate alınarak karşılaştırılması, devamında birbirleriyle ilişkilendirilip yeniden kavramsallaştırılmasını içermektedir (Joanna Briggs Institute, 2020). Bu yöntem, tek tek nitel çalışmaların sınırlı örneklem ve bağlamlarını aşarak, olgunun disiplinlerarası daha geniş bir perspektiften anlaşılmasını sağlarken, nitel kanıtın geçerliliğini ve genellenebilirliğini artırmaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2021). Bu noktada araştırmacı, pasif bir veri toplayıcı değil, birincil çalışmaların bulgularını sürekli karşılaştıran, yorumlayan ve onlardan daha üst düzeyde yeni anlamlar inşa eden aktif bir katılımcı konumuna gelmektedir. Nihâyetinde araştırma verilerinin analizi sonuçları; uygulanan nitel- analizi yöntemiyle, mevcut literatürde dağınık halde bulunan anlamları, yeni bir teori, metafor veya mevcut kuramları destekleyen/düzelten kapsayıcı ve bütünleştirici bir model şeklinde sunulmasını sağlamaktadır (Joanna Briggs Institute, 2020).

Dolayısıyla, burada detaylı bir şekilde açıklanan tez çalışmasında; farklı kaynaklardan gelen, dağınık haldeki nitel veri ve bulguları sistematik bir şekilde bir araya getirmek suretiyle geliştirilen yeni tema, ilişkiler veya teorik perspektifleri, anlamlı bir bütün haline getirilerek, alandaki boşluk ve tutarlılıkların ortaya konmasını sağlaması bakımından, meta- analizi yöntemi tercih edilmiştir. Kullanılan meta-analizi yönteminin tez kapsamında nasıl çalışıldığı konusu, bu tezin beşinci bölümünde etraflıca açıklanmaktadır.

Ek olarak, aşağıda yer alan şekilde tez akışı verilmektedir (Bkz. Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Tez Akış Şeması

2. LABORATUVAR

Laboratuvarlar, bilimsel araştırmanın ve teknolojik ilerlemelerin yüzyıllar boyunca geçirdiği evrimi yansıtmaktadır. Orta Çağ kimyagerleri olan simyacıların ilkel çalışma mekânlarında modern araştırma tesislerinin sofistike, uzmanlaşmış ortamlarına kadar laboratuvarlar, bilim adamlarının ve araştırmacıların ihtiyaçlarını karşılamak için sürekli olarak gelişerek evrilmektedir.

Laboratuvar sisteminin gerek fiziksel gerekse işlevsel değişimleri; çağdaş laboratuvarların, disiplinlerarası çalışmalara açık yenilikçi işlevler ve mekânlarıyla; güvenlik, verimlilik, teknoloji, sürdürülebilirlik, işlev ve mekân standardizasyonları, kalite gibi konularda yeniden yapılandırılabilmeye imkân sağlayan, çağdaş toplumların ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde planlanıp uygulanmalarını zorunlu hâle getirmiştir. Bu süreç, aydınlatma/optik laboratuvarları konusunda yapılan tez çalışmasının da önemli bir olgusudur. Bu nedenle, burada yer alan tez çalışmasının ikinci bölümü olarak belirlenen “Laboratuvar” başlığı altında, laboratuvar tanımı, çağdaş laboratuvarlara temel oluşturan kısa tarihçesi, laboratuvarların sınıflandırmaları ve fiziksel ögeleri, son olarak da laboratuvarların kurumsal yapılarının oluşturulabilmesi adına var olan uluslararası ve ulusal mevzuatlar ele alınmıştır.

Aşağıda, bu tez çalışması kapsamında ele alınan ikinci bölümün alt başlıkları sırası ile incelenmektedir:

2.1. Laboratuvar Tanımı

Toplumların Dünya anlayışlarını şekillendiren ve yaşam kalitesini artırma yönünde hizmet veren çağdaş laboratuvarlar (s.1), disiplinlerarası iş birlikleri yapabilecek kapasiteye sahip, ileri teknolojiler ve profesyonel yönetim ile karakterize edilebilen dinamik bilgi üretim merkezlerine dönüşmüşlerdir (Gibbons vd., 1994). Bilimsel araştırma kurumlarının steril ortamlarından tasarım fakültelerinin tasarım merkezli laboratuvarlarına kadar çok geniş alanda, yaygın olarak karşımıza çıkan laboratuvarların; bilginin ilerletilmesini, teknolojik yeniliklerin desteklenmesini ve toplumların karşı karşıya olduğu karmaşık zorluklara çözüm bulunmasını sağlaması açısından sürdürülebilir yüksek standartlara sahip olması önemlidir.

Günümüz Dünyasının hızla değişen ihtiyaç ve zorunlulukları dikkate alındığında; araştırma öncelikleri değişen, yeniden yapılandırılabilen modüler bir yaklaşımla gelişen, ihtiyaç ve zorunluluklara karşı uyum sağlayabilecek iyi laboratuvarlar, özel olarak

tasarlanması gereken karmaşık ortamlardır (DiBerardinis vd., 2013). Çağdaş laboratuvarların, farklı fikir ve metodolojileri bütünleştiren disiplinlerarası yaklaşımı teşvik ederken geleneksel disiplinlerin sınırlarını genişletip geçirgenleşmesine sebep olmaktadır. Bu işbirlikçi ortam, farklı alanlardan araştırmacıların birlikte çalışmaları sayesinde, karmaşık sorunlara yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine geniş alan açmaktadır.

Fen bilimlerinden sosyal bilimlere¹¹ kadar geniş bir yelpazede bilgi ve teknoloji üretiminin önemli bir aracı olan laboratuvarların interdisipliner- multidisipliner ortamları; akademik araştırmacıları, endüstri ortaklarını, öğrencileri, her çeşit politika yapıcıları ve benzere çeşitli paydaşların var olduğu heterojen ve dönüşlü yapılarıdır. Günümüz laboratuvarlarının bu özelliği, farklı düşünsel perspektif ve pratiklerini bir araya getirerek, dönüşlü bir araştırma kültürünün gelişmesini sağlarken sorun çözme kapasitesini artırır. (Gibbons vvd., 1994).

Diğer taraftan, uzmanlaşmış tasarımı gerektiren günümüz laboratuvarlarının evrilme sürecinde teknolojik gelişmeler önemli bir etkindir. Bu tez çalışmasının 3. bölümünde incelenen ışık ve aydınlatma konusunda açıklandığı üzere, 19.yy'da görünür ışığın tekrarlanabilir ve güvenilir ölçümlerinin yapılabilmesine imkân sağlayan fotometre gibi temel aletlerin geliştirilmesi, optik laboratuvarlarında bir çığır açmıştır. Bu sayede ışık ölçümü için standart prosedürlerin ve kalibrasyon yöntemlerinin oluşturulmasının önü açılmıştır (Johnston, 2001). Öyle ki sadece son iki yüz yıl içinde, hızla gelişen bilimsel ve teknolojik gelişmeler sonucu ortaya çıkan laboratuvarlar, kullanılan teknoloji ve ihtiyacı olan altyapılarıyla 19.yy'da tahmin edilmesi neredeyse imkânsız bir noktaya taşınmıştır.

Elektronik teknolojileri ve hemen arkasından gelen dijital teknolojiler için I. ve II. Dünya Savaşları bir çeşit itici güç olmuştur (Boot, 2006). Özellikle dijital teknolojilerin gelişimi, laboratuvarlar için yeni bir devrim niteliğinde değişimlere yol açmıştır. Dijital teknolojilerle birlikte yeni bilim alanları gelişmiş (bu gelişim beraberinde yeni hiyerarşik ilişkileri de getirmektedir. Organic Electronics, Nanotechnology, Synthetic ve

¹¹Fransız felsefeci ve sosyolog Bruno Latour'in, 1970'lerin ikinci yarısında, 2 yıl boyunca Roger Guillemin'in biyoloji laboratuvarında yaptığı çalışma sonucu 1979 yılında "Laboratory Life" adında (Latour ve Woolger, 1979), özellikle bilim ve teknoloji alanında yaptığı çalışmalarına ait ilk kitabını yayınlamıştır. Biyoloji alanında sosyolojik bir çalışma yapmak üzere başladığı araştırma sürecini, sosyolojiyi biyolojik olarak görmeye başlamasıyla bitirmiştir. Latour, 1982 ile 2006 yılları arasında École Nationale Supérieure des Mines de Paris enstitüsünde yer alan ve sosyolojik araştırma merkezi olan Centre de Sociologie de l'Innovation' dersler verdi (Latour, Erişim tarihi: 25.11.2025).

Quantitative Biology veya Robotic yeni alanlara örnek verilebilir), araştırma ve tasarım alanlarının kullandıkları laboratuvarlarda büyük değişikliklere gidilmiştir. Bilgisayar teknolojileri ve bilişim sistemleri, gerekli ekipman ve altyapılarıyla dijital kalibrasyonlar, ergonomi, bilgisayar modelleme, sayısal tasarım, 3d yazıcılar, cnc makineleri ile prototipleşme veya üretimi, malzeme ve üretim araştırma teknikleri, veri kullanım yöntemleri, dijital test ve değerlendirme araçları, karmaşık veri setlerinin analizi gibi birçok işlevi, birbirleri ile ağ kuracak şekilde var olan laboratuvar sistemlerinin içine entegre edilmiştir (J. Budd, 2011) (Kennesaw State University, 2021). Çağdaş laboratuvarların sahip oldukları karmaşık yapıları içinde araştırma çıktılarının kalite ve güvenliğinin sağlanması önemli bir meseledir. Bu nedenle laboratuvarların amacına uygun veri teknolojilerinin kullanıldığı profesyonel çalışma merkezleri olarak çalışmaları önemlidir. Sıkı standart protokollerine bağlı kalınması, doğru kayıtların tutulması ve iyi kalite kontrol mekanizmalarının kurulması önceliklidir. Bu sayede veri kayıpları enaza indirilerek verimin artması imkânlı hâle gelmektedir.

Profesyonel laboratuvarlarda verimliliği artmasını sağlayan diğer bir etken, alanda profesyonel personelleri ve bu personellerin iş birlikleri oluşturabilecek özgür, güvenli çalışmaları sağlayacak ortamlara sahip olmasıdır. Laboratuvarların profesyonel yönetimi, bilimsel topluluk içinde ve ötesinde güveni ve inanılabilirliği teşvik ederek bilimsel araştırmanın bütünlüğünün korunmasına yardımcı olur (DiBerardinis vd., 2013).

Diğer yandan, laboratuvar tasarımı konusunu ele alan çalışmaların geneli, iyi tasarlanmış bir laboratuvarın; desteklediği araştırmanın özel gereksinimlerini karşılaması, güvenlik ve verimliliği sağlaması, aynı zamanda inovasyonu ve işbirliğini teşvik etmesi gerektiğini not düşmektedir (DiBerardinis vd., 2013). Laboratuvarların bu şartları sağlayabilmesine olanak tanıyan fiziksel, çevresel, personel, güvenlik, esneklik ve erişilebilirlik gibi konularda sürdürülebilir ve gerektiğinde yenilenebilir şekilde tasarlanması, çalışma ihtiyaçlarını kendi kaynaklarının verimli kullanımıyla sağlayabilmesi, günümüzde ihtiyaç hâline gelmiştir.

Bir nev'i entegre tesis gibi çalışan günümüz laboratuvarları (bu düzey laboratuvarlar içinde CERN¹² en büyüklerden biri konumundadır); gelişen araştırma ihtiyaçlarını,

¹²CERN; The European Organization for Nuclear Research (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi). 1954 yılında Cenevre'de kurulan, Dünya'nın en büyük parçacık fiziği laboratuvarı. 23 üye, 12 ortak üye ile toplamda 45 ülkenin katkı sağladığı CERN merkezinde yapılan araştırmalar çok çeşitli alanlarda teknolojiler geliştirmiştir. Meyrin'deki ana site, öncelikle deneylerden elde edilen verileri depolamak ve analiz etmenin yanı sıra olayları simüle etmek için kullanılan büyük bir bilgi işlem tesisine ev sahipliği yapmaktadır. Araştırmacıların bu tesislere uzaktan erişimini sağlayabilme adına, büyük bir geniş alan ağı

alanların belirlediği standartları sağlayabilmek ve bu sonuçlara erişme adına etkili operasyonlar yapabilmek için sürdürülebilirlik, akreditasyon ve kalite uygulamalarını benimsemeleri gerekmektedir. World Health Organization, WHO¹³ (Dünya Sağlık Örgütü, DSÖ)'nun vurguladığı üzere, çevre etkisinin enaza indirilmesi, kaynakların korunması ve halk sağlığı için sürdürülebilirlik uygulamaları vazgeçilmezdir (WHO, 2020). Diğer yandan, ISO veya OECD gibi uluslararası örgütlerin geliştirdiği akreditasyon veya kalite standartlarına bağlı kalmak; laboratuvar sonuçlarının, çeşitli uygulamalar altında güvenlik ve etkinliğini sağlarken, ilgili alanda çalışan profesyonellerin, elde edilen sonuçlara güven duymasına da yol açar (ISO, 2022). Ayrıca günümüz laboratuvarlarının; uluslararası kabulü teşvik etmesi, kamu güvenliğini oluşturması, verimliliği ve var olan, değişen düzenlemelere uyumunu arttırılması gibi başlıklarda bir standarda ulaşılması ve bunun uluslararası akreditasyon kurumlarının referansları ile destekleniyor olması önemlidir (OECD, 1998).

Yukarıda, tez konusu çerçevesinde ele alınan çağdaş laboratuvarların ulaştığı yapılara ve içerdiği ögelere, standardizasyon ve akreditasyon, kalite uygulamalarına kısaca değinilmiştir. Bu bölüme ait diğer alt başlıklarda, tezin ana amacına uygun olarak, laboratuvar kavramı ve kısa tarihi, laboratuvarların sınıflandırma ölçütlerinin ve tasarım öğelerinin neler olduğu, laboratuvarların var olan uluslararası ve ulusal resmî mevzuatları konusunda açıklamalar getirilmektedir.

2.2. Laboratuvar Gelişimi ve Kısa Tarihi

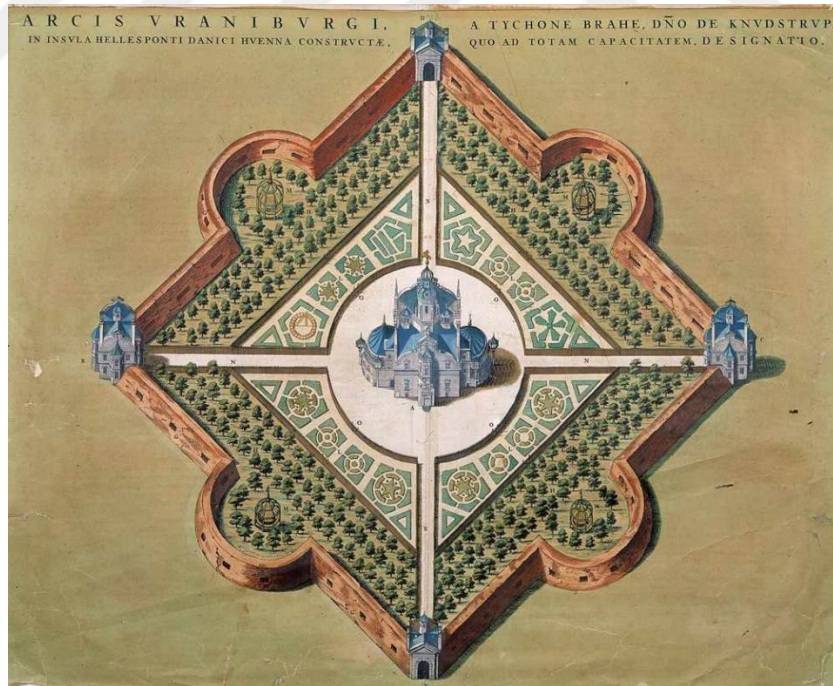
Dilbilim açısından laboratuvar terimi birden fazla anlam içermektedir: Latince'de “laborare” kelimesinden gelen kelime “çalışmak”, “acı çekmek” anlamına gelir (Heinekamp, 2015). Bilim tarihi içinde laboratuvarın uzun bir geçmişi vardır. Başlangıçta, ilaçların hazırlandığı veya farklı kimyasal maddelerin yapıldığı bir çeşit kimyager veya eczacının atölyesi olarak adlandırılan laboratuvarın, uzun bir gelişim tarihine sahiptir. 14.yy.'da “laboratorium” terimi basit bir görev veya iş anlamında

merkezi olmuştur. CERN'de araştırmacılar için kurulan geniş alan ağı merkezi aynı zamanda World Wide Web internet sisteminin doğmasına neden olmuştur (CERN, Erişim tarihi: 25.11.2025; Gillies, Cailliau, 2000). WWW internet sistemi dışında en çok bilinen teknolojileri Tıp teknolojisinde geliştirilen tıbbî teşhis ve görüntüleme sistemleridir.

¹³WHO; World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü, Türkçe'de DSÖ olarak da kullanılmaktadır) UN'in bir alt kuruluşu olan WHO, 1945 yılında kurulan, uluslararası halk sağlığında uzmanlaşmış uluslararası bir kurumdur. Örgütün, uluslararası sağlık teşkilatları ve UN üye ülkelerin ulusal sağlık kurumlarından oluşan 192 üyesi bulunmaktadır (WHO, Erişim tarihi: 25.11.2025).

kullanılırken, 15.yy.'ın ortalarına gelindiğinde, bu terim özellikle ağırlıklı olarak Hristiyan mezheplerine bağlı (Benediktin, Dominiken, Fransisken vb) manastırlarda el yazması üretimi, ilaç hazırlama, ahşap, cam, lens ve metal işleri gibi alanlarda faaliyetlerin yürütüldüğü atölyeler için kullanılmaya başlanmıştır. 16.yy.'a gelindiğinde laboratorium kavramının daha özel bir anlam kazandığı görülmektedir. Başta simyacılar, eczacılar ve metalürji uzmanlarının çalışma alanlarını ifade etmekteydi. Zamanla, doğa bilimlerine ilgi arttıkça, bu terim, deneylerin ve bilimsel araştırmaların yapıldığı, çeşitli araç-gereçlerle donatılmış tüm mekânları kapsayacak şekilde genişlemiştir (Schmidgen, 2025).

Danimarka Kralı II. Frederick'in desteğiyle 1576–1580 yılları arasında Ven Adası'nda (Øresund Boğazı) kurulan, kendisi de Danimarkalı olan astronom Tycho Brahe'nin¹⁴ Çalışma Atölyesi ve Uraniborg Araştırma Merkezi (Bkz. Görsel 2.1); ayrı katlarda simya, matematik ve astronomi çalışmalarının yapıldığı üç katlı şato tasarımına sahip olan, yenilikçi alet ve tekniklerin kullanıldığı mekân, laboratuvar teriminin modern anlamına en yakın tanıma sahipti (Thoren, 1990).



Görsel 2.1. Uraniborg Araştırma Merkezi (Thoren, 1990)

¹⁴Tycho Ottesen Brahe (1546 -1601); teleskobun icadı öncesinde çıplak gözle isabetli astronomik gözlemler yapmış olan, bir dönem Johannes Kepler'in asistanlığını yapan, Danimarkalı gökbilimci, simyacı, astronom (Thoren, 2025).

Laboratuvarların gelişim sürecinde Wilhelm von Humboldt¹⁵, Bildung felsefesiyle eğitim alanına (özellikle yüksek eğitim) getirdiği yenilikler çığır açmıştır (Bkz. Görsel 2.2). "Bildung felsefesi", Humboldt'un eğitim düşüncesinde bireylerin bütünsel gelişimini vurgulamak üzere geliştirdiği bir kavramdır. Humboldt'un Bildung felsefesine göre bireyin yaşamı içinde entelektüel, ahlâkî ve estetik yetilerini birlikte geliştirilebilmesidir.



Humboldt geliştirdiği bu felsefeye bağlı olarak, eğitimin; kişisel gelişimi, yaşam boyunca öğrenmeyi ve entelektüel merakları teşvik etmesine; bireyin bilgili ve adil kararlar verebilecek şekilde ahlâkî değerleri ve etik davranışlarını geliştirebilmesine, sanatın

36

takdir edilip yaratıcılığın teşvik edilebilmesine, bireyin edinimlerinin günlük pratiklerinde başarılı olmasına; bireylerin potansiyellerini gerçekleştirmelerine ve topluma katkıda bulunmalarına olanak sağlaması gerektiğine inanıyordu (Humbolt, 2017).

Humboldt'un siyaset ve eğitim, modern eğitim teorisi ve pratiğinin gelişimi üzerindeki derin etkisini yansıtan önemli yazılarını içeren "Schriften zur Politik und zum Bildungswesen-Werke in fünf Bänden" adlı kitapta (Humbolt, 1960), Humboldt'un detaylıca açıkladığı Bildung felsefesi, özellikle bireyin (öğrencinin, tasarımcının, düşün insanlarının) eleştirel düşünme becerilerinin ve yaratıcı problem çözme yeteneklerinin geliştirilmesine büyük katkı sağlamıştır. Humboldt'un yaptığı bu çalışmalarını ortaya koyduğu ilk günden buyana, bireyin eğitimi ve eğitim bilimleri ile ilgili alanlar dışında da etkisini göstermiştir ve göstermeye devam etmektedir. Öyle ki büyük Alman besteci Richard Wagner'in¹⁶ "Gesamtkunstwerk" teorisinin arka planında Humboldt'un "Bildung" felsefesinin izlerinin bulunması hiç şaşırtıcı olmamıştır (Lederer, 2014).

Modern eğitim sistemlerinin gelişiminde önemli bir isim olan Wilhelm von Humboldt, yüksek öğrenimi, araştırma süreçlerini ve laboratuvarların kurulmasını derinden etkileyen birçok yenilikçi kavramı getirmiştir. Humboldt'un "*Schriften zur Bildung*" (Humbolt, 2017) dâhil olmak üzere eserlerinde açıkladığı fikirleriyle ortaya koyduğu yüksek öğrenim modelinde yer alan eğitim reformları; Bütünsel Eğitim, Eğitimde özgürlük, Öğretim ve Araştırma Birliği, Araştırmaya Dayalı Üniversite Eğitimi, Disiplinlerarası Yaklaşım, Pratik Uygulamalar, Uzmanlaşmış Üniversite Laboratuvarlarının Gelişimi, Amaca Yönelik Laboratuvar Kurulumları, Laboratuvarların Amacına Uygun Ekipman ve Kaynakların Sağlanması, Laboratuvarlarda Hiyerarşinin Gelişimi gibi başlıklarla sıralanabilir. Humboldt reformları, modern araçlarla donatılmış ve uygulamalı öğrenmeyi ve disiplinlerarası iş birliğini teşvik etmek için tasarlanmış özel laboratuvarların geliştirilmesine yol açmıştır. Bu değişiklikler yalnızca ileri düzey bilimsel araştırmalarla kalmayıp, aynı zamanda modern araştırma üniversitesi modeli için de bir emsal oluşturarak, yüksek öğrenimi küresel olarak etkilemiştir (Berkel ve Homburg, 2023).

¹⁶Richard Wagner (1813 – 1883); Alman besteci, tiyatro direktörü, müzik teorisyeni ve yazarı. Richard Wagner tarafından geliştirilen Gesamtkunstwerk teorisi, tüm sanat dallarının birleştiği "bütünsel sanat eseri" anlamına gelen bir kavramdır. Wagner, bu terimi, müzik, şiir, dans, tiyatro ve görsel sanatları birleştirerek tek bir sanatsal ifade oluşturma amacıyla kullanmıştır (World History Encyclopedia, Erişim tarihi: 25.11.2025).

19.yy.'ın başında laboratuvarın gelişimini tetikleyen iki unsurdan biri olarak ortaya çıkan, mevcut üniversitelerin reforme edilmesi, yalnızca bilginin toplandığı ve düzenlendiği kurumlar olmaktan çıkarak bilimsel ve teknik araştırmaların yapıldığı merkezlere dönüşen yeni üniversitelerin kurulmasıydı (Schmidgen, 2025). Geliştirdiği yüksek eğitim vizyonu, ortaya koyduğu ilkeleriyle söz konusu dönüşümün sebebi olan Humboldt; geliştirdiği bu vizyona uygun eğitim uygulaması olarak 1810'de, şimdiki adı Berlin Humboldt Üniversitesi olan Dünya çapında araştırma üniversiteleri için bir model oluşturan Berlin Üniversitesini kurmuş ve kısa bir süre içinde üne kavuşmuştur.

Humboldt'un tetiklediği bu süreçte laboratuvarların gelişimini etkileyen diğer bir unsur ise var olan özel araştırma laboratuvarları ve bireysel eğitimlerinin yüksek başarıları olmuştur. Alanlarında uzman, araştırma azimleri yüksek üniversite öğretim görevlilerinin kendi inisiyatifleriyle kurdukları bu laboratuvarlar, zamanla genişleyip bir laboratuvar ağı oluştururken, bir kısmı reforme edilen üniversitelerin bünyesine katılmıştır olduğu görülür. Bu konuda en iyi örnek laboratuvar, Justus Freiherr von Liebig'in¹⁷ kimya laboratuvarıdır (Schmidgen, 2025).

Alman bilim insanı Liebig'in kimya alanındaki öncü çalışmaları ve laboratuvar öğretimine yönelik yenilikçi yaklaşımları, Humboldt'un yaklaşımları üzerinden gelişmiştir. Humboldt'tan desek ve teşvik gören Liebig 1825 civarında, Giessen Üniversitesi'nde alanında ilk olmak üzere organik ve ziraî kimya alanında kurduğu laboratuvarı (Bkz. Görsel 2.3), araştırma ve eğitim- öğretim yönteminin temellerini inşaa etmiştir. Yaptığı çalışmalar içinde kimya laboratuvarlarında önemli bir araç olan Liebig yoğunlaştırıcıyı geliştirmiştir (Rocke, 2023).

¹⁷Justus Freiherr, Baron von Liebig (1803 – 1873); Alman kimyacı. Organik bileşiklerin analizine, kimyanın biyoloji ve tarıma uygulanmasında, laboratuvar tabanlı kimya eğitiminin geliştirilmesi ve organizasyonunda reform niteliğinde katkılar sağlamış, kimya alanında “Justus Liebig's Annalen der Chemie” adlı ilk önemli dergisini kuran, Fransız kimyager ve eczacı olan Eugène Soubeiran ile anestezi kloroformu keşfeden bilim insanı (Brock, Erişim tarihi: 25.11. 2025).



Görsel 2.3. *Liebig kimya laboratuvarı, Giessen Üniversitesi (EuChemS, 2025)*

Üniversitelerde laboratuvarların açılıp çalışmaya başlaması, disiplini, doğruluğu ve kararlılığı vurgulayan yeni eğitim uygulamalarını da beraberinde getirmiştir. Bu nitelikler bilimsel çalışma için, yeni ortaya çıkan bilimsel disiplinleri şekillendirmek ve saf dehâdan ziyade çalışkan ve titiz çalışmayla karakterize edilen yeni bir bilimsel kişilik yaratmak için gerekli görülüyordu. Laboratuvar devrimi, entelektüel emek ile kol emeği arasındaki geleneksel ayrımında önemli bir değişime işaret etmekteydi. İlk kez öğrencilerden ve araştırmacılardan bilimsel eğitimlerinin bir parçası olarak uygulamalı deneysel çalışmalar yapmaları bekleniyordu (Lunteren, 2023). Kimyacı Liebig, bu dönüşümde öne çıkan isimlerden biriydi. 1825 yılında kimya profesörü olduğu Giessen Üniversitesi'nde bir “farmasötik eğitim”¹⁸ laboratuvarının kurulmasını önermiştir. Başlangıçtaki direnişe rağmen, modeli başarılı oldu ve sonunda diğer üniversiteler tarafından benimsenmesiyle, bilimsel eğitimin temel taşı hâline gelmiştir (Lunteren, 2023).

Liebig'in Giessen'deki laboratuvarı; araştırma ve öğretimi tek bir alanda birleştiren ilk laboratuvarlardan biriydi. Bu model, laboratuvarların hem eğitimi hem de bağımsız araştırmayı kolaylaştıracak şekilde tasarlanmasını ihtiyaç olarak vurgularken, gelecekteki laboratuvarların tasarımını Avrupa çapında etkilemiştir.

Giessen'deki kimya laboratuvarı mekânsal anlamda; çeşitli kimyasal deneylerin sağlıklı yapılabilmesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Liebig'in farklı türdeki

¹⁸Farmasötik; canlılarda görülen hastalıkların teşhisinde, tedavisinde ayrıca hastalıkların önlenmesinde, organik fonksiyonların onarılmasında, değiştirilmesinde veya düzeltilmesinde, canlı organizmasında kullanıldığında sonuç olarak biyolojik etki üreten kimyasal maddeler, ilaç. Farmasötik Bilimi; ilaçların tasarımı, üretimi, etkisi, dağılımı, sınıflandırılması ile ilgilenen bilim alanıdır. Disiplinlerarası bir alandır (TDK, 2015). Farmasötik eğitimi ise her türlü tıbbi ilaç konusunda farmasötik biyoloji, farmasötik kimya veya farmasötik teknoloji (ilaç üretim süreci) gibi farmasötik biliminin her alanında verilen eğitim (Northeastern University, Erişim tarihi: 25.11.2025).

kimyasal reaksiyonlar ve analizler için özel alanlar oluşturma anlayışı ileri düzey araştırma faaliyetlerini desteklemek amacıyla eğitim alanlarının fiziksel yapısını geliştirmiştir. Dolayısıyla, Liebig'in Giessen modelinin öğretim ve araştırmayı tek bir mekân içerisine entegre etmesi, öğrencilerin uygulamalı- araştırma projelerine aktif katılım yoluyla öğrenebilecekleri, geniş ve açık laboratuvar alanlarının gelişimine öncü olmuştur. Diğer taraftan Liebig'in; laboratuvarların mekânsal organizasyonunda verimliliği ve güvenliği incelemesi, kaynakların daha iyi yönetilmesine olanak tanırken öğrenci ve araştırmacılar için daha güvenli bir çalışma ortamı sağlamıştır (Rocke, 2023). Burada Giessen Modeliyle kısaca dile getirilen fiziksel gelişmeler Avrupa üniversitelerinde, çeşitli bilimsel disiplinlerin özel ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış, amaca yönelik laboratuvar binalarının inşasına sebep olmuştur. Ayrıca, bu laboratuvar binaları özel araç, gereç ve cihazlarla donatılırken hem öğretimi hem de büyük ölçekli araştırma projelerini destekleyecek şekilde tasarlanmıştır (Luntenen, 2023).

Liebig, geliştirdiği Giessen modeliyle laboratuvarlarda standardizasyonunun geliştirilmesini sağlamıştır. Söz konusu standardizasyon; öğrencilerin ve araştırmacıların tutarlı metodolojiler içeren deneyler yapmalarını ve ekipman kullanımına ilişkin standartlaştırma prosedürlerini içermektedir. Bu standardizasyon sisteminin diğer üniversiteler tarafından benimsenmesiyle, kimya araştırmalarında takip ve kontrol edilebilir tek tip yaklaşımın ortaya çıkmasını sağlamıştır. (Berkel ve Homburg, 2023).

Liebig; Humboldt'un yüksek eğitim anlayışı temelinde geliştirdiği uygulamalı bilimsel araştırmayı içeren eğitim modelinde, öğrencilerinin yüksek kalitede araştırma becerileri geliştirmelerini sağlayacak ciddi bir eğitime önem vermiştir. Liebig'in bu eğitim anlayışı; laboratuvarlarda üretilen işin genel kalitesini toplu olarak iyileştiren titiz belgelendirme, hassas ölçüm ve standartlaştırılmış protokollere bağlılığı içermektedir (Rocke, 2023).

Humboldt'un yüksek eğitime getirdiği çağdaş anlayış ve Liebig'in kimya alanında ortaya koyduğu uygulamalı eğitim modeliyle, laboratuvarların üniversite kampüslerine entegrasyonu, amfiler, kütüphaneler ve idari ofisler dâhil olmak üzere destekleyici altyapının geliştirilmesini gerektirmiştir. Bu kapsamlı yaklaşım, laboratuvarların izole varlıklar olmaktan ziyade, üniversitenin daha geniş hedeflerini destekleyen uyumlu bir eğitim ekosisteminin parçası olmasını sağlamıştır.

Liebig'in kurduğu laboratuvarın başarısı tüm Avrupa'ya yayılmıştır. Münih Ludwig Maximilian Üniversitesi, Göttingen Üniversitesi ve benzeri dönemin önemli

üniversiteleri, altyapılarına özel laboratuvar alanları eklerken; geleneksel derse dayalı eğitimden, deneysel çalışmaya dayalı ampirik yaklaşıma geçiş sağlamışlardır. Bu konuda Cambridge Üniversitesi'nin 1874 yılında kurduğu Cavendish Laboratuvarı (Bkz. Görsel 2.4) önemli bir örnek oluştururken, fizik araştırmalarında da önemli bir dönüm noktasını inşaa etmiştir.

Cavendish Laboratuvarı, laboratuvarların fiziki gelişiminde, bilimsel çalışmalara uygun mekân ve altyapıların sağlanması açısından önemli bir rol oynamıştır. Laboratuvarın ilk yöneticisi olan James Clerk Maxwell¹⁹ laboratuvarın tasarımını dönemin bilimsel ihtiyaçlarına göre düzenlemiştir. Maxwell kurduğu laboratuvarda, deneysel fizik çalışmaları için gerekli olan ekipmanların yerleştirileceği ve rahat kullanılabileceği geniş odalar ve iyi aydınlatılmış alanlar talep etmiştir. Bu sayede araştırmacılar, daha büyük ölçekli deneylerin gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Laboratuvar; kimya, biyofizik ve malzeme bilimi gibi disiplinlerde de çalışmaların yürütüldüğü bir merkez hâline dönüşmüştür. Zaman içinde, çalışmaların yürütüldüğü bilim dallarının her biri için farklı laboratuvar bölümleri kurulmuştur. Örneğin, elektrik ve manyetizma üzerine yapılan deneyler için manyetik gürültüden uzak alanlar oluşturulurken, kimyasal deneyler için özel havalandırma ve güvenlik önlemleri alınmıştır. Laboratuvarın; farklı disiplinlerin laboratuvarlarını içeren fiziki yapısı, bilim insanlarının ortak projelerde birlikte çalışmasına ve farklı bakış açılarını birleştirmesine alan açmıştır (Crowther, 1974; Nature Publishing Group, 1874).

Cavendish Laboratuvarı, o dönemde kullanılan en ileri teknolojik cihazlara göre tasarlanmış bir laboratuvar olarak alanında tarihe geçmiştir (Bkz. Görsel 2.4). Elektrik devreleri, hassas ölçüm cihazları ve optik ekipmanların yerleştirilebileceği mekânsal düzenlemeler yapılmış, geniş kapsamlı deneyler için uygun alanlar tasarlanmıştır (Crowther, 1974).

¹⁹James Clerk Maxwell (1831 – 1879); elektromanyetik ve ışığın ilişkili olduğunu belirleyen ve bunu Maxwell Denklemleri olarak adlandırılan 4 denklemle ispat eden, elektromanyetik radyasyonun teorisini ortaya koyan, İskoç fizik ve matematikçi. 1865 yılında “Elektromanyetik Alanın Dinamik Teorisi” adlı makalesinde, elektrik ve manyetik alanların ışık hızında dalgalar şeklinde hareket ettiğini ispat eder. Optik alanında derin çalışmalar yapan Maxwell, renk kuramını geliştirmiştir. Gazların kinetik teorisinin yönlerini tanımlamanın istatistiksel yolunu bulan ilk kişi olarak, 1855 yılında yazdığı makalede öne sürdüğü uygulamada tüm renklenme süreçlerinde üç renkli yöntemi (kırmızı, mavi, yeşil) tanımlamış, 1861 yılında bir konferansta ilk kez dayanıklı renkli fotoğraf baskısını gerçekleştirmiştir. Modern elektrik mühendisliğinin kurucularından biri olarak kabul edilen Maxwell, Kuantum Teorisine öncülük eden bilim insanlarından biridir (Flood, McCartney ve Whitaker, 2014).



Görsel 2.4. *Cavendish Laboratuvarı, Cambridge Üniversitesi (Crowther, 1974)*

Cavendish Laboratuvarında, özellikle radyoaktif maddelerle yapılan deneylerde, güvenlik önlemleri büyük önem taşımıştır. Deneyler sırasında, radyoaktif maddelerle çalışırken alınan güvenlik önlemleri ve özel izolasyon alanları, çalışanları için daha güvenli çalışma alanı sağlarken, modern laboratuvarda güvenlik standartlarının gelişimine de katkıda bulunmuştur. Ayrıca, laboratuvar güvenliği için gerekli olan ergonomik düzenleme konusunda ilk uygulamalar da Cavendish laboratuvarında görülmüştür. Diğer yandan, laboratuvarda yapılan güvenlik amaçlı düzenlemelerle, ekipmanların kolay erişilebilir ve kullanıcı dostu olması sağlanmıştır. Özellikle hassas ölçümler gerektiren deneylerde, araştırmacıların rahat çalışabilmesi için masalar, ışıklandırmalar ve cihaz yerleşimleri ergonomik olarak düzenlenmiştir (Nature Publishing Group, 1874).

Maxwell'in kurduğu bu laboratuvarda interdisipliner ve multidisipliner çalışmaların yapılmasına olanak tanıyan ortak deney alanları da düzenlenmiştir. Ayrıca, laboratuvarlarda çalışan bilim insanlarının, teknik ekibin ve araştırmacıların ortak deney alanları dışında bir araya gelip tartışmalar yapabileceği ortak alanlar da tasarlanmıştır (Nature Publishing Group, 1874). Laboratuvarın mekânsal kurulumunda yapılan düzenlemelerde; öğrencilerin ve araştırmacıların, bilim insanlarının çalışma laboratuvarları planlanmıştır. Uzun yıllar boyunca, özel olarak inşaa edilen binada çalışmalarına devam eden Cavendish Laboratuvarı, 1974 yılında modern fizik çalışmalarının fiziki ihtiyaçlarına ve gerekli ileri teknolojik altyapıya uygun olarak inşaa edilen yeni binasına geçmiştir (Crowther, 1974).



Görsel 2.5. *Volkswirtschaftslehre, Universität Zürich (Universität Zürich, 2025) ve Bilgisayar Bilimleri Enstitüsü, Universität Zürich (UZH Archiv, 2025)*

Cavendish Laboratuvarı konusu; optik laboratuvarı olması nedeniyle ileride tekrar ele alınmak üzere burada noktalananarak, laboratuvar konusunda çok önemli gelişmelere kaynaklık eden diğer kurumlardan öne çıkanların bazılarını aşağıda değinilmiştir.

Universität Zürich, UZH (Zürich Üniversitesi) ve Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ETH Zürich (İsviçre Federal Politeknik Enstitüsü)'de başta Humboldt'un eğitim politikaları olmak üzere, Liebing'in teorik-uygulamalı kimya eğitim anlayışı etkisi altında kurulmuştur (Bkz. Görsel 2.5).

1833 yılında kurulan Zürich Üniversitesi'nde kimya dersleri ve laboratuvarları temel bir bilimsel disiplin olarak hızla gelişmeye başlamış, böylece kimya, deneysel ve teorik araştırmaların yürütüldüğü bir bilim dalı hâline evrilmiştir.

1855 yılında kurulan ETH Zürich ile pratik laboratuvar eğitimi, mühendislik ve teknik bilimlerle bütünleştirilerek öğrencilerde hem deneysel beceriler kazandırması hem de teorik bilgileri pratiğe dönüştürmesi sağlanmıştır. Enstitü, 19.yy.'ın sonlarına doğru, kimya alanında dünya çapında bir araştırma merkezi hâline gelmiştir. Bilimsel araştırmaların desteklenmesi, laboratuvar mekânlarının gelişmesiyle mümkün olmuştur. Bilim Dünya'sındaki gözlenen bu finansal gelişme özellikle, ETH Zürich'in modern laboratuvar altyapısında büyük rol oynamıştır (Ramberg, 2023).



Görsel 2.6. *Campus Zentrum, ETH Zürich (ETH Zürich, 2025) ve ETH Zürich Kimya Laboratuvarı (Look and Learn, 2025)*

19.yy.'ın sonu ve 20.yy.'ın başında, bilimsel araştırma desteklerinin artması nedeniyle Zürih Üniversitesi ve ETH Zürih'de, öğrenci ve araştırma projelerinin sayılarının artmasıyla laboratuvarlarını genişletmek ve çağdaşlaştırmak zorunda kalmıştır. Yeni binalar inşaa edilmiş, mevcut laboratuvarlar genişletilmiştir. Özellikle 20.yy.'ın başlarında, her iki kurumda da modern laboratuvar ekipmanlar kullanılmaya başlanmıştır. Elektrikli cihazlar, hassas ölçüm aletleri ve kimyasal analiz cihazları, bu laboratuvarların bilimsel üretkenliğini arttırmıştır (Bkz. Görsel 2.6). Her iki üniversite de uluslararası alanda işbirliği projelerinde yetkin merkezler hâline dönüşmüştür. Özellikle ETH Zürih, Dünya çapında bir araştırma merkezi hâline gelerek, çeşitli ülkelerden gelen bilim insanlarının araştırmalarını yürüttüğü bir araştırma üniversitesine dönüşmüştür (Ramberg, 2023).

Zürih Üniversitesi ve ETH Zürih, her ne kadar bağımsız kurumlar olsa da kimya laboratuvarlarında işbirliği yaparak bilimsel araştırmalara katkıda bulunurken, bazı laboratuvarların ortak kullanımı sayesinde öğrenci ve araştırmacıların ortaklaşmalarına alan açarak, interdisipliner laboratuvar araştırmalarına olanak sağlamıştır. Bu çalışmalar kısa süre sonra ETH Zürih'in mühendislik ve malzeme bilimi uzmanlığı ile Zürih Üniversitesi'nin tıp uzmanlığı birleşerek medikal cihazlar, biyomekanik sistemler ve yapay organlar gibi alanlarda yenilikçi araştırmaların yürütüldüğü, Medtech (Tıp Teknolojileri) Araştırma laboratuvarları kurulmuştur. Bu gelişmelere ek olarak her iki üniversite; biyolojik verileri analiz eden ve biyoteknoloji alanındaki laboratuvar araştırmalarına öncülük eden Swiss Institute of Bioinformatics, SIB (İsviçre Biyoenformatik Enstitüsü) katılarak multidisipliner araştırma laboratuvarlarının gelişimine büyük katkı sağlamıştır.

Pierre Laszlo tarafından yazılan, “A Fertile Ecosystem: University Chemical Laboratories and their Suppliers in Fin-de-Siècle Paris” adlı inceleme yazısında anlaşıldığı üzere, modern laboratuvarların gelişimine ön ayak olmuş Avrupa eğitim kurumlarından biri de Société Chimique de France (Fransa Kimya Derneği) tarafından desteklenen ve kurulan laboratuvarlardır. 1857’de Fransız kimya araştırmalarını desteklemek amacıyla kurulmuş dernek, Fransa’da kimya biliminin gelişiminde ve laboratuvarların modernleşmesinde önemli bir rol oynamış ve laboratuvarların kamu kurum ve kuruluşlarına hizmet etmesine alan açmıştır. Dernek, 19.yy.’ın sonlarına doğru üniversitelerdeki laboratuvarların fiziki genişlemesini teşvik etmiştir. Özellikle Sorbonne Üniversitesi gibi önde gelen akademik kurumlarda kimya laboratuvarlarının genişletilmesi için yapılan projelerde laboratuvarların modern araştırmalar için yeterli büyüklüğe ve donanımına sahip olmasını sağlayacak şekilde yeniden düzenlenmesini teşvik etmiştir. Mekânsal tasarımda, laboratuvarların araştırmacılar için daha verimli hâle getirilmesi amacıyla, iş akışına uygun ergonomik düzenlemeler önermiştir. Fransa Kimya Derneği, laboratuvarların bilimsel araştırmalarda daha ileri düzeyde sonuçlar elde edebilmesi için gelişmiş ekipmanların kullanılmasını teşvik etmiş, bu konuda laboratuvarların ihtiyacı olan hassas ölçüm cihazları, distilasyon aletleri, kromatografi cihazları gibi ekipmanların temini için hem yerel hem de uluslararası tedarikçilerle işbirliği yapmıştır. Dernek, kimyasal malzemeler ve laboratuvar ekipmanları tedarikçileriyle yakın ilişki kurarak, bu tedarikçilerin laboratuvarların ihtiyaçlarına hızlı ve kaliteli çözümler sunmasını sağlamıştır. Bu çalışmalar sayesinde üniversite laboratuvarlarının ekipman tedarik sürelerini kısaltmış ve maliyetleri azaltmıştır. Özellikle hassas cam eşyalar ve kimyasal maddelerin güvenli ve sürekli tedariki, laboratuvarların operasyonel verimliliğini artırmıştır. Bu çalışmaların bir diğer çıktısı ise yeni makine, ekipman tasarım ve üretim çalışmalarının başlaması olmuştur (Laszlo, 2023).

Dernek, laboratuvarlarda kullanılan altyapı sistemleri için ulusal standartlar geliştirilmesine öncülük etmiştir. Kimyasal deneylerin daha güvenilir ve tekrar edilebilir olmasını sağlamak için kalite ve güvenlik standartları belirlemiştir. Bu standartlar, kimyasal reaksiyonlar sırasında oluşabilecek tehlikeler için güvenlik önlemlerinin alınmasını ve laboratuvarlarda sistematik bir yaklaşım benimsenmesini sağlamıştır (Bkz. Görsel 2.7) . Buna bağlı olarak laboratuvar altyapılarının elektrik, su ve gaz sistemlerinin güncellenmesi gibi teknik düzenlemeler, kimyasal deneylerin güvenli bir şekilde

yürütülebilmesine olanak tanımıştır (Laszlo, 2023). Diğer taraftan, bilim insanları ve laboratuvarlar arasında iletişimi, iş birliğini teşvik etmiş, laboratuvarların bilgi paylaşımı ve ekipman temini açısından birbirine destek olmasını sağlamıştır.



Görsel 2.7. Paris Belediye Kimya Laboratuvarı. Ferdinand Gueldry'nin (1858- 1945) resminde 1887 yılındaki şekliyle görülmektedir. Laboratuvarı yer alan cam ve toprak eşyalar, kimyagerlerin giydikleri büyük önlükler dikkat çekicidir (Laszlo, 2023)

Fransa Kimya Derneği, Sorbonne Üniversitesi'ne yeni laboratuvar binaları inşasında da etkin rol oynamıştır. Üniversite'nin genişleyen laboratuvarlarının daha verimli kullanılması için alanlar farklı araştırma konularına göre bölümlere ayrılmasıyla her bir bilim dalı, kendine özgü deney ekipmanlarını ve malzemelerini kullanarak araştırma yapma imkânı sağlanmıştır. Sorbonne'daki yeni laboratuvar yapılanması, çeşitli araştırma merkezleri oluşumuna alan açmıştır. Bu merkezler, belirli araştırma projelerine ve bilim dallarına odaklanan uzman laboratuvarlara evrilmiştir (Laszlo, 2023).

19.yy' da gelişen laboratuvar sistemlerinin ortaya çıkardığı teknolojilerden biri de fotoğraf teknolojileridir. Kimya merkezli seyreden bu çalışmalar beraberinde kimya laboratuvarının bir parçası olarak karanlık odaların tasarlanmasına neden olmuştur. Bu şekilde karanlık odalar da küçük bir laboratuvar olarak meydana çıkmaya başlamıştır (Laszlo, 2023).



Görsel 2.8. *École des Ponts et Chaussées Üniversitesi ve test laboratuvarı (L'Héritage des ponts et chaussées, 2025)*

1794 yılında ülkedeki tüm mühendislere ortak bilimsel temelleri öğretmek için kurulan École Centrale des Travaux Publics (Merkez Kamu Çalışmaları Okulu) okul ve bir yıl sonra École Polytechnique olarak değiştirilen okul, Urbain le Verrier²⁰ tarafından kurulan karma komisyonun 1850'lerde yaptığı düzenlemeleri ile pratik çalışmalara yer açmak için teorik çalışmalar azaltılmıştır (École Polytechnique, 2025). Paris'teki École Polytechnique, mühendislik ve uygulamalı bilimlerde ileri araştırma ve eğitimi desteklemek için 19.yy'ın sonlarında laboratuvar tesislerini yeniledi ve genişletti. Bu alanda École des Ponts et Chaussées (Bkz. Görsel 2.8) özel olarak mimarlık ve inşaat tasarımları alanında fizik ve matematik bilimlerinin uygulamalı araştırma okulu hâline getirilmiştir. Ayrıca kurumun bu uygulama ve araştırma laboratuvarı, tasarım laboratuvarlarının ilk örneğini oluşturmuştur (L'Héritage des ponts et chaussées, 2025).

1831 yılında, öğrencilerin kireç taşı, jel taşı ve benzeri maddeleri test edebilmeleri için kimyasal çalışmaları yapabilmeleri sağlayan ilk laboratuvar kuruldu (Bkz. Görsel 2.8). 1850 yılı itibari ile laboratuvarında Bayındırlık Bakanlığı için testler yapılmaya başlanmasından bir yıl sonra test laboratuvarı kurulmuştur. Diğer taraftan öğrencilerin pratik eğitimini ve inşaat biliminde ilerleme kaydedilmesi için yeni bir laboratuvar ve deney atölyesi oluşturulmuştur. Açılan yeni laboratuvar ve deney atölyesiyle birlikte mühendislik eğitimi kapsamında, öğrencilere prototip ve deneysel tasarım çalışmaları yapma imkânı sağlanmıştır. 19.yy'ın sonuna gelindiğinde açılan prototip, deneysel

²⁰Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811 – 1877); Gök mekaniği alanında çalışmış, yaptığı matematiksel hesaplamalar tahmin eden ve Neptün Gezegenini yaklaşık konumunu belirleyen (Bu keşfini Alman astronom Johann Gottfried Galle ile paylaşmıştır) Fransız matematikçi, astronom (Britannica, Erişim tarihi: 25.11.2025).

tasarım laboratuvarı hassas aletler, laboratuvarlar ve inşaat malzemeleri alanında istatistiksel test ve araştırmalar yapabilen bir bölüm hâline evrilmiştir (L'Héritage des ponts et chaussées, 2025). 1865'te kimya (Alfred Durand-Claye tarafından), ardından 1876'da fizik, 1866'da analiz ve mekanik, uygulamalı kimya dersleri (1864), 1876'da kimya laboratuvarı kurulmuştur. 1848'de su yönetiminin tüm konularını kapsayan tarımsal hidroliği dersi (Nadault de Buffon), uygulamalı elektrik (1893), inşaat malzemeleri dersleri (1899) verilmeye başlanmıştır).

Ponts et chaussées Merkez Laboratuvarı 1949'da idari olarak Okul kısmından ayrılmasından sonraki süreçte, Fransa'nın başat laboratuvarları Navier ortak araştırma laboratuvarları kurulmuştur. Günümüzde, École Polytechnique gibi birçok araştırma üniversitesinin üyesi olduğu COMUE Université Paris-Saclay topluluğuna katılmıştır (L'Héritage des ponts et chaussées, 2025).

École des Ponts et Chaussées'in teorik ve pratik uygulamalarıyla verdiği mimarlık ve inşaat eğitimi, kurulan laboratuvarlarıyla; 18. ve 19.yy'lardaki sanat, bilim ve endüstriyel devrimlerin kesişiminde şekillenmeye başlayan tasarım laboratuvarlarının bir çeşit arketipini oluşturmuştur. Bu arketipin temellerini ise École des Beaux-Arts (Fransa Güzel Sanatlar Akademisi) oluşturmaktadır. 1648'de kurulan akademi, klasik sanat ve mimarlık eğitimini bir çeşit laboratuvar benzeri olan atölye (workshop) modelinde standartlaştırarak; öğrencilerinin, ustaları gözetiminde desen, perspektif ve malzeme gibi temel tasarım konularında eğitim ve öğretimlerinin tamamlanması sağlanmıştır (Van Zanten, 1987). Tasarım laboratuvarlarının gelişiminde ikinci önemli dönem, 1907'de Almanya'da kurulan Deutscher Werkbund (Alman Zanaatkarlar Derneği), küresel piyasalarda Alman ekonomisinin rekabet gücünü arttırmak üzere tasarım profesyonelleriyle, üreticileri bir araya getirmiş; değişen işgücü, üretim ve tüketim anlayışına uygun üretim programları geliştirmiştir (Aslan ve Kızıltepe, 2020). Deutscher Werkbund birliğinin bu çalışmalarıyla, üretim teknikleri ve malzeme geliştirme, test etmek üzere laboratuvarlar kurulmuş, mobilya (Bkz. Görsel 2.9), tekstil gibi alanlarda seri üretim prototipleri geliştirilmiştir.



Görsel 2.9. Max Krehan seramik atölyesinden bir görünüş, Bauhaus Weimar, Dornburg, 1924 ve Gropius yapı çalıştay, 1927/ 28 (Siebenbrodt ve Schöbe,2009)

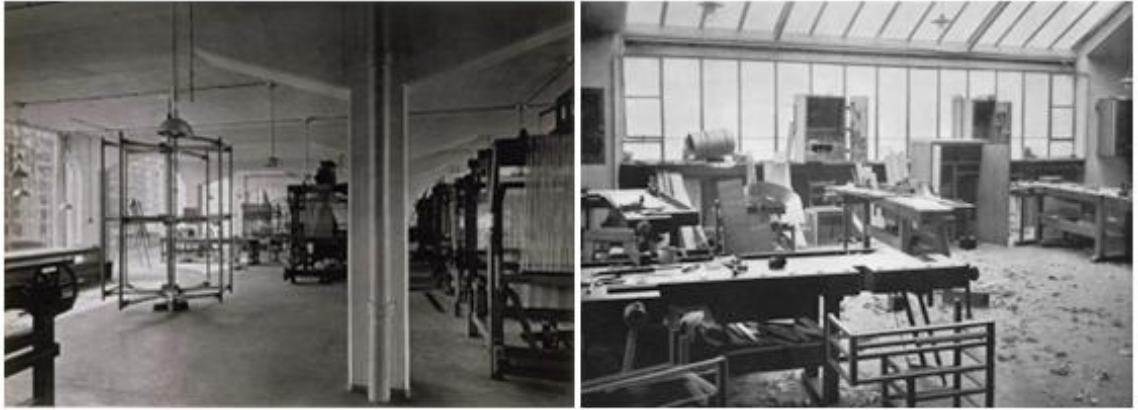
Deutscher Werkbund'un bu yaklaşımı, tasarımın mühendislikle bütünleşmesine öncülük ederken (Heskett, 2005) sanat okullarının açılmasının arkasındaki güç olmuştur. 1919 yılında Almanya, Dessau'da kurulan Bauhaus Sanat ve Tasarım Okulu, güzel sanatlar ile uygulama sanatları bir çatı altında toplarken makineleşmeyi çağdaş Dünya açısından bir zorunluluk olarak görmüştür (Aslan ve Kızıltepe, 2020). Bu vesile ile tasarım/ sanat ve sanâyî işbirliğini öncülleyen okulun eğitim programları, tasarım atölyelerini radikal bir şekilde dönüştürmüştür. Mekânsal ve işlevsel anlamda atölye çalışmasının dışına çıkan metal, ahşap, taş, tekstil (Bkz. Görsel 2.10), cam, seramik (Bkz. Görsel 2.9) ve benzeri yenilikçi atölyelerine, deneyime dayalı öğrenme alanları (Bkz. Görsel 2.9) olarak kurgulanarak laboratuvar işlevi yüklenmiştir (Droste, 1998). Örneğin, Marcel Breuer'in²¹ Wassily Sandalyesi gibi önemli mobilya tasarımlarının prototipleri, "Universal" yazı karakteri, tekstil atölyesinden endüstriyel kumaş tasarımları, Marianne Brandt'in²² MT49 Çaydanlığı veya László Moholy-Nagy'nin²³ yaptığı ışık deneyleri, artık laboratuvarlaşan bu mekânlarda hayat bulmuştur. Kısaca özetlemek gerekirse,

²¹Marcel Lajos Breuer (1902 – 1981); Macar asıllı Amerikalı modern mimarlık ve tasarım akımının en önemli brütalist mimar, tasarımcı (Gatje, 2000).

²²Marianne Brandt (1863 – 1983); eğitimini Bauhaus Okulunda tamamlayarak metal atölyesinin başkanı olarak aynı okulda öğretmenlik yapmış, Alman heykeltıraş, fotoğrafçı, ressam, tasarımcı. 1926 yılında Dessau Bauhaus Binası için ilk kez aydınlatma armatürlerini ve yine ilk kez seri üretim için aydınlatma armatürleri tasarlamış, aydınlatma alanında olduğu gibi metal ve seramik/ cam malzemeden ikonik endüstriyel ürünler tasarımcısıdır (Bauhaus Kooperation, Erişim tarihi: 25.11.2025).

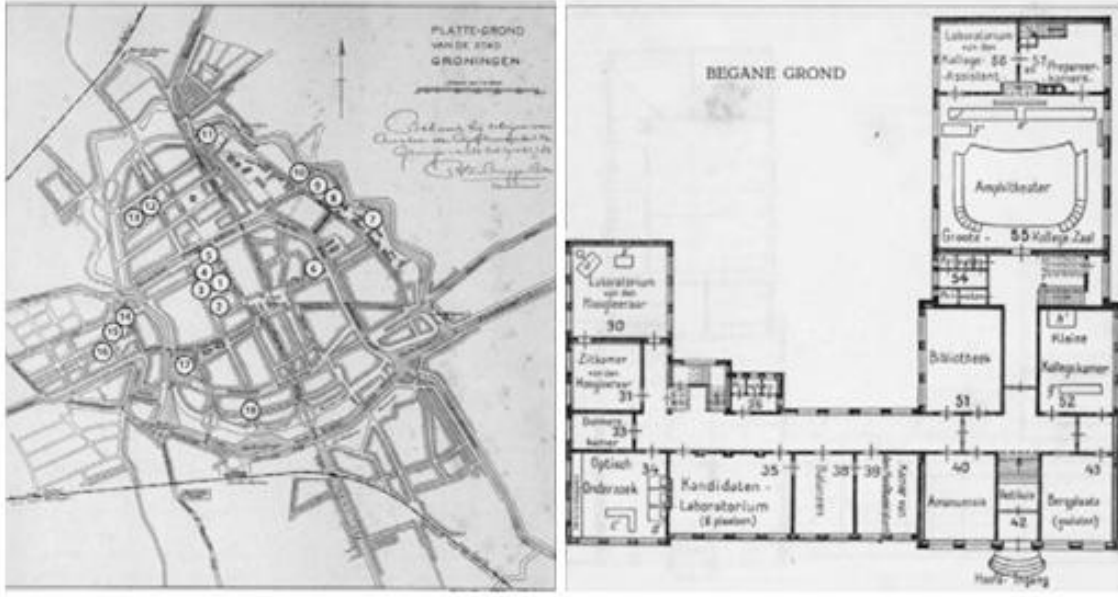
²³László Moholy-Nagy (László Weisz) (1895 – 1946); başta fotoğrafçı olmak üzere ressam, heykeltıraş, tasarımcı, sanat teorisyeni ve tasarım eğitmeni olan Macar sanatçı. Yeni Bauhaus okulunun Chicago'da kuran ve yöneten Moholy-Nagy, görselin temel elemanları olan renk, doku, ışık ve formların kompozisyonu olarak tanımlayarak, görsel sanatlarda özellikle resim ve sinema, fotoğraf gibi teknik görüntülerin yeni bir yaratı olduğunu öneren sanatçı, "Lichtrequisit einer elektrischen Bühne" adlı hareketli ışık yansımaları ve gölgeler oluşturmayı amaçlayan hareketli parçalar kullanarak ortaya koyduğu heykeller ile ilk kinetik heykel tasarlamıştır (Kaplan, 1995).

Humboldt'un temellerini attığı modern eğitimin perspektifinden bakıldığında; Bauhaus Okulu, sanat ve tasarım alanında teorik ve pratik eğitim, öğretim anlayışının işlevsel ve mekânsal karşılığında dönüştürdüğü atölyeler, çalışma alanlarına özelleşmiş ilk tasarım laboratuvarları olarak laboratuvar tarihinde yer almıştır.



Görsel 2.10. Dokuma Atölyesi ve Doğrama Atölyesi, Bauhaus Weimar 1923 (Siebenbrodt ve Schöbe, 2009)

Laboratuvarların çalışma alanlarına göre ayrılması, 20.yy.'ın başlarında bilimsel araştırmaların artan önemine uyum sağlamak üzere Hollanda'nın Leiden, Utrecht ve Amsterdam gibi üniversitelerinin (özellikle Groningen Üniversite yerleşkesi, işlevlerine göre ayrı inşaa edilmiş yapı topluluğuyla (Bkz. Görsel 2.11) adeta bir üniversite kasabasıdır (Berkel van, 2023)), laboratuvarlarının fiziksel altyapılarında yapısal genişlemeye gitmeleriyle oluşmaya başlamıştır (Berkel van, 2023) Araştırma ve öğretim için tasarlanan yeni laboratuvarlar; bu laboratuvarlara araştırmayı yönetecek ve yürütecek uzman personelin atanması, teorik eğitimin yanı sıra uygulamalı deneysel çalışmalara ağırlık vererek yeni bilim insanlarının eğitimi, bu değişime önyak olan ve savunan bilim insanlarının çoğalması ve üniversite yöneticileri tarafından oluşturulan denetleme mekanizmaları gibi konularda gelişim sağlamıştır. Belirli disiplinlerde yarı bağımsız hâle gelen laboratuvarlar uzmanlaştıkça, bu laboratuvarlarda çalışan bilim insanları, teknisyenler gibi laboratuvar çalışanları da çalıştıkları alanlarda uzmanlaşarak, belirli çalışma alanlarında uzmanlık kültürünü, görgüsünü geliştirmişlerdir. Aynı zamanda bu süreç, kendilerini genellilerden ziyade farklı bilimsel toplulukların üyeleri olarak görmeye başlayan bilim insanlarının, kimliklerinin gelişimine ve profesyonelleşmelerine büyük oranda etkilemiştir (Berkel van, 2023).



Görsel 2.11. Laboratuvar ve üniversite enstitülerinin işaretlendiği, 1910 yılına ait Groningen şehir haritası ve İnorganik Kimya Laboratuvarı giriş planı (Berkel van, 2023)

Hollanda da yaşanan bu süreç laboratuvarların, sadece önemli bilimsel ilerlemeleri kolaylaştırmakla kalmayıp, üniversite laboratuvarlarının, her birinin kendine özgü kültür ve uygulamalara sahip uzmanlaşmış "Ada Krallıklara" (Berkel van, 2023, s.127) bölünmesine yol açarken, geliştirilen yeni sistemleriyle, üniversiteleri, ilk araştırma üniversitelerine örnek oluşturmıştır (Berkel van, 2023).

Diğer taraftan, Norveç'te ülkenin ilk teknik enstitüsü olarak 1910 yılında kurulan Norveç Teknoloji Enstitüsü, seçkin mühendisler yetiştirme hedefleriyle, bu hedefler için Norveç Hükûmetinin eğitimin altyapısını modernleştirmeye yönelik geniş çalışmalarıyla, bunların bir sonucu olarak ortaya çıkan yüksek verimlilik elde ettikleri kimya laboratuvarları ile başta kimya endüstrisi olmak üzere çeşitli alanlarda ülke ekonomisinin rekabet gücüne etki etmiştir (Lykknes, 2023). Özellikle bu yönü ile dikkat çeken Norveç Teknoloji Enstitüsü, üniversitelerin ve özellikle laboratuvarların ana hedefi teknolojik ilerlemeleri, ulusal endüstri ve sanâyîye katkı sağlanması olarak belirlerken, endüstri ve sanâyî ile yapılan işbirliklerinin ilk örneklerini vermişlerdir (Lykknes, 2023).

19.yy başından 20.yy'ın ilk çeyreğine kadar kurulan laboratuvarlar; genel olarak araştırma üniversite ve enstitülerinin bilimsel ve teknolojik araştırma laboratuvarlarıyken; 1865 yılında Almanya'nın Mannheim kentinde kurulan ve günümüzde dünyanın en büyük kimya şirketi olarak faaliyet gösteren çok uluslu bir

endüstri devi hâline gelen Badische Anilin- und Sodafabrik, BASF SE (Baden Anilin ve Soda Fabrikası) tesislerinde kurulan laboratuvarlar, başlangıçta boya ve ışığa duyarlı tekstil ürünleri olmak üzere kimyasal madde araştırma, geliştirme ve üretimi alanında faaliyet gösteren (Abelshauser vd., 2004), ilk endüstriyel araştırma geliştirme (Ar- Ge) laboratuvarları olarak kayda geçmiştir. Aynı zamanda bu laboratuvarlar; ilk ticari kurum laboratuvarlarının öncüleri arasında yer almıştır.

Modern laboratuvarların sosyal yapısı, 19.yy'da özellikle Heidelberg Üniversitesi kimya araştırma laboratuvarlarında açık bir hiyerarşiyle karakterize edilmiştir. Laboratuvarların işleyişinde profesörler ve baş araştırmacılar en yüksek statüye sahipken arkasından doktora öğrencileri ve araştırma asistanları gelmekteydi. Bu hiyerarşinin üçüncü basamağını teknik personel ve destek personel oluştururken, dördüncü ve son basamakta öğrenci ve stajyerler yer almıştır. Benzer bir hiyerarşi Britanya laboratuvarlarında, özellikle Imperial College of London'da görülmektedir. Imperial College of London laboratuvarlarında; birinci sırada akademik kadro olarak profesörler ve kıdemli akademisyenler, ikinci sırada teknik personel ve asistanlar, son sırada öğrenciler ve araştırma görevlileri yer almıştır. Kültürel farklılıklardan dolayı Alman laboratuvarları daha hiyerarşik ve resmîyken, Britanya laboratuvarlarında daha eşitlikçi bir yaklaşım görülmüş olsa da modern laboratuvarların sosyal alt yapısını oluşturan temel hiyerarşiyi tanımlı hâle getirmiştir. 19.yy'dan itibaren tanımlanan hiyerarşi, beraberinde laboratuvarların iç mekân örgütlenmesinde önemli etken oluşturmuştur (Morris, 2023). Laboratuvarlarda personel düzenlemesine ek olarak, iki savaş arası Utrecht Üniversitesi laboratuvarlarında ve araştırma enstitülerinde teknik ve destek personelleri için tanımlı kariyer imkânları ve eğitim programları oluşturularak, bu kademe çalışanların de profesyonelleşmesinin onu açılmıştır (Nugteren, 2023).

Laboratuvarın tarihi gelişimi konusunda son bir noktada arşivleme ve belgelendirme sistemleridir. Bu alanda yer alan ilk örnek 1932 yılında, Justus von Liebig's in Philipp Lorenz Geiger ve Rudolph Brandes ile kurduğu Annalen der Chemie (Kimya Yıllıkları) adlı süreli dergilerin yayınlanmasıdır (Brock, 2024). Liebig's, Geiger ve Brandes'in başlattığı bu süreç, laboratuvar ve araştırma yayınlarının çoğalarak yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu sayede araştırma bulgularını yaymak ve bilimsel topluluklar içindeki iletişimi kolaylaştırma adına uygun platformların oluşması sağlanmıştır (Daling, 2023). Bu sürecin önemli sonuçlarından biri olarak, bilimin

akademik dili ve medyasının gelişimi, laboratuvarların arşiv ve belgelendirme sistemlerinin gelişimine temel oluşturmuştur.

Aşağıda laboratuvarların gelişim tarihi incelemesinde, tezin çalışma kapsamına uygun olarak seçilmiş üniversite ve laboratuvarlarının kısa bir liste yer almaktadır (Bkz. Tablo 2.1).



Tablo 2.1. Kurum Laboratuvarları

Kurum/ Laboratuvar	Kuruluş Yılı	Laboratuvar Türü	Alana Katkısı
Uraniborg (Tycho Brahe)	1576	Astronomi/ Simya/ Matematik	Modern anlamda çok işlevli laboratuvarın ilk örneği; çok katlı, disiplinler arası araştırma alanı
Berlin Humboldt Üniversitesi	1810	Araştırma/ Eğitim	Bildung felsefesiyle araştırma-öğretim birliği modeli; araştırma temelli üniversite eğitiminin temeli
Liebig- Giessen Üniversitesi	1825	Kimya	Araştırma ve öğretimin bütünleştiği ilk laboratuvar; laboratuvar standardizasyonu, modern kimya eğitimi
Cavendish Laboratuvarı (Cambridge)	1874	Fizik/ Malzeme Bilimi/ Kimya	İnterdisipliner yapılar; güvenlik, ergonomi ve altyapı standardı açısından öncü
Zürich Üniversitesi (UZH)	1833	Kimya/ Tıp/ Temel Bilimler	Deneyisel kimya araştırmaları; iş birliğine dayalı modern laboratuvarlar
ETH Zürih	1855	Kimya/ Mühendislik/ MedTech	Modern laboratuvarlar, biyoteknoloji ve mühendislik birleşimi; uluslararası araştırma altyapısı
Fransa Kimya Derneği ve Sorbonne	1857	Kimya	Laboratuvar modernizasyonu, ekipman erişimi, kalite ve güvenlik standartları, işbirliği destekleri
École Polytechnique	1794	İnşaat/ Tasarım/ Fizik	Tasarım ve mühendislik eğitimi için ilk deneyisel laboratuvarlar; prototip üretim ve test sistemleri
École des Ponts et Chaussées	1747	İnşaat/ Uygulamalı Bilimler	Mekânsal ve teknik düzenlemelerle mühendislik laboratuvarlarının temeli
Bauhaus (Dessau)	1919	Tasarım/ Sanat/ Endüstri	Tasarım atölyelerinin laboratuvarlaşması; deneyime dayalı, üretimle bütünleşik öğrenme ortamları
Leiden/ Utrecht/ Groningen Üniversiteleri	1575	Genel Bilim/ Disiplinlerarası	Uzmanlaşmış laboratuvar sistemleri, bilimsel kimliklerin ayrışması, 'laboratuvar adacıkları' yapısı
Norveç Teknoloji Enstitüsü	1910	Kimya/ Mühendislik	Sanayi-üniversite işbirliğine dayalı laboratuvar yapısı; ulusal teknolojik rekabetçiliğe katkı
BASF (Almanya)	1865	Endüstriyel Kimya/ Ar- Ge	İlk kurumsal Ar- Ge laboratuvarı; endüstri-tabanlı bilimsel üretimin başlangıcı
Imperial College London	1907	Genel Bilim/ Mühendislik	Eşitlikçi laboratuvar organizasyonu ve sosyal yapı modeli; teknik kariyer yollarının gelişimi
Annalen der Chemie	1832	Yayın/ Arşivleme	Laboratuvar arşiv ve yayın sistemlerinin başlangıcı; bilimsel iletişimde dönüm noktası
CERN	1954	Yüksek Enerji Fiziği/ Parçacık Fiziği	Disiplinler üstü, uluslararası mega-laboratuvar modeli; bilimsel işbirliği ve veri altyapısı öncüsü

2.3. Laboratuvar Sınıflandırma Ölçütleri

Yukarıda açıklandığı üzere Liebig'in, Humboldt'un eğitim ideallerini Giessen'de uygulamasının modern laboratuvar için bir prototip görevi görürken, bilimsel eğitimde Humboldt'un Bildung kavramının pratik uygulamasının bir örneğini oluşturduğu çok açıktır. 19.yy. başlarından itibaren Giessen kimya laboratuvarının ortaya çıkışı ve sonrası, döneminin birçok önemli eğitim kurumunda açılan yenilikçi laboratuvarlar, 19.yy.'ın sonuna gelindiğinde kurumsallaşarak büyük bilimsel disiplinlerin temel bileşenleri hâline gelmiştir. 20.yy.'da da gelişimine devam eden ve laboratuvarların kurulumunda dikkat edilmesi gereken ana başlıklar ve sınıflara ayrılma konularında önemli yol kat eden laboratuvarlar, 21.yy.'ın Dünya'sında başlı başına bütünleşmiş ve karmaşık sistemlere evrilmiştir.

19.yy. ve sonrası yapılan laboratuvar çalışmalarında, fiziki yapılarının mimarlık, inşaat ve içmimarlık projesi olarak ele alınması (Özellikle Cavendish Laboratuvarının ölçekten, kullanılacak malzemeye kadar en ince ayrıntısıyla detaylandırılmış projesi önemli bir ilk çalışmadır. Laboratuvar projesinin planları, dönemi içinde yapılan işin hangi boyutta olduğunu göstermektedir (Nature Publishing Group, 1874) (s.41); laboratuvar mekânının çeşitli işlevlere göre bölümlere ayrılması, çalışan kadroların mekânsal ihtiyaçlarının belirlenmesi, araştırmaya özel makine ekipman ihtiyaçları, iş güvenliği, mekân güvenliği, hijyen, tedarikçi zincirleri, depo alanları, personel kalite ve hiyerarşisi, personel eğitimi, ergonomi/ erişilebilirlik (sürdürülebilirlik), HVAC/ sıhhi tesisat/ elektrik sistemleri, çalışma ve teknik protokolleri, standardizasyon, arşivleme-belgeleme, yayın, diğer laboratuvarlar ile entegrasyon, kurumsal kimlik çalışmaları, muhasebeleştirme-bütçe yönetimi gibi laboratuvar sisteminin temel bileşenlerinin ortaya çıktığı açıktır. Bu gelişmeler sayesinde fiziki, analitik, teknolojik, dijital, işbirlikçi ve sosyal altyapılarıyla (Latour, 1987) günümüzün karmaşık sorularına cevap aranan laboratuvarların neye göre çeşitlendiği, kurulum çalışmaları tanımlı ve planlı hâle gelmiş; uluslararası entegrasyon/ işbirliği protokolleri, güvenlik, kalite süreçleri belirlenmiştir.

Günümüz laboratuvarlarının gelişimi ve bugün geldikleri düzeyi göz önünde bulundurulduğunda, laboratuvarların işlevsel ve teknik olarak sınıflandırılması, laboratuvarların tam tanımlı hâle getirilmesine ve bir sistemin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda yapılan literatür araştırmalarında ulaşılan kaynaklarda yer alan sınıflandırmaların, genel başlıkları ile aynı olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla

literatür taraması sonuçları doğrultusunda laboratuvarlar, aşağıda yer alan ölçütler doğrultusunda grup ve türlerine göre sınıflandırılabilir (Heinekamp, 2015):

1. Amaç
2. Kullanım Türü
3. Bilimsel Yönelimi
4. Faaliyet Alanı
5. Çalışma Metotları
6. Fiziksel Yapısı
7. Bina ve Güvenlik Teknolojileri Açısından Gereklilikleri

Yukarıda yer alan ölçütlerden bazıları, aşağıda yer aldığı şekilde detaylandırılabilir:

1. **Amaca göre:** Amaçlarına göre aşağıda yer alan dört tip sınıflandırma, birbirlerinden kesin hatlarla ayrılmamaktadır. Eğitim laboratuvarı araştırma laboratuvarının içinde yer alabilirken araştırma laboratuvarları geliştirme laboratuvarını da içerebilir.
 - Eğitim: pratik eğitim, öğretim laboratuvarları
 - Araştırma: Temel Araştırma, Uygulamalı Araştırma
 - Teşhis/ Analiz: Sözleşmeli (Anlaşmalı) Laboratuvar, süreç analizi
 - Geliştirme: Farmasötik, ürün ve süreç geliştirme (Heinekamp, 2015, 4).
2. **Bilimsel yönelime göre:** Burada fen bilimi, doğa bilimi ve sosyal bilim alanlarına özelleşmiş laboratuvarlar sınıflandırılabilir. Örneğin; kimya, biyoloji ve benzeri (Heinekamp, 2015, .5).
3. **Faaliyet alanına göre:** Laboratuvarların sınıflandırması, faaliyet alanlarına göre yapılırken aşağıda genel başlıklarda yer alan faaliyetler göz önünde bulundurulabilir.
 - a. Sentez, hazırlama laboratuvarı
 - b. Analitik, ölçüm laboratuvarı
 - c. Süreç mühendisliği
 - d. Üretim, sentezleme, hazırlama veya yetiştirme
 - e. Karakterize etme- tanı, analiz veya ölçümleme
 - f. Geliştirme: Ölçüm yöntemleri veya üretim süreçleri (Heinekamp, 2015, s.6)

4. **Çalışma metotlarına göre:** Laboratuvar çalışanlarının çalışma metotlarına genel olarak üç başlıkta toplanabilir.
 - a. Laboratuvar tezgahında küçük boyutlu cihazlarla çalışmak
 - b. Makine veya ana cihaz odaklı çalışmak
 - c. Süreç odaklı çalışmak (Heinekamp, 2015, s.8)
5. **Fiziksel yapıya göre:** Laboratuvarın fiziki yapısı genel olarak dört başlıkta toplanabilir.
 - a. Tekil Laboratuvar
 - b. Çift Laboratuvar (Kimya sentez laboratuvarı, organik ve inorganik kimya laboratuvarını içerir)
 - c. Açık Planlı Laboratuvar
 - d. Kombine laboratuvar- Laboratuvar Alanı (Heinekamp, 2015, s.8)

Yukarıda genel olarak yapılan sınıflandırmalar çeşitli kombinasyonlarda düzenlenebilir.

Diğer taraftan; bilim ve teknolojiye merkezi rol oynayan, sosyal bilimlerin laboratuvar çalışmalarının kent mekânlarına, kültürel kurumlara yayılmasıyla fiziki mekân tanımları genişleyen laboratuvarların (Latour and Woolgar, 1979) (Latour, 1987) kurulum süreçlerinde dikkat edilmesi gereken temel ilke ve ölçütleri; tarihçe bölümünde kısaca değinildiği (s.57) üzere 19.yüzyılın başından günümüze kadar ortaya çıkan gelişmelerin incelenmesi sonucu aşağıda yer alan yedi başlık olarak belirlenmiştir:

1. Fiziksel Kural ve Ölçütler
2. Çevresel Kural ve Ölçütler
3. Güvenlik Kural ve Ölçütler
4. Makine Ekipman Kural ve Ölçütler
5. İnsan Kaynağı Kural ve Ölçütleri
6. İşletme Kural ve Ölçütleri
7. Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Kural ve Ölçütleri

Yukarıda ifade edildiği üzere, bir laboratuvar kurulum sürecinde dikkate alınacak 7 başlık, içerdikleri alt kırımlarıyla birlikte geniş bir kurallar ve ölçütler listesini ortaya çıkartırken, laboratuvarlarla ilgili yasal süreçlerinde belirlenmesini zorunlu kılmaktadır.

2.4. Laboratuvarlarla İlgili Yasal Mevzuatlar

Günümüz laboratuvarlarının gelişmiş altyapıları, dijital entegrasyon yetenekleri ve ağ yapılarıyla bilgi üretim merkezleri olarak faaliyet göstermeleri; onları, kurulum standartları ve yönetmeliklerinin zorunlu olduğu belirli ortak özelliklere sahip kılmaktadır. Alanda yapılan kaynak taraması ve belgelendirme analizlerine göre “laboratuvar” ana başlığı altında standartlar bütünü ve kurulum rehberi oluşturulmasını zorunlu kılan temel sebepler, genel olarak 6 başlık altında toplanabilmektedir. Sırasıyla;

1. **Güvenlik ve Risk Yönetimi:** Güvenlik gereklilikleri ve düzenlemeler, özellikle fiziki, kimyasal ve biyolojik risklerin artması nedeniyle laboratuvarların dikkatle planlanmasını gerektirir (Cooper, 1994). Geçmiş laboratuvar çalışmalarında Marie Curie²⁴ gibi birçok bilim insanı radyasyon ve kimyasal maddelerle çalışmanın tehlikelerini yeterince bilmediği için sağlık sorunları yaşamıştır. Bu tür olaylar sonucunda, özellikle 1990’da Occupational Safety and Health Administration, OSHA (Amerikan İş Güvenliği ve Sağlık İdaresi) getirdiği Kimyasal Hijyen Planı (Chemical Hygiene Plan- CHP) gibi düzenlemelerle, laboratuvar personelinin sağlık risklerinden korunması amacıyla güvenlik protokolleri zorunlu hâle getirilmiştir (OSHA, 2025).
2. **Esneklik ve Uyarlanabilirlik:** Modern laboratuvarların, hızla değişen bilimsel teknolojiye uyum sağlamak ve farklı bilim dallarındaki araştırmacıların iş birliğini desteklemek üzere modüler ve yeniden yapılandırılabilir olması önemlidir (Cooper, 1994).
3. **Verimlilik ve Çevresel Sürdürülebilirlik:** Çevresel etkileri enaza indirmek için enerji verimli aydınlatma, geri dönüşüm istasyonları, doğal ışık kullanımı ve enerji tasarruflu HVAC sistemleri gibi sürdürülebilir uygulamalar, modern laboratuvarlarda operasyonel verimliliği artırmak için kritik rol oynar (Griffin, 2005).
4. **İşbirliği ve İletişim:** Multidisipliner ekiplerin birlikte çalışabilmesi adına iş birliğini teşvik eden ortak çalışma alanları ve iş birliğine elverişli düzenlemeler önemlidir (Cooper, 1994). Çalışma alanlarının verimli ve iş birliğine uygun tasarlanması, yenilikçi çözümler üretilmesine katkı sağlamaktadır (Griffin, 2005).

²⁴Maria Salomea Skłodowska-Curie (1867 – 1934); polonyum ve radyum (radyoaktivite) çalışmaları ile Nobel Fizik ödülü ile radyumun izolasyonu konusunda da Nobel Kimya ödülü sahibi, Polonya asıllı Fransız fizikçi (Robinson,2021).

5. **Dijital Entegrasyon ve Veri Yönetimi:** Günümüz laboratuvarları, otomasyon, veri analizi, yapay zekâ ve dijital laboratuvar defterleri gibi ileri teknolojilere dayanır. Teknolojinin bu derece entegre edilmesi, özellikle fen bilimleri ve biyoinformatik alanında büyük veri analizinin yönetilmesini sağlar. Bu sistemler, verilerin güvenli bir şekilde saklanması, işlenmesini ve izlenmesini sağlamaktadır. Böyle bir altyapı, fiber optik veri hatları, güçlü sunucu odaları, veri güvenliği ve erişilebilirlik açısından çözümler gerektirdiği için standartların oluşturulmasını gerekli kılmaktadır (Griffin, 2005). Bu standartlar; 1970’li yıllarda yapılan toksikoloji çalışmalarında meydana gelen veri tahrifatı ve kötü araştırma uygulamaları, bilimsel veri kalitesi ve bütünlüğünde büyük sorunların ortaya çıkarması nedeniyle zorunluluk hâline gelmiştir. Bu durum, özellikle ilaç ve kimyasalların güvenliğini test eden araştırmaların kalitesini artırmak için 1976’da U.S. Food and Drug Administration, FDA²⁵ (A.B.D. Gıda ve İlaç Dairesi) tarafından GLP yönetmeliklerinin geliştirilmesine neden olmuştur. GLP yönetmelikleri, bilimsel çalışmaların güvenilirliği ve yasal onay süreçleri için kaliteli veri elde edilmesini sağlamayı amaçlamaktadır (OECD, 1997).
6. **Küresel Standartlaşma ve Ticaret Kolaylığı:** Bilimsel araştırmalar ve ticaretin küreselleşmesiyle birlikte, ülkeler arası veri kabulünde uyumlu standartların sağlanması zorunluluk hâline gelmiştir. Bu doğrultuda OECD Teşkilatı, FDA tarafından 1978 yılında hazırlanan Principles of Good Laboratory Practice- GLP (İyi Laboratuvar Uygulamaları İlkeleri) standartlarını benimseyerek, uyumlu laboratuvarlarda üretilen verilerin üye ülkeler arasında kabul edilmesini sağlamıştır. Bu durum, uluslararası işbirliği ve veri paylaşımını kolaylaştırmaktadır (OECD, 1997).

Eğitim başta olmak üzere birçok sektörde, çeşitli kurum ve kuruluş içinde varlığını genişleterek sürdüren laboratuvar sistemi için ihtiyaç olan standardizasyon ve kurulum ilke- ölçütleri; bazen ülke mevzuatlarından uluslararası mevzuatların, çoğu zaman da uluslararası mevzuatlardan ülke mevzuatlarının oluşturulmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla bir laboratuvarın çalışma alanı ve kapsamı, çalışma ilkeleri, fiziki yapısı ve

²⁵FDA; U.S. Food and Drug Administration (A. B. D. Gıda ve İlaç Dairesi). 1906 yılında kurulan Daire; Gıda Güvenliği ve Beslenme Merkezi, İlaç Değerlendirme ve Araştırma Merkezi, FDA Müdürlüğü, Biyolojik Ürünler Değerlendirme ve Araştırma Merkezi, Araçlar ve Radyolojik Sağlık Merkezi, Veterinerlik Merkezi, Suç Araştırmaları Ofisi, Kanuni Düzenlemeler Ofisi, Ulusal Toksikoloji Araştırma Merkezinden oluşan 9 alt birimle çalışmalarını sürdürmektedir (FDA, Erişim tarihi: 25.11.2025).

benzeri konulara göre, ulusal mevzuatlarda kabul edilmiş uluslararası standardizasyon ve akreditasyon sistemlerine resmî olarak üye (entegre) olması; söz konusu laboratuvarların bilgi üretim kapasitelerinin gelişmesine çok önemli katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, yapılan tez çalışmasının öznesi olan aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütleri için öncelikle laboratuvarlar konusunda var olan uluslararası mevzuatların, sonrasında Türkiye’de var olan mevzuatların incelenmesi yararlı olacaktır.

2.4.1. Uluslararası mevzuatlar

Yukarıda ifade edildiği üzere laboratuvar konusunda ilk mevzuat, 1970 yılında veri yönetimi alanında ortaya çıkan problemler nedeniyle, 1976 yılında FDA tarafından Amerika Birleşik Devletleri, USA kapsamında çıkartılmıştır. Kimya ve farmasötik bilimi, farmakovijilans²⁶ alanlarında yapılan laboratuvar çalışmalarının güvenliği için hazırlanan GLP yönetmeliği, alanda önemli bir ihtiyacın belirlenmesine neden olmuştur.

FDA’nın güvenlik temelli ortaya koyduğu GLP yönetmeliği, OECD²⁷ tarafından benimsenerek, 1981²⁸ yılında itibaren üyesi olan 38 ülkede kabul edilip uygulanmaya başlanmıştır (OECD, 1997).

GLP ilk olarak 1978 yılında, Kimyasal Kontrolleri Özel Programında çalışan bir grup uzman tarafından, FDA’nın klinik dışı laboratuvar çalışmaları yönetmeliği baz alınarak geliştirilmiştir (OECD, 1997). OECD tarafından 1981 yılında, GLP yönetmeliğine “OECD Deney Yönergeleri” eklenerek, özellikle kimya ve klinik çalışmalarında kullanılmak üzere üyesi ülkelere resmî olarak tavsiye edilmiştir (OECD, 1997).

GLP Yönetmeliği, ilk yayınlandığı 1978 yılı ve üye ülkeleri tarafından resmen kabul edildiği 1981 yılından, 2023 yılına kadar ana metnine yapılan 15 ekleme ile son hâline ulaşmıştır. GLP yönetmeliğinde yaşanan ve muhtemelen yaşanmaya devam edecek olan bu süreç, Dünya’da yaşanan bilimsel, teknik, ekonomik gelişmeler paralelinde, laboratuvar sisteminde regülasyonların hızla yapılmakta olduğunu göstermektedir (OECD, 2016).

²⁶Farmakovijilans; ilaç güvenliği olarak bilinen, ilaca bağlı olarak ortaya çıkan problemlerin belirlenmesi, değerlendirilmesi, tanımlanması, düzeltilmesi ve önlenmesi ile ilgili farmasötik bilimin bir alanıdır (TDK, Erişim tarihi: 25.11. 2015).

²⁷Bu bölümde yapılan analizler; Giriş Bölümü, Literatür ve Belge Araştırmaları alt başlığı altında yer alan OECD ve ISO komitelerine ait olup, laboratuvar konusu ile ilgili olan belge incelemelerine dayalı olarak yapılmıştır.

²⁸1981 yılında OECD’nin 24 üye ülke mevcuttur (OECD Observer, 1981).

Genel başlıklarıyla; klinik çalışmalar dışında sağlık ve çevre çalışmalarının planlandığı, organizasyonel süreçlerin tanımlı hâle getirildiği ve gerçekleştirildiği, izlendiği, kaydedilip raporlandığı, verilerin saklandığı veya arşivlendiği koşulları kapsayan bir kalite kontrol sistemi olan GLP Yönetmeliğinde bazı eklemelerle (OECD, 2024) geliştirilerek güncellenmiştir.

Bu eklerden anlaşılacağı üzere, GLP yönetmeliği, klinik olmayan, saha ve sera çalışmaları dâhil olmak üzere kimyasal veya kimyasal ürün testleriyle ilgili standartlar geliştirmektedirler. İnsan deneklerin kullanıldığı laboratuvar çalışmalarını içermeyen yönetmelik; fiziksel-kimyasal testleri, toksisite²⁹ ve mutajenite³⁰ çalışmalarını; suda ve kara yaşamındaki organizmalarla ilgili toksikoloji ve su, hava, karadaki biobirikim çalışmaları; gıda ve hayvan yemlerinde pestisit kalıntılarının belirlenme çalışmaları, mezokozmos ve doğal ekosistemler üzerinde etkilerin incelenmesi çalışmaları ve analitik, klinik kimya testlerini kapsamaktadır. Ayrıca, laboratuvar çalışmalarının gereği olarak, test güvenliği, veri güvenliği ve yönetimi, bu çalışmalardan sorumlu personelin pozisyon tanımları ve sorumlulukları gibi sadece test ve sonuçlarının istenilen ideal şartları belirlenmektedir. Günün teknolojik gelişimlerine uygun olarak gerek ekipman gerekse verilerin elde edilmesi, kayıt ve arşivleme sistemlerinin yenilenmesi ve bu yenileme çalışmaları sonucu ortaya çıkan yeni standardizasyonlar yapılandırılmaktadır (OECD, 1998).

Yukarıda açıklanan GLP yönetmeliğinin kapsamında, bir laboratuvar kurulum sürecinde dikkate alınması gereken 7 maddede belirlenen ilke ve ölçütler (Bkz. Tablo 2.2) temelinde ve sadece test edilecek madde ile ilgili olarak; maddenin korunması, test işlemi, güvenilir verin elde edilmesi, korunması ve arşivlenmesi, çalışan güvenliği konularında ihtiyaç olan güvenlik, insan kaynağı ve mekânsal ihtiyaçlar sınırında yer almaktadır. GLP yönetmeliği laboratuvar çalışanlarının altyapıları konusunda 14 maddelik kriter getirirken; test ve veri güvenliğini önceleyecek şekilde, çalışma yürütücüsünün, GLP kontrolörünün ve diğer çalışanların sorumlulukları geniş bir şekilde açıklanmaktadır (OECD, 1998).

Diğer taraftan, OECD'nin 2016 yılında yayınladığı 18 numaralı "OECD- İLU (GLP) İlkeleri ve ISO/IEC 17025 Arasındaki İlişki Konulu OECD Pozisyon Belgesi

²⁹Toksisite; kimyasal bir madde veya bir madde karışımının bir organizmaya zarar verme derecesi (Cambridge Dictionary, Erişim tarihi: 25.11.2025).

³⁰Mutajenite; canlı hücre veya organizmaların DNA ve RNA hücresel bilgi ve yönetim sistemlerinin miktarında veya yapısında kalıcı, aktarılabilir değişikliklerin meydana gelmesi (Sundar, 2018).

(OECD, 2016)” adlı belge ile laboratuvar konusunda, GLP yönetmeliklerinin içermediği alanlarda standardizasyon geliştiren diğer uluslararası örgütün ISO olduğu görülmektedir. 172 ülkenin en üst standart kurumlarının oluşturduğu ISO (ISO, 2025), OECD’den çok daha geniş bir coğrafyada resmî olarak yer alırken, geliştirdiği standartlar üye ülkeler tarafından resmî olarak kabul edilip uygulanmaktadır. Bu nedenle Dünya genelinde laboratuvar mevzuatları konusunda incelenen belge ve belgelerde, ilgili ülkelerin en üst standart kurumlarının standardizasyon ve akreditasyon sistemlerinde, ISO standart ve akreditasyon sistemlerine uygun olarak çalışmaktadır. Özellikle, laboratuvar standardizasyonu konusunda farklı ülke mevzuatlarında yapılan belge incelemesi sonucu; ISO üyesi ülkeler, aralarında ISO üyesi ülkelerin de bulunduğu bölgesel standardizasyon ve akreditasyon kurullarına veya ISO üyesi olmayan ülkeler, genel olarak ISO kalite sistemine ve kimya- biyoloji alanında GLP standardizasyon sistemine referans verdikleri tespit edilmiştir.

1946 yılında 25 ülkenin 65 delegesinin, uluslararası standardizasyonun geleceği konusunda Londra’da yaptıkları toplantı sonucu, 67 teknik komitesi ile ISO teşkilatı 1947 yılında resmen kurulmuştur. Kuruluş, IEC’nin uzmanlık alanı olan elektrik ve elektronik mühendisliği konuları dışında kalan teknik ve teknik dışı alanlarda, güvenilir mal ve hizmetlerin sağlanması için gerekli olan uluslararası standartların belirlenmesi çalışmalarını yürütmektedir (ISO, 2024). Kendi bünyesinde bulunan 800’den fazla teknik komite ve alt komiteleri ile 25.000’den fazla uluslararası standart³¹ geliştirmiş olan ISO Teşkilatı; ayrıca IEC, PC- Public Citizen³² ve bilgi teknolojilerinde odaklanan ISO-IEC Ortak Teknik Komitesi (JTC 1)³³ gibi birçok komite ile standart çalışmaları yürütmektedir (ISO, 2025).

ISO bünyesinde yer alan laboratuvar akreditasyon komitesi tarafından geliştirilen ilk test ve kalibrasyon laboratuvarları için uluslararası standartta standartları belgesi ISO/ IEC GUIDE 25 olarak 1978 yılında yayınlanmıştır (ISO, 2017). ISO/ IEC GUIDE 25 temelin de ilk kapsamlı yönetmelik; 2005 yılında yenilenen, 2023 yılında son gözden

³¹ISO’nun geliştirdiği standartlar içinde, test ve kalibrasyon laboratuvarları için ISO/IEC 17025, tıbbî test laboratuvarları için ISO 15189, yeterlilik testi sağlayıcıları için ISO/IEC 17043, muayene kuruluşları için ISO/IEC 17020, ve referans malzeme üreticileri için de ISO 17034 standartlarını geliştirmişlerdir (ILAC, Erişim Tarihi: 25.11.2025).

³²PC- Public Citizen, <https://www.citizen.org/news/public-citizen-leads-letter-to-eu-commission-on-civil-society-concerns-with-the-international-organization-for-standardizations-effort-to-develop-a-raw-materials-supply-chain-standard/>

³³JTC 1- Information Technology Standards, ISO-IEC Joint Technical Committee, <https://jtc1info.org/about/>

geçirilip onaylanan ve 2017'den bu yana yürürlükte olan, IEC Komitesi ile ortak çalışma olarak ortaya çıkan ISO/ IEC 17025 ilk olarak 1999 yılında yayınlanmıştır (ISO, 2017). ISO/ IEC 17025 belgesinin arkasında her ne kadar ISO ve IEC komiteleri görülse de belge, uluslararası standardizasyon kuruluşları tarafından onaylanmış uzman ekip tarafından yazılmış, uluslararası kurumlar tarafından değerlendirme ve yorum süreci sonrası kabul edilip yürürlüğe konmuştur (OECD, 2016).

ISO/ IEC 17025 standartları; laboratuvarlar konusunda klinik laboratuvarlar dışında olmak üzere her düzey ve karmaşıklıkta olan deney, kalibrasyon ve deney mekânlarında uygulanmaya uygundur. Bu noktada GPL standartları, OECD'nin tanımladığı alanda yapılan deneyler ve bu deneyler için düzenlenmiş mekânlarda geçerliliğini korurken, GLP standartlarının dışında kalan bütün alanlarda ISO/ IEC 17025 standartları yer almaktadır. Bu nedenle, ISO/ IEC 17025 standartları gerek laboratuvarların gerekse düzenleyici veya belirleyici otoritelerin kullanılmasını şart koşabildiği uluslararası standart olarak Dünya'da yaygın olarak uygulanmaktadır.

Kalibrasyon ve deney laboratuvarlarında teknik yeterlilik ve yönetim sistemlerinde standart sağlamak üzere geliştirilmiş olan ISO/ IEC 17025; malzeme, deney metodu ve yöntemi genelde değişmeyen, belli kalite ürün ve hizmetin üretildiği laboratuvarlar için uygundur. Laboratuvarın işleyişinde; hammadde tedariğinden, test sonuçlarına kadar, test hizmetlerinin nasıl gerçekleşmesi gerektiğine dair teknik ve yönetim alanlarında yer alan tüm aşamalar için gerekli girdileri sağlayan ve destekleyen, yeterlilik ve sistemler üzerinde çalışır. Bu doğrultuda fiziki, işlevsel ve yönetsel olarak bir laboratuvarın, tedarikçiden başlayan ve müşteriyle sonuçlanan üretim bandında; açık ve net olarak tüm ilişkileri ve üretim süreçlerini tanımlayıp, süreçleri ileri veya geriye doğru takip edilebilir, belgelendirilebilir, arşivlenebilir düzeye getirmekte ve bu düzeyin alt standardını tanımlamaktadır. Bu standart çalışmasıyla; laboratuvarın (işletmenin) bir kısım müşteri ilişkileri ve muhasebesi dışında kalan, ürün temelli olarak girdiden çıktıya kadar yatay/ dikey iş akışları, operasyon bölümleri ve işlevleri, çalışan pozisyonlarının tam tanımları/ nitelikleri, ürün güvenlik sistemleri, üretim mekânların da ve makine/ekipmanlarında gerekli görsel iletişim öğeleri, belgelendirme düzenlemeleri, arşivleme sistemleri gibi ISO belgesi alacak olan ürünün/hizmetin üretilmesiyle ilgili tüm alanlarda standart düzenin kurulması sağlanır ve gerekli kullanım kılavuzlarını oluşturulur. Diğer bir deyişle ürün ve üretim kalitesi tanımlı olan çalışmaları yürüten laboratuvarların var olan fiziksel- işlevsel kapasitesinde, giren hammaddenin belirlenen ölçütlere sahip ürün olarak çıkması

için gerekli olan standardizasyonları sağlar. Dolayısıyla, GLP standartlarında olduğu gibi, ISO/ IEC 17025 standartları da bir laboratuvarın standardizasyonu için gerekli olan düzenlemeyi yaparken; bir laboratuvarın kurulumunda göz önünde tutulması gereken temel konularda; ürünün güvenli ve her seferinde aynı standartlarda üretilmesi için gerekli olduğu kadarı ile ilgilenir. Laboratuvarların genel kurulumuyla değil, faaliyet ve işlevine göre verilecek hizmete bağlı olarak göz önünde tutulması gereken temel konularda; ürünün güvenli ve her seferinde aynı standartlarda üretilmesi için gerekli olduğu kadarı ile ilgilenir.

Farklı amaçlar doğrultusunda farklı şekilde gelişen GPL ve ISO/ IEC 17025 standartlarının her ikisi de laboratuvarlar için tanımlanmış ve iyi çalışmalarını sağlayacak kalite yönetim sistemleridir. Laboratuvarların yetkinliğini belirleyip onaylayan bu sistemler, laboratuvarın faaliyet alanı ve kapsamına bağlı olarak akreditasyonlarının devamlılığı için ilgili uzmanlar tarafından belli periodlarda denetlenmesini gerektirir. Birçok ulusal akreditasyon kurumunun olduğu düşünüldüğünde, laboratuvarların aldığı akreditasyonların karşılıklı tanınması önemlidir ve bu durum çok taraflı düzenlemeleri zorunlu kılmaktadır (OECD, 2016).

Laboratuvarların gelişimleri sürecinde bilimsel, teknolojik veya ticari alanlarda yapacağı uluslararası çalışmalarında, küresel akreditasyonların hayatî önem taşıdığı belirlenmiştir. Ortaya çıkan bu ihtiyaç doğrultusunda yapılan çalışmalar, ilk olarak deney ve kalibrasyon sonuçlarının kabulünü ve ticareti kolaylaştırmak üzere 1977 yılında Kopenhag'da bir konferansla başlamıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak 1996 yılında, akreditasyon kuruluşlarının karşılıklı akreditasyon tanıma ağı kurmak üzere resmî tüzüğüyle birlikte, ILAC kurulmuştur. 2000 yılına gelindiğinde ise 36 ILAC tam üyesi için teknik test ve kalibrasyon çalışma sonuçlarının kabulü konusunda ILAC karşılıklı tanıma anlaşması (ILAC MRA) hazırlanıp üyeler tarafından imzalanmış, test ve kalibrasyon laboratuvarları için 2001'de yürürlüğe girmiştir. 2012'de muayene laboratuvarları, 2019 yılında yeterlilik test laboratuvarları ve son olarak 2020 yılında referans malzeme üreticilerinin akreditasyonları anlaşmaya dâhil edilmiştir³⁴ (ILAC, 2025).

³⁴Türkiye, 1999 yılında kurulan Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK)'ın 2006 yılında ILAC MRA düzenlemesini imzalamasıyla ILAC'a katılmıştır. 2006 yılında, ISO/IEC 17025 (kalibrasyon), ISO/IEC 17025 (test), ISO 15189 (Tıbbi Testler) başlatılan süreç, 2012 yılında ISO/IEC 17020 (denetim), 2019 yılında ISO/IEC 17043 (yeterlilik test sağlayıcıları) ve 2020 yılında ISO 17034 (referans malzeme üreticileri) standart akreditasyonları ile devam etmiştir (ILAC, 2025).

Laboratuvarların uluslararası mevzuatları konusunda yetkin çalışmalar yapmış ve yaygın kullanımlı standart geliştirmiş olan OECD teşkilatı ile laboratuvar dışında da çok çeşitli konularda standart oluşturan ISO komiteleri dışında da uluslararası standart geliştiren uluslararası komiteler mevcuttur. Özellikle ISO listesinde bulunan; IIW- International Institute of Welding, ISO/CASCO³⁵ - Committee on conformity assessment, ISO/ COPOLCO³⁶- Committee on consumer policy, ISO/ TMBG- Technical Management Board- groups, IULTCS- International Union of Leather Technologists and Chemists Societies ve son olarak aydınlatma/ optik laboratuvarları konusunda belge analizlerinin yapıldığı CIE komiteleri mevcuttur (ISO, 2025).

Yine ISO Örgütünün ortak çalışmalarda bulunduğu diğer bir akreditasyon örgütü; European Accreditation, EA (Avrupa Akreditasyon) Kurumu; European Commission, EC (Avrupa Komisyonu) tarafından, adil, kaliteli ve kolay bir ticareti mümkün kılmak üzere, ürün ve hizmet kalitesini güvence altına almak için var olan ulusal ve uluslararası standardizasyon ve akreditasyon kurumları ile uygun bir akreditasyon altyapısına dayalı çok taraflı ve karşılıklı tanıma anlaşması olarak EA MLA anlaşmasını hazırlamak, geliştirmek ve sürdürmek üzere resmî olarak kurulmuş komitedir. Bu komite standardizasyon ve akreditasyon çalışmalarını, ISO/ EC 17000 standartlar serisini üzerinde tanımlamaktadır. Bu nedenle laboratuvarlar konusunda da ISO/ IEC 17025, ISO/ IEC 17043, ISO/ IEC 17020, ISO 17034 ve ISO/ IEC 17025 ile ISO 9001'i temel alan ISO 15189 standartları kullanılmaktadır (EA European Accreditation, 2025).

ISO örgütünün yaptığı anlaşma doğrultusunda uzmanlık alanlarına göre geniş işbirliği çerçevesinde ortak çalışmalar yürüttüğü European Committee for Standardization, CEN (Avrupa Standardizasyon Komitesi), iki alt komitesi ile Avrupa genelinde ve Avrupa ile ticari ilişkileri geliştiren tüm ülke ve kurumlarında uyacağı standardizasyon ve akreditasyon çalışmalarını yürütmektedir.

Avrupa Birliğinin, Avrupa düzeyinde gerekli standartların geliştirilmesi ve tanımlanması konusunda sorumlu, CEN, European Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC (Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi) Komitesi ve European Telecommunications Standards Institute, ETSI (Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi) Komitesini kurmuştur. resmî olarak kurulan bu komiteler gerekli

³⁵CASCO; ISO Committee for Conformity Assessment (ISO Uygunluk Değerlendirme Komitesi)

³⁶COPOLCO, ISO Committee on Consumer Policy (ISO Tüketici Politikası Komitesi)

alanlarda çok sayıda alt komiteleriyle, çalışma alanlarında var olan uluslararası komite ve örgütlerle işbirliği yaparak standardizasyon çalışmalarını sürdürmektedir (CEN, 2025).

CEN ürün, malzeme, hizmet ve bu başlıklarla ilgili süreçlere ilişkin yaptığı standardizasyon çalışmalarını; hava ve uzay, kimyasallar, inşaat, tüketici ürünleri, savunma ve güvenlik, enerji, çevre, gıda ve yem, sağlık ve emniyet, sağlık hizmetleri, Bilgi İşlem Teknolojileri (BİT), makine, malzemeler, basınçlı ekipmanlar, hizmetler, akıllı yaşam, ulaşım ve paketlenme alan ve sektörlerde sürdürmektedir. CEN sıralanan alan ve sektörlerin dışında, ihtiyaç görülen farklı alan ve sektörlerde de standardizasyon faaliyetlerinde bulunmaktadır (CEN, 2025).

CEN yaptığı standardizasyon çalışmalarını, CELENEC (CELENEC, 2025) ve ETSI (ETSI, 2025) komiteleri ile yürütmektedir. Ayrıca, standardizasyon çalışmalarında tekrara düşülmeden, uygun olan her konuda, uluslararası standartların Avrupa mevzuatlarına ve ticaretin gereklerini karşılayacak şekilde, Avrupa dışındaki kurum ve kuruluşlarda da belirlenen standartların uygulanabilmesini sağlamak üzere, CEN ve ISO arasında 1991 yılında Viyana Anlaşması adı altında bir anlaşma imzalanmıştır. Buna bağlı olarak CEN standardizasyon alanı dışında yer alan alanlarda ISO standartları baz alınmış ve 1991 yılı sonrasında yeni standartlar konusunda ortak planlama ve çalışmalarla iş birliğine öncelik verilmiştir (CEN, 2025).

ISO Örgütü ile ortak standardizasyon çalışmaları yapan bir başka örgüt, ASTM örgütüdür.

1898 yılında American Society for Testing and Materials International (Amerikan Test ve Malzeme Derneği) adı altında kurulan ve 2024 yılında adını, ASTM International: Advancing Standards. Transforming Markets., (ASTM Uluslararası: Standartları Geliştirmek. Piyasaları Dönüştürmek.) olarak değiştiren kurum, USA’de kurulmuştur. Latin Amerika’dan ziyade Kuzey Amerika’da etkinliği geniş olan ve herkesin üye olabileceği bu özel kurum, üyelerinin katkıları ile uluslararası standardizasyonlar oluşturmaktadır (ASTM, 2025). Kurum standardizasyon çalışmaları; ISO yapısından farklı olarak, endüstri, hükümet ve akademide yer alan kişilerden oluşan 300’den fazla farklı komitesi tarafından yürütmektedir. Malzeme, ürün ve süreçlerle ilgili teknik özelliklere daha fazla odaklanmış olan ASTM, test yöntemleri ve malzeme özellikleri konusunda çok ayrıntılı çalışmaktadır (ISO, 2025). Diğer taraftan ASTM’in standardizasyon çalışmalarında; ürün kalitelerini iyileştirme, sağlık ve güvenlik konularını geliştirme, pazar erişimi ve ticareti arttırmak, tüketici güvenini oluşturma gibi

başlıklar da yer almaktadır. Standard kategorileri malzeme, hammadde, ürün, makine-ekipman, adli tıp, rulman, sıcaklık ölçüm, jeoteknik mühendisliği, cam ve seramik, insansız deniz aracı, kauçuk, bilgisayar sistemleri, kompozit, sabun ve cila, sürdürülebilirlik, nanoteknoloji, endüstriyel hijyen standartları gibi çok geniş bir yelpazede (12.000’den fazla) standart geliştirmiş ve geliştirmeye devam eden bir kurumdur (ASTM, 2025). Kurumun geliştirdiği standartlar içinde laboratuvarlar konusunda “Laboratuvar Test Standartları” yer almaktadır. Optik veya aydınlatma konusunda sadece ürün veya ekipman gereksinimi olan aydınlatma ve aydınlatma sistemleri, ışık konuları ele alınmıştır. Diğer taraftan genel olarak laboratuvarlar için; laboratuvar alet ve ekipmanları, laboratuvar gereçleri ve sarf malzemeleri, personel sertifika programları konusunda geniş bir standardizasyon uygulamaları yer alırken, bir adet terminoloji konusunda, inşaat denetimi, testi ve özel denetim yapan kurumları konusunda 4 adet standart sertifikasyonu, akreditasyon kuruluşları için bir adet geçerli standardizasyon çalışması yer almaktadır (ASTM, .2025). AST, çalışma alanı dışındaki konularda ISO’nun var olan standartlarını baz almakta ve uzmanlık alanı konularında ISO standardizasyonlarının geliştirilmesinde ilgili komitelerde yer almaktadır. Özellikle, tez konusu ile ilgili olan alanlarda var olan ISO kalite standartları kullanılmakta, eğitimleri verilmektedir. ISO ve GLP’de olduğu gibi bir laboratuvarın kurulumunda yer alan 7 konu başlığı ile direk ilgili bir standardizasyon çalışması yapılmamıştır. Diğer taraftan ISO ve ASTM, hızlı büyüyen alanda yeni teknik standartlar konusunda işbirliği yapmak üzere “Eklemeli (katmanlı) İmalat Geliştirme Yapısı” ni kurdular (ISO, 2025)

OECD gibi klinik laboratuvarları konusunda standart geliştiren ve ISO örgütü ile işbirliği yapan diğer bir örgüt, ITU birliğidir.

Tez kapsamında incelenen, standart ve akreditasyon geliştiren son örgüt UN bünyesinde kurulan International Telecommunication Union, ITU (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)’dir.

UN’ın, bilgi ve iletişim teknolojileri konusunda uzmanlaşmış bir kurumudur. 1865 yılında kurulan ITU, UN’dan önce kurulmuş olmakla birlikte UN Teşkilatının en eski kuruluşudur.

ITU Birliği ana çalışma alanı içinde, iletişim ağlarında uluslararası bağlantıyı kolaylaştırmak, küresel radyo spektrumu ve uydu yörüngelerinin tahsisi, ağların ve teknolojilerin bağlanmasını sağlayan teknik standartların geliştirilmesi, dünya çapında yetersiz hizmet alan topluluklarda dijital teknolojilere erişimin iyileştirilmesi, uluslararası

anlaşmalara ve standartlara aracılık etmesi, bilgi paylaşımı, kapasite oluşturmak ve teknolojiye erişimi dünya çapında, çok taraflı bir platform sağlayıcısı olarak herkese dijital bağlantı sağlamak genel başlıklar yer almaktadır. Ayrıca ITU, geniş bant internet, optik iletişim (optik fiber teknolojileri dahil), kablosuz teknolojiler, havacılık ve deniz navigasyonu, radyo astronomisi, uydu tabanlı meteoroloji, TV yayıncılığı, amatör radyo ve yeni nesil ağlar gibi spesifik konularda çalışmalarını yürütmektedir (ITU, 2025).

ITU'nun yürüttüğü teknik çalışmalarda, kuruluşundan itibaren standardizasyon konusuna ayrıca önem verdiği görülmektedir. Bu nedenle BİT, küresel altyapısında tanımlayıcı unsurlar olarak uluslararası standart geliştirme çalışmalarını kapsamlı şekilde yürütmek üzere International Telecommunications Union Telecommunication Standardization Sector, ITU- T (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Telekomünikasyon Standartlaştırma Birimi) birimini kurmuştur (ITU, 2025). 11 teknik çalışma grubuyla standardizasyon çalışmalarını yürüten ITU- T, IEC ve ISO teşkilatları ile ortak standardizasyon çalışmaları yürütmekle birlikte 2006 yılında yapılan anlaşma gereği ITU, ISO ve IEC ortak patent politikaları, uygulama yönergeleri, patent beyanları ve lisanslama çalışmaları konularında iş birliğine gitmişlerdir (ISO, 2025). ITU-T'de ISO, OECD, IEC teşkilatlarında olduğu gibi, uzmanlık alanları dışında yer alan laboratuvar konularında herhangi bir çalışma yürütmemişlerdir.

Bu bölümle ilgili olarak incelenen son iki kurum; diğer akreditasyon kurumlarının alanlarında uygunluk değerlendirmesiyle ilgilenen akreditasyon birlikleridir. Bu birlikler, yüksek üye sayılarıyla uluslararası tanınırlığı en geniş olan IAF ve IAAC birlikleridir.

International Accreditation Form, IAF (Uluslararası Akreditasyon Forumu): Çalışma alanı olarak, akreditasyon ve doğrulama/ onaylama sertifikasyon sistemlerinin güvenilirliğinden emin olunmasını sağlayan, uluslararası uygunluk değerlendirme programları geliştirmek olan IAF'nin tüm üyeleri akreditasyon ve standardizasyon kurumlarından meydana gelmektedir. IAF üyeleri arasında Multilateral Recognition Arrangements (Çok Taraflı Tanınma Düzenlemesi) düzenlemesi getirerek, üyelerinin mal ve hizmetlerinin uluslararası kabulünü sağlamaktadır. Akredite yönetim sistemi sertifikalarını doğrulanabileceği en kapsamlı küresel veri tabanına sahiptir.

Alanlarında en önemli uluslararası akreditasyon kurumlarının üye olduğu IAF tarafından verilen akreditasyon sertifikaları, ana kapsamı ISO/ IEC 17021-1 olan IAF MLA imzacı üyeleri tarafından akredite edilmiş bir sertifikasyon kuruluşu tarafından verilen sertifikasyonları içerir (IAF, 2024). Ayrıca ISO ile IAF'nin çeşitli konularda

yaptıkları ortak çalışmalarının arasında öncelikle akreditasyon kuruluşları ve değerlendiricileri ile sertifikasyon/ kayıt kuruluşları ve denetçilerine yönelik Accreditation Assessment Practices Group, AAPG (Akreditasyon Değerlendirme Uygulamaları Grubu) grubunu kurmuşlardır. IAF Forumdan, ISO örgütünden, ISO/ CASCO Örgütünden ve ISO/ TC 176 ve ISO/ TC 207 gibi bazı teknik komitelerden seçilen akreditasyon uzmanları, değerlendirme uzmanları, denetçiler ve uygulayıcılardan oluşan grup, IAF Teknik Komitesinin talebi ile kurulmuştur. AAPG Grubu, ISO/ CASCO tarafından üretilen uluslararası standartlar ve kılavuzlara göre yapılan akreditasyon değerlendirmeleri konusunda yazılı kaynak ve konularla ilgili rehberleri oluşturmaktadır (IAF, 2025). AAPG grubu gibi konularında yazılı kaynak ve rehber oluşturan, IAF ve ISO kurumları tarafından oluşturulan diğer iki grup ise APG ISO 9001 Auditing Practices Group (ISO 9001 Denetim Uygulamaları Grubu) ve APG ISO 14001 Auditing Practices Group (ISO 14001 Denetim Uygulamaları Grubu) dur.

Inter-American Accreditation Cooperation, IAAC (Inter-American Akreditasyon İşbirliği Örgütü): 1996 yılında Uruguay'ın Montevideo kentinde kurulan ve 2001 yılında Meksika yasalarına göre sivil toplum kuruluşu olarak tüzel kişiliğine kavuşan IAAC birliği; bölgesel çok taraflı tanıma düzenlemelerinin yönetimi, kurulması, akreditasyon programlarının geliştirilmesi, üyelerinin arasında akreditasyon programlarının uyumlanma çalışmaları, Amerika Kıtası'nda akreditasyon kurumları ile diğer kurumlar arasında işbirliği geliştirilmesi, uluslararası akreditasyon ve standardizasyon forumlarında Amerika Kıtası'nın temsil edilmesi, uzmanlık alanlarında eğitim verilmesi gibi konularda çalışmalarını yürütmektedir (IAAC, 2025). IAAC örgütü laboratuvarlar konusunda "GD 010 Test Laboratuvarlarında Örnekleme Akreditasyonuna Yönelik Kılavuz" adı altında çıkardığı rehber, ISO/ IEC 17025:2017 ve ISO/ IEC 17000:2020 Uygunluk değerlendirmesi (kelime bilgisi ve genel ilkeler) standartları referansına göre hazırlanmıştır (IAAC, 2025). Örgütün aynı konuda yaptığı ikinci çalışmada, belirli test ve ölçümler için bireysel laboratuvarların performansının belirlenmesi ve izlenmesi konusunda ISO/ IEC 17043 standartları doğrultusunda önceden belirlenmiş koşullara uygun olarak iki veya daha fazla laboratuvar tarafından aynı veya benzer ürünler üzerinde testlerin düzenlenmesi, gerçekleştirilmesi ve değerlendirilme çalışmalarının yürütülmesini içermektedir (IAAC, 2025).



Ŗekil 2.1. Laboratuvarlar konusunda uluslararası ve ulusal mevzuat geliŖtiren kurumlar

Bu tezin kapsamı ve sınırlılıkları göz önünde tutularak, laboratuvarlar konusunda standart geliŖtiren ve akreditasyon çalıŖmaları yürüten kurumlar yukarıda yer alan Ŗekilde görölmektedir (Bkz. Ŗekil 2.1.).

Bu bölümde açıklandığı üzere ISO tarafından laboratuvarlar için geliŖtirilen genel kapsamlı standartlar aŖağıda yer alan Ŗekilde görölmektedir (Bkz. Ŗekil 2.2.).



Şekil 2.2. Genel laboratuvarlar standartları

2.4.2. Ulusal mevzuatlar

Laboratuvar konusunda ulusal mevzuatlar incelendiğinde hizmet alanlarında mevzuat oluşturabilen iki resmî kurumun olduğu belirlenmiştir. Bu kurumlardan birincisi, her türlü madde ve mamuller ile usul ve hizmet konusunda standart geliştiren TSE, ikinci kurum ise uluslararası esasları temel alarak, uygunluk değerlendirme kuruluşlarının yeterliliklerinin değerlendirilmesi ve onaylanması hizmetini yerine getiren T.C. Dışişleri Bakanlığı Türk Akreditasyon Kurumu, TÜRKAK kuruluşlarıdır.

1954 yılında Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, TOBB bünyesinde kurulan Türk Standartları Enstitüsü; 1955 yılında ISO örgütüne, 1956 yılında IEC örgütüne üye olmuştur (TSE, 2025). Kurumun sorumluluk alanlarının başında her türlü standart hazırlamak ve hazırlatma hizmetlerinin yanı sıra kabul edilen standartları yayınlamak ve yürürlüğe konmalarını sağlamak, Conformité Européenne (CE) Sertifikası³⁷ (Conformité Européenne (CE) Certification), metroloji (ölçüm bilimi) ve kalibrasyon araştırma-geliştirme çalışmaları ve laboratuvar kurulumları, standartlara uygun kaliteli üretim çalışmaları ve belgelendirmeleri, standartlarla ilgili araştırma çalışmaları yürütmek ve bu

³⁷CE İşareti; EU Teknik mevzuat uyum çerçevesinde 1985 yılında, Avrupa Ekonomi Alanı'nda yer alan ürünlerin yüksek güvenlik, sağlık ve çevre koruma gerekliliklerine uygunluğunu gösteren ve her ürün etiketinde yer alan işarettir (European Commission, Erişim tarihi: 25.11.2025).

alışmalar için gerekli laboratuvarları kurmak, kamu ve özel sektörün ihtiyaı olan teknik çalışmaları sağlamak ve belgelendirmek gibi önemli alanlarda yapılan çalışmaları içermektedir (TSE, 2025).

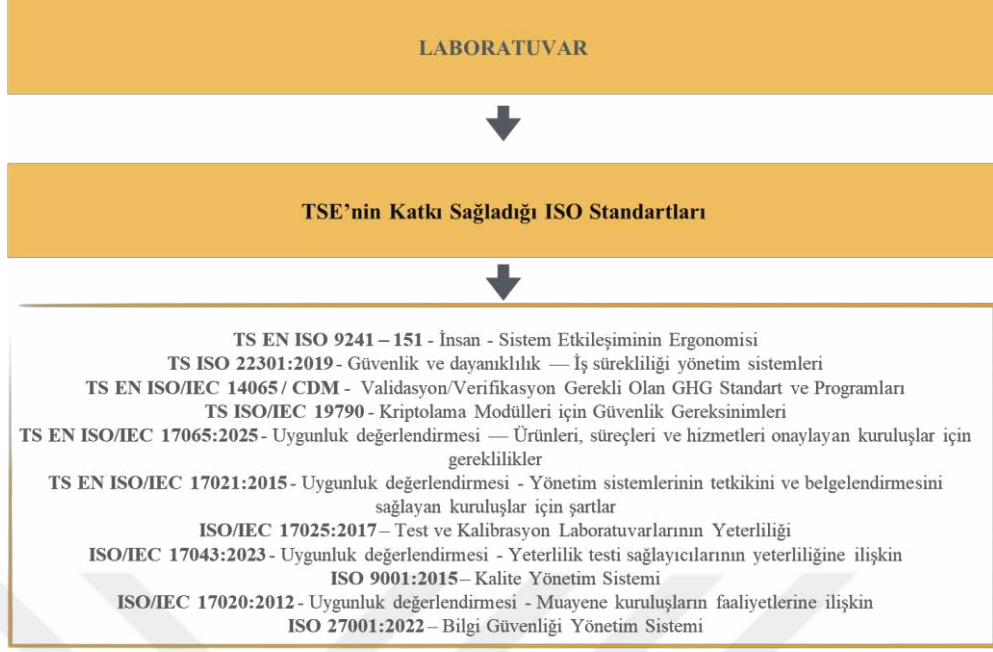
Türkiye çapında 11 ve uluslararası 5 merkezde çalışmalarını yürütmekte olan TSE, tüm çalışmalarını; Belgelendirme Hizmetleri, Eğitim Hizmetleri, Personel Belgelendirme Hizmetleri, Deney ve Kalibrasyon Hizmetleri, Standart Hizmetleri ve Uygunluk Değerlendirme Hizmetleri başlıkları altında toplamaktadır (TSE, 2025).

IAF, ISO, CEN, CENELEC, ETSI, EA, IEC, IECEE³⁸, ITU veya ASTM gibi uluslararası örgütlerin yesi veya bu örgütlerle işbirliği çalışmalarını yürüten TSE; klinik kimya, biyoloji, klinik laboratuvarları konusunda GLP, CLSI³⁹ standardizasyonlarını baz almaktadır. Diğer taraftan, Kurumun laboratuvar konusunda yaptığı çalışmalar, büyük kısmıyla Deney ve Kalibrasyon Hizmetleri ve Standardizasyon Hizmetleri altında yer almaktadır. TSE'nin yrttği bu çalışmalarda ISO rgtnn geliştirdiği standardizasyonlardan, TS EN ISO/IEC 17025, TS EN ISO/IEC 17043, TS EN ISO/IEC 9241-151, TS EN ISO 9001, TS ISO 22301, TS EN ISO/IEC 17020, TS EN ISO/IEC 14065, TS ISO/IEC 19790, TS ISO/IEC 27001, TS EN ISO/IEC 17065, EN ISO/IEC 17021 standartlarını baz almaktadır (TSE, 2025) (Bkz. şekil 2.3.).

TSE'nin yaptığı standardizasyon ve kalite, güvenlik çalışmaları kapsamında yer alan konular dışında laboratuvar kurulum süreçlerinin geneli ile ilgili temel konularda herhangi bir uygulama standardına ulaşılmamıştır. Var olan standardizasyon ve kalite, güvenlik standardizasyonları yukarıda sıralanan listede grldği üzere uluslararası örgütlerin ürettikleri standardizasyonları, rehberleri baz almaktadır.

³⁸IECEE, IEC System of Conformity Assessment Schemes for Electrotechnical Equipment and Components (Elektroteknik Ekipman ve Bileşenler için Uygunluk Değerlendirme Planları IEC Sistemi)

³⁹CLSI, Clinical and Laboratory Standards Institute (Klinik ve Laboratuvar Standartları Enstitüsü)



Şekil 2.3. TSE'nin katkı sağladığı ISO standartları

Türkiye'nin diğer bir kurumu olan TÜRKAK 1999 yılında, ISO/IEC 17011 standardına uyumlu olarak kurulan akreditasyon kurumudur. TÜRKAK'ın faaliyet alanları; deney, kalibrasyon, tıbbî laboratuvarların ve yeterlilik test sağlayıcılarının akreditasyonları, muayene, ürün belgelendirme, sistem belgelendirme ve personel belgelendirme kuruluşlarının akreditasyon çalışmaları ana başlıklarında tanımlanmıştır. EA, ILAC, IAF uluslararası akreditasyon örgütlerine üye ve ILA/ MLA Çok Taraflı Tanıma Anlaşması'nın imzacısı olan TÜRKAK (TÜRKAK, 2025), akreditasyon hizmetleri çerçevesinde ISO standardizasyonları ve GLP İyi Laboratuvar Uygulaması standartlarını (TÜRKAK, 2025) baz almaktadır. Kurum verdiği hizmetlerde, GLP standart ISO Standardizasyon Örgütünün ürettiği standart ve akreditasyon yönetmeliklerinden IS/IEC 17065 Ürün belgelendirme faaliyetlerinin akreditasyonu, ISO/IEC 17020 Muayene Kuruluşları Akreditasyonu, ISO/IEC 17021 Sistem Belgelendirme Faaliyetleri Akreditasyonu, ISO/IEC 17024 Personel Belgelendirme Faaliyetleri Akreditasyonu, ISO/IEC 17025 Deney/Kalibrasyon Laboratuvar Faaliyetleri Akreditasyonu, ISO/IEC 17043 Yeterlilik Deneyleri Sağlayıcıları Akreditasyonu, ISO 15189 Tıbbî Laboratuvar Faaliyetleri Akreditasyonu ve ISO 17034 Referans Malzeme Üreticileri Standardizasyonu yönetmeliklerini kullanmaktadır (ILAC, 2025).

Bu tezin birinci bölümünde yer alan belge tarama sonuçlarında ulaşılan TÜRKAK tarafından akredite edilmiş kurum ve kuruluşlar konusunda yapılan analizler sonucu,

yukarıda sıralanan standardizasyon yönergelerinin içeriğine bağlı olarak yapılan akreditasyon çalışmalarında, laboratuvar kurumum ölçütleri konusunda çalışmanın yer almadığı görülmüştür (TÜRKAK, 2025).

Laboratuvarların kurulum ilke ve ölçütleri üzerine yapılan belge tarama ve incelemeleri sonucunda; OECD gibi klinik kimya, biyoloji gibi klinik olmayan laboratuvarlar için oluşturduğu standartları içeren rehberi ve benzeri CLSI standardizasyonlarının yanı sıra ISO, IEC, EA gibi uluslararası standardizasyon ve akreditasyon örgütleri veya ulusda TSE ve TÜRKAK gibi bu alanda uzmanlaşmış kurum, kuruluş ve örgütlerin faaliyet alanlarında; laboratuvarların kurulum ilke ve ölçütleri konusunda standardizasyon, rehber ve akreditasyonları temel alan çalışmalarının var olmadığı görülmüştür.

Tez kapsamında laboratuvarlar konusunda yapılan inceleme sonucu belirlenen standartlar dışında, farklı kurumların farklı kapsamlarda geliştirdiği laboratuvar standartlardan bazıları aşağıda yer alan şekilde görülmektedir (Bkz. Tablo 2.2.).

Tez çalışması kapsamında genel hatlarıyla incelenen; laboratuvar kavramı ve faaliyet alanı, işlevi ve fiziki gelişimleri dâhil laboratuvar tarihi; laboratuvarların sınıflandırılması ve gereklilikleri, laboratuvarlar konusunda çalışan uluslararası ve ulusal kurumlar ve bu kurumlar tarafından genel çerçevede geliştirilen resmî mevzuatlar konularında elde edilen veri ve bulgular açıklanmıştır. Bu çalışmanın laboratuvardan sonra gelen ışık ve aydınlatma kavramları, bu kavramların alt kavramları, teknik incelemeleri, aydınlatma tarihi, aydınlatma teknolojileri ve sistemleri konuları ise bir sonraki bölümde ele alınmıştır.

Tablo 2.2. Farklı kuruluşların geliştirdiği laboratuvar standartlarından bazıları

Protokol Numarası	Tam Adı	Kapsam	Kurum	Yıl
ISO 15189:2022	Medical laboratories — Requirements for quality and competence	Genel Laboratuvar Yönetimi	ISO	2022
ISO/IEC 17025:2017	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	Test, Kalibrasyon, Kalite	ISO/IEC	2017
CLSI Guidelines:2023	Laboratory documentation, calibration, verification	Tıbbi Laboratuvar, Kalite Yönetimi	CLSI	2023
CDC BMBL 6th ed.:2020	Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories	Biyogüvenlik, Biyoemniyet	CDC	2020
WHO Biosafety Manual:2020	Laboratory biosafety manual (4th edition)	Biyogüvenlik	WHO	2020
OECD BRC:2007	Best Practice Guidelines on Biological Resource Centres	Biyolojik Kaynak Merkezleri	OECD	2007
29 CFR 1910.1450:2021	Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in Laboratories	Kimyasal Güvenlik	OSHA	2021
GHS:2021	Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals	Kimyasal Etiketleme	UN	2021
NFPA 45:2019	Fire Protection for Laboratories Using Chemicals	Yangın Güvenliği	NFPA	2019
CLSI M100:2023	Antimicrobial Susceptibility Testing	Mikrobiyoloji, Klinik	CLSI	2023
CAP Standards:2022	Accreditation Protocols	Patoloji Laboratuvarları	CAP	2022
WHO COVID-19 Testing:2023	COVID-19, HIV, Hepatit test protokolleri	Bulaşıcı Hastalıklar	WHO	2023
MIQE:2009	Minimum Information for qPCR	Moleküler Biyoloji, Genetik	Clinical Chemistry	2009
OECD GLP:1998	Good Laboratory Practice Principles	İlaç Geliştirme, Genetik	OECD	1998
HGVS:2016	Mutation Nomenclature Guidelines	Genetik Varyasyonlar	HGVS	2016
ISO 15190:2020	Medical laboratories — Requirements for safety	Laboratuvar Güvenliği	ISO	2020
CDC Specimen Guidelines:2022	Specimen Collection and Transport	Numune Taşıma	CDC	2022
EUCAST:2023	Sample handling in microbiology	Mikrobiyolojik Numune Taşıma	EUCAST	2023
EPA Test Methods:2020	Standard Environmental Test Methods	Çevresel Laboratuvar	EPA	2020
NIOSH NMAM 5th ed.:2016	Occupational Health Analytical Methods	Endüstriyel Hijyen	NIOSH	2016
ISO/IEC 27001:2022	Information Security Management Systems	Veri Güvenliği	ISO/IEC	2022
21 CFR Part 11:2020	Electronic Records and Signatures	Dijital Veri Yönetimi	FDA	2020

3. IŞIK VE AYDINLATMA

Bu tez çalışmasının temel kavramlarından ilki olan laboratuvar bir önceki bölümde etraflıca ele alınmıştır. Bu bölümde tezin diğer iki kavramı olan optik/ ışık ve aydınlatma kavramları incelenmiş ve kavramlarla ilgili teknolojilerin hangi çerçevede ele alındığına açıklık getirilmiştir.

Optik/ ışık ve aydınlatma büyük kısmıyla içiçe geçmiş kavramlar olarak, aydınlatma denildiğinde işaret edilen ışıktır. Elektromanyetik radyasyon olarak ortaya çıkan bir enerji şekli olan ışık; radyo dalgaları, kızılötesi ve ultraviyole radyasyon, X ışınları ve benzeri elektromanyetik radyasyon (Bkz. Görsel 3.1 ve Görsel 3.2) türleri ile ilgilidir (Philips Lighting Academy, 2008). Daha açık olarak; her radyasyon türü, sahip olduğu dalga boyu ile tanımlanmaktadır. Bu dalga boyları içinde 380 ila 780 nanometre⁴⁰ arasında yer alan ışınlar, elektromanyetik spektrumun görünür kısmını oluşturur (Bkz. Görsel 3.1) ve ışık olarak adlandırılır (Philips Lighting Academy, 2008). Elektromanyetik spektrumun insan gözü tarafından görülebilen kısmı; kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor gibi farklı ışık renkleri olarak algılanır (IESNA, 2000). Elektromanyetik dalga olarak kabul edilen ışığın dalga özelliğinden kaynaklı dalga boyu, frekans, hız, yayılma, kutuplanma; parçacık özelliğinden kaynaklı saçılım, polarizasyon ve spektral temel özelliklerine sahiptir (Hecht, 2017).

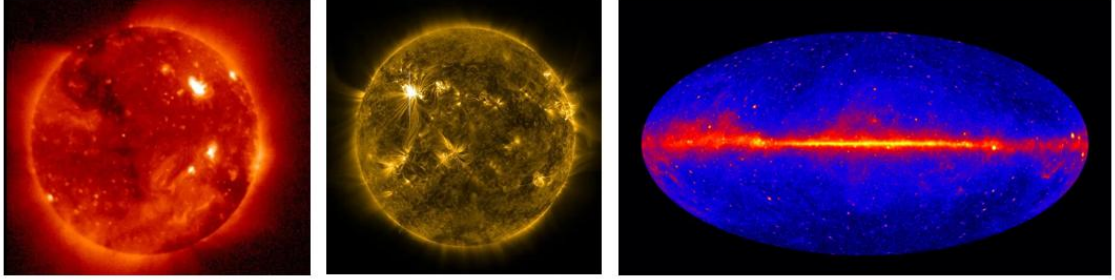


Görsel 3.1. Gökkuşağı (görünür ışık), bir kişinin görüntüsü (kızılötesi) ve Alex Kasırgası radar görüntüsü (Bulut radar ile arka plan radyasyonu) (LEIFIphysik, 2025)

Işık (Güneş ışığı); Yerküre ve üzerinde yaşayan her çeşit canlı için gerekli olan temel kaynaktır. Bu kaynak, birçok canlı türü için görme eylemini imkânlı kılarken, özellikle hayatta kalabilme, evrim süreçlerinde çevresel değişiklikleri hızla algılama ve

⁴⁰Nanometre; bir metrenin milyarda birine (10^{-9} metre) denk gelen uzunluk birimidir. Nanometrenin sembolü “nm” dir. Nanometre ölçeği, atomik ve moleküler ölçeklerde, görünür ışık ve X ışınları gibi elektromanyetik radyasyon türlerinde, yarı iletken endüstrisi veya bilgisayar teknolojileri gibi çok geniş bir alanda kullanılmaktadır (Britannica, Erişim tarihi: 25.11.2025).

gelişen yeni koşullara uyum sağlama kabiliyetlerini etkiler. Fiziki olarak görme eyleminin gerçekleşebilmesinde ışık ve görme organı olan gözün etkileşimi rol oynamaktadır. İnsan dâhil birçok hayvan türü için görme eylemi, ışığın fiziksel etkilerine dayanan karmaşık bir süreçtir ve her hayvan türü ışık fotonlarını işleyebilmek için temelde göz organı ve beyin merkezli karmaşık bir görme sistemi geliştirmiştir.



Görsel 3.2. Güneş'in X- ışınlarının görüntüsü, Güneş'in UV- ışınlarının görüntüsü ve gök cisimlerinin yaydığı Gama radyasyonu sayesinde elektromanyetik spektrumun Gama- ışını aralığında Evrenin görüntüsü (merkezdeki bant Samanyolu) (LEIFİphysik, 2025)

Güneş sisteminde yer alan astronomik cisimlerden biri olan Dünya, sahip olduğu coğrafi yapısı nedeniyle, üzerinde var olan canlılar için bir çeşit ışık havuzudur. Bu havuzun içinde yaşayan insanların görme eylemleri tamamen renkli gerçekleşmektedir. İnsan, retinasında yer alan konik fotoreseptörleri sayesinde ışığı renk olarak görmekte ve gördüğünü anlamlandırmaktadır (s.98). Diğer taraftan insanlar, görme eylemi için tarih boyunca günışığını yönetmiş ve ihtiyaçları doğrultusunda yapay ışık kaynakları ve sistemleri tasarlayarak günümüz dünyasına ulaşmıştır.

Evrenin temel bileşeni olan ve çevredeki ortamın algılanması için görsel bilginin gözlemciye iletilmesini sağlayan ışık ve görme arasındaki etkileşim, bilim insanlarının, filozofların, sanatçıların üzerinde çalıştıkları ana konu olagelmıştır. Bu nedenle, ışık ve görme arasındaki ilişki, biyolojik anlamından çıkıp geniş olarak algı ve bilinç alanlarına uzanmaktadır. Buna bağlı olarak görme, yalnızca pasif bir gözlemin dışına çıkarak, bilişsel işlevlerin ve çevresel bağlamların şekillendirdiği aktif bir yorumlama süreci olarak ortaya çıkar.

Işık, insanların Dünya üzerinde inşaa ettiği uygarlığın ana üreticisidir. Bu üreticinin anlaşılabilmesi, başka bir deyişle görülebilmesi; karanlık olgusu ile mümkündür. Işık, karanlığın nasıl görüleceğini tasarlayan bir araç gibi çalışır. Işığın kültürel ve felsefi etkileri konusunda yapılan çalışmalarda, karanlık, ışığın doğası gereği ortaya çıkan bir

etkendir. İnsan topluluklarının oluşturulduğu kültürel alanlarda ışık; bilgi- bilgelik, aydınlanma, gerçek, güven, saflık ve benzeri olumlu durumları sembolize ederken, karanlık; cehâlet, tekinsizlik, kötülük, günah, cehennem, yeraltı, suç ve benzeri olumsuz durumların metaforu olarak başrolde yer alır.

İlk çağlardan günümüze kadar geçen süre içinde, toplumların ürettikleri birçok kültürel öge; ışık/ ilâhî ve karanlık/ şeytânî eksenini arasında yer alan geniş anlam aralığında anlamlandırılarak gelmiştir. İnsana ve doğaya dair sosyolojik, toplumsal veya felsefi içerikli sözlü ve yazılı anlatılarda, açık veya gizli öge olarak yer alan ışık, gölge ve karanlık gibi kavramların görsel anlatıları; ışık ve renk ilişkisiyle temsil edilmiştir. Resimlerinde yer alan aydınlık, gölge ve karanlık arasındaki geçişlerde; renklerin çok ince ton farklılıklarını sabırla uygulayarak ve ışığa bağlı olarak, perspektif ve derinliği, herhangi bir sınır çizgisi oluşturmadan resmeden Leonardo da Vinci; aydınlık ile karanlık arasında, resmedilen ögenin doğasına özgü bir uzam oluşturmuştur. Leonardo da Vinci'nin⁴¹ imzası olarak görülen ve çok ince bir işçilik gerektiren bu teknik, İtalyanca duman kelimesinden türetilerek *Sfumato* olarak adlandırılmıştır (Shearman, 1962). Sanatçı, ışığı karşı değeri olan karanlıkla resmetmesi sonucu 2-boyutlu tuval yüzeyinde 3-boyutlu gerçekliğin bir görüntüsünü etkili bir göselde aktarmıştır. (Bkz. Görsel 3.3).



Görsel 3.3. Leonardo da Vinci, “St John the Baptist, 1513- 16” ve “Virgin and Child with Saint Anne, 1503- 19” (Shearman, 1962)

⁴¹Leonardo da Vinci (1452- 1519); İtalyan Rönesansının en önemli ressamı, çizeri, heykeltıraş, mimari, mucidi, mühendisi olan multi- disiplinler sanatçı (Richter ve Wells, 2008).

Caravaggio'da⁴² ise aydınlık ve karanlık keskin sınırlarla birbirini takip eder. Gölge nerede ise yok gibidir ve karanlık, ışık ile gölgenin içinde konumlanır (O'Neill, 1985). Teatral bir dramatik aydınlatma etkisi oluşturan mum veya kandil ışığı gibi aydınlatma ile görselleştirdiği anlatılarında kurşun beyazı ve kurşûnî teneke sarısıyla ışığı çarpıcı olarak vurgulamıştır (Bkz. Görsel 3.4).



Görsel 3.4. Caravaggio, “*The Calling of Saint Matthew*, 1599- 1600”ve “*David with the Head of Goliath*, 1609- 10” (O'Neill, 1985)

17.yy. Hollanda'sında yazın, sıcak ve parlak günlerinin veya soğuk kış aylarının ışığı altında gördüğünü resmeden Rembrandt⁴³; mum ışığı gibi bir kaynaktan kısmen ışık alan portreleri veya koyu, kızıl kahverengileri, yanık toprak renkleriyle (Wetering, 2011), günışığı altında veya açık ateş ile aydınlanan iç mekân resimlerinde; günışığı zayıfladıkça görüşün nasıl daraldığını gösterir (Bkz. Görsel 3.5).

⁴²Michelangelo Merisi da Caravaggio (1571- 1610); din temalı tablolarına aksettirdiği saf gerçeklik ve eserlerinde imza olarak ortaya çıkan, ışık/ karanlık kontrastının yüksek olduğu chiaroscuro tekniği ile sanata büyük katkı sağlamış İtalyan ressam (O'Neill, 1985).

⁴³Rembrandt Harmenszoon van Rijn (1606 – 1669); ışık/ gölge ustası, görsel anlatılarında ruh hallerinin aktarımında, portre sanatında gösterdiği yüksek başarısı ile Hollanda Altın Çağı'nın önde gelen ressamı (Wetering, 2011).



Görsel 3.5. Rembrandt Harmenszoon van Rijn, “*Philosopher in Meditation*, 1632” ve “*Self-Portrait*, 1669” (Wetering, 2011)

Günüşiği ve yapay aydınlatmanın tarih boyunca geçirdiği evreler; mimarlık ve görsel olarak resim sanatında açıkça takip edilebilmektedir. Yapay aydınlatmada görülen gelişmeler sayesinde ışığın, renk ile ilişkisi, görme ve algılanma biçimleri daha da hassaslaşmıştır. Bu anlamda, ışık ve renk ilişkisinin ilk önemli örnekleri Romantik akımın resim sanatı anlayışında görülür. 18.yy. sonu ve 19.yy. başında yer alan Romantizm akımı, gönül meselelerinde ziyade doğanın güzelliğine karşı taktirine, duyguların akılla yüceltilmesine, olağanüstü kişilikler ve bu kişiliklerin tutku ve iç mücadelelerine, hayal gücünü vurgulayan aşkın deneyimlere, halk kültürüne, Ortaçağ dönemine, doğal âfetlere ve egzotik, gizemli, tuhaf olana odaklanmış bir sanat akımıdır (Honour ve Fleming, 1982). Özellikle doğa ve doğal âfetlerin konu edildiği tablolarda Güneş ışığının değişimleri renk ile izlenebilirken, jeologlar için bir çeşit tarihi belge görevi görmektedir.



Görsel 3.6. J. M. William Turner, “*Rain, Steam and Speed – The Great Western Railway*, 1844” ve “*The Slave Ship*, 1840” (Shanes, 2008)

Özellikle Britanya’lı ressam J. M. William Turner’in⁴⁴ tablolarında, ışık; gölge ve karanlık (siyaha doygun) tonlardan ziyade renklerle tanımlı hâle gelir. Boyanın kat kat atılarak macunlaştırılması⁴⁵ ve bununla elde edilen doku; Turner’da nesnelerin konturlarını tamamen kaybetmesini sağlamıştır. Resimlerinde nesneler ve doğa tamamen renklerle, resmedilmek istenen zamandaki günışığının değerine göre tanımlanmıştır. Turner sarıları, kırmızısı, yeşili, moru, mavisi, portakal rengi gibi gün doğumu, gün batımı renkleri, sanatçının paletini oluşturmuştur. Işığın ressamı olarak adlandırılan Turner’ın ışığı, renk ile ilişkilendirmesi (Shanes, 2008), erken izlenimcilerin arasında yer almasının sebeplerinden biri olmuştur (Bkz. Görsel 3.7).



Görsel 3.7. Camille Pissarro, “Le Boulevard de Montmartre, Matinée de Printemps, 1897” ve “Boulevard Montmartre, Effet de nuit, 1897” (Russell, 2017) 88

Turner’dan sonra dikkat çekici ikinci isim, İzlenimcilik ve Yeni- İzlenimcilik’e katkıları nedeniyle; Yeni- İzlenimci Paul Cézanne’nin⁴⁶ genç bir arkeologla yaptığı konuşmada “baba” olarak tanımladığı (Danchev,2012) Camille Pissarro’dur⁴⁷. Pissarro’nun açık havada resim yapma alışkanlığı, günışığı altında gördüğünün duygusunu aktarmada gevsek fırça darbeleri ve canlı renkleriyle, İzlenimcilerin ışık ve

⁴⁴Joseph Mallord William Turner (1775 – 1851); Romantik Britanyalı ressam. Canlı renkleri, manzara resimleri, özellikle çalkantılı, şiddetli deniz manzaralarıyla bilinir (Shanes, 2008).

⁴⁵Impasto; hamur işi olarak da adlandırılan bir resim tekniğidir. Bu teknikte boya tuval üzerine kalın katmanlar halinde bırakılır, renkler tuval üzerindeki boya katmanlarında karıştırılır. Bu süreç aynı zamanda zengin tekstür oluşumunu sağlar. (Tate, 2025)

⁴⁶Paul Cézanne (1839- 1906); modern resmin temellerini atan, avangart sanat hareketlerini etkileyen, İzlenimcilik ile Kübizm arasında bağ kurulmasını sağlayan Yeni- İzlenimci Fransız ressam (Danchev, 2012).

⁴⁷Jacob Abraham Camille Pissarro (1830- 1903); 8 İzlenimci grup sergisinde yer alan, İzlenimcilik ve Yeni- İzlenimcilik’e büyük katkı sağlayan, resimlerinde genellikle Fransız köylülerinin günlük yaşamından sahneleriyle Fransız Gerçekçiliği’ni resmeden Fransız ressam (Karl, 2018).

renk ilişkisi üzerinde gelişen yaklaşımını temelden etkilemiştir (Karl, 2018). Pissarro'nun 1897 yılında bir seri olarak çalıştığı, aynı veya yakın mevsimlerde, gün ve gece ışığında resmettiği Montmartre Bulvarı'nda ışığın renk olarak nasıl var olduğunu canlı bir şekilde göstermiştir (Bkz. Görsel 3.7). Işığın renk olarak temsilini Pissarro'nun resimlerinde görürken, Cézanne'ın Emile Bernard'a yazdığı 23 Aralık 1904 tarihli mektubunda; ressam için ışık diye bir şeyin olmadığını, sadece renk olduğunu ve ışığın ise bu renkleri yarım veya çeyrek ölçü gibi ton değerlerini belirlemeye sebep olduğunu ifade etmiştir (Cézanne, 1904). Maxwell'in optik çalışmaları ve sonrasında Einstein'ın elektron saçılım kuramı gibi optik alanında yapılan devrim niteliğinde çalışmalarla, ışığın aslında renk olarak görüldüğünün belirlenmesi, Cézanne'ın bu tanımından sonra gelecektir.

Japon resim sanatının Ukiyo-e⁴⁸ resim ustası Hokusai'nin⁴⁹ seri resim anlayışını benimsemiş gibi görülen Cludio Monet'in⁵⁰, Rouen Katedrali'nin Batı cephesini, aynı konumdan 30'dan fazla sayıda resmetmesi bilinen en iyi izlenimci resim serisidir. Bu serinin her birinde Yerkürenin hareketi, farklı zaman ve o zaman aralığında Güneş ışığının Rouen bölgesine gelme açısı ve yoğunluğuyla, ışığın kalitesi görülmektedir. Ressam, kullandığı renklerin kroması ve geniş tonlamaları konusunda gayet isabetli kararlarını verirken, kontur çizgilerine ihtiyaç duymadan, küçük fırça darbeleri ile mimari bir mekânın sahip olduğu büyük hacmi, yüzeyde görselleştirmiştir.



Görsel 3.8. Claude Monet, “La Cathédrale de Rouen, effet de soleil, fin de journée, 1892”, “Cathédrale de Rouen, façade ouest, 1894” ve “La Cathédrale de Rouen. Le Portail et la tour d'Albane. Temps gris, 1894” (Kalitina, 2011)

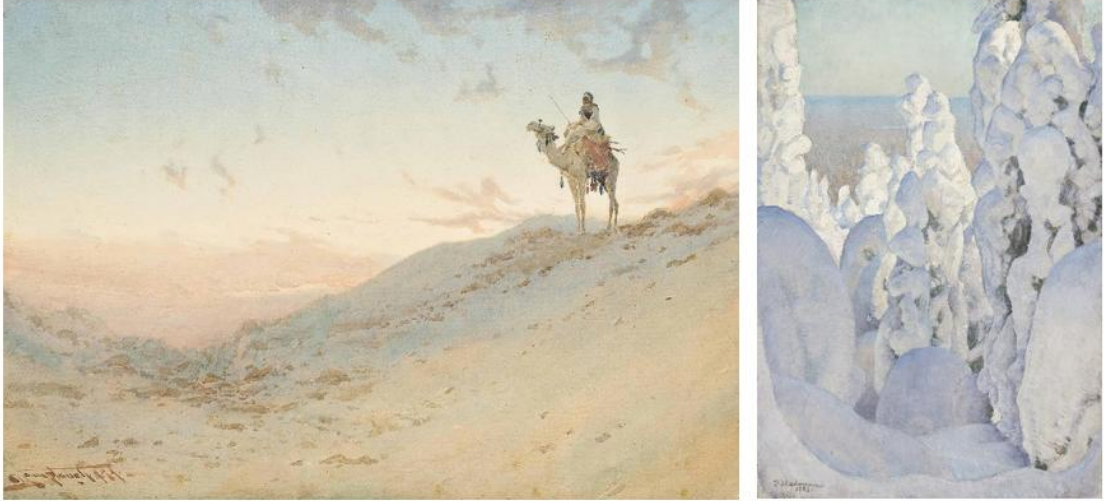
⁴⁸Ukiyo-e, metal, tahta, muşamba ve benzeri bir malzeme yüzeyine kazındıktan sonra boyanarak kâğıda basılarak elde edilen resim (Harris, 2010).

⁴⁹Utagawa Hiroshige (1797- 1858); ukiyo-e resminin son büyük ustası Japon sanatçı (Holmes, 2014)

⁵⁰Oscar-Claude Monet (1840- 1926); Fransız İzlenimci ressam (Petrie, 1979).

Monet'in seri resimlerinde (Londra Parlamento Binası ve Charing Cross Köprüsü, Venedik, buğday yığınları, su lâleleri, kavaklar) ve özellikle Rouen Katedrali serisinde kurduğu ışık/ renk ilişkisi, insanların ışığı renk olarak görmelerinin resim sanatında bir ifadesi olmuştur (Bkz. Görsel 3.8).

Coğrafyanın yaşam koşulları, Yerküre üzerindeki konumu kaynaklı aldığı güneş ışığı kalitesi ile gelişen görme biçimleri, insan eli ile gerçekleştirilen her çeşit tasarımın temel öğelerini belirler. Çöl kumu ve gün ışığının körleştiren beyazı altında görülen dünyanın temsilde arabesk çizginin belirleyicisi çöl kumunun sarıları ve canlı renkleri veya Finli bir ressamın, neredeyse sadece beyazın bin bir çeşit tonuyla kış manzarası resmetmesi yaşadığı coğrafyanın gerçeğidir (Bkz. Görsel 3.9).



Görsel 3.9. *Augustus Osborne Lamplough, “An Arab on a Camel Surveying the Desert at Dusk, 1900” (Obelisk, 2025), Pekka Halonen “Talvimaiesema Kinahmista, 1923” (Kansallisgalleria, 2025)*

Bu açıdan bakıldığında Monet, Paul Klee'ye⁵¹ göre çok şanslıydı. Paletini oluşturan renkler çoğunlukla Akdeniz ışığının renkleri idi. İsviçreli Klee ise Güney İtalya'ya ve özellikle Tunus'a yaptığı seyahat sonrası, bu coğrafyaların renklerini paletine yerleştirmeye başlamıştır (Bkz. Görsel 3.10) (Aslan ve Kızıltepe, 2020).

⁵¹Paul Klee (1879- 1940); dışavurumcu, kübist, gerçeküstücü ve oryantalist etkileri içererek kendine özgü tarzıyla dikkati çeken, renk teorisiyle uğraşan, desen, renk, tasarım, form konularında birçok kitap yazan, Bauhaus okulu eğitmenlerinden İsviçreli, Alman ressam (Clemen, 2016).



Görsel 3.10. Paul Klee, “Alter Klang 1925”ve “Rosengarten,1920” (Clemenzen, 2016)

Diğer taraftan, ışık, karanlık ilişkisi yapay aydınlatma araçlarının gelişmesi ile insanların var olduğu her alanda değişimi de beraberinde getirmiştir. İzlenimcilerin resmettiği günlük hayat, gece hayatı, dış ve iç mekânlar ile insanların zamanı ve mekânları nasıl geliştirip, kullandıklarına dair önemli örnekler sunmuştur. Degas’ın⁵² balerinleri ve bale mekânları (Bkz. Görsel 3.11), Manet’in⁵³ piknikleri, kafeleri (Bkz. Görsel 3.11, Görsel 3.12), veya Henri de Toulouse-Lautrec’in⁵⁴ Paris’in bohem gece hayatını kadın merkezinde anlatan resimleri (Bkz. Görsel 3.12) (Calosse, 2018) o günün Dünya’sının nasıl görüldüğüne iyi örnekler sunmaktadır.

⁵²Hilaire-Germain-Edgar De Gas (Degas) (1834 – 1917); Fransız grafik sanatçısı, heykeltıraş, izlenimci akımında yer alan ressam (Brodskaja, 2012).

⁵³Édouard Manet (1832- 1883); Realizm akımından İzlenimcilğe geçişte önemli etkileri olmuş, 19.yy. Avrupa’sının modern hayatını resimlerinde anlatan ilk modern Fransız ressamı (Forty, 2013).

⁵⁴Henri Marie Raymond de Toulouse-Lautrec-Monfa (1864- 1901); karikatürist, baskı sanatçısı (e-print), illüstratör, Fransız ressam (Calosse, 2018).



Görsel 3.11. *Edgar Degas, “Répétition de ballet, 1873” (Brodskaïa, 2012), Édouard Manet “Le Déjeuner sur l'herbe, 1863” (Forty, 2013)*

Görsel anlatı konusunda kısaca değinilen 19.yy resim sanatının yanı sıra icat edilen fotoğraf makinesi, devamında gelişen hareketli teknik, elektronik ve sonrasında sanal görüntüler kültür tarihinin delillerini sunarken, ışığın (güneş ışığı ve yapay ışık) sosyal hayata, kent yaşamına; tatil, kutlama ve eğlence anlayışına; mimarlık, sanat ve estetik gelişimi; çevresel etkileri, güvenlik, ekonomiyi veya cinsiyet dinamiklerini ve benzeri birçok alanda insan topluluklarını nasıl etkilediği ve şekillendirdiği açıkça görülmektedir (Barnaby, 2017).

İnsanlığın doğal ışık kaynaklarıyla olan kadim ve çoğu zaman mistik bağlantılarının yanı sıra hava durumunu öngörebilme, Gökyüzünü, yıldızları izleme veya karanlığa çözüm üretme gibi çeşitli alanlarda yaptığı çalışmaları ile ışığın doğasına anlama çabaları; insanlık tarihine yön veren birçok keşfi beraberinde getirmiştir. Yapılan bu keşifler insan topluluklarının evrilmesinde büyük rol oynarken, tarihin farklı dönemlerinde ortaya çıkan optik biliminin temelini oluşturmuştur. İlk uygarlıklardan itibaren, ışığın davranışını gözlemlemek üzere yapılan çalışmalar için geliştirilen basit araçlar, modern optik biliminin temel araç gereçlerini ilk örneklerini oluştururken bu çalışmaların yürütülebileceği mekânlarında ilk prototiplerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.



Görsel 3.12. Édouard Manet “*Bal Masqué à l'opéra*, 1863” (Forty, 2013), Toulouse-Lautrec-Monfa, “*At the Moulin de la Galette*, 1889” (Gruitrooy, 1996)

Işık alanında yapılan araştırmaların; ışığın doğasını çözülmeye başladığı, yansıma ve kırılma özellikleri gibi kritik keşiflerin yapıldığı Rönesans ve Aydınlanma döneminden bugüne kadar, ışık konusunda kaydedilen ilerlemelerin anlaşılabilmesi için optik konusunun teknik olarak, kısaca açıklanması gerekmektedir. Bu nedenle üçüncü bölümün ilk alt başlığında, optik konusu kısa tarihi ve teknik özellikleri ile ele alınmaktadır.

3.1. Işık/ Optik

İnsanoğlunun yazdığı tarihin başlarında ışığın manevî ve kültürel önemi ön planda yer almaktaydı. Işık, Antik Dünya'nın Uygarlıkların yaşam ve inanç dinamiklerinde baş köşede yer almıştır. Öyle ki eski Mısır Uygarlığında güneş (güneş ışığı) *Tanrı Ra* olarak kişiselleştirilerek, toplulukların dünyevi hayatlarında önemli bir öge olmuştur. Zamanla kandiller, meşaleler veya ışığın çoğalmasında ayna kullanımı gibi yenilikler, insanların çevreleriyle etkileşimini dönüştürerek, gün batımıyla geceye dönen günün karanlığında o günün Dünya'sında var olan yaşamın devam etmesine olanak sağlamıştır. Işığın; İnsanlık tarihi boyunca nasıl anlaşılıp kullandığından, eski uygarlıkların ilmi⁵⁵ ve modern

⁵⁵İlim kavramının; Joseph Needham'in, Çin medeniyetinin bilimsel ve teknolojik başarılarının kapsamlı inceleme sonuçlarını içeren “Çin'de Bilim ve Medeniyet” adlı 6 ciltlik kitap setinde açıkladığı şekilde açıklamak uygun olacaktır. Needham'a göre ilim; pratik anlayışın ve felsefi düşüncenin derin bir entegrasyonudur. Needham, ilmin yalnızca deneysel gözlemi değil aynı zamanda etik ve sosyal boyutları da kapsadığını, insan varoluşuna ve doğal dünyaya bütüncül bir yaklaşımı gösterdiğini düşünmektedir. Dolayısıyla Needham, Doğu'nun, özellikle de Çin'in ilmini, Batı bilimsel düşüncesine kıyasla farklı bir paradigma olarak tanımlar. Joseph Needham, 1900 ile 1995 yılları arasında yaşamış Britanyalı biyokimyacı, Sinolog, tarihçi (Needham, 1954).

Dünya'nın bilimsel gelişmelerine kadar olan yolculuğunda; Dünya ve Dünya yaşamına dair bilgiler arttıkça daha bilimsel çerçeveye oturmaya başlamıştır. Bu bilimselliğin ana başlığını, ışığın ne olduğu, nasıl davrandığına dair pek çok fiziki konuların irdelendiği “Optik” oluşturmaktadır.

Tarih boyunca ışığın incelenmesi, bilim ve teknolojideki ilerlemelerle birlikte gelişmiştir. Bu doğrultuda, tez kapsamında incelenmekte olan aydınlatma/ optik laboratuvarları konusunda optik biliminin tarihine değinilmesi, optik biliminin gelişiminin ve sonuçlarının anlaşılması açısından önemlidir.

Işığın doğasını açıklamaya ait ilk çalışmalar Antik Yunan'da görülmektedir. Bu dönem aynı zamanda optik biliminin ilk ortaya çıkışı olarak da görülebilir. Antik Yunan Dünyası'nın Pythagorasçılar⁵⁶ gözden nesnelere doğru bir şeylerin çıktığını ve bu şekilde görme eyleminin gerçekleştirdiğini söylerken, Demokritosçulukda⁵⁷ ise tam tersinin gerçekleştiği düşünmekteydi. Işık, görüş, gölge ve renk algısı üzerine çalışan Empedokles⁵⁸, “Devlet” adlı eserinde görüntülerin, nesnelerin aydınlatılmasıyla oluştuğunu ve göz ile nesne arasında bir bağlantı olduğunu belirten, ışık, görüntü ve göz arasındaki ilişkileri gibi optik alanında çalışan Platon⁵⁹ veya görme- ışık, ışığın yansıması ve kırılması, hatta optik cihazlar üzerine öneriler geliştiren Aristoteles⁶⁰ ve hemen arkasından Euclid ile ilgili önemli birkaç konuya vurgu yapmak gerekir.

⁵⁶Pythagorasçılık(İÖ 590- 570); Samos (Sisam) adasında doğduğu ve İÖ 500 yılına doğru Metapontum'da öldüğü düşünülen, Antik Yunan Dünyası'na matematiği ilk getiren kişi olduğu düşünülen Antik Yunan Filozofu Pythagoras'ın geliştirdiği dinsel, bilimsel ve felsefi düşünce sistemidir (Aslan, 2006). Pythagoras ve fikirleri doğrultusunda çalışmaların sürdürüldüğü cemaat örgütlenmesinin, üyeleri veya takipçileri ise Pythagorasçılar olarak adlandırılmaktadır. Pythagoras ve Pythagorasçılık tarafından geliştirilen yeni felsefe anlayışı, kendilerinden sonra gelen Empedokles, Sokrates, Platon veya İslâm felsefesinde İhvan- i Safâ gibi birçok filozof ve felsefe okulunda varlığını sürdürmüştür (Aslan, 2006, s.139).

⁵⁷Demokritosçuluk (İÖ 460- İÖ 360); var olan fragmentlerden fizik, kozmoloji, zooloji, botanik, müzik, matematik, tıp, teknoloji, edebiyat, psikoloji ve ahlak üzerine çalıştığı görülen, atom ile ilgili geliştirdiği hipotezi ile Atomculuk (bölünemezlik) felsefesine büyük katkı sağlamış, Sokrates öncesi Yunan Doğa Filozofları'nın son büyük temsilcilerinden biri olan Demokritos'un görüşlerinin takipçileri (Arslan, 2006).

⁵⁸Empedokles (İÖ 490- İÖ 430); demokrasiyi destekleyen, şairlik yönü olan, Evrenin temel öğelerine toprağı ekleyen, bilgi ile doğal olayların kontrol edilebileceğini öne süren filozof (Arslan, 2006).

⁵⁹Platon; (yaklaşık İÖ 428 /423- İÖ 348); öncelikli olarak metafizik, epistemoloji, siyaset felsefesi, etik, sanat alanlarında olmak üzere teorik ve pratik felsefenin tüm alanlarında fikirler ortaya koymuş, batı felsefesinin temel düşünürlerinden biridir (Arslan, 2022).

⁶⁰Aristoteles (İÖ 384- İÖ 322); matematik/ geometri, etik, epistemoloji, metafizik, siyaset, mantık, doğa bilimleri, ekonomi, dilbilim, psikoloji, poetikanın yanı sıra fiziğin çeşitli dallarında, biyoloji, tıp, zooloji, meteoroloji gibi disiplinlerine ilişkin geliştirdiği fikirleriyle, kendisinden sonra gelen dönemlerin bilim, felsefe, sanat alanında yapılan çalışmalara temel oluşturmuş, İslâm dünyasının “İlk Öğretmen” olarak adlandırdığı ve tüm felsefe tarihinin en büyük iki filozofundan (diğeri Platon) biridir (Arslan, 2007),

Euclide'in⁶¹ diğer Antik Yunan Düşünürlerinden farklı olarak optik konularına (yansıma yasası, görme teorisi) geometri açısından yaklaşmış ve yaptığı inceleme sonuçlarını yazıya dökmüştür. Günümüzde Euclide ismi ile ilişkilendirildiği bilinen fakat antik Geç Antik Çağ'da yazılan metinlere göre (Proclus ve İskenderiyeli Pappus) Euclide'e mal edilen ilk *catoptrics* (aynalar teorisi)⁶² yansıma ve ışığın aynalar kullanılarak nasıl görüntü oluşturduğuna dair çalışmalar içermektedir.

Batı Roma İmparatorluğu'nun çöküşü sonrası genel olarak 12.yy.'a kadar Batı Avrupa'da bilim, felsefe alanında kayda değer herhangi bir gelişme görülmemektedir (Pirenne, 2000). Bu süreç içinde yaşanan gelişmeler genel olarak Doğu Roma tarihinin eklemlendiği Ege- Anadolu, İran, Doğu Akdeniz ve Yakın Doğu coğrafyalarında görülmektedir. Bu dönemde ilk göze çarpan matematikçi İbn- Sahl'dir⁶³. Batlamyus'un optik çalışmaları üzerine incelemeler yapmış ve bu çalışmaları İbn-i Haysem'in yazdığı optik kitabı için bir temel oluşturmuştur (Hockey, 2007). Konkav – konveks aynalar ve mercekler üzerine çalışmaları sonucu kırılma yasası (Snell Yasası) geliştiren İbn- Sahl, hiperbolik düzlem- konveks lens ile hiperbolik çift- konveks lens incelemelerini 984 yılında yazdığı “Yanan Araçlar Üzerine” adlı kitabında kayda geçirmiştir. İbn Sahl, parabolik ve elipsoid aynalar, bikonveks mercekler ve hiperbolik yayların çizim teknikleri ile de ilgilenmiştir (Hecht, 2017). Diğer yandan İbn- Sahl ile aynı dönem yaşamış olan Abu Ali alHasan ibn al-Haytham (Alhazen)⁶⁴; küresel ve parabolik aynalarda yansıma, mercekler ve ölçekli görüntü elde edilmesi, ışığın atmosferde kırılması üzerine çalıştı ve buna bağlı olarak Güneşin ve Ayın görülen büyüklüğünü açıkladı. Al- Haytham, kaleme aldığı “Aynalar” kitabında optik teorilerini sistematik bir şekilde açıklamıştır.

⁶¹Euclid; İÖ 300'ler de yaşadığı iddiası bulunan, yaşamış bir kişi olarak hakkında maddi delilleri ile net hiçbir bilgiye sahip olunmasada, matematiğin ve geometrinin temellerini oluşturan 13 defterin Euclid ismi ile ilişkilendirilen, çağının en önemli matematikçisi olarak kabul edilmektedir. *Euclid'in Elementleri* olarak adlandırılan bu defterler, iki ve üç boyutlu şekillerin Euclidean geometrisi, perspektif, sayı teorisi, konik kesitler, küresel geometri ve kuadrik konularında temel geometrik tanımları, aksiyomları, önermeleri ve ispatlarını içermektedir (Scriba ve Schreiber, 2015).

⁶²Catoptrics; yansıyan ışık fenomeni, ışığın yansıma özelliği ve aynalar kullanarak görüntü oluşturan optik sistemlerin geometrik teorisi ile ilgilenen optik alanının özel bir alt dalıdır. Bu konuda bilinen en erken metin, şaibeli olarak Euclide'e atfedilen Şaibeli Euclidean *Katoptrikler* adlı metindir (Scriba ve Schreiber, 2015).

⁶³İbn- Sahl (940– 1000); Bağdat'ta yaşadığı bilinen, “Yanan Aletler Üzerine” adlı kitabında ışık kırınımının ilk doğru çizimlerini yapmış olan İslâm Altın Çağı'nın önemli geometrisyenidir. Hakkında çok az kayda ulaşılmaktadır (Hecht,2017; Hockey,2007).

⁶⁴Abu Ali al Hasan ibn al-Haytham (Alhazen) (965- 1040); mantık, şiir, müzik, teoloji, politika ve etik üzerine çalışmaları olan, “Modern Optiğin Babası” olarak adlandırılan, matematikçi, astronom ve fizikçidir (Hockey,2007).

6.yy.'da⁶⁵ Batı Roma'nın çöküşü ile Ortaçağ'a giren Batı Avrupa, 12.yy. itibari ile siyasî, hukukî, ekonomik, kültürel ve güvenli düzenini kurmaya başlamıştır. Kurulduğundan itibaren, malumat ve bilgiye ulaşma, kayıt altına alma, yazılı metinlerin Latince çevirilerini yaparak çoğaltma, arşivleme, bilgileri işleme ve yeni bilgi üretme gibi temel veri/ bilgi yönetim sistemini kütüphanelerinde kuran ve günümüze kadar kesintisiz olarak çalışmalarına devam eden Papalık Kurumu'nun yanı sıra 12.yy. itibariyle Batı Avrupa'nın sivil bilgi yönetim ve üretim sistemi kurulmaya başlamıştır. Bu sayede, merkezi Batı olmak üzere Avrupa'da gelişen bilim ve teknikten bahsedebilir hâle gelinmiştir (Pirenne, 2000). Bu dönemde Al- Haytham'ın çalışmalarını Latinceye çeviren ve bu çalışmaların etkisiyle Avrupa'da optik çalışmalarının başlamasına vesile olan Lincoln Piskoposu Robert Grosseteste⁶⁶ ve Polonya'lar matematikçi Vitello⁶⁷, modern zamanların ilk bilim insanı olarak kabul edilen Bacon'ın optik çalışmaları için kaynak oluşturmuştur (Ronchi, 1957). Franciscan Roger Bacon⁶⁸, ışığın doğası ve görmeye ilgili deneysel gözlemlerde bulunmuş, merceklerin optik görüntüleri nasıl etkilediği üzerinde çalışmış, çukur aynalar dâhil yansıma yasalarını ve ışığın kırılmasını tanımlamıştır (Hockey,2007). Deneysel bilime ve araştırma yöntemlerine büyük katkısı olan Bacon, göz bozuklukları için mercek kullanma fikrini geliştirmiş ve gökkuşağı oluşumu üzerine araştırmalar yapmıştır (Hockey, 2007). Bacon'ın ölümünden sonra optik çalışmalarının gerilediği görülmektedir. Bacon sonrası uygulama alanında, 13.yy. sonuna doğru İtalyan cam ustalarının görme kusurlarını düzeltmek adına camdan mercekler ürettikleri görülür. 14.yy.'ın ortalarındaki Avrupa resim sanatında gözlük takan rahiplerin tasvirlerine rastlanırken, simyacılar ayna yapma çalışmalarında cam levhaların arkasına sürülmek üzere cıva ve kalay karışımı bir sıvı geliştirmişlerdir (Ronchi, 1957).

Optik çalışmaları tarihinde, 13.yy. başı itibariyle yavaşlayan bilgi üretim süreci, 16.yy. ortasından itibaren yeniden canlanmaya başladığı gibi hızını arttırarak devam

⁶⁵Geç Antikçağ ve Antik Roma tarihçileri arasında, Batı Roma İmparatorluğu'nun çöküş tarihi konusunda tartışmalar sürmektedir. Çoğunlukla İmparatorluğun Batı kanadının çöküş tarihi olarak 6.yy.'ın ortası kabul edilmektedir (Pirenne, 2000).

⁶⁶Robert Grosseteste (1168- 1253); modern bilimsel araştırma yöntemlerinin temelini atmış, teolog, skolastik filozof ve İngiltere Canterbury bölgesi Lincoln Roma Katolik Piskoposu, siyasetçi, devlet adamı (Hockey,2007).

⁶⁷Vitello, ing. Witelo (1220- 1278); doğa bilimci, filozof, matematikçi Polonyalı rahip. Yaklaşık 1274 yılında yayınladığı "Prespektif" adlı eserinde yer alan optik çalışmalarında, büyük miktarda İbn-i Heysem'in çalışmaları temelinde gerçekleştirilmiştir. Vitello bu çalışmasıyla, kendisinden sonra gelen bilim insanlarını ve özellikle Kepler'i etkilemiştir (Britannica, Erişim tarihi: 25.11.2025).

⁶⁸Franciscan Roger Bacon; (1214/ 1220- 1292), ampirik fikrinin ilk savunucularından, tümevarım ve tündengelim kavramlarını açıkladığı bilimsel araştırma yöntemleri ile aynı alana büyük katkı sağlamış olan, İngiliz fransiskan rahibi doğa bilimci, matematikçi, filozof (Hockey,2007).

etmiştir. Tarihten bugüne, yaşanan bu sürecin içinde yer alan ve ışık/ /optik bilimine küçük, büyük birçok katkı sağlamış veya sağlamaya devam eden onlarca ismin tamamının, çalışılan tez kapsamında telaffuz edilmesi mümkün olmamaktadır. Ayrıca, 13.yy. ve öncesi tarihlerde yer alan bilimsel çalışmalar konusunda; Batı kaynaklarında yer verilmeyen veya farklı isim ve coğrafyalar altında kısmen kayda geçirilen gelişmelerin, ilk veya güvenilir kaynaklardan kayda alınması, olmayan veya şâibeli durumların net olarak ifade edilmesi, önemli bir süreci içermektedir. Batı kaynaklarında yaşanan bu süreç, daha sağlıklı yer almaya başladığı 13.yy. sonrasında takip edilebilir ve güvenilir olmaktadır. Bu nedenle, ışık/ optik biliminin gelişim sürecinde, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının çalışma kapsamının gelişiminin ve günümüzde geline aşamanın anlaşılabilmesi için ilgili süreci, kronolojik olarak, teorik ve/ veya pratik en yüksek bilgileri üreten bilim insanları ve çalışmalarının, kısa açıklamalarıyla belirtmek faydalı olacaktır.

Bu sıralama içinde 16.yy.'ın ilk telaffuz edilmesi gereken ismi Galileo Galilei'dur⁶⁹. İtalya Padua'da bulunan Galilei; teleskobun⁷⁰ icadından haberdar olması nedeniyle kendi teleskobunu imal etmiştir. Mercekleri elle zımparalayarak şekillendiren Galilei, daha net görüntüler elde etmek için yapı ve şekillerinde değişiklik yaptığı mercekleriyle (Ronchi, 1957), optik ilkeleri deneyip geliştirerek, yakınsak ve ıraksak merceklerden oluşan teleskobu iyileştirmiştir. Işığın kırılması ve yansıması gibi optik ilkeler üzerinde de çalışan Galilei, merceklerin görüntü oluşturmadaki rolü üzerinde incelemelerde bulunmuştur (Hockey, 2007). Diğer yandan mercekler aracılığıyla küçük nesneleri görebilmek üzerine yaptığı bileşik mikroskop çalışmaları, bu alana önemli katkılar sağlamıştır (Hockey, 2007). Geliştirdiği teleskop ile astronomik çalışmalar yapan Galilei, Jüpiter'in uydularını ve Ay'ın yüzeyindeki kraterleri tespit edip, Venüs'ün evrelerini ve Güneş lekelerini gözlemleyerek ulaştığı bilgiler ışığında yermerkezli Dünya görüşüne şüpheyle yaklaşmıştır (Hockey, 2007). Ayrıca Galilei'nin geliştirdiği teleskop, yaptığı astronomi kesifleri ve çalışmaları, kendisinden sonra gelen Johannes Kepler'in çalışmaları için çok önemli bir zemin oluşturmuştur.

⁶⁹Galileo Galilei (1564- 1642); hareket bilimi, astronomi, bilimsel yöntem ve malzeme bilimlerine büyük katkılar sağlamış, modern fiziğin, bilimin, gözlemsel astronominin babası olarak da anılan, İtalyan matematikçi, fizikçi, mühendis, astronom ve filozof (Hockey, 2007).

⁷⁰Teleskobun icadının kim tarafında yapıldığı net olmamakla birlikte İsviçre'nin Lahey şehrinde var olan arşiv kayıtlarında, Hans Lippershey (1587- 1619) adlı bir gözlük üreticisinin patent başvurusu bulunmaktadır (Ronchi, 1957).

Johannes Kepler'in⁷¹ en önemli eserlerinden biri olan "Dioptrice" (1611), optik üzerine yazılmış ilk sistematik çalışmalardan biridir. Kepler bu eserinde, lenslerin ve merceklerin özelliklerini, görsel algıyı ve optik sistemlerin işleyişini ayrıntılı bir şekilde ele almıştır (Hockey, 2007). Optik biliminde toplam iç yansıma fenomenini keşfetmiştir. Başta küçük açılar için geliştirildiği yaklaşım olmak üzere, ışığın kırılmasıyla ilgili olan kırılma yasasına yönelik önemli gelişmeler kaydetmiştir. İnce mercekli sistemler için optik teoriler geliştirmiştir. Kepler, konkav ve konveks mercekler kullanarak Galilei'nin teleskobundan farklı bir teleskop icat etmiştir. Bu teleskop Kepler Teleskopu olarak adlandırılmaktadır (Hockey, 2007). Kepler teleskobu var olanlara göre daha geniş bir görüş açısı verirken, cisimleri daha büyük göstermekteydi. Bu nedenle Kepler Teleskobu, modern teleskobun öncüsü olarak görülmektedir (Ronchi, 1957).

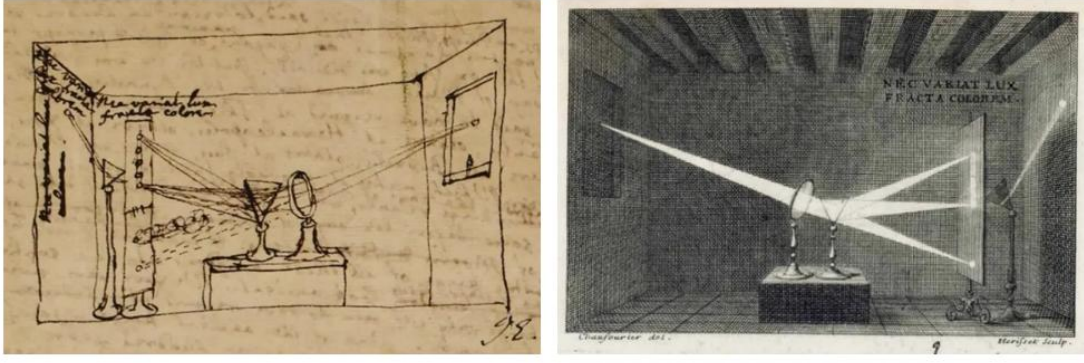
Işığın kırınımı konusunda önemli bir diğer safha Snell Yasası olarak adlandırılan yasanın; ışığın bir ortamdan diğerine geçişi sırasında yansıma ve kırılma davranışının tanımlandığı, ayrıca ışığın bir ortamdan diğerine geçerken gelen açı ile geçen açı arasındaki ilişkinin formüle edildiği, ışığın kırınım yasasının Snellius⁷² tarafından ispatlı olarak tanımlanmasıdır (Hockey, 2007).

17.yy.'ın ikinci yarısına girildiğinde, ismi ile bilim tarihinin başında yer alan Isaac Newton'ın⁷³ çığır açan optik çalışmaları, ilgili alanda büyük yol katedilmesini sağlamıştır. 1666 yılında yaptığı prizma deneyiyle beyaz ışığın farklı renklerin birleşimi olduğunu keşfetmiş ve ışığın spektrum oluşturulduğunu belirlemiştir (Ronchi, 1957). Günümüzde Newton Renk kuramı olarak adlandırılan renk teorisini geliştirmiş ve ışığın gri, kırmızı, yeşil, mavi ve sarı renklerden oluştuğunu açıklamıştır (Bkz. Görsel 3.13, Görsel 3.14). Renklerin kırılma, yansıma ve geçiş açılarındaki değişimler üzerine çalışmalar yapmış, ışığın renkleri arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak tanımlamıştır. Merceklerin ve ayna sistemlerinin nasıl çalıştığını net olarak belirlemiştir (Hockey, 2007).

⁷¹Johannes Kepler (1571- 1630); Isaac Newton'un evrensel kütle çekim teorisine temel oluşturan ve kendi ismi ile anılan gezegensel hareket yasaları ile evren biliminin temel kanunlarından birini ortaya koyan Alman, gökbilimci, matematikçi, astronomdur (Hockey, 2007).

⁷²Willebrord Snel van Royen (Snellius veya Snell) (1580- 1626); optik üzerine yaptığı çalışmalar sonucu Snell Yasası'nı geliştirmiş, Hollandalı matematikçi, astronom (Hockey, 2007).

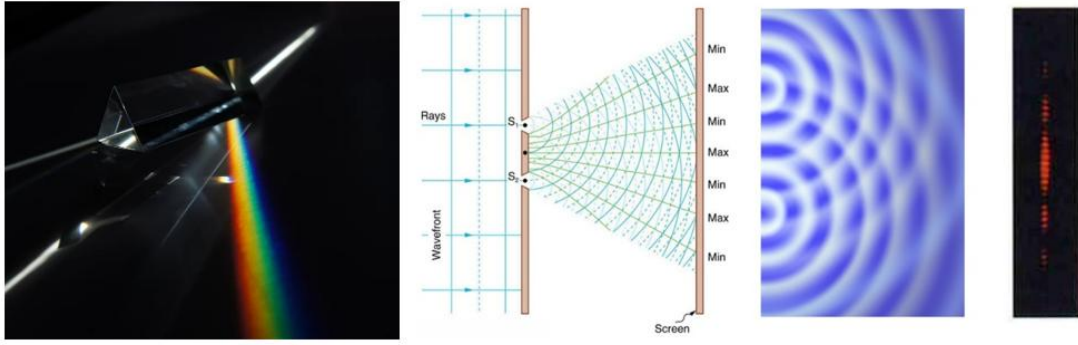
⁷³Sir Isaac Newton (1642- 1727); Dünya tarihinin en önemli bilim kitabı olarak değerlendirilen ve klasik fizik mekaniğinin temellerini kurduğu "Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri" kitabını yazan, ismi ile anılan Evrenin kütleçekim ve hareketin üç yasasını tanımlayan, diferansiyel ve integral hesaplarına (sonsuz küçükler hesabı) büyük katkı sağlayan Britanyalı fizikçi, matematikçi, astronom, doğa bilimci, mucit, teolog ve filozof (Hockey, 2007).



Görsel 3.13. Isaac Newton çizimi deney düzeneği ve gravürü (Linda Hall Library, 2023)

Optik konusunda önemli eserlerden biri olan “Opticks” adlı eserini 1704 yılında yayınlayan Newton, eserinde optik alanında yaptığı tüm çalışma konularını ele almıştır. Ayrıca Newton, Evrenin kütleçekim yasalarını ortaya koyduğu çalışmalarında, optik konusunda ulaştığı sonuçlar önemli rol oynamıştır. Demokritos düşüncesi ve Atomcu öğretilerden etkilenen Newton’un ışık üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu, ışığı parçacık (korpuskel) modeliyle açıklamaya çalışmış ve ışığın, küçük parçacıkların akışı olarak hareket ettiğini öne sürmüştür (Ronchi, 1957). Antik Yunan’dan itibaren muğlak bir şekilde gelişip Newton tarafından teze dönüştürülen ışığın parçacıklı yapısı konusu, 1801 yılında gerçekleştirdiği ünlü çift yarık deneyi ile Thomas Young⁷⁴ tarafından zayıflatılmıştır (Bkz. Görsel 3.14). Young’un bu çalışmalarıyla ışığın dalga gibi davrandığı belirlenmiştir (Ronchi, 1957). Newton ve Young’ın geliştirildiği teoriler, ışığın doğası üzerine yapılan çalışmaların devamında hem dalga hem de parçacık özelliğine sahip bir doğası olduğunun belirlenmesinde büyük katkı sağlamıştır.

⁷⁴Thomas Young (1773- 1829); ışık, katıların mekaniği alanlarında çalışan, molekül boyutlarını ölçme çalışmaları yapan, enerji kavramına bilimsel önemi ilk kez atfeden, tıp doktoru olarak duyuşsal algı üzerine araştırma yapan, Mısırbilimci, filolog olarak Rozetti Taşı’nın şifresinin çözülmesine katkı sağlayan, Britanyalı tıp doktoru, fizikçi (Britannica, Erişim tarihi: 25.11.2025).



Görsel 3.14. *Newton Işık Prizması (LiveScience, 2023), Young'un çift yarık deneyi (Lumen Learning, 2025)*

Newton sonrası bilimcilerden Ole Christensen Rømer⁷⁵ ise Jüpiter uydularını kullanarak ışığın hızı üzerine yaptığı çalışmalarla ilk defa ışığın sabit bir hızla hareket ettiğini ve bunun 200.000Km/s gibi bir değer olduğunu ortaya koydu. Işığın yayılma hızı konusunda Rømer'den sonra gelen bilim insanı, fizikçi Foucault olmuştur. Léon Foucault⁷⁶, hızla dönen ayna kullanarak oluşturulduğu düzenekle ışığın boşlukta ve havada yayılma hızının 298.000 km/ s civarında olduğunu belirlemiştir (Hockey, 2007).

19.yy.'ın ortasına gelindiğinde optik çalışmalarında büyük atılımların peş peşe geldiği görülmektedir. Newton veya Alman matematikçi Leibniz gibi matematik ve bilim tarihinin köşe taşlarından biri olan James Clerk Maxwell⁷⁷ ışığı bir elektromanyetik dalga olarak tanımlamış, elektrik ve manyetizmanın nasıl birbiriyle etkileştiğini, bu etkileşimin ışık dalgalarını nasıl oluşturduğunu göstermiştir (Ronchi, 1957). Maxwell, elektrik ve manyetizmayla ilgili dört temel denklemi formüle etmiştir. “Maxwell Denklemleri” olarak adlandırılan bu denklemlerde; elektrik alanları, manyetik alanlar ve ışık dalgaları arasındaki ilişkileri tanımlamıştır. Maxwell’ de elektromanyetik dalgaların (örneğin ışığın) boşlukta belli bir hızla yayıldığını göstermiş ve öncekilerden farklı olarak ışığın hızını 299,792.458 m/s olarak belirlemiştir (Flood, McCartney ve Whitaker, 2014). Işığı dalga olarak ele alıp yaptığı çalışmalarla dalga teoremine dayalı modelin geliştirilmesine

⁷⁵Ole Christensen Rømer (1644- 1710); ışığın sonlu hızla hareket ettiğini ilk kez gösteren Danimarkalı astronom (Britannica, Erişim Tarihi: 25.11.2025).

⁷⁶Jean Bernard Léon Foucault (1819- 1868); optik, elektromanyetizma, fotoğrafçılık gibi alanlarda çalışmalar yapmış, Dünya'nın kendi ekseninde dönüşü konusunda yaptığı çalışmalarda sonucu “Foucault sarkacı” ve jiroskop tasarlamış, manyetik alan değiştiğinde iletkenlerin içerisinde oluşan çembersel elektrik akımı olan girdap akımlarını (Foucault akımı) keşfetmiş, Fransız fizikçi (Hockey, 2007).

⁷⁷James Clerk Maxwell (1831 – 1879); elektrik ve manyetizmanın aynı şey olduğunu ispat ettiği Maxwell Denklemleriyle, Newton'dan sonra fizikteki ikinci büyük birleşmeyi gerçekleştiren, gazların kinetiği teorisine büyük katkı sağlayan, renk görüşü ve renkli görüntüleme, kinetik teori ve termodinamik konularında önemli çalışmalara imza atmış İskoç matematikçi, teorik fizikçi, bilim insanı (Flood, McCartney ve Whitaker, 2014).

öncülük eden Maxwell, ışığın spektral analizi ve renklerin nasıl oluştuğuna dair çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların sonucu Maxwell renk kuramını geliştirmiş ve tarihte ilk renkli fotografik görüntüyü geliştirmeyi başarmıştır. Fizik alanında yaptığı çalışmalarla Newton'un ardılı olan Maxwell Einstein'ın ışık ve görecelilik kuramı üzerine yaptığı atılımın en önemli temellerini inşaa etmiştir (Flood, McCartney ve Whitaker, 2014).

Diğer taraftan Maxwell'in ışığın bir elektromanyetik dalga olduğunu ifade eden dört denklemini, laboratuvarında üretilen elektromanyetik dalgalarla yaptığı deney sonucu ispatlayan kişi, Alman fizikçi Hertz⁷⁸ olmuştur (Baird, Hughes ve Nordmann, 1998). Çeşitli frekanslarda elektromanyetik dalgalar üreterek, bu dalgaların nasıl yayıldığını, yansıdığını, kırıldığını ve girişim yaptığını göstermiş olan Hertz; ışık ile ısının elektromanyetik radyasyonlar olduğunu göstermiş, belirli frekanslarda ürettiği dalgaların bazı özelliklerini keşfetmiş ve bu dalgaların görünür ışık, radyo dalgaları gibi diğer dalga türleri ile ilişkili olduğunu kanıtlamıştır (Baird, Hughes ve Nordmann, 1998).

1905 yılına gelindiğinde fotoelektrik etkisini açıklayan Einstein⁷⁹, elektron saçılımı temelinde ışığın en küçük enerji parçalarını, sonraları foton olarak adlandırılacak olan ışık kuantları olarak tanımlamıştır. Bu sayede 1900 yılında fizikçi Max Planck'in ortaya koyduğu kuantum teorisini etkili bir şekilde ispat etmiştir. Kuantum fiziğinin temelini atan Einstein, ışığın ne sadece klasik bir dalga ne de klasik bir parçacık gibi davranmadığını, aksine hem dalga hem de parçacık karakteri gösterdiğini açıklamıştır (Buchwarld, 2009). 1927 yılında ise fizikçi Compton⁸⁰, Cavendish (Maxwell'in kurduğu optik laboratuvarı) laboratuvarında gama ışınlarının saçılımı ve absorpsiyonu, x-ışınlarını kullanarak ferromanyetizm konularında yaptığı çalışmalar sonucu Compton Etkisi olarak adlandırılan ve bir elektronla etkileşime giren bir x-ışını fotonunun enerjisindeki azalımı (dalga boyundaki artışı) anlamında kaymayı keşfetmiştir (Hockey, 2007). Compton'dan birkaç yıl sonra Ernst Ruska ve Max Knoll ikilisi, optik laboratuvarları için çok önemli olan, madde dalgaları ve elektron demetlerinin görüntülenmesi için kullanılan elektron mikroskobunu icat etmişlerdir. Bir objeyi bir milyon defa büyütebilen elektron

⁷⁸Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894); Alman fizikçi (Baird, Hughes ve Nordmann, 1998).

⁷⁹Albert Einstein (1879- 1955); özel ve genel görelilik kuramı, Fotoelektrik etkisi, istatistiksel fizik ve kuantum fiziği, kozmoloji, birleşik alan kuramı gibi fiziğin birçok konusunda önemli çalışmaları ortaya koymuş, kütle enerji korunumu kuramını tanımlamış, ışığı yapısal olarak tanımlamasını yapmış ve sabit hız değerini 299.792.458 m/sn tam olarak belirlemiş, bilim tarihinin köşe taşından biri olan Alman teorik fizikçi (Buchwarld, 2009).

⁸⁰Arthur Holly Compton (1892- 1962); elektromanyetik radyasyonun parçacıklı yapısını gösteren Compton Etkisi'nin keşfi ile Nobel Fizik Ödülü alan Amerikalı fizikçi (Hockey, 2007).

mikroskopu, virüsler başta olmak üzere birçok mikroorganizmanın incelenmesine de olanak sağlamıştır.

Son olarak Einstein'ın 1917 yılında yayınladığı "Zur Quantentheorie der Strahlung" adlı makalesinde açıkladığı, mazer (maser) çalışmaları ile temelini attığı, optik biliminin bir dalı olan lazer fiziği alanında (Buchwarld, 2009); Charles Hard Townes, Nicolai Basov ve Alexander Mikhaylovich Prokhorov'un kuantum optiği konusunda geliştirdiği ışık amplifikasyonu kavramına dayanılarak, 1957 yılında Amerikalı fizikçi Gordon Gould tarafından optik pompalı lazer sisteminin geliştirilmesi, lazer fiziği ve teknolojileri konusunda çok önemli bir adım olmuştur (Hockey, 2007).

İtalyan fizikçi Vasco Ronchi'nin kaleme aldığı "Optik" adlı çalışmasında görüldüğü üzere (Ronchi, 1957), ilk önceleri ışın tabanlı ışık modeli olarak geliştirilen optik⁸¹ konusuna, sonraları ışığın dalga modeli eklenmiştir. 19.yy.'da elektromanyetik teorisinde yaşanan ilerlemeler sayesinde ışık dalgalarının aslında elektromanyetik radyasyon olduğunun keşfedilmesiyle optik biliminde çok önemli devrim yaşanmasına yol açmıştır. Maxwell, Einstein veya Planck gibi bu devrimin bilim insanlarının öncül çalışmalarıyla ışığın; bazı olgularda hem dalga hem de parçacık benzeri özellikleri gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle, ışığın parçacık benzeri özellikleri göz önüne alınarak, "foton" adı verilen parçacıkların bir koleksiyonu olarak modellenmiştir. Işığın bu davranışlarının açıklanması süreci, Kuantum mekaniğinin gelişmesine neden olmuştur. Kısaca özetlemek gerekirse, binlerce yıldır optik alanında yapılan çalışmalarla anlaşılmaya çalışılan ışık fenomeninin hâlâ birçok bilinmeyeninin olduğu aşikârdır.

Burada kısaca ele alınan optik fiziğinin gelişim tarihinden sonra, ışık kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için ışığın hangi temel alanlarda incelendiğine ve bunların temel özelliklerine kısaca değinilmesi uygun olacaktır.

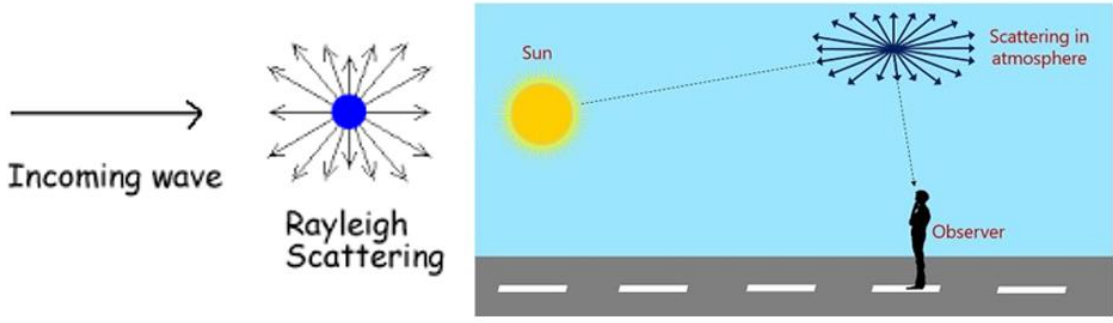
3.1.1. Fiziksel optik

Fiziksel optik, ışığın doğasını ve onun maddelerle etkileşimini inceleyen bir fizik dalıdır. Bu alan çalışmaları, ışığın dalga modeli merkezli dalga teorisi ve ışığın yayılma kuralları üzerine yoğunlaşır. Fiziksel optik, optik sistemlerin incelenmesi, modellenmesi ve tasarlanması konusunda yaklaşım geliştirilmesine kaynaklık eder.

⁸¹Optik; ilk önceleri göz ve görmeyle ilgili olarak kullanılan bir terimken; göz, görme ve ışık alanlarında üretilen bilginin gelişmesiyle, ışığın yapısını ve özelliklerini, maddeyle etkileşimini, bu etkileşimi kullanan veya algılayan araçların yapısını da içermiştir (Ronchi, 1957).

Fiziksel optiğin ana konuları şu şekilde sıralanabilir:

1. **Işığın doğal yapısı:** Işığın doğal yapısının tanımlanması çalışmaları, bu alanın merkezini oluşturur. Işığın dalga ve/ veya parçacıklı yapısının olup olmadığına dair ortaya çıkan karmaşık soruların çözümüne yönelik, ilgili alanda yapılan teorik ve uygulamalı çalışmalar, geliştirilen teknolojilerle destekli olarak devam etmektedir (Ronchi, 1957).
2. **Dalga Teorisi:** 1ve 2-boyutlu dalgalar; harmonik, küresel, silindirik dalgalar, düzlem dalgaları veya elektromanyetik dalgalar gibi gözle görülemeyen ışık dalgalarının elektrik ve manyetik alan modellemelerini içeren sistemlerin geliştirilmesi; elektromanyetik spektrumu, 3-boyutlu diferansiyel dalga denklemleri, dönen ışık problemleri gibi konular; dalga teorisi çalışmalarının temelini oluşturur (Ronchi, 1957).
3. **Dalgaların Süperpozisyonları:** Fizik optiğinin bu alanda yaptığı çalışmalar, uzayda bir bölgede bir veya daha fazla ışık dalgasının üst üste binme durumlarını anlama üzerinedir. Oluşan süperpozisyonun oluşmasına sebep olan koşullar, ortaya çıkan optik bozulmayı belirlemektedir. Fiziksel optikteki süperpozisyon çalışmaları, faz, frekans gibi her bir bileşen dalgasının bilinen özelliklerinin bileşik bozulmayı nasıl etkilediği konusuna odaklanır (Hecht, 2017).
4. **Kırınım ve Optik Çözünürlük:** Işık dalgalarının engel veya bir yarık nedeni ile yayılım doğrultularından sapmaları ve bu sapmaların sonucu mikroskopi düzeyde oluşan desenlerin incelenmektedir (Hecht, 2017).
5. **Dalgaların Dağılım ve Saçılımı:** Farklı faz hızlarına sahip farklı ışık frekanslarının, ışığın kırılması sonucu dağılmaları ve dalga boyundan çok daha küçük parçacıkların elastiki saçılımlarını incelenir (Beyaz ışık ve Newton prizması). Bu alanda yapılan çalışmaların sonuçları özellikle renk kuramları ve uygulamaları için önemli yaklaşımlar sunmaktadır. Fizik optiği çalışmalarında Thomson Saçılımı, Rayleigh Saçılımı (Bkz. Görsel 3.15), Raman Saçılımı veya Brillouin Saçılımı gibi bilim insanları tarafından geliştirilmiş çeşitli saçılım modelleri kullanılmaktadır (Hecht, 2017).



Görsel 3.15. Rayleigh Saçılımı ve mavi hava molekülünde oluşan Rayleigh Saçılımı (Hecht, 2017)

6. **Polarizasyon:** Işık gibi elektromanyetik dalga salınımlarının geometrik yönelimini enine dalgaların özelliklerinden biri olan polarizasyon, ışığın bir enine elektromanyetik dalga olarak yapılan çalışmaları ile polarize olan ışığın her zaman birbirlerine dik olan birleştirilmiş salınımlı elektrik alanı ve manyetik alanlarını inceler (Johnsen, 2012).
7. **Modern Fizik Optiği:** Başta kuantum optiği olmak üzere, lazer ve lazer ışıkları, silah sanayii, uzay sanayii, tıp teknolojisi ve cerrahisi, görüntüleme sistemleri, fiber optik, iletişim sistemleri gibi alanlarda lazer kullanımı, holografi, doğrusal olmayan optik, optik illüzyon (görsel efekt) gibi ışığın yer aldığı modern bilim ve teknoloji alanlarında yapılan çalışmaları içermektedir (Hecht, 2017).
8. **Atmosferik Optik:** Atmosferdeki ışığın yayılma, kırılma, yansıma ve saçılma gibi etkileşimlerini, hava kirliliği, görüş ve atmosferde meydana gelen optik fenomenleri konularıyla ilgili çalışmaları içermektedir. Bu çalışmalarda ışığın atmosferdeki gazlar, aerosoller (hava içindeki küçük parçacıklar), bulutlar ve diğer atmosferik bileşenlerle nasıl etkileştiğini anlamak üzere fizik ve fizik optiği ilkeleri ile yürütülür (Johnsen, 2012).
9. **Optik Aletler:** Optiğin çalışma ve kullanılma alanlarında ihtiyaç olan lensler, mercekler, dedektörler, plazmalar, teleskoplar, mikroskoplar, optik cımbızlar, fiber optik kablo ve benzeri aletlerin geliştirilmesi, üretilmesi ile ilgili çalışmaları içermektedir.

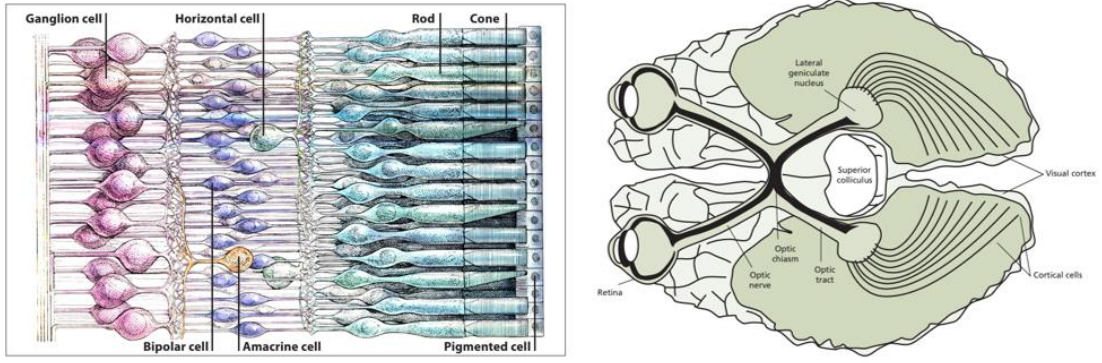
3.1.2. Geometrik optik

Işığın nasıl yayıldığı, yansıyıp kırıldığı ve optik görüntünün nasıl oluştuğuna dair yapılan optik çalışmalarına Geometrik Optik denilmektedir. Işığın dalga boyu sıfıra yaklaştığında, oluşan homojen ortamlarda doğrusal yayılma meydana gelmektedir. Bu homojen alanlar Geometrik Optiğin idealize edilmiş alanlarıdır (Hecht, 2017). Fizik çalışmalarının pratik yanını oluşturan Geometrik Optik, ışığı düz çizgiler hâlinde hareket eden ve yüzeylerden geçerken veya yansırken bükülen ışınlar topluluğu olarak ele alır (Hecht, 2017). Fizik çalışmaları tarihinin erken döneminden buyana yapılan teorik ve deneysel çalışmalar; ışığın homojen ortamlarda düz çizgiler olarak yayıldığı, yansıma açısının giriş açısı ile eşit olduğu, giriş ve çıkış açılarının sinüslerinin oranı ortama bağlı olan bir sabit olduğu veya birbirini kesen iki bağımsız ışık demetinin, birbirlerini hiçbir şekilde etkilemeyecekleri maddelerinden oluşan Geometrik Optiğin yasalarına ulaşılmasını sağlamıştır (Katz, 2002).

Geometrik Optik alanında; yakınsak ıraksak merceklerle, optik görüntü oluşumunu sağlayan optik sistemler üzerinde, ışığın kırılma ve yansıma hareketleri temelinde tanımlanmış matematiksel modeller çalışılmaktadır.

3.1.3. Işık- görme ilişkisi ve görsel konfor

Bu bölümde dile getirildiği üzere ışık, görme sürecinin temel bir bileşeni olarak nesnelerin görünmesi için gerekli olan enerji kaynağıdır. Göz ve beyin merkezli biyolojik görme sistemleri çok karmaşık optik yapılardır. Basit şekliyle, göz merceği göze korneadan giren ışığı toplar ve gözün retinasına odaklar. Retinada bulunan fotoreseptör hücrelere (çubuk ve koni hücreleri) ışığı nöronal sinyallere çevirerek optik sinir yoluyla beyindeki görsel kortekse ulaştırmaktadır (Bkz. Görsel 3.16). Kortekse ulaşan bilgiler işlenerek görüntüler tanımlanıp, anlamlandırılarak algılanmasıyla görme işlemi tamamlanır. Görme, ışığın yansıması, kırılması ve saçılması gibi optik olaylar sayesinde gerçekleşirken, ışığın dalga boyu, insan gözü tarafından algılanan renkleri ve detayları belirler (IES, 2011).



Görsel 3.16. Fotoresseptör hücreleri (IES, 2011), Merkezi görme sinir yolu (SLL, 2009)

Tarih boyu insanlar; günışığıyla ve günışığının yetersizliğinde tasarlanan yapay aydınlatma araçlarıyla, görmenin devamlılığını sağlamıştır. Günün geceye dönmesiyle, bulunan mekânın işlevine ve ışık- karanlık kalitesine göre günışığı yerini yapay ışığa bıraktıkça, hayatın devamlılığı, biyolojik sağlık için görme kalitesi ve konforunun önemli artmaktadır. Günışığı, görme için mükemmel kalitededir ve bu nedenle yapay aydınlatma merkezli görme konforu için aydınlatma spektrumunu olabildiğince günışığına yakın olması gerekmektedir. Görme konforunun sağlandığı koşullar; gözlerin dinlenmesi ve işleve göre ışığın belirlenmiş aydınlık düzeyinin sağlanması, ışık kalitesi olarak ışığın açısı, parlaklığı, akısı, aydınlık düzeyi, şiddeti, partilisi, renk sıcaklığı, renksel geriverim ve aydınlatmanın düzgünlüğüne bağlıdır (IES, 2011).

3.2. Aydınlatma

Tarih boyunca ışık/ aydınlık ve insanlık arasındaki ilişki, doğal ışık kaynaklarının kullanımıyla başlayıp sonrasında, ulaşılan bilgi ve teknik/ teknolojiler sonucu geliştirilen yapay ışık kaynaklarıyla beraber karma bir yapıya ulaşmıştır. Günümüz teknolojilerinin imkânlarıyla genişleyen aydınlık kullanımı sayesinde, her çeşit mekânda, mevsimlere göre günün her anında ihtiyaç olunan aydınlık ortamlar tasarlanabilir hâle gelmiştir. 19.yy.'da Elektrik Çağı modernizmin itici gücü olurken, elektrik ışığı kullanımıyla aydınlık kavramı da değişime uğramıştır (Isenstadt, 2018). Sanat ve mimarlık tarihinde görülen karanlık, loş sahneler, mekânlar; Romantiklerle birlikte kısmen başlayan sürecin devamında gelen post izlenimcilerde apaydınlık kompozisyon ve mekânlara evrilmiştir. Diğer yandan günlük pratikler gereği önceleri güvenlik amacıyla gece uykuları iki periyotta uyunurken, 19.yy. ortası ve sonrasında tek periyotluk gece uykularına döner (Edwards, 2020). Dolayısıyla aydınlık kapasitesi genişledikçe insana dair her alanda, ışık

ve karanlığa bağı olan sınırlar genişlemiş, değişime alan açılmış ve açılmaya devam etmiştir.

Aydınlatma laboratuvarlarının gelişim sürecinin anlaşılabilmesi, aydınlatma tarihinde geçirilen safhalarla ilgilidir. Bu doğrultuda aydınlatma tarihine göz gezdirildiğinde, binlerce yılı kapsayan ve çok çeşitli yenilik ve keşifleri içeren uzun ve büyüleyici bir tarihi olduğu görülür.

Ateşi bulduğu ilk andan bu yana, yaşamın her safhasında ateşten yararlanmaya çalışmış olan insanoğlu, erken dönem aydınlatmalarda hem günlük pratikleri hem de törensel amaçları için geliştirdiği ateş, mumlar ve kandilleri kullandığı görülmektedir. Günişığının yetersiz olduğu durumlara karşı açık ateş ışığını kullanmak suretiyle yapay aydınlatma araçlarını geliştirirken ateşi kontrol altına almayı ve taşınabilir olmasını sağlamıştır (Çokay, 2000). Bu iki şartı sağlayan ilk aydınlatma elemanı, meşale olarak ortaya çıkmıştır. Hayatın devamlılığı için önemli bir değer olan aydınlığın; İnsanoğlu tarafından yapay olarak elde etme çalışmalarının ikinci önemli safhasını, hayvansal yağları kullanarak ürettiği kandiller (yağ lambaları) oluşturur. İcat edilen kandillerde yağ haznesi olarak deniz kabukları veya hayvan boynuzları kullanılırken, çağlar içinde gelişen bilgi ve pratikler sonucu ahşap, pişmiş toprak, taş, cam veya işlenebilen madenlere kadar çok çeşitli malzemeler kullanılmıştır (Russell, 2003). Kandillerin yakıtları konusunda ise hayvansal yağların yanı sıra bitki bazlı çok çeşitli yağların kullanıldığı belirlenmiştir (Çokay, 2000). Yağlar konusunda özellikle insan topluluklarının yaşadığı coğrafyaya özelleştiği görülür ki bu durum aynı zamanda arkeoloji alanına da değerli veriler sağlamıştır. Diğer yandan 19.yy.'ın ilk çeyreğine kadar yağdanlıklarda yakıt olarak kullanılan, hayvansal ve bitkisel yağların yanması sonucu elde edilen titrek ve renkli, görmeyi sorunlu hâle getiren turuncu ışığı, kötü kokusu, yağlı isi ve baca sisteminde birikerek ışığın çıkışını engellemesi gibi sorunların giderilme çabaları yağdanlık çeşitlerinin tasarlanmasına sebep olmuştur.

19.yy.'a kadar yapay aydınlatma için kullanılan kandillerin yanında ikinci ana araç mumlardır. Ne zaman ortaya çıktığı kesin olmasa da İ.S. 1.yy.'dan itibaren kayıtlarda görülen mum üretiminde çok çeşitli malzemeler kullanılagelmiştir. İlk mumların donyağı ve gliserin yağından oluşan katı beyaz karışımı, benzer olarak parafin ve gazyağından, balina sperminden elde edilen ve daha az kokulu, daha parlak ışık veren ispermeçetten veya dayanıklı, güzel kokulu fakat pahalı olan balmumu gibi maddelerden yapılmış olduğu belirlenmiştir (Russell, 2003). Taşınması kolay, iyi ışık veren ve ucuz olan mumlar,

hava koşullarından çok etkilendiği için dış mekânlarda kullanılması zor araçlardır. Düşük kaliteli, pratik ve her çeşit kullanıma uygun uzun süreli bir aydınlatma aracı olan kandiller ve mumlar, aydınlatmada uzun süre karma kullanılmıştır. Büyük kısmıyla, iç mekânlarda mumlar, hareket edilmesi gereken koşullarda ve çoğunlukla dış mekânlarda ise uygun kandiller kullanılmıştır. Özellikle mumların kullanımında istenilen oranda aydınlığı sağlamak için sayısının arttırılabilmesi için ayaklı, asılabilen veya elde taşıma gibi çeşitli kullanım senaryolarına uygun çeşitli şekillerde şamdanlar tasarlanmıştır (Bkz. Görsel 3.17). Şamdanlar konusunda önemli bir nokta da ışığın çoğalabilmesi için metal gibi parlak yüzeyli malzemeler, cam ve aynaların kullanılmış olmasıdır. Bu konuda günümüze gelen örnekler içinde, profesyonel anlamda yüksek kalitede yapılan ilk tasarımlardan biri olarak görülen Versay Sarayı'nın⁸² aynalı salonunda görülen iç mekân uygulamasıdır (Bkz. Görsel 3.17) (Shtrum ve Lagarde, 2024).



Görsel 3.17. Versay Sarayı, Aynalı Salon (Château de Versailles Official Web Side, 2025)

19.yy. başlarından itibaren yaşanan ekonomik süreçler sonucu balina yağı gibi temel kandil yakıtlarının pahalılaşması nedeniyle ortaya çıkan; alkol ve damıtılmış terebentinden oluşan “yanan sıvı” olarak adlandırılan yeni yakıt; beyaz dumansız bir alev üreten, en ufak kazalarda yanma ve yangın çıkarma riski en yüksek olan ucuz ve akıcı bir yakıttı (Russell, 2003). İlk patenti 1830 yılında alınan Yanan Sıvı (Russell, 2003), kandillerin çalışma ilkelerinin aynı kalıp yakıtın farklılaşması sonucu kullanımları

⁸²Versay Sarayı, Fransa Krallığı'nın Kraliyet merkezi ve Hükûmet binası olan Versay Sarayı, XIV. Louis tarafından, 1661- 1715 yılları arasında Versay'da bulunan ve XIII. Louis'den kalan bir şato ve etrafında yer alan ormanla birlikte yapılan genişletme çalışmaları sonucu inşaa edilen, 1979 yılında UNESCO tarafından Dünya Mirası listesine alınan, Fransız Barok üslubunun en önemli eseri olan Fransa Kraliyet Sarayı (Château de Versailles Official Web Side, Erişim tarihi: 25.11.2025).

sırasında meydana gelebilecek yanma riski veya yanma sonucu ortaya çıkan zararlı gazlar gibi yeni sorunların yönetilmesini zorunlu hâle getirmiştir (Bkz. Görsel 3.18).



Görsel 3.18. Mum, kandil, yanan sivili lamba, gaz yağı lambası, gaz lambası (Russell, 2003)

1850'lere gelindiğinde yakıt olarak gazyağının süzölmüş hâli olan kerosenin kullanıldığı gaz lambaları (gerçek anlamda gaz yakıtlı lambalar değildir. Kerosen yanınca gaz hâline geçen bir katı maddedir) yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Gaz lambaları, genellikle metal veya camdan yapılmış bir gövde, cam baca ve bir pamuk fitil veya gaz mantosundan meydana gelmiştir. Çeşitli türleri üretilen gaz lambaları; iç ve dış mekânlarda yaygın olarak kullanılmıştır. Yakıt depolarının kapasitesine göre uzun süre çalışabilen, parlaklığı kontrol edilebilen, az bakım gerektiren gaz lambaları, geceleri caddelerin, kapalı mekânların aydınlatmasında kullanılması gece çalışmasına imkân sağlamıştır. Diğer taraftan da evler, gösteri salonları veya ticarethanelerde yangın nedenlerinin başında gelmiştir.

19.yy.'da akkor ampulün icadı, aydınlatma tarihinde önemli bir dönüm noktasını olmuştur. İlk akkor lamba, 1835 yılında İskoç matematikçi ve mucit olan James Bowman Lindsay (1799- 1862) tarafından geliştirilmiştir (MacTutor, 2024). Başlarda yakıt olarak kullanılan, erime sıcaklığı yüksek olan tungsten maddesinin lambanın içinde yer alan filamanın hızla bozulması nedeniyle bir günlük ömürleri olan akkor lambalar, cam ampullerinin vakumlu üretilmesi ve kararlı gazların kullanılmasıyla ömürleri bir yıla kadar uzatılmıştır. 1874 yılında, Rus elektrik mühendisi Alexander Nikolayevich Lodygin (1847- 1923) ilk kez akkor ampulün patentini alırken, 1879 yılında iplikli akkor

ampulün patentini alan Thomas Edison, akkor lambaların kullanımını yaygınlaştıran girişimci olmuştur (Bkz. Görsel 3.19) (Adair, 1996).



Görsel 3.19. Patentli akkor filamentli lamba (MacTutor, 2024), Karbon filamentli lamba (Adair, 1996)

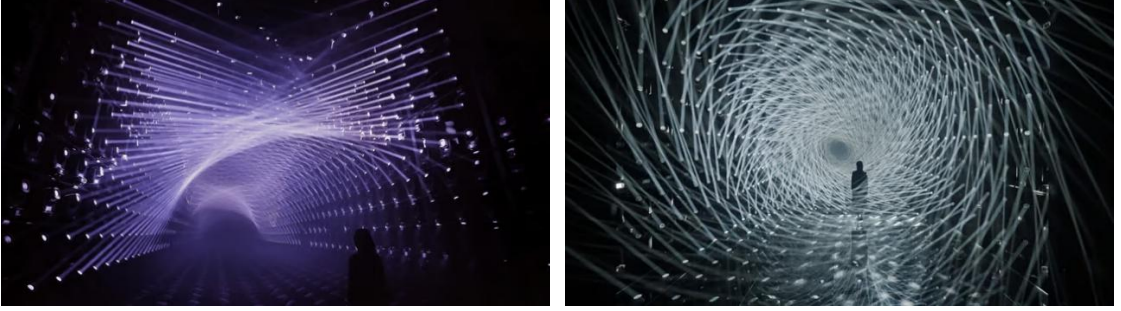
Thomas Edison'ın aydınlatma konusunda yaptığı çalışmalar devrim niteliğinde olmuştur. 1879 yılında karbon filaman kullanarak cam ampülü geliştiren Edison, 1880 yılında, ilk kez elektrik gücüyle ışık üretilmesini mümkün kılmış; evlerin, işyerlerinin, kamusal alanların, sokakların, caddelerin ve bunlara benzer iç ve dış mekânların aydınlatılmasında elektrikli aydınlatma sistemlerinin yaygın bir şekilde kullanılmasına sebep olurken; ana aydınlatma sistemi olarak insanların geliştirdiği aydınlatma teknolojilerinin ana damarı olmasına yol açmıştır (Adair, 1996).

İlk kez 1867 yılında başlayan floresan lamba çalışmaların, 20.yy.'ın ilk yıllarında General Elektrik'in tungsten bazlı filamanla floresan icadıyla önemli bir aşama kaydedilmiştir. 1912 yılında çalışmalarına patent alan General Elektrik, 1937 yılında New York Dünya Fuarı'nda tanıttığı floresan lambalar geniş kitlelere ulaşmış ve ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır (Adair, 1996).

Tarihin akışı içinde, aydınlatmanın verimliliğini ve performansını iyileştirmek için yeni teknolojiler geliştirilmiştir (Isenstadt, 2018). 20.yy. boyunca floresan lambalarda yaşanan gelişmeler, ışık yayan diyotların (LED'ler) ve yüksek yoğunluklu deşarj (HID)⁸³ lambaların geliştirilmesi, 21.yy. aydınlatma teknolojisinin sınırlarının büyük oranda genişlemesine sebep olmuştur (Feng, 2017). Bu yeni teknolojilerin yaygın olarak

⁸³LED ve HID gibi aydınlatma teknolojileri bu tezin 3.3.1. Aydınlatma Teknolojileri ve Sistemleri başlığı altında açıklanmaktadır (Y.N.).

kullanılması, deniz altından uzay istasyonuna veya Tokyo'nun Dijital Sanat Müzesi'nde bulunan LED Kristal Işık Tüneli (teamLAB, 2025) gibi mekânlarda yeni ve heyecan verici aydınlatma uygulamalarının yaratılmasına olanak sağlamıştır (Bkz. Görsel 3.20).



Görsel 3.20. *Light Cave* ve *Light Vortex* (teamLAB, 2025)

3.2.1. Güneş ışığı aydınlatma ve özellikleri

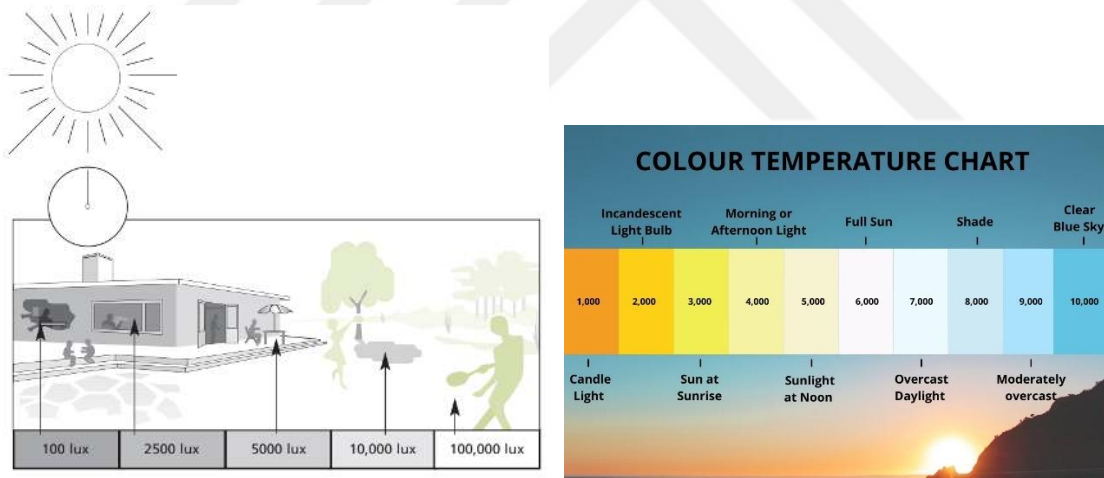
Güneş, Dünya'nın iklim sistemi ve ekosistemleri için temel bir enerji kaynağıdır. Güneş ışığının Dünya ile ilişkisinde gezegenin coğrafi özellikleri ışık etkisini önemli derecede etkilemektedir. Kutup eksen eğik (eliptik) olan Dünya, kendi etrafında dönerken aynı zamanda Güneş etrafında da dönmektedir. Bu sistem nedeniyle, Dünya'ya düşen güneş ışığı farklı coğrafi bölgelerde değişkenlik gösterirken, gündüz/ gece (aydınlık/ karanlık) gibi zaman döngüsünü de oluşturmaktadır. Bu nedenle Dünya'nın ortaya çıkan elektromanyetik düzeninde, Kuzey ve Güney yarım kürelerde, zaman ve mevsimler ters döngülerde hareket etmektedir. Bu dinamik döngü içinde Güneş ışığı yıl boyunca Ekvator bölgesinde dik açıyla gelirken, kutup bölgelerine yaklaştıkça ışığın düşüş açısı daralır. Güneş ışığının, Dünya ile ilişkisindeki bu farklılıklar, yaşayan insan topluluklarının bulundukları coğrafyaya göre biyolojik, psikolojik, antropolojik, sosyal, kültürel düzenlerinin ana üretici olarak ortaya çıkar (Karlen ve Benya, 2004).

Dünya yüzeyinin çeşitli özellikleri nedeniyle emilme, yansıtma ve dağıtma özellikleri etkilenen güneş ışığının atmosferden geçerken, bir kısmı toz, su buharı ve diğer parçacıklar tarafından saçılır. Bu saçılma, bulutlarla birlikte, gökyüzü aydınlığını üretir. Güneş ışığının gündüz vakti atmosferde saçılarak doğrudan veya dolaylı gelen ışınları, günışığı olarak ifade edilmektedir. Dünya canlıları için mükemmel kalitede olan günışığı miktarı ve yönü mevsimler ve mevsimlere bağlı hava durumu, günün saati, sıcaklık veya hava kirliliği gibi sebeplere dayalı olarak değişiklik göstermektedir (Karlen ve Benya, 2004).

Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışığının %40'ı görünür radyasyon, %60'ı ultraviyole (UV) ve kızılötesi (IR) dalga boylarından oluşmaktadır. Işık spektral dağılımında görünen ışık, 380 nm ile 750 nm arasında değişen dalga boylarına sahiptir. UVA, UVB veya UVC gibi UV ışınlarının farklı türlerini içeren günışığı insan cildinde yanıklara veya dermatolojik sorunların oluşmasına neden olabilir (SLL, 2009).

Günışığının renk sıcaklığı, güneşin konumuna bağlı bir özelliktir. Güneşin doğuşu ve batışı sırasında, renk sıcaklığı 2000K civarındayken, öğle saatlerinde bu değer 5000K-6000K arasında değişiklik göstermektedir (Bkz. Görsel 3.19) (SLL, 2009).

Günışığının, bir alanı aydınlatılması için gereken ışık miktarına aydınlatma düzeyi denir ve lüks (lux) cinsinden ölçülür. Açık bir havada, öğle vakti doğrudan gelen günışığının aydınlatma düzeyi, ortalama 120.000 lüks düzeylerine ulaşabilir. Bu düzey, kapalı bir gökyüzünün oluşturduğu günışığının aydınlatma düzeyi için kışın 10.000 lüks ve yazın parlak bulutlu bir günde yaklaşık 30.000 lüks düzeyine ulaşabilir (Bkz. Görsel 3.21) (IESNA, 2000).



Görsel 3.21. Gün- gece aydınlık değerler (SLL, 2009), Işık sıcaklık tablosu (IESNA, 2000)

Günışığının, kırılma ve yansıma özelliği gökyüzü aydınlığını ve günışığının yoğunluğunu etkiler (Karlen ve Benya, 2004). Diğer taraftan Güneş ışığının emilmesi sonucu ortaya çıkan ısı Yerkürenin coğrafi dengeleri için önemli bir değişken olarak Dünya hayatını etkiler.

Son özelliği olarak günışığı açıklığına değinmek gerekir. Günışığı açıklığı; pencere, ıslıklık veya diğer açıklıklardan yapıların içine giren güneş ışığı miktarını belirtmektedir

(IESNA, 2000). Günüşığı açıklığı, mimari açıdan doğal aydınlatma tasarımında önemli bir ölçüt olarak kullanılmaktadır.

3.2.2. Yapay aydınlatma ve özellikleri

Aydınlatma, gözün görme fonksiyonun gerçekleşmesini sağlamak üzere çeşitli ortamlarda belirli görsel, estetik ve pratik etkiler elde etmek için ışık kaynaklarının bilinçli kullanımı ve düzenlenmesi anlamına gelir. Aydınlatma insanların etkili, verimli ve rahat bir şekilde çalışabilecekleri görsel koşulları sağlamalıdır. Bu nedenle, aydınlatma koşullarının bir fonksiyonu olarak insan davranışını tahmin etmek için görsel sistemin fiziksel, fizyolojik ve algısal özelliklerini anlamak önemlidir (IESNA, 2000).

Yapay aydınlatmanın kullanımı işlev, estetik ve verimlilik genel başlıkları altında sınıflandırılabilir. Belirli bir görev veya ortam için gereken aydınlatma düzeyi, yapılan etkinliğin türü, alanın büyüklüğü, düzeni ve günün saati gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir. İnsanların güvenliği, konforu ve görünürlüğü için gerekli olan yeterli düzeyde aydınlatma aynı zamanda insanın ruh hâlini, üretkenliği ve enerji tüketimini etkilemektedir. Bu duruma bağlı olarak, doğal aydınlatma düzeyinin günün saati, hava durumu ve çevredeki ortam gibi çeşitli faktörlerden etkilenmesi sonucu, insanların ihtiyacı olan aydınlatmayı sağlamak üzere çözüm üretme çabaları yapay aydınlatmanın gelişimine yol açmıştır (Isenstadt, 2018).

İnsan tarafından tasarlanan araçlarla elde edilen yapay aydınlatma (Gansland ve Hofmann, 1992); istenen aydınlatma düzeyi elde etmek için doğal ışığı desteklemek veya değiştirmek için kullanılmaktadır. Yapay aydınlatma sahip olduğu özelliklere göre, günüşığı aydınlatmasından farklı avantajlara sahiptir. Zaman ve mekân sınırı bulunmayan yapay aydınlatma, ihtiyaca göre rengi, şiddeti, parlaklığı, miktarı, açı ve konumu gibi işleve yönelik tüm teknik değerleriyle ayarlanabilir ışık kaynaklarıdır.



Görsel 3.22. Ayada Maldivler Otel ve TEMA Ofisi aydınlatma tasarımları; Korhan Şişman tarafından kurulan PLANLUX Lighting Design tarafından yapılmıştır (PLANLUX, 2025)

Henüz tam anlaşılamamış olan ışık fenomeni alanında elde edilen bilgiler, farklı aydınlatma çeşitlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Işık kalitesi bakımından doğal (güneşiği ile elde edilen aydınlatma), yapay (insan tasarımı ışık kaynakları ile elde edilen aydınlatma) ve karma (doğal ve yapay ışığın birlikte kullanıldığı aydınlatma) olarak üç çeşit aydınlatma mevcutken, kullanım yeri bakımından iç ve dış mekân aydınlatması, işlev bakımından ortam, görev ve vurgu aydınlatması olarak da üçe ayrılır. Aydınlatmanın bu çeşitliliğini destekleyen teknolojileri sayesinde, atmosfer oluşturma, güvenlik, sağlık, sinema, tiyatro, karayolları tüneller veya şehir aydınlatması gibi çeşitli amaçlara uygun aydınlatma çözüm önerileri geliştirilebilmektedir (Bkz. Görsel 3.22).

Yaşama dair her şeyin düzenlenmesi için gerekli olan ışık/ aydınlığın sağlanması için geliştirilen yapay aydınlatmanın, günümüz Dünya'sında nerelerde ve nasıl kullanıldığının anlaşılabilmesi, geliştirilen aydınlatma teknolojilerinin neler olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede araştırmacıların ve tasarımcıların; yeni ihtiyaç ve sorun alanlarına dair çözüm önerileri geliştirmelerine olanak sağlarken, alanın sınırlarını da genişletmektedir. Bu tez çalışmasının ana konularından biri olan ve söz konusu genişlemenin merkezinde bulunan aydınlatma laboratuvarlarının daha iyi anlaşılabilmesi için yapay aydınlatma teknolojilerinin neler olduğuna kısaca değinilmektedir.

3.3. Günümüz Teknolojilerinde Yapay Aydınlatma

Elektriğin keşfi, yapay aydınlatmada yeni bir dünyanın kapısını açmıştır. Elektrik öncesi kullanılan yapay aydınlatma ile insanların gün batımından sonra hareket etmesine, genel ihtiyaçlarını karşılamasına, kısmen çalışması veya eğlenmesine yardımcı olurken, elektrik aydınlatmaları yeni bir dünya tasarımına yol açmıştır. Özellikle yüzyıllardır optik

biliminde kaydedilen gelişmeler sonucu; akkor, floresan, LED, OLED, HID ve Lazer gibi çeşitli aydınlatma teknolojileri ve sistemleri geliştirilerek, kara, hava, deniz dünyası dâhil her çeşit ortam ve işlevlere göre, kontrol edilebilir yapay aydınlatma sistemleri tasarlanabilir konuma gelinmiştir (Gansland ve Hofmann, 1992; Feng, 2017).

Günümüz Dünya'sının şekillenmesinde büyük rol oynayan aydınlatma alanında bilimin geliştirdiği teknolojilerin neler olduğu aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

3.3.1. Aydınlatma teknolojileri ve sistemleri

Aydınlatma teknolojileri ve sistemlerinin gelişimi sağlık, gıda, iletişim, ulaşım, mimarlık, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik gibi çeşitli alanlarla kesiştiği için çağdaş toplumlarda giderek daha önemli hâle gelmiştir. Yenilikçi aydınlatma çözümlerine olan talep arttıkça, bu sektörü şekillendiren temel ilkeleri ve gelişmeleri anlama ihtiyacı da artmaktadır. Bu sistemlerin temelini oluşturan teknolojik gelişmelerin, sundukları ekonomik ve ekolojik faydaları, mekânlarımızı algılama ve onlarla etkileşim kurma şeklimizi nasıl dönüştürdüklerinin göz önünde bulundurulması önemlidir. Diğer yandan akılcı aydınlatmanın estetik ve işlevselliği artırmadaki öneminin yanı sıra, giderek kentleşen dünyamızda enerji tasarrufunu teşvik etme ve günümüzde hemen hemen her platformda öne sürülen çevre problemlerine olan etkisinin de altının çizilmesi gerekir.

Aydınlatma teknolojilerinin evrimi hem bilimsel ilerlemeleri hem de kültürel dönüşümleri yansıtarak insan gelişiminin önemli bir yönü olmuştur. İlk insanlar çevrelerini aydınlatmak için ateş gibi doğal ışık kaynaklarını kullanmış ve bu uygulama sonraki yeniliklerin temelini oluşturmıştır. Medeniyetler ilerledikçe, özellikle de Bilimsel ve Endüstriyel Devrimler sırasında, bu temel, yeni kimyasal ve elektriksel keşiflerin yönlendirdiği ışıkla ilgili çeşitli cihazların piyasaya sürülmesiyle inşaa edilmiştir. Özellikle akkor ampullerin ortaya çıkışı iç mekân aydınlatmasında devrim yaratmış ve yaygın kentleşme ve endüstriyel büyümenin önünü de açmıştır. 20.yy.'da optoelektronik ve fotoelektronikğin ortaya çıkmasıyla daha fazla ilerleme kaydedilmiş ve fiber optik ve LED gibi uygulamalar ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, bu teknolojilerin entegrasyonu sadece aydınlatmayı geliştirmekle kalmamış, aynı zamanda sosyal etkileşimleri de dönüştürerek ışığın manipülasyonunun çağdaş toplumu nasıl şekillendirmeye devam ettiğinin altını çizmiştir (Guarnieri, 2018).

Akkor lambadan modern LED aydınlatmaya uzanan tarihsel ilerleme hem teknolojiye hem de enerji tüketimini çevreleyen toplumsal normlardaki önemli

gelişmeleri yansıtmaktadır. Yüzyılı aşkın bir süredir yaygın olan akkor ampuller, ışık üretmek için ısıtılan bir filamana dayanıyor olması kaynaklı bu yöntem; basitliği ve güvenilirliği nedeniyle yaygın olarak benimsenmesine rağmen enerji açısından verimsiz olduğunu kanıtlamıştır. Ancak Sanâyî- Endüstri Devrimi, elektriğe ilişkin bilimsel anlayış derinleştikçe daha enerji verimli teknolojiler için bir çerçeve sağlayarak bir değişimi katalize etmiştir (Polzin, von Flotow ve Nolden, 2015, s.4). Bu, enerji kullanımında azalma ve daha uzun kullanım ömrü sunan kompakt floresan lambaların (CFL'ler) önünü açmıştır. Işık yayan diyotların (LED'ler) piyasaya sürülmesi, daha da fazla enerji verimliliği ve dayanıklılık sunarak aydınlatma teknolojisinde bir dönüm noktası olmuştur. Enerji tüketimine yönelik artan inceleme göz önüne alındığında, LED teknolojisine geçiş, sürdürülebilirliğe yönelik daha geniş bir toplumsal taahhüdün altını çizmekte, kamu politikasına nüfuz eden çevresel kaygılara somut bir yanıt vermektedir (Anderson vd., 2010, s. 256). Bu evrim sadece teknolojik ilerlemeyi değil, aynı zamanda tüketici davranışı ve düzenleyici çerçevelerdeki değişimleri de göstermektedir.

Aydınlatma sistemlerinin çeşitliliği, aydınlatma teknolojilerinin çeşitli ortamlarda ve amaçlar doğrultusunda uygulanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Öncelikle, geleneksel sistemler arasında akkor, floresan ve halojen ışıklar yer alır ve her biri enerji verimliliği ve ışık çıkışı kalitesinde farklı avantajlar ve eksiklikler sunmaktadır. Buna karşılık, LED ve OLED teknolojileri gibi daha gelişmiş sistemler üstün uzun ömürlülük ve daha az enerji tüketimi sunarak hem ticari hem de konut ortamlarında giderek daha popüler hâle gelmektedir. Ayrıca, akıllı aydınlatma sistemlerinin entegrasyonu, kullanıcıların ihtiyaçlarına ve tercihlerine uyum sağlayan özelleştirilebilir aydınlatma ayarlarına izin vererek teknoloji ve kullanıcı katılımının bir kesişimini örneklemektedir.

Mimari, iç ve dış mekân, acil veya endüstriyel aydınlatma sistemleri karşılaştırıldığında tasarım, işlevsellik ve enerji verimliliği açısından önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bina, mekân aydınlatması öncelikle estetik çekiciliğe ve rahat bir ortam yaratmaya odaklanır ve genellikle LED ampuller ve akkor armatürler gibi daha yumuşak aydınlatma çözümleri kullanılmaktadır. Buna karşılık; endüstriyel ve daha geniş alanlar için uyarlanmış yüksek verimli floresan veya LED sistemlerinin kullanımı; üretkenliği ve görünürlüğü arttırmak üzere geniş alanlarda aydınlatmayı öncelemesi; enerji tüketimini optimize ederken, maliyetlerin azalmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla floresan ve LED sistemleri, bu özelliği ile işletmelerin tercihlerinde kritik bir öneme ulaşmaktadır. Bununla birlikte, endüstriyel aydınlatma sistemleri; uzun ömürleri ve

parlaklıkları nedeniyle, sıklıkla kullanılan yüksek yoğunluklu deşarj (HID) lambalarıyla daha zorlu ortamlara dayanacak şekilde tasarlanmış, sağlam sistemlerdir (Fred Coito vd., 2002; Albano vd., 2014).

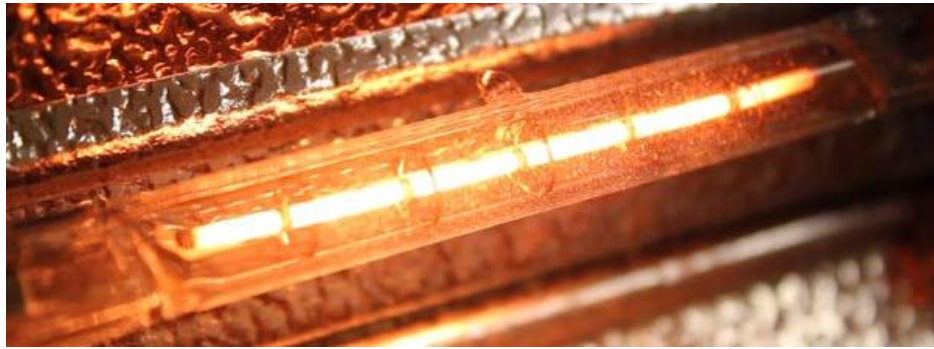
Diğer yandan verimli aydınlatma teknolojilerine geçiş sadece teknik bir yükseltme değil, özellikle elektrik arzının sınırlı olduğu bölgelerde sürdürülebilir enerji uygulamalarını sağlayacak temel bir değişimdir. Örneğin akkor lambaların, kompakt floresan lambalar (CFL) ve ışık yayan diyotlar (LED) ile ikâme edilmesi, önemli ekonomik faydalar ve sera gazı emisyonlarında önemli düşüşler sağlayarak, sırasıyla %66,6 ve %83,3 gibi etkileyici bir azalma sağlamıştır (Enongene, 2016). Bununla birlikte, bu aydınlatma teknolojilerinin uygulanması; yeni teknolojilerin benimsenmesinin önünde bulunan ekonomik ve kurumsal engellerin ele alınması için güvenilir sağlam politikaları gerektirmektedir (Polzin, von Flotow ve Nolden, 2015, s.20). Aydınlatma sistemleri geliştikçe, fotovoltaiik sistemler gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edilmesi, enerji güvenliğinin ve sürdürülebilirliğin artırılması da daha önemli hâle gelecektir.

Geleceğe bakıldığında, aydınlatma teknoloji ve sistemleri; akıllı teknolojilerde, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğindeki ilerlemelere bağlı olarak devrim niteliğinde bir dönüşüme hazırlanmaktadır. Işık yayan diyotlar (LED'ler) gibi yenilikler; mobil uygulamalar ve otomasyon yoluyla, kullanıcıların aydınlatma ortamlarını özelleştirmesini sağlayan akıllı kontrollerle giderek daha fazla entegre edilmekte ve böylece hem konfor hem de üretkenliğin artırılması sağlanmaktadır. Ayrıca, Nesnelerin İnterneti (IoT) özelliklerinin dâhil edilmesi; gerçek zamanlı veri toplama ve analizine olanak tanıyarak, doluluk düzeyine ve doğal ışık kullanılabilirliğine yanıt veren, uyarlanabilir aydınlatma çözümlerinin önünü açmaktadır. Bununla birlikte, çevresel sürdürülebilirliğe yapılan vurgunun artması, biyo-bazlı malzemelerin ve çevre dostu üretim süreçlerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları daha yaygın hâle geldikçe, güneş enerjisiyle çalışan aydınlatma sistemlerinin entegre edilmesi, geleneksel enerji şebekelerine olan bağımlılığın azalmasına da imkân sağlayacaktır. Günümüz Dünya'sında gelişen teknolojik ve dijital trendler, mekânların aydınlatılmasında var olan yaklaşımları yeniden şekillendirecek olan; daha akıllı, daha duyarlı ve sürdürülebilir aydınlatma sistemlerine doğru önemli bir değişimin sinyallerini de vermektedir.

Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının hangi alanda çalışma yürüttüğü konusunun sıkı sıkıya bağlı olduğu aydınlatma ve optik sistemlerinin temelini oluşturan; halojen lambalar, yüksek yoğunluklu deşarjlı (HID) lambalar, ışık yayan iytotlar (LED'ler), kompakt floresan lambalar (CFL'ler), organik ışık yayan diytotlar (OLED'ler), Fiber optik ve UV-C içerikli aydınlatma sistemlerinin neler olduğunun kısaca açıklanması ilgili laboratuvarların sınıflandırılması ve bu sınıflandırmaya bağlı olarak ilke ve ölçütlerin belirlenmesinde önemli bir kriterdir. Bu nedenle, bu bölümde aydınlatma teknoloji ve sistemlerinin kısa açıklamaları yer almaktadır.

3.3.1.1. Halojen teknolojisi

Halojen lamba, iyot veya brom gibi az miktar da halojen içeren bir çeşit akkor lambadır. Halojen lambalarda bulunan halojen gazı ve cam ampuldeki tungsten filament kimyasal reaksiyon üretir (buna halojen döngüsü denir). Halojenin tungsten filamentin yüksek sıcaklıkta reaksiyona girebilmesi için ampul küçük ve dayanıklılığı yüksek camdan yapılmaktadır. Halojen lambalar, benzer güce sahip gaz lambalarından daha yüksek ışık verimi ve renk sıcaklığına sahiptir (Isenstadt, 2018). 1882 yılında klor kullanılan ilk halojen lamba için patent alınmış olsa da 1959 yılında General Elektrik firması, iyot kullanılarak geliştirdiği halojen lambanın ticari anlamda ilk patenti alınmıştır. 1959 yılından itibaren geliştirilmeye devam eden halojen lambalar ilk yıllara nazaran çok hafifletilmiştir (Adair, 1996).



Görsel 3.23. *Çift taraflı halojen lamba (Simpson, 2003)*

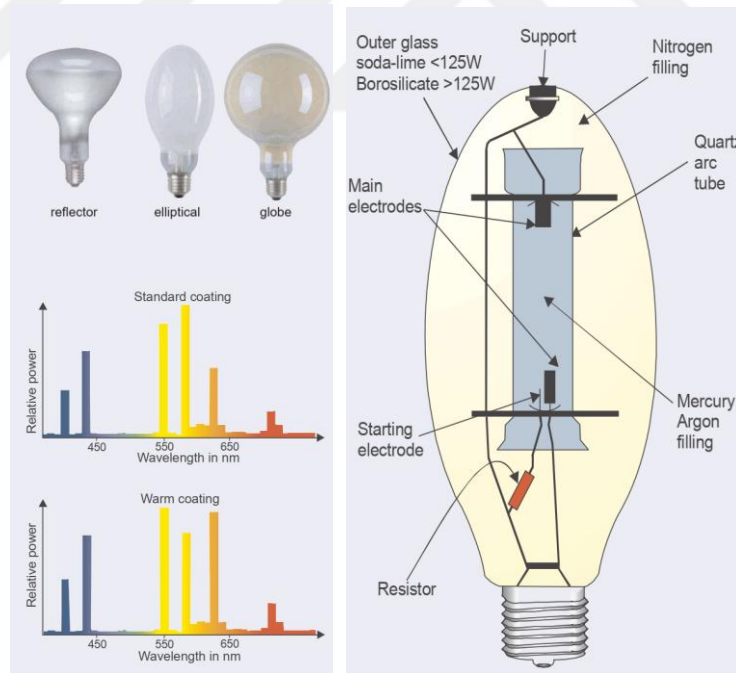
Halojen lambalar çift ve tek taraflı olmak üzere iki çeşittir (Bkz. Görsel 3.23). Çift taraflılar daha güçlü ışık verdikleri ve çok güç harcadıkları için spot aydınlatma, sahne aydınlatması, projektörlerde (ısı yalıtımlı) kullanılmaktadır. Tek taraflı halojenlerin

küçük boyutlarıyla güçlü ışık verebiliyor olmaları, özellikle otomobil farları olmak üzere endüstriyel aydınlatma ve konut aydınlatmalarında tercih edilmektedir (Isenstadt, 2018).

3.3.1.2. Yüksek yoğunluklu deşarjlı HID lambalar

Yüksek Yoğunluklu Deşarj lambasında (HID), ışığı deşarj tüpü içindeki elektrik arkından sağlayan bir tur elektrikli gaz deşarj lambasıdır. Görünür ışık yoğunluğu yüksek olan yüksek yoğunluklu deşarj lambaları modern araç sistemlerinde kullanılmakta olsa da sektör LED ve lazer teknolojisine geçiş yapmaktadır (Karlıcek vd., 2017).

HID lambaların ark tüplerinde kullanılan kimyasal çeşitleri; istenen ışık yoğunluğu, renk sıcaklığı, renk verim indeksi, enerji verimliliği ve lamba ömrüne bağlı olarak belirlenmektedir (Bkz. Görsel 3.24). Bu doğrultuda, metal- hâlide (MH), seramik MH, sodyum buharlı, Xenon kısa ark, cıva buharlı lambalar olmak üzere 5 çeşit HID lambadan bahsedilebilmektedir. İlk cıva buharlı lambalar mavi- yeşil bir ışık üretirken yeni nesilleri daha hafif tonda renk üretmektedir (Karlıcek vd., 2017).



Görsel 3.24. HID Lamba çeşitleri ve spektrumları, HID lamba yapısı (Simpson, 2003)

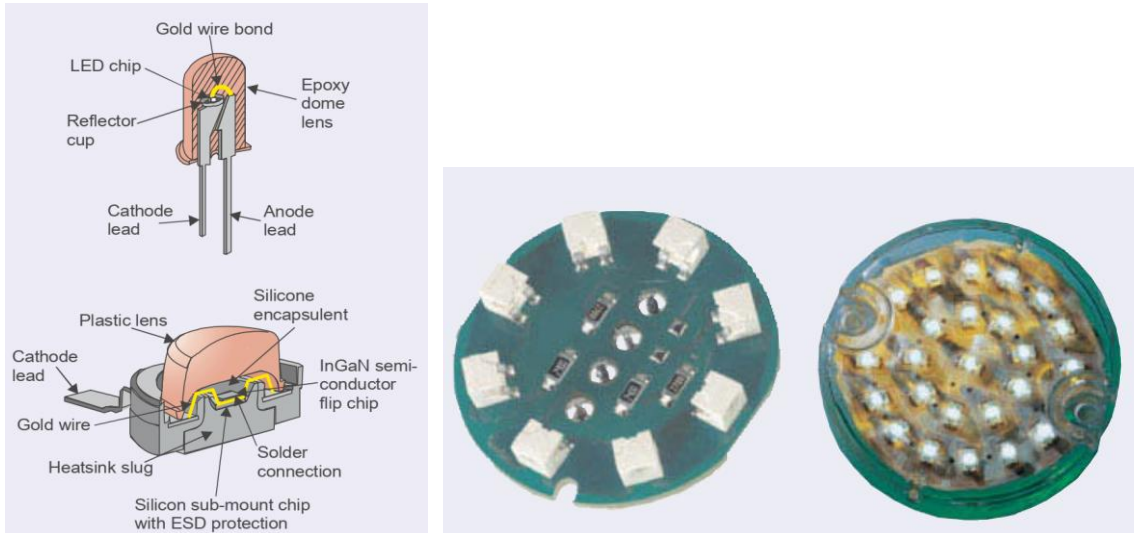
3.3.1.3. LED's teknolojisi

LED Teknolojisinin Tarihsel Gelişimi, Teknik Avantajları ve Gelecek Perspektifleri.

LED (Light Emitting Diode) teknolojisi, yüksek enerji verimliliği, uzun kullanım ömrü ve çevre dostu özellikleriyle çağdaş aydınlatma çözümleri arasında önemli bir konuma sahiptir. Bu makale, LED teknolojisinin tarihsel gelişim sürecini, teknik üstünlüklerini ve gelecekteki potansiyelini detaylı bir şekilde incelemekte ve ilgili akademik ile endüstriyel kaynaklarla desteklemektedir.

LED teknolojisinin başlangıç noktası, 1907 yılında Henry Joseph Round'un yarı iletken materyallerde elektrolüminesans fenomenini keşfetmesine dayanmaktadır. Bu buluş, ışık yayan yarı iletkenlerin temelini oluşturmuştur. Ancak modern LED'in geliştirilmesi, 1962 yılında Nick Holonyak Jr. tarafından gerçekleştirilmiştir (Bkz. Görsel 3.25) (Round, 1907; Holonyak, 1962).

1970'lerde kırmızı, sarı ve yeşil LED'lerin üretilmesiyle birlikte teknoloji, endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Shuji Nakamura'nın 1990'larda mavi LED'i icat etmesiyle ise beyaz LED üretimi mümkün olmuş ve teknoloji küresel ölçekte hızla yaygınlaşmıştır (Nakamura vd., 1995).

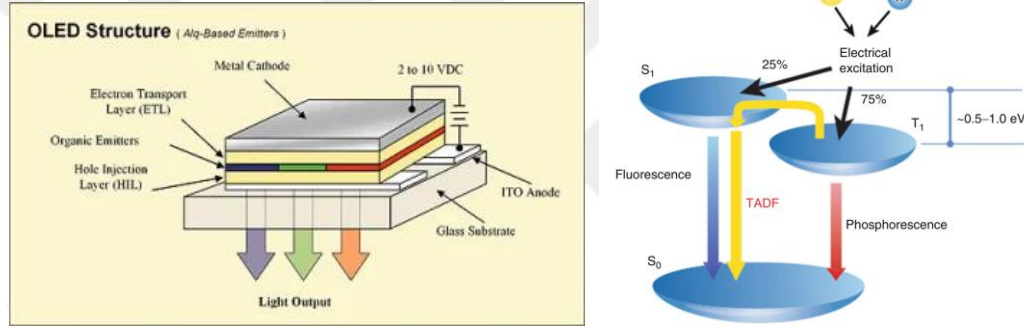


Görsel 3.25. LED lamba yapısı, LED lamba örneği (Simpson, 2003)

LED'ler, yarı iletken malzemelerde elektronların enerji düzeyindeki değişimler sonucu ışık üreten bir mekanizmaya sahiptir. Geleneksel akkor ve floresan lambalarla karşılaştırıldığında, çeşitli üstünlükleriyle dikkat çeker. Enerji Verimliliği bakımından

LED'ler, elektriğin yaklaşık %90'ını ışığa dönüştürerek enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır (Elliott, Yamada, Penning, Schober, ve Lee, 2019). Uzun Ömürlüdür; ortalama 50.000 saatlik kullanım ömrü ile bakım ve yenileme maliyetlerini düşürür. Çevre Dostu Yapısı ile Cıva gibi zararlı kimyasallar içermemesi nedeniyle çevresel zararları enaza indirir. (Karlıcek vd., 2017).

LED teknolojisi günümüzde geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Aydınlatma Sistemleri, konut, ticari ve kamusal alan aydınlatmalarında enerji tasarrufu sağlamak için tercih edilir. Ekran Teknolojisi olarak Televizyon ve akıllı telefon ekranlarında daha yüksek parlaklık ve netlik sunar. Tıp ve Tarım açısından ise fototerapi uygulamaları ve bitki büyütme lambaları gibi spesifik alanlarda kullanımı yaygındır.



Görsel 3.26. OLED yapısı, TADF organik molekülü enerji seması (Karlıcek vd., 2017)

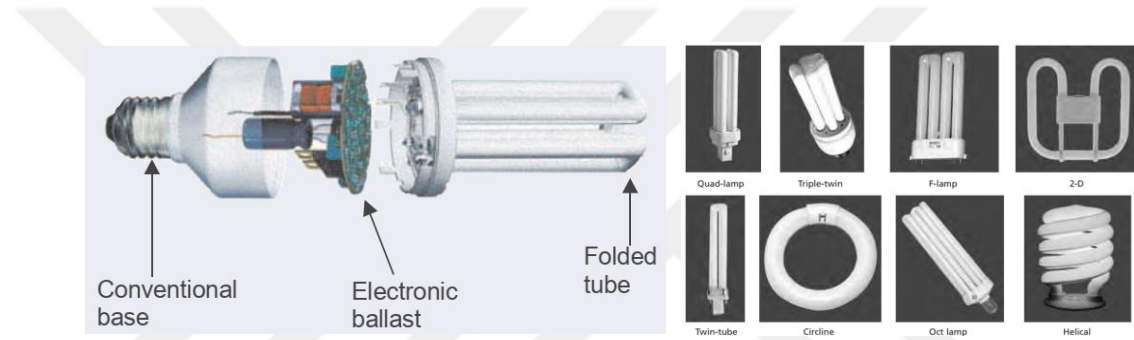
LED teknolojinin gelişimi, organik LED'ler (OLED) (Bkz. Görsel 3.26) ve kuantum noktaları (QD) gibi yenilikçi uygulamalarla devam etmektedir. Bu yeni nesil teknolojiler, daha yüksek enerji verimliliği ve çevre dostu özellikler sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca, akıllı aydınlatma sistemleri ile entegre çalışabilecek tasarımlar, gelecekteki uygulamalar açısından önemli bir potansiyele sahiptir (Krames, 2007).

3.3.1.4. Kompakt floresan lambalar (CFL) teknolojisi

Kompakt Floresan Lambalar (Compact Fluorescent Lamps- CFL), enerji tasarrufu sağlayan aydınlatma teknolojileri arasında uzun süre önemli bir yer edinmiştir. CFL teknolojisi, ilk olarak 1970'lerin sonunda enerji krizi sırasında geliştirilmiştir. Philips şirketi, 1980 yılında ilk ticari CFL olan "SL" modelini piyasaya sürmüştür (Phillips Lighting, 1980). Bu yenilik, geleneksel akkor lambalara kıyasla daha yüksek enerji verimliliği ve uzun ömür sunmasıyla büyük bir ilgi görmüştür. 1990'larda gelişen üretim

teknikleri ve maliyetlerin azalmasıyla CFL'ler, ev ve ticari kullanımlar için daha yaygın hâle gelmiştir (U.S. Department of Energy, 2020).

CFL'ler, içerdikleri fosfor kaplı cam tüplerin içinden elektrik akımı geçirilerek ultraviyole ışık üreten ve bu ışığı görünür ışığa dönüştüren bir mekanizma ile çalışır (Bkz. Görsel 3.27). Bu özellikleriyle geleneksel lambalara kıyasla birçok avantaj sunmaktadır. Enerji Verimliliği açısından CFL'ler, akkor lambalara göre yaklaşık %70-80 daha az enerji tüketir (Mills ve Piette, 1993). Uzun Ömürlü olması bakımından ortalama bir CFL'nin ömrü 8.000 ila 15.000 saat arasında değişmekte olup, bu süre geleneksel lambaların yaklaşık 10 katıdır (Energy Star, 2018). Maliyet açısından ise düşük enerji tüketimi sayesinde uzun vadede enerji maliyetlerinde önemli tasarruf sağlar.



Görsel 3.27. CFL yapısı (Simpson, 2003) ve CFL çeşitleri (Society of Light and Lighting, 2009).

CFL'ler, düşük enerji tüketimi ve uzun ömürleri nedeniyle çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Evlerde genel aydınlatma için yaygın bir şekilde tercih edilir. Ofis, mağaza ve fabrika gibi alanlarda enerji maliyetlerini düşürmek için kullanılır (Bkz. Görsel 3.27). Bunun dışında akvaryum aydınlatmaları ve büyüme lambaları vb. gibi belirli alanlarda spesifik kullanım imkânı sunmaktadır.

LED teknolojisinin hızlı yükselişi, CFL'lerin kullanımını önemli ölçüde azaltmıştır. Bununla birlikte, maliyet avantajı ve mevcut altyapıya uyumluluk gibi etkenler, bazı pazarlarda CFL'lerin varlığını sürdürmesini sağlamaktadır (IEA, 2021). Diğer yandan gelecekte, çevre dostu tasarımların ve cıva içeriğini azaltan teknolojilerin geliştirilmesiyle CFL'lerin sürdürülebilirlik açısından yeniden değerlendirilmesi gerekebilir.

3.3.1.5. Organik ışık yayan diyotlar (OLED'ler) teknolojisi

Organik Işık Yayan Diyotlar (OLED'ler), son yıllarda ekran teknolojisi ve aydınlatma uygulamalarında devrim yaratmış yenilikçi bir çözüm olarak dikkat

çekmektedir (California Lighting Technology Center, 2015). Geleneksel LED'lere (Işık Yayan Diyotlar) kıyasla esnek, hafif ve enerji verimli olmaları nedeniyle OLED'ler, hem ticari hem de endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır (Karlıcek vd., 2017). Bu makalede, OLED teknolojisinin temel ilkeleri, avantajları, çeşitli uygulama alanları ve gelecekteki potansiyeli ele alınmaktadır (Bkz. Görsel 3.22).

OLED'ler, organik yarıiletken malzemelerin kullanıldığı özel bir elektrolüminesans cihazıdır (Feng, 2017). Elektrik akımı organik katmanlardan geçtiğinde, bu malzemeler enerji yayar ve bu enerji genellikle görünür ışık olarak ortaya çıkar (Karlıcek vd., 2017).

OLED'lerin çalışma prensibi katman yapısı, genellikle bir anot, katot, emisyon katmanı, iletim katmanı ve koruyucu tabakalardan oluşmaktadır. Elektriksel uyarım açısından anot ve katoda uygulanan gerilim, elektron ve deliklerin emisyon katmanında birleşmesine neden olur. Işık yayımı ise bu birleşme sonucunda enerji serbest kalır ve bu enerji fotonlar hâlinde yayılmaktadır. OLED teknolojisinin temel özelliklerinden biri, arka aydınlatma gerektirmemesi nedeniyle ince ve esnek yapılarda üretilebilmesidir (Feng, 2017).

OLED'lerin geleneksel LED'ler ve LCD'lere kıyasla öne çıkan çeşitli avantajları vardır (Society of Light and Lighting, 2009). OLED'ler, piksel bazında açılıp kapanabildiği için gerçek siyah ve yüksek kontrast sunar. Esnek substratlar kullanılarak üretilebilir, bu da kıvrılabilir veya katlanabilir ekranların önünü açar. Organik malzemelerin etkin kullanımı, enerji verimliliğini artırır. Arka aydınlatma gereksinimi olmadığından ince ve hafif cihazlar tasarlanabilir.

OLED'ler geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Karlıcek vd., 2017). Akıllı telefonlar, tabletler, televizyonlar ve giyilebilir cihazlarda yaygın olarak kullanılır. Dekoratif aydınlatma, otomotiv iç aydınlatması ve enerji verimli genel aydınlatma sistemlerinde yer alır. Esnek OLED ekranlar, taşınabilir medikal cihazlarda şıklıkla kullanılmaktadır. Esnek yapıları sayesinde yaratıcı tasarımlar ve yenilikçi mimari projelerde kullanılabilir.

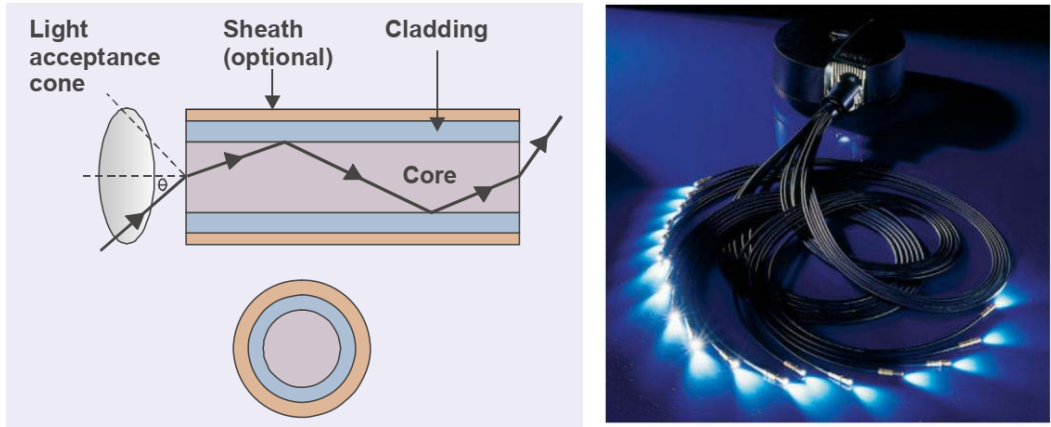
OLED teknolojisinin gelişiminde birçok önemli ilerleme kaydedilmiş olmasına rağmen, hâlâ çözülmesi gereken teknik ve ekonomik sorunlar vardır (Feng, 2017). Örneğin: üretim maliyetleri, geleneksel LED'lere kıyasla hâlâ yüksektir (Karlıcek vd., 2017). Organik malzemeler zamanla bozulabilir, bu da OLED'lerin ömrünü sınırlayabilir (Society of Light and Lighting, 2009). OLED'lerin enerji verimliliği hâlâ iyileştirilmeye ihtiyaç duymaktadır (California Lighting Technology Center, 2015). Diğer yandan nano

teknoloji ve yeni malzeme bilimindeki ilerlemeler, OLED teknolojisinin gelecekte daha fazla benimsenmesini sağlayacaktır.

OLED teknolojisi, esnek, hafif ve enerji verimli özellikleriyle öne çıkan bir yenilik olarak gün geçtikçe daha çok alanda benimsenmektedir. Teknolojik zorluklar aşıldıkça, OLED'lerin ekran teknolojisinden aydınlatmaya kadar birçok alanda standart hâle gelmesi beklenmektedir. Gelişen bilimsel araştırmalar, OLED'lerin gelecekte daha çevre dostu, ekonomik ve dayanıklı bir teknoloji olarak ön plana çıkmasını sağlayacaktır.

3.3.1.6. Fiber optik teknolojisi

Fiber optik teknolojisi, verilerin ışık dalgaları aracılığıyla iletilmesini sağlayan modern bir iletişim teknolojisidir. Günümüzde internet altyapısı, telekomünikasyon, tıp ve savunma sanayisi gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Karlıcek vd., 2017). Fiber optik sistemler, çekirdek, kaplama ve koruyucu tabaka olmak üzere üç temel bileşenden oluşur. İşlevsel olarak, ışık dalgalarının toplam iç yansıma prensibiyle çekirdek boyunca ilerlemesiyle veriler aktarılır. İletim sırasında sinyal kaybını minimize etmek için çok hassas malzemeler kullanılır (Keiser, 2017). Bu teknoloji, ışığın elektromanyetik spektrumunda yer alması nedeniyle mikrodalga bandına kadar geniş bir aralıkta çalışabilir (Bkz. Görsel 3.28) (Feng, 2017).



Görsel 3.28. Fiber optik yapısı, fiber optik soket (Simpson, 2003)

Fiber optik teknolojisinin en önemli avantajlarından biri, yüksek bant genişliği ve düşük gürültü düzeyidir. Geleneksel bakır kablolarla kıyasla çok daha fazla veri taşıma kapasitesine sahiptir (Agrawal, 2007). Ayrıca, elektromanyetik parazitlere dayanıklılığı ve uzun mesafelerde sinyal kaybının az olması, fiber optiklerin iletişim teknolojilerinde

tercih edilmesini sağlamaktadır (Karlıcek vd., 2017). Esnek yapısı sayesinde dar alanlarda dahi kolayca kullanılabilir (Keiser, 2017).

Fiber optik teknolojisi, çeşitli alanlarda kritik bir rol oynamaktadır. Telekomünikasyon sistemlerinde yüksek hızlı internet bağlantıları ve şehirlerarası iletişim altyapılarında kullanılır (Senior ve Jamro, 2009). Tıp alanında endoskopi gibi tıbbî cihazlarda, vücut içi görüntüleme amacıyla fiber optik teknolojisinden yararlanılır (Hecht, 2015). Savunma sanayisi ve uzay teknolojilerinde ise yüksek hassasiyet gerektiren radar sistemleri ve veri aktarımlarında kullanılmaktadır (Feng, 2017). Endüstrinin birçok alanında fiber optik sensörler, sıcaklık ve basınç gibi fiziksel ölçüm parametrelerinde yaygın olarak kullanılır (Karlıcek vd., 2017).

Fiber optik teknolojisinin gelişiminde birçok önemli ilerleme kaydedilmiştir ancak hâlâ çözülmesi gereken zorluklar vardır. Üretim maliyetlerinin görece yüksek olması ve kurulum işlemlerinin karmaşıklığı, teknolojinin daha yaygın kullanılmasını sınırlamaktadır (Senior ve Jamro, 2009). Bununla birlikte, yeni malzeme bilimindeki ilerlemeler ve optik iletimin daha da geliştirilmesiyle bu engellerin aşılması beklenmektedir (Keiser, 2017).

Fiber optik teknolojisi, yüksek bant genişliği, dayanıklılık ve esneklik gibi avantajlarıyla modern iletişim sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası hâline gelmiştir. Zorluklarına rağmen, bilimsel ve teknolojik ilerlemeler bu teknolojinin gelecekte daha yaygın hâle gelmesini sağlayacaktır. Fiber optiklerin, tıptan telekomünikasyona kadar geniş bir yelpazede kritik bir rol oynamaya devam edeceği açıktır.

3.3.1.7. UV-C içerikli aydınlatmalar teknolojisi

UV-C teknolojisi, ultraviyole ışığın 200-280 nm dalga boyu aralığında radyasyon yayarak mikroorganizmaların DNA ve RNA yapısını bozan bir dezenfeksiyon yöntemi sunar. Günümüzde UV-C teknolojisi, tıptan su arıtma sistemlerine kadar geniş bir yelpazede uygulanmaktadır (Gellert ve Kogelschatz, 1991). UV-C ışığı, kimyasal bağları parçalayarak mikroorganizmaları etkisiz hâle getirir. Bu teknoloji genellikle, cıva buharlı lâmbaları veya excimer lambalar gibi ışık kaynakları kullanılarak üretilir (Lister, 2017). *Excimer* lambaların özellikle tercih edilmesinin nedeni, cıva içermemesi ve daha güvenli bir çözüm sunmasıdır (Sosnin, Avdeev ve Lavrent'ev, 2006). UV-C teknolojisinin en önemli avantajlarından biri, kimyasal kullanmadan dezenfeksiyon sağlamasıdır. Bu, çevre dostu bir yöntem olmasını sağlar (Gellert ve Kogelschatz, 1991).

Diğer yandan UV-C içerikli lambalar mikroorganizmaları hızlı bir şekilde etkisiz hâle getirir. Düşük Bakım Gereksinimi: Sistemler genellikle uzun ömürlü olup, düşük bakım ihtiyacı duyar (Lister, 2017).

UV-C içerikli lambalar Su arıtma, hava dezenfeksiyonu ve yüzey temizliği gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir (Lister, 2017). Bunun dışında UV-C teknolojisi, çeşitli alanlarda yaygın olarak; bakteri ve virüslerin su kaynaklarından uzaklaştırılmasında etkili bir çözüm sunar (Lister, 2017). Örneğin; hava dezenfeksiyonu için kapalı ortamlarda, havadaki mikroorganizmaların öldürülmesinde (Sosnin, Avdeev ve Lavrent'ev, 2006), tıp alanında ameliyathaneler ve hastanelerde sterilizasyon için yaygın olarak (Gellert ve Kogelschatz, 1991), gıda endüstrisinde yüzeylerin dezenfekte edilmesinde kullanılır (Lister, 2017).

UV-C teknolojisinin yaygın kullanımına rağmen, bazı zorlukları vardır. UV-C ışığın insanlar üzerindeki zararlı etkileri, dikkatli bir şekilde ele alınması gereken bir konudur (Lister, 2017). Excimer lambaları gibi cıva içermeyen sistemlerin maliyetleri hâlâ yüksek olabilir (Sosnin, Avdeev ve Lavrent'ev, 2006). Bazı mikroorganizmalar UV-C ışığına dayanıklı olabilir ve daha uzun süreli uygulamalar gerekebilir (Gellert ve Kogelschatz, 1991).

Buna rağmen, malzeme bilimindeki ilerlemeler ve yenilikçi ışık kaynaklarının geliştirilmesi, UV-C teknolojisinin gelecekte daha yaygın hâle gelmesini sağlayacaktır. UV-C teknolojisi, çevre dostu ve etkin bir dezenfeksiyon yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Tıptan su arıtmaya kadar geniş bir yelpazede uygulanabilir olması, bu teknolojiyi vazgeçilmez kılmaktadır. Ancak, zorlukların üstesinden gelmek için daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmaları gerekmektedir.

3.3.1.8. Lazer teknolojisi

Lazer (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), uyarılmış ışınım ile ışık güçlendirilmesi prensibine dayanan bir teknolojidir (Bkz. Görsel 3.29). Temelleri 1917'de Albert Einstein'ın "uyarılmış emisyon" kavramını tanımlamasıyla atılmıştır (Buchwald, 2009). Ancak lazerin ilk pratik uygulaması, Theodore H. Maiman'ın 16 Mayıs 1960'ta rubi kristali kullanarak gerçekleştirdiği lazer cihazıyla mümkün olmuştur (Maiman, 2018).

1960'lı yıllar boyunca lazer, bilimsel araştırmaların yanı sıra iletişim, tıp ve endüstri alanlarında da hızla yer edinmiştir. 1970'lerde optik fiber teknolojisinin gelişimiyle

birlikte lazerler, telekomünikasyonun temel araçlarından biri hâline gelmiştir (Hecht, 2010). Günümüzde lazerler, yarı iletken diyot lazerlerinden yüksek güçlü endüstriyel kesim lazerlerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmakta; tıptan savunma sanâyine, kuantum bilişimden uzay teknolojilerine kadar pek çok alanda kritik rol oynamaktadır (Svelto, 2010).



Görsel 3.29. *Lazer görüntüleme ekipmanı (solda optik bileşenler, ortada lazer kafası, sağda uzaktan kumanda için monte edilmiş görüntüleme ünitesi) (IESNA, 2000)*

Günümüzde lazerler, sadece endüstriyel kesim veya iletişim amacıyla değil, öncü bilim ve teknoloji alanlarında da kilit rol oynamaktadır:

1. **Kuantum İletişim:** Lazerler, kuantum anahtar dağıtımı (QKD) sistemlerinde fotonların hassas kontrolü için kullanılarak kırılması imkânsız güvenlik protokolleri sağlamaktadır (Gisin ve Thew, 2010).
2. **Fotonik Çipler:** Yarı iletken lazerler, silikon fotonik tabanlı veri iletiminde milimetre ölçeğinde yüksek hız ve düşük enerji tüketimi sunar (Lifante, 2003).
3. **Lazer Füzyon:** National Ignition Facility gibi tesislerde yüksek güçlü lazerler, füzyon reaksiyonlarını başlatmak için plazma oluşturma amacıyla kullanılmakta ve temiz enerji üretimi için umut vadetmektedir (Science Direct, 2018).
4. **Uzay Teknolojileri:** NASA, lazer tabanlı optik iletişim sistemleriyle Dünya ile uzay araçları arasında yüksek bant genişliğine sahip veri aktarımını test etmektedir (Logsdon, 2025; Manning ve Schauer, 2023).

Bu gelişmeler, lazer teknolojisinin gelecekte sadece bilimsel ilerlemeler için değil, enerji, güvenlik ve iletişim altyapısında devrim yaratabilecek bir araç olduğunu göstermektedir (Bkz. Tablo 3.1).

Tablo 3.1. *Lazer Teknolojisinin Evrimi: 1917–2025 Zaman Çizelgesi*

Yıl	Olay	Kategori
1917	Einstein, uyarılmış emisyon kavramını tanımlar.	Teorik Temel
1960	Theodore Maiman, ilk çalışan lazeri (rubi kristalli) geliştirir.	Temel Teknoloji
1970	Optik fiber ve lazer entegrasyonu telekomünikasyonda devrim yaratır.	İletişim
1998	Steven Chu, lazer soğutma ve atom tuzaklama çalışmaları ile Nobel Ödülü kazanır.	Laboratuvar Kullanımı
2004	Lazer projeksiyon sistemleri ticari pazarda yaygınlaşır.	Aydınlatma Sistemleri
2007	Kuantum iletişimde lazer tabanlı QKD sistemleri öne çıkar.	İletişim
2010	Lazer tabanlı OCT, biyomedikal görüntülemede yüksek çözünürlük sağlar.	Laboratuvar Kullanımı
2014	BMW ve Audi lazer far teknolojilerini ticari araçlarda kullanmaya başlar.	Aydınlatma Sistemleri
2014	Lazer füzyonda yakıt kazancı eşiği aşıldı (NIF).	Enerji
2015	Fotonik çipler, lazerle veri iletimini doğrudan işlemcilerde sağlar.	İletişim
2020	NASA lazer optik iletişim testlerini uzayda gerçekleştirir.	İletişim
2021	Çin, uydu tabanlı kuantum iletişimde lazer bağlantısı ile 4.600 km güvenli veri iletimi gerçekleştirdi.	İletişim
2022	Lawrence Livermore National Laboratory, lazer füzyonda ilk kez net enerji kazancı elde etti.	Enerji
2023	Lazer tabanlı LiDAR sistemleri, otonom araçlarda standart hâle gelmeye başladı.	Aydınlatma Sistemleri
2024	Avrupa Uzay Ajansı, lazer tabanlı derin uzay iletişim sistemi testlerini tamamladı.	İletişim
2025	Lazer tabanlı mikro-imalat sistemleri, kuantum bilgisayar çip üretiminde kullanılmaya başlandı.	Laboratuvar Kullanımı

Lazer tabanlı aydınlatma, geleneksel LED ve halojen sistemlere kıyasla çok daha yüksek ışık yoğunluğu, uzun menzil ve keskin ışık yönlendirmesi sunar. Bu özellikler, lazerlerin hem endüstriyel hem de günlük yaşam uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmasını sağlamaktadır.

1. Otomotiv Aydınlatma: Lazer far teknolojisi, özellikle premium araç üreticileri tarafından kullanılmaktadır. Örneğin, BMW ve Audi'nin geliştirdiği lazer farlar, LED farlara kıyasla üç kata kadar daha uzun menzil (600 metreye kadar) ve daha düşük enerji tüketimi sağlar (BMW Group, 2011; Audi Technology Portal, 2011). Lazerler, optik lensler aracılığıyla geniş açılı aydınlatmadan dar huzmeli uzun far moduna hızlı geçiş imkânı sunar. Ayrıca adaptif kontrol sistemleriyle entegre edildiğinde, karşıdan gelen trafiği rahatsız etmeden maksimum görünürlük sağlar.

2. Eğlence ve Gösteri Teknolojileri: Konserler, tiyatrolar, tematik parklar ve lazer ışık şovlarında, yüksek renk doygunluğu ve senkronize ışık hareketleri sayesinde etkileyici görsel deneyimler yaratılır. Lazerler, sis veya partikül dolu ortamlarda ışık huzmelerini görünür kılarak 3 boyutlu ışık koreografileri oluşturur (Hecht, 2025).

3. Lazer Projeksiyon Sistemleri: Klasik ampul ve LED tabanlı projektörlere göre daha parlak, daha net ve daha uzun ömürlü ışık kaynağı sunar. Lazer projektörler, renk doğruluğu ve homojen parlaklık bakımından sinema salonları, büyük ölçekli konferanslar ve eğitim kurumlarında tercih edilmektedir. Ayrıca pikoprojektörler sayesinde akıllı telefon ve taşınabilir cihazlarda lazer tabanlı görüntüleme mümkün hâle gelmiştir (Hecht, 2025).

4. Endüstriyel Güvenli Aydınlatma: Lazerler, maden ocakları, fabrika alanları veya limanlar gibi geniş ölçekli sahalarda hedefe odaklı, uzun mesafeli ve yüksek yoğunluklu aydınlatma için kullanılır. Güvenlik alanında ise kızılötesi (IR) lazerler, görünmez ama güçlü aydınlatma sağlayarak gece görüş kameralarıyla entegre edilir (Ready, 1997).

5. Tıbbî ve Bilimsel Görselleştirme: Biyomedikal laboratuvarlarda lazerler, optik koherens tomografi (OCT) gibi görüntüleme tekniklerinde hem aydınlatma hem de veri toplama kaynağı olarak işlev görür. Bu sistemler, hücre ve doku analizinde yüksek çözünürlük ve düşük invazivlik sağlar (Hecht, 2025).

Ayrıca, lazer ve lazer teknolojileri, başta optik laboratuvarları olmak üzere araştırma laboratuvarlarında temel bilim ve uygulamalı araştırmalarda kritik bir araçtır. Araştırma laboratuvarlarında geniş çeşitlilikte yer alan lazer teknoloji konusunda birkaç örnek aşağıdaki gibidir:

1. **Spektroskopi:** Atom ve molekül yapılarını analiz etmek için hassas lazer taramaları yapılır.
2. **Lazer Soğutma ve Tuzaklama:** Atom fiziğinde, lazerler atomların hızını yavaşlatmak ve onları manyetik-optik tuzaklarda hapsedmek için kullanılır. Bu teknik, Bose–Einstein yoğuşması gibi kuantum fenomenlerinin incelenmesine imkân tanır (Mungan ve Gosnell, 1999).
3. **Mikro ve Nano-İmalat:** Lazerler, mikrometre altı ölçekte malzeme işleme ve yüzey desenleme için tercih edilir.
4. **Biyomedikal Görüntüleme:** Lazer tabanlı konfokal ve iki-foton mikroskopisi, hücresel düzeyde yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlar.

Bu çeşitlilik, lazer teknolojisinin yalnızca mühendislik ve endüstrinin yanı sıra bilimsel keşfe de yön verdiğinin açık bir göstergesidir. Gelecekte kuantum bilişim, yapay zekâ destekli optik sistemler ve temiz enerji üretimi gibi alanlarda lazerlerin dönüştürücü etkisi daha da artacaktır.



4. AYDINLATMA/ OPTİK LABORATUVARI

Bu tezin üçüncü bölümünde kısaca açıklanan optik bilimi ve teknolojilerinin gelişimi, özellikle 19.yy. başlarında Alman bilgin Humboldt'un modern yüksek eğitimin temellerini oluşturan eğitim kuramının, birçok ülkenin yüksek eğitim alanlarında uygulamaya geçirilmesiyle peşi sıra açılan, alana özelleşmiş laboratuvarların arasında aydınlatma/ optik laboratuvarları; 19.yy.'dan günümüze kadar geçen süre zarfında aydınlatma/ optik alanında kaydedilen gelişmelerin önemli bir sebebi olmuştur. Bu gelişmeler sonucu aydınlatma/ optik bilim ve teknolojilerinin bugünün Dünya'sında geldiği noktada, ulaştığı hacmin, 4 temel üzerinde var olduğu görülür. Bu 4 temel şu şekilde sıralanabilir: dijital teknolojilerle kapasitesini arttırmış olan modern ve kurumsallaşmış lâik eğitim sistemi, insan kaynağı, bilgi ve teknolojinin küreselleşmesine bağlı olarak sermayenin büyümesi ve çalışmanın odak noktası olan aydınlatma/ optik laboratuvarlarının bilgi ve teknoloji üretim ve çözüm kapasiteleri olduğu çok açıktır.

Yukarıda paylaşıldığı üzere, tezin odak noktası olan bu konuda yapılan inceleme sonuçlarının paylaşıldığı dördüncü bölümde ilk olarak aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurumsallaşma tarihini; laboratuvarların, aydınlatma/ optik bilim ve teknolojilerinde yaşanan gelişmeleri, yüksek öğrenimde teorik ve pratik çalışmaların bir arada değerlendirildiği modern ve lâik sisteme dönüşümü, optik/ aydınlatmada çığır açan bilim insanları ve mucitlerin hangi laboratuvarlarda çalışmalarını yürüttükleri konularını senkronize olarak kısaca hatırlatılmaktadır. İlgili laboratuvar tarihi ve devamında aydınlatma/ optik laboratuvarı konusunda yapılan açıklamalar bir araya getirildiğinde; özellikle söz konusu laboratuvarların hangi ihtiyaçlara göre nasıl geliştiği, yaşanan değişimlerin sağladığı faydaların neler olduğu gibi konularda var olan maddi bilgilerin, günümüzde aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütlerinin belirlenmesinde önemli bir temel oluşturduğu görülmektedir. Yapılan bu incelemeler göz önünde bulundurularak, bölümün devamında aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum kriter ve ölçütleri konusunda var olan uluslararası, ulusal mevzuatların inceleme ve analiz sonuçları paylaşılmıştır.

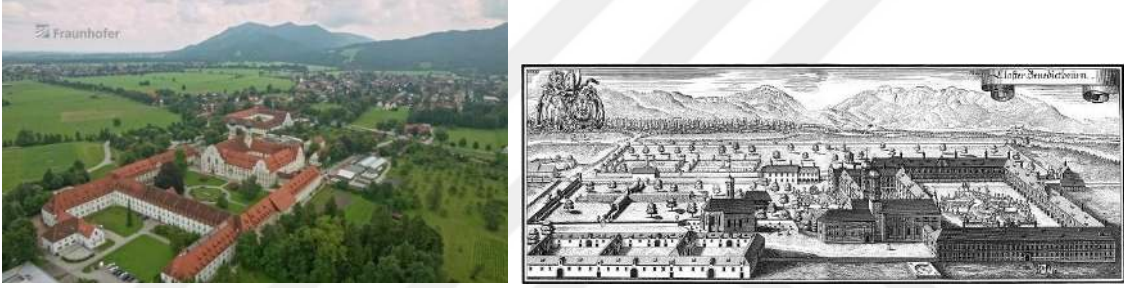
Önceki bölümlerde ele alınan laboratuvar, optik ve aydınlatma kavramlarının incelenmesiyle ulaşılan sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, optik çalışmalarının tarihinin eski uygarlıklara dayandığı görülmektedir. Tarihte geriye gidildikçe ulaşılan maddi delillerin azalıyor olması; tarihteki ilk aydınlatma/ optik laboratuvarının (veya daha mütevazı anlamda atölyelerin) nerede, kimin tarafından hangi işlevler için

kurulduğunun bilgisine ulaşılmasını da zorlaştırdığı açıktır. Ancak optik konusunda ulaşılan bilgilere bakıldığında, optikle ilgili bilinen en eski sistematik çalışmalar içinde yer alan İbnü'l-Heysem (Alhazen)'in özellikle, 11.yy.'da optik alanında yaptığı çalışmaların, ilgili alanın en önemli çalışmaları arasında yer aldığı görülür. Özellikle, kendi çalışmalarını açıkladığı "*Kitab al-Manazir*" (Optik Kitabı) adlı kitabı, bu alanda temel bir metin olarak kabul edilmiştir. Kendisinden sonra gelen ve optik çalışmaları yapan bilim insanlarına (özellikle Avrupalı) büyük etki eden İbnü'l-Heysem'in optik çalışmalarında, tam kontrollü ortamlarda yaptığı deneyler dikkat çekicidir. İbnü'l-Heysem'in dönemi içinde ilk denebilecek bu yaklaşımı, aydınlatma/ optik laboratuvarlarını arketipi konusunda önemli bilgi aktarmaktadır (Hockey, 2007).

Optik alanında çalışan bilim insanları; İbnü'l-Heysem'in 11.yy.'da oluşturduğu tam kontrollü ortamlardan 19.yy.'ın başına kadar, evleri dâhil farklı işlevler için kullandıkları mekânların uygun bölümlerini çalışmalarını yürütmek için kullanılmıştır. Bu konuda ilk ve günümüz laboratuvarları için örnek teşkil eden mekân, modern ifadeyle, Benediktbeuern Optik üretim tesisi ve araştırma laboratuvarlarıdır.

I.Napolyon yönetimindeki Fransa ve etkisindeki Avrupa devletlerinin 1806 ve 1812 yılları arasında Kıta Avrupası'nın ana tedarikçisi olan Britanya'ya uyguladığı ambargo sonucu (Aaslestad, 2022); Münihli üretici, girişimci ve politikacı olan Joseph von Utzschneider günlük cam ve optik ürün sektöründe liderliğe oynayabileceği bir fırsat görmüştür. O günün Dünya'sında vizyoner bir girişimcisi olan Utzschneider; Yukarı Bavyera Alpleri'nin eteklerinde bulunan Barok üslupta inşaa edilmiş Benediktbeuern Manastırı ve çiftlik binalarını, yerel tarafından alınmamış çevre arazileri ve içinde var olan bataklıkları, orman ve değirmeni, fırın, kereste fabrikasını, tuğla ve hanlı bira fabrikası, demirci dükkânı gibi işletmeleri devletten satın alarak; günlük cam ve optik ürünler geliştirmek ve üretmek üzere iki fabrika kurmuştur (Jackson, 1999). Utzschneider'in Benediktbeuern Manastırını seçmesinin planlı bir karar olduğu görülmektedir. Benedikten rahiplerinin sıradan masa camı, pencere camı/ vitray, Benedictine brendi bardakları ve okuma merceklerinden oluşan cam üretimi alanında yaklaşık 1000 yıllık deneyimleri, çalışmayı ibadet olarak belleyen çalışkanlıkları ve ketum yapıları (günlük cam ve optik alanında kaydedilen gelişmeleri, ulaşılan formülleri kurum içinde saklamaları ve formülleri şifreleyerek kayıt altına almaları) manastırın sahip olduğu kütüphane koleksiyonunun neredeyse tamamının cam ve optik konularında kaynaklardan oluşması; manastırda, teleskop, teodolit veya sekstant gibi optik

araştırmalarında kullanılan aletlerin bulunması; manastır çevresindeki ormanlarda bulunan ve cam eritme yakıtı olarak ihtiyacı rahatlıkla karşılayacak kereste miktarı; cam ocaklarında güvenlik amaçlı kullanılmak üzere su tesisatını sağlayabileceği bira fabrikası (Benedikten rahiplerinin önemli üretim kalemlerinden biri de bira fıçısıdır) (Jackson, 2000) gibi imkânların var olması; üretim ve araştırma laboratuvarının çalışabilmesi için gerekli olan temel ihtiyaçlarının, sürdürülebilir bir şekilde karşılanmasını sağlamaktaydı. Benediktbeuern Optik üretim tesisi ve araştırma laboratuvarlarının kurulum sürecinde öne çıkan bu ölçütler; bu tezin ikinci bölümünde ele alınan laboratuvar konusunda yapılan çalışma ve analiz sonucu elde edilen 7 maddelik kurulum ölçütlerinin tümünü kapsar niteliktedir (Bkz. Görsel 4.1).



Görsel 4.1. Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü (Fraunhofer, 2025)

Diğer yandan manastır ve alınan diğer yapılar, mekânsal olarak (özellikle doğal ışığın içeri alınması için) yüksek tavanlara, geniş pencerelere, sütun ve kemerlerle inşaa olmuş geniş alanlara, ağır ve/ veya büyük malzemelerin içeri alınıp çıkartılabilmesine imkân tanıyan geniş girişlere sahip olan manastır ve fabrika yapıları; cam, optik cam araştırmaları ve üretimi için önemli bir imkân sunmaktaydı. Yerleşkede bulunan değirmen gibi diğer mekânlar; cam ocakları için gerekli olan teknik ihtiyaçları sağlayan, sağlam zeminli ve güvenli mekânları oluşturmaktaydı. Özellikle dini merkez olarak inşaa edilmiş ana manastır yapısı ve manastır kompleksi kilise, kütüphane, eğitim alanları ve keşişlerin yaşam alanları, manastırın günlük ihtiyaçlarını karşılamak üzere depolar, mutfaklar ve diğer hizmet alanlarından oluşmaktaydı (Jackson, 2000). Bu imkânlar, kurulan komplekste çalışanların ihtiyaçları doğrultusunda bir kısım yeniden işlevlendirilerek kullanılmaya devam etmiştir. Yapılan yeni düzenlemede özellikle keşiş hücreleri ve odaları; ofislere ve küçük laboratuvarlara, kütüphane; var olan koleksiyonun yer aldığı bölümlerin yanı sıra araştırmacılar için çalışma ve toplantı odalarına, büyük salonlar; ekipmanların yerleştirilebileceği merkezi laboratuvarlara dönüştürülürken optik

çalışmaları için önemli olan karanlık oda benzeri bir mekânda tasarlanmıştır. Carl Friedrich Gauss gibi döneminin çok önemli bilim insanları, gözlükçüler, deneysel doğa bilimcilerin yanı sıra Kral Maximilian I Joseph ve Kont Montgelaş'ı ziyaretleri kapsamında ağırlandığı mekânlar, laboratuvar ve üretim alanlarından uzak bölümlerde düzenlenmiştir (Jackson, 2000).

Fabrika çalışmalarında önemli bir atılım da eğitim alanında yapılmış olduğu görülmektedir. Fabrika da bulunan genç araştırmacılar veya öğrenciler; cam ve optik konusunda var olan, yapılan araştırma çalışmalarıyla üzerine eklenen bilimsel, teknolojik gelişmeleri, yerinde ve uzman kişilerin verdiği eğitim sayesinde eğitim ve öğretimlerini tamamlarken, aynı zamanda optik alanında uzmanlaşmaktaydılar (Jackson, 2000). Manastır dahil geniş yerleşkesinde çok yönlü optik çalışmalarına devam eden üretim fabrikası; bir süre sonra isminin “Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü” olarak değiştirilmesiyle, bünyesinde topladığı tüm işlevlerini kapsayıcı bir tanıma ulaşmıştır (Bkz. Görsel 4.2.)

Utzschneider'in sahip olduğu vizyonuyla 1805 yılında kurduğu, modern optik araştırmaları ve laboratuvarları için temel taşı oluşturan Benediktbeuern Optik üretim tesisi ve araştırma laboratuvarlarının sorumluluğunu, döneminin en önemli optik araştırmacısı Joseph Ritter von Fraunhofer'e⁸⁴ vermiştir (Fraunhofer, 2025).



Görsel 4.2. Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü, Cam fırınları ve optik alet koleksiyonu (Fraunhofer, 2025)

⁸⁴Joseph Ritter von Fraunhofer (1787- 1826); Alman fizikçi ve optik lens üreticisiydi. Optik cam, akromatik bir teleskop ve objektif lensler üretmiştir. Kırınım ızgarasını geliştirdi ve ayrıca spektroskopu icat etmiştir. 1814'te, günümüzde Fraunhofer çizgileri olarak bilinen güneşin spektrumundaki karanlık emilim çizgilerini keşfetmiş ve güneş spektrumu konusunda geniş incelemeler yapmıştır (Jackson, 2000).

Fraunhofer'in 1807-1819 yılları arasında Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü'nde yaptığı çalışmaları, bir enstitünün fiziki yapısından işleyişine kadar bilgi üretimi açısından büyük etkiler oluştururken optik ve hassas mekanik alanlarında uygulamalı araştırmalar için bilimsel metodolojinin temellerini atmıştır. Enstitünün satışını arttırmak için çalışmalarının başlarında akromatik merceklerin üretimi için cam kesime, öğütme ve cilalama alanlarında çalışma hızını arttırmıştır. Fraunhofer'in ünü Avrupa'ya yayıldıkça, Optik Enstitüsü önde gelen gökbilimcilerin aletleri için renksiz mercekler üretmeye başlamıştır. Optik Enstitüsü'nün ürünlerinin listelerini yayınlayarak ve araştırmacılara akromatik mercekleri kalibre etme yöntemini gösterdiği programlar düzenlemiştir. Fraunhofer, optik fiziği alanında yaptığı bilimsel çalışmaları sonucu akromatik teleskop ve objektif lensleri üretmeyi başarmıştır. Diğer yandan Fraunhofer çizgileri olarak adlandırılan, güneşin spektrumundaki karanlık emilim çizgilerini keşfetmesini sağlayan spektroskopu (tayfölçer) icat etmiştir (Jackson, 2000).

Tablo 4.1. Benediktbeuern Optik Laboratuvarı- Faaliyet Alanı, Mimari ve İşlevsel Özellikler Tablosu (Jackson, 2000)

Kategori	Özellik / Alan	Açıklama ve İşlev
Genel Faaliyet Alanı	Endüstriyel Optik Üretimi	Günlük cam (pencere, masa camı), basit mercekler üretilmiş. Özellikle akromatik mercekler, teleskoplar, teodolitler, sekstantlar ve mikroskoplar gibi yüksek hassasiyetli bilimsel aletler tasarlanmıştır.
Genel Faaliyet Alanı	Optik Araştırma ve Geliştirme	Cam karışımı formüllerinin geliştirilmesi, cam döküm ve soğutma teknikleri, mercek tasarımı (özellikle renk kusurunu giderme), ışık kırılması teorisi ve spektroskopi üzerine yaratıcı çalışmalar (Fraunhofer çizgileri) yapılmıştır.
Genel Faaliyet Alanı	Eğitim ve Yetiştirme Programı	Genç çırak ve öğrencilere, uzman zanaatkarlar ve bilim insanları (Fraunhofer) gözetiminde cam üretimi, mercek taşlama-cilalama ve optik teori konularında pratik ve teorik eğitim verilmiştir. Bu çalışma düzeni dönemi için son derece modern bir "iş başında eğitim" modeliydi.
Yerleşke Özellikleri	Konum ve Doğal Kaynaklar	Kereste (cam fırınları için yakıt) ve su kaynaklarının (enerji ve soğutma için değirmen ve bira fabrikasından yararlanma) geniş olduğu, Yukarı Baviera Alpleri'nin eteklerinde kurulmuştur.
Yerleşke Özellikleri	Mevcut Endüstriyel Altyapı	Satın alınan manastır yapılarının içerdiği bira fabrikası, değirmen, kereste fabrikası, tuğla ocağı, demirci dükkânı gibi birimler, optik üretimi için gerekli olan enerji, malzeme ve alt yapıyı hazır sunmuştur.

Tablo 4.1. (devamı) Benediktbeuern Optik Laboratuvarı- Faaliyet Alanı, Mimari ve İşlevsel Özellikler Tablosu (Jackson, 2000)

Ana Yapı ve İşlevleri	Karanlık Oda Benzeri Özel Oda	Fraunhofer'in optik testler ve ışığa duyarlı malzeme işlemleri için özel olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş bir mekândı. Işık geçirmez perdeler veya panellerle karartılarak, ışık kontrollü bir ortam sağlanmıştı.
Ana Yapı ve İşlevleri	Depo, Mutfak, Hizmet Alanları	Üretim malzemeleri depoları, yemekhane ve sosyal tesisler olarak yeniden işlevlendirilmişti. Çalışanların günlük ihtiyaçları bu alanlarda karşılanmaktaydı.
Ana Yapı ve İşlevleri	Konuk Ağırhlama Alanları	Misafirhane ve resmi kabul salonları; Kral I. Maximilian Joseph, Kont Montgela ve Carl Friedrich Gauss gibi önemli misafirlerin, üretim ve araştırmanın yapıldığı gürültülü alanlardan uzakta ağırlandığı bölümlerdi.
Öne Çıkan Mimari Özellikler	Yapısal Uygunluk	Barok mimarının getirdiği sağlam, kalın taş duvarlar, titreşimi minimize ederek hassas optik ölçümler için kararlı bir zemin sağlamaktaydı. Kemerli ve tonozlu tavanlar geniş, kolonsuz çalışma alanlarının oluşturulmasına imkân sağlamıştı.
Öne Çıkan Mimari Özellikler	Işık Kontrolü	Geniş pencereler sayesinde, gün boyu günışığından faydalanılmaktaydı. Günışığı, mercek kalitesinin değerlendirilmesi ve optik testler için çok kritik bir ışık kaynağıdır. Bu sayede, günışığı kullanımı ve karanlık oda ile ışık kontrolünün her iki ucu da yönetilebiliyordu.
Öne Çıkan Mimari Özellikler	Endüstriyel Altyapı Entegrasyonu	Mevcut bira fabrikasının su tesisatı, cam ocaklarının soğutulması ve yangın güvenliği için kullanılmaktaydı. Değirmen ve gerekli olan makine tezgâhları için güç kaynağı olarak kullanılmaktaydı.
Optik Çalışmalar için Önemi	Disiplinlerarası Yaklaşım	Teori (kütüphane/ofis), pratik üretim (atölye) ve deney (laboratuvar) aynı çatı altında, birbirini besleyecek şekilde organize edilmişti. Bu uygulama, modern Ar-Ge merkezlerinin temel anlayışının ilk örneği olarak ortaya çıkmıştır.
Optik Çalışmalar için Önemi	Bilgi Aktarımı ve Sürdürülebilirlik	Manastırın 1000 yıllık cam işleme bilgisi ve gizlilik kültürü, endüstriyel sırların (cam formülleri) korunmasına yardımcı olurken, elde edilen bilgi birikimi, Fraunhofer'in çalışmaları için paha biçilmez bir temel oluşturmuştur.
Optik Çalışmalar için Önemi	İzolasyon ve Odaklanma	Benediktbeuern yerleşkesinin dağ eteklerinde, şehir gürültüsünden ve dikkat dağıtıcı unsurlardan uzak bir konumda bulunması, bilim insanları ve zanaatkarların uzun ve karmaşık süreçlere (mercek cilalama gibi) yoğunlaşmasını kolaylaştırmıştır.

Bir girişimcinin kurduğu ve bir bilim adamının geliştirdiği Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü'nü var olan yapı imkânları ve klasik eğitim, araştırma metodlarına uygun kurulmuştur (Bkz. Tablo 4.1). Ayrıca, Benediktbeuern Optik

Enstitüsü, teknik yenilikler ve buluşların öncüsü olurken laboratuvarlarıyla, sadece araştırma ve geliştirme faaliyetlerine değil, aynı zamanda sanâyîyle işbirliği faaliyetlerine de önemli katkılar sağlamıştır. Fraunhofer'ın Enstitüye katkıları nedeniyle Fraunhofer Benediktbeuern Enstitüsü ismini alan yapı 20.yy. başında modern optik laboratuvarlarına dönüştürülmüştür. Modern laboratuvar binaları, iç mekânların işlevlerine göre tasarlanması ve özel laboratuvarların kurulumu, cam ocaklarının özel olarak tasarlanmış laboratuvarlara yerleştirilmesi, mekânsal düzenlemeler, ihtiyaçlar doğrultusunda çevre tasarımları, gerekli olan yüksek sıcaklık ve kimyasal işlemler için gerekli altyapının düzenlenmesi, havalandırma sistemleri, elektrik ve gaz tedarigi, su ve atık yönetimi çalışmalarıyla, çağdaş güvenlik önlemleri ile ileri optik araştırmalarına imkân tanıyan Enstitü (Fraunhofer-Gesellschaft, 2003). 1930 yılından manastır ve arazisini satın alan Don Bosco Salesian Cemaati (SDB)⁸⁵ tarafından; tarihi mekânlarını restore ederek kurumsal tarihinin ve gelişimini günümüze taşınmış, işlevini ise eğitime çevirerek din eğitimi ve bilimi için modern bir çalışma merkezine dönüştürülmüştür (Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern, 2025). Sonraları Fraunhofer Gesellschaft (Fraunhofer Derneği) çok ilgilendiği Fraunhofer cam atölyelerini satın alıp 1991 yılında restore ederek modern bir bilim ve bilim tarihi müzesi ve çalışma merkezine dönüştürmüştür (Fraunhofer, 2025).

Fraunhofer Benediktbeuern Enstitüsü kurulum planlaması, yapılan çalışmaları ile aydınlatma/ optik laboratuvarı alanında çok önemli ilk örneği oluştururken; Cavendish Optik Laboratuvarı, mimari projesi, bütçesi, tedarik süreçleri planlanmış James Clerk Maxwell'in olarak binası inşaa edilip, kurulan ilk laboratuvar olma özelliğini taşımaktadır.

19.yy.'ın ortalarında, doğa bilimlerinde yaşanan hızlı gelişmeler her alanda olduğu gibi fizik alanında da özellikle deneysel çalışmalara ihtiyacı arttırmıştır. Bilginin teknoloji ve dolayısıyla ekonomi oluşturuyor olması o günün Dünya'sında her ülkenin ekonomi yönetimleri ve üniversiteleri başta olmak üzere, her kesimin farkında olduğu bir durumdur. Britanya'nın Cambridge üniversitesi de bu farkındalıkla fizik alanında yaptığı teorik ve deneysel çalışmalarıyla, yetkin fizikçilerden oluşan kadrosu ile bulunduğu alanın öncüsü konumunda yer almıştır. Cambridge Üniversitesinin alanda sahip olduğu yetkinlik, günün şartlarına göre, fizik (özellikle merkezinde optik çalışmaları olan

⁸⁵Don Bosco Salesian Cemaati (SDB); Saint Francis de Sales Cemiyeti olarak bilinen cemaat; Roma Katolik Kilisesi (Vatikan) rahiplerinden Don John Bosco tarafından 1859 yılında, 17.yy yaşamış piskopos Francis de Sales adına kurduğu Roma Katolik Kilisesine bağlı erkeklerin oluşturduğu bir dini cemaattir (Britannica, Erişim tarihi: 25.11.2025).

deneysel fizik) alanında en geniş kapsamlı deney ve araştırmalarının yapılabileceği kapasitede, özel bir mekânın yapılması kararını almasını sağlamıştır. Büyük bir proje olan bu kararın gerçekleşmesi 1874 yılında Cavendish Dükü William Cavendish⁸⁶ tarafından sağlanan destek ile mümkün olmuştur. Laboratuvar proje ve planlanmasından mimari projesine, bütçe ve inşaasına, laboratuvarda yapılan optik çalışmalarına kadar James Clerk Maxwell'in sorumluluğu altında gerçekleştirilen Cavendish Laboratuvarı olarak adlandırılan Cavendish Fizik Laboratuvarı; modern anlamda inşaa edilmiş ilk optik laboratuvarı olarak, laboratuvar gelişim tarihinde yerini almıştır (Crowther, 1974).

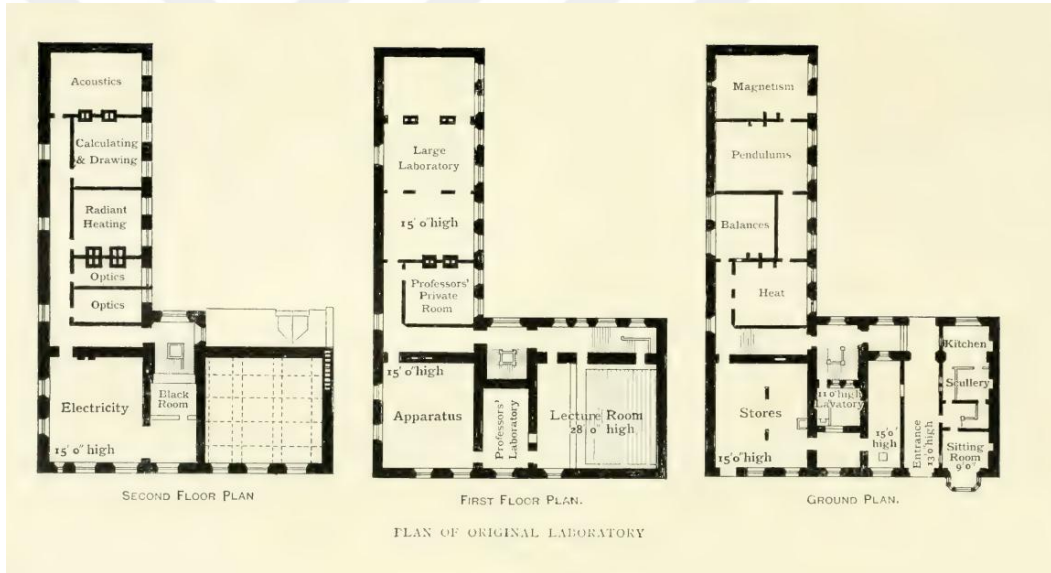
Cavendish Fizik Laboratuvarının planlanmasında aşağıda yer alan işlevlerin göz önünde bulundurulduğu ve bu işlevlerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde planlandığı görölmektedir:

- Öğretim ve araştırmanın bütönlüğu
- Disipliner ve disiplinlerarası araştırmalara uygunluk
- Araştırma, geliştirme ve uygulama alışmaları
- Tek kişilik ve grup çalışmalarına uygunluk
- Çeşitli ölçeklerde farklı işlevlerde disiplinler ve disiplinlerarası laboratuvar mekânları
- Günün bilimsel ve teknolojik şartlarına uygun olmak üzere, laboratuvarların ileri düzey donanım ve teknolojileri
- Hassas ölçüm ve araştırma altyapısı
- Teknik altyapı (elektrik, gaz, havalandırma, su ve atık sistemleri, aydınlatma, ısıtma)
- Kullanılacak araç gerecin, binanın ihtiyaçlarının, tamirat- tadilatın ve küçük çaplı üretimimin yapılabileceği atölyeler
- Güvenlik ve ergonomi (bazı elektromanyetik laboratuvarlar için özel kıyafetlerin giyildiği mekânlar)
- Erişilebilirlik ve esneklik

⁸⁶William Cavendeish (7. Devonshire Dükü ve Cambridge Üniversitesi şansölyesi) (1808 – 1891); Wrangler matematik yarışmasının ikinci Wrangler'i matematikte Smith Ödöllü, Manchester Victoria Üniversite'sinin ve Londra Üniversitesi'nin (ilk) şansölyesi, Cambridge Cavendish Fizik Laboratuvarının kurucusu, bilimsel eğitimin modernizasyonunda büyük katkı sağlamış politikacı, emlak geliştirici, sanayici, Lordlar Kamarası – parlamento üyesi Britanyalı aristokrat (The History of Parliament, Erişim tarihi: 25.11.2025).

- Öğrenci ve çalışanların kullanacağı mutfak, banyo/ lavabo/ tuvaletler, dinlenme odaları, oturma odası ve benzeri ihtiyaçların karşılanacağı mekân ve donatılar
- İnsan kaynağı/ cinsiyet politikaları
- Kütüphane/ arşivleme

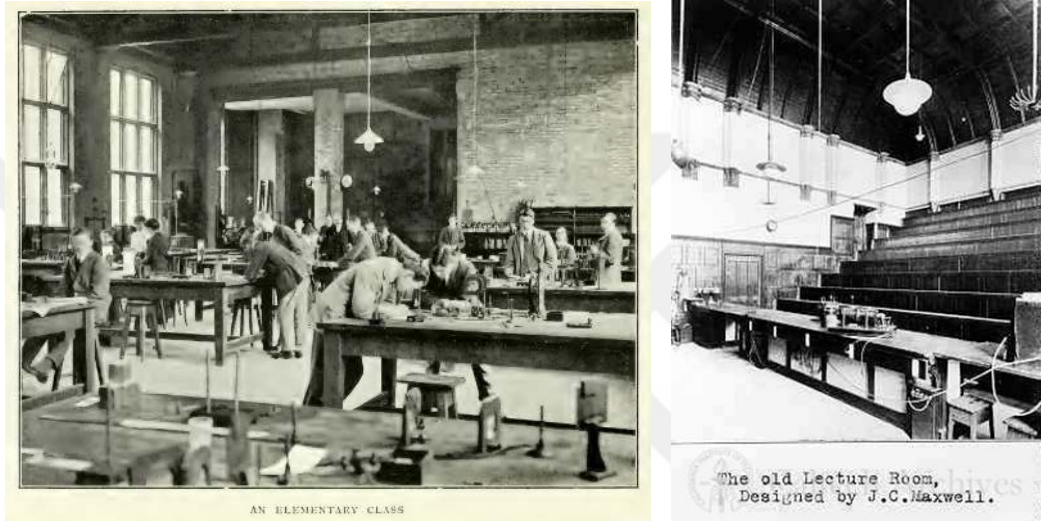
Yapılan araştırma sonucu genel başlıklar altında toplanmaya çalışılan ihtiyaç listesi doğrultusunda bodrum hariç iki katlı yüksek tavanlı günışığını cömertçe içeri alacak şekilde inşaa edilen bina, işlevsel mekân organizasyonu ve yenilikçi teknik donanımlarıyla başta uygulamalı fizik olmak üzere, optik ve fotoğrafçılık, meteoroloji, jeofizik, kimya, astronomi ve mühendislik gibi çeşitli disiplinlere, disiplinlerarası hizmet vererek, birçok önemli bilgi ve teknolojilerin gelişiminin mekânı olmuştur (Bkz. Görsel 4.3).



Görsel 4.3. *Cavendish Laboratuvar Planı (Crowther, 1974)*

Zemin katı, ağır ekipmanları ve temel laboratuvarları içeren stratejik düzeniyle alanda büyük ve karmaşık deneylerin yapılmasına imkân tanımaktaydı. Manyetik araştırmalara ayrılan bölüm, dış titreşimlerden tamamen izole edilmiş taş kaideler üzerine kurulmuş ve elektromanyetik indüksiyon katsayılarını ölçmeye yarayan büyük bobin sistemleri ve Kew gözlemevinde kullanılan hassas manyetometreler bulunmaktaydı. Duvarlara yerleştirilen aynalar ise meridyen yönünün hassas ölçümüne olanak sağlamaktaydı. Titreşimsiz olması sağlanmış olana zemin katta bulunan, saat ve sarkaç odası, zaman ölçümlerinin yanı sıra yerçekimi araştırmalarına olanak tanımaktaydı

(Crowther, 1974). İç mekânı, karartılabilir panjurlu pencereler ve çift taraflı taş raflarla donatılmış olan zemin katın ısı transferi çalışmaları için ayrılan bölümünde, Maxwell'in tasarladığı, cam plakaların titreşim prensibiyle çalışan, ayna ve teleskop kombinasyonu içeren hava viskozitesi ölçüm cihazı ile veri kaydedilmekteydi. Ayrıca bu katta yapılan yüksek sıcaklıklı deneylerinde kullanılması için özel koruyucu ekipmanlar bulundurulurken dışarıda kurulan aletlerin korunması için yağmur suyu tahliye kanalları yapılmıştı (Crowther, 1974).

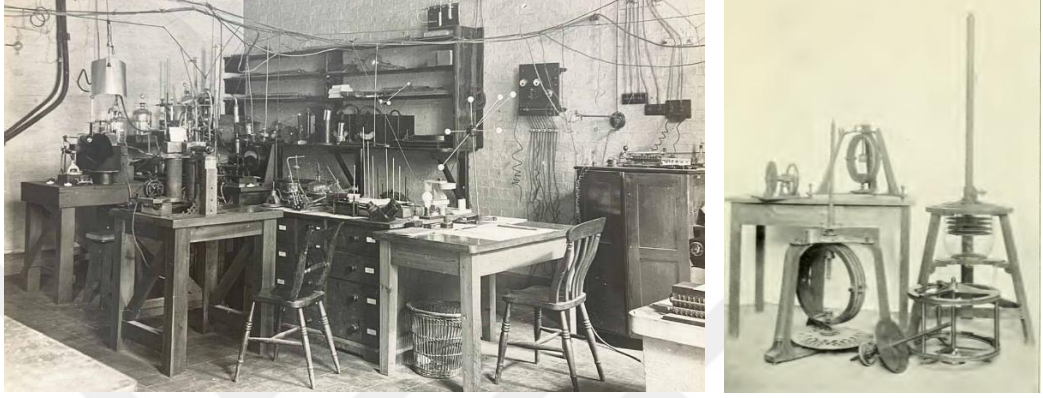


Görsel 4.4. Cavendish öğrenci laboratuvarı, seminer odası (Crowther, 1974)

Laboratuvarın zemin katı, kütüphane ve okuma odası ile yemekhane ve çay odası olarak adlandırılabilen molalarda sohbet edilebilen bir sosyal alan bulunmaktaydı. Bu alanlar, birinci katta yer alan deney hazırlık odası, çalışmak odalarıyla birlikte her alanda çalışan profesörlerin, öğrencilerin ve dışarıdan gelen araştırmacıların bir araya geldiği, fikirlerini paylaştığı dinamik mekânlardı (Bkz. Görsel 4.4) (Crowther, 1974).

Yine aynı katta bulunan batarya odasında, elektrik deneyleri için gerekli gücü sağlamak için porselen küpler üzerine yerleştirilmiş çinko plakalardan oluşan bir sistem kurulmuştur. Aynı katta, derslik salonunun altında konumlanan ve dikey kablo dağıtımını elektrik sistemi kurulan bu oda aslında elektrik odasıydı. Başta laboratuvarlar olmak üzere, binanın ihtiyacı olan elektrik gücünü üreten bu oda; dikey kablo sistemiyle binanın her noktasına elektriğin taşınmasını sağlamaktaydı. Her katın zemininde, katlara dikey konumda hizalanmış, özel ahşap veya metal kapaklar küçük odacıklardan geçen kablolama sistemiyle, binanın her seviyesinde tellerin düşey iletilmesini sağlamıştır.

Kapaklar, sessiz çalışma için yumuşak malzemelerle (keçe veya kauçuk) yalıtılmış olan kapakları, tel eklenmesine veya değiştirilmesini sağlamak üzere çıkartılabiliyordu (Nature, 1874). 1870'lerde duvar içi kablo kanal sistemi pek bilinmezken, Maxwell, Cavendish Laboratuvarında kurduğu bu elektrik sistemini, endüstriyel tesislerdeki buhar boru dağıtım sisteminden örnek alarak projelendirmişti (Crowther, 1974).



Görsel 4.5. Ernest Rutherford'un Laboratuvarı, optik çalışmalarında kullanılan bazı aletler (Crowther, 1974)

Laboratuvarın zemin katında bulunan atölye ve depo alanları, ekipman üretimi ve tamiri için kritik öneme sahipti. Çalışmalar için özelleştirilmiş deney düzenekleri, marangoz tezgâhı, torna makinesi ve mengenelerle donatılmış bu bölümde hazırlanmaktaydı. Ayrıca, hazırlanan deney düzenekleri ve laboratuvar için gerekli tüm malzemenin giriş yaptığı bu kat ile üst katlar arasında, vinç benzeri düzenekler ve rampalardan oluşan bir kaldırma mekanizması tasarlanmıştır. Asansör mantığında çalışan bu sistemle, büyük ve/veya ağır malzemeler üst katlara taşınması sağlanmıştı. Bu mekanizmayı desteklemek adına binanın dikey sirkülasyonunda yer alan büyük merdivenler, bu taşıma işlemleri sırasında yükü kaldırabilmeleri için taştan imâl edilmiştir. Binada yer alan küçük ahşaptan yan merdiven sistemi ise ofisler ve laboratuvarlar arasında hızlı doluşımı sağlamak üzere tasarlanmıştı (Crowther, 1974).

Laboratuvarın ilk katında çalışma ofisleri, öğrenci laboratuvarları ve derslikler yer almaktaydı. Bu katta bulunan akademik personelin çalışma ofislerinde, öğrencilerin kullandığı genel laboratuvarına açılan sürgülü ahşap paneller bulunmaktaydı. Bu paneller sayesinde profesörler, laboratuvarlarda çalışan öğrencileri rahatsız etmeden kontrol edebiliyorlardı. Öğrencilerin kullandığı genel laboratuvar en büyük laboratuvardı (Crowther, 1974). Birinci ve ikinci katlarda yer alan tüm oda ve laboratuvarlarda olduğu

gibi genel laboratuvarlarda da her biri zeminden bağımsız, duvarlara monte edilmiş ve metal veya ahşap kirşlere (braket sistemi) oturtularak titreşimden izole edilmiş ve her masada gaz brülörleri için boru hatları bulunan, titreşimi emme oranı yüksek olan meşe veya sert ahşap malzemeden yapılmış, on büyük, iki küçük masa mevcuttu. Laboratuvar masaları, ağırlık kaldırabilmesi için 5cm'lik masif ahşap yüzeylere sahipti (Bkz. Görsel 4.5). Laboratuvarın bir ucunda dumanlı ve/veya zehirli gaz çıkışı olabilen deneyler için bacalı dolap mekanizması ile havalandırma sağlanmaktaydı. Laboratuvarın tavanı ahşap delikli panellerle kaplanmış, panellerin duvarlara yakın olanları delikli ve yatay şaftlarla bağlantılı olması sayesinde laboratuvarın genel havalandırılması sağlanmaktaydı. Laboratuvarlarda kurulan zemin, yan yüzeyler, tavan ve masa detayları tüm laboratuvar ve dersliklerde mevcuttu (Crowther, 1974).

Yine birinci katta, teorik derslerin, gerektiğinde seminer ve akademik toplantıların yapıldığı öğrenci dersliği bulunmaktaydı. Genel laboratuvar gibi büyük bir salondan oluşan bu derslik 180 öğrencinin rahatlıkla ders isleyebileceği imkânlarla sahipti. Derslikte oturma düzeni 30 derecelik eğimle yükselen bir amfi düzenindeydi. Salonun üç çıkış kapısı mevcuttu. Genel laboratuvar, küçük laboratuvarlar ve derslik odalarında geniş pencereler optik çalışmaları için önemli olan gün ışığını yoğun olarak içeriye girmesini sağlamak üzere tasarlanmıştı. Derslikte, öğrencilerin kullandığı masalar yaklaşık 2 metre uzunlukta, iki öğrencinin rahatlıkla çalışabileceği büyüklükteydiler. Bu masalar derin geniş çekmecelere sahipti. Dersliğin önemli bir detayı, optik deneyler için dersliğin tamamen karartılmasını sağlayan panjurlu pencerelerle donatılmış olmasıydı. Derslikte bulunan ve masif meşeden yapılan büyük ders masası, Foucault sarkacı gibi ağır aletlerin asılabilmesi için çıkarılabilir bölümlere sahiptir (Crowther, 1974).

Aynı katta, çalışma yapılacak deneylerin düzeneklerinin hazırlanması gibi derse hazırlıklarının yapıldığı hazırlık odası ve çalışmak aletlerinin bulunduğu, camlı dolaplarda önemli tarihi makinelerin (İngiliz Bilim Derneği'nin direnç standartları, Thomson kadran elektrometresi gibi değerli aletler) sergilendiği alet odası bulunmaktaydı (Crowther, 1974).

Laboratuvarın ikinci katı⁸⁷ özel araştırma ve deneyler için düzenlenmişti. Bu katta üst düzeyde, uzmanlaşmış araştırma laboratuvarları ve küçük grup çalışmalarına ayrılmış

⁸⁷Nature dergisinin 1874 tarihli 10. Cilt, 243. Sayısında, "The New Physical Laboratory of the University of Cambridge" adlı makalede detaylı şekilde anlatılan Cavendish Laboratuvarının ikinci katı "üçüncü kat" olarak ifade edilmektedir (Nature, 1874).

odalar yer almaktaydı. Katta bulunan akustik, optik, elektrik ve radyan ısı deneylerine özelleşmiş araştırma laboratuvarlarının yanı sıra fotoğrafçılık ve optik malzemelerin işlenmesi için düzenlenmiş küçük bir karanlık oda mevcuttur. Söz konusu laboratuvarlar döneminin ilerisinde bir anlayışla tasarlanmıştı (Bkz. Ek-9) (Nature, 1874).

Akustik araştırmalarının yürütüldüğü özel laboratuvar, ses dalgalarının temel özelliklerinin incelenmesi için optimize edilmişti. Duvarları ve tavanı yankıyı minimize eden yalıtım malzemeleriyle kaplı bu mekân, özellikle sesin maddeyle etkileşimi üzerine çalışmalar için ideal bir ortam sunuyordu. Bu laboratuvarın yanında yer alan hesaplama ve çizim odası, bilimsel verilerin analizlerinin yapılmasına ve teorik modellerin geliştirilmesine uygun olan geniş çizim masalarının ve detaylı hesaplama tablolarının bulunduğu, araştırmacıların kullanımına sunulmuş bir odaydı (Crowther, 1974).

Diğer üst düzeyi optik araştırmaları için hazırlanan iki laboratuvar, dönemin en gelişmiş ışık deneylerine imkân tanıyan araç, gereç ve tesisatlarla kurulmuştu. Bu optik laboratuvarları, heliostat sistemi ve tam karartma özelliklerine sahipti. Laboratuvarı yer alan heliostat sistemiyle, güneş ışığından elde edilen paralel ışın demetlerinin (ışık huzmeleri), kırınım ve girişim deneyleri yapılabilmekteydi. Ayrıca, laboratuvarların tamamen karartılabilen yapısı sayesinde, ışığın maddeyle etkileşimine dair son derece hassas ölçümler yapılabiliyordu. Bu laboratuvarlar, Maxwell'in elektromanyetik teori çalışmalarında büyük öneme sahipti (Crowther, 1974).

Elektrik araştırmalarının merkezinde yer alan laboratuvar, özel bir hava kurutma sistemiyle donatılmıştı. Laboratuvara kurulan, bakır silindir ve flanel banttan oluşturulan hava kurutma düzeneği sayesinde, ortam nemi kontrol altında tutulabiliyordu. Bu sayesinde laboratuvarın nem oranı %30'un altında tutularak, yüksek voltaj deneyleri için ideal koşullar oluşturulabiliyordu. Özel yalıtımlı çalışma istasyonları ve yüksek voltaj deneylerinde kullanılması zorunlu olan yalıtkan eldiven, önlük gibi çalışmak güvenliği ve ergonomisin sağlandığı laboratuvarlar, özellikle elektromanyetizma ve manyetizma alanında yapılan çığır açıcı deneylerin yapılabilmesine imkân sağlamıştır (Bkz. Ek-10) (Crowther, 1974).

Isı transferi araştırmalarına ayrılmış olan diğer bir laboratuvar ise radyan ısı deneyleri için tasarlanmıştı. Burada hassas termometreler ve özel yalıtımlı deney düzenekleri bulunmaktaydı. Ayrıca, binanın kulesinde konumlandırılan ve binanın en yüksek tavanına sahip olan odada, vakum deneyleri için su pompalı bir sistem kurulmuştu (Crowther, 1974). Bu odada yer alan, Bunsen tipi su pompası ve Sprengel pompasından

kullanılarak tasarlanmış vakum sistemi sayesinde, çeşitli basınç düzeyleri elde edilmekte ve her kata konan cam vakum göstergeleriyle, basınç düzeyinin izlenmesi sağlanmaktaydı. Ayrıca, kulenin çatısına konan 1,5 metre ucu sivri bakır çubuk sayesinde atmosferik araştırmalar için veri toplanırken atmosferik elektrik depolanabiliyordu. Böylece toplanan statik elektrik izole edilmiş bakır tellerle, elektrik laboratuvarındaki ölçüm sistemlerine iletilerek incelenmekteydi (Crowther, 1974).

Renk algısı, renk körlüğü ve renk teorisi ile ilgilenen Maxwell'in planladığı laboratuvar binasının ikinci katında yer alan son özel oda, fotoğrafçılık ve optik malzemelerin islenmesi için hazırlanmış karanlık odaydı. Laboratuvarın tamamen ışık geçirmeyen malzemelerle kaplanmış olan karanlık odası; kimyasal banyo tezgâhları, özel havalandırma sistemiyle fotoğraf plakalarının işlenmesine imkân sağlamaktaydı. Bu odada yapılan çalışmalar bilimsel kayıtların tutulması ve optik deneylerin belgelenmesi çalışmalarında kritik bir öneme sahipti (Nature, 1874).

Tablo 4.2. *Cavendish Fizik (Optik) Laboratuvarları– Optik Laboratuvarlarına Sağladığı Katkılar Tablosu (Crowther, 1974)*

Kategori	Katkı/Yenilik	Açıklama ve Optik Çalışmalar İçin Önemi
Mekânsal Tasarım	Özelleştirilmiş ve İhtisaslaşmış Odalar	Maxwell, her bir bilimsel disiplin için özel olarak tasarlanmış odaların planlanmasına öncülük etmiştir. Örneğin, ilk profesyonel "Karanlık Oda" (darkroom) fotoğraf işleme ve optik deneyler için özel olarak inşa edilmiş, ışık geçirmez ve havalandırmalı bir mekandı. Bu, optik araştırmaları için adanmış, kontrollü bir ortam fikrinin erken ve sistematik bir uygulamasıydı.
İşlevsel Altyapı	Merkezi Servis Omurgası	Laboratuvarın koridorlarından geçen merkezi gaz, su ve elektrik tesisatı, ihtiyaç duyulan her odaya bu servislerin "dallanarak" ulaşmasını sağlamıştır. Bu, esnekliği yüksek, her türlü deneysel düzeneğin (özellikle gaz alevi veya su soğutma gerektiren optik deneylerin) kolayca kurulabildiği bir altyapı modeli oluşturmuştur.
İşlevsel Altyapı	Her Odada Standart Donanım	Neredeyse tüm odalara kurşun lavabolar ve şömineye bağlı havalandırma sistemleri yapılmıştır. Bu standartlaştırma, herhangi bir odada kimyasal işlemler ve duman çıkaran deneyler yapılabilmesine olanak tanıyarak optik malzeme işleme ve hazırlama kapasitesini büyük ölçüde artırmıştır.
Teknik Donanım	Titreşim İzolasyonu (Maxwell Masası)	Maxwell'in titreşime karşı izole, optik düzenekler kurmaya uygun özel masa tasarımı, modern optik masaların doğrudan prototipi olmuştur. Bu yenilik, hassas optik ölçümlerin ve hizalamaların güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için gerekli olan kararlı ortam ihtiyacını sistematik olarak karşılayan ilk çözümlerden biridir.
Güvenlik	Proaktif Yangın Güvenliği	Optik laboratuvarlarında sıkça kullanılan yanıcı kimyasallar ve gaz hatları göz önüne alınarak, yangın durumu için kanvas kaplı kauçuk borular gibi erken dönem yangın söndürme ekipmanları kullanılmıştır. Bu, bir araştırma laboratuvarında güvenliği tasarımın ayrılmaz bir parçası haline getiren öncü bir yaklaşımdır.
Personel ve Eğitim	Araştırma-Eğitim Entegrasyonu	Laboratuvar, sadece seçkin araştırmacılar için değil, aynı zamanda lisansüstü öğrencilerin eğitimi için de tasarlanmıştır. Öğrencilerin "görerek ve deneyerek" en ileri optik araç ve yöntemlerle eğitilmesi prensibi, modern araştırma üniversitelerindeki lisansüstü laboratuvarların işleyiş modelinin temelini atmıştır.
Yönetim Felsefesi	Merkezi Planlama ve Özerklik Dengesi	Maxwell'in merkezi olarak planladığı altyapı ve kaynaklar, araştırmacılara kendi özgün deney düzeneklerini (Maxwell Diski, Renk Kutusu, Polariskop vb.) inşa edebilecekleri özerklik ve atölye imkânlarıyla desteklenmiştir. Bu "altyapıyı sağla ve özgür bırak" modeli, verimliliği ve yaratıcılığı maksimize ederek Cavendish'i bir yenilik fabrikasına dönüştürmüştür.
Metodoloji ve Standartlar	Ölçüm Standartlarının Geliştirilmesi	Maxwell, manyetik akı birimi "Maxwell" (Mx) gibi birimleri tanımlayarak ve kendi geliştirdiği ölçüm araçları (Maxwell Köprüsü vb.) için standartlar oluşturarak, deneysel optik ve fiziğin nicel ve tekrarlanabilir bir bilim dalı olmasına yaptığı katkıyı somutlaştırmıştır.

Kısaca özetlemek gerekirse, Cavendish Laboratuvarı, bilimsel çalışmaların yanı sıra öğrenci ve çalışanların ihtiyaçlarını da göz önünde bulunduran bir yapıydı. İç mekânlar, farklı bilimsel disiplinlere göre özelleştirilmişti ve her oda, belirli deneyler için gerekli olan teknik donanım ile donatılmıştı. Ayrıca, laboratuvarın iç mimarisi, bilimsel çalışmaların verimliliğini artırmak için özel olarak tasarlanmıştı. Laboratuvarın iç mimarisindeki akıllı çözümler, bilimsel verimliliği maksimize edecek şekilde geliştirilmişti. Havalandırma sistemleri, karartma mekanizmaları ve titreşim izolasyonu gibi detaylar, her bir araştırma alanının özel ihtiyaçları düşünülerek tasarlanmıştı. Çoğu oda, şömine ve tavana yakın bir yerde bacaya bağlı bir havalandırma sistemiyle donatılmıştı. Tüm odalarda su tesisatı döşenmiş kurşun lavabolar bulunuyordu (Nature, 1874). Yangın durumunda kullanılmak üzere bol miktarda kanvas kaplı kauçuk boru temin edilmişti. Laboratuvarın merkez koridorlarından geçen gaz, su, elektrik tesisatı ile binanın omurgası işlevini yüklenerek; ihtiyaç olan laboratuvarlara gaz, su ve elektriğin dallanarak ulaşması sağlanmaktaydı (Crowther, 1974).

Cavendish Laboratuvarındaki her şey, bilim insanlarının verimli çalışmalarını sağlamak ve öğrencilerin görerek, deneyleyerek eğitimlerini en yüksek düzeyde vermek üzere planlanmıştı (Bkz. Tablo 4.2). Maxwell'in büyük hassasiyetle detaylı bir şekilde planladığı bu laboratuvarlarda elektromanyetizma teorisi, termodinamik, renk kuramı, renkli baskı ve istatistiksel mekanik alanlarında çığır açan çalışmalarını gerçekleştirirken ihtiyaç olunan önemli optik araçlarını da tasarlamıştır.

Maxwell'in yaptığı çalışmalar için geliştirdiği, Maxwell masası olarak da adlandırılan, titreşime karşı izole, üzerinde optik düzeneklerin kurulumuna uygun masa tasarımı; günümüz aydınlatma/ optik laboratuvarlarının demirbaş eşyalarından olan ileri titreşim izolasyonlu optik masalarının bir prototipi olmuştur. Ayrıca, dönen bir disk sayesinde manyetik kuvvet çizgilerini görselleştirilebildiği *Maxwell Disk*'i, ışığın spektral bileşenlerinin incelendiği *Spectroscopy*'un geliştirilmesi, ışığın polarizasyon durumunu görsel olarak analiz etmek üzere geliştirdiği polariskop, ilk renkli fotoğraf çekme ve baskı sistemi, ışık şiddeti ölçer Fotometre, bir spektrumdan seçilmiş renkler kullanılarak renk eşleştirme üzerine nicel deneylerin yapılmasına imkân sağlayan ve Maxwell görüşü olarak adlandırılan renk kutusu, düzgün manyetik alan üretmek üzere tasarlanmış Maxwell bobini, elektriksel endüktans ölçümünde kullanılan Maxwell Köprüsü, Maxwell balıkgözü mercek, RGB (kırmızı, yeşil, mavi, renk algısı) teorisini deneysel olarak kanıtladığı Renk Karışım Aparatı (Colour Mixing Apparatus),

Maxwell'in dönme hareketi teorisine göre dönen cisimlerin dinamik davranışını göstermek amacıyla tasarladığı Maxwell Dinamik Topu, cgs birim sistemi içinde yer alan manyetik akı birimi "*Maxwell*" (Mx) tanımlamış ve geliştirdiği ölçüm araçları ile elde edilen ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde ilk standartları geliştirmişti (Bkz. Tablo 4.3) (Flood, McCartney ve Whitaker, 2014).

Kurulduğu ilk günden bu yana fizik alanında 29 Nobel ödülü almış çalışmaların yürütüldüğü; Maxwell dışında Sir J.J. Thomson, Sir Lawrence Bragg, Sir Edward Appleton, Sir John Cockcroft, Didier Queloz (University of Cambridge, 2025), Niels Bohr, Julius Robert Oppenheimer gibi birçok bilim insanının tam zamanlı veya geçici olarak çalışmalarını yürüttüğü Cavendish Laboratuvarının ilk kuruluşu, modern anlamda aydınlatma/ optik laboratuvarının sahip olduğu özelliklerin çoğunun birer arketipidir. Aynı zamanda kurumsal bir yapıya sahip olan laboratuvarın aydınlatma/ optik laboratuvarı arketipi olma özelliği, yüksek verimlilikte, başarılı çalışmaların gerçekleştirilmesinde en önemli etken olarak ortaya çıkmaktadır (Bkz. Tablo 4.3).

1960'lara kadar gerekli ihtiyaçlar doğrultusunda genişletme çalışmaları yapılan Cavendish Laboratuvarı, 1966- 1974 yılları arasında 16.000 m²'lik yeni yerine taşınmıştır (Crowther, 1974). Yeni yeriyle birlikte The New Cavendish Laboratory olarak adlandırılan laboratuvar kompleksine 2019 yılında 35.000 m²'lik, The New Cavendish Laboratory III olarak yeni laboratuvar kompleksi eklenerek, işlevlerine göre çeşitlenen, geniş faaliyet alanlarında çok çeşitli çalışmaların yürütüldüğü laboratuvarların bir çeşit entegre tesisi hâline evrilmiştir (University of Cambridge, 2025).

Temizodaları, laboratuvarları, çalışma ofisleri, kütüphane ve benzeri mekânlara, teknolojik altyapı ve donanımlara sahip çağdaş fizik laboratuvarları ile aydınlatma/ optik alanında dikkate değer çalışmalarına devam eden Cavendish Laboratuvarı'nın aydınlatma/ optik laboratuvar tarihine ait bir önemli özelliği; 1846 yılında Carl Zeiss tarafından optik ve mekanik alanında üretim için açtığı atölyenin devamı olan; optik lenslerden elektroniğe, medikal, otomobil veya havacılığa kadar çok geniş alanda aydınlatma/ optik araştırmaları ve üretimi yapan, optik sektörünün büyük oyuncusu ZEISS firması ile 1962 yılından sonra alanda yaptıkları ortak çalışmalarıdır (ZEISS, 2025).

Tablo 4.3. *Cavendish Fizik (Optik) Laboratuvarları– Optik ve İlgili Alanlara Sağladığı Katkılar Tablosu (Crowther, 1974)*

Geliştirilen Alet / Teori / Keşif	Kısa Açıklama	Geliştiren/Araştıran Kişi(ler)	Tarih / Dönem
İlk Renkli Fotoğraf	Türbin, kurdele ve filtreler kullanarak ilk kalıcı renkli fotoğrafı üretme yöntemi (1861'de gösterilmiş, Cavendish'te geliştirilmiştir).	James Clerk Maxwell	1861/1870'ler
Renk Kutusu (Colour Box)	Bir spektrumdan seçilmiş renklerle nicel renk eşleştirme deneyleri yapmaya olanak sağlayan, RGB teorisinin deneysel temelini atan aparat.	James Clerk Maxwell	1870'ler
Renk Karışım Aparatı	RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi) renk teorisini deneysel olarak kanıtlamak için kullanılan düzenek.	James Clerk Maxwell	1870'ler
Polariskop	Işığın polarizasyon (kutuplaşma) durumunu görsel olarak analiz etmek için geliştirilmiş optik alet.	James Clerk Maxwell	1870'ler
Fotometre	Işık şiddetini ölçmek ve karşılaştırmak için kullanılan alet.	James Clerk Maxwell	1870'ler
Maxwell Diski	Dönen bir disk sayesinde manyetik kuvvet çizgilerini görselleştirme aracı (Manyetizma ve optiğin kesişim).	James Clerk Maxwell	1870'ler
İlk Karanlık Oda	Bilimsel kayıt tutma ve optik deneyleri belgelemek için özel olarak tasarlanmış, ışık geçirmez, havalandırılmalı, kimyasal tezgahlı karanlık oda.	James Clerk Maxwell (tasarlayan)	1874
Titreşim İzolasyonlu Masa	Hassas optik düzeneklerin kurulabilmesi için titreşime karşı izole edilmiş masa. Modern optik masaların prototipi.	James Clerk Maxwell	1870'ler
Ölçüm Standartları	Manyetik akı birimi "Maxwell" (Mx) gibi birimlerin tanımlanması ve deneysel fizikte nicel ve tekrarlanabilir ölçüm için ilk standartların geliştirilmesi.	James Clerk Maxwell	1870'ler

Tablo 4.3. (Devamı) Cavendish Fizik (Optik) Laboratuvarları– Optik ve İlgili Alanlara Sağladığı Katkılar
Tablosu (Crowther, 1974)

Geliştirilen Alet / Teori / Keşif	Kısa Açıklama	Geliştiren/Araştıran Kişi(ler)	Tarih / Dönem
Gazların Parlaklık Ölçümü	Gazların ve alevlerin parlaklığının ölçülmesi için yeni fotometrik yöntemlerin geliştirilmesi.	Lord Rayleigh (J.W. Strutt)	1880'ler
Katot Işınlının İncelenmesi	Katot tüplerindeki ışınların manyetik ve elektrik alanlarda sapmalarının incelenmesi, elektronun keşfine giden yolu açtı.	J.J. Thomson	1890'lar
Wilson Sis Odası	Yüklü parçacıkların izlerini yoğunlaşma sayesinde görünür kılarak, parçacık fiziği deneylerini "gözlemlenebilir" kılan çığır açıcı bir cihaz.	C.T.R. Wilson	1911 (Cavendish'te geliştirilmesi)
X-Işını Kırınımı ve Bragg Kanunu	X-ışınlarının kristal yapılardan kırınımını inceleyen ve analiz etmeyi sağlayan temel yasanın formüle edilmesi.	W.H. Bragg and W.L. Bragg	1912-1913
Kütle Spektrografi	Elektrik ve manyetik alanlar kullanarak atomları kütlelerine göre ayıran ve izotopların varlığını kesin olarak kanıtlayan alet.	F.W. Aston	1919
Nötronun Keşfi	Alfa parçacığı bombardımanı sonucu oluşan yüksüz bir radyasyonun (nötron) keşfi.	James Chadwick	1932
Elektron Mikroskobu Geliştirmeleri	Elektron optiği prensiplerine dayanan ve ışık mikroskobundan çok daha yüksek çözünürlük sağlayan aletin Cavendish'te pratik olarak geliştirilmesi.	Marton ve diğerleri	1930'lar-1940'lar
Radyo Galaksilerin Keşfi	Radyo teleskopları kullanılarak yapılan ve evrenin anlaşılmasında yeni bir pencere açan keşif.	Martin Ryle ve ekibi	1940'lar-1950'ler
Pulsarların Keşfi	Düzenli radyo dalgası atımları yapan nötron yıldızlarının keşfi.	Antony Hewish ve Jocelyn Bell Burnell	1967

Cavendish Laboratuvarı'nın yanı sıra Fraunhofer Enstitusuyle⁸⁸ de aydınlatma/ optik alanında çok başarılı çalışmalar yürüten (Fraunhofer, 2025) Zeiss Firması, aydınlatma/ optik laboratuvar tarihinin önemli kurumlarından biridir. Carl Zeiss'in optik lens konusunda uzmanlaşmış ve başlarda tam zamanlı mikroskop üreten ilk atölyesinde elde ettiği başarı sonrası şirkete dönüşen firmasına, 1872 yılında katılan fizikçi Ernst Karl Abbe sayesinde, aydınlatma/ optik laboratuvarları başta olmak üzere laboratuvar çalışmalarına büyük katkı sağlamıştır. Abbe, 1880'lerde Zeiss laboratuvarlarında optik camların kesim ve cilalanma aşamalarında tozsuz ortamın gerekliliğini belirleyerek özel havalandırma sistemi kurmuş, çalışanların temiz kıyafetler giymesini zorunlu kılmıştır. Bu uygulamaları ile laboratuvarlarda nem ve tozu kontrol etmeye çalışan Abbe, kurucuları arasında olduğu Glastechnisches Laboratorium Schott ve Genossen'da⁸⁹ cam kimya laboratuvarlarında havadan partikül filtrelemeyi sağlamak üzere sistem kurmuştu. Abbe'nin kurduğu toza ve neme karşı kontrollü laboratuvarlar, günümüzün temizodalarının arketipini oluşturmaktaydı (Wittig, 1989). Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının önemli bir bölümü olan temizodanın modern anlamda ilk tasarlanması, HEPA filtrenin⁹⁰ icadı sayesinde gerçekleşmiştir. Nükleer silah bileşenleri dahil hassas ve karmaşık parçaların üretiminde etkileyen toza karşı ilk tasarım çalışmalarını 1962 yılında yapan Amerikalı fizikçi Willis Whitfield, sürekli filtrelenmiş hava akımını sağlamak üzere tasarladığı sistemi ilk olarak Sandia Ulusal Laboratuvarlarında kurmasıyla, modern anlamda temizodanın ilk kez kurulumunu gerçekleştirmiştir (Sandia LabNews, 2025).

19.yy. başından itibaren; Humboldt eğitim ilkelerinin, modern üniversite eğitiminin ortaya çıkışındaki büyük etkisi sonucu, teorik ve pratik eğitimin şartlarına uygun, lâik ve kurumsal yapılı üniversiteler hızla açılmaya başlamıştır. Açılan üniversitelerin çalışma alanları içinde ilk sıralarda yer alan uygulamalı fizik, optik fiziği konuları beraberinde optik laboratuvarlarının kurulumunu getirmiştir. Bu laboratuvarların içinde, Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü'nün modern laboratuvarlar arasında olmasa da alana getirdiği katkıları, aydınlatma/ optik

⁸⁸Fraunhofer-Gesellschaft'e bağlı Enstitü ismini, Benediktbeuern Manastırı Optik Enstitüsü'nün yöneticisi Joseph Ritter von Fraunhofer'dan almaktadır (Fraunhofer, Erişim tarihi: 25.11.2025).

⁸⁹Glastechnisches Laboratorium Schott and Genossen, Otto Schott, Ernst Abbe, Carl Zeiss ve Roderich Zeiss tarafından 1884 yılında, Almanya'nın Jena şehrinde kurulan cam teknoloji laboratuvarı (Harvard University, Erişim tarihi: 25.11.2025).

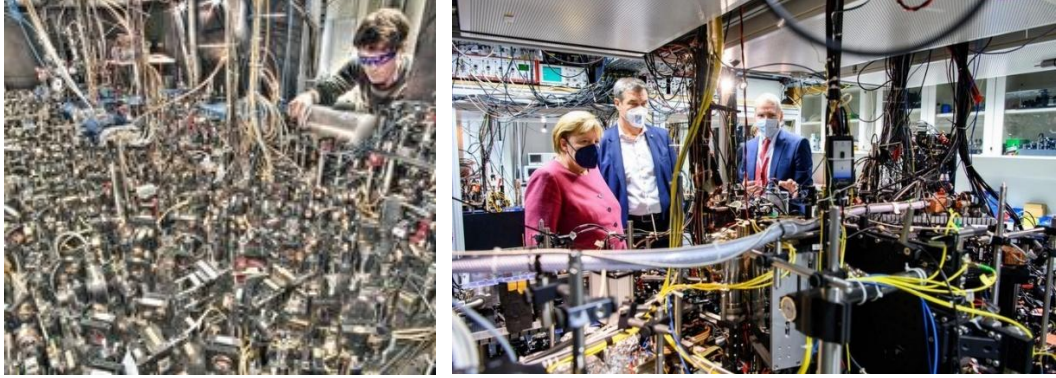
⁹⁰HEPA Filtre, yüksek verimli partikül hava filtresi 1940'larda askeri gaz maskeleri tasarımından ortaya çıkmış ve ilk olarak Manhattan Projesi kapsamında, havadaki radyoaktif kirleticilerin yayılmasını önlemek üzere kullanılmıştır (Britannica, Erişim tarihi: 25.11.2025).

laboratuvarları için bir kısım temel oluştururken; döneminde tam kurumsal ve profesyonel yapıya sahip olan Cavendish Laboratuvarı, modern aydınlatma/ optik laboratuvarının sahip olması gereken temel özelliklerin neredeyse tamamının tanımlanmasını sağlamıştır.

Humboldt ilkelerine ek olarak, 19.yy.'da Dünya'da yaşanan birçok değişimin yanı sıra yüzyılın ilk çeyreğinden 20.yy.'ın ilk yarısına kadar, matematik ve doğa bilimlerinde yaşanan büyük sıçramaların katkısıyla, açılan üniversitelerin uygulamalı fizik (özellikle optik fiziği) laboratuvarlarının çoğu, gösterdikleri gelişim, alana sağladığı katkıları ile günümüzün önemli laboratuvarları arasında yer almaktadır.

1810'da kurulan ve 1949 yılında Humboldt ismini alan Berlin Üniversitesi (VLBB Endowment, 2025), sahip olduğu uygulamalı fizik laboratuvarlarında çalışmalarını yürütmüş Max Planck, Albert Einstein, Heinrich Hertz, Max Born, Erwin Schrödinger (Humboldt-Universität zu Berlin, 2025) gibi yüksek kalibreli birçok bilim insanı sayesinde, Bilim Dünyası'na büyük katkılar sağlamıştır. Almanya'nın siyasi tarihi içinde çeşitlik zorluklar, çalkantılar geçiren Üniversite; Humboldt ilkeleri doğrultusunda araştırma ve öğretim bütünlüğünü koruyarak gelişimini ve modernizasyonunu sağlamış, teorik ve uygulamalı fizik çalışmalarını Fizik Enstitüsü altında toparlamıştır. Optik bilimleri alanında yüksek lisans programları olan üniversite, araştırma enstitüsü altında yer alan optik laboratuvarlarında optik, fotonik, lazer teknolojileri, kuantum fiziği (Humboldt-Universität zu Berlin, Physik, 2025), optik sistemler (Humboldt-Universität zu Berlin, Physik, 2025), metroloji, aydınlatma ve görsel algı gibi alanlar başta olmak üzere bilimsel araştırmalarına devam etmektedir (Humboldt-Universität zu Berlin, 2025). Ayrıca, Humboldt Berlin Üniversitesi ile birlikte Berlin Teknik Üniversitesi (Technische Universität Berlin, TU Berlin), Freie Universität Berlin (FU Berlin)'in fizik bölümlerinin ortak okulu olarak 2019 yılında kurulan Berlin Optik Bilimler ve Kuantum Teknolojisi Okulu (Berlin School of Optical Sciences and Quantum Technologies, BOS.QT) alanda yüksek lisans eğitimi vermekte, Leibniz Derneği, Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (German Aerospace Center, DLR), Fraunhofer ve Max-Planck Enstitüsü gibi önemli kuruluşların işbirliğinde optik alanında araştırmalar yürütmektedir (Technische Universität Berlin, 2025). Optik fiziği alanında, 1911 yılında kurulan Max Planck Enstitüsü (Max-Planck-Gesellschaft, Max-Planck-Institut) başta kuantum optiği, lazer teknolojileri, nanofotonik ve plazmonik, biyofotonik, astro- optik alanları olmak üzere niş konularda özel laboratuvarları (Bkz. Görsel 4.6) bulunan Enstitü, STED mikroskobu

ve lazer spektroskopisi tasarımlarıyla Nobel fizik ödülünü almıştır (Max-Planck-Gesellschaft, 2025).



Görsel 4.6. Max Planck Institute Kuantum Optik Laboratuvarı (Max-Planck-Gesellschaft, 2025)

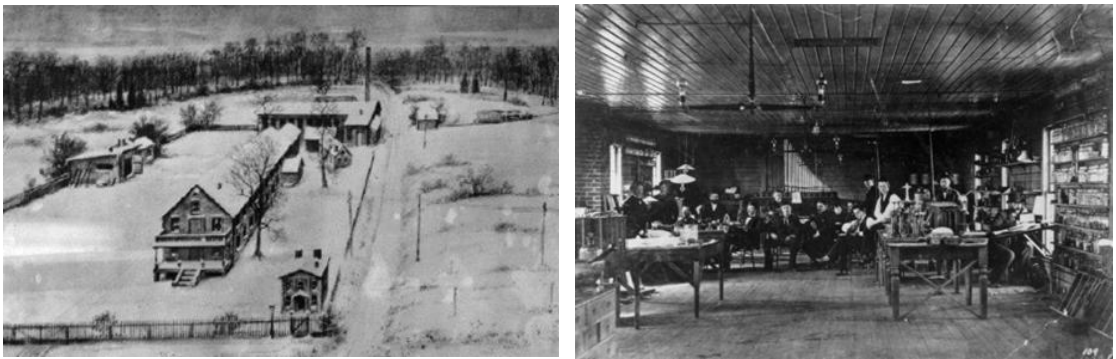
Yine 1798 yılında Almanya Köln kentinde kurulan Köln Üniversitesi'nin (Universität zu Köln), lüminesans laboratuvarında, elektromanyetik ışımlar üzerine uzmanlaşmış çalışmaları (Universität zu Köln, 2025); 1746 yılında kurulan, başta Einstein'ın teorisi olmak üzere elektromanyetik alanında yaptığı çalışmalarla öne çıkan Princeton Üniversitesi (Princeton University) plazma fizik, nöral nano optik, lightwave iletişim araştırmaları, fiber optik, fotonik nöron gibi alanda özelleşmiş birçok optik araştırmalarına laboratuvarlarında yürüttüğü çalışmaları (Princeton Üniversitesi, 2025); 1861 yılında kurulan Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nün (Massachusetts Institute of Technology) aydınlatma (MIT Media Lab, 2025) ve ileri optik çalışmalarında, alanlarına özelleşmiş laboratuvarlarında lazer, LED/ OLED teknolojileri, kuantum nokta tabanlı aydınlatma ve benzeri devrimsel çalışmaları (Massachusetts Institute of Technology, 2025); 1891 yılında kurulan LIGO (Lazer Interferometre Kütleçekim Dalga Gözlemevi) gözlemevinde keşfedilen kütleçekim dalgalarının keşfiyle Nobel fizik ödülü alana Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü (California Institute of Technology, Caltech) özellikle optik imaj laboratuvarı (Caltech CoiLab, 2025) olmak üzere, matematik, astronomi ve fizik alanında yer alan optik araştırma laboratuvarları ile kuantum ağlar, yüksek kararlılıkla lazer sistemleri, sensor sistemleri gibi çeşitli alanlarda yapılan çalışmaları; aydınlatma/ optik laboratuvarı (Bkz. Görsel 4.7) konusunda önemli örnekler arasında yer alır (Caltech PMA, 2025).



Görsel 4.7. *LIGO Lazer İnterferometre Kütleçekim Dalgası Gözlemevi Laboratuvarı, Caltech/ MIT (Caltech PMA, 2025)*

Yukarıda kısaca değinilen üniversite ve enstitülerin yanı sıra Heidelberg Üniversitesi Fizik Enstitüsü, Federal Fizik ve Teknoloji Enstitüsü (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB), Sorbonne Üniversitesi, École Polytechnique, ESPCI Paris, Tokyo Üniversitesi, Tokyo Teknoloji Enstitüsü, Ulusal Tayvan Üniversitesi, Hindistan Bilim Enstitüsü, Hong Kong Politechnic Üniversitesi, ETH Zürih (özellikle fotonik laboratuvarı), Lebedev Fizik Enstitüsü, RMIT Üniversitesi- Avusturalya, Queensland Üniversitesi (Quantum Light Lab), Şili Papalık Katolik Üniversitesi (Pontificia Universidad Católica de Chile), Tsinghua Üniversitesi, Kore İleri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü (KAIST), Eindhoven Teknoloji Üniversitesi (TU/e) veya Aalto Üniversitesi gibi günümüz Dünya'sında ve çeşitli coğrafyalarda, aydınlatma ve optik alanının birçok özel alt alanlarında uzmanlaşmış, başarılı çalışmalar yürüten birçok kurum mevcuttur. Ayrıca, bu kurumlar arasında yer alan uygulamalı veya teorik optik fiziği alanında çalışan; Cavendish Laboratuvarında elektriksel direnç ve diğer elektromanyetik ölçümlerin standartlarını, atom altı parçacıkların ölçüm standartlarını alanında yapılan çalışmalarıyla; Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) ilk standartlar laboratuvarı olarak PTR, fotometrik ve radyometrik ölçümlerin geliştirilmesinde ve standardizasyon çalışmalarıyla; Ulusal Fizik Laboratuvarı (NPL) ve Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nün (NIST) ışık ve renk ölçüm standartlarının belirlenmesi, güvenilirlik ve doğruluk referanslarının geliştirilmesiyle; Ulusal Araştırma Konseyi'nin (NRC) yeni ölçüm standardizasyonu ve ölçüm teknikleri çalışmalarında fotometri ve radyometriye odaklanmalarıyla ışık ve renk konusunda metroloji bilimine katkı sağlayan aydınlatma/ optik laboratuvarlarının da alanın önemli bir konusuna temel oluştururken genişleyip büyümesine yol açmışlardır.

Kısaca değinilen aydınlatma/ optik laboratuvarı tarihi içinde yer alan ve BASF Laboratuvarları gibi özel sektör olarak Edison'ın kurduğu fabrikalarda açtığı laboratuvarlar; aydınlatma alanında bilim ve teknolojiadaki gelişmelerin sunduğu imkânların temelinde araştırma ve geliştirme çalışmaları sonuçlarını, endüstriyel çapta üretime çeviren Ar-Ge laboratuvarları olarak ilk örneklerdir (Gürüz, 2003-4). Edison'un girişimciliğiyle aydınlatma/ optik alanında kurduğu şirket ve Ar-Ge laboratuvarlarıyla elektrikli aydınlatma teknolojileri, evlerde ve iş yerlerinde DC tabanlı elektrik dağıtım sistemleri, aydınlatma armatürleri, dış mekân aydınlatması, taşıt aydınlatmaları ve far sistemleri; vakum pompaları, elektrik jeneratörleri ve soket sistemleri, General Elektrik altında ampul teknolojisini geliştirerek akkor, floresan (Wills, 2019) ve LED aydınlatma sistemleri üzerine erken dönem çalışmaları, optik fiber iletişim alanında Ar-Ge laboratuvar çalışmaları, tıbbî görüntüleme cihazları gibi optik tabanlı teknolojiler, akıllı aydınlatma, IoT sistemleri gibi birçok alanda endüstriyel araştırma ve üretim çalışmalarıyla büyük katkı sağlamaktadır (General Electric, 2025). 1876 yılında New Jersey'de endüstriyel araştırma laboratuvarı olarak kurduğu Menlo Park Laboratuvarı ve hemen arkasından 1880 yılında kurduğu Edison Aydınlatma Şirketi (Edison Illuminating Company), Edison Lamba Şirketi (Edison Lamp Company) ile şirketleşmeye başlayan çalışmaları (Sonneborn, 2007); günümüzde aydınlatma ve optik ile direk veya indirekt ilgili çok geniş çeşitlilikteki endüstriyel alanlarda dev hâline gelen General Elektrik, Westinghouse Elektrik Şirketleriyle üretime devam edilmektedir.



Görsel 4.8. Edison Menlo Park Laboratuvarı, New Jersey (Israil, 2002)

Britanya Posta Ofisi çoklu ve otomatik telgraf sistemleri, şehirlerdeki yer altı ve deniz altı hatları kablolama sistemleri konusunda yaptığı çalışmalardan sonra USA'ya dönen Edison'un New Jersey, Menlo Park'ta kurduğu endüstriyel araştırma laboratuvarı

en önemli, ancak az bilinen çalışmalarından biri olmuştur (Israil, 2002). New Jersey şehrinin sanâyî bölgesinde özel olarak tasarlanan laboratuvarın kırmızı tuğla binası 1876 yılında tamamlanmıştır. Edison'un "Invention Factory" olarak adlandırdığı laboratuvar, bir ana laboratuvar binasının yanı sıra cam, marangoz, karbon ve demirci atölyesi gibi diğer yardımcı binalarıyla birlikte geniş alana yayılan yapı topluluğu şeklindeydi (Bkz. Görsel 4.8) (Thomas Edison Center, 2025). Laboratuvarın açık plan tasarımında aydınlatma, elektrik, kimya ve optik laboratuvarları birbirine entegre olacak şekilde çözülmüştür. Laboratuvarda ekipmanların kolay hareket ettirilebilmesi için meşe ağacından geniş tezgahlar, kimyasallar için çinko kaplı çelik dolaplar mevcuttu (Jenkins vd., 1994). Laboratuvarda ışık yoğunluk ölçümleri için tasarlanmış karanlık oda (Rosenberg vd., 1998, Cilt.4), ampul camlarının anında üretimi ve tamiri için kurulan cam atölyesinde ısıya dayanıklı kara tuğladan yapılmış cam ocağı (Jenkins vd., 1994, cilt.3) ve cam ampullerin içinin boşaltılabilmesi için sürekli geliştirilen vakum sistemlerinin geliştirildiği vakum odası mevcuttu (Israel vd., 2004, Cilt.5). Laboratuvarın elektrik alt yapısını, doğru akım (DC) jeneratörleri ile donatılmış, ayarlanabilir güç kaynaklarıyla farklı voltajlarda deney yapabilmeye imkân tanıyan mikro elektrik şebekesi Dünya'daki ilk örneği oluşturmuştur. Ampul tersleri için laboratuvarın güney kanadı boyunca, yaklaşık 60m uzunluğunda karanlık koridor tasarlanmış, ayrıca ışık yoğunluk ölçümü (Israel vd., 2004, Cilt.5) ve ilk film projektörü (Kinetoskop öncesi) çalışmaları için laboratuvarın içinde perdelerle bölünen karanlık alanlar kurulmuştu (Rosenberg vd., 1998, Cilt.4). Laboratuvarın aydınlatılması, gaz ve elektrik enerjisinden oluşan hibrit bir sistem olarak tasarlanmıştı. 1878 yılında akkor ampul çalışmaları yoğunlaştırılmış, 1879'dan sonra aydınlatmanın %90'ı elektrik ile sağlanmıştır. Edison, özellikle 31 Aralık 1879 Yılbaşı, Noel dönemi laboratuvar ve çevresindeki sokak ve caddeleri ampulle aydınlatılarak ilk halka açık gösterisini yapmış olur (Friedel, Israel ve Finn, 2010).

Laboratuvarda yapılan deneylerin bilimsel metodolojiye uygun olarak kaydedildiği merkezi kayıt defterleri ve buluşların belgelenip patent başvurusu yapılması için özel birimin çalıştığı patent odası ile aydınlatma/ optik laboratuvarları için belgeleme ve arşivleme örneği oluşturmuştur (Bkz. Ek.10) (Jenkins vd., 1989, Cilt. 1).

Thomas Edison'un kurduğu laboratuvar ve şirketler, aydınlatma/optik alanında laboratuvar mimarisi ve teknolojik altyapıya yönelik kalıcı dönüşümlere sebep olmuşlardır. Menlo Park'ta inşaa ettiği, daha çok imalathane düzeyinde olan "Buluş Fabrikası" (1876), disiplinlerarası çalışmayı teşvik eden açık planlı laboratuvar

tasarımıyla endüstriyel Ar-Ge mekânlarının prototipini oluşturarak, özellikle ampul geliştirme sürecinde kullanılan vakum odaları ve cam üfleme atölyeleri, özel amaçlı üretim alanlarının, elektrik altyapı tesisatı ve hibrit aydınlatma sistemleri gibi yukarıda kısaca açıklanan alanlarda erken dönem örnek tasarımlar ortaya koymuştur (Bkz. Tablo 4.4).

Tablo 4.4. *Menlo Park Laboratuvarları– Kaydedilen Önemli Buluşlar Tablosu (Jenkins vd., 1989, Cilt. 1), (Rosenberg vd., 1998, Cilt.4), (Israel vd., 2004, Cilt.5)*

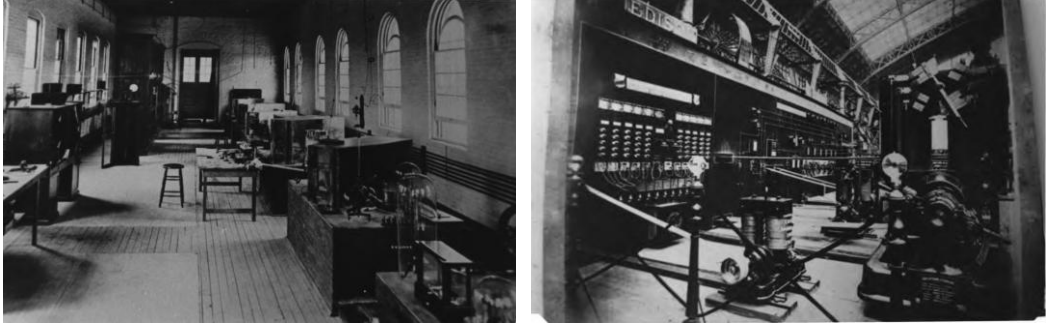
Buluş	Tarih	Geliştirildiği Birim
Karbon filamentli ampul	1879	Kimya Lab. ve Cam Üfleme Atölyesi
Gelişmiş fonograf	1878	Akustik Lab. ve Mekanik Atölye
Elektrik dağıtım sistemi	1880	Elektrik Test Sahası ve Atölye

Edison'un, General Electric'in kuruluşuna da zemin hazırlayan West Orange Laboratuvarları'nı kurmasının temel sebebi, Menlo Park'taki Buluş Fabrikası modelini endüstriyel ölçekte genişletmek ve ticari üretimle Ar-Ge'yi tek çatı altında birleştirebilmektir (Millard ve Carlson, 1987). 1886'da Menlo Park'ın kısıtlamalarından (alan yetersizliği, enerji altyapısı) kurtulmak isteyen Edison, New Jersey'deki West Orange'ta 3 katlı bir kompleks tasarladı (Bkz. Görsel 4.9). Burada, kimya, optik ve mekanik atölyeleri katmanlı bir sistemde planlanmıştı (Israel vd., 2004, Cilt.5). West Orange Laboratuvarları, 1887 başlarında binanın inşasıyla başladı ve Ekim 1887'de resmen faaliyete geçti. Edison'un amacı, ampul, fonograf ve sinema teknolojilerini aynı anda geliştirebileceği, "fabrika-laboratuvar hibriti" bir merkez oluşturmaktır (Friedel, Israel ve Finn, 2010).



Görsel 4.9. *Edison West Orange Laboratuvarı, New Jersey (Millard ve Carlson, 1987)*

Edison'un 1887'de kurduğu West Orange Laboratuvar kompleksi katmanlı araştırma modeli sunan, endüstriyel araştırma-geliştirme tesislerinin prototipini oluşturan öncü bir yapıydı (Bkz. Ek-12) Millard ve Carlson'ın West Orange laboratuvarı üzerine yaptıkları çalışmada, West Orange laboratuvarının sadece bir araştırma merkezi değil, aynı zamanda endüstriyel üretimle bilimsel araştırmayı bütünleştiren bir ekosistem olduğunun altını çizmektedir (Bkz. Görsel 4.10) (Millard ve Carlson, 1987). Sözü geçen çalışmanın detaylarına bakıldığında, laboratuvarın üç katlı ana binası, fonksiyonel iş bölümüne dayalı kurgusuyla dikkat çekmekteydi. Bu komplekste, kimya laboratuvarları üst katta, optik test odaları orta kata, prototip atölyeleri ise zemin katta konumlandırılmıştı (Millard ve Carlson, 1987). Komplekste ayrıca iki katlı kütüphane ve bütün çekmeceleri yangına dayanıklı çelikten yapılmış, geliştirilen her icat için ayrı dosya sistemi kurulmuş, o günün sureli yayını olan elektrik mühendisliği adındaki derginin alfabetik sırayla dizildiği ve her cildin numaralandığı arşiv binası yer almaktaydı (Israel vd., 2004, Cilt.5); bu binanın patent belgeleri, teknik çizimler, bilimsel yayınlar ve Edison'un özel notlarını barındırılıyordu (Millard ve Carlson, 1987). Tek katlı kimyasal depo ve enerji santrali, kimyasalların ve kömürün depolandığı alan olarak hizmet verirken aynı zamanda buhar jeneratörleri ve elektrik üretim ünitelerini de içermekteydi. İki katlı personel sosyal binasında, çalışanların kimyasal kokularla yemek yememesi için özel havalandırma sistemi kurulan, tam teşekküllü bir mutfak olan yemekhane, rahat deri koltuklarla döşenmiş, su sebilleri bulunan (Israel vd., 2004, Cilt.5) dinlenme odaları ve çalışanlar için dinlenme alanları bulunuyordu (Millard ve Carlson, 1987). Tek katlı sergi ve satış pavyonu ise ziyaretçiler için Edison'un ürünlerinin sergilendiği ve satıldığı bir alandı. Ek üretim binaları arasında tek katlı cam fabrikası (cam üretimi için özel fırınlarla donatılmış), tek katlı metal dökümhanesi (büyük metal parçaların işlendiği atölye) ve yine tek katlı, döner tabanlı, ışık geçirmez yapıya sahip "Black Maria" film stüdyosu yer almaktaydı. Millard ve Carlson'ın 1987 tarihli çalışmasına göre, West Orange kompleksi; ana araştırma binası (3 kat), kütüphane ve arşiv binası (2 kat), kimyasal depo ve enerji santrali (1 kat), personel sosyal binası (2 kat), sergi pavyonu (1 kat), cam fabrikası (1 kat) ve metal dökümhanesiyle (1 kat) birlikte yedi ana binadan oluşmaktaydı. Bu komplekse, film stüdyosu ("Black Maria") ayrı bir yapı olarak eklendiğinde, toplam bina sayısı sekize ulaşıyordu (Millard ve Carlson, 1987).



Görsel 4.10. *Galvanometre Odası ve Elektrik Şebekesi, Edison West Orange Laboratuvarı, New Jersey (Millard ve Carlson, 1987)*

Ana binanın üç katı, birbirini tamamlayan ancak fonksiyonel olarak ayrılmış çalışma alanlarından oluşuyordu. Üst katta yer alan kimya laboratuvarları, Flaman malzemelerin geliştirilmesi ve test edilmesi için özel olarak tasarlanmıştı. Flaman testleri için özel fırınlar, karbonizasyon sürecindeki gaz çıkışını ölçmek üzere gaz analiz cihazlarıyla donatılmıştı (Israel vd., 2004, Cilt.5). Bu bölümde, kimyasal deneyler için gerekli olan asit dirençli tezgâhlar, hassas ölçümler yapabilmek amacıyla yerleştirilmiş analitik teraziler ve malzeme işleme fırınları bulunuyordu (Millard ve Carlson, 1987). Kimyasal buharların kontrolü için geliştirilmiş, tezgâhlar arasında yaklaşık 1m. mesafeyle konumlanan 12 adet platin kaplı havalandırılmalı çeker ocak sistemi döneminin en ileri teknolojik çözümlerinden biri olarak dikkat çekiyordu (Israel vd., 2004, Cilt.5).

Orta kat, optik araştırmaların merkezi konumundaydı. Bu katta, ışık ölçümleri ve ampul testleri için özel olarak tasarlanmış, duvarları siyah kadife ile kaplanmış ve tüm ışık sızıntıları macunla doldurulmuş karanlık odalar yer alıyordu (Israel vd., 2004, Cilt.5). Tamamen ışık geçirmez şekilde inşaa edilen bu odalarda, galvanometreli test bankaları ve spektrometreler gibi hassas ölçüm cihazları kullanılmaktaydı. Aydınlatma teknolojilerinin geliştirilmesi için kritik öneme sahip olan bu bölümde, aynı anda yüzlerce ampulün performansını ölçebilen modüler test sistemleri bulunmaktaydı. Bu modüler test bankalarında kullanılacak bakır kontaklar, her 15 dakikada bir ampul direncini otomatik kaybetmekteydi (Israel vd., 2004, Cilt.5). Optik test odalarının yanı sıra, aynı katta film şeritlerinin kalite kontrolünün yapıldığı özel inceleme odaları da mevcuttu (Millard ve Carlson, 1987).

Laboratuvarın zemin katı tamamen prototip üretimine ayrılmıştı. Burada buhar boruları çalışma sıcaklığının, yaklaşık 94°C 'da sabitlendiği cam üfleme tezgâhları (Israel vd., 2004, Cilt.5), metal işleme makineleri ve bazılarının günde 500 adet duy üretecek

şekilde ayarlanan büyük presler gibi endüstriyel ekipmanlar yer almaktaydı (Israel vd., 2004, Cilt.5). Binanın en hareketli bölümü olan zemin katta, buharla çalışan torna tezgâhları ve 10 tonluk hidrolik presler gibi ağır ekipmanlar kullanılmaktaydı (Millard ve Carlson, 1987). Malzeme akışını kolaylaştırmak için tasarlanmış hidrolik asansörler, katlar arasında hammadde ve bitmiş ürünlerin taşınmasını sağlamaktaydı. Hammadde depolama alanları doğrudan zemin katta konumlandırılmıştı. Laboratuvar, endüstriyel Ar-Ge faaliyetlerini desteklemek amacıyla özel olarak tasarlanmış bir demiryolu bağlantısına sahipti. Laboratuvar, Lackawanna Demiryolu'nun 300 metrelik bir yan hattıyla doğrudan bağlantılıydı ve dar hatlı vagonlar 5-10 ton ağırlığındaki hammaddeleri taşıyabiliyordu. Kurulan lojistik sistem sayesinde cam üretimi için kuvars kumu ve soda gibi malzemeler doğrudan zemin kattaki depoya boşaltılıyor, kömür ve kimyasallar vakumlu vagonlarla taşınıyordu. Üretilen ürünler ise ahşap kasalarla istasyona sevk edilebiliyordu (Millard ve Carlson, 1987). Edison'un notlarında, sistemin teknik detayları arasında hidrolik kaldırma platformu, eğimli raylar, tuğla kemerli tünel ve döner tabla mekanizması gibi özgün mühendislik çözümleri de yer almaktaydı (Israel vd., 2004, Cilt.5). Binanın detaylı tasarımı, laboratuvarın lojistik verimliliğini büyük ölçüde artıran kritik bir altyapı oluşturmuştu (Millard ve Carlson, 1987).

Edison'un ofisi, tüm bu operasyonları yönetebileceği stratejik bir konumda, laboratuvarın orta katında bulunuyordu (Bkz. Görsel 4.11). Geniş pencerelerle aydınlatılan bu ofis hem üst kattaki kimya laboratuvarlarını hem de zemin kattaki üretim alanlarını gözlemleyebilecek şekilde konumlandırılmıştı. Ofisin hemen yanında, Edison'un en güvendiği mühendislerle toplantılar yaptığı, patent çizimlerini asmak için manyetik tutucuların bulunduğu duvar panolarının olduğu özel bir konferans odası yer almaktaydı (Millard ve Carlson, 1987).



Görsel 4.11. *Kimya Laboratuvarı ve Kütüphane (fotoğraflarda görülen kişi Edison), Edison West Orange Laboratuvarı, New Jersey (Millard ve Carlson, 1987)*

Edison'un West Orange laboratuvarındaki insan kaynağı organizasyonu, dönemin en ileri işbölümü ve uzmanlaşma modellerini yansıtıyordu. Laboratuvar personeli dört ana kategoride yapılandırılmıştı. Bu kategoriler; kimyager, fizikçi ve mühendislerden oluşan 15-20 kişilik araştırma ekibi (Edison'un defterlerinde "kaşifler" olarak adlandırılmıştır (Israel vd., 2004, Cilt.5), cam üfleyiciler ve makine operatörlerinden oluşan teknisyenler, kütüphane görevlileri ve patent uzmanlarından oluşan destek personeli, malzeme tedarik ve bina bakım ekiplerinden oluşan idari kadrolardan oluşmaktaydı (Millard ve Carlson, 1987). Edison'un 1890 tarihli notlarında görüldüğü üzere, personel seçiminde pratik problem çözme yeteneği, mekanik beceri, yeniliklere açıklık ve takım çalışmasına yatkınlık ölçütleri öne çıkmaktaydı. İşe alım sürecinde adaylar zemin kattaki atölyelerde pratik sınavlara tabi tutulur, başarılı olanlar 3 aylık deneme süresinden sonra kadroya alınırdı. Haftalık teknik seminerler, çapraz eğitim programları ve "Edison Okulu" adı verilen iç eğitimlerle personel gelişimi desteklenmiştir (Israel vd., 2004, Cilt.5), Aylık verimlilik raporları tutulur, başarılı çalışanlara patent gelirlerinden pay verilir ve yenilikçi fikirler ödüllendirilirdi. Bu kapsamlı insan kaynağı planlaması sayesinde laboratuvar 1890'larda yılda ortalama 40 patent üretmişti (Bkz. Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7) (Millard ve Carlson, 1987).

Tablo 4.5. *West Orange Laboratuvarları– Kaydedilen Önemli Buluşlar Tablosu (Millard ve Carlson, 1987), (Israel vd., 2004, Cilt.5)*

BULUŞ / İCAT	TARİH	BULUŞ NUMARASI	ENDÜSTRİYEL ETKİ
ELEKTRİK ve AYDINLATMA			
Geliştirilmiş Karbon Filament	1888	Patent No: 389,419	Ampul ömrünü 2 kat artırdı
Metalik Filament Lamba	1890	Patent No: 438,309	Ticari ampul üretiminde devrim
Elektrik Sayacı	1889	Patent No: 391,595	Elektrik şirketleri için gelir modeli oluşturdu
SES ve KAYIT TEKNOLOJİSİ			
Wax Silindir Fonograf	1888	Patent No: 386,974	Ses kayıt endüstrisini doğurdu
Diktafon	1891	Patent No: 454,463	İş dünyasında devrim yarattı
SİNEMA ve GÖRÜNTÜ			
Kinetograf Kamera	1889	Patent No: 403,534	Sinema endüstrisinin temelini attı
Kinetoskop	1891	Patent No: 403,536	İlk sinema salonlarının doğuşu
PİL ve ENERJİ			
Alkalın Pil	1899	Patent No: 678,722	Elektrikli araçlar için önemli adım

Tablo 4.5. (Devamı) West Orange Laboratuvarları– Kaydedilen Önemli Buluşlar Tablosu (Millard ve Carlson, 1987), (Israel vd., 2004, Cilt.5)

BULUŞ / İCAT	TARİH	BULUŞ NUMARASI	ENDÜSTRİYEL ETKİ
Demir-Nikel Pil	1901	Patent No: 684,204	Endüstriyel enerji depolama
MALZEME BİLİMİ			
Manyetik Ayırıcı	1889	Patent No: 405,332	Madencilik endüstrisinde verimlilik artışı
Beton Ev Sistemi	1899	Patent No: 671,818	Toplu konut üretimine öncülük
İLETİŞİM			
Wireless Telgraf	1891	Patent No: 465,971	Kablosuz iletişimin erken örneği
ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ			
Otomatik Ampul Üretim Makinesi	1892	Patent No: 470,925	Seri üretimde devrim
Presesiz Cam Üfleme	1890	Patent No: 439,389	Ampul maliyetlerini %70 azalttı
ÖLÇÜM ve KONTROL			
Termostat Kontrol Sistemi	1888	Patent No: 388,003	Endüstriyel proses kontrolü
KİMYASAL BULUŞLAR			
Sentetik Karbolik Asit	1891	Patent No: 458,29	Kimya endüstrisinde ithalat bağımlılığını azalttı

Tablo 4.6. *West Orange Laboratuvarları–Millard ve Carlson’a Göre İstatistiksel Verileri (Millard ve Carlson, 1987)*

KATEGORİ	SAYI	DETAYLAR
Toplam Patent Sayısı	400’den Fazla	1887-1931 arası West Orange’tan alınan patentler
Yıllık Ortalama Patent	9	Laboratuvarın en verimli dönemi
En Verimli Yıl	1890	15 patent ile rekor yıl
Elektrik Patenti	157	Aydınlatma ve güç sistemleri
Ses Teknolojisi Patenti	89	Fonograf ve kayıt cihazları
Sinema Patenti	45	Film ve gösterim teknolojileri
Kimya Patenti	62	Malzeme ve kimyasal işlemler
Diğer Patentler	47	İnşaat, madencilik, iletişim

Tablo 4.7. *West Orange Laboratuvarları– Önemli Ticari Ürünler (Millard ve Carlson, 1987), (Israel vd., 2004, Cilt.5)*

ÜRÜN	PİYASA ÇIKIŞ	ÜRETİM MİKTARI	ETKİSİ
Edison Standard Phonograph	1888	10,000’den Fazla adet/yıl	Ses kayıt endüstrisini başlattı
Kinetoscope	1891	500’den Fazla adet	İlk sinema salonları
Edison-Lalande Pil	1893	50,000’den Fazla adet/yıl	Endüstriyel enerji depolama
Concrete House	1900	100’den Fazla ev	Prefabrik yapı teknolojisi
Electric Meter	1889	5,000’den Fazla adet/yıl	Elektrik şebekeleri için ölçüm standardı

Yüksek eğitimin gelişim tarihi kapsamında, 19.yy.’ın ilk yarısında, özellikle Humboldt’un geliştirdiği eğitim doktrininin etkisiyle, Alman Üniversitelerinde başlayan ve tüm Avrupa’ya yayılan bilimsel araştırma faaliyetleri ve doktora düzeyindeki eğitim; 19.yy.’ın sonlarından itibaren Amerikan üniversiteleri tarafından geliştirilerek uyarlanmış ve modern araştırma üniversitelerinin temelleri atılmıştı. Bu sayede

üniversite, bilime dayalı teknolojilerin temelini üretmeye başlamıştı. Bu sürecin laboratuvar modelleri ise bilimsel araştırma ile endüstriyel yenilik arasındaki tarihsel gerilimi yansıtan iki farklı paradigmayı temsil eder. Cambridge Üniversitesi'nde James Clerk Maxwell'in 1874'te kurduğu Cavendish Laboratuvarı, "akademik/saf bilim" modelinin prototipini oluştururken; Thomas Edison'un 1876 Menlo Park ve 1887 West Orange laboratuvarları "endüstriyel/uygulamalı Ar-Ge" modelinin ilk örnekleri olarak ortaya çıkmıştır.

Cavendish Laboratuvarı, temel fizik araştırmalarına odaklanan bir merkez olarak, optik alanında Maxwell'in elektromanyetik teori çalışmalarıyla optik fizik alanında geniş açılımlar sağlamıştır. Üniversite bütçesiyle finanse edilen laboratuvar, spektroskopi ve ışık teorisi gibi alanlarda bilimsel bilgi üreten, disiplinlerarası çalışma kültürünü benimsemiş, bilimsel yayın üretmeyi önceliklendiren hiyerarşik bir yapıya sahipti. Bilgi üretimine odaklı olan Cavendish Laboratuvarında bireysel araştırma kültürü gelişmiştir. Buna karşılık Edison'un laboratuvarları, ticarileştirilebilir ürün geliştirmek amacıyla kurulmuş endüstriyel Ar-Ge merkezleriydi. West Orange kompleksi, aydınlatma/optik alanında devrim yaratan doğrudan uygulamalar üretmiş; vakumlu ampul, modüler test sistemleri ve standart aydınlatma ölçüm protokolleri gibi yeniliklerle sektörü dönüştürmüştür. Finansmanını patent gelirleriyle sağlayan bu model; disiplinlerarası ekiplerin (bilim insanları, mühendisler, teknisyenler) tek çatı altında birleştiği yatay bir organizasyon yapısı kurarak takım tabanlı çalışmalar yürütülmüştür.

Modern araştırma ekosisteminde, Cavendish'in akademik idealizmi ile Edison'un endüstriyel pragmatizminin bir çeşit sentezi görülür. Günümüzün "teknoloji transfer ofisleri" ve "uygulamalı araştırma merkezleri", akademik bilgi ile endüstriyel ihtiyaçlar arasında köprü kurarak her iki geleneğin mirasını sürdürmektedir. Öncü ekonomilerin sürdürülebilirliğini sağlamak, Pazar liderliğini oluşturabilmek için en yetenekli insanların becerilerini, uygun kaynaklarla bir araya getirilerek, büyük şirketlerin büyük projelerinin gerçekleşmesini sağlayan kurumsal laboratuvarlar; dijital teknolojileri mümkün kılan bilgisayar, yarı iletkenler, yazılımlar, elektronik ve malzeme teknolojilerinin birincil üreticileri olmuştur. Aydınlatma/ optik alanında da durum pek farklı değildir. Alanda yer alan Lumentum, IPG Photonics, Carl Zeiss AG, Sony, ams OSRAM, Lockheed Martin, Leica Microsystems veya GE Current gibi dev firmalar, bünyelerinde bulunan veya kurumsal laboratuvarlarla ortak çalışmalarıyla aydınlatma/ optik alanlarında bilgi ve teknoloji gelişimini olanaklı kılmaktadır.

Optik laboratuvarlarının çalışma alanlarından farklı olarak; aydınlatma teknolojilerinin ve sistemlerinin araştırılması, geliştirilmesi, test edilmesi ve analizine, enerji tasarrufundan, sürdürülebilir çevreye, aydınlatma tasarımları merkezinde çalışmaların yürütüldüğü aydınlatma laboratuvarı; deneyler yaparak, performansı değerlendirerek ve aydınlatma ürünlerinin endüstri standartlarına ve düzenlemelerine uygun olmasını sağlayarak, yeni armatür ve sistemler geliştirerek, tasarım süreçlerinde araştırmalar yaparak ve benzeri çalışmaları tasarım eğitimi alanlarına aktarılmasını sağlayarak aydınlatma alanının ilerlemesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Diğer taraftan; akademik kurumlar, araştırma kuruluşları, devlet kurumları ve aydınlatma endüstrisinde yer alan şirketlerle ilişkilendirilen aydınlatma laboratuvarları, lazer, led, fiber optik gibi dijital teknolojiler sayesinde optik/ aydınlatma teknolojilerinin genişleyen araştırm/ geliştirme alanlarında, interdisipliner, multidisipliner ve uluslararası yapılara evrilmiştir. Dolayısıyla günümüz laboratuvar sisteminin bir parçası olan aydınlatma laboratuvarları; yüksek bilgi ve teknoloji geliştirme kapasitesine ulaşan çok katmanlı karmaşık yapılardır. Laboratuvar sistemi içinde yer alan amaca uygun diğer laboratuvarlarda olduğu gibi alanına özel standardizasyonun ve akreditasyonun geliştirildiği aydınlatma laboratuvarlarının, bilgi ve teknoloji üretme kapasitelerinin genişleyeceği açıktır.

4.1. Aydınlatma/ Optik Laboratuvarı

Yukarıda, kurumsal gelişim tarihine değinilen aydınlatma/ optik laboratuvarları, amaca uygun kurulan laboratuvarlardır. Modern bilim ve araştırmalar merkezinde kurumsallaşan aydınlık/ optik laboratuvarları, özellikle 19.yy. sonu ile 20.yy. başından itibaren bilime dayalı teknolojiler dönemine hizmet etmekteydi. BASF şirketinin, Edison'un kurduğu Ar-Ge ve Orange Laboratuvarında kurduğu fabrikasyon/ üretim laboratuvarı (Fab- Lab) ile kurulmaya başlayan aydınlatma/ optik laboratuvarlarının, dönemine uygun olarak Fordist tarzı düzenli ve organize Ar-Ge faaliyetlerine dayalı gelişmeler; 19.yy.'da bilim insanları ile sanayiciler arasındaki ilişkinin kurulduğu mekânı olan laboratuvarların, 20.yy. ve devamında, kamu veya özel kurum ve kuruluşların çalışmalarıyla gelişen elektronik ve dijital çağın getirileriyle; bilim, teknoloji, endüstriyel üretim, sanayii, pazar ekonomisinin karmaşık birleşiminin mekânlarına evrilmiştir.

Aydınlatma/ optik laboratuvarları genellikle akademik kurumlar, araştırma kuruluşları, devlet kurumları ve aydınlatma endüstrisinde yer alan şirketlerle

ilişkilanmaktadır. Bu laboratuvarların ana malzeme olarak temel enerji kaynağı olan ışık üzerinde çalışması ve çok çeşitli kurumlarla ilişkilenebiliyor olması, beraberinde işlev ve faaliyet alanlarının çok çeşitli olmasına yol açmaktadır. Tez çalışmasında yapılan araştırmada aydınlatma/ optik laboratuvarlarının işlevleri olarak; performans testleri, enerji ve güç analizleri, renk ve ışık kalitesi ölçümleri, termal yönetim testleri, mekânsal dağılım ve fotometrik testler, insan odaklı aydınlatma çalışmaları, dayanıklılık ve çevresel testler, optik malzeme karakterizasyonu, lens ve optik sistem testleri, lazer sistemleri analizi, fiber optik testleri, spektroskopik analizler, görüntüleme sistemleri testleri, optik kaplama ve yüzey analizleri, *nanofotonik* ve *metamalzeme* araştırmaları, holografi ve kuantum optiği başlıkları öne çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bu tür laboratuvarların faaliyet alanları araştırıldığında ise iç mekân aydınlatmaları, dış mekân aydınlatmaları, hava/ kara/ deniz araçları aydınlatmaları, özel uygulamalar (akıllı aydınlatma sistemleri, havacılık ve uzay aydınlatması, tiyatro, stüdyo ve sahne aydınlatması, bitki yetiştirme aydınlatması vb.), savunma ve uzay teknolojileri, tıbbî optik sistemler, otomotiv optiği, telekomünikasyon, enerji ve fotovoltaik, tüketici elektroniği, endüstriyel uygulamalar, akademik ve temel araştırma- geliştirme faaliyetleri listesine ulaşılmaktadır. İlgili laboratuvarların işlev ve faaliyetleri konusunda ulaşılan ana başlıklar, sahip oldukları alt başlıklar ile çok geniş bir alanda varlığını sürdürmektedir.

Diğer taraftan; akademik kurumlar, araştırma kuruluşları, devlet kurumları ve aydınlatma endüstrisinde yer alan şirketlerle ilişkilendirilen aydınlatma/ optik laboratuvarları; lazer, led, fiber optik gibi dijital teknolojiler sayesinde optik/ aydınlatma teknolojilerinin genişleyen araştırma/ geliştirme alanlarında, interdisipliner, multidisipliner ve uluslararası yapılara evrilmiştir. Bu süreç, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının, aydınlatma/ optik alanın daha fazla derinleşmesini sağlarken, çok özgül alanlarda çalışan laboratuvarların yaygınlaşmasına sebep olmaktadır. NASA'nın uzay istasyonları ve Mars habitatları için düşük güç tüketimli, radyasyona dayanıklı LED sistemleri gibi alanlarda çalıştığı *Lighting Laboratory* (NASA, 2025), özellikle *Neumayer III İstasyonu* (Bkz. Görsel 4.12) laboratuvarlarında kutup karanlığında psikolojik etkileri azaltan biyolojik ritim uyumlu aydınlatma gibi çeşitli konularda optik çalışmaları yürütülmekte olan Alfred Wegener Enstitüsü (AWI, 2025) veya Negatif indisli metamatzemeler üzerine çalışarak genel ifadesi ile "görünmezlik pelerini" çalışmaları gibi genel sınıflandırma içinde yer almayan çok özgül konularda araştırma yürüten Imperial College London'in Metamaterials Araştırma Laboratuvarları (IMPERIAL,

2025), çok özgül alanlarda çalışan yüzlerce aydınlatma/ optik laboratuvarlarına örnek teşkil etmektedir.



Görsel 4.12. *Neumayer III İstasyonu planı, Inhabitat Green House Laboratuvarı, Antartika (AWI, 2025)*

Bu tezin ikinci bölümünde ele alınan laboratuvarların sınıflandırması konusunda yer alan amaca göre kurulan laboratuvarlar sınıfından olan aydınlatma/ optik laboratuvarları; işlevlerine göre çalışırken ortaya çıkan bilgi ve deneyimleri, içinde bulunduğu sektöre ve tasarım eğitimi alanlarına aktarılmasını sağlayarak aydınlatma/ optik alanının ilerlemesinde çok önemli rol oynamaktadır.

Bir aydınlatma/ optik laboratuvarı genellikle aydınlatma/ optik teknolojileriyle ilgili araştırma, test ve geliştirme faaliyetlerini yürütmek için çeşitli makine ve ekipmanlardan yararlanır. Spesifik araç ve gereçler laboratuvarın odak noktasına ve hedeflerine bağlı olarak değişiklik gösterse de aydınlatma/ optik laboratuvarlarında yaygın olarak bulunabilecek bazı makine ve ekipmanlar belirlidir (Ek- 5 ve Ek- 8). Belirli olan temel makine ve ekipmanların yanı sıra, niş alanlarda bilgi ve teknoloji üreten laboratuvarlar bu süreç içinde ihtiyaç olan yeni makine ve ekipmanları tasarlayarak alana büyük katkı sağlamaktadır. Bu süreç yeni ölçüm ve kalibrasyon değer ve standartların ihtiyacını ortaya çıkartırken bu ihtiyacı CIE, IEEC gibi uluslararası standardizasyon kurumları tarafından doğru ve kesin standartların geliştirilmesiyle karşılanmaktadır.

Her sistemin verimliliği, sistemin kurumsallaşabilmesine bağlı olarak artış göstermektedir. Kurumsallaşma ise standardizasyon ve akreditasyon üzerine inşaa olan bir yapıdır. Bu tez kapsamında araştırması yapılan aydınlatma/ optik laboratuvarlarının ulusal ve uluslararası kurumsallaşma çerçevesine oturtulabilmesi için kendisine özel kurulum ilke ve ölçütlerinin neler olduğunun ortaya çıkartılması gerekmektedir. Bu laboratuvarların ilke ve ölçütlerin belirlenmesi için hangi ana konuların ele alınması

gerektiğine bakıldığında, bu tezin ikinci bölümünde genel laboratuvarlar için belirlenen konu başlıklarıyla aynı olduğu görülür.

Dolayısıyla aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütlerini belirlemek üzere; genel laboratuvar kurulum başlıklarına göre ihtiyaç olan verilere ulaşabilmek, bu tip laboratuvarlara ait (var ise) ulusal ve uluslararası mevzuat ve akreditasyonların neler olduğunun incelenmesini öncüller. Bu nedenle bir sonraki bölümde, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının ulusal ve uluslararası mevzuatların neler olduğu konusu ele alınmıştır.

4.1.1. Aydınlatma/ optik laboratuvarı mevzuatları

Uluslararası standardizasyon, aydınlatma/ optik sektörü de dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerdeki kurumsal yapıların operasyonel verimliliğinin ve rekabetçi konumunun artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Uluslararası standardizasyon, optik sektörü de dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerdeki kurumsal yapıların operasyonel verimliliğinin ve rekabetçi konumunun artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. ISO, CIE, CEN, IEC, DIN⁹¹ veya Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IES) gibi kuruluşlar tarafından, optik ve aydınlatma konularında tutarlılığı, güvenliği ve kaliteyi sağlayan çok çeşitli mevzuat ve standart oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 4.1.). Bu standartlar yalnızca sistemler arasında birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda kuruluşların süreçlerini iyileştirmek için kullanabilecekleri ortak bir dil ve ölçütler dizisi sağlayarak yeniliği teşvik eder.

⁹¹DIN, Deutsche Institut für Normung e.V. (Alman Standartlar Enstitüsü)



Şekil 4.1. Aydınlatma/ optik konusunda mevzuat geliştiren uluslararası ve ulusal kurumların tez kapsamında yer alanlarının listesi

Giderek küreselleşen bir ekonomide, müşteriler, düzenleyici kurumlar ve bilimsel topluluklar dâhil; paydaşların güvenini kazanmak için uluslararası standartlara uygunluk önemli bir konudur. Bu nedenle, tez kapsamında üzerinde çalışılan, aydınlatma/ optik laboratuvarlarının fiziki yapıları ve kurulumları konusunda uluslararası kabul görmüş standartların bulunması; yalnızca aydınlatma/ optik laboratuvarlardaki bilimsel araştırmaların bütünlüğünü korumakla kalmaz, aynı zamanda teknoloji ve yeniliğin genel ilerlemesine de katkıda bulunarak gelişmelerin hem güvenilir hem de pazardaki pratik uygulamalara dönüştürülebilir olmasını sağlar.

Aydınlatma/ optik laboratuvarları için geliştirilmiş standartların ve mevzuatların varlığı, bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Yapılan inceleme çalışmasında, ISO, CIE, EC ve IES uluslararası organizasyonlar ve TSE'nin belirlediği standartlar kapsamında; aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütleri konusunun yer alıp almadığı araştırılmıştır. Bu araştırma konusunda yapılan doküman tarama ve inceleme sonuçları; uluslararası ve ulusal mevzuatlar olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Bu bölümde yer alan iki alt başlıkta, söz konusu inceleme sonuçları yer almaktadır.

4.1.1.1. Uluslararası mevzuatları

ISO, CIE, CEN, IEC veya IES gibi uluslararası kurumlar; optik, aydınlatma, aydınlatma teknoloji ve araçları, ölçme ve test konularında, aydınlatma ve optik ile ilgili alanlardaki güvenlik, enerji, çevre, sürdürülebilirlik veya üretim gibi aydınlatma ile ilgili konularda bazı mevzuatlar oluşturmuştur (Bkz. Şekil 4.2.). Bu standartlar yalnızca sistemler arasında birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmakla kalmayıp, kuruluşların süreçlerini iyileştirmek, yeni işbirlikleri geliştirmek için kullanabilecekleri ortak bir dil ve ölçütler dizisi sağlayarak yeniliği teşvik etmektedir.



Şekil 4.2. Aydınlatma/ optik alanında geliştirilen örnek mevzuatlar

Konu aydınlatma/ optik laboratuvarlarına gelindiğinde, uluslararası kabul görmüş standartların bulunmadığı belirlenmiştir. Özellikle, CIE, IEC ve IES gibi aydınlatma ve optik ile direk ilintili kurumların mevzuatları araştırıldığında; genel olarak ölçme, değerlendirme, test, kalibrasyon, hammadde, kalite, güvenlik, enerji gibi aydınlatma/ optik konularında mevzuatlar oluşturulmuştur. Yapılan belge analizleri sonucu aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçüleri konusunda; ilgili kurumların aydınlatma/ optik alanında hazırladıkları standardizasyonlarla ilgili kısmı

ihtiyaçların belirlenmesi dışında, laboratuvarlar için herhangi bir standardizasyon çalışmasına rastlanmamıştır.

Aydınlatma/ optik laboratuvarlara özelleşmiş mevzuatların olmaması, bu laboratuvarların; aydınlatma, optik ve laboratuvar konularında uluslararası kurum ve kuruluşların oluşturduğu mevzuatların kullanılmasına yol açmaktadır (Bkz. Tablo 4.8 ve Tablo 4.9).



Tablo 4.9. Aydınlatma, optik ve laboratuvar konularında uluslararası kurum ve mevzuatlar listesi

OPTİK, AYDINLATMA VE LABORATUVAR ALANINDA FAALİYET GÖSTEREN ULUSLARARASI KURUM VE ORGANİZASYONLAR									
Sıra No	Kısaltma	İsim	Ülke/Şehir	Geliştirdikleri Protokol	Çalışmalarının Odak Alanı	Aydınlatma/Optik Laboratuvarlarına Uygunluk	Laboratuvar Özellikleri	Temel Gereksinim ve Ölçüt	Ek Parametre Önerisi
5	CIE	International Commission on Illumination	Avusturya - Viyana	Fotometrik, kolorimetrik, görsel konfor ve performans doğal /yapay aydınlatma ölçüm standartları, ölçüm cihazları ve kalibrasyonu. Oral yayınlar ve alan aydınlatmaları, görsel konfor ve alan aydınlatmaları, görsel verimlilik ve performans, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik alanlarında aydınlatma / optik standartları.	Fotometri ve Işık Ölçümü, Renk Bilimi ve Kolorimetri, Doğal ve Yapay Aydınlatma Ölçüm Cihazları ve Kalibrasyonu, Görsel Konfor ve Performans, Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik, Oral Uygulamalar ve Alan Standartları.	Optik ve aydınlatma araştırmalarında nasıl olacak	Spektrofotometrik, Fotometrik, LED Laboratuvarı, kolorimetri ve aydınlatma araştırmaları laboratuvarları	CIE 001 (Metabolik doğrusal ve laboratuvar akreditasyonu) CIE 114 (Spektrofotometrin kalibrasyonu ve performans testleri) CIE 15 (Renk ölçümünün standartları ve yöntemleri) CIE 210 (Laboratuvar akreditasyonu için genel rehberlik)	Yeni Nesil Işık Kaynakları ve Teknolojiler Çevresel ve Enerji Etkileri Biyolojik ve Psikolojik Etkiler, Enerji Düşük ve Yüksek Güvenlik ve Acil Durum Aydınlatması İleri Materyaller ve Nanoteknoloji
6	DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.	Almanya - Berlin	DIN EN 12464-1: (Kapalı çalışma alanlarında aydınlatma standartları), DIN EN 12464-2: (Dış mekân çalışma alanlarında aydınlatma standartları).	Aydınlatma Sistemleri ve Güvenlik, Aydınlatma Tasarımı ve Performans, Optik Sistemler ve Ölçüm Yöntemleri, Laboratuvar Akreditasyonu ve Kalite Yönetimi, Elektromanyetik Uyumluluk (EMC), Fotoyolojik Güvenlik, LED ve Akıllı Aydınlatma Sistemleri, Acil Aydınlatma ve Güvenlik Aydınlatması, Işık Ölçümü ve Raporlama, Mekânik Dayanıklılık ve Çevresel Testler	DIN 5035: Işık Ölçüm Yöntemleri ve Aydınlatma Gereksinimleri DIN EN 1838: Acil Aydınlatma DIN EN 6141: Reflektörlü Lambaların Merkezli Işık Saldırı ve Işık Açılımı Ölçümü Yöntemi DIN EN 6176: Çift Kapılı LED Lambalar - Güvenlik ve Performans Gereksinimleri DIN EN 6362: Kandıran Bulutlu LED Lambalar - Performans Gereksinimleri DIN EN ISO 11146: Laser Işık Genişliği, Divergans ve Işık Kalitesi Ölçümü DIN EN ISO 14094: Optik ve Fotoni - Laserler ve Laser Elgmanları - Laser Işın Parametrelerinin Ölçümü DIN EN 6347: Işık Kaynaklarının Fotoyolojik Güvenliği DIN EN 18032-1: Işık ve Aydınlatma - Işık Ölçümü ve Raporlama - Bölüm 1: Aydınlatma Amutirlerinin Tesiti DIN EN 18032-2: Işık ve Aydınlatma - Işık Ölçümü ve Raporlama	DIN EN ISO/IEC 17025: Test ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterlilik Gereksinimleri DIN EN 1838: Acil Aydınlatma DIN EN 18032-1: Işık ve Aydınlatma - Işık Ölçümü ve Raporlama DIN EN 18032-2: Işık ve Aydınlatma - Işık Ölçümü ve Raporlama - Bölüm 2: Aydınlatma Amutirlerinin Tesiti	Işık Kaynaklarının Biyolojik Rühim Üzerindeki Etkileri (Çeşitli Işık Ölçümleri)	
7	EA	European Accreditation: European co-operation for Accreditation	Fransa - Paris	Uluslararası kabul görmüş standartları (ISO/IEC) beşer ve bu standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	Uluslararası kabul görmüş standartları (ISO/IEC) beşer ve bu standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	Uluslararası kabul görmüş standartları (ISO/IEC) beşer ve bu standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	Uluslararası kabul görmüş standartları (ISO/IEC) beşer ve bu standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	Uluslararası kabul görmüş standartları (ISO/IEC) beşer ve bu standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	
8	ETSI	The European Telecommunications Standards Institute	Fransa - Sophia Antipolis	ETSI EN 301 489 Serisi: Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) ve Radyo Frekansı (RF) Testleri ETSI EN 303 645: Akıllı Aydınlatma Sistemleri ve IoT (Nesnelerin İnterneti) Standartları ve IoT (Nesnelerin İnterneti) Standartları ETSI EN 303 345: Radyo Frekansı ve Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri	ETSI EN 301 489 Serisi: Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) ve Radyo Frekansı (RF) Testleri ETSI EN 303 645: Akıllı Aydınlatma Sistemleri ve IoT (Nesnelerin İnterneti) Standartları ve IoT (Nesnelerin İnterneti) Standartları ETSI EN 303 345: Radyo Frekansı ve Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri	ETSI, aydınlatma ve optik laboratuvarları için doğrudan özel bir protokol veya standart geliştirmediği için laboratuvar için özel bir protokol ve ölçüm metodu geliştirilmiştir.	ETSI, aydınlatma ve optik laboratuvarları için doğrudan özel bir protokol veya standart geliştirmediği için laboratuvar için özel bir protokol ve ölçüm metodu geliştirilmiştir.	ETSI, aydınlatma ve optik laboratuvarları için doğrudan özel bir protokol veya standart geliştirmediği için laboratuvar için özel bir protokol ve ölçüm metodu geliştirilmiştir.	
9	IAAC	The InterAmerican Accreditation Cooperation	Meksiko City, Meksika	ISO / IEC (ISO/IEC 17025: ISO 9001, ISO/IEC 17020, ISO/IEC 17043), IEC (IEC 60598 Serisi: IEC 63471, IEC 62031), CEN- CENELEC (EN 12464-1, EN 13032-1, EN 6347), ANCI (ANSI/IES LM-79, ANSI/IES LM-60), NIST (NIST Handbook 150), ILAC (ILAC P15: ISO/IEC 17025 Standardı Uygulanması için Kalıvaz) uluslararası kabul görmüş standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	ISO / IEC (ISO/IEC 17025: ISO 9001, ISO/IEC 17020, ISO/IEC 17043), IEC (IEC 60598 Serisi: IEC 63471, IEC 62031), CEN- CENELEC (EN 12464-1, EN 13032-1, EN 6347), ANCI (ANSI/IES LM-79, ANSI/IES LM-60), NIST (NIST Handbook 150), ILAC (ILAC P15: ISO/IEC 17025 Standardı Uygulanması için Kalıvaz) uluslararası kabul görmüş standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	ISO / IEC (ISO/IEC 17025: ISO 9001, ISO/IEC 17020, ISO/IEC 17043), IEC (IEC 60598 Serisi: IEC 63471, IEC 62031), CEN- CENELEC (EN 12464-1, EN 13032-1, EN 6347), ANCI (ANSI/IES LM-79, ANSI/IES LM-60), NIST (NIST Handbook 150), ILAC (ILAC P15: ISO/IEC 17025 Standardı Uygulanması için Kalıvaz) uluslararası kabul görmüş standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	ISO / IEC (ISO/IEC 17025: ISO 9001, ISO/IEC 17020, ISO/IEC 17043), IEC (IEC 60598 Serisi: IEC 63471, IEC 62031), CEN- CENELEC (EN 12464-1, EN 13032-1, EN 6347), ANCI (ANSI/IES LM-79, ANSI/IES LM-60), NIST (NIST Handbook 150), ILAC (ILAC P15: ISO/IEC 17025 Standardı Uygulanması için Kalıvaz) uluslararası kabul görmüş standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	ISO / IEC (ISO/IEC 17025: ISO 9001, ISO/IEC 17020, ISO/IEC 17043), IEC (IEC 60598 Serisi: IEC 63471, IEC 62031), CEN- CENELEC (EN 12464-1, EN 13032-1, EN 6347), ANCI (ANSI/IES LM-79, ANSI/IES LM-60), NIST (NIST Handbook 150), ILAC (ILAC P15: ISO/IEC 17025 Standardı Uygulanması için Kalıvaz) uluslararası kabul görmüş standartlara uygun akreditasyon süreçleri yürütür.	

Tablo 4.10. Aydınlatma, optik ve laboratuvar konularında diğer uluslararası kurum ve mevzuatlar listesi

OPTİK VE AYDINLATMA ALANINDA FAALİYET GÖSTEREN DİĞER KURUM VE ORGANİZASYONLAR							
Sıra No	Kısaltma	İsim	Ülke/Şehir	Geliştirdikleri Protokol	Çalışmalarının Odak Alanı	Aydınlatma/Optik Laboratuvarlara Uygunluk	Laboratuvar Özellikleri
1	IES	Illuminating Engineering Society	ABD	IES LM-79 (Elektrikli Işık Kaynaklarının Performansı), IES TM-30 (Renk Değerlendirme)	Aydınlatma ambiansı, görsel algı, renk bilimi	Aydınlatma performans testleri ve optik ölçüm cihazlarının değerlendirilmesi	Aydınlatma test laboratuvarları IES LM-79 ve IES TM-30 standartlarına uygun olması gerekmektedir
2	ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Fransa	Radyo ve telekomünikasyon ile ilgili ışık ışınları ile ilgili sistemler (Li-Fi) standartları	Işık ışınları ile iletişim sistemleri ve telekomünikasyon uygulamaları	Optik haberleşme teknolojileri ile uyumlu test standartları	Li-Fi ve optik haberleşme sistemlerinin ETSI ve diğer telekomünikasyon protokollerine uygun test edilmesi zorunludur
3	CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization	Belçika	EN 13661 (Li-Mekân Aydınlatma Standartları), EN 50172 (Acil Durum Aydınlatması)	Elektroteknik alanındaki aydınlatma ve güvenlik standartları	Acil durum aydınlatma ve güvenlik test laboratuvarları	Acil durum aydınlatma sistemlerinin EN 50172 ve yerel yönetmeliklere uygun olarak test edilmesi gerekmektedir
4	EA	European co-operation for Accreditation	Avrupa Birliği	Akreditasyon sistemlerinin Avrupa çapında harmonizasyonu	Avrupa'daki laboratuvarların ortak kalite ve akreditasyon çerçevesi	Laboratuvar akreditasyonunun Avrupa çapında tanınımının artırılması	Avrupa'daki akreditasyon sistemleri ile uyumlu kalite yönetim süreçlerinin laboratuvarlar tarafından uygulanması zorunludur
5	JSA	Japanese Standards Association	Japonya	JIS (Japanese Industrial Standards) kapsamında optik ve aydınlatma testleri	Japonya'nın endüstriyel aydınlatma ve optik metroloji standartları	JIS standartlarına uygun optik laboratuvar test sistemleri	Japonya'daki optik metroloji test sistemlerinin JIS standartlarına uygun olması gerekmektedir
6	NIST	National Institute of Standards and Technology	ABD - Maryland	Fotometrik, optik metroloji ve aydınlatma sistemleri için ölçüm standartları	Ulusal araştırmalar için optik metroloji ve metroloji araştırmaları	Fotometrik ölçüm sistemlerinin uluslararası kalibrasyon standartlarına uygunluğu	Metrolojik ölçümlerde uluslararası tutarlılık sağlamak için NIST standartlarını kullanılması gerekmektedir
7	ANSI	American National Standards Institute	ABD	ANSI C78 (Lamba Standartları), ANSI C82 (Bata Standartları)	Aydınlatma teknolojilerinin performans değerlendirilmesi ve güvenlik standartları	Optik ve elektrikli test laboratuvarlarında kullanılan cihazların değerlendirilmesi	Elektrikli aydınlatma bileşenleri için temel dayanıklılık ve emniyet testleri
8	EUROLAB	European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories	Avrupa Birliği	Test, ölçüm ve analiz laboratuvarlarının kalite sistemleri	Avrupa çapında test ve analiz laboratuvarları için kalite kontrol süreçleri	Test laboratuvarlarının kalite yönetim ve uygunluk süreçleri	Optik ve aydınlatma laboratuvarlarında emniyet verimliliği testlerinin uygulanabilirliği

4.1.1.2. *Ulusal mevzuatları*

Türkiye'nin ulusal standardizasyon kuruluşu olan TSE ile ISO yakın bir işbirliği içindedir. TSE, ISO teşkilatının bir üyesi olarak; ISO standartlarının Türkiye'de uygulanmasını sağlamanın yanı sıra ulusal ihtiyaçlara uygun standartların geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaç edinmiştir.

TSE, ISO'nun geliştirdiği standartları, Türkiye'deki sektörlere entegre edebilmek için çeviri ve adaptasyon çalışmaları yürüterek uluslararası standartların, Türkiye'deki endüstrilerde uyumlu bir şekilde benimsenmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan TSE, yerel standartların ISO standartlarıyla uyumlu olmasını teşvik ederek, Türkiye'nin uluslararası ticaret ve işbirliğin çerçevesinde görünürlüğünün artmasına, rekabet kabiliyetinin gelmesine katkıda bulunmaktadır.

ISO'nun üyesi olarak TSE'nin aydınlatma/ optik konularında yürüttüğü standardizasyon çalışmalarında yapılan araştırma sonuçlarına göre bu alanda; kalite güvence sistemleri, ürün, kalibrasyon ve ölçme konularında ISO teşkilatı tarafından belirlenmiş standartlar doğrultusunda çalışmalar yürütmektedir. TSE'nin aydınlatma/ optik alanında yaptığı çalışmalarda, bu laboratuvarların kurulum ilke ve ölçütleri konusuna özel bir standardizasyon çalışmasına rastlanamamıştır.

Türkiye'nin aydınlatma alanında var olan ikinci kurumu ATMK'dir. Bu komite aydınlatma sektöründe standartların belirlenmesi, geliştirilmesi ve uygulanması amacıyla kurulmuş bir organizasyondur. 2000 yılında uluslararası standartların ve yenilikçi aydınlatma çözümlerinin Türkiye'de tanıtımını sağlamak üzere kurulan komite, aydınlatma alanında standartların geliştirilmesi ve uygulanması bağlamında TSE ile yakın bir işbirliği içinde faaliyet göstermektedir. Yapılan bu işbirliği çerçevesinde ATMK'nın aydınlatma ile ilgili standartların oluşturulması ve ulusal düzeyde uygulanması konusunda geliştirdiği öneriler, TSE tarafından dikkate alınmakta ve ortak çalışmalar yürütülmektedir. ATMK, TSE ile yaptığı işbirliğine bağlı olarak, uluslararası ISO, CIE, IEC ve IES kurumlarıyla da dirsek temasında olan bir kurumdur.

Diğer taraftan ATMK, aydınlatma/ optik alanında faaliyet gösteren IES ve CIE kuruluşlarla işbirliği içinde çalışmalar yapmaktadır.

ATMK'nın aydınlatma/ optik alanında yaptığı çalışmaların tamamı TSE, dolayısıyla ISO, CIE, IES, IEC kurumlarının standardizasyonlarını baz almaktadır. Bu tez kapsamında yapılan doküman analizi sonucu, ATMK çalışmaları konusunda yapılan

incelemelerde aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütlerine ait herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu bölümle ilgili son olarak, CB- Mevzuat Bilgi Sisteminde (Resmî Gazete ilanlarını içermektedir), aydınlatma/ optik laboratuvarı kurulum ilke ve ölçütleri konusunda herhangi bir mevzuata rastlanmamıştır.

Aydınlatma/ optik laboratuvarlara özelleşmiş ulusal düzeyde mevzuatların olmaması, bu laboratuvarların; aydınlatma, optik ve laboratuvar konularında ulus kurum ve kuruluşların oluşturduğu mevzuatların kullanılmasına yol açmaktadır. Ulusal kurum ve kuruluşların ilan edilen mevzuatları bağlı bulundukları uluslararası kurum ve kuruluşların mevzuatlarıdır (Bkz. Tablo 4.11).



4.1.2. Aydınlatma/ optik laboratuvarı akreditasyon

Uluslararası ve ulusal akreditasyon, test ve kalibrasyon süreçlerinde kalite güvencesi, yeterlilik ve güvenilirlik için bir çerçeve oluşturdıklarından laboratuvarlar için kritik öneme sahiptir. TÜRKAK, IAF ve IAAC gibi akreditasyon kuruluşları, laboratuvarların standartlaştırılmış protokollere ve en iyi uygulamalara bağlı kalmasını sağlamada önemli rol üstlenmektedir. Laboratuvarlar akreditasyon yoluyla, takip ettikleri süreçlerin, yöntem ve sonuçlarının, elde ettikleri veri ve ürettikleri bilginin güvenilirliğini sağlarken, paydaşlar arasında standardizasyon ve denkliklerin oluşturulmasını sağlar. Bu sayede laboratuvarlar kendi alanlarında, uluslararası ticareti kolaylaştırırken ve düzenleyici gerekliliklere uyumla ilgili teknik yeterliliklerin tanınmasını sağlarlar. Ayrıca bu süreç sürekli iyileştirmeyi teşvik ederken, laboratuvarların bilimsel gelişmelerin ön saflarında kalmasını ve halkın laboratuvarlara güvenini sürdürmesini sağlamaktadır.

Dijital teknolojilerin etkisiyle evrilerek gelişen, sektörlerinde sağladıkları yüksek entegrasyonla bilgi üretme kapasitelerini arttıran laboratuvarlar; çok çeşitli bilim ve mühendislik alanlarında hizmet verir hâle gelmişlerdir. Bulut teknolojileri, yapay zekâ, veri yönetiminde geliştirilen dijital sistemler, uzaktan erişim imkânları; laboratuvarların ürettikleri hizmet üzerinden ekonomi, eğitim, sağlık, güvenlik ve benzeri çok çeşitli alanda uluslararası işbirliklerini arttırmıştır. Dolayısıyla, ulusal ve uluslararası standartlara dayanan akreditasyon sistemleri de laboratuvarların güvenilirliğini ve kalitesini artırmada kritik bir rol oynamaktadır.

Bu tez kapsamında, laboratuvar genel başlığı altında yapılan doküman taraması ve incelemesi sonucu; özellikle ISO teşkilatının, laboratuvar tur ve hizmetlerine bağlı olarak geliştirdiği standardizasyonlara uyumlu laboratuvarların, IFA ve /veya IAAC uluslararası akreditasyon kurumları tarafından akredite edildiği görülmüştür. Ayrıca yapılan doküman incelemesinde aydınlatma/ optik laboratuvarları için geliştirilmiş akreditasyon sistemlerinin varlığı da araştırılmıştır. Ulusalda TÜRKAK ve uluslararası IFA ve IAAC akreditasyon kurumlarının laboratuvar akreditasyonları konusunda yaptığı çalışmalar kapsamında; aydınlatma/ optik laboratuvarları araştırılmıştır. Bu araştırma konusunda yapılan belge tarama ve inceleme sonuçları; uluslararası ve ulusal mevzuatlar olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Bu bölümde yer alan iki alt başlıkta, söz konusu inceleme sonuçları yer almaktadır.

4.1.2.1. Uluslararası akreditasyon

Uluslararası akreditasyon kurumları olan IFA ve IAAC kurumlarının laboratuvar konusunda geliştirdiği akreditasyon sistemleri içinde aydınlatma/ optik laboratuvarlarına özel akreditasyon çalışması bulunamamıştır. Bu çalışmaların bulunmamasının ana nedeni; aydınlatma/ optik laboratuvarlarının kurulum ilke ve ölçütlerine ait uluslararası standartların geliştirilmemiş olmasıdır.⁹²

4.1.2.2. Ulusal akreditasyon

TÜRKAK, IAF kurumuna üye ulusal akreditasyon kurumudur. IAF'nın yaptığı akreditasyon çalışmaları kapsamında, aydınlatma/ optik laboratuvarları özelinde akreditasyon çalışması bulunmadığında dolay, TÜRKAK'ın yaptığı akreditasyon çalışmaları arasında aydınlatma/ optik laboratuvarları konusunda herhangi bir çalışma yer almamaktadır.

4.1.3. Uluslararası akredite aydınlatma/ optik laboratuvarı

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucu aydınlatma/ optik laboratuvarlarına özelleşmiş standartların geliştirilmemiş olması nedeniyle akreditasyon sistemlerinde yer almamaktadır. Bu nedenle çalışma alanı kapsamında yapılan dokuman analizlerinde, uluslararası akredite aydınlatma/ optik laboratuvarına rastlanmamıştır.

4.1.4. Ulusal akredite aydınlatma/ optik laboratuvarı

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucu aydınlatma/ optik laboratuvarlarına özelleşmiş standartların geliştirilmemiş olması nedeniyle akreditasyon sistemlerinde yer almamaktadır. Bu nedenle çalışma alanı kapsamında yapılan dokuman analizlerinde, ulus akredite aydınlatma/ optik laboratuvarına rastlanmamıştır.

⁹²Ek- 6'de aydınlatma / optik laboratuvarları konularında bazı uluslararası standart listeleri yer almaktadır.

5. YÖNTEM

Önceki bölümlerde verileri ve bulguları içeren tez çalışmasında yapılan araştırma; nitel araştırma yöntemine göre hazırlanmıştır. Ne? Nasıl? Niçin? Nerede? Ne zaman? Kim/ Nedir? sorularına yanıt arayan nitel araştırma; başta gözlem, görüşme ve belge (belge) analizi olmak üzere benzeri veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı, olayların doğal ortamında gerçekçi ve bütüncül olarak açıklanmasına yönelik nitel bir süreci içeren araştırma yöntemidir (Yıldırım ve Şimşek, 2021). Nitel araştırma sürecinde toplanan verilerden araştırma problemine cevap oluşturma çalışmasında tümevarımsal bir analiz ve değerlendirme yapılmaktadır. Burada temel amaç verileri birbiriyle olduğu gibi ana kavramlarla ilişkilendirip yeniden probleme yönelik açıklanıp, tanımlanması ve anlamlı bir değerlendirme yapılabilmesidir.

Bu tez kapsamında yapılan araştırma sonuçları; laboratuvarların ve özellikle aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişimi içinde mekânsal, işlevsel, altyapı, faaliyet alanları, istihdam, erişilebilirlik gibi alanlarda kaydedilen gelişmelerin neler olduğunun belirlenmesinde ve yeni nesil denebilecek laboratuvarların ne olduğunun açıklanmasına; optik ve aydınlatma alanında kaydedilen bilimsel gelişmeler ve laboratuvarların gelişiminin bilimsel gelişmelere etkilerinin neler olduğu konusunda önemli verilere ulaşılmasını sağlamıştır. Ulaşılan bu veriler; aydınlatma, optik, laboratuvar ve aydınlatma/ optik laboratuvarları alanlarında 19.yy.'dan bu yana geliştirilen standartların hangi alanlarda yer aldığına bağlı olarak kapsam ve içeriklerinin ne olduğunun, hangi akreditasyon protokollerinin bulunduğu belirlenmesine; tezin sınırlılıkları içinde yer alan ve aydınlatma, optik, laboratuvar konularında standart geliştiren, bu alanlarda var olan laboratuvarların akreditasyonlarını sağlayan uluslararası ve ulusal kurumların⁹³ neler olduğunun belirlenmesine imkân sağlamıştır.

5.1. Değerlendirme Yöntemi

Aydınlatma/ optik laboratuvarları alanında yapılan tez çalışmasında araştırma yöntemi olarak, alan yazım taraması ve belge inceleme yöntemleri kullanılmıştır.

⁹³Standard geliştiren kurumlar şu şekilde sıralanabilir (isim kısaltmaları): ASTM, CASCO, CE, CEN, CLSI, DIN, EC, EN, EPA, FDA, ISO, IULTCS, OECD, OSHA, SDGs, WTO, WHO, TSE, TÜBİTAK, UNECE

Akreditasyon kurumları şu şekilde sıralanabilir (isim kısaltmaları): AAPG, EA, IAAC, IAF, ILAC, TÜRKAK

Kullanılan bu yöntemler kapsamında yazılı, işitsel, görsel (film, video ve fotoğraf), elektronik ve internet kaynakları üzerinde çalışılmıştır.

Çalışılan tezin konusu gereği; tez, makale, bildiri, kitap gibi akademik çıktıların yanı sıra kurumsal resmî belgelerde yer alan ve resmî olarak ilan edilmiş (erişime açık) standart ve akreditasyon protokolleri, uygulama rehberleri, kalite/ güvenlik kitapçıkları, yıllık faaliyet raporları, araştırma sonuçları, başvuru değerlendirme raporları, resmî gazete ilânları, resmî olarak ilan edilmiş güncel veriler/ bildirimler/ haberler/ örnek olaylar, alanda yer alan süreli yayınlar (erişime açık), belgesel, tanıtım filmleri, televizyon ve Youtube gibi dijital yayın mecraları; bu çalışma kapsamında incelenen ulusal ve uluslararası aydınlatma/ optik laboratuvarlarının resmî web siteleri; aydınlatma, optik, laboratuvar konularında tanımlama, kriter, sistem belirleme, standart geliştirme gibi çok çeşitli alanlarda bilgi üreten ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların resmî web siteleri taranarak veri toplanmıştır.

Tez çalışması konusunda belirlenen araştırma problemi, araştırma soruları, hipotezler, literatür ve belge tarama kriterleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

Araştırma problemleri; aydınlatma ve optik laboratuvarlarının, 19. yüzyıldan günümüze kadar olan evrimsel gelişim sürecini, teknolojik dönüm noktalarını ve bu süreci şekillendiren sosyo-ekonomik faktörleri sistematik bir şekilde ortaya koyan kapsamlı bir tarihsel çalışma bulunmamaktadır (tarihsel gelişimin anlatıldığı kaynağın bulunmaması). Bu laboratuvarlar, biyokimya veya tıp laboratuvarlarının aksine, kendine has teknik, fiziksel ve operasyonel ihtiyaçlarına cevap verecek özel ve doğrudan uygulanabilir uluslararası veya ulusal bir standardizasyon, akreditasyon ve kurulum protokolünden yoksundur (standardizasyonların bulunmaması). Söz konusu laboratuvarlar, genel geçer standartları (ISO/IEC 17025 gibi) kullanmakta, bu da disiplinlerarası çalışmaların karmaşıklığı, özel ekipman ihtiyaçları ve benzersiz çevresel kontroller göz önüne alındığında yetersiz kalmakta ve uygulamada tutarsızlıklara yol açmaktadır (mevcut uygulamalardaki uyumsuzluk veya geçici çözümler). Enerji yoğun çalışmalar yürüten bu laboratuvarlar için sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve geri dönüşüm ilkelerini merkeze alan, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği gözeten özel kılavuz ilkelerin bulunmaması, uzun vadeli operasyonel ve çevresel bir risk oluşturmaktadır (sürdürülebilirlik ve verimlilik açığı).

Araştırma soruları; “Aydınlatma/optik laboratuvarlarının 19. yüzyıldan günümüze olan tarihsel gelişim süreci nasıl şekillenmiştir ve bu süreçteki temel teknolojik

ve bilimsel dönüm noktaları nelerdir?”, “Söz konusu laboratuvarların kurulum ve operasyonunda kritik öneme sahip olan fiziksel, çevresel, teknik ve insan kaynağına ilişkin temel ilke ve ölçütler nelerdir?”, “Mevcut genel laboratuvar standartları (ISO, IEC, CIE), bu özel laboratuvar tipinin benzersiz ihtiyaçlarını (fotometrik ölçüm hassasiyeti, optik deney düzenekleri, karanlık oda gereksinimi, lazer güvenliği vb.) karşılamada ne ölçüde yeterlidir? Hangi noktalarda eksik kalmaktadır?” ve “Aydınlatma/optik laboratuvarlarının sürdürülebilir, enerji verimli, çevreye duyarlı ve ekonomik olarak uygulanabilir olmasını sağlamak için bir kurulum protokolüne hangi ögeler mutlaka dâhil edilmelidir?” olarak belirlenmiştir.

Araştırma konusunda oluşturulan hipotezler; “Aydınlatma/optik laboratuvarlarının tarihsel gelişimi, elektriğin keşfi, vakum teknolojisi, yarı iletken devrimi ve dijitalleşme gibi anahtar teknolojik ilerlemelerle doğrudan ve paralel bir ilişki içindedir”, “Var olan uluslararası laboratuvar akreditasyon ve standardizasyon ölçütleri (ISO/IEC 17025 vb.), aydınlatma/optik laboratuvarlarının kurulum ve operasyonundaki benzersiz teknik ve çevresel gereksinimleri kapsamakta yetersiz kalmakta ve bu durum sektörde standart dışı uygulamalara yol açmaktadır.” ve “Aydınlatma/optik laboratuvarları için disiplinlerarası ve sürdürülebilirliği merkeze alan özel bir kurulum çerçevesi geliştirilmesi, bu laboratuvarların verimliliğini, araştırma kalitesini ve güvenilirliğini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artıracaktır.” şeklinde belirlenmiştir.

Literatür ve belge tarama kriterlerinden zaman aralığı, 1800- 2024. Özellikle 19. yüzyılın sonları (elektriğin yaygınlaşması), 20. yüzyıl ortaları (vakum teknolojisi, LED'in keşfi) ve 21. yüzyıl (dijitalleşme, akıllı aydınlatma) vurgulanmalıdır. Dil olarak Türkçe, İngilizce, Almanca ve İspanyolca belirlenmiştir. Kaynak türleri olarak; Bilim ve teknoloji tarihi kitapları, eski dergi arşivleri, enstitü ve şirket tarihçeleri, biyografiler (tarihsel), Hakemli akademik dergiler, uluslararası standart dokümanları (ISO, IEC, CIE, IES, ASTM, DIN), resmi kurum yayınları ve kılavuzları (EPA, UN, TÜRKAK, OECD), akredite laboratuvarların teknik prosedürleri ve web siteleri (teknik) ve İlgili sektör derneklerinin (LIA, AGİD, ATMK) yayınları, konferans bildirileri, teknik raporlar (sektörel) dikkate alınmıştır. Ayrıca, tezin kapsamına uyun olarak, doğrudan aydınlatma/optik laboratuvarlarını konu alan, tarihsel gelişim, kurulum, tasarım, standart veya akreditasyon süreçlerine odaklanan, sürdürülebilirlik veya enerji verimliliğini vurgulayan kaynaklar ve kapsam dışı tutulan, yalnızca tıbbî, biyokimyasal veya temel fizik araştırma laboratuvarlarını ele alan, lazer/kuantum/ileri optik teknolojileri gibi tez

kapsamı dışındaki özel alanlara odaklanan, ürün tanıtımı amacı güden veya hakem değerlendirmesinden geçmemiş kaynaklar ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan anahtar kelime ve tamlamalar, optik, aydınlatma, laboratuvar, aydınlatma laboratuvarı, optik laboratuvarı, laboratuvar standartları, aydınlatma standartları, optik standartları, aydınlatma laboratuvar standartları, optik laboratuvar standartları, optik laboratuvar akreditasyonu, aydınlatma laboratuvar akreditasyonu, aydınlatma laboratuvar kurulum standartları, optik laboratuvar kurulum standartları, aydınlatma laboratuvarı kurulum ilke ve ölçütleri, optik laboratuvarı kurulum ilke ve ölçütleri, aydınlatma laboratuvarı kurulum kriterleri, optik laboratuvarı kurulum kriterleri, aydınlatma laboratuvarı kurulum rehberi, optik laboratuvarı kurulum rehberi, laboratuvar kurulum rehberi, aydınlatma laboratuvarı özellikleri, optik laboratuvar özellikleri, laboratuvarların genel özellikleri, laboratuvar gelişim tarihi, aydınlatma tarihi, optik tarihi, aydınlatma laboratuvar tarihi, optik laboratuvar tarihi, aydınlatma laboratuvarı gelişim tarihi, optik laboratuvarı gelişim tarihidir. Ayrıca taramalarda belirlenen kelime ve tamlamaların İngilizce, Almanca ve İspanyolca dillerindeki karşılıkları da kullanılmıştır.

Yapılan tez çalışmasının ikinci başlığını oluşturan laboratuvar bölümü altında yapılan araştırma ve inceleme sonuçlarına bağlı olarak; laboratuvar ve aydınlatma/ optik laboratuvarları mekânsal yapıları ve işleyiş şekilleri; laboratuvar ve aydınlatma/ optik laboratuvarları ölçütleri, standardizasyonları, mevzuat, akreditasyon ve kalite süreçleri gibi konularda elde edilen sonuçlar, bir laboratuvar kurulumunda hangi ilke ve ölçütlerin kullanılması gerektiği konusunun 7 genel başlıkta toplanmasını sağlamıştır (Bkz. Şekil 5.1). Ayrıca yapılan araştırmaya uygun en geniş alanda gerekli verilerin sınıflandırılmış olarak toplanabilmesi için yapılan çalışma sonucu oluşturulan 7 başlığa ait detaylı alt kırımlar belirlenmiştir (Bkz. Ek-13). Dolayısıyla, 7 başlık ve alt kırımlarıyla belirlenen ilke ve ölçütler listesi, toplanacak verilerin ilgili standart protokollerinin de listelenmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 5.1. Laboratuvar kurulum ilke ve ölçütler

Ayrıca, bu tezin ikinci bölümünde yer alan laboratuvarların sınıflandırılması ve sınıfların altında yer alan türler göz önünde bulundurularak; yukarıda yer alan 7 madde için ayrı ayrı oluşturulan alt kırımlara göre toparlanan veriler (Bkz. Ek-13) ve standart protokollerinin geliştirildiği yasal mevzuat konularının genel başlıklara (Bkz. Şekil 5.2), aşağıda yer alan ve dördüncü bölümde geniş olarak açıklanan ISO teşkilatının;

- ISO/ IEC 17025:2017– Test ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği
- ISO 45001:2018– İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi
- ISO 17034:2016– Referans Malzeme Üreticileri için Gereklilikler
- ISO 19011:2018– Yönetim Sistemleri Denetim Rehberi
- ISO 9001:2015– Kalite Yönetim Sistemi
- ISO 14001:2015– Çevre Yönetim Sistemi
- ISO 27001:2022– Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi, ana başlıkları altında yer alan

protokollerine uygunluğuna göre seçilmiştir.



Şekil 5.2. Laboratuvarda yasal mevzuat konuları

Bu protokoller belirlenirken; lazer⁹⁴ laboratuvarları ve lazer çalışma koşulları ile nanometrik hassasiyet gerektiren tüm çalışmalar için geliştirilmiş temizoda (cleanroom)⁹⁵ alanlarının her safhasına özel geliştirilmiş (ve sürekli güncellenen) protokoller bu tezin kapsamı ve sınırlılıklarına uygun olarak kapsam dışı bırakılmıştır. Sadece optik ölçümler konusunda yapılan çalışmaların yürütüldüğü temizodalar dikkate alınmıştır.

Araştırma kapsamında; aydınlatma / optik laboratuvarlarının tarihi gelişimini, bu laboratuvarlara özelleşmiş standart ve akreditasyon protokollerinin var olup olmadığı;

⁹⁴Optik alanında yer alan lazer ışığının yüksek risk potansiyeline sahip fiziki özellikleri ve kritik uygulama alanları nedeniyle, lazer çalışmaları için ayrı protokoller hazırlanmıştır. Bu protokollerin genel başlıkları şu şekildedir: lazer laboratuvarları için “ISO 11553:2020 Safety of machinery- Laser processing machines”, “ISO 11252: 2013 Lasers and laser-related equipment- Laser device- Minimum requirements for documentation” (ISO, Erişim tarihi: 25.11.2025); “ISO 13694:2018 Optics and photonics- Lasers and laser-related equipment-Test method for laser beam power (energy) density distribution (ISO, 2025)”, “IEC 60825 Serisi Safety of laser (IEC, 2014)”; lazer kalibrasyon ve ölçüm konusunda “ISO/ DIS 11145 Optics and photonics- Lasers and laser-related equipment-Vocabulary and symbols (ISO, Erişim tarihi: 25.11.2025)”, “ISO 11146 Serisi Lasers and laser-related equipment-Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios (ISO, Erişim tarihi: 25.11.2025)”, “ISO 21254: 2011 Serisi, Lasers and laser-related equipment (ISO, 2011)”.

⁹⁵Temizoda özelinde geliştirilen standart protokolleri için Ek- 6’ e bakınız.

buna bağı olarak aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütlerinin belirlenmesinde yeterli bilgiyi sağlayacak detayda veri toplanmıştır.

Bu tez kapsamında aydınlatma ve optik laboratuvarlarının gelişim tarihinin belirlenmesinde; laboratuvar gelişim tarihi alanında yer alan kısıtlı kaynaklarla birlikte, bilim tarihi ve bu tarih içinde yer alan optik ve aydınlatma gelişim tarihi, optik ve aydınlatma teknolojileri gelişim süreçleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan inceleme sonuçlarında elde edilen tüm detaylar, tarih ve teknik bilgileriyle, aydınlatma ve optik başlıkları altında sınıflandırılarak, 21.yy'a kadar geçirdiği evrilme süreçleri sebep, sonuç ilişkileri kurularak belirlenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci ana konusu olan aydınlatma ve optik laboratuvarlarına özel uluslararası ve ulusal standart ve akreditasyon protokollerinin var olup olmadığı konusunda; laboratuvar, aydınlatma, optik ve varsa aydınlatma/ optik laboratuvarları için var olan standart ve akreditasyon protokolleri; tez kapsamında incelenen tüm uluslararası ve ulusal kurum ve kuruluşların geliştirdiği standart protokolleri incelenerek karşılaştırmaları yapıp sınıflandırılmıştır. Yapılan bu sınıflandırmalarda; aydınlatma/ optik laboratuvarlarının belirlenen gelişim tarihinde de yer alan, belirlenmiş ilk standart uygulamaları göz önünde bulundurulmuştur.

Aydınlatma/ optik laboratuvarları incelemesinde, tezin kapsam ve sınırlılıklarına göre belirlenen laboratuvarların açık erişim kanalları kullanılarak toplanan veriler, standart ve akreditasyon konusunda elde edilen analiz sonuçlarıyla karşılaştırmalı analizleri yapılarak belirli sonuçlara ulaşılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, tezin konusunda öneriler geliştirilmiş. Tezin öneriler bölümünde yer alan bu öneriler; tez kapsamında yer alan uluslararası ve ulusal kurum ve kuruluşların geliştirdiği protokoller ile eşleştirilerek, önerilerin resmi olarak kabul edilen teknik sınırlılıklar içinde yer alması sağlanmıştır. Bu şekilde aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri için belirlenen 7 ana başlıktan (Bkz. Şekil 5.1) fiziksel, çevresel, güvenlik ve makine ekipman başlıklarına ait ilke ve ölçüt standart listeleri oluşturulmuştur.

Son olarak, tez kapsamında yapılan çalışmanın her safhasında ve laboratuvar sistemi özelinde TOBB ETÜ HİDRO laboratuvarı örnek bir kontrol mekanizması olarak değerlendirilmiştir. Su türbinleri konusunda; mekanik, hidrolik tasarımları ve imalatları başta olmak üzere çeşitli saha hizmetlerini bir merkezde toplayan laboratuvar; projenin geliştiricileri olarak, yürütücülüğünü Prof. Dr. Selin Aradağ, proje koordinatörlüğünü Doç. Dr. Kutay Çelebioğlu'nun üstlendiği HİDRO Su Türbini Tasarım ve Test Merkezi

2013 yılında, TOBB ETÜ bünyesinde bu merkez için inşaa edilen Teknoloji Merkezi'nde kurulmuştur. 2016 yılında, Model Türbin Test Düzeneginin devreye alınmasıyla tam kapasiteyle çalışmalarına başlamıştır. HİDRO çalışma alanında Dünya'nın ilk iki laboratuvar merkezinden biri olarak yüksek seviyede bilgi ve teknoloji üretimi sağlamaktadır (TOBB ETÜ HİDRO, 2025). HİDRO, tez kapsamında belirlenen laboratuvar kurulum ilke ve ölçütlerinin 7 başlığına ait tüm alt kırımlarında uluslararası standartların sahibi olan bir laboratuvar merkezidir. Aydınlatma ve optik laboratuvarlarında olduğu gibi su türbinleri alanında var olan araştırma, tasarlama veya test laboratuvarları için özelleşmiş, uluslararası veya ulusal standart kurumları tarafından geliştirilmiş standardizasyon bulunmamakta ve bu nedenle bu tip laboratuvarların akreditasyonları söz konusu olamamaktadır. Bu nedenle HİDRO Su Türbini Tasarım ve Test Merkezi, sahip olduğu yeterlilikler, üretim süreçleri, altyapı, bilgi üretim veri yönetimi, güvenlik gibi alt başlıklarda yaptığı standardizasyon çalışmalarını, ISO, ICE ve benzeri uluslararası standart geliştirici kurumlarla yapmakta; aldıkları standart belgeleri doğrultusunda gerekli akreditasyonları almaktadır.

Yukarıda, TOBB ETÜ HİDRO Su Türbini Tasarım ve Test Merkezi özelinde su türbini alanında çalışma yapan laboratuvarlara özel standart protokollerinin olmaması ve buna bağlı olarak akredite edilemiyor olmaları, bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin, yapılan analizlerin karşılaştırılabilmesi konusunda doğru bir örnek oluşturmaktadır.

Yapılan tez çalışması kapsamında; yukarıda detayları verilen yöntemler kullanılarak elde edilen ve doğruluğu kontrol edilmiş verilerin ve ulaşılan bulguların analizleri sonucu yapılan değerlendirmelerin, aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri alanıyla ilgili olan sonuçlarının açıklamaları bir sonraki bölümde etraflıca ele alınmaktadır.

6. VERİ VE BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez kapsamında yapılan araştırma sonuçları; laboratuvarların ve özellikle aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişimi içinde mekânsal, işlevsel, altyapı, güvenlik, donatı, işlev ve faaliyet alanları (Bkz. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2), istihdam, erişilebilirlik gibi alanlarda kaydedilen gelişmelerin neler olduğunun belirlenmesinde ve yeni nesil denebilecek laboratuvarların ne olduğunun açıklanmasına; optik ve aydınlatma alanında kaydedilen bilimsel gelişmeler ve laboratuvarların gelişiminin bilimsel gelişmelere etkilerinin neler olduğu konusunda önemli verilere ulaşılmasını sağlamıştır. Ulaşılan bu veriler; aydınlatma, optik, laboratuvar ve aydınlatma/ optik laboratuvarları alanlarında 19.yy.'dan bu yana geliştirilen standartların hangi alanlarda yer aldığına bağlı olarak kapsam ve içeriklerinin ne olduğunun, hangi akreditasyon protokollerinin bulunduğu belirlenmesine; tezin sınırlılıkları içinde yer alan ve aydınlatma, optik, laboratuvar konularında standart geliştiren, bu alanlarda var olan laboratuvarların akreditasyonlarını sağlayan uluslararası ve ulusal kurumların⁹⁶ neler olduğunun belirlenmesine imkân sağlamıştır.



Şekil 6.1. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının temel işlev listesi

⁹⁶Standard geliştiren kurumlar şu şekilde sıralanabilir (isim kısaltmaları): ASTM, CASCO, CE, CEN, CLSI, DIN, EC, EN, EPA, FDA, ISO, IULTCS, OECD, OSHA, SDGs, WTO, WHO, TSE, TÜBİTAK, UNECE

Akreditasyon kurumları şu şekilde sıralanabilir (isim kısaltmaları): AAPG, EA, IAAC, IAF, ILAC, TÜRKAK



Şekil 6.2. Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının temel faaliyet alanları listesi

Yapılan çalışma ile elde edilen verilerin, önceki bölümlerde yer alan konulara göre değerlendirilmesi, tezin hipotezlerinin doğruluğunu teyit edecek sonuçların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar; laboratuvar konusunda var olan ulusal (ulusal olarak belirlenen ölçütler ISO ve IAF işbirliği kapsamında uluslararası protokollere dönüştürülmüştür) veya uluslararası standardizasyon ve akreditasyon ilke ve ölçütlerinin özel olarak aydınlatma/ optik laboratuvarlarını kapsamadığını göstermiştir (Aydınlatma/ optik laboratuvarları konusunda geliştirilen 7 kriter ve alt kırımlarına göre uluslararası ve ulusal gerekli standartlar listesi için Bkz. Tablo 6.1). Kalemeye alınan bu bölümde, elde edilen bulguların değerlendirilmesinin sonucu olarak; aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi gelişim süreçleri ve bu süreçte günümüz aydınlatma/ optik teknolojileri ve beraberinde ortaya çıkan yeni soru ve ihtiyaçlara göre nasıl şekillendiğinin, aydınlatma ve optik laboratuvarları olarak nasıl ayrıldığıının belirlenmesiyle, tez hipotezlerinin teyitti konusu açıklığa kavuşmaktadır.

Tezin bu bölümünde, aydınlatma ve optik laboratuvarları değerlendirme sonuçlarından önce, ikinci ve dördüncü bölümlerde yer alan laboratuvar ve aydınlatma/ optik laboratuvarlarının gelişim süreçlerinin incelenmesi sonucu elde edilen değerlendirme sonuçları paylaşılmaktadır.

Tablo 6.1. Aydınlatma/ optik laboratuvarları ideal ölçütleri

Aydınlatma/Optik Laboratuvarlarının İdeal Ölçütleri					
1. Fiziksel Ölçütler					
	Alt Kriter	Uluslararası Standartlar	Ulusal Standartlar	Diğer Standartlar	Temel Gereksinim & Ölçüt
1.1.	Alan ve Yapısal Özellikler	ISO/IEC 17025, CEN, IEC 62471	TSE TS EN 12464, TÜRKAK Akreditasyon Kriterleri	NIST, JSA, EUROLAB	Laboratuvarın yapısal özellikleri, uluslararası ISO/IEC 17025 ve yerel yönetmeliklere uygun olmalıdır.
1.2.	Ergonomi ve İşlevsellik	IES LM-79, ANSI C78, CIE Standartları	ATMK, TSE Ergonomi Kriterleri	ETSI, CENELEC	Ergonomik tasarım, çalışanların uzun süre konforlu çalışmasına olanak tanıyacak şekilde planlanmalıdır.
1.3.	İç Mekan Aydınlatma Koşulları	EN 12464, CIE 13.3, IES TM-30	TS EN 12464	ASTM E308	Işık seviyesi, renk sıcaklığı ve renk geri verimi ilgili standartlara uygun olmalıdır.
1.4.	Modüler Yapı & Esneklik	OECD GLP, NIST	TÜBİTAK UME Kriterleri	EUROLAB	Laboratuvar, teknolojik gelişmelere uyum sağlayacak şekilde modüler ve esnek yapıda tasarlanmalıdır.
2. Çevresel Ölçütler					
	Alt Kriter	Uluslararası Standartlar	Ulusal Standartlar	Diğer Standartlar	Temel Gereksinim & Ölçüt
2.1.	Hava Kalitesi & Havalandırma	ISO 14001, WHO Sürdürülebilirlik Kriterleri	TS EN ISO 14001	ANSI, EPA	İç hava kalitesinin korunması için ISO 14001 ve WHO'nun belirlediği sürdürülebilirlik kriterleri uygulanmalıdır.
2.2.	Akustik & Ses Yalıtımı	ISO 3382-1, IEC 60268	TSE Akustik Yönetmeliği	CEN, ANSI	Ortam ses seviyeleri, hassas ölçümlere zarar vermeyecek şekilde optimize edilmelidir.
2.3.	Titreşim & Manyetik Alan Etkisi	NIST Metroloji Kriterleri, IEC 60050	TÜBİTAK UME Kalibrasyon Kriterleri	CENELEC	Titreşimlerden arındırılmış ortam sağlanmalı, hassas optik ölçümler için manyetik alan etkisi minimize edilmelidir.
3. Güvenlik Ölçütleri					
	Alt Kriter	Uluslararası Standartlar	Ulusal Standartlar	Diğer Standartlar	Temel Gereksinim & Ölçüt
3.1.	Fotobiyolojik Güvenlik	IEC 62471, CIE	TS EN 62471, TSE	ANSI C82	Işık kaynaklarının fotobiyolojik güvenlik açısından değerlendirilmesi zorunludur.
3.2.	Yangın & Acil Durum Prosedürleri	OSHA 1910, ISO 45001	ISO 45001, TSE Yangın Yönetmeliği	WHO, EPA	Yangın riskleri minimize edilmeli, acil tahliye planları oluşturulmalıdır.
3.3.	Kimyasal & Optik Radyasyon Güvenliği	ASTM G173, ISO 3864	TSE ISO 3864	EPA, JIS	Optik laboratuvarlarda kullanılan kimyasal ve radyasyonlu bileşenler için güvenlik protokolleri oluşturulmalıdır.
4. Makine & Ekipman Ölçütleri					
	Alt Kriter	Uluslararası Standartlar	Ulusal Standartlar	Diğer Standartlar	Temel Gereksinim & Ölçüt
4.1.	Fotometrik Ölçüm Cihazları	CIE, IES LM-79, ISO 17025	TÜBİTAK UME, TS EN 13032	NIST, ANSI	Fotometrik ölçüm cihazlarının düzenli kalibrasyonu sağlanmalıdır.
4.2.	Spektrofotometrik & Radyometrik Sistemler	ASTM E308, IEC 62471	TS EN 62471	JIS, EUROLAB	Spektrofotometrik analizlerde uluslararası izlenebilirlik sağlanmalıdır.
4.3.	Kalibrasyon & İzlenebilirlik	ISO 17025, ILAC MRA	TÜRKAK ISO 17025	ANSI, NIST	Laboratuvar cihazları, kalibrasyon süreçleriyle uluslararası izlenebilir olmalıdır.
5. İnsan Kaynakları Ölçütleri					
	Alt Kriter	Uluslararası Standartlar	Ulusal Standartlar	Diğer Standartlar	Temel Gereksinim & Ölçüt
5.1.	Eğitim & Sertifikasyon	ISO 9001, OECD GLP	TÜBİTAK Eğitim Programları	EA, EUROLAB	Laboratuvar çalışanlarının uluslararası akreditasyon kriterlerine uygun eğitim alması gerekmektedir.
5.2.	Çalışma Koşulları & İş Güvenliği	ISO 45001, WHO	TS ISO 45001	ANSI, NIST	Personel sağlığını koruyacak ergonomik ve güvenli ortam sağlanmalıdır.
6. İşletmeye Dair Ölçütler					
	Alt Kriter	Uluslararası Standartlar	Ulusal Standartlar	Diğer Standartlar	Temel Gereksinim & Ölçüt
6.1.	Kalite Yönetimi	ISO 9001, ILAC MRA	TÜRKAK Akreditasyon	EA, ASTM	Laboratuvarın kalite yönetim sistemine uygunluğu sağlanmalıdır.
6.2.	Veri Yönetimi & Arşivleme	ISO 27001, OECD GLP	TSE ISO 27001	NIST, EUROLAB	Tüm ölçüm verileri uluslararası veri güvenliği standartlarına uygun arşivlenmelidir.
7. Sürdürülebilirlik & Geri Dönüşüm Ölçütleri					
	Alt Kriter	Uluslararası Standartlar	Ulusal Standartlar	Diğer Standartlar	Temel Gereksinim & Ölçüt
7.1.	Atık Yönetimi	EPA, UNECE Green Deal	TS ISO 14001	WHO, EUROLAB	Laboratuvar atıkları sürdürülebilirlik kriterlerine uygun olarak yönetilmelidir.

6.1. Değerlendirme Sonuçları

Laboratuvarların, 19.yy.'ın seküler modern eğitim dönüşümünün mekânsal göstergeleri olarak heyecan verici tarihinde ilkler olarak yer alan; 1088'den bu yana sosyal demokrat gustosuyla⁹⁷ kesintisiz eğitime devam eden Bologna Üniversitesi'nin, Papa IV Pius'un isteği üzerine⁹⁸ inşaa edilen ve 1563 yılında tüm birimlerinin bir araya getirildiği Archiginnasio Binası'nda tıp eğitimi için gerekli olan anatomi çalışmalarının yürütüldüğü ders ve çalışma odası olarak tasarlanan ilk uygulama sınıfı- atölyesi Anatomi Tiyatrosu (Teatro Anatomica Palazzo dell' Archiginnasio), (Bkz. Görsel 6.1); Danimarkalı astronom Tycho Brahe'nin kurduğu Uraniborg Gözlemevi (Bkz. Görsel 2.1) ve laboratuvarı; Britanya'nın Kraliyet Enstitüsü'nde yer alan Michael Faraday'ın ufuk açan çalışmalarını yürüttüğü ve dersliklerin kısmen ayrıldığı görüldüğü laboratuvar (The Royal Institution, 2025); şimdilerde Paris'te Sanat ve Meslek Müze'sinde (Bienvenue au Musée des Arts et Métiers) yer alan Fransız kimyacı Antoine Lavoisier'in yönetimindeki kimya atölyesi (Bienvenue au Musée des Arts et Métiers, 2025);

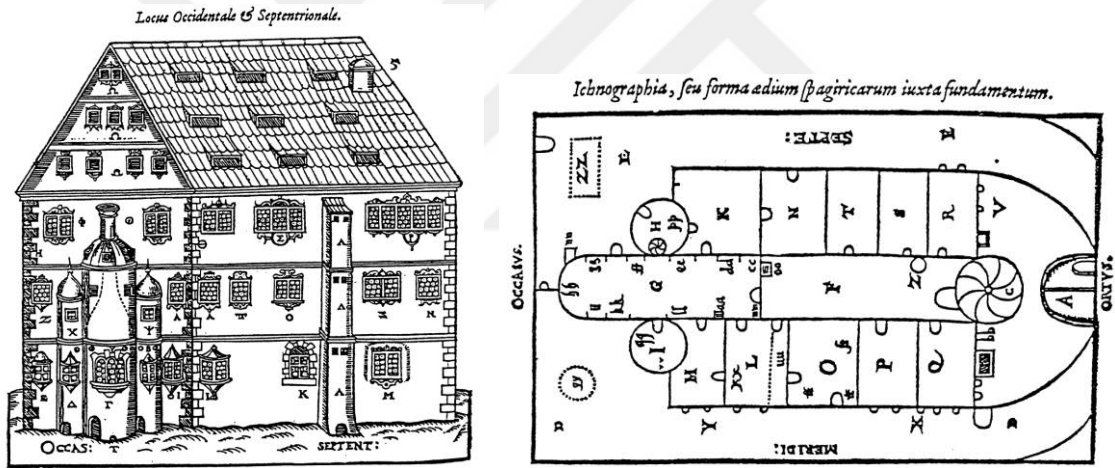


Görsel 6.1. *Il Teatro Anatomico (Biblioteca Comunale Dell' Archiginnasio ARCHIWEB, 2025), Il Teatro Anatomico (Biblioteca Comunale Dell' Archiginnasio, 2025)*

⁹⁷Bologna Üniversitesi'nin sahip olduğu bu özelliği, laboratuvarların gelişim tarihi içinde özellikle Humbolt ilkeleri sonrası, günün sosyokültürel, sosyoekonomik şartlarına uygun olarak Liebing Kimya Laboratuvarı, Cavendish Laboratuvarı, Leipzig Fizyoloji Laboratuvarı ve Marie Curie Radyum Enstitüsü gibi laboratuvarlarda gelişerek günümüz laboratuvarlarının sosyal demokrat yapılarını oluşturmuştur (Berkel ve Homburg, 2023).

⁹⁸Papa IV. Pius ve beraberindekilerin amacı Bologna şehrinin çeşitli bölgelerine dağılmış olan; “legisti” olarak adlandırılan kanun ve medeni hukuk, “Artisti” olarak adlandırılan felsefe, doğa bilimleri, tıp, matematik ve fizik alanlarında eğitimlerin verildiği üniversite bölümlerini, Plazzo dell' Archiginnasio binasında toplanmasıyla daha randımanlı çalışma sağlanmasıydı. Avrupa bilim tarihi içinde 1088 yılından günümüze kadar ilk üniversite olma özelliğinin yanı sıra yüzlerce yıllık tarihi boyunca üniversitenin sahip olduğu özerk, sosyal demokrat ve 19.yy. sonrası lâik yapısıyla da üniversite tarihinin güzide örneklerinden biri olarak görülmektedir (Lines, 2023).

Justus Liebig'in kurduğu Gissen Laboratuvarı (Bkz. Görsel 2.3), (Liebig Museum + Laboratorium, 2025); Fraunhofer Benediktbeuern Enstitüsü Laboratuvar Kompleksi (Bkz. Görsel 4.1), (Kloster Benediktbeuern, 2025); Cavendish Fizik Laboratuvarı (Bkz. Görsel 4.4 ve Görsel 4.5), (University of Cambridge Department of Physics, 2025) veya Edison'un Menlo Park ve West Orange Laboratuvarları (Bkz. Görsel 4.8 ve Görsel 4.9) (The Henry Ford, 2025) gibi önemli laboratuvarların tarihi mekânları ve var olan ekipmanları müze olarak hayatına devam ederken kimyacı Andreas Libavius'un⁹⁹ ilk kimya ders kitaplarından biri olarak bilinen *Alchemia* adlı, 1606 tarihli kitabında yer alan ideal kimya laboratuvarı tasviriyle (Bkz. Görsel 6.2) ilk laboratuvar tasarımı olma özelliğiyle (Morris, 2015) 19.yy'a kadar kimya atölyeleri için kaynak teşkil ederken 19.yy. sonrasında Humbolt yüksek eğitim ilkeleri ışığında gelişen kimya laboratuvarları için de bir arketip oluşmasına yol açmıştır.



Görsel 6.2. Libavius'un *Alchemia* adlı kitabında yer alan kimya evi (laboratuvarı) ve planı (Newman, 1999)

20.yy.'ın ekonomik şartlarında yeni ürün alanı oluşturma konusunda önemli yere sahip olan; Avrupa Uzay Ajansı (ESA) bünyesinde yer alan özellikle çok yönlü optik çalışmaları içeren 35 laboratuvarları (The European Space Agency, 2025), Cenevre kantonundaki CERN gibi parçacık fiziği için büyük araştırma merkezleri (CERN, 2025); Arlight Aydınlatma firmasını bünyesine katan, aydınlatma konusunda geniş uygulama

⁹⁹Andreas Libavius (1540- 1616); öncelikle simya alanında yaptığı çalışmalarla bilinen, ilk kimya ders kitaplarından biri olan ve bir laboratuvar tasarımının ilk kez yapıldığı, *Alchemia* adlı kitabı başta olmak üzere mantık, teoloji, eczacılık, kimya, tıp ve fizik alanında kitaplar yazan, Coburg şehrinde Gymnasium Casimirianum'u kuran, Jena Üniversitesi'nde tarih ve şiir profesörü, Basel Üniversitesi'nden tıp doktoru unvanını alan Alman doktor, simyacı (Hubicki, 1973).

alanlarına sahip world-wilde bir firma olan FAGERHULT Grup'un Aydınlatma Laboratuvarları (Fagerhult, 2025) gibi özel firmalar, aydınlatma alanında yazılım, tasarım, sanat, insan – bilgisayar etkileşimli çalışmaların yürütüldüğü MIT Illuminate laboratuvarları (Bkz. Görsel 4.7) (MIT, 2025) gibi eğitim kurumlarının bünyesinde kurduğu irili ufaklı aydınlatma/ optik laboratuvarları veya genç girişimcilerin start-up'larıyla, geleneksel laboratuvarlardan sıyrılıp küresel network sistemlerine evrilerek yüzlerce yeni bilgi, bulgu üretme kapasitesine ulasan laboratuvarların; çeşitlerine göre, tarihsel bağlamda gelişimi ve günümüzde ulaştıkları yapılarının metodolojik olarak incelendiği çalışmalar çok azdır. Diğer yandan alanla ilgisi olan olmayan birçok araştırmacı akademisyenin ilgisini çekebilecek Latour'un "Laboratory Life, 1979" (Latour ve Woolger, 1979) ilk ve "Science in Action, 1987" (Latour, 1987) adlı ikinci kitabı veya Michel Foucault'nun "Kliniğin Doğuşu: Tıbbî Algının Bir Arkeolojisi, 1963" (Foucault, 2002) adlı kitabı gibi alan dışı çalışmalarda, ilgili laboratuvarların tarihi ve gelişim süreçleriyle ilgili toplu bir bilgi aktaramamaktadır. Konu, aydınlatma ve optik olduğunda, alanda yazılan teknik metinlerin (kurgu anlatı ve şiir dışında) önemli bir kısmının felsefe, sosyoloji, teoloji, psikoloji veya göstergebilim gibi farklı alanların perspektifinden ele alındığı, bu metinlerde optik fiziği ve aydınlatmanın teknik bilgilerinin, araştırma ve laboratuvar konularının bir kısım kapsamı dışında veya farklı bağlam ve içeriklerde kullanıldığı görülmüştür.

Tezin kapsamı içinde ve belirlenmiş ölçütler doğrultusunda yapılan alan yazım taramasında bilim tarihi temel alınarak; kısıtlı sayıda olan ve kaynak teşkil eden laboratuvar tarihi çalışmalarını, aydınlatma ve optik kavramlarının tarihi ve gelişimi, aydınlatma/ optik alanında yer alan bilimsel, teknolojik ve ekonomik gelişmelerin tarihi süreçleriyle birlikte karşılaştırmalı analizi sonucu, 18.yy. ve öncesine kısmen değinilmiş olmakla birlikte; 19.yy.'dan günümüze kadar olan aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihi, zaman çizelgesi korunarak belirlenen gelişim evreleri, önemli veri ve bulgularıyla kısmen ortaya çıkartılmıştır.

Elde edilen aydınlatma/ optik laboratuvarlarının tarihinde üç kurum öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki, aydınlatma ve optik araştırmalarının ve üretiminin yapıldığı Fraunhofer Benediktbeuern Enstitüsü'dür. Enstitü Benedikten tarikatının optik cam ve vitray camları konusunda var olan köklü bilgisi, deneyim ve insan kaynağı üzerine inşaa edilen; erişilebilir, esnek ve sürdürülebilir, entegre bir araştırma laboratuvarı ve üretim atölyesidir. Enstitünün; 19.yy.'ın ilk çeyreğinde var olan teorik ve pratik imkânların

sınırında sahip olduğu kendine has özellikleriyle laboratuvar tarihinin ilklerinden biri olarak yerini alırken; optik araştırma çalışmaları için çalışma güvenliği; teorik çalışma imkânları, üretim ve deney alanları; hammadde tedariğı ve işleme atölyeleri; mobilya, makine ve ekipman parkuru; altyapısı, sürdürülebilir enerji kaynakları; çevresel planlaması; sunum ve gösteri alanları; çalışanların temel ihtiyaçlarını karşılayan oturmuş sistemi, yaşama mekânları ve sosyal alanları; eğitim olanakları ve araştırma enstitüsüne evrilş süreci; müzesi; ulaşım imkânları; uzmanlaşmış kadroları ve yönetim mekanizmasıyla; aydınlatma/ optik laboratuvarları için detaylı bir arketip işlevi görmektedir. Modern anlamda laboratuvar olmasa da önceki dönemlerin çalışma odaları/ salonları/ tiyatroları veya atölyelerinden modern laboratuvarlara geçisin önemli bir örneğı olmuştur.

Fraunhofer Benediktbeuern Enstitüsü’nden sonra ilk gelen, optik fiziğı alanına özelleşmiş tasarımıyla Maxwell’in mimari, inşaat ve teknik projesini hazırlayarak kurduğı Cambridge Cavendish Fizik Laboratuvarı ve sonrasında gelen, aydınlatma alanına özelleşmiş olarak planlanarak kurulan ve birbirlerinin öncülü- ardılı olan, Edison’un Menlo Park ve West Orange laboratuvar tesisleridir.

Aydınlatma/ optik laboratuvarları konusunda önemli aşamalar içeren Maxwell ve Edison’un laboratuvarları; tezin ikinci bölümünde açıklamaları ile yer alan laboratuvar çeşitleri ve kurulum ölçütlerinin temelinde, tüm teknik detaylarıyla geniş şekilde yapılan inceleme sonuçları ulaşılan veriler, tezin dördüncü bölümünde etraflıca açıklanmıştır. Bu nedenle bu bölümde tekrar edilmesine ihtiyaç görülmemiştir. Diğer taraftan, bu laboratuvarların incelenmesinde aydınlatma/ optik laboratuvarlarının gelişimi konusunda önemli olduğı düşünölen bulgular saptanmıştır.

Şöyle ki; Maxwell, kurduğı optik laboratuvarında elektrik enerjisi için pil bataryaları, kontrollü basit bir sistem olan Leyden Kavanozları ve Faraday’ın¹⁰⁰ elektromanyetik indüksiyon prensibiyle çalışan el kranklı dinamoları kullanılmıştır (Crowther, 1974). 1879 yılında Cavendish Profesörü olan Maxwell’in erken yaşta ölümü sonrası eğitim sorumlusu olarak atanan Lord Rayleigh ve 1884 yılında Cavendish Profesörü olarak atanan ve deneysel fizikte olağanüstü ilerlemeler kaydeden J. J.

¹⁰⁰Michael Faraday, 1791 ile 1867 yılları arasında yaşamış, yaptığı birçok parlak çalışma sonucu 1821 yılında elektromanyetik rotasyonu, 1831 yılında ise elektromanyetik indüksiyonu keşfeden, elektrik, elektromanyetizma, elektrokimya alanlarında önemli çalışmalar yapan, Faraday kafesi, ışığın kutuplanması, elektriğın manyetik alanı gibi çok önemli buluşları ve teorileri geliştirmiş, “anot”, “katot”, “elektrolit”, “iyon” gibi günümüzde hâlâ kullanılan terminolojiler tanımlamış, Britanyalı fizik ve kimyacı (Williams, 1981).

Thomson döneminde laboratuvarda yapılan modernizasyon çalışmalarında, laboratuvarın elektrik altyapısına Wimshurst makinesi gibi cihazları ekleyerek elektrik kaynağı konusunda çeşitlilik sağlanmıştır (Crowther, 1974). Dolayısıyla, daha önceleri hayvan ve bitki bazlı yağlar, gaz yağı, parafin kullanılarak yapılan optik çalışmalar, Cavendish laboratuvarında, o günün şartlarında tam teşekküllü kurulan yeni sistemiyle elektrik enerjisi kullanılarak yapılmaktaydı. O tarihler için elektrik enerjisinin kullanım deneyimi çok yeni olsa da Maxwell'in Cavendish optik fiziği laboratuvarında, elektrik enerjisinin kurulum, üretim, kullanım ölçütleri, çalışma güvenliği gibi alanlarda ilk kuralların geliştirilmesine ve standartların belirlenmesine başlandığı görülmektedir. Buna bağlı olarak elektrik enerjisinden elde edilen ışığın düzenle ve kontrol edilebilir olması; yapılan çalışmaların ve testlerin, ışık kalitesi, tekrar edilebilirliği, ölçülebilirliği gibi araştırma laboratuvarı için hayati önem taşıyan konularda yüksek kalitenin sağlanmasına imkân vermiştir. Öyleki Maxwell'in, yaptığı çalışmalarla ilk defa ışığın hızının evrensel bir sabit olarak matematikselleştirilmesini sağlamasına ve tam olarak 299,792.458 m/s (IEC, 2014) olan dalga hızını yaklaşık 310,740 m/s (Flood, McCartney ve Whitaker, 2014) olarak belirlemesine etki etmiştir. Bu süreçle birlikte, elektrik enerjisi kullanımında olduğu gibi, ışığın özellikleri, test ve ölçümlerinde de standartlar geliştirilmiştir.

Aydınlatma/ optik laboratuvar tarihi içinde ortaya çıkan üçüncü kurum Menlo Park ve sonrasında gelen West Orange laboratuvar tesisleridir. Edison'ın kurduğu bu laboratuvarlarda yaptığı çalışmalar sonucu dayanıklı, seri üretilebilir elektrik ampulünü keşfetmesiyle; aydınlatma çalışmalarının, optik çalışmalarından ayrılmasına ve buna bağlı olarak ayrı laboratuvarlar olarak şekillenmesine yol açmıştır. Edison'un açtığı ilk Ar-Ge ve üretim tesislerinde, sonrasında Edison Electric Light Company ve General Electric (Edison General Electric) firmalarında; elektrik dağıtım sistemi; iç- dış mekân aydınlatmaları, tiyatro/ sahne aydınlatması gibi özel aydınlatmalar, endüstriyel aydınlatma, aydınlatma armatür ve sistemleri geliştirme ve üretim çalışmaları; elektrik sayacı, anahtar ve fiş sistemleri; elektrikli otomobil ve tren aydınlatma armatür ve sistemleri; deniz feneri, gemi aydınlatma ve sistemleri gibi alanlarda vizyoner bir girişimci olarak ilk Ar-Ge ve üretim çalışmalarını yapmıştır (Dyer ve Martin, 2013). Edison'un 1892 yılında kurduğu Edison General Electric ve 1892 yılında Thomson-Houston Electric Company ile birleşerek General Electric adını alan şirketi günümüzde; enerji ve elektrik, havacılık ve uzay, sağlık, dijital endüstri, taşımacılık- raylı sistemler ve finans alanları başta olmak üzere yüksek profilli faaliyetlerini yürüten çok uluslu

konglomera¹⁰¹ firmalardan biri hâline dönüşmüştür (Investopedia, 2025). Dolayısıyla, Edison'un mimari ve mekânsal aydınlatma tasarımının ilk örnekleri dâhil olmak üzere, aydınlatma alanında yaptığı çalışmaların çeşitliliği, devamında aydınlatma çalışmalarında çok sayıda alt kırımların ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

19.yy. ve 20.yy.'ın ilk çeyreği aralığında, aydınlatma/ optik laboratuvarları bilimsel araştırmaların yürütüldüğü, genel olarak üniversite ve enstitü bünyesinde kurulan veya bir bilim insanı, araştırmacı veya mucidin kendi çalışmaları için kurduğu yapılarıdır. Edison'un 19.yy.'ın dördüncü çeyreğinde başlayan çalışmaları sonucu optik çalışmaları ve laboratuvarları; aydınlatma ve optik olarak iki kola ayrılırken kurduğu laboratuvarlar, Ar-Ge ve fab-lab özelliğiyle 20.yy.'ın endüstriyel, uygulamalı laboratuvarlarının ilk örneklerini oluşturmuştur (Bkz. Şekil 6.3).



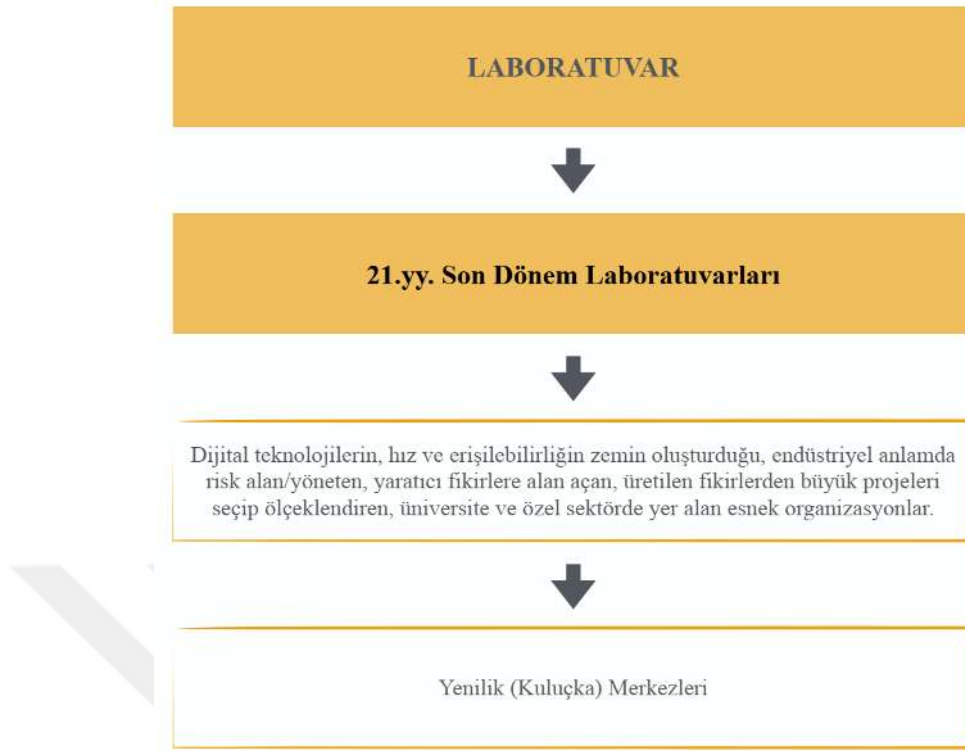
Şekil 6.3. 19.yy. – 20.yy. Laboratuvarları

¹⁰¹Konglomera, farklı sektörlerde doğrudan rakip olmayan en az iki şirketin kontrol hissesine sahip olan şirket veya şirketler grubudur. Bir ana şirket ve iştiraklerinden meydana gelen konglomeralar çoğunlukla çokuluslu ve çok sektörlü yapılardır (Investopedia, Erişim tarihi: 25.11.2025).

Aydınlatma/ optik laboratuvarlarının¹⁰² Edison'un çalışmaları ile ayrılmış olması, ilgili alanların birbirlerinden tamamen izole olmasına neden olmamıştır. Optik fiziğindeki gelişmeler arttıkça, optik ve aydınlatma laboratuvarlarının ortak çalışma alanlarını da arttırmıştır.

Tezin ikinci bölümünde kısaca açıkladığı üzere, 20.yy. başı itibariyle ortaya çıkan endüstriyel laboratuvarların günümüze yaklaştıkça; bilim insanları ve mühendislerinin yanı sıra ekonomi, sosyal bilimler, tasarım veya güzel sanatlar gibi farklı alanlardan gelen uzmanlardan oluşan geniş ekipleriyle ve ayrıca, elektronik ve dijital teknolojilerde yaşanan gelişmelerin getirdiği imkânlarla, çeşitli iletişim ve çalışma ağlarına sahip, disiplinlerarası büyük kurumsal laboratuvarlara dönüştüğü aşikârdır. (Bkz. Şekil 6.3). Diğer yandan, laboratuvar gelişiminde yaşanan bu dönüşüm; Fa- Lab ve tasarım laboratuvarları, merkezi araştırma ve geliştirme laboratuvarları veya büyük kurumsal elektronik laboratuvarları gibi laboratuvar çeşitlerini ortaya çıkarmıştır (Bkz. Şekil 6.3). Günümüze gelindiğinde ise bu laboratuvar çeşitliliğine; dijital teknolojilerin hız ve erişilebilirlik zemini üzerinde endüstriyel anlamda risk alıp yönetebilen, yaratıcı insanlara alan açan, üretilen fikirlerden uygun projeler seçip ölçeklendirebilen, üniversite ve özel sektörde yer alan esnek organizasyonlar olarak tanımlanabilecek kuluçka/ yenilik merkezleri eklenmektedir (Bkz. Şekil 6.4). Bu merkezlerin kurulum, mekân, işletme, zaman, insan kaynağı, üretim maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda sayılarının hızla artmasının sebepleri anlaşılabilir olmaktadır.

¹⁰²Genel olarak lens ve aydınlatma araştırmaları, Edison çalışmalarına kadar optik fiziği çalışmaları altında yer almaktaydı (Y.N.).



Şekil 6.4. 21.yy. Laboratuvarları

Ayrıca, dördüncü bölümde ele alınan aydınlatma/ optik laboratuvarlar alanında uluslararası ve ulusal resmî mevzuatlar konusunda yapılan inceleme sonuçlarında aydınlatma/ optik laboratuvarlarına özel protokollerin bulunmadığı açıklanmıştı. Diğer yandan laboratuvarlarla ilgili çeşitli alanlarda (Bkz. Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Tablo 2.2); aydınlatma, optik ve laboratuvarlar konularının farklı alanlarında bir kısmıyla zorunlu veya gerekli olan birçok protokollün (Bkz. Şekil 4.2, Tablo 4.8, Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Ek- 6) aydınlatma/ optik laboratuvarlarında aktif olarak uygulanmakta olduğu belirlenmiştir.

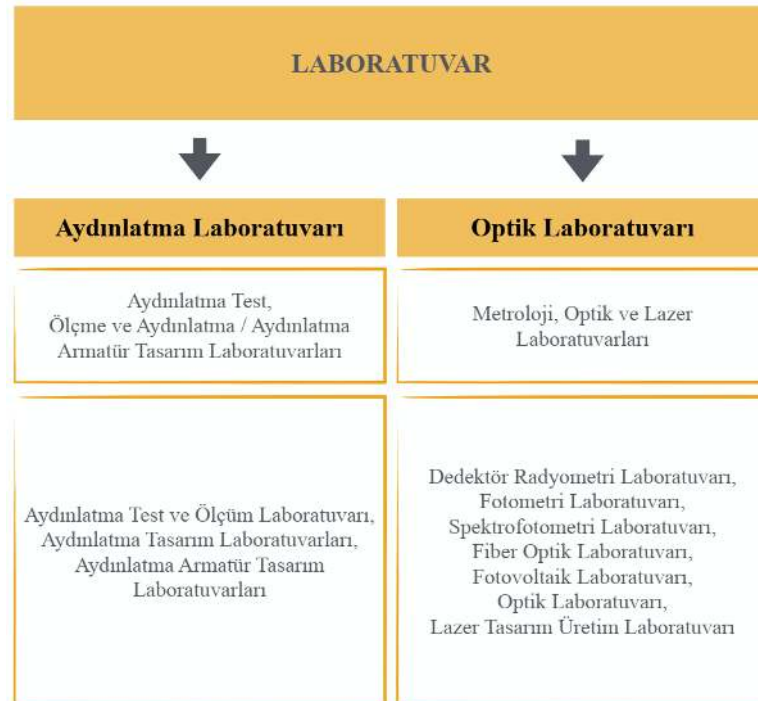
Yapılan tez çalışmasının sınırlılıkları çerçevesinde Türkiye’de bulunan akreditasyonları tamamlanmış aydınlatma/ optik laboratuvarları¹⁰³ konusunda açık kaynaklardan erişilebilir bilgileri göz önünde bulundurularak yapılan incelemelerde elde edilen veri ve bulgular, teorik incelemelerle elde edilen bilgilerle örtüşürken, bu

¹⁰³Tez çalışması kapsamında ziyaret edilmek üzere belirlenen aydınlatma/ optik laboratuvarlarının ziyarete kapalı olmaları nedeniyle, laboratuvar yetkilileri ile yapılan görüşmelerde; literatür ve doküman incelemelerinde elde edilen veri ve bulgular paylaşılmış ve bunların geçerli olduğuna dair teyit alınmıştır. Bunların dışında yer alan veri ve bulgular, ilgili laboratuvarların açık kaynaklarından elde edilmiştir (Y.N.).

laboratuvarlara ait belirlenen 7 temel ölçüt ve alt kırımlarına dair bazı detayların ortaya çıkmasını sağlamıştır (Bkz. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6).

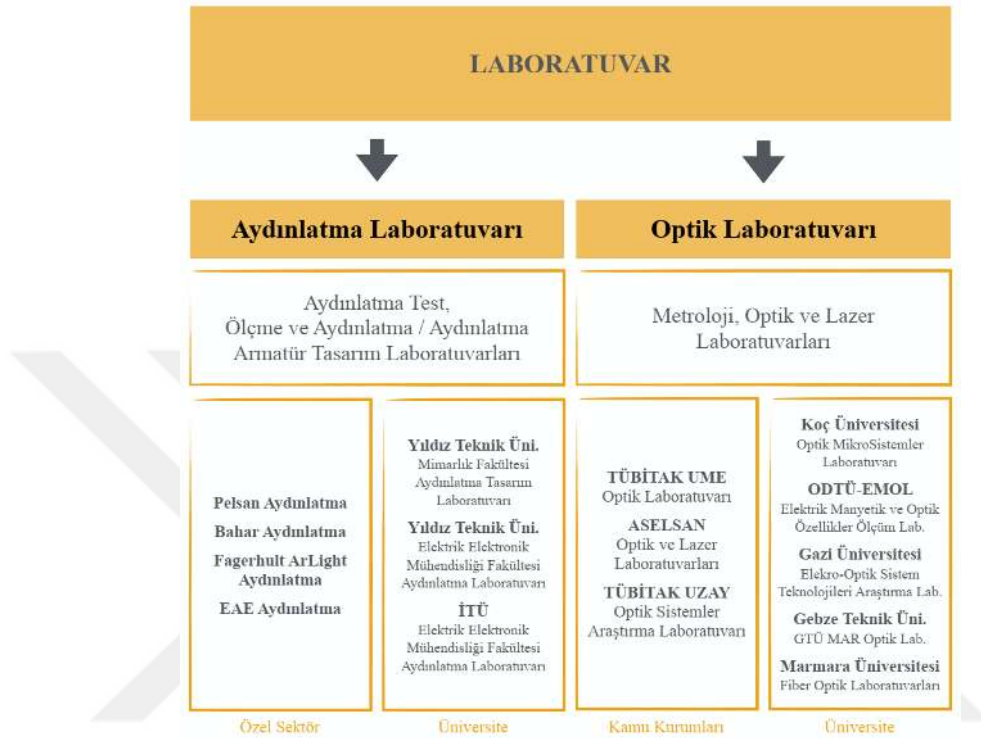


Şekil 6.5. Aydınlatma/optik laboratuvarları sahibi kurum ve kuruluşların genel sınıfları



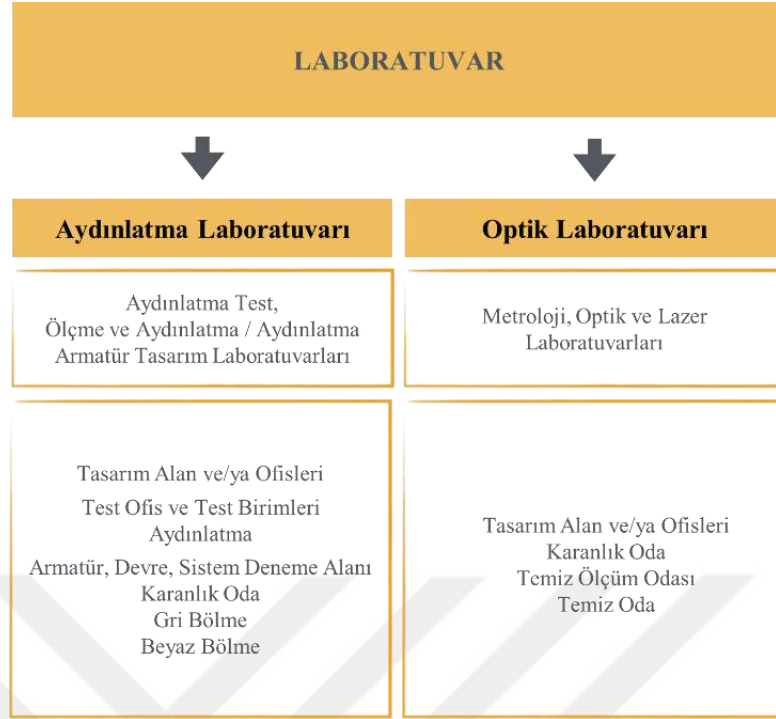
Şekil 6.6. Aydınlatma/optik laboratuvar çeşitleri

Diğer taraftan, yapılan araştırmanın diğer bir sonucu olarak; Türkiye’de bulunan aydınlatma ve optik laboratuvarından çalışmaları ile öne çıkanlarında tespiti yapılabilmektedir (Bkz. Şekil 6.7)



Şekil 6.7. Aydınlatma/ optik laboratuvarları faaliyet alanları ve ilgili kurumlar

Tez kapsamında yapılan çalışmada aydınlatma/ optik laboratuvarlarının faaliyet alanlarına göre laboratuvarların kurulumunda bir kısım aynı işlevlere ait mekânları olmasının yanında alanlarına özel farklı mekânların mevcut olduğu belirlenmiştir (Bkz. Şekil 6.8).



Şekil 6.8. Aydınlatma/ optik laboratuvar mekânları

6.1.1 Aydınlatma laboratuvarı

Tez kapsamında yapılan analizler sonucu; genel olarak laboratuvarların gösterdiği evrilme sürecinin, aydınlatma/ optik laboratuvarları için de geçerli olduğu görülmektedir. Özellikle, mimari ve içmimari aydınlatma tasarımı alanında; gerçekçi görselleştirme sağlayan, iç, dış ve acil durum aydınlatma tasarımı yapmaya uygun Relux (Relux, 2025) ve DIALux (DIALux, 2025) aydınlatma tasarım ve simülasyon programları, yardımcı programı olarak AutoCAD ve LightScape yazılımını da içeren 3ds Max (AUTODESK, 2025) programları gibi yaygın şekilde kullanılan CAD programlarının geliştirilmesi nedeniyle, artık bu faaliyet alanı için özel olarak bir laboratuvar mekânına ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak aydınlatma tasarım eğitimi alanında aydınlatma laboratuvarının işlevini koruduğu belirlenmiştir.

Aydınlatma laboratuvarları içinde eğitim amaçlı laboratuvarlar bir çeşit olarak ortaya çıkmaktadır. İçmimar Korhan Şişman gibi mimari ve içmimar alanında çok başarılı aydınlatma tasarımcısı olarak yer alan profesyonellerin, sayısal tasarım süreçlerinde yetkin oldukları çok açıktır. Bu profesyonellerin sayısal tasarımla planladıkları aydınlatmanın, nicel ve nitel kalitelerinin gerçek uzam zamanda nasıl var olacağını yeterli ve yerinde tespit edebilmektedir. Öğrencilerin ise muhatap oldukları projeler için aydınlatma çözümü önerebilmeleri; sanal mekân- zaman ile gerçek mekân-

zaman arasında var olan farklılığın ne şekilde oluştuğunu öngörebilmelerine bağlıdır. Bu noktada tasarım eğitimi amaçlı aydınlatma laboratuvarları, önerilen aydınlatma çözümünün reel mekân- zaman düzeninde ışık ve aydınlatmanın nicel ve nitel değerlerinin nasıl görülüp, algılandığı konusunda geniş bilgi ve deneyim sahibi olmalarını olanak tanımaktadır¹⁰⁴. Tezin ikinci bölümünde genişçe açıklanan Humboldt eğitim ilkelerinin etkinliği, her ne kadar günümüzde farklılaşmış olsa da eğitim amaçlı laboratuvarların gerekliliği, temel ilkelerin geçerliğini göstermektedir. Bu farkındalıkla Türkiye’de eğitim amaçlı ilk aydınlatma tasarım laboratuvarı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi’nde açılmıştır.

Akustik (özellikle iç mekân akustiği ve gürültü denetimi), mimari ve kentsel aydınlatma konularında Türkiye’nin ilk uzman akademisyeni olan, 1964 yılında Türkiye’nin ilk yerli ampul üreten Tekfen Ampul Fabrikası’nda TEKFEN Aydınlatma Enstitüsü’nü kuran İ. Şazi Sirel¹⁰⁵, Türkiye’de ilk defa Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi’ni bünyesinde Yapı Fiziği Bilim Dalı’nı kurmuştur. Sonrasında Sirel, kurduğu anabilim dalına bağlı olarak, 1978 yılında Yapı Fiziği Laboratuvarı ismi altında aydınlatma- akustik laboratuvarını kurmuştur (Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvar Bilgi Sistemi, 2025) (Prof. İ. Şazi SİREL, 2025). Sirel’in, 1968 yılında kapanana kadar devam eden TEKFEN Aydınlatma Enstitüsü’nde olan çalışmalarında kendisinin asistanı olarak aynı alanda çalışmalara başlayan Müjgan Şerefhanoglu Sözen¹⁰⁶ bu laboratuvarın her yönüyle kurulmasını imkânlı kılan akademisyenlerin başında gelmektedir (Sirel, 1996). YTÜ Aydınlatma laboratuvarı; Sirel ve sonrasında Sözen sayesinde bugüne kadar fakülte bünyesinde; çeşitli kurumlardan gelen projelerde dahil, lisans ve yüksek lisans

¹⁰⁴Sayısal tasarımların uygulama şekillerine göre ele alınması önemlidir. Sanal ortamlar için yapılan sayısal tasarımlar kullanıcı/ tüketicisi için görme, algılama farklılığı oluşturmaya da yapılan tasarım kullanıcı/ tüketicisi tarafından reel mekân- zaman içinde algılanacak ise bu durum tasarım ölçütlerinin regüle edilmesine sebep olmaktadır. Tasarımların çoğunlukla baskıya girmesi gereken grafik tasarım alanı, bu konuda farkındalığı yüksek olan alanlardan biridir (Y.N.).

¹⁰⁵İ. Şazi Sirel (1923- 2023), TEKFEN Aydınlatma Enstitüsü , YTÜ- Mimarlık Fakültesi Yapı Fiziği Bilim Dalı , Yapı Fiziği Laboratuvarı ve Yapı Fiziği Yüksek Lisans Bölümü , Yapı Fiziği Uzmanlık Uygulamaları A.Ş. (YFU) ve YFU fotometri laboratuvarı kurucusu; CIE ve L'Association française de l'éclairage AFE (Fransız Aydınlatma Birliği) üyesi, Türk Akustik Derneği (TAKDER) ve ATMK onur üyesi olan uzmanlık alanlarında çok sayıda öncül çalışmalar gerçekleştirmiş, 3 yarıyıl astronomi-fizik öğrenimi görmüş yapı fizikçisi yüksek mimar (Prof. İ. Şazi SİREL, Erişim tarihi: 25.11.2025).

¹⁰⁶Müjgan Şerefhanoglu Sözen, 1937 – 1969 yılları arasında İstanbul Teknik Okulu adı altında eğitim veren ve 1992 yılından bu yana Yıldız Teknik Üniversitesi adını alan okulun mimarlık bölümünden mezun olan, yapı fiziği dalında uzmanlaşmış; mimari akustik, mimari aydınlatma ve renk, ısı- nem ve Güneş Işınımı Denetimi alanlarında çalışmalarda bulunan Türk mimar (TMMOB Mimarlar Odası Bodrum Temsilciliği, 2024).

düzeyinde öğrenci projeleri gerçekleştirilmesinde ve eğitim çalışmalarında gerekli laboratuvar çalışmaları için aktif olarak kullanılmaktadır.

YTÜ Yapı Fiziği- Aydınlatma Laboratuvarı, eğitim amaçlı kurulmuş tam teşekküllü örnek bir laboratuvardır. Öğrencilerin uygulamalı ders gördüğü, seminerlerin verildiği faaliyet alanı dâhil olmak üzere; Lüxmetre¹⁰⁷ ve aynanın kullanıldığı basit bir fotometrik ölçüm sisteminin olduğu karanlık oda (özel olarak tasarlanmış, siyah bir perde ile mekânın diğer faaliyet alanlarından ayrılmış bir bölgedir); her birinde aydınlatma elektrik ve kontrol tesisatı çekili, üç bölmeden oluşan 5 adet gri kabinin yer aldığı gri bölge, iki bölmeli bir kabinin bulunduğu beyaz bölge, farklı sistemlerin aydınlatma armatürlerinin ve devre kurulumlarının denenebildiği, ayrıca akustik çalışmalarının yapılabildiği temel faaliyet alanları bir mekân içinde bütüncül olarak çözülmüş bir yapıya sahiptir. Laboratuvarın, öğrencilerin giriş yaptığı bir ana kapısı ve sorumlu öğretim elemanlarının kullandığı, aynı zamanda çalışma odalarına açılan yan bir kapısı mevcuttur.

YTÜ'nin diğer aydınlatma laboratuvarı, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümünde kurulmuştur. Kurulan bu laboratuvar ışık kaynakları ve armatürlerinin gerekli test ve ölçümlerini yapmak üzere düzenlenmiştir. Bu laboratuvar da tasarımdan ziyade üniversite ve dış kaynaklı projeler için gerekli teknik işlemleri gerçekleştirmektedir. Laboratuvar da bulunan Ulbricht Küresi (ışık toplama küresi veya entegre küre- integrating sphere- olarak da adlandırılır) (Bkz. Görsel 6.3), Gonyofotometre (Bkz. Görsel 6.4) ve bunların LED için olanlarının yanı sıra parıltı kamerası, termal kamera, multifotometre ve spektrum yansıtma (veya gerginlik test kutusu) cihazları ile çalışmaktadır (YTÜ Laboratuvar Bilgi Sistemi, 2025). Başta Gonyofotometre olmak üzere Ulbricht Küresi özel alan ihtiyacı olan cihazlardır. Gonyofotometre karanlık oda içinde kurulmak zorundayken, Ulbricht Küresi açılabilir küre olması bakımından aydınlatılmış alanlarda da kullanılabilir. TÜBİTAK UME¹⁰⁸ gibi çok hassas ölçüm, test ve kalibrasyon yapan kurumlarda karanlık odada kullanılmaktadır.

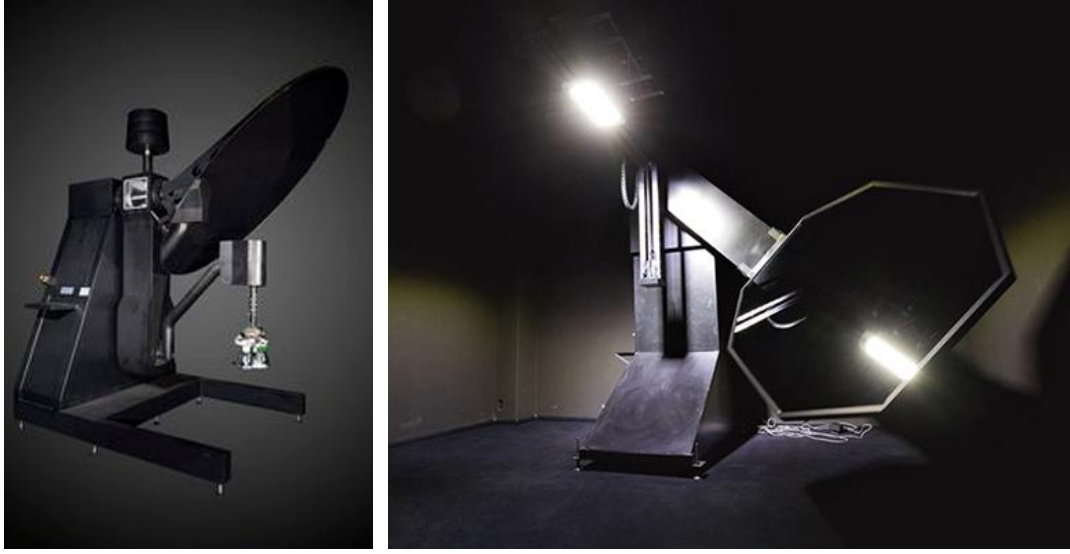
¹⁰⁷Lüxmetre, birim yüzeydeki birim alana düşen ışık akısı (yüzeyi ne kadar aydınlattığı) ölçeridir. Bu ölçünün birimi olarak "Lüx (ayak mumu)" kullanılır (IES, Erişim tarihi: 25.11.2025).

¹⁰⁸TÜBİTAK UME, Türkiye genelinde, kalibrasyon yapan kurumların cihaz ve ürünleri dâhil tüm kalibrasyon ölçümlerini yapan kurumdur (TÜBİTAK UME, Erişim tarihi: 25.11.2025).



Görsel 6.3. *Ulbricht Küresi (Opsytec Dr. Gröbel, 2025)*

Eğitim amaçlı diğer bir üniversite laboratuvarı, İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü’nde yer alan aydınlatma tekniği ve iç tesisat konulu, lisans ve yüksek lisans düzeyinde çalışmalar ve öğrenci projelerinin, sanâyî odaklı ulusal ve uluslararası çalışmaların yürütüldüğü Aydınlatma Teknolojileri ve İç Tesisat Laboratuvarıdır (İTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü, 2025). Öncelikli olarak öğrenci deneyleri için planlanmış olan laboratuvarın birinci bölümünde iç tesisat deney devrelerinin kurulabileceği 10 çalışma masası (ileride bu konuya tekrar değinilmektedir) yer almaktadır. Laboratuvarın ikinci bölümü fotometrik ölçüm bölümü olarak düzenlenmiştir. Bu bölümde, çeşitli lüksmetre, parlıtlı ölçer, UV ışık ölçer, sıcaklık ve nem ölçer, çeşitli avometre gibi cihazların yanı sıra Gonyofotometre ve Ulbricht Küresi gibi özel alana ihtiyacı olan temel cihazlarda mevcuttur (İTÜ Çalışma Grupları, 2025). Aydınlatma Teknolojileri ve İç Tesisat Laboratuvarı dışında, İTÜ Çalışma Grupları içerisinde yer alan Mimarlık Fakültesi’nin Yapı Fiziği Çevre Kontrolü Çalışma Grubu’nun Mimari Aydınlatma Birimi mevcuttur (İTÜ Çalışma Grupları, 2025). Bu birim Elektrik Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına göre çok küçük kapsamlıdır. Mimari Aydınlatma Birimi, 9 adet Luxmetre ve parlıtlı ölçer cihazı ile gerekli ölçüm ve testleri gerçekleştirirken özel alana ihtiyaç göstermemektedir.

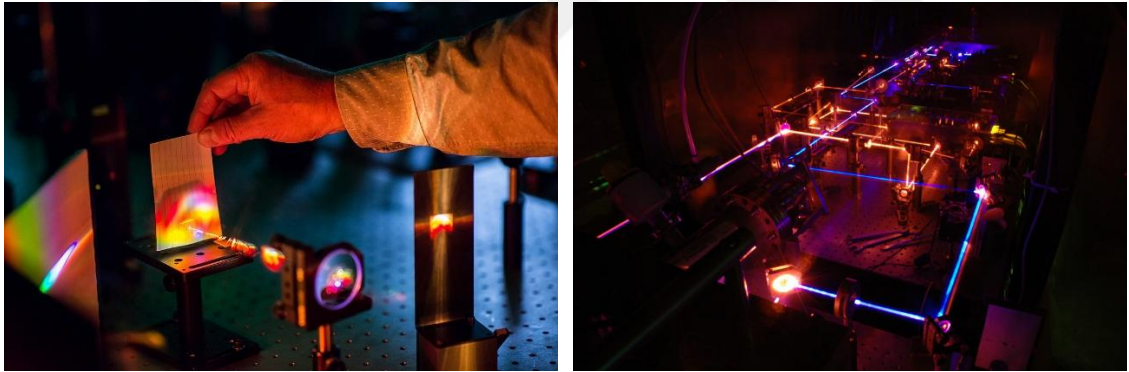


Görsel 6.4. Aynalı Gonyofotometre T4 (Asselum, 2025), Gonyofotometre (GTS, 2025)

İTÜ Enerji Enstitüsü altında yer alan LED Aydınlatma Grubu; Enerji Verimliliği ve Aydınlatma Teknolojileri Laboratuvar, Fotometri ve Radyometri Laboratuvarı olarak iki laboratuvardan meydana gelmektedir. Laboratuvar, ışık kaynakları ve armatürlerin tüm fotometrik ve radyometrik ölçümlerini yapabilecek kapasitede kurulmuştur. Chromametre, luxmetre, Parıltı Ölçer, termal kamera, enerji analizörü, veri toplayıcı sistemlerinin yanı sıra Gonyofotometre, 2 m çaplı ve sıcaklık kontrollü 1 m çaplı iki adet Ulbricht Küresi bulunan laboratuvarda karanlık oda ve gri bölge bulunmaktadır (İTÜ Çalışma Grupları, 2025; İTÜ Enerji Enstitüsü, 2025). Enstitü'nün yüksek lisans düzeyindeki eğitim programları kapsamında projeler yapılmakta, üniversite dışı kurum ve çalışma gruplarıyla çeşitli çalışmaların yanı sıra sektörel eğitim faaliyetlerinde bulunmakta, çeşitli Ar-Ge ortaklıkları gibi alanda birçok işbirliği çalışmalarını yürütmektedir (İTÜ Enerji Enstitüsü, 2025).

Eğitim amaçlı aydınlatma laboratuvarı konusunda dikkati çeken diğer laboratuvar İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümünde yapı fiziği laboratuvarı içinde yer almaktadır. Bilgisayar laboratuvarı, metal, ahşap ve seramik işleri atölyeleri yer alan yapı fiziği laboratuvarında aydınlatma tasarımı konusunda yürütülen çalışmalar, yukarıda değinildiği üzere bilgisayar laboratuvarı bölümünde ve tamamen sayısal tasarım programlarıyla yapılmaktadır (İYTE Mimarlık Bölümü, 2025).

Tez kapsamında eğitim amaçlı aydınlatma laboratuvarları¹⁰⁹ konusunda incelenen laboratuvarlardan sonuncusu; Pelsan Aydınlatma Teknolojileri A. Ş.'nin sosyal sorumluluk projesi kapsamında, İTÜ Aydınlatma Teknolojileri ve İç Tesisat Laboratuvarının birinci bölümü olmak üzere, YTÜ ve Kocaeli Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği fakültelerinde kurduğu aydınlatma laboratuvarlarıdır (Pelsan, 2025). Aydınlatma teknolojileri alanında, ulusal ve uluslararası çalışmalarıyla, yüksek üretim kapasitesiyle, sektöründen en fazla teorik ve uygulama veri ve bilgi üreten en büyük firmalarında biri olan Pelsan, sanâyî eğitim işbirliğine yüksek katkı sağlamak ve alanda iyi eğitilmiş insan kaynağı için kurmaya başladığı bu laboratuvarlar; tek mekândan oluşmaktadır. Bu laboratuvarlarda, çeşitli aydınlatma sistem armatürlerinin örnek olarak panolarda konumlandırıldığı ve öğrencilerin sergilenen aydınlatma armatürlerini kullanarak, temel aydınlatma tekniği ve iç tesisat deney devrelerini kurulabilecekleri deney masaları bulunmaktadır. Aynı zamanda söz konusu laboratuvarların içinde seminer derslerinin verilebilmesine uygun bir faaliyet alanı da mevcuttur. Dolayısıyla bu laboratuvarlar özel alanları içermeyen, tek mekânda çözülmüş sınıf formatına yakın laboratuvarlardır.



Görsel 6.5. *Superior Lazer Spectroscopy (Universit t Kassel, 2025), titreşimsiz optik masası üzerinde kurulu Superior Lazer Spectroscopy düzeneği (Johannes Gutenberg University Mainz (JGU), 2025)*

Tez  alışması kapsamında, Türkiye’de var olan eğitim amaçlı aydınlatma laboratuvarlarından örnek teŗkil eden ve erişilebilir olanlarının değerlendirme sonuçlarından sonra; aydınlatma sektöründe var olan firmalardan, aydınlatma

¹⁰⁹ zyeęin  niversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Araŗtırma Laboratuvarları arasında yer alan Yapı Malzemesi ve Fiziği Laboratuvarı (<https://labs.ozyegin.edu.tr/bmplab/research/>), bina aydınlatmaları, doğal ve yapay aydınlatma sistemleri, aydınlatma enerji verimliliği ve görsel konfor alanlarında araŗtırmalar yürütmektedir (Building Materials and Physics Laboratory, Erisim tarihi: 25.11.2025). Tez kapsamında yapılan araŗtırma sonucu, yapılan araŗtırmalar ve laboratuvar konusunda detaylara ulaŗılamamıŗtır.

laboratuvarları örnek teşkil eden firmaların laboratuvar inceleme sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmadan önce, eğitim amaçlı laboratuvarların değerlendirilmesi kapsamında ortaya çıkan karanlık oda, gri alan/ oda ve beyaz alan/ oda kavramlarının kısaca teknik açıklamaları aşağıda yer almaktadır. (Bkz. Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Aydınlatma/ optik laboratuvarlar veri islenen mekânlar

Karanlık Oda (Bkz. Tablo 6.2); ışık şiddeti dağılımı ve yansımalarının, aydınlık düzeyinin, toplam ışık akısının, ışık açısının, parlaklığın, renk geri verim indeksinin ölçüldüğü ve kamaşma, gölge etkisi analizinin yapıldığı; Gonyofotometre, Spektroradyometre, Düşük Seviye Lüksmetre, Parlaklık Ölçer (Luminance Meter), kamera tabanlı fotometre, Ulbricht Küresi, Fotometre veya yüksek çözünürlüklü Lazer Spektroskopisi (Superior Lazer Spectroscopy), (Bkz. Görsel 6.5) (TÜBİTAK UME, 2025) gibi aletlerin yanı sıra Lüksmetre kullanılarak oluşturulan Işık Şiddeti ve Aydınlık Düzeyi Ölçüm Düzeneği, Renk Ölçüm Sistemi, Işıksal Etki Ölçüm Sistemi veya monokromatör tabanlı Düzgün/Dağınık Geçirgenlik Ölçüm Sistemi (TÜBİTAK UME, 2025) gibi ölçüm ve test için kullanılan optik cihaz, alet ve düzeneklerin yer aldığı; optik, fotometrik test ve ölçümleri için kullanılan, sadece test edilen kaynağın ışığının ölçüm cihazına ulaşmasını sağlayan, ışık kirliliğinin sıfıra yakın olduğu, çok düşük yansımali (<0.1 lx), sıcaklık ve nem kontrollü (ANSI/ IES LM-79-19 standartlarına göre 23 ±2°C ve <%60 RH.) ve özellikle Gonyofotometre'nin doğru ölçüm yapabilmesi için

titreşim izolasyonu gerekmektedir (ANSI/ IES, 2019) kapalı özel mekânlardır (CEN, 2005), (CIE, 1987). Karanlık odaların aydınlatma/ optik test ve ölçüm kriterlerine göre belirlenen bazı teknik ölçütlerinin belirlenmesinde; oda boyutu konusunda ANSI/ IES LM-79-19 Approved Method: Optical And Electrical Measurements Of Solid-State Lighting Products (LED and OLED); duvar yansımaları konusunda DIN 5032-7 Photometry- Part 7: Classification of illuminance meters and luminance meters; ortam aydınlığı konusunda CIE The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions; arka plan parlaklığı konusunda ISO/ CIE 19476:2014 Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters (ISO, 2014); ortam sıcaklığı konusunda CIE 247:2021 Guide for the Gonioradiometric Measurement of Upper Air Ultraviolet Germicidal Irradiation Luminaires ve kaçak ışıksız ve duvar/ yüzey yansıma oranları için EN 13032-1: Light and Lighting – Measurement and Presentation of Photometric Data standart protokolleri kabul edilmektedir (Bkz. Tablo 6.2 ve Tablo 6.3).

Son olarak yukarıda yer aldığı üzere, karanlık odalarda yer alması gereken özel alet, cihaz ve düzeneklerin boyutları ve çalışmaları için gerekli olan mekân ihtiyaçlarına göre kurulmak zorunda olan karanlık odalar, boyutları ve zeminlerinin ağırlık kaldırma kapasiteleri büyük odalardır. Gonyofotometre ile yapılacak testlerin en fazla 2 ile 30 metre arasında değişmesi, en büyük boy Gonyofotometre'nin yüksekliğinin 5,2m. olması gibi ölçüler, odanın ve içinde bulunan araç gereç ve tesisatlara insan ölçeğinde erişimin planlanmasını gerektirmektedir. Karanlık odaların zemin tavan, yanyüzey kaplamaları ve yükseklik göz önünde bulundurulduğunda; teknik çalışmalar için karanlık odalara tavandan erişim imkânı bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 6.2. Karanlık Oda (Dark Room) / Belirlenen ilke ve ölçütleri

Özellikler	Teknik Özellikler	Standartlar	Ölçüm Cihazları
Ortam Aydınlığı	<0.1 lx (ışık kirliliği sıfıra yakın)	CIE 1987 ISO/CIE 19476:2014	Düşük seviye lüksmetre
Yansım Kontrolü	Duvar yansıması <%1 (mat siyah yüzeyler)	DIN 5032-7 EN 13032-1	Parlaklık ölçer (Luminance Meter)
Termal Kontrol	Sıcaklık: 23±2°C Nem: <%60 RH	ANSI/IES LM-79-19	Termal kamera
Titreşim İzolasyonu	Gonyofotometre için özel izolasyon sistemi (≤0.01g RMS)	CIE 247:2021	Titreşim analiz cihazı
Kullanılan Cihazlar	- Gonyofotometre - Spektoradyometre - Ulbricht Küresi - HDR kamera sistemleri - Lazer Spektroskopisi	TÜBİTAK UME 2025	Işık Şiddeti ve Aydınlık Düzeyi Ölçüm Düzeneği Renk Ölçüm Sistemi Işıksal Etki Ölçüm Sistemi Monokromatör tabanlı Düzgün/Dağınık Geçirgenlik Ölçüm Sistemi
Oda Geometrisi	Minimum ölçüm mesafesi ≥5x test edilen kaynağın boyutu	ANSI/IES LM-79-19	3D tarayıcılar
Elektromanyetik Şartname	RFI/EMI korumalı kabin (≤3 V/m)	IEC 61000-4-3	EMI test cihazları
Havalandırma	- Ses seviyesi <25 dB(A), - Partikül filtresi (ISO 7 sınıfı)	ISO 14644-1	Anemometre
UV Ölçüm Kapasitesi	200-400 nm aralığı	CIE 247:2021	UV spektoradyometre
Lazer Güvenliği	EN 60825-1 uyumlu lazer emniyet sistemi	EN 60825-1	Lazer güç ölçer
Acil Çıkış Aydınlatması	650 nm kırmızı LED (CIE DS 0.1-10 lx)	CIE DS	Fotometre

Tablo 6.3. *Karanlık Oda (Dark Room) / Belirlenen ilke ve ölçütleri- Ek*

Ek Özellikler ve Detaylar	Teknik Özellikler
UV Ölçüm Kapasitesi	200-400 nm aralığı (CIE 247:2021)
Lazer Güvenliği	EN 60825-1 uyumlu lazer emniyet sistemi
Kablo Yönetimi	EMI korumalı fiber optik bağlantılar
Acil Çıkış Aydınlatması	650 nm kırmızı LED (CIE DS 0.1-10 lx)
Oda Boyutu	ANSI/IES LM-79-19 standartlarına uygun olarak belirlenir (Örn. Taban Alanı: 8m x 10m, Tavan Yüksekliği: 4m, Zemin Yük Kapasitesi: 500 kg/m ²)
Arka Plan Parlaklığı	ISO/CIE 19476:2014 standardına göre kontrol edilir
Kaçak Işık	EN 13032-1 standardına göre <0.1 lx olmalıdır
Duvar Yüzeyleri	DIN 5032-7'ye göre <1 yansıtımlı mat siyah kaplama

Gri Oda/ Alan (Bkz. Tablo 6.4); aydınlatma armatürlerinin/ ışık kaynaklarının renksel geri verim indekslerini, ışığın renk karakterini belirleyen renk sıcaklıklarını (ISO, 2019), ışık şiddeti dağılımını, parlaklık ve kontrast oranlarının ölçüldüğü, 1 lx'den düşük aydınlık düzeyi olan (CIE, 2004), yüzeylerinin spektral düzgünlüğünün $\pm 5\%$ (400-700 nm) (ISO, 2009), aydınlık etkeni $18-20 (\pm 2\%)$ olan Munsell N&-N8 mat gri (CIE, 2004) renkteki özel oda, alan veya kabinlerdir. Gri oda/ alan için özel geliştirilmiş bir standart bilgisine ulaşamamıştır, ancak yukarıda sıralanan teknik özellikler kapsamından altı standart protokolünden bahsedilebilir. Bunlar genel olarak; renk nötralizesi için CIE 015:2018, Colorimetry; görüntüleme ortamı için ISO 3664:2025 Graphic Technology and Photography- Viewing Conditions; fotometri (ışık ölçümü) için ANSI/ IES LM-79-19 Approved Method: Optical And Electrical Measurements Of Solid-State Lighting Products (LED and OLED); yansıma kontrolü için DIN 5033- 7 Colorimetry- Part 7: Measuring conditions for Object Colours ve son olarak kullanılacak malzeme standartları için ASTM E1477 Standard Test Method for Luminous Reflectance Factor of Acoustical Materials by Use of Integrating-Sphere Reflectometers standart protokolleri olarak sıralanabilir. Son olarak bu oda veya alanlarda temel olarak,

Spektrofotometre, Kolorimetre, Lüxmetre, Gonyofotometre cihazlar ve kamera tabanlı ölçüm sistemleri kullanılmaktadır (CIE, 2004), (Bkz. Tablo 6.4 ve Tablo 6.5).

Tablo 6.4. Gri Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Parametre	Teknik Özellikler	İlgili Standartlar
Tanım ve Kullanım Amacı	Işık kaynaklarının fotometrik, renksel ve dağılım özelliklerinin ölçüldüğü kontrollü ortam	-
Yansıtma Özellikleri	Aydınlık etkeni: %18-20 (± 2) Spektral düzgünlük: ± 5 (400-700 nm) Munsell N7-N8 mat gri renk	CIE 2004, ISO 2009
Renk Nötralitesi	Spektral olarak nötr yüzeyler (CIE Lab: $L \approx 50$, $a \approx 0$, $b \approx 0$) Renk sapması yok (L: Rengin açıklık veya koyuluk derecesini gösterir. a (Kırmızı-Yeşil Ekseni): Rengin kırmızı veya yeşil bileşenini gösterir. b (Sarı-Mavi Ekseni): Rengin sarı veya mavi bileşenini gösterir.)	CIE 015:2018 (Colorimetry)
Aydınlık Seviyesi	≤ 1 lx (karanlık ortam şartları)	CIE 2004
Ölçüm Metrikleri	CRI (Renksel Geri Verim İndeksi) Renk sıcaklığı (CCT) Işık şiddeti dağılımı Parlaklık/kontrast oranları	ISO 2019, ANSI/IES LM-79-19

Tablo 6.4. (devamı) Gri Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Parametre	Teknik Özellikler	İlgili Standartlar
Yüzey Malzemesi	Matte (parlaksız) kaplama Difüz yansıtma Statik toz tutmayan	ASTM E1477 (Malzeme standardı)
Görüntüleme Koşulları	Kontrollü aydınlatma Renk doğruluk için optimize edilmiş ortam	ISO 3664:2025 (Graphic Technology)
Yansımaya Kontrolü	Geometrik yansımaya minimize edilmiş 8° açılı duvar tasarımı	DIN 5033-7 (Colorimetry)
Ölçüm Cihazları	Spektrofotometre Kolorimetre Lüksmetre Gonyofotometre Kamera tabanlı sistemler	CIE 2004
Fiziksel Özellikler	Sıcaklık: 23±1°C Nem: %50±5 RH Ses yalıtımı: ≤30 dB	ISO 17025 (Laboratuvar akreditasyonu)
Havalandırma	Düşük gürültülü HVAC (<30 dB) Işık sızdırmaz hava kanalları	-

Tablo 6.5. Gri Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- Ek

Ek Özellikler ve Detaylar	Teknik Özellikler
Oda Duvarları	Duvarlar genellikle 8° açılı tasarlanarak ışık tuzakları önlenir
Havalandırma	Isı artışını engellemek için sessiz HVAC sistemleri (≤ 30 dB)
Kapılar	Işık sızdırmaz, manyetik contalı
Zemin	Statik elektriği önleyen antistatik kaplama
ANSI/IES LM-79	Özellikle LED/OLED testleri için kritiktir
Munsell N7-N8 renk skalası	Yüzeylerin %18-20 yansıtma sağlamasını garantiler

Son olarak Beyaz Oda/ Alan (Bkz. Tablo 6.6); toplam ışık akısının, parlaklık ve ışık şiddeti dağılımının, aydınlık düzeyinin homojenliğini, renk geriverim indeksini, ışık yönü ve gölge etkisi ve son olarak renk sıcaklığı ve metamerizm¹¹⁰ ölçümlerinin yapıldığı (ISO, 2019); yüzeylerinin spektral düzgünlüğünün $\pm\%5$ (400-700 nm) olması istenen (ISO, 2009), ANSI/ IES LM-79-19 standartlarına göre sıcaklık ve nem, $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ve $<\%50 \pm 10\text{RH}$. aralıklarında olmalı (ANSI/ IES, 2019), ISO 8995-1'e göre ışık dağılımının %85'ten büyük olduğu, parlaklık ve kontrast oranı %80'den yüksek (ISO, 2002) mat beyaz boya (örneğin NASA onaylı S13G/LO White Paint (NASA, 1999)) ile boyanmış özel mekân veya alanlardır (Bkz. Tablo 6.6 ve Tablo 6.7). Işık ölçümlerinde kullanılan beyaz odalar, temel olarak Ulbricht Küresi (ışık toplama küresi veya entegre küre- integrating sphere- olarak da geçer) ile benzer işlevi gören ancak farklı uygulama alanlarına sahip sistemlerdir. Beyaz odalarının Ulbricht Küresinden yapısal olarak önemli farkı boyutları ve formu, işlev olarak ise beyaz odalarda yapılan ölçümlerin, uzaklık, açı, yansıma kayıpları konusunda geometrik düzeltmeler gerekmektedir. Beyaz odaların boyutları ve formu ihtiyaca göre düzenlenebilirken, özel üretim olmadığı takdirde çapları 0,25m., 0,5m., 1m. veya 2m. olabilen Ulbricht Küresi mevcuttur. Beyaz odalarda kullanılan en temel cihaz Lüksmetre ve Işık dağılımını haritalama, renk tutarlılığını doğrulama, gölge etkilerinin analizi ve klasik fotometrik cihazlara göre yüksek

¹¹⁰Metamerizm; ışık kaynağına bağlı renk değişimi sorunu. Aynı ışık kaynağı altında uyumlu görülen iki renk, ışık kaynağı değiştiğinde uyumsuz görünebilme durumu (IES, 2021).

hassasiyetle ölçüm yapan HDR kamera sistemleridir. YTÜ Yapı Fiziği- Aydınlatma Laboratuvarı'nda olduğu gibi mimari ve içmimari aydınlatma laboratuvarlarında beyaz alan veya beyaz kabinler kullanılmaktadır. Burada yapılan çalışmalar da Ulbricht Küresi'nden farklı olarak; ışık yönü, gölge ve rengi gibi plastik değerlerinin fiziki ortamda çıplak gözle algılanmasını sağlamaktadır.



Tablo 6.6. Beyaz Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Parametre	Teknik Özellikler	Standartlar	Ölçüm Cihazları	Fiziksel Koşullar	Uygulama Alanları
Yansıtma Özellikleri	- Yansıtma ≥ 85 - Spektral düzgünlük ± 5 (400-700 nm) - NASA S13G/LO beyaz boya	ISO 2009, NASA 1999	Spektroradyometre	Sıcaklık: $23 \pm 2^\circ\text{C}$	LED/OLED testleri
Renk Doğruluğu	- CRI ölçümü - Metamerizm analizi - Renk tutarlılığı	ISO 2019, CIE 015:2018	HDR kamera sistemleri	Nem: $< 50 \pm 10$ RH	Mimari aydınlatma tasarımı
Aydınlık Homojenliği	- Lüks dağılım homojenliği - Parlaklık/kontrast oranı ≥ 80	ISO 8995-1, ISO 2002	Lüksmetre	Havalandırma: < 30 dB	Otomotiv aydınlatması
Geometrik Özellikler	- Açısal ışık dağılımı - Gölge analizi - Uzaklık düzeltmeleri	ANSI/IES LM-79-19	Gonyofotometre	Ses yalıtımı: ≤ 35 dB	Tıbbi ışıklandırma
Termal Kontrol	- Isı yönetimi - LED sürücü stabilizasyonu	ANSI/IES 2019	Termal kamera	Işık sızdırmaz yapı	Uzay aydınlatma sistemleri
Yapısal Tasarım	- Modüler duvar sistemi - 8° açılı köşeler - Tavan yüksekliği ≥ 3m	DIN 5033-7	3D ışık haritalama yazılımları	Antistatik zemin	Sinema/stüdyo aydınlatması
Ölçüm Metodolojisi	- Direkt/indirekt ölçüm - Geometrik düzeltmeler - Referans ışık kaynağı	CIE 70, ISO 19476	Ulbricht küresi (karşılaştırmalı)	Manyetik kapı conta ları	Endüstriyel tesis aydınlatması

Tablo 6.7. Beyaz Oda (Alan)/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- Ek

Ek Özellikler ve Detaylar	Teknik Özellikler
NASA S13G/LO Boya	%98.1 yansıtma (300-2500 nm)
HDR Kamera Aralığı	0.1-1,000,000 cd/m ²
Metamerizm İndeksi	MI ≤0.5 (CIE 224:2017)
Geometrik Düzeltme	±%2 doğruluk (ISO 23539:2023)

Eğitim amaçlı aydınlatma laboratuvarlarından sonra; Ulusal aydınlatma sektöründe yer alan, bünyesinde aydınlatma laboratuvarları olan birçok firmanın arasından, özellikle akreditasyonları tamamlanmış, bünyelerinde aydınlatma armatür ve sistem tasarımları çalışmalarını yürütün, hem kendi ürünlerinin hem de ulusal (Pelsan, Arlight gibi bazı firmalar uluslararası talepleri de karşılamaktadır) sektörden gelen talepler doğrultusunda, aydınlatma armatürlerinin test, ölçüm ve kalibrasyon işlemlerini belgeli olarak yapabilecek aydınlatma laboratuvarları incelenmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar doğrultusunda Pelsan Aydınlatma (pelsan.com.tr), Arlight Aydınlatma A.Ş. (arlight.net), EAE Aydınlatma (eaeaydinlatma.com) ve Bahar Aydınlatma (baharaydinlatma.com.tr) firmasının Labbee Aydınlatma Laboratuvarları (labbee.com.tr) etrafınca incelenmiştir. Bu tezin ikinci bölümünde yer alan alt kırımlarıyla birlikte 7 maddede sıralanan ilke ve ölçütlere (Bkz. Ek-13) göre toplanmış, incelenmiş verilerin sonucu söz konusu üç laboratuvarın TS EN ISO/IEC 17025 (TS EN ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Gereklilikler) standardına göre, Labbee TS EN ISO/IEC 17065 (ISO/IEC 17065:2012 Uygunluk değerlendirme- Ürün, proses ve hizmet belgelendirmesi yapan kuruluşlar için şartlar) standardına göre TÜRKAK Akreditasyon sahibi firmalardır. Özel olarak Bahar Aydınlatma laboratuvarı Labbee TS EN ISO/IEC 17025 standartlarına göre TÜRKAK'dan akreditasyon sürecindedir. Ayrıca bu laboratuvarların, ISO 9001, ISO 14001, ISO 27002, ISO 45001, ISO 14001, ISO 14064, ISO 50001, ISO 28000¹¹¹ gibi genel ISO sertifikalarının dışında ISO, CIE, IES, ANSI,

¹¹¹EAE Aydınlatma A.Ş. ürünleri için EPD sertifikaları bulunmaktadır (Y.N.). EPD Environmental Product Declarations (Çevresel Ürün Beyanı), ISO 14025 ve EN 15804 protokollerine uyumlu olarak, üreticinin ürün ve hizmetlerinin çevresel etkisini raporlayan uluslararası bir sistem (EPD System, Erişim tarihi: 25.11.2025).

DIN gibi kuruluşların aydınlatma ve optik konularında geliştirdikleri standartlardan; laboratuvarlarında bulunan cihazların, test ve ölçümlerin belirlenmiş standart belgeleri bulunmaktadır. Diğer yandan bu firmaların laboratuvarlarında kullanılan cihazların kalibrasyonları, senede iki kez düzenle olarak, resmî kurumlardan kalibrasyon yetkisine sahip ulusal veya uluslararası firmalar tarafından yapılmaktadır. Bahar Aydınlatma dışında diğer üç firmanın, ürünlerinde CE işaretini kullanma yetkisine sahiptir¹¹².

Aydınlatma armatürleri test ve ölçümlerini yapan bu laboratuvarlarda, ilgili standart uygulamalarıyla aşağıda yer alan temel testler yapılmaktadır:

IK Darbe Testi. IEC 62262 (Elektrikli ekipmanlar için muhafazaların dış mekanik darbelere karşı sağladığı koruma dereceleri (IK kodu)). Test çeşitleri, cihazlar ve ilgili standartları; Çekiçli Darbe Test Cihazı (Pendulum Impact Tester)- IEC 60068-2-75, Yaylı Çekiç (Spring Hammer- IEC 60598-1 ve EN 60068-2-75 uyumlu yaylı çekiç seti) ve Düşen Ağırlık Testi (Free Fall Impact Tester) (Bkz. Görsel 6.6).



Görsel 6.6. Düşen ağırlık test cihazı (ASLI, 2025) ve çekiçli darbe test cihazı (Guangzhou HongCe Equipment Co., Ltd., 2025)

'Nem', 'Toz', 'Isı' gibi Dış Etmen Testleri ve Termal Testleri. Yağmur Test Kabini (Rain Test Chamber), büyük armatürler için yağmurlama sisteminin kurulduğu test odası ve Su Püskürtme Nozulu (Spray Nozzle), tam suya daldırma testi için su tankı (Immersion Tank), buhar ve nem için İklim Test Kabini (Climate Chamber), sıcaklık ve

¹¹²Aydınlatma laboratuvarlarında kullanılan temel cihaz ve alet listesi Ek- 5'te verilmiştir.

nem için Sabit Sıcaklık ve Nem Test Kabini (Environmental Chamber), Termal Çevrim (Isı Soğuk) Test Kabini (Thermal Shock Chamber), Termal Kamera ve IR Termometreler kullanılmaktadır. Testlerin temel standart protokolü IEC 60068 standartlarıdır. Bu standart protokolünün IEC 60068-2-75:2014 Çevresel testler- Bölüm 2-75: Testler- Test Eh: Çekiç testleri, özel olarak sıcaklık ve nem için IEC 60068-2-30 alt standart ve IEC 60068-1 Çevresel test- Bölüm 1: Genel ve rehberlik standartları uygulanmaktadır (Bkz. Görsel 6.7).



Görsel 6.7. Yağmur test kabini (Indiamart, 2025) ve iklimlendirme test kabini (EUROLAB, 2025)

Isı Dayanım Testleri. Bu test için IEC 60695 (Yangın tehlikesi testi ana protokolün altında yer alan 11, 12, 13, 5 standartları) göre, yanmazlık sınıfını belirlemek için UL 94 Yanmazlık Test Cihazı, alevlenmeye direnç testi için Kızaran Tel Test cihazı (Glow Wire Test), küçük alev kaynaklarına dayanma testi için İğne Alev Test cihazı (Needle Flame Test, kablolar ve plastik bileşenlerin alev yayılımını test (bu testte IEC 60332 Serisi¹¹³- Yangın koşullarında elektrik ve optik fiber kablolar üzerinde yapılan testler, IEC 60332-1 (Tek tel testi) ve IEC 60332-3 (Demet kablo testi protokolü kullanılmaktadır) için Yatay/Dikey Alev Test Kabini kullanılmaktadır (Bkz. Görsel 6.8).

¹¹³IEC 60332 Serisi bu deneylerde, deney kabini kullanacak olan bir teknisyenin görevlendirilmesini ve tüm test işlemlerinin; gerekli olan kullanım ve güvenlik eğitimlerinin yetkili kurum tarafından verildiği bu görevlinin yapmasını şart koşmaktadır.



Görsel 6.8. Kızaran tel test cihazı (SCR Elektronik PVT. LTD., 2025) ve iğne alev test cihazı (LISUN GROUP, 2025)

Yüksek Gerilim Testi ve Yalıtım Testi. Bu testlerle ilgili IEC 60112 (Kati yalıtım malzemeleri- Yüzeysel kaçaklar ile ilgili mukayese ve dayanıklılık indislerinin belirlenmesi metodu) genel standart protokolü uygulanmaktadır. Cihaz olarak; Yüksek Gerilim Test Cihazı (Hi-Pot Tester/Dielectric Strength Tester), İzolasyon Direnci Test Cihazı (Insulation Resistance Tester) (izolasyon direnç testi için IEC 60598-1 standart protokolü izlenmektedir), Yüzey Kaçak Yolu (Creepage) ve Hava Aralığı (Clearance) Ölçüm Cihazları kullanılmaktadır (Bkz. Görsel 6.9).



Görsel 6.9. Yüksek gerilim test cihazı (SCR Elektronik PVT. LTD., 2025) ve izolasyon direnci test cihazı (MarMonix, 2025)

Işık Geçirgenlik Testleri. Malzemelerin ışık geçirgenlik ve yansıma oranlarını ölçmek için Spektrofotometre (Spectrophotometer- ASTM D1003 standart protokolü),

difüz¹¹⁴ malzemelerin toplam ışık geçirgenliğini ve renk tutarlılığını ölçmek için Ulbricht Küresi (CIE 130 standart protokolü) ve Spektrometre, ASTM D1003- Şeffaf Plastiklerin Pus ve Işık Geçirgenliği için Standart Test Yöntemi (ASTM, 2000) standardına göre malzemelerin bulanıklık ve netliklerini ölçmek için Haze Ölçer (Haze Meter), armatürün açısal ışık dağılımını ve geçirgen malzemelerin optik etkisini analiz etmek için Gonyofotometre (Goniophotometer – ANSI/ IES LM-79-19 standart protokolü) ve spektral yansıma ve geçirgenlik eğrisi ile renk alan ölçümü için Spektrocolorimetre kullanılmaktadır. Bu testler IEC 60529 (EN 60529 Mahfazalarla sağlanan koruma dereceleri (IP kodu) (elektrik donanımlarında)) standartlarına uygulanmaktadır.

Aydınlatma Armatürleri Ömür Testi. Led veya geleneksel armatürlerin uzun vadeli performansını, ışık çıkışındaki düşüşü ve elektriksel dayanıklılığını değerlendirmek için yapılan testtir. Bu testler için genel olarak laboratuvar içinde, nem ve sıcaklık kontrollü bir alan düzenlenmektedir. Düzenlenen bu alan, armatür ömür testleri için özel hazırlanmış raflar yer almaktadır (aynı işlevi gören kısıtlı kapasiteli Çevresel Test Kabini de kullanılmaktadır). Armatürleri Ömür testinin uygulamasında; test süreci boyunca sıcaklık, nem, akım değerleri değiştirmeyi sağlayan sürücü yük simülatörü ve veri kayıt sistemi kullanılmaktadır. Bu test için temel olarak IEC 60598 (IEC 60598- 1 Aydınlatma Armatürleri- Bölüm 1: Genel gereksinimler ve testler) ve IEC 62612 (IEC 62612 Besleme gerilimleri > 50 V olan genel aydınlatma hizmetleri için kendinden balastlı LED lambalar- Performans gereksinimleri) standart protokolleri dikkate alınmaktadır (Bkz. 6.10).

¹¹⁴Difüzör, LED, lamba veya armatürlerden çıkan ışığı yumuşatmak ve yönlendirmek için kullanılan, ışığı dağıtan, yarı saydam veya kendinden desenli malzemelerdir (IEC, 2008).



Görsel 6.10. Aydınlatma armatürleri ömür testi odası (Aydınlatma Portalı, 2025)

İncelemek üzere seçilen, iç ve dış mekân, endüstriyel, mimari, acil, bahçe aydınlatma armatürleri lamba ve sensör tasarlayan, üreten, test eden ve her birinin AGİD üyesi olduğu bu firmaların aydınlatma laboratuvarları, kontrollü giriş çıkışları olan bir iç mekândan meydana gelmektedir. Test ve ölçüm laboratuvarları olan bu laboratuvarlar, yukarıda genel hatları ve ilgili standart protokolleri ile açıklanan test ve ölçümler için kullandıkları cihaz ve aletlerin alan ihtiyaçlarına göre düzenlenmiştir. Bu laboratuvar mekânlarında, Gonyofotometre için bir karanlık oda (bazı laboratuvarlarda Ulbricht Küresi de bu odada bulundurulabiliyor), yağmur testi ve tam suya daldırma testi için kullanılan, su ve elektrik tesisatı test amacına uygun olarak tasarlanmış ıslak hacim, tanımlı iki alan olarak yer almaktadır. Testler için kullanılan diğer cihazlar genel olarak kabin şeklinde olduklarından dolayı mekânın içinde uygun olan alana yerleştirilmişlerdir. Bu uygunluk cihazların varsa dijital ekipmanlarına, elektrik ihtiyacına göre düzenlenmiştir. Laboratuvarlarda cihazlara ait veya test çalışmalarında kullanılan bilgisayar programları ve bilgisayar ekipmanları için uygun sayıda masa ve sandalye yer almaktadır. Laboratuvar çalışanlarının çalışma alanı, genelde laboratuvarın giriş bölümünde konumlandırılmıştır. Bu laboratuvarlarda; cihaz ve aletlere, bilgisayar veya teste gelen armatürlere gerektiğinde fiziki müdahalenin yapılabileceği, el aletlerinin yer aldığı, elektrikli ve raflı çalışma masası mevcuttur. Ayrıca, laboratuvarda ışık kaynaklarının, armatürlerin, devre düzeneklerinin denendiği masalı bir pano yer almaktadır. Laboratuvarlarda bir çalışma ve toplantı alanı, evrak dolapları ve üretime

veya fabrikanın diğer birimlerine açılan kapının yakınında test ürünlerinin depolandığı geniş raflı dolaplar (kapaklı veya kapaksız) bulunmaktadır. İncelenen aydınlatma firmalarının, Ar-Ge veya tasarım birimi olarak adlandırılan, armatür tasarımları ve EAE Aydınlatma'da olduğu gibi mimari veya içmimar aydınlatma tasarımları yapılan ayrı bir mekân ile prototipleme alanı bulunmaktadır. Pelsan Aydınlatma dışındaki firmaların tasarım birimleri ile laboratuvarları, mekânsal olarak fabrikanın ayrı alanlarında konumlandırılmıştır. Pelsan Aydınlatma firmasında bu iki birim, fabrikanın aynı tarafında bitişik konumlandırılmıştır. Söz konusu laboratuvarlarda çalışan personellerin içinde genel olarak elektrik- elektronik veya elektrik mühendisi ve elektrik teknikerleri bulunmaktadır.

Aydınlatma laboratuvarları denildiğinde öne çıkan; bina, mekân, endüstriyel alanlar, araba farları, cadde/ sokak aydınlatmalarında kullanılmak üzere üretilen armatür ve sistemler için kurulan laboratuvarlar olmuştur. Hâlbuki; gün, gece ve özellikle ışığın yeterli olmadığı zaman ve mekânlarda hayatın akışının sağlanabilmesi için çok geniş alanda yapay aydınlatma çözümleri geliştirilmektedir. Sadece köprü, tünel, hava ve deniz taşıtları, madenler, limanlar, kutup yerleşkeleri, çöller veya Afrika savanaları gibi fiziki şartları, aldıkları günışığı kalitesi ile özel ihtiyaçlara sahip olan birçok alana özel aydınlatma armatür ve sistemlerinin tasarlanması, geliştirilmesi için aydınlatma laboratuvarlar büyük rol üstlenmektedir. Dolayısıyla tezin üçüncü bölümünde genel hatları ile açıklanan aydınlatma teknolojileri belli sayıdayken, bu teknolojilerin uygulama alanları geniş bir yelpaze oluşturmaktadır. Bu noktada; aydınlatma laboratuvarlarının tanımlı, özelleşmiş teknik standartları ve akreditasyonları geliştirilmiş bir düzenin kurulması; birbirlerinde farklı ve dolayısıyla kopuk görülen aydınlatma laboratuvarlarının bütüncül, farklı uzmanlık alanları arasında yatay ve dikey trafiğin var olabilmesi; araştırma, geliştirme ve tasarım alanlarında teorik ve uygulamalı yüksek bilginin üretilmesine güvenilir ve sürdürülebilir katkı sağlarken, aydınlatma teknolojisi ve endüstrisinin güvenilir bir şekilde gelişimini hızlandırmaktadır.

Tez kapsamında, Türkiye'de bulunan eğitim amaçlı ve ticarî aydınlatma laboratuvarları¹¹⁵ alanında yapılan araştırmanın yukarıda yer alan bulgular; test, güvenlik,

¹¹⁵Türkiye'de ölçüm ve test laboratuvarı olarak TÜRKAK'dan akredite olup çeşitli uluslararası standartlara sahip, aydınlatma armatürlerinde CE belgelendirmesi yapabilen bazı test, ölçüm, kalibrasyon veya sertifikasyon laboratuvarı mevcuttur. CGS Test Merkezi (<https://cgstestmerkezi.com/>), <https://aydinlatma.org/cgs-test-merkezi.html>), PTC Test Laboratuvarı (en büyüklerinden biri, <https://www.ptctesting.com>), TÜV Rheinland Grup Türkiye (<https://www.tuv.com/turkey/tr/i%C5%9F%C4%B1kland%C4%B1rma-teknolojisi.html#>) veya ELDAŞ

ölçüm veya kalite yönetimi gibi konularda geliştirilen standartların; aydınlatma, optik ve bu alanın cihaz, alet ve ekipmanları merkezinde şekillendiğini göstermektedir.

Gelişen teknolojilerin aydınlatma laboratuvarlarına etkisi, özellikle eğitim amaçlı laboratuvarlarda açık şekilde izlenebilmektedir. Alanın ilki olan YTÜ Yapı Fiziği-Aydınlatma Laboratuvarı'nda kurulan sistem o günkü cihaz ve aletlere, erişim imkânlarına uygun olarak şekillenirken, İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü Aydınlatma Tekniği ve İç Tesisat Laboratuvarı veya yine İTÜ'nün Enerji Enstitüsü'ne bağlı LED Aydınlatma Grubu; Enerji Verimliliği ve Aydınlatma Teknolojileri Laboratuvarı, günün teknolojisine uygun şekilde düzenlenmiştir. Günümüz teknolojilerinde aydınlatma tasarımının sayısallaşması konusunun iyi bir örneği olarak İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümün Yapı Fiziği Laboratuvarı öne çıkmaktadır. Örnek verilen eğitim laboratuvarları, ulaşılan teknik ve teknolojik altyapının ihtiyaç ve zorunlulukları çerçevesinde mekânsallaşarak kurulmuştur.

Eğitim amaçlı bir kısım aydınlatma laboratuvarlarında olduğu gibi test ve ölçüm konularına odaklanan ticari aydınlatma laboratuvarları incelendiğinde de aynı sonuca ulaşılmaktadır. Bu laboratuvarlarda var olan cihaz ve aletlere, teknik ve teknolojik ihtiyaçlara göre mekânsallaşırken, eğitim amaçlı laboratuvarlarda olduğu gibi, ölçüm, deney ve test yapılan laboratuvar mekânının (anlatım kolaylığı için bundan sonra laboratuvar çekirdeği olarak adlandırılmaktadır) dışında kalan ve laboratuvar çalışmaları için gerekli destek mekânlarının konumlanması ve mekânsallaşmaları, laboratuvar çekirdeği ile ilişkilennmeleri kurum ve kişilere bağlı olarak gelişmektedir. Dolayısıyla elde edilen bu veri ve bulgular en nihayetinde bu tezin hipotezlerini teyit etmektedir.

Tezin bu bölümünün aşağıda yer alan alt başlığında, aydınlatma/ optik laboratuvarları çalışmasının, ikinci başlığı olan optik laboratuvarlarının değerlendirme sonuçları ele alınarak, tezin hipotezlerini teyit edip etmediği incelenmektedir.

6.1.2. Optik laboratuvarı

Üçüncü bölümünde incelenen optik konusunda elde edilen veri ve bulgular ile optik laboratuvarı konusunda yapılan araştırma bir arada değerlendirildiğinde, optik laboratuvarlarının; laboratuvar çeşitliliği bakımından çok katmanlı, karmaşık ve aynı

Test ve Kalibrasyon Merkezi Bunlardan (<https://www.eldas.com.tr/>) örnek laboratuvarlar içinde yer almaktadır.

zamanda modern bilim ve teknolojinin en dinamik araştırma alanlarından biri olduğunu göstermiştir (Konu hakkında çıkartılan kısmi bir liste Ek- 7’te görülebilir (Bkz. Ek-7)).

Optik laboratuvarları, ışık ve madde etkileşimleri, görüntüleme teknolojileri, fotonik araştırmaları, iletişim teknolojileri, evren bilimi, kuantum araştırmaları, malzeme bilimi, nörobilim, tıp teknolojileri veya IR optik sistemleri gibi her çeşit bilgi üretimi ve mecralarının çok büyük kısmının kritik altyapılarında yer almaktadır. Bu laboratuvarların temel çalışma ilkeleri, ışığın üretimi, kontrolü, manipülasyonu ve analizine dayanmaktadır. Yüksek hassasiyetli lazer sistemleri, fotometrik ve spektroskopik cihazlar, interferometreler ve gelişmiş görüntüleme sistemleri, bu laboratuvarların vazgeçilmez ekipmanları arasında yer almaktadır.

Optik laboratuvarlarını çeşitlerinin karmaşık yapısını, bu tezin ikinci bölümünde (s.56) yer alan laboratuvarların amaca göre sınıflandırma ölçütleri göz önünde bulundurulduğunda; temel optik araştırma laboratuvarları, uygulamalı optik laboratuvarları, endüstriyel optik laboratuvarları ve disiplinlerarası optik laboratuvarları olarak dört temel sınıfa ayrılabilir. Temel optik araştırma laboratuvarları, kuantum optiği, fotonik ve nonlinear optik gibi alanlarda teorik çalışmalar yürütürken, uygulamalı optik laboratuvarları tıbbî görüntüleme, sensör teknolojileri ve iletişim sistemleri gibi pratik uygulamalara odaklanmaktadır. Optik laboratuvarlarının bir diğer çeşidi, kalite kontrol, malzeme karakterizasyonu ve üretim süreçlerinin optimizasyonu gibi alanlarda hizmet veren Endüstriyel optik laboratuvarlarıdır. Disiplinlerarası optik laboratuvarları ise sosyoloji, tarih, sanat, tasarım ve mimarlık gibi beklenmedik alanlarda optik teknolojilerin uygulanmasını sağlamaktadır.

Tezin dördüncü bölümünde (s.161) detaylı olarak aktarıldığı üzere optik laboratuvarlarına özel laboratuvar standart protokolü geliştirilmemiş olmasına rağmen, aydınlatma laboratuvarlarında olduğu gibi işlevin gereksinimleri olan cihaz, alet, ekipman, kalibrasyon, ölçüm, test, sistemler, kavramsal tanımlamalar, güvenlik ve veri yönetimi gibi ana konularda, ISO, CIE, IEC, DIN veya ANSI gibi alanın önde gelen uluslararası kurumları tarafından geliştirilen genel standart protokolleri mevcuttur. Optik laboratuvarları arasından, manipüle edilmiş ışığın radyasyon ile yükseltilmesiyle ışık yayılımını sağlayan bir sistem (cihaz) olan lazerin (s.119) kullanılması gereken her çeşit laboratuvar ve laboratuvar çalışması, güvenliği için özel olarak hazırlanmış standart protokolleri (ör. ISO 13694 lazer güç ölçüm standartları) uygulanmaktadır (Bkz. Ek-6).

Optik laboratuvarları olarak; kuantum optiği ve fotonik alanında yaptığı çalışmalarla Max Planck Institute for the Science of Light, X-ışını optiği ve malzeme karakterizasyonu çalışmalarıyla European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), fiber optik iletişim teknolojileri konusunda National Institute of Information and Communications Technology (NICT) gibi Dünya'nın önde gelen birçok optik araştırma laboratuvarı, bilimsel ve teknolojik ilerlemelere öncülük ederken, geliştirdikleri yeni yaklaşımlarla optik araştırmalarının sınırlarını genişletmektedir. Bu sayede optik laboratuvarları, nanofotonik, kuantum teknolojileri ve yapay zekâ destekli optik sistemler gibi yenilikçi alanlarda şekillenirken entegre fotonik devreler, optik kuantum hesaplama ve biyolojik sistemlerle etkileşime giren optik sensörler gibi önümüzdeki dönemin öne çıkacak araştırma konularının altyapılarında yer almaya başlamıştır.

Optik laboratuvarlarının mekânsal ihtiyaçları, yürüttükleri çalışmaların niteliğine göre değişiklik göstermektedir. Temel optik araştırmalar yapan laboratuvarlar, titreşimden yalıtılmış zeminler, partikül kontrollü, HVAC/ termal olarak stabil ortamlar ve elektromanyetik gürültüden arındırılmış alanlar gerektirmektedir. Biyomedikal optik laboratuvarları ise steril çalışma koşulları ve düşük gürültülü ortamlara ihtiyaç duymaktadır. Endüstriyel optik laboratuvarları genellikle geniş çalışma hacimleri ve esnek altyapılarla donatılmıştır. Son olarak, kuantum optiği ve fotonik laboratuvarlarının ultra-yüksek vakum sistemleri, kriyojenik soğutma ve manyetik yalıtım odaları, ultra-hızlı lazer laboratuvarlarının özel güvenlik önlemleri, titreşimsiz zemin, yüksek düzeyli hepa filtreli temiz oda ve soğutma sistemlerine, uzay optiği ve uydu görüntüleme sistemleri çalışma laboratuvarlarının termal vakum odaları, mikro- yerçekimsiz ortama sahip olmaları gibi optik alanında yapılan özel çalışmaların yürütüldüğü laboratuvarla ise alanlarına özelleşmiş mekânlardır. Bu laboratuvarlarda lazer ve fotonik özelliği olanlar için ISO 11554 Optik ve fotonik- Lazerler ve lazerle ilgili ekipmanlar- Lazer ışını radyant gücü, radyant enerjisi ve zamansal özellikleri için test yöntemleri, ISO 13694 Optik ve fotonik- Lazerler ve lazerle ilgili ekipmanlar- Lazer ışını güç (enerji) yoğunluk dağılımı için test yöntemleri, ISO 1146 serisi Lazer ve lazerle ilgili ekipmanlar, IEC 60825-1 Lazer ürünlerinin güvenliği ve ANSI Z136 Serisi Lazerlerin Güvenli Kullanımına İlişkin Amerikan Ulusal Standardı protokolleri basta olmak üzere cihaz, ekipman veya test yöntemi ve şartları gibi çok detaylı başlıklarda geliştirilmiş protokoller mevcuttur. Son olarak temiz oda ve kontrollü ortamlar için ISO 14644 Serisi Temiz odalar ve ilgili kontrollü ortamlar, IEC 61298 1-2-3-4 Proses ölçüm ve kontrol cihazları- Performansı

değerlendirmeye yönelik genel yöntemler ve prosedürler serisi öncelikli uygulanan standart protokolleridir.

Tez kapsamında yapılan çalışma sonucu yukarıda kısaca açıklanan optik laboratuvarlarının, aydınlatma laboratuvarlarından daha kapsamlı ve karmaşık olduğu açıktır. Çeşit olarak optik laboratuvarları için çok genel olarak dört sınıf belirlenebilse de özel çalışma alanlarında bulunan ve kaç çeşit olduğunun belirlenmesinin zor olduğu optik laboratuvarları söz konusudur. Araştırma sonucu ulaşılan bu bulgu nedeniyle optik laboratuvarlardan; temel optik çalışmalarının yürütüldüğü, karanlık oda, titreşim ve toz kontrollü ölçüm odalarına¹¹⁶ sahip olan laboratuvarlar ele alınmaktadır.

Aydınlatma laboratuvarlarında olduğu gibi optik laboratuvarları da kullanılan ışık kalitesi ve cihazların ihtiyaçları ve güvenliğine göre şekillenirken, laboratuvar çekirdeği dışında yer alan destek mekânları kişi ve kurumların yaklaşımına göre mekânsallaşmaktadır. Ayrıca, aydınlatma laboratuvarlarına göre daha fazla sayıda cihaz ve alet kullanılmaktadır (Ek- 8). Türkiye’de genel olarak araştırma projeleri üzerinde çalışan optik laboratuvarları, üniversite, resmî kurumlar az sayıda da olsa bünyesinde yer almaktadır.

Türkiye’nin metroloji, savunma ve uzay sanâyisinde önde gelen kurumları olan HAVELSAN (<https://www.havelsan.com/tr>), ASELSAN (<https://www.aselsan.com/tr>), ROKETSAN (<https://www.roketsan.com.tr/tr>), TUSAS (<https://www.tusas.com/>), TÜBİTAK Uzay (<https://uzay.tubitak.gov.tr/>), TÜBİTAK UME (<https://www.ume.tubitak.gov.tr/>) ve TÜBİTAK MAM (<https://mam.tubitak.gov.tr/>)’in her biri, çalışma alanlarına uygun enaz bir tane tam teşekküllü optik laboratuvarı olan resmî kurumlardır. Alanlarında yüksek ve hassas teknoloji kullanan ve/veya üreten 7 resmî kurumun laboratuvarları gerekli tüm standart ve akreditasyonlara sahiptir. Aynı zamanda bu kurumlar, alanlarına özel geliştirdikleri ışık kaynağı ve aydınlatma armatürleri için Arlight, EAE, Pelsan gibi gerekli standart ve akreditasyonlara sahip sektörün büyük üreticilerinden hizmet satın almaktadırlar.

Resmî kurumların dışında, otomotiv sanâyinde aydınlatma ve elektronik alanlarında, Ar-Ge ve üretim yapan Türkiye’nin en büyük far firması olan FARBA (<https://www.farba.com.tr/>), çalışma alanında özelleşmiş optik laboratuvarına sahip firmalardan biridir. Bayraktarlar Holding çatısı altında yer alan FARBA Otomotiv

¹¹⁶Tezin Sınırlılıkları Bölümü’nde belirtildiği üzere; üretim, deney, test yapılan temizodalar kapsam dışı bırakılmıştır. Optik laboratuvarları konusunda sadece ölçüm yapılan temizodalar dikkate alınmıştır.

dışında, yine otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Aygersan Aydınlatma Gereçleri A.Ş. (<https://www.aygersan.com/>) ve LED teknolojisi temelli otomotiv aydınlatma sistemleri tasarlama, geliştirme ve üretmekte olan Odelo Otomotiv Aydınlatma A.Ş. (<https://odelo.de/tr>) şirket gruplarının da alana özelleşmiş optik laboratuvarları mevcuttur.

Eğitim kurumlarında bulunan optik laboratuvarları genel olarak, ulusal ve uluslararası proje çalışmaları veya az sayıda da olsa, ISO 17025 TÜRKAK Akredite ODTÜ Elektrik, Manyetik ve Optik Özellikler Ölçüm Laboratuvarı (EMOL) (ODTÜ Merkez Laboratuvar, 2025) gibi test ve ölçüm çalışmaları yapılan laboratuvarlar mevcuttur. ODTÜ özelinde optik çalışmaları merkezli, analiz, Ar-Ge çalışmaları yapılan X-Işını Difraksiyon Laboratuvarı (XRDL) ve Yüzey Analiz Laboratuvarı (YAL) laboratuvarları bulunmaktadır (ODTÜ Merkez Laboratuvar, 2025).

Üniversitelerde yer alan, araştırma amaçlı optik laboratuvarları incelendiğinde, haklarında güncel veriye ulaşılanların içinde öne çıkan laboratuvarlar, aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1. Koç Üniversitesi, araştırma üniversitesi refleksleriyle üniversitenin bütün laboratuvarlarının, kolayca iletişim kurabilecekleri şekilde bir arada bulunduğu, mimarlık ve mühendislik olarak tüm teknik detayların planlandığı bir laboratuvar merkezi bulunmaktadır. Çok katlı olan merkezin en alt katında ilgili laboratuvarlara hepsine hizmet verebilecek kapasitede tam teşekküllü bir temizodası mevcuttur. Üniversitenin genel laboratuvarlarıyla birlikte, laboratuvar çalışmalarının çoğunlukla temizodada yapıldığı Nanofabrication and Nanocharacterization Center for Scientific and Technological Advanced Research (Koç Üniversitesi, 2025) çok sayıda araştırma merkezinin yanı sıra Alphan Sennaroğlu Lazer Araştırma Laboratuvar (Koç Üniversitesi, 2025), Alper Kiraz Optofluidik ve Nano-Optik Araştırma Laboratuvar (Koç Üniversitesi, 2025) veya Engin Erzin/ Murat Tekalp Multimedia, Vision and Graphics Laboratory (Koç Üniversitesi, 2025) gibi bilim insanlarının çalışmalarını yürüttüğü çok çeşitli özel laboratuvarları mevcuttur. Koç Üniversitesi araştırma laboratuvarlarının bu yapısı, tezin ikinci bölümünde yer alan laboratuvarların gelişim sürecinde ifade edildiği üzere 19.yy. üniversite ve bilim insanlarının kurduğu araştırma laboratuvarlarının gelişmiş iyi bir örneğidir. Koç Üniversitesi araştırma

- laboratuvarlarından Optik Mikrosistemler Laboratuvarı (OML), optik araştırma laboratuvarı olarak tez konusu ile direk ilgili olan laboratuvardır (OML, 2025).
2. Özyeğin Üniversitesi, Kuantum Optiği Grubu'nun foton çiftleri ile dolanıklık testleri, dolaşık foton çiftlerinin kaynakları, kuantum kriptografisi ve tek foton teknolojileri konularında çalışmaların yürütüldüğü kuantum optik laboratuvarı bulunmaktadır (Özyeğin Üniversitesi, 2025). Ayrıca üniversitenin var olan araştırma laboratuvarları arasında mühendislik fakültesine bağlı, EVATEG Enerji Teknoloji ve EVATEG Aydınlatma ve Fotonik Sistemler Laboratuvarları yer almaktadır (Özyeğin Üniversitesi, 2025). Üniversitenin bu iki laboratuvarına ait tek bilgi, üniversite resmî web sitesinde yer alan tanıtım metnidir.
 3. Sabancı Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM). SUNUM merkezinde nanofabrikasyon için bir temiz oda ve malzeme karakterizasyon laboratuvarı mevcuttur (SUNUM, 2025).
 4. İTÜ'nün optik endoskopi, engelliler için mikroakiskan cihazlar, fiber optik sensörler veya optomedikal görüntü işleme alanında araştırmaların yapıldığı Elektro -Optik Cihazlar Laboratuvarı (EDL, 2025).
 5. Hacettepe Üniversitesi Araştırma Laboratuvarları içinde temel optik laboratuvarları kapsamında değerlendirilebilecek iki laboratuvardan biri X-Işınları Laboratuvarı (Hacettepe Üniversitesi, 2025), diğeri Süperiletkenlik ve NanoTeknoloji Laboratuvarı (SNTG)'dır (Hacettepe Üniversitesi, 2025).
 6. Dokuz Eylül Üniversitesi, Optik Laboratuvarı. Laboratuvar optik ve fotonik teknolojilerinin mühendislik uygulamaları alanında araştırma faaliyetleri yürütmektedir (Dokuz Eylül Üniversitesi, 2025).
 7. Gebze Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinin X-Işın Kırınımı Laboratuvarı (Gebze Teknik Üniversitesi, 2025) ve ayrıca Temel Bilimler Fakültesi bünyesinde kurulmuş olan Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (GTÜMAR) laboratuvarlarından biri olan, optik görüntüleme, interferometrik ölçüm ve holografi konularında araştırmaların yürütüldüğü optik laboratuvarı mevcuttur (GTÜMAR, 2025).
 8. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde ve çoğunlukla lisans, yüksek lisans projelerinin çalışıldığı eğitim amaçlı Optik Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı bulunmaktadır (Ege Üniversitesi, 2025).

Türkiye’de gerek devlet gerekse vakıf üniversitelerinde yer alan birçok laboratuvar mevcuttur. Bu laboratuvarlarda, faaliyet alanına göre gerekli olan cihaz, alet ve ekipmanların bir kısmı veya tamamına sahip olurken mekânsallaşma; her kurumun imkânları ve laboratuvara yaklaşımı dâhilinde ortaya çıkmaktadır. Bu laboratuvarlarda ODTÜ örneğinde olduğu gibi test ve ölçüm hizmeti verenlerin bazıları, ISO 17025 standardına göre TÜRKAK’dan akrediteyseler de genel olarak üniversitenin genel ve/veya fakülte bazında aldığı kalite belgeleri ve eğitim kurumları alanında ilgili standartlar üzerinden akredite olması, ilgili fakülte üzerinden laboratuvarlarında bir kısım akreditasyon sistemine dâhil olmalarını gerektirmektedir. Fakat; üniversitelerin yaptığı bu akreditasyon çalışmalarının genel olarak laboratuvar merkezli olmaması nedeni ile var olan optik laboratuvarların da standardizasyon ve akreditasyonlarının denkliklerinden söz etmek pek mümkün olmamaktadır. Bu konuda resmî kurum ve özel sektör optik laboratuvarı, alanlarıyla ilgili ihtiyaç olan standardizasyon ve buna bağlı olarak akreditasyon sisteminde bulunmayı daha fazla öncelemektedir.



Görsel 6.11. OML Laboratuvarı’ndan bir görsel (OML, 2025)

Temel optik laboratuvarlarının; resmî, özel kurum veya üniversite laboratuvarı olarak temelde nasıl bir kurulumla sahip olduklarını anlamak için iyi bir örnek olarak Koç Üniversitesi OML Laboratuvarına bakmak, genel bir cevabı oluşturmaya yeterlidir.

Özellikle laboratuvar düzenini gösteren görselleri iyi bir veri kaynağıdır (Bkz. Görsel 6.11 ve Görsel 6.12).

OML Laboratuvarı; ofis alanı, toplantı alanı, küçük depolama alanı, test alanı-karanlık odaları (ilgili görsellerde görülen tek test alanı, sonrasında yapılan düzenleme ile karanlık oda olabilecek üç test alanı oluşturulmuştur), ölçümler için bir temiz ölçüm odası ve geniş bir optik cihaz – alet envanterinden (OML, 2025) oluşmaktadır. Cihaz konusunda, optik alanında kullanılan Gonyofotometre, bazı durumlarda (özellikle büyük çaplı) Ulbricht Küresi, yüksek spektral çözünürlüklü EMCCD kameraları veya kuantum lazer sistemleri için kullanılan vakum ve manyetik kalkan sistemleri gibi özel mekâna ihtiyaç duyan cihazlar; merkezde yer alan ve ilgili alanlarda çalışma yürüten diğer laboratuvarların ortak kullanımına uygun olarak OML'nin dışında ayrı bir mekânda kurulmuştur. OML Laboratuvarı'nda yapılan projelerin ihtiyacına göre Koç Laboratuvar Merkezi'nde var olan çalışma grupları ve laboratuvarlarla ortak çalışmalar yürütürken, özellikle prototipleme işlemleri için merkezi temizodada çalışılmaktadır (OML, 2025). Test odaları ve ölçüm odasının her birinde titreşim izolasyonlu optik masası (enaz biri optik masasında EMCCD veya HDR kamera sistemleri mevcuttur) ve genel olarak cihazların bulunduğu çalışma masaları mevcuttur. Zeminini yükseltilmiş titreşim yalıtımlı olan, nem ve ısı kontrollü, içeride hepa filtrenin bulunduğu temiz ölçüm odasına girmeden önce girilen küçük bir alanda, laboratuvar kıyafetlerinin giyilip, tozdan arındırılma sonrası ölçüm odasına giriş yapılmaktadır. Persan veya Arlight aydınlatma laboratuvarında olduğu gibi kontrollü giriş yapılan laboratuvarın ana giriş dışında, enaz bir kapısı daha mevcuttur. Laboratuvarın karanlık odaları ve ölçüm odası cam duvarlarla bölünmüş ve karanlık ortamın sağlanmasında, sayfa 202'te karanlık oda açıklamalarında yer alan ışık geçirgenliği ve yansıma oranı ile ilgili standarda uygun tekstil malzemesi perdelerle kullanılmıştır.



Görsel 6.12. OML Laboratuvarı'ndan bir görsel (OML, 2025)

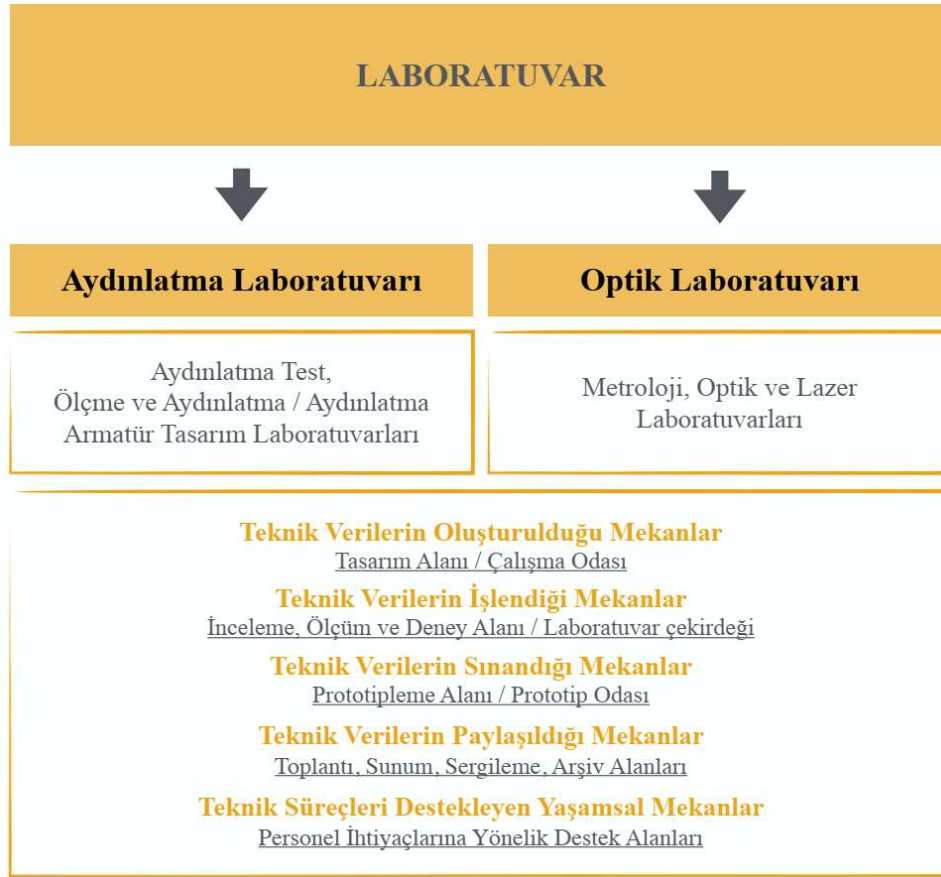
Bir mekândan oluşan OML Laboratuvarı da aydınlatma laboratuvarlarında olduğu gibi laboratuvar çekirdeği, cihazların ve optik çalışmalarının ihtiyacı olan özel alan ve kullanım şartlarına göre, varsa ilgili standartlar uygulanarak mekânsallaşırken, destek mekânları; çekirdeğe bağlı olarak kuran kişi ve kurumların anlayışına göre şekillenmektedir. Diğer yandan, optik laboratuvarları olarak aynı işleve sahip bir başka üniversite, resmî veya özel kurum laboratuvarları da OML Laboratuvarı gibi, kuran kişi ve kurumların yaklaşımına göre mekânsallaşması nedeniyle genel olarak benzerlik veya ortaklık içermemektedir. Bu durum, aydınlatma laboratuvarlarında olduğu gibi optik laboratuvarlarının da kurulum ölçütlerinin tanımlı olmadığını göstermektedir. Günümüz optik çalışmalarındaki gelişmelerin hızı ve bu çalışmaların ana üretici olan laboratuvarlarının çok çeşitli, katmalı ve karmaşık yapılarının ortaya çıkardığı yeni düzen ve ihtiyaçları doğrultusunda, temel ölçütler geliştirilemediği gibi optik laboratuvarlarına özelleşmiş standardizasyonda mevcut değildir. Bu nedenle bir akreditasyon da söz konusu olamamaktadır. Dolayısıyla, optik laboratuvarları konusunda yapılan değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda sonuç olarak, aydınlatma laboratuvarlarında olduğu gibi optik laboratuvarları araştırması sonucu elde edilen veri ve bulguların, tezin hipotezlerini teyit ettiği görülür.

7. ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan araştırmalar, aydınlatma ve optik laboratuvarlarının birbirlerine göre farklılıklar içermesine rağmen bazı temel süreçlerin aynı olduğunu göstermektedir. Laboratuvar denildiğinde; genel olarak (endüstriyel aydınlatma firmalarında, optik laboratuvarlar çalışmaları yürüten resmî ve özel kurumlarında bazı farklılıklar görülmektedir) test, ölçüm ve deneylerin yapıldığı özel veya genel faaliyet alanlarının yanı sıra, depolama, çalışma veya toplantı alanları gibi laboratuvarın ana faaliyeti dışında, diğer çalışmaların yürütüldüğü alanlar bir mekân içerisinde çözülmüştür (Bkz. Şekil 7.1). Dolayısıyla laboratuvar olarak tanımlanan mekânlar, genel olarak laboratuvarların ana işlevlerinin öncesi ve sonrasında yer alan faaliyetlerin, hepsinin bir mekânda çözülmüş şeklidir.

Aydınlatma ve optik laboratuvarlarında bulunan karanlık oda, temiz oda, gri ve beyaz oda (gri kabin ve Ulbricht Küresi kullanılmıyorsa), armatür ömür test odası, örnek veya alet/ ekipman için kullanılan depolama alanları ve aydınlatma laboratuvarlarının test üniteleri için kullanılan özel alanların¹¹⁷ dışında, laboratuvar çalışmalarının verimli bir şekilde yapılabilmesi için gerekli olan tüm çalışmaların yürütüldüğü alanlar laboratuvar mekânında veya laboratuvar mekânı ile bitişik bir düzende yer alan ikinci bir mekânda yer almalıdır. Burada amaç; laboratuvar çekirdeğinde yapılması gereken işlemlerin tasarlanması, planlanması, verilerin toplanması ve değerlendirilmesi, laboratuvar süreçlerinin kontrol edilebilmesi, gerekli toplantıların, çalışanların temel ihtiyaçlarının karşılanabileceği alanların laboratuvar alanında bütüncül olarak çözülebilmesidir. Laboratuvar işlemlerinin yapıldığı mekân ile çalışmaların yürütüldüğü mekân arasında yer alan fiziki uzaklıklar; laboratuvar çekirdeğindeki işlemler için gerekli olabilecek veya öngörülemeyen durumlarda genel aksamalara yol açabilirken gereği olmayan çalışan sirkülasyonuna sebep olmaktadır.

¹¹⁷Laboratuvarların ana işlevleri olan test, ölçüm ve deney işlemlerinin yapıldığı alan *Laboratuvar Çekirdeği* olarak adlandırılmıştır. Metnin devamında bu ifade kullanılmaktadır (Y.N.).



Şekil 7.1. Aydınlatma/ optik laboratuvarları mekânsal ihtiyaçla

Söz konusu laboratuvarlar için diğer bir konu; özellikle laboratuvar çekirdeğinde yer alan, gri ve beyaz bölge veya odalar (gri kabin, Ulbricht Küresi'nin kullanılmaması durumlarında), ölçüm amaçlı temizoda, karanlık oda faaliyetleri, çalışanların çalışma ortamından daha farklı bir ortamda çalışmalarını gerektirmesidir. Bu ortamlar; karanlık, gölgesiz veya gri, titreşim yalıtımlı ve ısı/ nem kontrollü; ayrıca, ölçüm amaçlı temizodalarına özel ses yalıtımlı, tozdan arındırılmış alanlardır. Bu alanlarda çalışmaları yürüten çalışanlar (laborantlar) gerektiğinde, temiz odalarda belli zaman aralıklarında zorunlu olarak dışarı çıktıklarında; HVAC ve partikül filtreleme, ısı ve nem oranları, akustik, titreşim değerleri farklı, aydınlatılmış mekân ve ofis çalışma ortamına girmektedir. Başta aydınlatma olmak üzere, iki ayrı fiziki şartlara sahip alan arasında giriş çıkış yapmak durumunda olan çalışanlar için tam karanlıktan, aydınlatılmış çalışma alanına; özellikle optik laboratuvarlarında yer alan yoğun hepa filtreli, ısı/ nem kontrollü alanlardan, ofis çalışması için tasarlanmış olan iklimlendirilmiş alana geçişler biyolojik olarak etki ederken; diğer yandan özel tasarlanmış bu odalarda yapılan ölçüm, test, deney hassasiyetini bozabilecek etkenleri de içerebilmektedir. Bu duruma ek olarak; laboratuvar

çekirdeğinde yapılan çalışmaya göre bazı durumlarda, üzerinde çalışılan araç, armatür veya dijital bir film gibi ışığa duyarlı nesnelerde günışığı kontrolüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, çalışanların bu işlemi yerine getirebilmesi için karanlık veya temizodalardan çıkıp açık alana geçmeleri gerekmektedir. Bazı aydınlatma laboratuvarlarında; ölçüm/ test hassasiyeti sınır değerleri içinde olması yeterli görülen durumlarda bu tür günışığı testi, günışığını simüle eden yapay ışık altında yapılmaktadır. Fakat genel olarak ve özellikle optik çalışmalarında değer hassasiyeti yüksek olması nedeniyle günışığının kullanılması gerekmektedir.

Beyaz Oda	Geçiş Bölgesi	Diğer Aydınlatma Armatür Test Mekânları (IK Darbe, Dış Etmen ve Termal, Isı Dayanıklılık, Yüksek Gerilim ve Yalıtım, Armatür Ömür Testleri)	Teknik Verilerin Oluşturulduğu, Sınıandığı, Paylaşıldığı Mekânları Ve Teknik Süreçleri Destekleyen Yaşamsal Mekânları
Gri Oda			
Karanlık Oda			

Şekil 7.2. Aydınlatma laboratuvarları genel planı

Dolayısıyla bütüncül olarak çözülmesi gereken aydınlatma (Bkz. Sekil 7.2) ve optik laboratuvarlarında (Bkz. Sekil 7.3); laboratuvar çekirdeğinin yanı sıra aşağıda yer alan 5 temel faaliyetin yer aldığı mekân ve bu alanla çekirdek arasında bir geçiş alanı ile bir açık alanın yer alması çok önemlidir.

Beyaz Oda	Geçiş Bölgesi	Teknik Verilerin Oluşturulduğu, Sınındığı, Paylaşıldığı Mekânları Ve Teknik Süreçleri Destekleyen Yaşamsal Mekânları
Gri Oda		
Karanlık Oda		
Temiz Ölçüm Odası		

Şekil 7.3. Optik laboratuvarları genel planı

Laboratuvarların, beş temel faaliyet alanları ve genel iç mekân gereksinimleri şu şekildedir:

1. **Teknik Verilerin Oluşturulduğu Mekânlar¹¹⁸**: Genel kullanıma ve ofis işlerine yönelik, ağırlıklı tasarım ve veri işleme işlerinin gerçekleştirildiği alan ve mekânlar (Bkz. Şekil 7.2 ve Şekil 7.3).
 - a. Ergonomik ve esnek mobilya düzenleri
 - b. Yoğun bireysel odaklanma ve kolektif çalışmaya imkân tanıyan modüler düzen, Akustik kontrol ve kişisel alan tanımı
 - c. Karma aydınlatma, görsel konfor ve nötr arka planlar (aydınlık/difüz ışık)
 - d. Yapay aydınlatmada, genel ve ekran uyumlu noktasal aydınlatma. Aydınlatma kalitesi, ISO 8995-1: Light and lighting- Lighting of Work Places, Part 1: Indoor ve DIN 12464-1 Light and lighting- Lighting of Work Places- Part 1: Indoor Work Places standart protokollerine göre; genel 500 lux, masa üstü enaz 500 lux (750- 1000 lux), dikey yüzeylerde 200 lux, gözün kamaşma kontrolü için $UGR^{119} \leq 19$ şart (ekranlı çalışma

¹¹⁸Mekânların zemin, yan yüzeyleri ve tavan tasarımında gerek malzeme gerek performans testleri bakımından çeşitli uluslararası standart protokolleri geliştirilmiştir. Örneğin; zemin malzemeleri ile ilgili ISO 14644-1 temiz oda ve çevre kontrolü, IEC 61340-5-1 elektrostatik deşarj, ANSI/ ESD S20.20 antistatik zemin gereksinimleri, DIN EN 1081 PVC ve kauçuk zemin için elektrik direnci ölçümü, ISO 9239-1 zemin malzemeleri yangın tepki testi, DIN 51130 kaymaya karşı direnç testi, EN 13893 kaymazlık ölçümü veya EN 13501-1 B1, A1 gibi yangın sınıflandırma standartları; duvar malzemeleri ile ilgili ISO 354 ses emilim testi, EN ISO 11654 akustik malzeme ve ses emilim sınıflandırması, ASTM E90 ses yalıtım testi, EN 13501-1 yangın sınıflandırması, DIN 4102-1 yangına dayanıklı yapı malzemesi, ISO 9241-3 ofis ortamında görsel konfor standartları; tavan malzemeleri ile ilgili olarak ISO 3382 akustik performans ölçümü, ASTM C423 tavan panelleri ses emilimi, EN 1364 asma tavan sistemleri yangın performansı, UL 723 ASTM E84 uyumlu alev yayılım testi, EN 1364 asma tavanların mekanik dayanımı standartları.

¹¹⁹UGR, Unified Glare Rating (Birleşik Göz Kamaşması Değeri), iç mekânda görünür aydınlatma armatürlerinden kaynaklanan parlama ölçüsüdür (CEN, 2011).

alanlarında ≤ 16), renksel geri verim indeksi $CRI(Ra)^{120} \geq 80$ ve renk sıcaklığı 3000- 4000K olmalıdır.

e. Sıcaklık, ısıtma ve HVAC özellikleri için önerilen değerler;

1. Sıcaklık; 22-24°C (kış), 23-26°C (yaz), monitör sayısı yüksek alanlarda sıcaklık 24°C'yi geçmemeli; ayrıca, her bilgisayar başına 50- 100W ısı yükü eklenmektedir (ISO 7730 (ISO, 2005) ve ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) protokolleri). Güneş alan ofisler için, varsa otomatik panjur sistemi ve %20 ek soğutma kapasitesi gerekmektedir (ASHRAE, 2013).
2. Bağıl nem (RH); %40-60 RH, kritik sınır $< \%30$ ve $> \%70$ RH'dir. Bağıl nemin $< \%30$ RH altındaki değerlerde oluşan statik elektrik nedeniyle veri kaybı riski, $> \%60$ RH üzerinde yoğuşma ve korozyon riskleri ortaya çıkmaktadır (ASHRAE, 2013).
3. ISO 7730 protokolüne göre hava akım hızı < 0.15 m/s olmalıdır (ISO, 2005).
4. Havalandırma ve hava kalitesi için; ASHREA 62.1 protokolüne göre en az hava değişimi saatte 8- 10 ACH ve toz/ partikül filtrelemede MERV¹²¹ 13- 16 değerinde (ASHREA, 2022), EN 16798-1 protokolüne göre kişi başı taze hava 25- 35 m³/saat ve CO₂ Konsantrasyonu < 1000 ppm (> 1200 ppm düzeyi konsantrasyonu düşürmektedir) (Schweizer Norm. 2022) değer aralıklarında olmalıdır.
5. Mekânın temel gürültü ölçüleri konusunda; ANSI S12.60¹²² protokolüne göre önerilen en fazla gürültü

¹²⁰CRI, Colour Rendering Index (Renksel Geriverim İndeksi), günışığı referans (%100) kabul edilmek üzere bir ışık kaynağının, bir nesnenin rengini ne kadar doğru üretebildiğini tanımlamak üzere kullanılan bir ölçüdür. Ölçü birimi Ra'dır (EC, 2016).

¹²¹MERV; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği) tarafından geliştirilen; bir filtrenin 0,3 ila 10 mikron (μm) arasındaki daha büyük parçacıkları yakalama kapasitesini belirten, Minimum Verimlilik Raporlama Değerleri (EPA, Erişim tarihi: 25.11.2025).

¹²²ISO 3382-3:2022-01 Acoustics-Measurement of Room Acoustic Parameters Part:3 Open Plan Offices standart protokolünün tam metnine ulaşamadığı için kaynak olarak kullanılamamıştır.

düzeyi 40- 45 dB (A), kritik üst sınır ise 50dB(A) (ANSI/ASA, 2002) kabul edilmektedir. Ayrıca, ASHRAE Derneğinin 2011 yılında yayınladığı el kitabına göre HVAC sistemlerinin ekipman gürültüsü <40 dB(A) düzeyinde olması önerilmektedir (ASHRAE, 2011).

- f. Mekânın zemininde; antistatik, aşınmaya dayanıklı ve uzun ömürlü, kolay temizlenebilir, ergonomi ve konforu sağlayacak şekilde yumuşak, destekleyici ve şok emici, ses yalıtımı sağlayan, yangına dayanıklı (B1 sınıfı, EN 13501- 1 Standart Protokolü¹²³) veya yanmaz, renk ve desen olarak gözü yormayan (parlak, koyu, renklerden kaçınılmalı. Açık gri, açık bej, krem, fildişi ve benzeri) mat malzemeler kullanılmalıdır. Ayrıca, teknik alt yapıya uygun yükseltilmiş döşeme uygulanmalıdır.
- g. Mekânın yan yüzeylerinde; ses yalıtımı sağlayan ve akustik kaplamalar, ışığı yansıtmayan ve görsel konfor sağlayan açık gri, açık bej, krem, fildişi ve benzeri renklerde mat veya yarı mat yüzeyler, statik toz tutmayan duvar kaplamaları, ısı yalıtımlı ve nemi dengeleyebilen, özellikle B1 sınıfı yangına dayanıklı malzemeler kullanılmalı. Ayrıca kablo ve teknik altyapı desteğini sağlayacak şekilde duvar panelleri, alçıpan sistemleri ve benzeri uygulamalar yapılmalı.
- h. Mekânın tavan tasarımında; yankıyı ve gürültüyü azaltacak yüksek ses emilimi (tercihen $NRC^{124} \geq 0.7$) sağlayacak; aydınlatma armatür ve sistemlerini, HVAC, yangın uyarı, güvenlik kamera ve ses, elektrik sistemleriyle yönlendirmelerin yapılabileceği asma tavan uygulaması yapılmalıdır. Bu uygulamada özellikle B1 sınıfı yangına dayanıklı, yüksek ses emilimi (tercihen $NRC \geq 0.7$) sağlayacak, ışığı yansıtmayan ve görsel konfor sağlayan (parlak, koyu, renklerden kaçınılmalı. Açık gri, açık bej, krem, fildişi ve benzeri) mat malzemeler, tavan panelleri kullanılmalıdır.
- i. Dijital üretim destekli altyapı (CAD, görsel simülasyon vb.)

¹²³EN 13501- 1: Fire classification of construction products and building elements- Part 1: Classification using data from reaction to fire tests (BSI Standards Publication, 2018).

¹²⁴NRC, Noise Reduction Coefficient (Gürültü Azaltma Katsayısı); bir malzemenin ses emme kapasitesini tanımlar ve 0.0 ile 1.0 arasında değişen bir sayı değeridir (AUDIMUTE, Erişim tarihi: 25.11. 2025).

Tablo 7.1. Teknik verilerin oluşturulduğu mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Parametre	Özellikler ve Öneriler
Mobilya	Ergonomik ve esnek tasarımlı modüler mobilyalar.
Çalışma Düzeni	Bireysel odaklanma ve kolektif çalışmaya uygun modüler düzen, akustik kontrol ve kişisel alan tanımı.
Yapay-Doğal Işık	Karma aydınlatma, görsel konfor ve nötr arka planlar (aydınlık/difüz ışık).
Yapay Aydınlatma	Genel 500 lux, masa üstü en az 500 lux (tercihen 750-1000 lux), dikey yüzeylerde 200 lux, UGR ≤ 19 (ekranlı alanlarda ≤ 16), CRI ≥ 80 , renk sıcaklığı 3000-4000K.
HVAC / Isı-Sıcaklık	Sıcaklık: 22-24°C (kış), 23-26°C (yaz); ekran yoğun alanlarda $\leq 24^\circ\text{C}$. Bağıl nem: %40-60 RH. Hava akım hızı: <0.15 m/s. Taze hava: 25-35 m ³ /saat kişi başı, CO ₂ <1000 ppm. Filtreleme: MERV 13-16.
Zemin	Antistatik, aşınmaya dayanıklı, kolay temizlenebilir, ses yalıtımlı, yangına dayanıklı (B1 sınıfı), açık tonlarda mat malzemeler. Yükseltilmiş döşeme uygulaması.
Yan Yüzler / Duvarlar	Ses yalıtımlı ve akustik kaplamalı, ışığı yansıtmayan mat yüzeyler, statik toz tutmayan, B1 sınıfı yangına dayanıklı, teknik altyapıya uygun paneller.
Tavan	Yüksek ses emilimli (NRC ≥ 0.7), asma tavan sistemi, B1 sınıfı yangına dayanıklı, mat ve açık renkli paneller.
Akustik	Gürültü seviyesi ≤ 45 dB(A), HVAC gürültüsü ≤ 40 dB(A), yankıyı önleyen malzemeler.
Altyapı	Dijital üretim destekli (CAD, görsel simülasyon vb.), kablo ve teknik altyapı entegrasyonu.

2. **Teknik Verilerin Sınındığı Mekânlar:** Prototipleme Alanı/ Atölye Çalışma Alanı (Üretilen verilerin fiziksel nesneye veya deneysel düzeneğe dönüştürüldüğü, cihaz, alet, ekipman, armatürlere gerekli teknik müdahalenin yapıldığı mekânlardır) (Bkz. Tablo 7.1 ve Tablo 7.2)

- a. Ergonomik ve esnek mobilya düzenleri. Özellikle, yükseklik ayarlı çalışma tezgâhları, antivibrasyon özellikli masa yüzeyleri, bel destekli, tekerlekli ve ayarlanabilir sandalyeler, hareketli raf sistemleri ve tezgâh altı modüler depolama birimleri kullanılması uygun olacaktır.
- b. Yoğun bireysel ve kolektif üretime de imkân tanıyan modüler düzen ve kullanıcı hareketini destekleyen açık plan, tek bir düzlemde engel bulundurulmaması önerilmektedir. Tezgâhlar ve dolaplar arası en az 120cm. dolaşım alanı, kullanıcıların aletlere erişimi için erişim bölgesi prensibi (60- 120 cm. erişim) dikkate alınmalıdır (ISO, 1998). Gerekiyorsa, forklift veya ekipman arabası için geni geçiş aksları sağlanmalıdır.
- c. Doğal- yapay ışık sentezi tasarlanmalı. Yapay ışık kalitesi hem genel aydınlatma hem de odak aydınlatma olarak çift sistemle kurgulanmalı. Aydınlatma değerleri; genel 500 lux, iş yüzeyi 750- 1000 lux, dikey yüzeylerde 200 lux, gözün kamaşma kontrolü için $UGR \leq 19$ şart (ekranlı çalışma alanlarında ≤ 16), renksel geri verim indeksi $CRI(Ra) \geq 90$ ve renk sıcaklığı 4000- 4500K olmalıdır.
- d. Sıcaklık, ısınma ve HVAC özellikleri. Prototipleme/ atölye alanında ortaya çıkan cihaz ısısı, toz, nem gibi etkenler nedeniyle HVAC sisteminin değerleri:

1. Sıcaklık; 22- 24°C (kış), 23- 26°C (yaz), monitör sayısı yüksek alanlarda sıcaklık 24°C'yi geçmemeli; ayrıca, her bilgisayar başına 50- 100W ısı yükü eklenmelidir. Ayrıca prototipleme/ atölye alanları güneş alıyorsa, varsa otomatik panjur sistemi ve %20 ek soğutma kapasitesi gerekmektedir.
2. B ağıl nem (RH); %40-60 RH, kritik sınır $< \%30$ ve $> \%70$ RH
3. Hava akım hızı < 0.15 m/s

4. Havalandırma ve hava kalitesi; hava değişim oranı 8- 10 ACH ve toz/ partikül filtrelemede MERV 13- 16 değerinde, kişi başı taze hava 25- 35 m³/saat ve CO₂ Konsantrasyonu <1000ppm olmalı
- e. Prototipleme/ atölye çalışmasına uygun zemin yapı ve malzemesi özellikleri su şekilde sıralanabilir: Makine ve ekipman ağırlıkları dikkate alınmak koşuluyla yük taşıma kapasitesi ≥ 500 kg/m², antistatik, darbe emici, kaymaz, aşınmaya dayanıklı, ergonomik, kolay temizlenebilir, yumuşak ve titreşim sönümleyici, akustik özellikli. Yangın sınıfı enaz B1 olmalı.
- f. Mekânın yan yüzeylerinde; ses yalıtımı sağlayan ve akustik kaplamalar, ışığı yansıtmayan ve görsel konfor sağlayan açık gri, açık bej, krem, fildişi ve benzeri renklerde mat veya yarı mat yüzeyler, statik toz tutmayan duvar kaplamaları, ısı yalıtımlı ve nemi dengeleyebilen, özellikle B1 sınıfı yangına dayanıklı malzemeler kullanılmalı. Ayrıca kablo ve teknik altyapı desteğini sağlayacak şekilde duvar panelleri, alçıpan sistemleri ve benzeri uygulamalar yapılmalı.
- g. Mekânın tavan tasarımında; yankıyı ve gürültüyü azaltacak yüksek ses emilimi (tercihen $NRC \geq 0.7$) sağlayacak; aydınlatma armatür ve sistemlerini, HVAC, yangın uyarı, güvenlik kamera ve ses, elektrik sistemleriyle yönlendirmelerin yapılabileceği asma tavan uygulaması yapılmalıdır. Bu uygulamada özellikle B1 sınıfı yangına dayanıklı, yüksek ses emilimi (tercihen $NRC \geq 0.7$) sağlayacak, ışığı yansıtmayan ve görsel konfor sağlayan (parlak, koyu, renklerden kaçınılmalı. Açık gri, açık bej, krem, fildişi ve benzeri) mat malzemeler, tavan panelleri kullanılmalıdır.
- h. Prototipleme/ atölye mekânının akustik değerleri; en fazla gürültü düzeyi 40- 45 dB (A), kritik üst sınır ise 50dB(A) değerindedir, HVAC sistemlerinin ekipman gürültü düzeyi <40 dB(A) olmalı, akustik yüzey olarak tavan ve yan yüzeylerde $NRC \geq 0.7$ oranında ses emici panellerin yanı sıra gürültü kaynağı olan makineler için ses yalıtımlı kabinlerin kullanılması önerilmektedir.
- i. Çalışma esnasında oluşacak risklere (ısı, ses, elektrik, kesici/ delici yaralanmaları) karşı güvenlik önlemleri konusunda iş güvenliği standart

protokolleri takip edilmeli. Güvenlik işaretlemeleri, yönlendirmeler ve talimatlar görünür olmalı. Yangına dayanıklı ekipmanlar, acil durum çıkışları ve göz duşu/ acil duş ünitesi bulunma, elektrik kaçak akım röleleri ve topraklamalar yapılmalı. Kesici/delici aletlerle çalışılırken metal örgü eldiven, gözlük ve maske kullanılması zorunlu olmalı son olarak, kimyasal kullanımı varsa MSDS¹²⁵ belgeleri erişilebilir olmalı.

- j. Teknik donanım ve altyapı olarak; elektrik ve veri altyapısı için yükseltilmiş döşeme; iş istasyonlarında topraklı prizler, acil durum düğmeleri ve kaçak akım röleli devreler ve üst kısmında sarkıt tip iş aydınlatmaları ve askı raylar; 220V/ 380V çıkışlar; CNC tezgâh, 3D yazıcı, delme- montaj ekipmanları gibi yüksek güçlü cihazlar için yeterli; basınçlı hava hattı, lokal egzoz sistemleri ve filtreli havalandırma sistemlerinin entegre edilebilir; gerekli dijital donanım için CAD yazılımları, simülasyon programları, çift ekran sistemleri, grafik işlemcili bilgisayarlar ile uyumlu altyapı, yedek güç ve soğutma planlanmalı.

¹²⁵MSDS, Material Safety Data Sheet (SDS, Safety Data Sheet) (Malzeme Güvenlik Bilgi Formu (Güvenlik Bilgi Formu)), (ISO, 2009).

Tablo 7.2. Teknik verilerin sınındığı mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Parametre	Teknik Özellikler ve Standartlar	İlgili Temel Standartlar
Mobilya	• Ergonomik ve esnek mobilya düzenleri • Yükseklik ayarlı çalışma tezgâhları • Antivibrasyon özellikli masa yüzeyleri • Bel destekli, tekerlekli ve ayarlanabilir sandalyeler • Hareketli raf sistemleri • Tezgâh altı modüler depolama birimleri	ISO 26800 (Ergonomi) EN 1335 (Ofis sandalyeleri)
Çalışma Düzeni	• Modüler düzen (bireysel ve kolektif çalışma) • Açık plan tasarım • Tezgâhlar/dolaplar arası 120cm dolaşım alanı • 60-120cm erişim bölgesi (ISO 1998) • Forklift/ekipman arabası geçiş aksları • Tek düzlemde engelsiz tasarım	ISO 11064 (Ergonomik düzen) ANSI/BIFMA X5.5
Yapay-Doğal Işık ve Aydınlatma	• Doğal-yapay ışık sentezi • Çift sistem aydınlatma (genel ve odak) • Genel: 500 lux • İş yüzeyi: 750-1000 lux • Dikey yüzeyler: 200 lux • UGR≤19 (ekranlı alanlarda ≤16) • CRI(Ra)≥90 • Renk sıcaklığı: 4000-4500K	EN 12464-1 CIE S 008/E:2001
HVAC/ Isı/ Hava Kalitesi	• Sıcaklık: 22-24°C (kış), 23-26°C (yaz) • Bilgisayar başına 50-100W ısı yükü • Bağıl nem: %40-60 RH (kritik <%30 ve >%70) • Hava akımı: <0.15 m/s • Hava değişim: 8-10 ACH • MERV 13-16 partikül filtresi • Taze hava: 25-35 m³/saat/kişi • CO₂: <1000ppm • Güneş alan alanlar için %20 ek soğutma ve otomatik panjur	ASHRAE 62.1 EN 16798-3
Zemin	• Yük taşıma kapasitesi: ≥500 kg/m² • Antistatik özellikli • Darbe emici ve kaymaz • Aşınmaya dayanıklı • Kolay temizlenebilir • Titreşim sönümleyici • Akustik performanslı • B1 sınıfı yangına dayanıklı	EN 14041 (Zemin kaplamaları) DIN 51130 (Kaymazlık)

Tablo 7.2. (Devamı) Teknik verilerin sınındığı mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Parametre	Teknik Özellikler ve Standartlar	İlgili Temel Standartlar
Yan Yüzler/ Duvarlar	• Ses yalıtımlı akustik kaplamalar • Işık yansıtmayan mat yüzeyler (açık gri/bej/krem) • Statik toz tutmayan kaplamalar • Isı yalıtımlı ve nem dengeli • B1 sınıfı yangına dayanıklı malzemeler • Kablo/teknik altyapı için duvar panelleri • Alçıpan sistemleri	EN 13501-1 (Yangın) ISO 354 (Akustik)
Tavan	• Yüksek ses emilimi ($NRC \geq 0.7$) • Asma tavan sistemi (tüm mekanik sistemler entegre) • B1 sınıfı yangına dayanıklı • Işık yansıtmayan mat malzemeler (açık tonlar) • HVAC, aydınlatma, güvenlik sistemleri entegrasyonu	ASTM E84 (Yanmazlık) ISO 11654 (Akustik)
Akustik	• Maksimum gürültü seviyesi: 40-45 dB(A) • Kritik üst sınır: 50 dB(A) • HVAC ekipman gürültüsü: <40 dB(A) • $NRC \geq 0.7$ ses emici paneller (tavan ve duvar) • Gürültülü makineler için ses yalıtımlı kabinler	ISO 3382-3 ANSI S12.60
Altyapı	• Yükseltilmiş döşeme (elektrik ve veri) • Topraklı prizle ve kaçak akım röleleri • 220V/380V çıkışlar (CNC/3D yazıcı vb.) • Basınçlı hava hattı ve lokal egzoz sistemleri • CAD/simülasyon donanımları • Çift ekran sistemleri • Yedek güç ve soğutma sistemleri • Acil durum ekipmanları (duş üniteleri vb.) • MSDS belgeleri (kimyasal kullanımı varsa)	IEC 60364 (Elektrik) NFPA 70 (Yangın)

3. Teknik Verilerin Paylaşıldığı Mekânlar: Toplantı, Sunum, Sergileme, Arşiv alanları. Bu mekânlar, laboratuvar çıktılarının sunulması, analiz edilmesi, temsil edilmesi ve geleceğe aktarılması amacıyla kullanılan sosyal ve temsili nitelikli alanlardır. Teknik verilerin disiplin içi ve dışı paydaşlara aktarılmasına olanak tanıyan bu ortamlar, aynı zamanda kurumsal hafızanın sürdürülebilirliğini destekleyen dijital ve fiziksel arşiv alanlarını da kapsar (Bkz. Tablo 7.1, Tablo 7.3

ve Tablo 7.4). Bu nedenle hem teknolojik altyapı hem de fiziksel çevre kalitesi yüksek standartlara göre tasarlanmalıdır.

- a. Sunum teknolojilerine uyumlu altyapı çoklu medya araçlarını destekleyecek biçimde yapılandırılmalıdır.
 1. Gömülü projeksiyon sistemleri veya yüksek çözünürlüklü (4K) ekranlar. Mümkünse, tavan entegreli surround ses sistemleri
 2. Video kayıt ve canlı yayın ekipman altyapısı, sunum ve tartışma alanları için kablosuz bağlantı ve çoklu bağlantı türleri
 3. Otomasyon sistemleri ile ışık-ses-perde kontrolü
- b. Işığın hem sergileme hem bilgilendirme aracı olarak kullanıldığı planlama
 1. Sergi alanlarında $CRI \geq 90$, ayarlanabilir spot aydınlatmalar
 2. Mekânsal bütünlük için diffüz ve dolaylı aydınlatma
 3. Bilgilendirici panolar, dijital ekranlar veya ışıklı panellerle kullanılması, kullanıcıyı yönlendirecek hiyerarşik kurulum sağlanması
- c. Arşivleme için iklim kontrolü ve yangın güvenliği konusunda;
 1. Arşiv odalarında; sıcaklık 18– 22°C, bağıl nem %45– 55 RH, ışık düzeyi en fazla 200 lux, UV filtreli
 2. Yangın önlemlerinde; duman dedektörlü sistem, gazlı yangın söndürme, yangına dayanıklı kapı ve dolaplar (EN 1047- 1 standardına uyumlu)
 3. Dijital arşiv için kesintisiz güç kaynağı (UPS) sistemleri, özellikle yüksek güvenlik gerektiren veri depolama için rank kabinleri önerilmektedir.
- d. Kamusal ve yarı kamusal alanların geçişkenliğinde, laboratuvar çalışanları, ilgili kurum çalışanları ve dış katılımcılara göre düzenlenmeli. Giriş- çıkış noktaları kontrollü olmalı. Laboratuvar içinde görsel yönlendirmeler tasarlanmalı. Toplantı, sergi, sunum alanları arasında görsel ilişkilendirme sağlanmalı, akustik ayırışma tasarlanmalı.

- e. Karma aydınlatma, görsel konfor ve nötr arka planlar (aydınlık/ difüz ışık)
- f. Yapay aydınlatma değerleri;
 - 1. Toplantı ve seminer alanlarında 500 lux (ekran yüzeyinde ≤ 300 lux), sergileme alanında 300- 500 lux (sergi nesnesine özel aydınlatma), arşiv ve koridor alanında 100- 200 lux, renk sıcaklığı 3500- 4000K, nötr beyaz.
 - 2. Akıllı aydınlatma sistemleri kullanılabilir.
- g. Sıcaklık, ısıtma ve HVAC özellikleri; sıcaklık 21- 24°C, bağıl nem %40- 60 RH., hava kalitesi CO₂ <800 ppm, hava değişim hızı enaz saatte 6- 8 ACH, en fazla 35 dB (A) çalışan HVAC cihazları tercih edilmeli, sergi alanlarında hava akımı <0.1 m/s olmalı
- h. Zemin yapısı ve malzeme olarak antistatik, aşınmaya dayanıklı ve uzun ömürlü, kolay temizlenebilir, ergonomi ve konforu sağlayacak şekilde yumuşak, destekleyici ve şok emici, ses yalıtımı sağlayan, kolay temizlenebilir, renk ve desen olarak gözü yormayan mat malzemeler tercih edilmeli. Yük taşıma kapasitesi enaz 250 kg/m², kullanılan malzemelerin yangın sınıfı B1 olmalı. Ayrıca, teknik alt yapıya uygun yükseltilmiş döşeme uygulanmalıdır.
- i. Mekanın yan yüzeylerinde; ses yalıtımı sağlayan ve akustik kaplamalar, ışığı yansıtmayan ve görsel konfor sağlayan açık gri, açık bej, krem, fildişi ve benzeri renklerde mat veya yarı mat yüzeyler, statik toz tutmayan duvar kaplamaları, ısı yalıtımlı ve nemi dengeleyebilen, özellikle B1 sınıfı yangına dayanıklı malzemeler kullanılmalı. Duvarlarda dijital ekranlar, sabit sunum panoları veya manyetik yazı yüzeyleri entegre edilebilir olmalı. Ayrıca kablo ve teknik altyapı desteğini sağlayacak şekilde duvar panelleri, alçıpan sistemleri ve benzeri uygulamalar planlanmalı.
- j. Teknik verilerin paylaşıldığı mekânların uygun tavan tasarımında; yankıyı ve gürültüyü azaltacak yüksek ses emilimi (tercihen $NRC \geq 0.7$) sağlayacak; aydınlatma armatür ve sistemlerini, HVAC, yangın uyarı, güvenlik kamera, hoparlör ve ses, elektrik sistemleriyle yönlendirmelerin yapılabileceği asma tavan uygulaması yapılmalıdır. Bu uygulamada özellikle B1 sınıfı yangına dayanıklı, yüksek ses emilimi (tercihen $NRC \geq 0.7$) sağlayacak, ışığı yansıtmayan ve görsel konfor sağlayan (parlak,

koyu, renklerden kaçınılmalı. Açık gri, açık bej, krem, fildişi ve benzeri) mat malzemeler, tavan panelleri kullanılmalıdır

- k. Mekânların akustik değerleri olarak; gürültü düzeyi en fazla 35- 40 dB (A), yankı süreleri¹²⁶ sunum alanı için 0.6- 0.8 sn. ve sergi alanı için 0.5- 0.7 sn., ses yalıtımı sağlayan (tercihen $NRC \geq 0.7$) ve akustik kaplamalar önerilmektedir.



¹²⁶Yankı (reverberation) süresi; bir ses kaynağı sustuktan sonra, ses enerji yoğunluğunun en yüksek değerinin bir milyonda birine (örneğin 60dB) düşme süresinin saniye cinsinden değeridir. T_n ile gösterilir (n, inmesi gereken desibel) (ISO, 2010).

Tablo 7.3. Teknik verilerin paylaşıldığı mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- I

Kategori	Alt Kategori	Teknik Özellikler	Standartlar/Uyumluluk
Sunum Teknolojileri	Görsel Sistemler	Gömülü projeksiyon veya 4K ekranlar Tavan entegre surround ses sistemleri	HDBaseT, HDMI 2.1
	Medya Altyapısı	Video kayıt ve canlı yayın ekipmanı Kablosuz ve çoklu bağlantı desteği	RTSP, NDI, SDI
	Otomasyon	Işık-ses-perde kontrol sistemleri	KNX, DALI, DMX
Aydınlatma Planlaması	Sergi Aydınlatması	CRI ≥ 90 ayarlanabilir spotlar Diffüz ve dolaylı aydınlatma	EN 12464-1
	Bilgilendirme Sistemleri	Işıklı paneller ve dijital ekranlar Yönlendirici hiyerarşik kurulum	ADA Erişilebilirlik
Arşiv ve Güvenlik	İklim Kontrolü	18-22°C sıcaklık %45-55 RH nem ≤ 200 lux UV filtreli aydınlatma	ISO 11799
	Yangın Güvenliği	Duman dedektörlü sistem Gazlı söndürme Yangına dayanıklı kapı/dolaplar	EN 1047-1
	Dijital Arşiv	UPS sistemleri RAID kabinli veri depolama	Tier 3/4
Mekânsal Düzen	Erişim Kontrolü	Kontrollü giriş-çıkış noktaları Kullanıcı gruplarına özel erişim	ISO 27001
	Yönlendirme	Görsel yönlendirme sistemleri Alanlar arası görsel ilişkilendirme	DIN 14510
	Akustik Çözümler	Toplantı/sergi alanlarında akustik ayırma	ISO 3382

Tablo 7.4. Teknik verilerin paylaşıldığı mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- II

Parametre	Teknik Özellikler	Standartlar/Değerler	Uygulama Notları
Aydınlatma	Karma aydınlatma sistemi Nötr arka planlar (difüz ışık) Akıllı aydınlatma kontrolü	Toplantı alanı: 500 lux (ekran ≤ 300 lux) Sergi alanı: 300-500 lux Arşiv/koridor: 100-200 lux Renk sıcaklığı: 3500-4000K	EN 12464-1 CIE S 008/E
HVAC Sistemleri	Sıcaklık kontrolü Nem dengesi Hava kalitesi yönetimi Ses seviyesi kontrolü	21-24°C sıcaklık %40-60 RH nem CO ₂ <800 ppm 6-8 ACH hava değişimi ≤ 35 dB(A) ses seviyesi Sergi alanı hava akımı <0.1 m/s	ASHRAE 55 EN 16798-3
Zemin Kaplaması	Antistatik özellikli Aşınma dayanımlı Ergonomik tasarım Yangın güvenli	≥ 250 kg/m ² yük taşıma B1 yangın sınıfı NRC ≥ 0.7 akustik performans Yükseltilmiş döşeme opsiyonu	EN 14041 DIN 51130
Duvar Sistemleri	Akustik kaplamalı Işık yansıtmayan yüzeyler Teknik altyapı entegrasyonlu	Açık tonlu mat renkler (gri/bej/krem) B1 yangın sınıfı Dijital ekran entegrasyonu Manyetik yazı yüzeyleri	EN 13501-1 ISO 354
Tavan Düzeni	Yüksek ses emilimli Tüm sistemler entegre Yangına dayanıklı	NRC ≥ 0.7 akustik panel B1 yangın sınıfı Mat ve açık renkli yüzeyler Asma tavan sistemi	ASTM E84 ISO 11654
Akustik Performans	Gürültü kontrolü Yankı süresi optimizasyonu Ses yalıtımı	≤ 40 dB(A) ortam gürültüsü Sunum alanı: 0.6-0.8 sn RT Sergi alanı: 0.5-0.7 sn RT NRC ≥ 0.7 kaplamalar	ISO 3382-3 ANSI S12.60

4. Teknik Süreçleri Destekleyen Yaşamsal Mekânlar: Personel İhtiyaçlarına Yönelik Destek Alanları (Bkz. Sekil 7.1 ve Tablo 7.4).

- a. Islak Hacimler (WC/ Lavabo/ Duş/ El Yıkama Noktaları): Bu alanlar, özellikle temiz oda, karanlık oda veya kimyasal işlemlerin yapıldığı bölümlerde çalışanların hijyen koşullarını sağlayabilmesi açısından zorunludur.

1. Personel sayısına uygun ölçekte ve enaz 1:10 oranında WC, lavabo ve duş planlanmalı

2. Cinsiyete göre ayrılmış veya unisex çözümler
 3. Antibakteriyel malzeme kullanımı (seramik, kompozit yüzeyler)
 4. Temiz alanlarla doğrudan temas kurmayan konumlandırma gereği temiz oda ile ıslak hacimler arasında enaz bir hava geçiş holü bulundurulmalı
 5. Engelli erişimine uygun düzenleme yapılmalı
 6. ISO 8995-1 standardına göre ıslak hacimler için 150- 200 lux ve renksel geriverim CRI >80 olmalı ve IEC 60529 standardına uygun suya ve toza karşı dirençli aydınlatma armatürleri kullanılmalı. Neme karşı elektrik tesisatının güvenliği (IP44/IP65 IEC 60529) sağlanmalı, acil durum aydınlatması kurulmalı
 7. Hava değişim oranı saatte 4- 6 ACH, havalandırma $\approx 85\text{m}^3/\text{h}$; sıcaklık 20- 24°C (kış), 23- 26°C (yaz), bağıl nem $\leq \%60$ olmalı.
- b. Mini Mutfak/ Kitchenette: Personelin molalar sırasında temel beslenme ihtiyaçlarını karşılayabileceği alanlardır.
1. Kompakt, hijyenik ve kolay temizlenebilir mutfak modüller
 2. Soğutucu, mikrodalga, su arıtma cihazı gibi temel cihazlar yer almalı; su giriş- çıkışları kolay erişilebilir ve yalıtımlı olmalıdır
 3. Dinlenme ve yemek alanları birlikte çözümlenebilir (çok amaçlı hacim olarak)
 4. Özellikle laboratuvar çekirdeğinden tamamen izole edilmeli, bağımsız havalandırma sistemine bağlanması; hava değişim hızı pişirme yapılıyorsa 6- 8 ACH, pişirme yapılmıyorsa 2- 4 ACH; pişirme için havalandırma $\approx 170\text{m}^3/\text{h}$; sıcaklık 20- 24°C (kış), 23- 26°C (yaz); bağıl nem oranı $\leq \%60$ olmalı, egzoz gazları doğrudan dışarı atılmalı, aktif karbon filtreli davlumbaz kullanılmalı.

5. Genel aydınlatma 200- 300 lux, tezgâh ustı 500 lux, özellikle gıda alanlarında renksel geriverim $CRI \geq 85$, renk sıcaklığı 3000- 4000K, UGR değeri < 22 , acil aydınlatma ≥ 0.5 lux ve IP44 koruma sınıfı olmalı.
 6. Gürültü düzeyi ≤ 45 dB(A); ses yalıtımı ≥ 47 dB Rw (duvarlar), ≥ 32 dB Rw (kapılar); yankı süresi 0.4-0.6 sn., elektrikli cihaz gürültüsü ≤ 50 dB sınırlarında olmalı.
- c. Dinlenme Alanı: Uzun süreli çalışanlar için zihinsel ve fiziksel yenilenme alanıdır.
1. Konfor odaklı mobilyalar (koltuklar, ayak uzatma destekli oturma grupları, ergonomik dinlenme koltukları gibi)
 2. Gün ışığına erişim imkânı (varsa doğal manzaraya yönelim)
 3. Akustik konfor için yoğun teknik seslerden uzak, arka plan gürültüsü 35- 40 dB(A), yankı süresi ≤ 0.5 sn.; ses yalıtımı ≥ 47 dB Rw (duvarlar), ses emilim oranı $NRC \geq 0.7$, HVAC gürültüsü ≤ 30 dB(A) oranı önerilmektedir.
 4. Yapay aydınlatmada, aydınlık düzeyi 100- 200 lux, tercihen renksel geriverim $CRI \geq 85$, renk sıcaklığı 2700- 3000K, UGR değeri < 19 , acil aydınlatma düzeyi ≥ 0.5 lux, ayarlanabilir ışık kontrollü sistem önerilmektedir
 5. Hava kalite değerleri; sıcaklık 20- 24°C (kış), 23- 26°C (yaz); bağıl nem oranı %30-60, hava değişim oranı 4-6ACH, CO₂ konsantrasyonu < 1000 ppm, kişi başı havalandırma 20-30 m³/h, kişi başı taze hava miktarı 8-10 L/s, hava hızı < 0.15 m/s önerilmektedir.
 6. Görsel rahatlama sağlayan malzeme ve renk tercihleri
 7. Bağımsız veya yarı-açık çözümler (kitchenette ile entegre olabilir, mahremiyet ve akustik ayrışma sağlanmalı)
- d. Bireysel Dolap/ Giyinme/ Kişisel Eşya Alanı: Çalışanların özel eşyalarını bırakabileceği, özellikle temiz/kirli ayırımına duyarlı giysi değişimi yapabileceği alanlar.

1. Soyunma odası olarak veya bireysel dolaplarla çözümlenebilir. İki bölmeli (temiz/ kirli) soyunma dolapları kullanılmalı. Alternatif olarak oda biçiminde tam teşekküllü giyinme alanı düzenlenebilir.
2. Temiz oda geçişiyle ilişkili planlanmalı (ön bölge)
3. Kilitli, ısı yalıtımlı, suya ve kimyasala dayanıklı, B-2 yangın sınıfına uygun malzeme tercihleri
4. Kadın/erkek ayrımı gözetilerek veya unisex sistemler ile çözülebilir
5. Hava kalite değerleri; sıcaklık 21- 24°C, bağıl nem oranı %40- 60, hava değişim oranı 3- 5 ACH, CO₂ konsantrasyonu <1000 ppm, kişi başı havalandırma 15 m³/h, kişi başı taze hava miktarı 5- 7.5 L/s oranları önerilmektedir.
6. Bu alanlarda genel aydınlık düzeyi 100- 200lux, dolap içi 150 lux, renk geriverim oranı CRI ≥85, renk sıcaklığı 3000- 4000K, UGR değeri <22, acil aydınlatma düzeyi ≥ 1 lux (yol) ve ≥0.5 lux (alan), toz ve neme dayanıklı IP44 koruma sınıfı önerilmektedir.
7. Akustik konfor için yoğun teknik seslerden uzak, arka plan gürültüsü ≤ 40 dB(A), yankı süresi 0.3- 0.5 sn.; ses yalıtımı ≥37 dB Rw (duvarlar), ses emilim oranı NRC ≥ 0.7, HVAC gürültüsü ≤ 30 dB(A) oranı önerilmektedir.

Tablo 7.5. Teknik süreçleri destekleyen yaşamsal mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Parametre	Islak Hacimler	Mini Mutfak	Dinlenme Alanı	Bireysel Dolap
Mobilya	1:10 oran WC/lavabo Antibakteriyel seramik Engelli erişimli Unisex veya ayrı	Kompakt modüler mutfak Temel cihazlar (buzdolabı/mikrodalga) Yemek-dinlenme entegre	Ergonomik koltuklar Ayak uzatma destekli Modular tasarım	Kilitli iki bölmeli Temiz/kirli ayrımı B2 yangın sınıfı
Çalışma Düzeni	Hava kilidi ile konumlandırma Temiz alanlardan izole Ergonomik yükseklikte teçhizat	Pişirme/pişirmeme modu Dinlenme alanı ilişkisi Ergonomik çalışma yüksekliği	Doğal manzaraya yönelim Mahremiyetli oturma grupları Çok amaçlı kullanım	Temiz oda ön bölge Kişisel eşya organizasyonu Akıllı depolama
Aydınlatma	150-200 lux (CRI>80) IP44/IP65 armatürler Acil aydınlatma ≥ 0.5 lux	Genel: 200-300 lux Tezgah: 500 lux (CRI ≥ 85) UGR<22	100-200 lux (CRI ≥ 85) 2700-3000K Ayarlanabilir sistem	Genel: 100-200 lux Dolap içi: 150 lux UGR<22
HVAC	4-6 ACH 20-24°C (kış) ≤ 60 nem 85m ³ /h havalandırma	6-8 ACH (pişirme) 170m ³ /h davlumbaz Aktif karbon filtre	4-6 ACH CO ₂ <1000ppm <0.15m/s hava hızı	3-5 ACH 21-24°C %40-60 nem
Zemin	Kaymaz seramik Antibakteriyel derz Eğimli drenaj	Epoksi kaplama Sıvı geçirmez Kimyasal dirençli	Yumuşak dokulu Ses emici	Vinil kaplama Aşınma dirençli

Tablo 7.5. (Devamı) Teknik süreçleri destekleyen yaşamsal mekânlar/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Parametre	Islak Hacimler	Mini Mutfak	Dinlenme Alanı	Bireysel Dolap
Duvarlar	Nem geçirmez sıva Küf önleyici boya IP65 prizler	Paslanmaz çelik panel Yağ itici yüzey	Akustik panel (NRC $\geq$ 0.7) Yatıştırıcı renkler	B2 yangın dayanımlı Yıkanabilir yüzey
Tavan	Nem dirençli alçıpan IP44 aydınlatma	Paslanmaz çelik kaset Egzoz entegre	NRC $\geq$ 0.9 panel Dolaylı aydınlatma	Hafif akustik panel Yangına dayanımlı
Akustik	Yankı $\leq$ 0.6sn HVAC $\leq$ 35dB	$\leq$ 45dB ortam $\geq$ 47dB yalıtım	35-40dB arka plan Yankı $\leq$ 0.5sn	$\leq$ 40dB gürültü Yankı 0.3-0.5sn
Altyapı	IP65 tesisat Acil duş Hava kilidi	Gaz/su izolasyon Atık su filtresi	USB şarj Kablosuz ağ	RFID kilit Yangın dedektörü

5. Depolama Alanı: Çeşitli cihaz, alet, ekipman çeşitli eşyaların konabileceği alan (Bkz. Sekil 7.1, Tablo 7.4 ve Tablo 7.5).

- Bu alanda akıllı raflar, mobil üniteler; yükseklik ayarlı ve koruk kapaklı dolap sistemleri, hassas ekipman için iklim kontrollü dolaplar kullanılabilir.
- Bu alanlarda yapay aydınlatma değerleri; genel aydınlık düzeyi 100- 150 lux, dikey raf aydınlatma düzeyi 150 lux, tercihen renksel geriverim CRI $\geq$ 80, renk sıcaklığı 3000- 4000K, UGR değeri < 22, acil aydınlatma düzeyi $\geq$ 1 lux (yol) ve $\geq$ 0.5 lux (alan), EN 12464-1 standart protokolüne göre tozlu ortamlar için IP54 koruma sınıfı olmalı.
- Hava kalite değerleri; sıcaklık 18-22°C, bağıl nem oranı %40- 60 RH, hava değişim oranı 2- 4ACH, CO₂ konsantrasyonu <800 ppm, partikül

filtreleme HEPA H13 sınıfı, filtrelenmiş dış hava miktarı $0.5 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$ (arşiv alanları) ve $1.0 \text{ L/s}\cdot\text{m}^2$ (aktif depolama alanları) oranları önerilmektedir.

- d. Bu mekânlarda genel gürültü düzeyi $\leq 40 \text{ dB(A)}$, yankı süresi $0.4- 0.6 \text{ sn.}$, tavan yüzeyinde ses emilim oranı $\text{NRC} \geq 0.8$ ve yan yüzeylerin ses yalıtımı $\geq 45 \text{ dB}$ oranları önerilmektedir.
- e. Depolama alanının zemini; antistatik, kaymayan, aşınmaya dayanıklı ve uzun ömürlü, kolay temizlenebilir, yangına dayanıklı (B1 sınıfı, EN 13501- 1 Standart Protokolü) veya yanmaz malzemeler kullanılmalı. Ayrıca, teknik alt yapıya uygun yükseltilmiş döşeme uygulanmalıdır. Mekânın yan yüzeyleri için statik toz tutmayan duvar kaplamaları, ısı yalıtımlı ve nemi dengeleyebilen, özellikle B1 sınıfı yangına dayanıklı malzemeler kullanılmalı. Ayrıca kablo ve teknik altyapı desteğini sağlayacak şekilde duvar panelleri, alçıpan sistemleri ve benzeri uygulamalar yapılmalı. Bu mekânın tavanı, aydınlatma armatür ve sistemlerini, HVAC, yangın uyarı, güvenlik kamera ve ses, elektrik sistemleriyle yönlendirmelerin yapılabileceği asma tavan uygulaması yapılmalıdır. Bu uygulamada özellikle B1 sınıfı yangına dayanıklı malzeme kullanılmalı.

Tablo 7.6. Depolama Alanı/ Belirlenen ilke ve ölçütleri

Kategori	Mobilya Sistemleri	Aydınlatma	HVAC ve Hava Kalitesi	Akustik	Zemin	Duvar	Tavan
Teknik Özellikler	Akıllı raflar Mobil üniteler Yükseklik ayarlı dolaplar İklim kontrollü sistemler	Genel: 100-150 lux Raf: 150 lux CRI $\geq$ 80, 3000-4000 K UGR< 22 IP54 koruma	18-22°C, %40-60 RH 2-4 ACH CO ₂ <800 ppm HEPA H13 0.5-1.0 L/s·m ² hava debisi	$\leq$ 40 dB(A) Yankı 0.4-0.6 sn NRC $\geq$ 0.8 (tavan) $\geq$ 45 dB yalıtım (duvar)	Antistatik Kaymaz B1 yangın sınıfı Yükseltilmiş döşeme	Toz tutmama Isı yalıtımlı B1 yangın sınıfı Kablo altyapılı	Asma tavan B1 yangın sınıfı NRC $\geq$ 0.8 Sistem entegrasyonlu
Standartlar	EN 16121	EN 12464-1 IEC 60529	ISO 14644-1 ASHRAE 62.1	ISO 3382-3 EN ISO 717-1	EN 13501-1 DIN 51130	EN 13964 EN 13501-1	EN 13964 ASTM E84
Kritik Değerler	$\pm$ 1°C iklim kontrol $\pm$ 5% RH hassasiyet	Acil aydınlatma $\geq$ 1 lux IP54 toz/su direnci	HEPA %99.97 verim <800 ppm CO ₂	0.4-0.6 sn yankı $\geq$ 45 dB yalıtım	$\geq$ 500 kg/m ² taşıma 150-300 mm yükseklik	Nem denge $\pm$ 5% Statik direnç $\leq$ 10°Ω	600x600mm panel 30dk yangın dayanım

Tablo 7.7. Depolama Alanı/ Belirlenen ilke ve ölçütleri- Ek

Özellik	Mobilya Sistemleri	Aydınlatma	HVAC ve Hava Kalitesi	Akustik	Zemin	Duvar	Tavan
Ek Özellikler	RFID envanter takip Otomatik yükseklik ayarı	Hareket sensörleri kontrol DALI protokolü	VRF sistemleri Geri kazanımlı havalandırma	125-4000Hz frekans aralığı 30dB ses azaltma	Elektrostatik dissipatif Kolay temizlenebilir	Yıkabilir yüzey Kimyasal dirençli	HVAC entegrasyonlu Aydınlatma entegre
Kontrol Periyotları	Aylık fonksiyon testi 6 ayda sensör kalibrasyonu	3 ayda sensör testi Yıllık enerji verimliliği ölçümü	Haftalık basınç kontrol 6 ayda hava kalitesi analizi	6 ayda yankı ölçümü Yıllık yalıtım testi	Aylık kayma direnci testi 6 ayda statik test	3 ayda nem ölçü Yıllık yangın testi	6 ayda sistem entegrasyon testi Yıllık yangın dayanım testi

Yukarıda belirtilen laboratuvar mekânlarının arasında yer alan geçiş alanı için öncelikle karanlık oda, varsa beyaz oda ve temiz ölçüm odasından çıkışta, ışığın kontrol edilebilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çalışan kişilerin görme problemi veya göz hasarının oluşmasına sebep olmayacak şekilde karanlık ile çalışma ışığı arasında ışığın kademelenmesinin sağlanması gerekli görülmektedir. Bu alanda rodopsin¹²⁷ yenilenmesi için normal şartta yarım saat gerekirken kademeli ışık artışıyla bu süreci yarıya indirmek mümkündür. Ayrıca pupilla'nın¹²⁸ açılıp kapanma dinamiğinde, >500 lux ↔ <50 lux oranında ani ışık değişimlerinde gözde stres yaratmaktadır. Bu iki önemli fiziki durum

¹²⁷Rodopsin; ışığı elektrik sinyaline dönüştüren, retinanın fotoreseptör hücrelerinde (özellikle uzun hücrelerinde) bulunan düşük ışık koşullarındaki görme sürecinde önemli rol oynayan ışığa duyarlı bir reseptör proteindir. Yoğun ışık altında özelliğini yitiren otopsin proteini, karanlıkta yeniden oluşur. Bu nedenle hızla karanlığa girildiğinde ilk başta görme eylemi oluşmaz. Işıktan karanlığa geçişte rodopsinin yeniden oluşması, rodopsin yenilenmesi olarak adlandırılmaktadır (Rogers, Erişim tarihi: 25.11.2025).

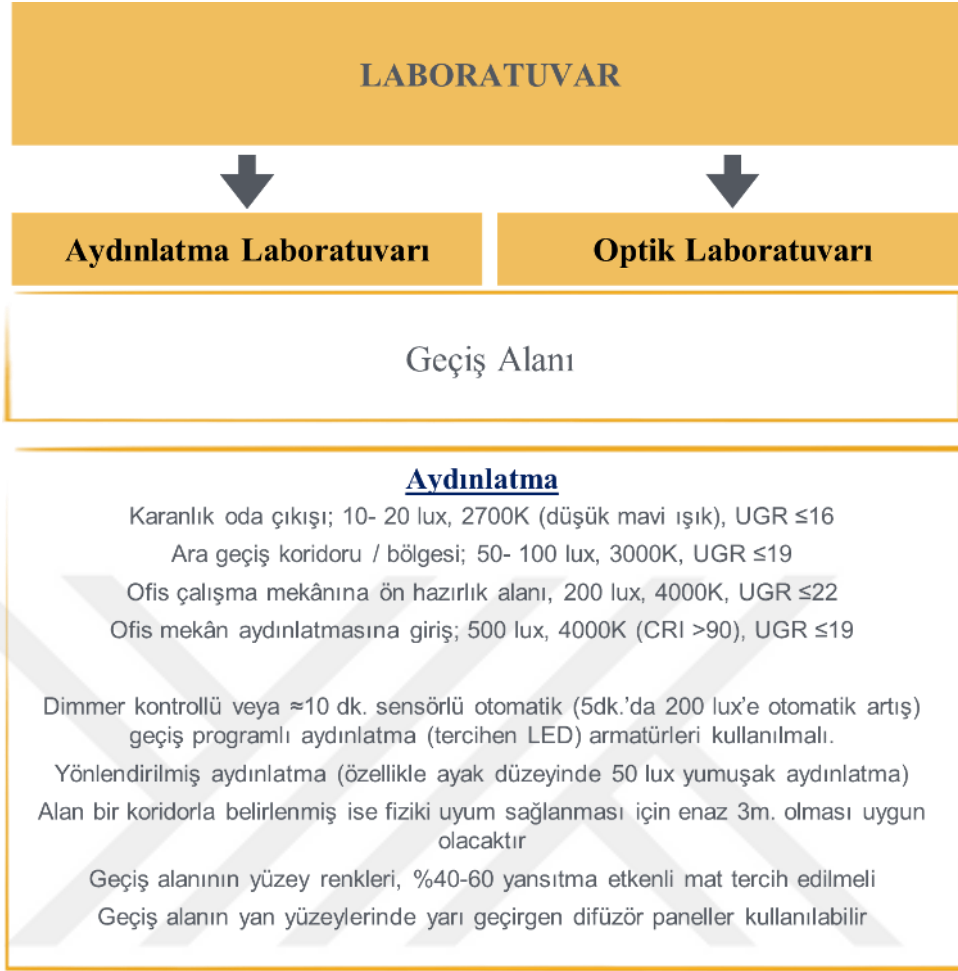
¹²⁸Pupilla; gözde diyafram görevi gören, irisin ortasında yer alan siyah açıklık (Perkins, Erişim tarihi: 25.11.2025).

temelinde, fotobiyolojik güvenlik için IEC 62471, ISO/ CIE 8995-1 iç mekân aydınlatması ile görsel/ video görüntüleme birimlerini içeren iç mekân aydınlatmaları ile ilgili DIN 5035-7 standart protokollerinden yararlanarak, geçiş alanı aydınlatma özelliklerini dört sınıfta belirlenmiştir:

1. Karanlık oda çıkışı; 10- 20 lux, 2700K (düşük mavi ışık), UGR ≤ 16
2. Ara geçiş koridoru/ bölgesi; 50- 100 lux, 3000K, UGR ≤ 19
3. Ofis çalışma mekânına ön hazırlık alanı, 200 lux, 4000K, UGR ≤ 22
4. Ofis mekân aydınlatmasına giriş; 500 lux, 4000K (CRI >90), UGR ≤ 19

Geçiş bölgesinin teknik uygulamasında ise aşağıda yer alan beş madde belirlenmiştir:

1. Dimmer kontrollü veya ≈ 10 dk. sensörlü otomatik (5dk.'da 200 lux'e otomatik artış) geçiş programlı aydınlatma (tercihen LED) armatürleri kullanılmalı.
2. Yönlendirilmiş aydınlatma (özellikle ayak düzeyinde 50 lux yumuşak aydınlatma)
3. Alan bir koridorla belirlenmiş ise fiziki uyum sağlanması için enaz 3m. olması uygun olacaktır
4. Geçiş alanının yüzey renkleri, %40-60 yansıtma etkenli mat tercih edilmeli
5. Geçiş alanın yan yüzeylerinde yarı geçirgen difüzör paneller kullanılabilir (Bkz. Şekil 7.4)



Şekil 7.4. Geçiş alanı ilke ve ölçütleri/ Aydınlatma

Aydınlatma/ optik laboratuvarlarında yapılan çalışmalar gereği, çalışanların bir malzemeyi günışığında test veya kontrol etmek gerektiğinde çıkmaları gereken açık alana, ofis ortamına geçtikten sonra çıkması uygun olacaktır.

Geçiş alanı için diğer önemli bir fiziki şart; karanlık, beyaz ve temiz odaların sıcaklık/ nem ve havalandırma şartları ile çalışma odalarının sahip olduğu şartlara geçişi sağlayacak şekilde düzenlenmesidir. Dolayısıyla bu şartla ilgili olarak karanlık oda için sıcaklık ve nem şartları bu bölümde (s.202) açıklanmıştır. Temiz ölçüm odalarının sıcaklık ve nem oranları ise çok daha detaylı belirlenmiştir. Temiz ölçüm odalar için belirlenen sıcaklık 20°C – 23°C (toleransı; ±1°C veya daha dar (lazer interferometri gibi ultra-hassas ölçümlerde ±0.5°C) ve bağıl nem (RH) genellikle %45 ±5 ile sınırlandırılır (ISO 14644- 1: Temiz odalar ve İlgili Kontrollü Ortamlar). Lazer ölçümlerinde iki durum söz konusudur. Biri ultra-hassas interferometri, spektroskopi veya nanofotonik çalışmaları için belirlenmiş olan ±0.5°C toleranslı 20°C sıcaklık düzeyi, diğeri yüksek

güçlü lazer sistemlerinde termal lens etkisini minimize etmek için belirlenen, $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ toleranslı 22°C sıcaklıktır. Ayrıca, lazer çalışmalarına bağlı olarak temiz odaların bağıl nem (RH) oranları dört farklı oranda tanımlanmıştır. Bu dört farklı oran; genel lazer ölçümleri için %40-50/ (± 5 toleranslı), yüksek hassasiyetli interferometri için %45 ± 3 / (± 2 toleranslı), fiber optik sistemler için %30-60/ (± 10 toleranslı) ve son olarak yüksek güçlü lazerler için < 50 / (± 5 toleranslı) şeklinde belirlenmiştir (ISO 10110-14: Optik ve fotonik- Optik Elemanlar ve Sistemler İçin Çizimlerin Hazırlanması, Bölüm 14: Dalga Cephesi Deformasyon Toleransı, ISO 14644- 1: Temiz Odalar ve İlgili Kontrollü Ortamlar) şeklinde standardize edilmiştir.

Temiz ölçüm odalarının partikül ve havalandırma şartları ISO, DIN ve ek kontroller için IEC standartları geliştirilmiştir¹²⁹. Bu standartlara göre:

1. Toz Kontrolü (Partikül Sınıflandırması).
 - a. Önerilen ISO sınıfı 5- 7; partikül boyutu $\geq 0.5 \mu\text{m}$, en fazla partikül sayısı sınıf 5 için $\leq 3,520/\text{m}^3$, sınıf 7 için $\leq 352,000/\text{m}^3$. Partikül sayısı $\geq 5 \mu\text{m}$, en fazla partikül sayısı sınıf 5 için $\leq 29/\text{m}^3$ ve sınıf 7 için $\leq 2,930/\text{m}^3$ 'dir (ISO 14644-1: Temiz Odalar ve İlgili Kontrollü Ortamlar, Bölüm 1: Partikül Konsantrasyonuna Göre Hava Temizliğinin Sınıflandırılması, (ISO, 2015)).
2. Havalandırma ve hava değişim oranı: ISO 14644- 4 Temizoda Tasarımı protokolüne göre hava değişim sayıları; ISO sınıf 5 için 240-600 ACH (HEPA filtreli laminar akış), ISO Sınıf 7 için 20-60 ACH (türbülanslı akış) ve basınç farkı +10-15 Pa (dış ortama göre pozitif basınç) olmalıdır (ISO, 2001).
3. Akustik: Bilgisayarlı çalışma alanları için ISO 9241-6: Görsel Ekran Terminalleri (VDT'ler) ile Ofis Çalışmaları İçin Ergonomik Gereksinimler, Bölüm 6: Çalışma Ortamına İlişkin Rehberlik standart protokolünde; sıcaklık 20°C - 24°C (kış)/ 23°C - 26°C (yaz), bağıl nem (RH): %40- %60 ve hava akım hızı $< 0.15 \text{ m/s}$ şeklinde belirlenmiştir (Bkz. Tablo 7.8), (ISO, 1999).

¹²⁹Bu konuda, ANSI/ ASHRAE ve OSHA standartları da mevcuttur. Fakat bu tez kapsamında öncelikli alınan standartlar değildir (Y.N.).

Tablo 7.8. Temiz ölçüm odalarının ilke ve ölçütleri

Özellikler	Genel Değerler	Ultra-Hassas Ölçümler	Yüksek Güçlü Lazerler	Standartlar	Titreşim Kontrol
Sıcaklık	20-23°C (±1°C)	20°C (±0.5°C)	22°C (±0.2°C)	ISO 14644-1 ISO 10110-14	VC-D sınıfı
Bağıl Nem	%45 (±5%)	%45 (±2%)	<%50 (±5%) Fiber optik: %30-60 (±10%)	ISO 14644-1 IEC 61215	Nem kompanzasyonlu
Partikül Kontrol	ISO Class 5-7 • ≥0.5µm: 3,520-352,000/m³ • ≥5µm: 29-2,930/m³	ISO Class 5 • ≥0.1µm ölçüm	ISO Class 6 • İyonizer sistem	ISO 14644-1:2015	HEPA filtreli ünite
Havalandırma	• Sınıf 5: 240-600 ACH • Sınıf 7: 20-60 ACH • +10-15 Pa basınç	%99.9995 verim @0.12µm	Dikey laminar akış	ISO 14644-4:2001	Anti-vibrasyon fan
Titreşim	VC-D (≤50 µm/s)	VC-E (≤25 µm/s)	VC-F (≤12.5 µm/s)	ISO 20816 IEST-RP-CC012	Aktif izolasyon
Akustik	≤45 dB(A) Yankı ≤0.6sn	≤40 dB(A)	≤35 dB(A)	ISO 9241-6:1999	Ses izolasyonlu
Hava Akımı	<0.15 m/s	<0.10 m/s	<0.05 m/s	ISO 14644-3	Laminar akış
Termal Stabilité	±0.5°C/saat	±0.1°C/saat	±0.05°C/saat	ASTM E2347	Termostat kontrollü
Özel Sistemler	Temel HEPA	Lazer interferometri	Termal lens kontrol	ISO 10110-14	Piezoelektrik sistem

Geçiş bölgesinin aydınlatması konusunda yukarıda karanlık odalara (temiz ölçüm odaları da özellikle lazer ile çalışan aletlerde karanlık olmak zorundadır. Bu nedenle aydınlık için karanlık oda baz alınmıştır) göre düzenleme yapılırken, toz kontrollü, sıcaklık, ısınma, HVAC değerleri için temiz ölçüm odalarının temel alınması, önerilecek değerlerin daha uygun belirlenmesine imkân tanımaktadır. Bu doğrultuda, sıcaklık, nem, hava hızı ve partikül değerleri için ISO 7730 ve ASHRAE 55, hava değişim oranı için ISO 14644-4, HEPA filtre değerleri için EN 1822-1, statik değerleri için IEC 61340-1 ve basınç değeri için DIN EN 13779 standart protokollerinden yararlanarak, geçiş bölgesinde hava kalitesi konusunda aşağıda yer alan sekiz madde belirlenmiştir (yukarıda temizoda değerleri verilmişti):

1. Geçiş bölgesinde, sıcaklık $21 \pm 1^\circ\text{C}$, bağıl nem $45 \pm 10\%$ RH, hava hızı 0.1-0.2 m/s, PM10 partikül sınıfı ISO Class7
2. Ofis mekânında, sıcaklık $22 \pm 2^\circ\text{C}$, bağıl nem 40-60% RH, hava hızı < 0.25 m/s, PM10 partikül sınıfı ISO Class8
3. Basınç gradyan değerleri; temizoda +15 Pa, geçiş bölgesi +5 Pa, ofis 0 Pa
4. Geçiş bölgesi hava değişim oranı; 8- 10 ACH
5. Filtreleme değerleri; geçiş bölgesi HEPA H13, ofis F9
6. Termal adaptasyon süresi; sıcaklık $20^\circ\text{C} \leftrightarrow 22^\circ\text{C}$ arasında 10 dakikalık lineer artış ($0.2^\circ\text{C}/\text{dk}$) ve nem kontrolü için $\pm 3\%$ RH/dk değişim hızı limiti
7. Geçiş bölgesi zemin statik kontrolü için 10^6 - $10^8 \Omega$ dirençli ESD kaplama, sızdırmazlık özellikli kapılar ve temizoda içi hava akımına göre kapısında 2 m/s hızında laminar hava akımını sabitleyecek hava perdesi
8. Geçiş bölgesinde kontrol sistemleri olarak; sıcaklık/ nem sensörleriyle hava değişim kontrolü (VAV- Değişken Hacimli Hava) ve elektrik kesintisinde 15 dk. sıcaklık stabilizasyonu (Bkz. Şekil 7.5)



Şekil 7.5. Geçiş alanı ilke ve ölçütleri/ HVAC, Sıcaklık/ Isı, HEPA Filtre

Aydınlatma ve özellikle optik laboratuvarlarında yer alan özel mekânlar içinde ölçüm veya test yapılacak karanlık oda, beyaz oda ve özellikle temizodalar için akustik değerler ve titreşim kontrolü önemlidir. Bu mekânlarda titreşim kontrolünü sağlamak için çoğunlukla; optik çalışmalarında ihtiyaç olan düzlüğü, titreşim izolasyonu ve sönümleme açısından yüksek gereksinimleri karşılayan optik masaları kullanılmaktadır. Ayrıca optik masasından daha geniş ve kontrollü bir alana ihtiyaç varsa, laboratuvarın içinde bulunduğu bina optik laboratuvarının ihtiyaçlarına göre tasarlanmamışsa bu durumda bütün alanı kapsayacak şekilde, zeminde yer alan tesisat ve kablo gibi sistemlere erişimi kolaylaştıracak, özellikle ses ve titreşim yalıtımı sağlayacak özelliklere sahip yükseltilmiş zemin uygulamaları tercih edilmektedir.

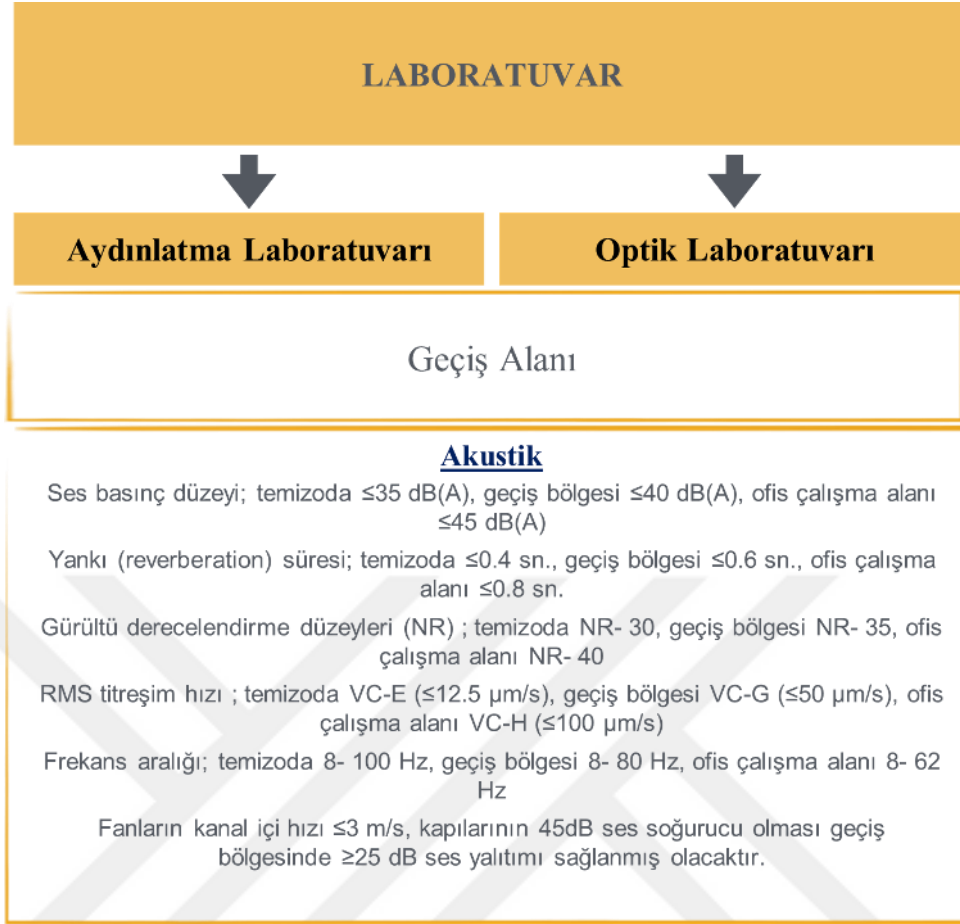
Aydınlatma ve optik laboratuvarlarının bu özel durumu göz önünde tutulduğunda; temiz ölçüm odası, karanlık oda gibi özelleşmiş mekânlar ile ofis bölümü arasındaki geçiş

bölgesi için akustik ve titreşim değerleri hem ölçüm hassasiyetini korumak hem de çalışan konforunu sağlamak amacıyla, geçiş bölgesi akustik ve titreşim değerlerinin nasıl olması gerektiğine dair bir öneri geliştirilmesi ihtiyacıdır. Bu amaçla yapılan çalışmada, akustik kriterleri için ISO 3741 ve ANSI S12.60, tavan ses izolasyonu için ISO 354, zemin ses izolasyonu için ASTM E492, titreşim kontrolü için DIN 45672, mekanik ekipmanların ses standardı için ANSI S12.10 ve ses yalıtımlı malzeme kalitesinde EN 12207 standart protokollerinden faydalanarak aşağıda yer alan değerler belirlenmiştir:

1. Ses basınç düzeyi; temizoda ≤ 35 dB(A), geçiş bölgesi ≤ 40 dB(A), ofis çalışma alanı ≤ 45 dB(A)
2. Yankı (reverberation) süresi; temizoda ≤ 0.4 sn., geçiş bölgesi ≤ 0.6 sn., ofis çalışma alanı ≤ 0.8 sn.
3. Gürültü derecelendirme düzeyleri (NR)¹³⁰; temizoda NR- 30, geçiş bölgesi NR- 35, ofis çalışma alanı NR- 40
4. RMS titreşim hızı¹³¹; temizoda VC-E (≤ 12.5 $\mu\text{m/s}$), geçiş bölgesi VC-G (≤ 50 $\mu\text{m/s}$), ofis çalışma alanı VC-H (≤ 100 $\mu\text{m/s}$)
5. Frekans aralığı; temizoda 8- 100 Hz, geçiş bölgesi 8- 80 Hz, ofis çalışma alanı 8- 62 Hz
6. Fanların kanal içi hızı ≤ 3 m/s, kapılarının 45dB ses soğurucu olması geçiş bölgesinde ≥ 25 dB ses yalıtımı sağlanmış olacaktır (Bkz Şekil 7.6)

¹³⁰NR, Noise Rating veya NR Level Curves (Gürültü Derecelendirme Seviyeleri veya NR Seviye Eğrileri); ilk olarak ISO 1996- 1971 standart protokolünde tanımlanan (sonrasında ANSI S1.4- 1971 standardında yer almıştır), insan konforu ve işitme sağlığı açısından kapalı ve açık ortamlardaki kabul edilebilir gürültü düzeylerini tanımlamak için kullanılan bir metriktir (ISO, 1971).

¹³¹RMS, Root Mean Square Vibration Velocity (Titreşim Hızı Kuadratik Ortalaması) titreşim hızı, mekanik sistemlerdeki titreşim enerjisinin zamana bağlı değişimini niceliksel olarak ifade eden bir parametredir (ISO, 2016).



Şekil 7.6. Geçiş alanı ilke ve ölçütleri/ Akustik

Aydınlatma/ optik laboratuvarlarında, laboratuvar çekirdeği ile destek mekânları arasında tasarlanması önerilen geçiş bölgesi; laboratuvar çekirdeğinde geçici olarak kullanılmak üzere ölçülmesi, test edilmesi veya deney düzeneği için gereken malzemelerin, cihaz, araç ve ekipmanların bulundurulabileceği antistatik, kolay temizlenebilir, aydınlık oranına uygun koyu renkli ve kullanılırken ses çıkartmayacak, titreşim oluşturmayacak dolap veya raf sistemi; çalışanların laboratuvar çekirdeğinde kullanmaları gereken eldiven, laboratuvar elbisesi, gözlük ve hijyenik ayakkabı gibi özel kıyafet ve aksesuarların bulundurulacağı, aydınlık oranına uygun koyu renkli ve kullanılırken ses çıkartmayacak, titreşim oluşturmayacak dolap; çalışanların gerektiğinde dinlenmesini ve kayıt tutabilmesine imkân verecek oturma birimi ve yazı masası; karanlık, beyaz, gri ve temiz ölçüm odasında istenmeyen, kontrolsüz ışık, titreşim, ses oluşumunu engellemek için elektrik, HVAC, aydınlatma kontrol panellerinin geçiş bölgesinde yer alması önemli bir detaydır. Ayrıca, geçiş bölgesinde yer alması gereken mobilya ve kontrol panellerinin toz tutmayan, statik dirençli, kolay dezenfekte edilebilir,

partikül birikimini engellemeyi sağlamak üzere yuvarlak formlu, ayarlanabilir ve destek sistemli ergonomik, yük taşıma kapasitesi EN 12521 standardına uygun olmasına dikkat edilmelidir.

Karanlık oda, beyaz oda veya temiz ölçüm odasından çıkıldığında ofisin fiziki şartlarına girildiğinde çalışanların fiziki rahatsızlıklar yaşama ihtimali mevcuttur. Bu nedenle çalışanların iki farklı fiziki ortama uyum sağlayabilmeleri için geçiş bölgesi önerilmiştir. Bu öneri doğrultusunda bu bölgenin fiziki şartlarının ne olması gerektiğini; karanlık ve aydınlık geçişlerinde biyolojik etkileri, temiz oda, karanlık oda için kullanılan standartlar ile kapalı çalışma alan standartları göz önünde bulundurularak ortalama değerler belirlenmiştir.

Ayrıca, karanlık oda, beyaz oda, temiz ölçüm odasında çalışılırken test edilen malzemeyi günışığı altında görülmesi gerektiğinden, laboratuvarında gerekli görülen açık alana, geçiş bölgesinden geçtikten sonra çıkılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Aaslestad, K. (2022). Blockade and economic warfare. A. Forrest ve P. Hicks (Eds.), *The Cambridge History of the Napoleonic Wars: Volume 3, Experience, Culture and Memory* içinde (s.117-141). Cambridge: Cambridge University Press.
- Abelshauser, W, Hippel, W. von, Johnson, J. A. ve Stokes, R. G. (2004). *German Industry and Global Enterprise, BASF: The History of a Company*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Adair, G. (1996). *Thomas Alva Edison: Inventing the Electric Age*. New York: Oxford University Press.
- ADB GmbH. (2000). *Lichttechnische Grundlagen*. Mühlheim am Main.
- AGİD. (2025). *Aydınlatma Gereçleri İmalatçıları Derneği*. <https://agid.org.tr>. (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Agrawal, G. P. (2007). *Fiber optics: Principles and applications*. 4.bs. Massachusetts: Academic Press.
- Albano, M., and Macarulla, M. (2014, October). Smarter grid through collective intelligence: user awareness for enhanced performance. In *International Academic Conference on Social Technologies' 14*. <https://core.ac.uk/download/41777772.pdf>
- Anderson, E. F., McLoughlin, L., Liarokapis, F., Peters, C., Petridis, P. and De Freitas, S. (2010). Developing serious games for cultural heritage: a state-of-the-art review. *Virtual reality*, 14, 255-275. <https://core.ac.uk/download/9599306.pdf>
- Arslan, A. (2006). *İlkçağ Felsefe Tarihi 1, Sokrates Öncesi Yunan Felsefesi*. İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.
- Arslan, A. (2007). *İlkçağ Felsefe Tarihi 3, Aristoteles*. İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.
- Arslan, A. (2022). *İlkçağ Felsefe Tarihi 2, Sofistlerden Platon'a*. İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.
- Aslan, Ş ve Kızıltepe, F. (2020). Bauhaus Ekolün'nün Değişen Paradigmaları: Tasarım Eğitimini Yeniden Düşünmek. A Derin İnan ve A. Cengizhan (Editörler), *Bauhaus_100+TR* içinde (s.300-319). Ankara: TED Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
- ASLI AI SI LI Test Equipment Co., Ltd. (2025). *300mm to 2000mm Free Fall Drop Impact Tester*. <https://www.asltesting.com/other-mechanical-environmental-tester/300mm-to-2000mm-free-fall-drop-impact-tester.html> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Asselum. (2025). *Mirror Goniophotometer T4*. <https://asselum.com/en/laboratory-instruments/goniophotometer/mirror-goniophotometer-t4/> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- ASTM. (2025). *About*. <https://www.astm.org/d7448-16.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- ASTM. (2025). *Laboratory Testing Standards*. <https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications/standards/laboratory-testing-standards.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ASTM. (2025). *Standards by Catagory*. <https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications/standards/standards-category-list.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ATMK, Aydınlatma Türk Milli Komitesi. (2024). *CIE Yayınları*. <https://www.atmk.org.tr/yayinlar/> (Erişim tarihi: 25.11.2025)
- Audi Technology Portal. (2011). *LED- Scheinwerfer*. <https://www.audi-technology-portal.de/de/elektrik-elektronik/lichttechnologie/led-scheinwerfer> (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- AUDIMUTE. (2025). *NRC Ratings: Whats is a Noise Reduction Coefficient?* https://www.audimute.com/nrc-ratings-noise-reduction-coefficient?srltid=AfmBOooN6HAK-jPAAtKhGBefTPFNmtN_N1NryyT5deS6iAMX1QLV7IOF5 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- AWI, Alfred Wegener Institute. (2025). *The Neumayer Station III*. <https://www.awi.de/en/fleet-stations/stations/neumayer-station-iii.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Aydınlatma Portalı. (2025). *LED Aydınlatma Ürünlerinin Kalite Kontrolü Nasıl Yapılır?* <https://aydinlatma.org/led-aydinlatma-urunlerinin-kalite-kontrolu-nasil-yapilir.html> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Baird, VD., Hughes, R. I. G. ve Nordmann, A. (1998). *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*. London: Springer Science and Business Media.
- Barnaby, A. (2017). *Light Touches, Cultural Practices of illumination, 1800- 1900*. New York: Routledge, Taylor and Francis Group.
- Bauhaus Kooperation. (2025). *Marianne Brandt*. <https://bauhauskooperation.com/wissen/das-bauhaus/koepfe/biografien/biografie-detail/person-Brandt-Marianne-145> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Berghahn, C-F. (Ed.). (2022). *Wilhelm von Humboldt Handbuch: Leben- Werk- Wirkung*. Berlin: J. B. Metzler Verlag.
- Berkel K. van (2023). *Island Kingdoms in the Making: The New Laboratories and the Fragmentation of Dutch Universities c.1900*. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Editörler). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940 içinde* (s.127- 150). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Berlin: J. B. Metzler Verlag. Berkel K. Van ve Homburg, E. (2023). *The Joint Emergence of the Teaching- Research Laboratory and the Modern University*. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Editörler). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940 içinde* (s.13- 32). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Biblioteca Comunale Dell'Archiginnasio ARCHIWEB. (2025). *La Storia Sui Muri: Il Teatro Anatomico*. <http://badigit.comune.bologna.it/stemmi/teatro.htm> (Erişim tarihi: 15.09.2025).

- Biblioteca Comunale Dell'Archiginnasio. (2025). *Il Teatro Anatomico*. <https://www.archiginnasio.it/visita-l-archiginnasio/il-teatro-anatomico> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Binder, T. ve Brandt, E. (2008). The Design:Lab as Platform in Participatory Design Research. *CoDesign; International Journal of CoCreation in Design and Art*, 4(2),115-129. (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- BMW Group. (2011). BMW Develops Laser Light for the Car. <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0119817EN/bmw-develops-laser-light-for-the-car?language=en> (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- Boot, M. (2006). *War Made New: Technology, Warfare, and the Course of History, 1500 to Today*. New York: Gotham Books. Brandford D. Kelleher, New York: The Metropolitan Museum of Art.
- Britannica. (2024). *Metrology*. <https://www.britannica.com/science/metrology> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Britannica. (2025). *High-Efficiency Particulate Air System; HEPA*. <https://www.britannica.com/technology/high-efficiency-particulate-air-system> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Britannica. (2025). *Justus, Urbain Jean Joseph Le Verrier*. <https://www.britannica.com/biography/Urbain-Jean-Joseph-Le-Verrier> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Britannica. (2025). *Nanometre*. <https://www.britannica.com/science/nanometre> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Britannica. (2025). *Ole Christensen Rømer*. <https://www.britannica.com/biography/Ole-Romer> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Britannica. (2025). *St.John Bosco*. <https://www.britannica.com/biography/Saint-John-Bosco#ref117992> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Britannica. (2025). *Thomas Young*. <https://www.britannica.com/biography/Thomas-Young> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Britannica. (2025). *Witelo*. <https://www.britannica.com/biography/Witelo> (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- Brock, W. H. (2024). *Justus, Baron von Liebig*. Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Justus-Freiherr-von-Liebig> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Brodskaia, N. (2012). *Edgar Degas*. 1.bs. New York: Parkstone International.
- Buchwald, D. C. (2009). *The Collected Papers of Albert Einstein Volume 1- 10*. New Jersey: Princeton University Press.
- Büyüköztürk, Ş., Çakmak K. Ebru, Akgün Özcan E., Karadeniz S. ve Demirel F. (2023). *Eğitimde Bilimsel Araştırma Yöntemleri*. 34.bs. Ankara: PEGEM Akademi Yayınları
- California Lighting Technology Center (2015). *2015 Lighting Technology Overview*. California: University of California.

- Calosse, Jp. A. (2018). *Henri de Toulouse-Lautrec (1864-1901)*. Ho Chi Minh City: Parkstone Press International.
- Caltech CoiLab. (2025). *Research Directions*. <https://coilab.caltech.edu/research> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Caltech PMA. (2025). *Physics Research*. <https://pma.caltech.edu/research-and-academics/physics/physics-research> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Cambridge Dictionary. (2025). *Toxicity*. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/toxicity> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- CASP. (2025). *CASP Checklist: CASP Qualitative Studies Checklist*. <https://casp-uk.net/casp-tools-checklists/qualitative-studies-checklist/> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- CEN. (2025). *About CEN*. <https://www.cencenelec.eu/about-cen/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- CENELEC. (2025). *About CENELEC*. <https://www.cencenelec.eu/about-cenelec/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- CERN. (2024). The European Organization for Nuclear Research. <https://home.cern/> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Cézanne, P. (1904). Letters to Emile Bernard 1904- 6. Charles Harrison ve Paul Wood (Editörler). *Art in Theory 1900- 1990: An Anthology of Changing Ideas* içinde (s.37- 40). Oxford: Wiley- Blackwell.
- Château de Versailles Official Web Side. (2025). *History*. <https://en.chateauversailles.fr/discover/history> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- CIE. (2024). *International Standards*. <https://cie.co.at/publications/international-standards> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- CIE. (2024). *Daylighting*. <https://cie.co.at/eilvterm/17-29-031> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- CIE. (2024). *Lighting, Illumination*. <https://cie.co.at/eilvterm/17-29-001> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- CIE. (2025). *International Commission on Illumination*. <https://cie.co.at/> (Erişim tarihi:25.11.2025).
- Clemenzen, M. (2016). *Der Mythos Paul Klee: Eine Biographische und Kulturgeschichtliche Studie*. Bonn: B hlau Verlag GmbH and Cie.
- CLSI. (2024). *About CLSI*. <https://clsi.org/about/> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- CLSI. (2024). *CLSI and International Standards Development*. <https://clsi.org/about/clsi-and-international-standards-development/> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Coito, F. ve Rufo, M. (2002). *California's Secret Energy Surplus: The Potential for Energy Efficiency*. Energy Foundation. <https://search.issuelab-dev.org/resource/california-s-secret-energy-surplus-the-potential-for-energy-efficiency> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Cooper, E. C. (1994). *Laboratory Design Handbook*. Florida: CRC Press.

- Creswell, John W. ve Creswell, David J. (2018). *Research Design; Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*. 5.bs. California: SAGE Publications, Inc.
- Crowther, James G. (1974). *The Cavendish Laboratory 1874- 1974*, London: The MacMillan Press Ltd.
- Çokay, S. (2000). *Antikçağda Aydınlatma Araçları*. 2.bs. İstanbul: Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü.
- Daling, D. (2023). Serialized Laboratories: Laboratory Journals and the Making of Modern Science and Scientific Publishing, 1840s- 1950s. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Editörler). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940* içinde (s.287- 314). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Danchev, A. (2012). *Cézanne: A Life*. New York: Pantheon Books.
- DGUV, Fachbereich Rohstoffe und Chemische Industrie. (2020). *Sicheres Arbeiten in Laboratorien Grundlagen und Handlungshilfen*. Heidelberg: M+M Druck GmbH.
- DiBerardins, L.J., Baum, J.S., First, W.M., Getwood, G.T. ve Seth, A.K. (2013). *Guidelines For Laboratory Design*. New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
- Droste, M. (1998). *Bauhaus: 1919- 1933*. Köln: Benedikt Taschen Verlag GmbH.
- EA European Accreditation. (2025). *Who We Are*. <https://european-accreditation.org/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- École Polytechnique. (2025). 19th Century: Thrust into the Upheaval of the Times. <https://www.polytechnique.edu/en/school/history/19th-century-thrust-upheaval-times> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Elliott, C., Yamada, M., Penning, J., Schober, S. and Lee, K. (2019). Energy Efficiency Improvements in Solid-State Lighting. *Journal of Energy Studies*, 22(4): 45–60. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/12/f69/2019_ssl-energy-savings-forecast.pdf (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Energy Star. (2018). Compact Fluorescent Light Bulbs: Benefits and Limitations. *U.S. Environmental Protection Agency*. <https://www.energystar.gov> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Enongene, Kevin Enongene (2016). *Feasibility of a Solar Photo-voltaic System as an Energy Source for Lighting in Grid-connected Residential Buildings in Cameroon: Case Study of Buea: A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Environmental Management at Massey University*. Palmerston North (New Zealand). <https://core.ac.uk/download/148643518.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- EPA. (2025). *United State Environmental Protection Agency, United Nations*. <https://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability#what> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- EPD System. (2025). *Environmental Protection Declaration*. <https://www.environdec.com/services/what-is-epd> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- ETH Zürich. (2025). *Campus Zentrum*. <https://ethz.ch/de/campus/erreichen/zentrum.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ETSI. (2025). *Standarts*. <https://www.etsi.org/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- EU Public Health. (2025). *Nanotechnologies*. https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/en/nanotechnologies/1-3/1-introduction.htm (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- EuChemS. (2025). *Justus Liebig's Laboratory, Gießen, Germany*. <https://www.euchems.eu/awards/euchems-historical-landmarks/giessen/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- EUROLAB. (2025). *İklendlendirme Test Cihazı*. https://eurolabtr.com/urun/774?srsId=AfmBOoo8wjv7QLrvGD7CTxUdUFHBDiU3vzRHSorRKihPxopRH9Q5PJf_V (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- European Commision. (2025). *CE Marking*. https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/goods/ce-marking_en (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- European Standarts. (2025). *DIN Standards DIN EN 12464-2:2021*. https://www.en-standard.eu/din-en-12464-2-light-and-lighting-lighting-of-work-places-part-2-outdoor-work-places/?srsId=AfmBOooulVqX3Kzc423Jnhm1zYPLTZjA5BILLY0RmJZGcrxracw2L_Gt (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- European Standarts. (2025). *DIN Standards DIN EN 12464-1:2021*. [https://www.en-standard.eu/din-en-12464-1-light-and-lighting-lighting-of-work-places-part-1-indoor-work-places/#:~:text=This%20standard%20specifies%20lighting%20requirements,Display%20Screen%20Equipment%20\(DSE\)](https://www.en-standard.eu/din-en-12464-1-light-and-lighting-lighting-of-work-places-part-1-indoor-work-places/#:~:text=This%20standard%20specifies%20lighting%20requirements,Display%20Screen%20Equipment%20(DSE)) (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- FDA, U.S. Food and Drug Administration. (2025). *About-fda*. <https://www.fda.gov/about-fda> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Feng, Z.C. (2017). *Handbook of Solid- State Lighting and LEDs*. London: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781498741415>.
- Flood, R., McCartney M. ve Whitaker, A. (2014). *James Clerk Maxwell, Perspectives on his Life and Work*. New York: Oxford University Press.
- Flood, R., McCartney, M. ve Whitaker, A. (Editörler). (2014). *James Clerk Maxwell: Perspectives on His Life and Work*. Oxford, Britanya: Oxford University Press.
- Forty, S. (2013). *Edouard Manet*. China: TAJ Books International LLC.
- Fraunhofer- Zentrum Benediktbeuern. (2025). *Alte Schäfflerei im Kloster Benediktbeuern*. <https://www.denkmalpflege.fraunhofer.de/de/home/alte-schaefflerei.html> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Fraunhofer. (2025). *EUV Developers from TRUMPF, ZEISS and Fraunhofer Nominated*. <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2020/september/deutscher-zukunftspreis-2020-euv-developers-from-trumpf-zeiss-and-fraunhofer-nominated.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- Fraunhofer. (2025). *Fraunhofer in Benediktbeuern Glassworks and Workshop*. <https://www.denkmalpflege.fraunhofer.de/de/home/alte-schaefflerei.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Fraunhofer. (2025). *History of the Fraunhofer-Gesellschaft*. <https://www.fraunhofer.de/en/about-fraunhofer/profile-structure/chronicles/fraunhofer-chronicle/1949-1954.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Friedel, R., Israel, B. P. ve Finn, B. S. (2010). *Edison's Electric Light: The Art of Invention..* Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Ganslandt, R. ve Hofmann, H. (1992). *Handbook of Lighting Design*. Berlin: The Vieweg. Publishing.
- Gatje, R. F. (2000). *Marcel Breuer: A Memoir*. New York City: The Monacelli Press, Inc.
- Gellert, B., ve Kogelschatz, U. (1991). Generation of Excimer Emission in Dielectric Barrier Discharges. *Applied Physics B*, 52, 14–21. <https://doi.org/10.1007/BF00348660>.
- General Electric. (2025). *About Us*. <https://www.ge.com/about-us> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., ve Trow, M. (1994). *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. London: Sage Publications.
- Gillies, J. ve Cailliau, R. (2000). *How the Web was Born: The Story of the World Wide Web*. Oxford: Oxford University Press.
- Gisin, N. ve Thew, R.T. (2010). Quantum Communication technologies. *IEEE Access*, 46(14). https://www.researchgate.net/publication/224155071_Quantum_Communication_Technology (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Griffin, B. (2005). *Laboratory Design Guide*. 3 bs. Oxford: Architectural Press, Elsevier Science and Technology.
- Gruitrooy, G. (1996). *Henri de Toulouse-Lautrec*. New York City: SMITHMARK Publishers.
- GTS Global Testing Services. (2025). *Gonyofotometre Testi*. <https://gtsgroup.com.tr/hizmetlerimiz/test/gonyofotometre-testi-ts-en-13032-1-ts-en-13032-2-iesna-lm-79-19/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Guangzhou HongCe Equipment Co., Ltd. (2025). *Calibration Device Impact Testing Machine for Spring Operated Impact Hammer*. <https://www.iectestingequipment.com/sale-7807046-calibration-device-impact-testing-machine-for-spring-operated-impact-hammer.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Guarnieri, M. (2018). A Historical Survey on Light Technologies. *IEEE Access*, 6, 25881-25897. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8356031?denied=> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Gundermann, K. (2025). *Luminescence*. Britannica. <https://www.britannica.com/science/luminescence> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- Gundermann, K. (2025). *Radyolüminesans*. Britannica. www.britannica.com/science/radioluminescence (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Gürüz, K. (2003-4). *Dünya'da ve Türkiye'de Yükseköğretim: Tarihçe Bugünkü Sevk ve İdare Sistemleri*. 2.bs. Ankara: ÖSYM Eğitim Yayınları.
- Harris, F. (2010). *Ukiyo-e: The Art of the Japanese Print*. Tokyo: Publishing Tuttle.
- Harvard University. Collection of Historical Scientific Instruments. (2025). *Carl Zeiss*. <http://waywiser.fas.harvard.edu/people/86/carl-zeiss-company-timeline> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Haus Der Bayerischen Geschichte. (2025). *Utzschneider, Joseph von*. https://hdbg.eu/koenigreich/index.php/personen/index/herrscher_id/1/id/37 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Hecht, E. (2017). *Optics, Global Edition*. Essex: Pearson Education Limited.
- Hecht, J. (2015). *Understanding Fiber Optics*. 5.bs. Massachusetts: Pearson.
- Hecht, J. (2025). *Laser*. Britannica. <https://www.britannica.com/technology/laser/Laser-applications> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Heinekamp, C. (2015). *Laboratory Typologies*. The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment and Operation. Edit: Egbert Dittrich. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA.
- Heskett, J. (2005). *Design: A very short introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Hockey, T. (2007). *Biographical Encyclopedia of Astronomers*. 2.bs. New York: Springer Science Business Media.
- Holmes, C. J. (2014). *Hokusai*. New York: Parkstone Press International.
- Holonyak, N. ve Bevacqua, S. F. (1962). Coherent (Visible) Light Emission from GaAs_{1-x}P_x Junctions. *Applied Physics Letters*, 1(4): 82–83. <https://doi.org/10.1063/1.1753706> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Honour, H. ve Fleming, J. (1982). *The Visual Arts: A History*. N.J.: Prentice- Hall, Inc.
- Hubicki, W. (1973). Libavius (or Libau), Andreas. C. C. Gillispie, J. H. Lane ve P. J. Macquer (Editorler), *Dictionary of Scientific Biography, Volume 8* içinde (s.309-312). New York: Charles Scribner's Sons.
- Humboldt, C. K. F. F. W. von. (1960). Britannica, *Justus, Urbain Jean Joseph Le Verrier*. <https://www.britannica.com/biography/Urbain-Jean-Joseph-Le-Verrier> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Humboldt, C. K. F. F. W. von. (2017). *Schriften zur Bildung*, Stuttgart: Philipp Reclam jun. GmbH and Co. KG.
- Humboldt, C. K. F. F. W. von. (2017). *Schriften zur Politik und zum Bildungswesen*, Stuttgart: Philipp Reclam jun. GmbH and Co. KG.
- Humboldt-Universität zu Berlin, Physik. (2025). *Institut für Physik*. <https://www.physik.hu-berlin.de/de/standardseite> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Humboldt-Universität zu Berlin, Physik. (2025). *Optical Systems*. <https://www.physik.hu-berlin.de/en/os/Projects> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- Humboldt-Universität zu Berlin. (2025). *Berühmte Forscher in der Geschichte des Instituts für Physik*. <https://www.physik.hu-berlin.de/de/institut/ueber/personen> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Humboldt-Universität zu Berlin. (2025). *Historischer Überblick*. <https://www.hu-berlin.de/de/ueberblick/geschichte/abriss> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IAAC (2025). *Frequently Asked Questions*. <https://iaac.org.mx/frequently-asked-questions/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IAAC (2025). *Guidance Documents issued by IAAC*. <https://iaac.org.mx/guidance-documents/guidance-documents-issued-by-iaac/> (Erişim tarihi:25.11.2025).
- IAAC (2025). *Introduction*. www.iaac.org.mx/index.php/en/about-iaac/introduction-en (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IEC. (2014). *IEC 60825 Series, Safety of Machinery- Laser Processing Machines*. <https://webstore.iec.ch/en/publication/30889> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IEC. (2021). *IEC61215 Series*. <https://webstore.iec.ch/en/iec-search/result?q=IEC%2061215&p=1&f=eyJkYXRlUmFuZ2VzIjp7fSwidGVybXMiOnt9LCJ2YWxpZE9ubHkiOnRydWUsInB1YmxpY2F0aW9uSWRzIjpudWxsLCJzaG93VHJmIjpmYWxzZSwiZGlzcGxheU1vZGUiOiJsaXN0In0=> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IECEE. (2025). *About Us*. <https://www.iecee.org/who-we-are/about-us> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IES. (2011). *The Lighting Handbook*. New York: Illuminating Engineering Society.
- IES. (2025). *The Lighting Authority*, <https://www.ies.org/> (Erişim tarihi: 25.11.2025)
- IES. (2025). *The IES Lighting Library Standards Collection*. <https://www.ies.org/standards/lighting-library/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IESNA. (2000). *The IESNA Lighting Handbook: Reference and application*. New York: Illumination Engineering Society of North America.
- IFA. (2025). *IFA Home*. <https://www.iafcertsearch.org/> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- IFA. (2025). *ISO 14001 Auditing Practices Group (APG)*. <https://iaf.nu/en/accreditation-and-assessment-practices-iso14001/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IFA. (2024). *ISO 9001 Auditing Practices Group (APG)*. <https://iaf.nu/en/accreditation-and-assessment-practices-iso9001/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- IFA. (2025). *Accreditation Assessment Practices Group (AAPG)*. <https://iaf.nu/en/accreditation-and-assessment-practices/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ILAC. (2025). *ILAC MRS and Signatories*. <https://ilac.org/ilac-mra-and-signatories/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- IMPERIAL, Imperial College London. (2025). *Metamaterials Research Lab, Unified Theory for Metamaterials*. <https://www.imperial.ac.uk/plasmonics-metamaterials/research/unified-theory/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Indiamart. (2025). *Rain Test Chamber*. <https://www.indiamart.com/proddetail/rain-test-chamber-2854674793233.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Lighting Energy Efficiency Trends 2021. IEA Publications*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Investopedia. (2025). *Conglomerate: What it is and How it Works*. <https://www.investopedia.com/terms/c/conglomerate.asp#:~:text=Conglomerates%20are%20large%20parent%20companies,management%20of%20the%20parent%20company.> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Isenstadt, S. (2018). *Electric Light: An Architectural History*. Cambridge Massachusetts: The MIT Press.
- ISO. (2017). *ISO/IEC 17025:1999, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*. <https://www.iso.org/standard/30239.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2018). *Optics and Photonics- Lasers and Laser-Related Equipment- Test Method for Laser Beam Power (energy) Density Distribution*. https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=ISO%2013694 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2015). *ISO14644 Series, Cleanrooms and Associated Controlled Environments*. https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=ISO%2014644 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2019). *ISO10110 Series, Optics and Photonics- Preparation of Drawings for Optical Elements and Systems*. https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=ISO%2010110 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2022). *ISO 15189:2022 International Medical Laboratories- Requirements for Quality and Competence*. <https://www.iaclld.com/UpFiles/Documents/2e096ce5-485b-4f22-b7be-e557fb7d06f8> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2023). *ISO13408 Series, Aseptic Processing of Health Care Products*. https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=ISO%2013408-1 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2023). *ISO14698 Series, Cleanrooms and Associated Controlled Environments- Biocontamination Control*. https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=ISO%2014698 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2024). *ISO EN ISO/DIS 11554*. <https://www.iso.org/standard/69232.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2024). *Other Bodies Developing Standards or Guides*. <https://www.iso.org/other-bodies-developing-standards.html> (Erişim tarihi: 15.09.2025).

- ISO. (2025). *About ISO*. <https://www.iso.org/about> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2025). *Insights and News*. <https://www.iso.org/news/2016/10/Ref2124.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2025). *ISO and ASTM International*. <https://microbe-investigations.com/understanding-the-differences-between-iso-and-astm-standards/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2025). *ISO Standards and Patents*. <https://www.iso.org/iso-standards-and-patents.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2025). *ISO/DIS11145 Optics and Photonics- Lasers and Laser-Related Equipment-Vocabulary and Symbols*. <https://www.iso.org/standard/72944.html> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- ISO. (2021). *ISO 11146 Series Lasers and Laser-Related Equipment- Test Methods for Laser Beam Widths, Divergence Angles and Beam Propagation Ratios*. https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=ISO%2011146 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2011). *ISO 21254:2011 Series, Lasers and Laser- Related Equipment*. https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=ISO%2021254 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO. (2020). *Safety of machinery- Laser processing machines*. https://www.iso.org/search.html?PROD_isoorg_en%5Bquery%5D=ISO%2011553-1 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ISO: Global standards for trusted goods and services. (2015). *ISO 9000- Quality Management Systems- Fundamentals and Vocabulary*. Studocu.com.<https://www.studocu.com/row/document/jamaa%D8%A9-borsaayd/quality-management-and-building-materials/iso-9000-2015/95298955>. (Erişim tarihi: 25.11.2025)
- Israel, B. P., Carlat, L., Hochfelder, D. ve Nier, K. A. (2004). *The Papers of Thomas A. Edison: Research to Development at Menlo Park, January 1879 –March 1881, 5.cilt*. Baltimore, London: Johns Hopkins University Press.
- Israil, P. B. (2002). Inventing Industrial Research: Thomas Edison and the Menlo Park Laboratory. *Endeavour*, 26 (2). https://www.academia.edu/81906523/Inventing_industrial_research_Thomas_Edison_and_the_Menlo_Park_Laboratory (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ITU. (2025). *About ITU*. <https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- ITU. (2025). *Standardization/ ITU-T*. <https://www.itu.int/en/ITU-T/Pages/default.aspx> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Jackson, M. W. (1999). *Illuminating the Opacity of Achromatic Lens Production: Josef von Fraunhofer's Use of Monastic Architecture and Space as a Laboratory*. P. Galison ve E. Thompson (Ed.), *The Architecture of Science* içinde (s.141-163). Massachusetts: The MIT Pres.

- Jackson, M. W. (2000). *Spectrum of Belief: Joseph von Fraunhofer and the Craft of Precision Optics*. Massachusetts: The MIT Press.
- Jenkins, R. V., Reich, L. S., Israel, B. P., Appel, T. ve Butrica, A. J. (1989). *The Papers of Thomas A. Edison: The Making of an Inventor, February 1846- June 1873, 1.cilt.* Baltimore, London: Johns Hopkins University Press.
- Jenkins, R. V., Rosenberg, R. A., Israel, B. P., Nier, K. A. ve King, M. J. (1994). *The Papers of Thomas A. Edison: Menlo Park: The Early Years, April 1876- December 1877, 3.cilt.* Baltimore, London: Johns Hopkins University Press.
- Joanna Briggs Institute. (2020). *The Joanna Briggs Institute (JBI) Reviewer's Manual*. Portal Unicamp. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fenf.unicamp.br/sites/default/files/2025-03/JBI_Manual_for_Evidence_Synthesis_Nov_2024.pdf (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Johannes Gutenberg University Mainz (JGU). (2025). *Laser Spectroscopy*. https://www.larissa.physik.uni-mainz.de/laser_spectroscopy/ (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Johnsen, S. (2012). *The Optics of Life, A Biologist's Guide to Light in Nature*. New Jersey: Princeton University Press.
- Johnston, S. F. (2001). *A History of Light and Colour Measurement: Science in the Shadows*. London: Institute of Physics Publishing.
- Kalitina, N. (2011). *Claude Monet*. Ho Chi Minh City: Barseline Co, Ltd.
- Kansallisgalleria. (2025). *Talvimaisema Kinahmista*. <https://www.kansallisgalleria.fi/fi/object/400442> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Kaplan, L. (1995). *Laszlo Moholy- Nagy: Biographical Writings*. Durham, NC: Duke University Press.
- Karl, K. H. (2018). *Camille Pissarro (1830- 1903)*. New York: Parkstone Press International.
- Karlen, M. ve Benya, R. J. (2004). *Lighting Design Basics*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Karlicek, R., Sun, C.-C., Zissis, G ve Ma, R. (2017). *The Handbook of Advenced Lighting Technology*. Cham: Springer International Publishing AG.
- Katz, M. (2002). *Introduction to Geometrical Optics*. New Jersey: World Scientific.
- Keiser, G. (2017). *Optical Fiber Communications*. New York: McGraw-Hill.
- Kennesaw State University, College of Science and Mathematics. (2021). *General Laboratory Handbook for Faculty, Staff and Research Students*. <https://www.kennesaw.edu/csm/intranet/doc/2021-csm-laboratory-handbook.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2025)
- Koskinen, I., Zimmerman, J., Binder, T., Redstrom, J. ve Wensveen, S. (2012). *Design Research through Practice. From the Lab, Field, and Showroom*. Morgan Kaufmann- Elsevier Inc., e-book.
- Krames, M. R., et al. (2007). Status and Future of High-Power Light-Emitting Diodes for Solid-State Lighting. *Journal of Display Technology*, 3(2): 160–175.

- https://www.researchgate.net/publication/228841897_IEEEOSA_Status_and_Future_of_High_Power_Light_Emitting_Diodes_for_Solid_state_Lighting (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- L'Héritage des Ponts et Chaussées. (2025). *Students and Engineers*. <https://heritage.ecoledesponts.fr/enpc/en/content/histoire-de-lecole-des-eleves-et-des-ingenieurs-en> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Laszlo, P. (2023). A Fertile Ecosystem: University Chemical Laboratories and their Suppliers in Fin-de-Siècle Paris. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Editörler). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940* içinde (s.151- 178). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Latour, B. (1987). *Science in Action, How to Follow Scientists and Engineers Through Society* Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, B. (2025). *Bruno Latour*. <http://www.bruno-latour.fr/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Latour, B. ve Woolger, S. (1979). *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. New Jersey: Princeton University Press.
- Lederer, B. (2014). *Kompetenz oder Bildung*. Innsbruck: Universitätsverlag Innsbruck.
- LEIFiPhysik. (2025). *Elektromagnetisches Spektrum*. <https://www.leifiphysik.de/optik/elektromagnetisches-spektrum> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Lifante, G. (2003). *Integrated Photonics Fundamentals*. Sussex: John Wily and Sons Ltd.
- Linda Hall Library. (2023). *Isaac Newton*. <https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/isaac-newton-2/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- LINSU GROUP. (2025). *Needle Flame Test Product No. ZY- 3*. https://www.lisungroup.com/products/electrical-safety-tester/needle-flame-test.html?srsId=AfmBOoqmXtICZx2McH5UYXfuO39DPUOG2dibwm-Pu5PTPVKCLfKR_Z8i (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Lister, G. (2017). Electrodeless Lamps and UV Sources. In R. Karlicek, C.-C. Sun, G. Zissis and R. Ma (Eds.), *Handbook of Advanced Lighting Technology* (pp. 1141–1169). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00176-0>.
- LiveScience. (2023). *Refraction is Then All There is to It: How Isaac Newton's Experiments Revealed the Mystery of Light*. <https://www.livescience.com/physics-mathematics/refraction-is-then-all-there-is-to-it-how-isaac-newtons-experiments-revealed-the-mystery-of-light> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Longsdon, J. M. (2025). *Space Exploration*. Britannica. <https://www.britannica.com/science/space-exploration> (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- Lumen Learning. (2025). *Physics, Young's Double Slit Experiment*. <https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/27-3-youngs-double-slit-experiment/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- Lunteren, F. van. (2023). The Laboratory Ethos, 1850- 1900. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Editörler). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940* içinde (s.65- 100). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Lykkesnes, A. (2023). Fighting for Modern Teaching and Research Laboratories in Norway: The Chemistry Laboratory in Political Dispute around 1920. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Editörler). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940* içinde (s.179- 202). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- MacTutor (2024). *James Bowman Lindsay*. <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Lindsay/>. (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Maiman, H. T. (2018). The Laser Inventor: Memoirs of Theodore H. Maiman. Londra: Springer.
- Manning, C. G. ve Schauer, K. (2023). *Optical Communications*. NASA. <https://www.nasa.gov/technology/space-comms/optical-communications-overview/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- MarMonix. (2025). *MarMonix MIR510 Insulation Resistance Tester*. <https://www.marmonix.co/product/marmonix-mir500-insulation-resistance-tester/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Massachusetts Institute of Technology. (2025). *Lincoln Laboratory*. <https://www.ll.mit.edu/r-d/engineering/optical-engineering> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Max-Planck-Gesellschaft. (2025). *Institute und Experten*. <https://www.mpg.de/institute> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Metal 2013 Edinburgh, Scotland, Conference Proceedings. ICOM- CC Metal Working Group. https://www.conservaionoffice.gov.hk/documents/conservation-papers/2013/Metal_2013.pdf (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Meyer, E. (1938). *Belenuchtungstechnik, Planung und Entwurf von Beleuchtungsanlagen*. Bremen: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Millard, A. J., Carlson, W. B. (1987). A History of *Edison's West Orange Laboratory 1887- 1931*. Natioanl Park Service History. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://npshistory.com/publication/s/edis/w-orange-lab-history.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Mills, E., ve Piette, M. A. (1993). Energy Efficiency in Lighting Systems: Progress and Potential. *Energy*, 18(2), 75-97. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/036054429390092R> (Erişim tarihi: 25. 11. 2025).
- MIT Media Lab. (2025). *Illuminate*. <https://www.media.mit.edu/projects/illuminate/overview/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Morris, Peter, J.T. (2023). Aspects of the Social Organization of the Chemical Laboratory in Heidelberg and Imperial College, London. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Editörler). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940* içinde (s.225- 240). Amsterdam: Amsterdam University Press.

- Mungan, C. E. ve Gosnell, T. R. (1999). *Laser Cooling and Solids*. https://www.usna.edu/Users/physics/mungan/_files/documents/Publications/AAMOP.pdf (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- Nakamura, S., Masayuki, S., Naruhito I. ve Nagahama, S. (1995). High-Brightness InGaN Blue Light-Emitting Diodes with Quantum Well Structures. *Japanese Journal of Applied Physics*, 34(7A), 797- 800. IOPScience. <https://iopscience.iop.org/article/10.1143/JJAP.34.L797> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- NASA. (2025). *Lighting*. <https://www.nasa.gov/reference/jsc-lighting/#hds-sidebar-nav-2> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Nature Publishing Group. (1874). The New Physical Laboratory of the University of Cambridge. *Nature: A Weekly Illustrated Journal of Science*, 10 (243), 139- 142, doi:10.1038/010139a0.
- Needham, J. (1954). *Science and Civilisation in China, Cilt.1: Introductory Orientations*. London: Cambridge University Press.
- Newman, W. R. (1999). Alchemical Symbolism and Concealment: The Chemical House of Libavius. P. Galison ve E. Thompson (Editörler), *The Architecture of Science* adlı kitabın içinde (s. 59- 77). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Northeastern University. (2025). *What is Pharmaceutical Science?*. <https://graduate.northeastern.edu/knowledge-hub/what-is-pharmaceutical-science/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Nugteren, B. (2023). Of Growing Significance: The Support Staff in the Laboratories and Institutes of Utrecht University During the Interwar Period London. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Editörler). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940* içinde (s.241- 262). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Obelisk. (2025). *Augustus Osborne Lamplough*. <https://www.arthistoryproject.com/artists/a-o-lamplough/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- OECD Observer. (1981). *The OECD Member Countries. Volum.1981, Issue 2*. https://www.oecd-ilibrary.org/oecd-observer-volume-1981-issue-2_5k439z7nl7th.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fpublication%2Fobserver-v1981-2-en&mimeType=pdf (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- OECD. (1997). *The Organization for Economic Co-operation and Development. (1997)*. https://www.oecd.org/en/publications/development-co-operation-report-1997_dcr-1997-en.html (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- OECD. (1998). *OECD Principles of Good Laboratory Practice, No.1*. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-principles-on-good-laboratory-practice_9789264078536-en (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- OECD. (2016). iLibrary. *OECD Position Paper Regarding the Relationship between the OECD Principles of GLP and ISO/IEC 17025, No.18*. <https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-position-paper-regarding-the-relationship-between->

- the-oecd-principles-of-glp-and-iso-iec-17025_62d9f44d-en (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- OECD. (2025). *iLibrary*. <https://www.oecd-ilibrary.org/> (Erişim tarihi: 24.11.2025)
- OECD. (2025). *International Standards*. <https://cie.co.at/publications/international-standards> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- OECD. (2025). *Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring*. <https://www.oecd.org/en/topics/sub-issues/testing-of-chemicals/good-laboratory-practice-and-compliance-monitoring.html> (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- OECD. (2025). *OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring (GLP)*. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-series-on-principles-of-good-laboratory-practice-and-compliance-monitoring_2077785x (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- OECD. (2025). *Our History*. <https://www.oecd.org/en/about/history.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- OECD. (2025). *Principles of Good Laboratory Practice (GLP) and Compliance Monitoring. Number 1*. [https://one.oecd.org/document/env/mc/chem\(98\)17/en/pdf](https://one.oecd.org/document/env/mc/chem(98)17/en/pdf) (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Opsytec Dr. Gröbel. (2025). *Ulbrichtkugeln- zur Messung und als Homogene Lichtquellen*. <https://www.opsytec.de/produkte/ulbrichtkugeln> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- OSHA. (2011). *Laboratory Safety Guidance*. <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3404laboratory-safety-guidance.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- O'Neill, J. P. (Ed.) (1985). *The Age of Carravaggio. Metropolitan Müzesi Sergi Kataloğu*, Brandford D. Kelleher, New York: The Metropolitan Museum of Art
- Perkins, E.S. (2025). *The Pupil*. Britannica. <https://www.britannica.com/science/human-eye/The-pupil> (Erişim tarihi: 25.11.2025)
- Petrie, B. (1979). *Claude Monet; the First of the Impressionists*. New York: Phaidon Press
- Philips Lighting Academy. (2008). *Grundlagen von Licht und Beleuchtung*. Amsterdam: Koninklijke Philips Electronics N.V.
- Phillips Lighting. (1980). Introduction of the SL Lamp: A New Era in Lighting. *Philips Technical Review*, 38(4), 115-122. <https://www.worldradiohistory.com/Archive-Company-Publications/Philips-Technical-Review/80s/Philips-Technical-Review-1980.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Pirenne, H. (2000). *Ortaçağ Kentleri*. (Çev: ř. Karadeniz). İstanbul: İletişim Yayınevi.
- PLANLUX Lighting Design. (2025). *Projeler*. <https://planlux.net/tr/projeler/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Polzin, F., von Flotow, P., ve Nolden, C. (2015). *Exploring the Role of Servitization to Overcome Barriers for Innovative Energy Efficiency Technologies—The Case of*

- Public LED Street Lighting in German Municipalities*.
<https://core.ac.uk/download/30611186.pdf>. (Erişim tarihi: 25. 11. 2025).
- Princeton University. (2025). *Facilities and Labs*.
<https://www.princeton.edu/research/facilities-labs> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Ramberg, Peter. J. (2023). Chemistyr in Zürich, 1833- 1930: Developing the Teaching Research Laboratory in the Swiss Context, Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Edit rl r). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940* içinde (s.101- 126). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Ready, J. F. (1997). *Industrial Application of Laser*. Minnesota: Honeywell Technology Center.
- Richter, I. A. ve Wells, T. (2008). *Leonardo Da Vinci, Notebooks*. New Yoks: Oxford University Press Inc.
- Robinson, A. (2021). *Bilim İnsanları: Bir Kesif Destanı*. ( ev: Y. T redi). 2.bs. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.
- Rocke, A. J. (2023). Origins and Spread of the 'Giessen Model' in University Science. Klaas van Berkel ve Ernst Homburg (Edit rl r). *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830- 1940* içinde (s.33- 64). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Ronchi, V. (1957). *Optics, The Science of Vision, "L'OTTICA scienza della visione"*. ( ev: E. Rosen). New York: New York University Press.
- Rosenberg, R. A., Israel, B. P., Nier, K. A. ve Carlat, L. (1998). *The Papers of Thomas A. Edison: The Wisard of Menlo Park 1878, 4.cilt*. Baltimore, London: Johns Hopkins University Press.
- Rosenberg, R. A., Israel, B. P., Nier, K. ve Andrews, M. (1992). *The Papers of Thomas A. Edison: From Workshope to Laboratory, June 1873- March 1876, 2.cilt*. Baltimore, London: Johns Hopkins University Press.
- Rosenberg, R. A., Israel, B. P., Nier, K. ve King, M. J. (1995). *The Papers of Thomas A. Edison: Menlo Park: The Early Years, April 1876- December 1877, 3.cilt*. Baltimore, London: Johns Hopkins University Press.
- Round, H. J. (1907). A Note on Carborundum. *Electrical World*, 19(1): 309.
<https://archive.org/details/electricalworld49newy/page/310/mode/1up> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Russell, L. S. (2003). *A Heritage of Light*. Toronto: University of Toronto Press.
- Russell, P. (2017). *Delphi Classics Master of Art Series: Camille Pissarro*. East Sussex: Delphi Publishing Ltd.
- Sandia LabNews. (2025). *Willis Whitfield: A Simple Man with a Simple Solution that Changed the World*. <https://www.sandia.gov/labnews/2024/04/04/willis-whitfield-a-simple-man-with-a-simple-solution-that-changed-the-world/> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Schmidgen, H. (2025). Laboratory, *Encyclopedia of the History of Science, Carnegieellon University*. Cornagie Mellon University.
<https://ethos.lps.library.cmu.edu/article/id/450/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- Science Direct. (2018). *Laser Fusion*. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/laser-fusion> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- SCR Elektronik PVT. LTD. (2025). *100 and 150kV Di-electric Voltage Breakdown Tester for Testing as per ASTM D 149 and IEC 60243*. <https://www.screlektroniks.com/pages/products/hipot-hipot-max-100kV-150kV.php> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- SCR Elektronik PVT. LTD. (2025). *Glow Wire Test Apparatus for Testing Insulating Material as Per IEC 60695-2-10:2021, IEC 60335, ASTM D 6194-03 and Other Standards*. <https://www.screlektroniks.com/pages/products/electrical-glow-wire-apparatus.php> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Scriba, J. C. ve Schreider, P. (2015). *5000 Years of Geometry, Mathematics in History and Culture "5000 Jahre Geometrie. Geschichte-Kulturen-Menschen"*. (Çev: J. Schreiber). Basel: Springer- Verlag.
- Senior, J. M. and Jamro, M. Y. (2009). *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*. Londra: Pearson.
- Shanes, E. (2008). *The Life and Masterworks of J.M.W. Turner*. New York: Parkstone Press International.
- Shearman, J. (1962). Leonarda's Colour and Chiaroscuro. *Zeitschrift Für Kunstgeschichte*, 25. Bd, H.1, 13- 47, Deutscher Kunstverlag GmbH Munchean Berlin. <http://www.jstor.org/stable/1481484?origin=JSTOR-pdf> chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://britishinstitutehoa.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/shearman-leonardos-colour-and-chiaroscuro.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Shturm, B. ve Lagarde, O. (2019). *The Chandeliers of the Château de Versailles: Research, Conservation and re-Electrification*. <https://www.lightandglass.eu/wp-content/uploads/2019/10/The-chandeliers-of-versaille.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Siebenbrodt, M. ve Schöbe, L. (2009). *Bauhaus: 1919-1933, Weimar-Dessau-Berlin*. New York: Parkstone Press International.
- Simpson, R. S. (2003). *Lighting Control*. Massachusetts: Focal Press.
- Sonneborn, L. (2007). *The Electric Light: Thomas Edison's Illuminating Invention*. New York City: Chelsea House Publishers.
- Sosnin, E. A., Avdeev, S. M., ve Lavrent'ev, A. A. (2006). UV and VUV Excilamps: Current State of the Art. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39(16), R283–R301. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/39/16/R01>.
- Svelto, O. (2010). *Principles of Lasers*. (Çev: D. C. Hanna). Londra: Springer.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. (2025). *Mevzuat Bilgi Sistemi*. www.mevzuat.gov.tr (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Tate. (2025). *Impasto*. <https://www.tate.org.uk/art/art-terms/i/impasto> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- TDK Türk Dil Kurumu Sözlüğü. (2025). *Laboratuvar*. <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim tarihi: 25.11.2025)

- TDK, Türk Dil Kurumu. (2015). *İlaç ve Eczacılık Terimleri Sözlüğü*. Ankara: Türk Dil Kurumu.
- TeamLAB, Digital Art Museum. (2025). *The LED Crystal Light Tunnel*. <https://www.teamlab.art/e/borderless-azabudai/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Technische Universität Berlin. (2025). *Berlin School of Optical Sciences and Quantum Technologies (BOS.QT)*. <https://www.tu.berlin/nlo/ueber-uns/bosqt-1> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- The History of Parliament. (2025). *CAVENDISH, William (1808-1891), 10 Belgrave Meydanı, Mdx*. https://www.historyofparliamentonline.org/volume/1820-1832/member/cavendish-william-1808-1891#footnote7_rtyxygt (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- The Institute for Solid State Physics. (2025). *List of laboratories for Graduate School Students*. https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/labs_en.html (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- The LIA. (2025). *The Lighting Industry Association*. <https://www.thelia.org.uk/> (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- The Society of Light and Lighting (2009). *The SLL Lighting Handbook*. London: The Society of Light and Lighting.
- Thomas Edison Center. (2025). *Thomas Edison and Menlo Park*. <https://www.menloparkmuseum.org/history> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- Thoren, E. V. (1990). *The Lord of Uraniborg: A Biography of Tycho Brahe*. Cambridge/ NYC: Cambridge University Press.
- TOBB ETÜ HİDRO. (2025). *Hakkımızda*. <https://hidro.etu.edu.tr/tr/sayfa/hakkimizda> (Erişim tarihi: 15.22.2025).
- TSE. (2025). *Hakkımızda*. <https://www.tse.org.tr/hakkimizda/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- TSE. (2025). *Hizmetlerimiz*. <https://www.tse.org.tr/tse-hizmetlerimiz/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- TSE. (2025). *TSE 2023 Yılı İdari Faaliyet Raporu, Şubat 2024*. <https://www.tse.org.tr/raporlar/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- TÜBİTAK UME. (2025). *Ulusal Metroloji Enstitüsü*. <https://www.ume.tubitak.gov.tr/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- TÜRKAK. (2025). *Akredite Kuruluş Arama*. <https://www.turkak.org.tr/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- TÜRKAK. (2025). *Hakkımızda*. <https://www.turkak.org.tr/kurumsal/hakkinda.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- TÜRKAK. (2025). *OECD Good Laboratory Practice*. <https://www.turkak.org.tr/duyurular/turkak-oecd-iyi-laboratuvar-uygulamalari-alaninda-ilk-uygunluk-beyanini-vermistir.html> (Erişim tarihi: 15.11.2025).

- TÜRKAK. (2025). T. C. Dışişleri Bakanlığı Türk Akreditasyon Kurumu. <https://www.turkak.org.tr/akreditasyon/akreditasyon-nedir.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- TÜRKAK. (2025). *TS EN 60598 Standartları*. secure.turkak.org.tr/kapsam/Scope/PublicHTML/2147?sube=1482&language=0 (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- U.S. Department of Energy. (2020). Solid-State Lighting Research and Development Program. *DOE Lighting Reports*. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/2020-ssl-rd-opportunities.pdf> (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- UN. (2025). *United Nations*. <https://www.un.org/en/academic-impact/sustainability>. (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- UNDP. (2025). *What are the Sustainable Development Goals?* <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- University of Cambridge. (2025). *Cavendish III, Project Overview*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.westcambridge.co.uk/files/cav_iii_board.pdf (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- University of Cambridge. (2025). *Department of Physics, The Cavendish Laboratory*. <https://www.phy.cam.ac.uk/history> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Universität Kassel. (2025). *Femtosekundenspektroskopie und Ultraschnelle Laserkontrolle*. <https://www.uni-kassel.de/fb10/institute/physik/forschungsgruppen/femtosekundenspektroskopie-und-ultraschnelle-laserkontrolle/startseite.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Universität zu Köln. (2025). *Cologne Luminescence Laboratory (CLL)*. <https://geographie.uni-koeln.de/en/forschung/arbeitsgruppen/geomorphologie-und-geochronologie/luminescence-laboratory-cll> (Erişim tarihi: 15.09.2025).
- UZH Archiv. (2025). *Der Aufstieg der Informatik*. <https://www.archiv.uzh.ch/de/spurensuche/rechenzentrum.html> (Erişim Tarihi: 25.11.2025).
- UZH, Universität Zürich. (2025). *Die Geschichte des Institutes für Volkswirtschaftslehre*. <https://www.econ.uzh.ch/de/about/history.html> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Van Zanten, D. (1987). *Designing Paris: The architecture of Duban, Labrouste, Duc, and Vaudoyer*. Massachusetts: The MIT Press.
- VLDB Endowment. (2025). *History of Humboldt-Universität*. https://www.vldb.org/conf/2003/homepage/locev_historyOfHU.html (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Wetering, E. van de. (2011). *A Corpus of Rembrandt Paintings V*. Dordrecht: Springer.
- WHO, World Health Organization. (2020). *Laboratory Biosafety Manual, 4.bs*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011311> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- WHO, World Health Organization. (2025). *History*. <https://www.who.int/about/history> (Erişim tarihi: 25.11.2025).

- Wills, I. (2019). *Thomas Edison: Success and Innovation Through Failure*. Cham, İsviçre: Springer Nature.
- Wittig, J. (1989). *Ernst Abbe*. Leipzig: Vieweg+Teubner Verlag.
- World History Encyclopedia. (2025). *Richard Wagner* https://www.worldhistory.org/Richard_Wagner/ (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Wortbedeutung.info. (2025). *Optik, Optisch*. <https://www.wortbedeutung.info/Optik/> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- YÖK Tez Merkezi. (2025). *Tez Merkezi*. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/giris.jsp> (Erişim tarihi: 25.11.2025).
- Yıldırım A. ve Şimşek H. (2021). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*. 12.bs. Ankara: Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınları.
- ZEISS. (2025). *About Us*. <https://www.zeiss.com/microscopy/us/about-us.html#accordionItem-383096704> (Erişim tarihi: 15.09.2025).

EKLER¹³²

EK- 1. OECD, ISO, CIE ve IES Uluslararası ve ATMK, TÜRKAK Ulusal

Kurumların Arşiv Tarama Sonuçları

Tez kapsamında çalışılması planlanan aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri konusunda uluslararası kurumların e-kaynaklarında İngilizce dilinde yapılan tarama “Optic”, “Optical”, “illumination”, “Laboratory”, “Optic Laboratory”, “Optical Laboratory”, “illumination Laboratory” terimlerine göre yapılmıştır. Bu kapsamda ilgili kurumlarda yapılan kaynak araştırma sonuçları aşağıdaki gibidir:

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü- OCED

OECD’nin test laboratuvarları organizasyonu ve yönetimi için hazırladığı kalite standartları belgesi, OECD İyi Laboratuvar Uygulamaları İlkeleri (Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring- GLP), (OECD, 2024).

OECD iLibrary’de yapılan taramada “Aydınlatm/ optik Laboratuvarı” terimleri altında kayda değer bir sonuca ulaşılamamıştır. Var olan sonuçlar aşağıdaki gibidir (OECD, 2024):

1. “Optic” terimi altında, başlık, yazar veya ISSN/ ISBN/ DOI kayıtları altında 8 sonuca ulaşılmıştır. Sonuçlar çalışma konusu ile ilgili değildir. (https://www.oecd-ilibrary.org/search?value1=optic&option1=quicksearch&facetOptions=51&facetNames=pub_igoId_facet&operator51=AND&option51=pub_igoId_facet&value51=%27igo%2Foecd%27&publisherId=%2Fcontent%2Figo%2Foecd&searchType=quick)
2. “Optical” terimi altında, başlık, yazar veya ISSN/ ISBN/ DOI kayıtları altında 342 sonuca ulaşılmıştır. Sonuçlar çalışma konusu ile ilgili değildir. (https://www.oecd-ilibrary.org/search?value1=optical+&option1=quicksearch&facetOptions=51&facetNames=pub_igoId_facet&operator51=AND&option51=pub_igoId_facet&value51=%27igo%2Foecd%27&publisherId=%2Fcontent%2Figo%2Foecd&searchType=quick)

¹³²Ekler bölümünde Ek-1, Ek-2, Ek-3’te yer alan ve tez konusu ile ilgili olan listeler, son olarak 11. 10. 2025 tarihli güncellenmiş listelerdir.

3. “illumination” terimi altında, başlık, yazar veya ISSN/ ISBN/ DOI kayıtları altında herhangi bir sonuca ulaşılamamıştır. (https://www.oecd-ilibrary.org/search?value1=+illumination&option1=quicksearch&facetOptions=51&facetNames=pub_igoId_facet&operator51=AND&option51=pub_igoId_facet&value51=%27igo%2Foecd%27&publisherId=%2Fcontent%2Figo%2Foecd&searchType=quick)
4. “Laboratory” terimi altında, başlık, yazar veya ISSN/ ISBN/ DOI kayıtları altında 35 sonuca ulaşılmıştır.
 - a. “Governance” başlığı altında çıkan sonuçlardan biri tez kapsamında yapılan çalışma ile ilgilidir: International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), 2016, OECD, (https://www.oecd-ilibrary.org/governance/international-regulatory-cooperation/international-laboratory-accreditation-cooperation-ilac_9789264244047-31-en)
 - b. “Education” başlığı altında 188 sonuca ulaşılmıştır. Çıkan sonuçlar çalışma konusu ile ilgili değildir.
 - c. “Environment” başlığı altında çıkan 22 dosyadan, bir dosya 17 dosyadan oluşan bir seri olmak üzere dört dosya, tez kapsamında yapılan çalışma ile kısmen ilgilidir:
 - d. OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring, OECD Series on GLP. (https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-series-on-principles-of-good-laboratory-practice-and-compliance-monitoring_2077785x)
 - e. OECD Principles and Guidance for Compliance Monitoring, OECD 2005, (https://www.oecd-ilibrary.org/environment/good-laboratory-practice_9789264012837-en)
 - f. Good Laboratory Practice, OECD 2018, (https://www.oecd-ilibrary.org/environment/guidance-document-on-good-in-vitro-method-practices-givimp/good-laboratory-practice_9789264304796-21-en)
 - g. The OECD Principles of Good Laboratory Practice, OECD 2006, (https://www.oecd-ilibrary.org/environment/good-laboratory-practice/the-oecd-principles-of-good-laboratory-practice_9789264012837-2-en)

5. “Optic Laboratory” başlığı altında, başlık, yazar veya ISSN/ ISBN/ DOI kayıtları altında geçerli sonuca ulaşılamamıştır.
6. “Optical Laboratory” başlığı altında, başlık, yazar veya ISSN/ ISBN/ DOI kayıtları altında geçerli sonuca ulaşılamamıştır.
7. “illumination Laboratory” başlığı altında, başlık, yazar veya ISSN/ ISBN/ DOI kayıtları altında geçerli sonuca ulaşılamamıştır.

Uluslararası Standartlar Teşkilatı- ISO

ISO Resmî sitesinde “aydınlatma/ optik Laboratuvarı” terimleri kapsamında yapılan taramada, “Laboratuvar” başlığı altında ulaşılan sonuçlar (ISO, 2024):

1. ISO/IEC 17025, test ve kalibrasyon laboratuvar standartları, (<https://www.iso.org/ISO-IEC-17025-testing-and-calibration-laboratories.html>)
2. ISO 15189, tıbbî test laboratuvarları standartları, (<https://www.iso.org/standard/76677.html>)
3. ISO/IEC 17020, muayene/ denetim kuruluşları standartları, (<https://www.iso.org/standard/52994.html>)
4. ISO/IEC 17043, yeterlilik testi sağlayıcıları, (<https://www.iso.org/standard/80864.html>)
5. ISO 17034, referans malzeme üreticileri, (<https://www.iso.org/standard/29357.html>)

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu- CIE

CIE Resmî sitesinde yapılan kaynak taramasında ulaşılan sonuçlar (CIE, 2024):

1. “Optic laboratory”, “Optic laboratory accreditation”, “Optic laboratory quality manual”, “lighting laboratory”, “Illumination laboratory”, anahtar cümle ve kelimelerin taranmasında geçerli sonuca ulaşılamamıştır.
2. “Optical laboratory”, ifadesinin tarama sonucu 5 adet dosyaya ulaşılmıştır. Dosyalar tez çalışması ile ilgili değildir., (<https://cie.co.at/search/node/Optical%20laboratory>)
 - a. 2019 Joint CIE NC Canada, CIE NC US with the Council for Optical Radiation Measurements (CORM)
 - b. Position Statement on the Use of Ultraviolet (UV) Radiation to Manage the Risk of COVID-19 Transmission

3. “laboratory”, kelimesi altında 1 dosya bulunmuştur. Dosya tez çalışması ile ilgili değildir. “ISO/ CIE 28077:2016(E) Photocarcinogenesis action spectrum (non-melanoma skin cancers)”, (https://cie.co.at/publications/international-standards?field_publication_number_value=&body_value=+laboratory)

CIE Publications listesinde 8 ana başlık bulunmaktadır, (<https://cie.co.at/publications>). Bu ana başlıklardan “International Standards” başlığı altında aydınlatma ile ilgili 39 farklı aydınlatma standartları dosyası yer almaktadır, (<https://cie.co.at/publications/international-standards>). CIE Publication listesinde yer alan 8 başlık altında bulunan dosya listelerinde, aşağıdaki kelimelerle ilgili olan dosyalar kontrol edilmiştir. Erişilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Listelerde, “lighting laboratory”, “Illumination laboratory”, “optic laboratory”, ‘optical laboratory’, anahtar cümle ve kelimelerinin taranmasında geçerli sonuca ulaşılamamıştır.

CIE Publications listesinde, “Technical Reports” başlığı altında 204 yayın mevcuttur (<https://cie.co.at/publications/technical-reports>).

CIE Publications listesinde, “Draft International Standards” başlığı altında 7 yayın mevcuttur (<https://cie.co.at/publications/draft-international-standards>).

CIE Publications listesinde, “Technical Notes” başlığı altında 15 yayın mevcuttur (<https://cie.co.at/publications/technical-notes>).

CIE Publications listesinde, “Conference And Symposia Proceedings” başlığı altında 52 yayın mevcuttur (<https://cie.co.at/publications/conference-and-symposia-proceedings>).

CIE Publications listesinde, “Cie Publications On CDs” başlığı altında 4 yayın mevcuttur (<https://cie.co.at/publications/cie-publications-on-cd>).

CIE Publications listesinde, “Superseded And Archived Publications” başlığı altında 64 yayın mevcuttur (<https://cie.co.at/publications/superseded-and-archived-publications>).

CIE Publications listesinde, “Technical Notes” başlığı altında 15 yayın mevcuttur.

CIE 2019 Faaliyet Raporunda, tez kapsamıyla ilgili başlık bulunmamaktadır. (https://files.cie.co.at/664_Publist_2017%20May.pdf)

(Aynı rapor, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, ATMK (<https://www.atmk.org.tr/>) web sitesinde de paylaşılmıştır.

(https://www.atmk.org.tr/content/editor/files/CIE%20FAALİYETLERİ_2019.pdf)

CIE 2019 Faaliyet Raporu, https://files.cie.co.at/664_Publist_2017%20May.pdf
(CIE 2019 raporu, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, ATMK
(<https://www.atmk.org.tr/>) web sitesinde de paylaşılmıştır.
https://www.atmk.org.tr/content/editor/files/CIE%20FAALİYETLERİ_2019.pdf)

Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Derneği- IES

IES Resmî sitesinde yapılan kaynak taramasında ulaşılan sonuçlar (IES, 2024):

1. “Optic laboratory accreditation”, “Optic laboratory quality manual”, “Optical laboratory accreditation”, “Optical laboratory quality manual”, “laboratory accreditation handbook”, “Illumination laboratory accreditation” anahtar cümle ve kelimelerin taranmasında geçerli sonuca ulaşamamıştır.
2. “Optic laboratory”, ifadesinin tarama sonucu LD+ A Magazine içeriklerinde bir dosyaya ulaşılmıştır. Optik test laboratuvarları ile ilgili test yöntemi konusundadır. “Testing: Two Techniques”, (<https://www.ies.org/?s=Optic+laboratory>)
3. “Optical laboratory”, ifadesinin tarama sonucu iki sonuç çıkmıştır. Sonuçlardan birincisi Led ölçüm standartları, ikincisi aydınlatma teknolojileri araştırma merkezi hakkındadır (<https://www.ies.org/?s=Optical+laboratory>).
 - a. “The Illuminating Engineering Society and the International Ultraviolet Association release a new American National Standard for measuring ultraviolet LEDs” (<https://www.ies.org/the-illuminating-engineering-society-and-the-international-ultraviolet-association-release-a-new-american-national-standard-for-measuring-ultraviolet-leds/>)
 - b. LD+A Magazine içeriklerinde bir dosya kısmen ilgilidir. “Research: Mexico’s New R and D Center”, (<https://www.ies.org/lda/research-centro-de-tecnologia-en-iluminacion-2/>)
4. “Lighting laboratory”, ifadesinin tarama sonucu IES24 The Lighting Conference başlığı altında erişilen sonuçlardan biri, ofis binalarında enerji tasarımı konusunu içermektedir. (<https://www.ies.org/new-advanced-energy-design-guide-available-to-achieve-zero-energy-office-buildings/>)
 - a. “New Advanced Energy Design Guide Available to Achieve Zero Energy Office Buildings”, (<https://www.ies.org/new-advanced-energy-design-guide-available-to-achieve-zero-energy-office-buildings/>) Aynı

dosyada yapılan yönlendirme: “Advanced Energy Design Guides”,
(<https://www.ashrae.org/technical-resources/aedgs>)

5. “Lighting laboratory accreditation”, ifadesinin tarama sonucu LD+ A Magazine içreklerinde ulaşılan sonuçlar tez çalışma konusu ile ilgili değildir.
6. “Lighting laboratory quality manual”, ifadesinin tarama sonucu ulaşılan sonuçlar tez çalışma konusu ile ilgili değildir.
7. “Illumination laboratory”, ifadesinin tarama sonucu ulaşılan sonuçlar tez çalışma konusu ile ilgili değildir.
8. “Illumination quality manual”, ifadesinin tarama sonucu ulaşılan sonuçlar tez çalışma konusu ile ilgili değildir.
9. IES Resmî sitesinde yapılan kaynak taramasında sonucu ulaşılan bir dosyada aydınlatma ile ilgili bazı yeni standartlar açıklanmıştır. “The Illuminating Engineering Society releases four new ANSI standards”,
(<https://www.ies.org/the-illuminating-engineering-society-releases-four-new-ansi-standards/>)

IES, “The IES Lighting Library Standards Collection”, başlığında yer alan 5 kitap aşağıdaki gibidir. <https://www.ies.org/standards/lighting-library/>

1. “Lighting Applications Standards Collection”,
2. “Lighting Measurements and Testing Standards Collection”,
3. “Lighting Practice Standards Collection”,
4. “Lighting Science Standards Collection”,
5. “Lighting Roadway and Parking Facilities Standards Collection”,

IEC yayınları, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, ATMK web sitesinde yayınlanmaktadır. Yayınlanan 42 yayın arasında tez konusu ile ilgili yayına ulaşılamamıştır. Ulaşılan listede aydınlatma tasarımı alanında çeşitli konular ele alınmıştır:

“IES Design Guide for Hotel Lighting (2012)”, “IES Design Guide for Lighting for Toll Plazas (2014)”, “IES Lighting Handbook (2011)”, “Light+ Design: A Guide to Designing Quality Lighting for People and Buildings- Digital”, “Design Guide for Color and Illumination- Digital”, “American National Standard Practice for Office Lighting-Digital”, <https://www.atmk.org.tr/yayinlar>.

T.C. Dışışleri Bakanlığı Türk Akreditasyon Kurumu- TÜRKA

TÜRKA Akreditasyon Karar Metinleri başlığında dört ana başlık bulunmaktadır. Akreditasyon karar metnlerinin, aydınlatma/ optik laboratuvarları kurulum ilke ve ölçütleri başlığında yapılan tarama sonuçları aşğıdaki gibidir: (<https://www.turkak.org.tr/akreditasyon/karar-metinleri.html>), (TÜRKA, 2025):

1. “Deney Laboratuvarları” başlığı altında 2019- 2023 yılları arasına ait 18 karar metnine ulaşılmıştır. Erişilen karar metinlerinden tez konusu ile ilgili metne ulaşılammıştır.
2. “Kalibrasyon Laboratuvarları” başlığı altında 2018- 2020 yılları arasına ait 19 karar metnine ulaşılmıştır. Erişilen karar metinlerinden tez konusu ile ilgili metne ulaşılammıştır.
3. “Tıbbî Laboratuvarlar” başlığı altında 2019 yılına ait 3 karar metnine ulaşılmıştır. Erişilen karar metinlerinden tez konusu ile ilgili metne ulaşılammıştır.
4. “Yeterlilik Testleri Sağlayıcıları” başlığı altında 2019 yılına ait 1 karar metnine ulaşılmıştır. Erişilen karar metinlerinden tez konusu ile ilgili metne ulaşılammıştır.

Aydınlatma Türk Milli Komitesi- ATMK

Aydınlatma Türk Milli Komitesi (ATMK) yayınları bildiri kitaplarından oluşmaktadır. Bildiri kitaplarında yapılan tarama sonucunda tez konusu ile ilgili yayına ulaşılammıştır (TÜRKA, 2025):

1. ATMK, 1. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Emin Matbaacılık, İstanbul, 1996.
2. ATMK, 2. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Bileşim Matbaacılık, İstanbul, 1998.
3. ATMK, 3. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Printhouse, İstanbul, 2000.
4. ATMK, 4. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Özdi Basımevi, İstanbul, 2002.
5. ATMK, 5. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Necdet Ozalit, İstanbul, 2004.
6. ATMK, 6. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Cenkler Matbaacılık, İstanbul, 2006.
7. ATMK, 7. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Cenkler Matbaacılık, İstanbul, 2008.

8. ATMK, 8. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Cenkler Matbaacılık, İstanbul, 2011.
9. ATMK, 9. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Cenkler Matbaacılık, İstanbul, 2013.
10. ATMK, 10. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Cenkler Matbaacılık, İstanbul, 2015.
11. ATMK, 11. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Cenkler Matbaacılık, İstanbul, 2017.
12. ATMK, 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, Cenkler Matbaacılık, İstanbul, 2019.
13. ATMK, “İstanbul 2001” International Lighting Congress, Proceedings, Vol. I- II, Yıldız Technical University Printhouse, İstanbul, 2001.
14. ATMK, The 2nd Balkan Conference on Lighting 2002, Proceedings
 - a. Proceedings Lux Europa 2009 Vol. 1- Vol. 2
 - b. Proceedings Lux Europa 2009 CD

EK- 2. Kitap, Akreditasyon ve Kalite El Kitapları

Kitap

1. UNDP/ World Bank/ WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases (TDR), (2001). Good Laboratory Practice (GLP) Training Manual For The Trainee Ceneva:TDR/WHO (https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/70191/TDR_PRD_GLP_01.1B_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
2. UNDP/ World Bank/ WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases (TDR). The Good Laboratory Practice (GLP) Handbook. Ceneva:TDR/WHO (https://terrance.who.int/mediacentre/data/ebola/training-packages/LQMS/11_cd_rom_glp-handbook.pdf).
3. “Laboratory Disegn Guie”, Brain Griffin, Elsevier, 3.baskı, 2005.
4. “General Laboratory Handbook for Faculty, Staff and Research Students”, Kennesaw State Universityr, 2021.
5. “Laboratory Design Guideline, 2023”, Columbia University, NYC: Columbia University Press, 2023.
6. “ASHRAE Laboratory Design Guide”, Ian B. D. McIntash, Chad B. Dorgan ve Charles E. Dorgan, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2001.
7. “Laboratory Design, Construction, and Renovation: Participants, Process, and Product (2000-05-01)”, National Research Council, Washington D.C:National Academy Press, 2000 (www.nap.edu <https://nap.nationalacademies.org/read/9799/chapter/1#ii>).
8. “The Chemical Laboratory: Its Design And Operation”, Sigurd J. Rosenlund, New Jersey: Noyes Publications, 1987.
9. “The Sustainable Laboratory Handbook”, Editor. Egbert Dittrich, Wiley-VCH, 2015.
10. “Laboratory Design Handbook”, E. Crawley Cooper, CRC Press, 1994.
11. “Laboratory Design Handbook”, TSI Incorporated. 2014.
12. “Guidelines For Laboratory Design”, 4.Baskı, Louis J. DiBerardinis, Janet S. Baum, Melvin W. First, Gari T. Gatwood, Anand K. Seth, Wily, 2013.
13. “Sustainable Design of Research Laboratories- Planing, Design and Operation”, Kling Stubbins, John Wiley and Sons, Inc. 2010.

14. "Laboratory Life", Bruno Latour ve Steve Woolgar, Princeton University Press, 1986.
15. "Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society", Bruno Latour, Massachusetts: Harvard University Press, 1987.
16. "Radio Laboratory Handbook", M.G. Scroggie, London: Wireless World Iliffe and Sons Ltd., 1946.
17. "The Architecture of Science", Editorler: Peter Galison ve Emily Thompson, Massachusetts: The MIT Press, 1999.
18. "The Cavendish Laboratory 1874- 1974", J.G. Crowther, London: The MacMillan Press Ltd. 1974.

Akreditasyon ve Kalite El Kitapları

Akreditasyon kelimesi ile Internet üzerinde yapılan tarama sonucu ticaret ve sanayi odalarının çıkardıkları dâhil 60 sonuca ulaşılmıştır:

1. Çukurova Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Akreditasyon, Kalite Elkitabı (<https://ilahiyat.cu.edu.tr/cu/accreditation>)
2. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Kalite Geliştirme ve Kurumsal İzleme Koordinatörlüğü. Kalite, Enerji Yönetimi, Personel, Öğrenci elkitapları. (<https://kalite.comu.edu.tr/kurumsal/kalite-el-kitaplari-r98.html>)
3. Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, ağılıkta Kalite Standartları (SKS), (<https://shgmkalitedb.saglik.gov.tr/TR-12679/saglikta-kalite-standartlari-sks.html>)
4. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Akreditasyon Belgesi, (<https://www.ktu.edu.tr/ydyo/akreditasyon-calismalari>)
5. Süleyman Demirel Üniversitesi, Kalite Elkitabı, (<https://kalite.sdu.edu.tr/tr/politika-ve-yonergeler/kalite-el-kitabi-ve-surec-yonetimi-el-kitabi-13946s.html>)
6. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Kalite Güvence Sistemi, (<https://www.yyu.edu.tr/Birimler/kalite/sayfalar/17300>)
7. Artvin Çoruh Üniversitesi, Kalite Koordinatörlüğü, Kalite Elkitabı, (<https://kalite.artvin.edu.tr/ek-el-kitabi>)
8. Sinop Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, Akreditasyon, Kalite Elkitabı, (<https://ilahiyat.sinop.edu.tr/akreditasyon/>)

9. T.C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Akreditasyon Standartları Hastane Seti, (chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://files.tuseb.gov.tr/tuseb/files/yayinlar/20230703124740-pjoyoZ9C2DLS-.pdf)
10. Ege Üniversitesi, Kalite Güvencesi, Dokumanlar, (https://kalite.ege.edu.tr/tr-17411/ege_pik_yonerge.html)
11. Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Kalite Yönetim Sistemi ve Laboratuvar Akreditasyonu, (https://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/test/icerik.php?ID=30)
12. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu, Akreditasyon evrakları, (https://ydyo.beun.edu.tr/kalite-komisyonu/akreditasyon.html)
13. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Kalite ve Akreditasyon Koordinatörlüğü, Elkitabı, (https://www.erbakan.edu.tr/kalite/sayfa/3999009/el-kitapları)
14. Dicle Üniversitesi, Akreditasyon, (https://www.dicle.edu.tr/tr/birimler/ilahiyat-fakultesi/sayfalar/akreditasyon-ve-kalite-calismalari-9549)
15. Ondokuz Mayıs üniversitesi, Kalite Elkitabı, (https://kalite.omu.edu.tr/2020/02/10/omu-kalite-el-kitabi-yayimlanarak-yururluge-girmistir/)
16. Atatürk Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, Kalite Elkitabı, (https://birimler.atauni.edu.tr/ilahiyat-fakultesi/kalite-el-kitabi/)
17. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Kalite Koordinatörlüğü, (https://aybu.edu.tr/kalitekoordinatordlugu/tr/sayfa/5048)
18. RTE Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, Kalite ve Akreditasyon, (https://ilahiyat.erdogan.edu.tr/tr/page/kalite-ve-akreditasyon-kurulu/5241)
19. Bursa Uludağ Üniversitesi Kalite Elkitabı, (chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://uludag.edu.tr/dosyalar/sbf/kalite/yd_001_buu_kalite_el_kitabi_s2_1.pdf)
20. Dokuz Eylül Üniversitesi, Akademik Veri Yönetim Sistemi, Sözleşmeli Personel için Sağlıkta Kalite ve Akreditasyon Uygulamaları Elkitabı (https://avesis.deu.edu.tr/yayin/c6609a78-2103-4061-b5bb-0d0b5ac9657b/sozlesmeli-personel-icin-saglikta-kalite-ve-akreditasyon-uygulamalari-el-kitabi)

21. Selçuk Üniversitesi, Kalite Elkitabı, (https://www.selcuk.edu.tr/Birim/idari-birimler/kalite_komisyonu/2430/kalite-el-kitabi-/50645#!)
22. Malatya Turgut Özal Üniversitesi Kalite Elkitabı. (https://kalite.ozal.edu.tr/?page_id=8708)
23. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Kalite Elkitabı, (<https://ilahiyat.ebyu.edu.tr/kalite-ve-akreditasyon/kalite-el-kitabi/>)
24. Yozgat Bozok Üniversitesi, Akreditasyon ve Kalite Koordinatörlüğü, Kalite Elkitabı, (<https://bozok.edu.tr/birim/kalite/sayfa/kalite-el-kitabi/273>)
25. Hitit Üniversitesi İlahiyat Fakültesi, Kalite Elkitabı, (<https://ilaf.hitit.edu.tr/tr/detay/iaa-akreditasyon>)
26. Üsküdar Üniversitesi, Kalite el kitabı, (<https://kalite.uskudar.edu.tr/ogrenci-el-kitaplari>)
27. Sakarya Üniversitesi İlahiyat Fakültesi, Kalite Elkitabı, (<https://if.sakarya.edu.tr/tr/icerik/18924/97849/kalite-el-kitabi>)
28. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi/ Kalite Güvencesi ve Akreditasyon Koordinatörlüğü, Kalite Elkitabı, (<https://kmu.edu.tr/kalite/sayfa/2831/dokumanlar/kalite-el-kitabi/tr>)
29. Bucak Zeliha Tolunay Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Kalite Elkitabı, (<https://ztyo.mehmetakif.edu.tr/form/669/295/kalite-el-kitabi>)
30. Sosyal Beşerî ve Temel Bilimler Akreditasyon ve Rating Derneği Kalite Elkitabı, (chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://panel.star.org.tr/uploads/icerikler/WebContent/cee28840-77e6-11ee-823b-618cf0029c8b/7JEAuFU4n.pdf>)
31. Gazi Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu, Akreditasyon Elkitabı, (<https://ydyo.gazi.edu.tr/view/announcement/240062>)
32. Giresun Üniversitesi, Kalite Elkitabı, (<https://kalite.giresun.edu.tr/tr/page/kalite-el-kitabi/7901>)
33. MEB, Bilişim Teknolojileri Alanı Atölye/Laboratuvar Donatım Standartları, (https://ookgm.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2017_04/04095949_BYLYYYM_ANALYZ.pdf)

34. Türk Biyokimya Derneği, Laboratuvar Kalite Yönetim Sistemi Elkitabı, (<https://www.turkbiyokimyadernegi.org.tr/upload/48/Laboratuvar.Kalite.Y%C3%B6netim.Sistemi.El.Kitab%C4%B1.pdf>)
35. T.C. Sağlık Bakanlığı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Başkanlığı, Ulusal Mikrobiyoloji Standartları, Laboratuvar Güvenliği Rehberi, (https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/mikrobiyoloji-referans-laboratuvarlari-ve-biyolojik-urunler-db/Dokumanlar/Rehberler/UMS-Laboratuvar_Guveligi_Rehberi-2021_2._versiyon.pdf)
36. Sabancı Üniversitesi Fen Laboratuvarı Güvenlik Elkitabı, (<https://kalite.yildiz.edu.tr/media/files/D%C5%9E-234-%C4%B0SG%20Laboratuvar%20G%C3%BCvenli%C4%9Fi%20El%20Kitab%C4%B1%20-%20Laboratory%20Safety%20Handbook.pdf>)
37. Karayolları Genel Müdürlüğü, ISO- IEC 17025 Kalite Elkitabı, (<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/Belgeler/ISO-IEC%2017025%20Kalite%20El%20Kitabi.pdf>)
38. TOBB, Oda ve Borsa Akreditasyon Sistemi Elkitabı, (<https://www.tobb.org.tr/EgitimveKaliteMudurlugu/SiteAssets/Sayfalar/OdaBorsaAkreditasyonSistemi/akreditasyon2011.pdf>)
39. TOBB, Oda ve Borsa Akreditasyon Standardı 2016, (<https://www.tobb.org.tr/AkreditasyonKuruluSekreterligi/Documents/2017AkreditasyonKilavuzuSon.pdf>)
40. YÖKAK, Yükseköğretim Öğrencileri İçin Kalite Elçisi Elkitabı, ([https://api.yokak.gov.tr/Storage/AnnouncementFiles/12-05-2023/465/Kalite%20Elcisi%20El%20Kitabi%20\(Surum%202.0\).pdf](https://api.yokak.gov.tr/Storage/AnnouncementFiles/12-05-2023/465/Kalite%20Elcisi%20El%20Kitabi%20(Surum%202.0).pdf))
41. T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Laboratuvar Güvenliği Elkitabı, 2019, (https://selcuk.edu.tr/contents/veteriner/icerik/50536/Laboratuvarla%20%C4%B0SG%20Elkitab%C4%B1_638137106407622373.pdf)

Ticaret ve Sanayii Odaları:

Rize Sanayi Odası, Burdur, Mustafa Kemalpaşa, Turhal, Erzurum, Gaziantep, Van, Kütahya, Karabük, Malatya, Nazilli, Diyarbakır, Antakya, İskenderun, Safranbolu, Iğdır, Trabzon, Fethiye, Ticaret ve Sanayi Odaları Kalite Yönetimleri, kalite el kitapları.



EK- 3. Resmî Mevzuatlar

Resmî Gazete- CB- Mevzuat Bilgi Sisteminde

Aydınlatma laboratuvarı ve optik laboratuvarı, laboratuvar akreditasyon ve laboratuvar standartları isimleri altında herhangi bir mevzuata rastlanmadı (T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, 2025).

“Laboratuvar” kelimesi altında 61 kayıta ulaşılmıştır. Kayıtların bazıları aşağıdaki gibidir:

1.Resmî Gazete Tarihi: 30.11.2022 Resmî Gazete Sayısı: 32029

TÜRKİYE İLAÇ VE TIBBÎ CİHAZ KURUMU ULUSAL KONTROL LABORATUVARININ GÖREV, YETKİ VE SORUMLULUKLARI İLE ÇALIŞMA USUL VE ESASLARI HAKKINDA YÖNETMELİK

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=39863&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

2. Resmî Gazete Tarihi: 22.12.2023 Resmî Gazete Sayısı: 32407

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=40496&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

3. Resmî Gazete Tarihi: 11.06.2021 Resmî Gazete Sayısı: 31508

GAZİ ÜNİVERSİTESİ TEMEL VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ MERKEZ LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=38689&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

4. Resmî Gazete Tarihi: 04.12.2020 Resmî Gazete Sayısı: 31324

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=36034&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

5. Resmî Gazete Tarihi: 23.07.2020 Resmî Gazete Sayısı: 31194

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=34721&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

6. Resmî Gazete Tarihi: 20.07.2020 Resmî Gazete Sayısı: 31191

ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ
ARAŞTIRMA LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=34707&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

7. Resmî Gazete Tarihi: 19.03.2020 Resmî Gazete Sayısı: 31073

OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=34370&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

8. Resmî Gazete Tarihi: 20.11.2019 Resmî Gazete Sayısı: 30954

ABDULLAH GÜL ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=33971&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

9. Resmî Gazete Tarihi: 13.10.2019 Resmî Gazete Sayısı: 30917

YALOVA ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=33890&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

10. Resmî Gazete Tarihi: 13.10.2019 Resmî Gazete Sayısı: 30917

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=33887&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

11. Resmî Gazete Tarihi: 09.06.2019 Resmî Gazete Sayısı: 30796

KÜTAHYA SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=31569&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

12. Resmî Gazete Tarihi: 20.05.2019 Resmî Gazete Sayısı: 30779

AĞRI İBRAHİM ÇEÇEN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=31523&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

13. Resmî Gazete Tarihi: 04.11.2018 Resmî Gazete Sayısı: 30585

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MERKEZ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=28934&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

14. Resmî Gazete Tarihi: 15.10.2018 Resmî Gazete Sayısı: 30566

ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24874&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

15. Resmî Gazete Tarihi: 02.01.2018 Resmî Gazete Sayısı: 30289

ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ MERKEZ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24242&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

16. Resmî Gazete Tarihi: 24.08.2015 Resmî Gazete Sayısı: 29455

MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=21071&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

17. Resmî Gazete Tarihi: 01.12.2014 Resmî Gazete Sayısı: 29192

ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20258&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

18. Resmî Gazete Tarihi: 15.09.2014 Resmî Gazete Sayısı: 29120

EGE ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA TEST VE ANALİZ
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20045&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

19. Resmî Gazete Tarihi: 14.07.2014 Resmî Gazete Sayısı: 29060

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19897&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

20. Resmî Gazete Tarihi: 06.07.2014 Resmî Gazete Sayısı: 29052

BAYBURT ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19839&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

21. Resmî Gazete Tarihi: 15.05.2014 Resmî Gazete Sayısı: 29001

IĞDIR ÜNİVERSİTESİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI UYGULAMA VE
ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19669&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

22. Resmî Gazete Tarihi: 22.02.2014 Resmî Gazete Sayısı: 28921

BARTIN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19420&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

23. Resmî Gazete Tarihi: 03.02.2014 Resmî Gazete Sayısı: 28902

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19374&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

24. Resmî Gazete Tarihi: 24.02.2013 Resmî Gazete Sayısı: 28569

ORDU ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=17149&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

25. Resmî Gazete Tarihi: 31.01.2013 Resmî Gazete Sayısı: 28545

MARDİN ARTUKLU ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=17088&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

26. Resmî Gazete Tarihi: 17.01.2013 Resmî Gazete Sayısı: 28531

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=17028&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

27. Resmî Gazete Tarihi: 30.11.2012 Resmî Gazete Sayısı: 28483

AMASYA ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA UYGULAMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16810&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

28. Resmî Gazete Tarihi: 27.09.2012 Resmî Gazete Sayısı: 28424

RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16637&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

29. Resmî Gazete Tarihi: 17.09.2012 Resmî Gazete Sayısı: 28414

ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA
LABORATUVARI UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16605&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

30. Resmî Gazete Tarihi: 16.01.2011 Resmî Gazete Sayısı: 27817

ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ MERKEZİ ARAŞTIRMA LABORATUVARI
UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ YÖNETMELİĞİ(1)

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=14676&MevzuatTur=8&MevzuatTertip=5>

EK- 4. Temizoda (Cleanroom) Standart Protokolleri

Yansıtıcı aynalar, filtreleme gibi hassas optik kaplamalar (Thin-Film Coating), lazer optiği ve fiber üretimi, mikro-optik ve MEMS (Mikro- Elektro- Mekanik Sistemler) üretimi, uydu teleskop aynaları veya kızılötesi sensörler gibi uzay ve savunma sanayii optiği ve son genel başlık olarak kristal fiberler veya kuantum nokta gibi kuantum optiği ve fotonik gibi alanlarda; test, ölçüm, deney veya üretim faaliyetlerinin yürütüldüğü, optik çalışmalarında çok özel mekânlar olan temizodalar için geliştirilmiş özel protokollerin ana başlıkları şu şekilde sıralanabilir:

1. Temiz Oda Sınıflandırma ve Tasarım Standartları, “ISO 14644 Serisi, Cleanrooms and associated controlled environments (Temiz odalar ve ilgili kontrollü ortamlar), (ISO, 2015)”
2. Biyokontaminasyon kontrolü, “ISO 14698 Series, Cleanrooms and associated controlled environments- Biocontamination control (Temiz odalar ve ilgili kontrollü ortamlar- Biyokontaminasyon kontrolü), (ISO, 2023)”
3. Optik malzeme ve lazer güvenliği, ISO 13694 ve ISO 11553 protokolleriyle birlikte ISO 10110 Serisi, “ISO 10110 Series, Optics and photonics- Preparation of drawings for optical elements and systems (Optik ve fotonik- Optik elemanlar ve sistemler için çizimlerin hazırlanması), (ISO, 2019)”
4. Özel uygulamalar, “ISO 13408 Series, Aseptic processing of health care products (Sağlık bakım ürünlerinin aseptik işlenmesi). Bu protokol serisi temizodalarda, hava kalite ve süreç kontrolü, filtrasyon ve hava akışı, yüzey dezenfeksiyonu ve ekipman sterilizasyonu, dondurarak kurutma, steril ambalajlama ve alternatif sterilizasyon yöntemlerini içermektedir. (ISO, 2023)”
5. IEC 61215 Karasal Fotovoltaik (PV- Güneş enerjisi modülleri için kristal silikon fotovoltaik) Modüllerinden:
 - a. IEC 61215-1 Terrestrial photovoltaic (PV) modules- Design qualification and type approval- Part 1: Test requirements,
 - b. IEC 61215-1-1 Terrestrial photovoltaic (PV) modules- Design qualification and type approval - Part 1-1: Special requirements for testing of crystalline silicon photovoltaic (PV) modules
 - c. IEC 61215-2 Terrestrial photovoltaic (PV) modules- Design qualification and type approval- Part 2: Test procedures protokolleri (IEC, 2021).

EK- 5. Aydınlatma Laboratuvarında Kullanılan Temel Cihaz ve Aletler

1. Spectroradiometers and Photometers/ Spektoradyometreler ve Fotometreler: Işık kaynaklarının spektral ve fotometrik özelliklerini ölçen aletler.
2. Goniophotometer/ Gonyofotometre: Bir kaynaktan yayılan ışığın farklı yönlere dağılımını ölçmek için kullanılır. Bu makine ışığın açısal dağılımını analiz etmeye yardımcı olur.
3. Integrating Spheres/ Küreleri Bütünleştirme: Işık kaynaklarının toplam ışık akısı ve renk özelliklerini ölçmek için kullanılan aletler. Yönü ne olursa olsun, bir kaynaktan yayılan tüm ışığı yakalayacak şekilde tasarlanmıştır.
4. Colorimeters and Spectrophotometers/ Kolorimetreler ve Spektrofotometreler: Renk sıcaklığı, renksel geriverim indeksi (CRI) ve spektral güç dağılımı dâhil olmak üzere ışığın renk özelliklerini ölçmek için kullanılır.
5. Power Meters/ Güç Ölçerler: Aydınlatma cihazlarının elektrik güç tüketimini ölçen aletler.
6. Environmental Chambers/ Çevre Odaları: Aydınlatma ürünlerini farklı sıcaklık ve nem koşullarında test etmek için kullanılan kontrollü ortamlar.
7. Lighting Control Systems/ Aydınlatma Kontrol Sistemleri: Işık kaynaklarının yoğunluğunu, rengini ve diğer parametrelerini düzenlemek ve kontrol etmek için kullanılan sistemler.
8. Lighting Simulators/ Aydınlatma Simülatörleri: Test amacıyla belirli aydınlatma koşullarını taklit eden araçlar.
9. Photographic and Imaging Equipment/ Fotoğraf ve Görüntüleme Ekipmanları: Aydınlatma kurulumlarının görsel performansını belgelemek ve analiz etmek için kullanılan kameralar ve görüntüleme sistemleri.
10. Darkroom Facilities/ Karanlık Oda Olanakları: Işığa duyarlı filmler veya sensörler gibi ışığa duyarlı malzemeleri test etmek ve değerlendirmek için kullanılır.
11. Software for Simulation and Analysis/ Simülasyon ve Analiz Yazılımı: Aydınlatma senaryolarını simüle etmek, verileri analiz etmek ve aydınlatma sistemlerini tasarlamak için tasarlanmış bilgisayar programları.
12. Lighting Test Fixtures/ Aydınlatma Test Armatürleri: Belirli aydınlatma ekipmanı türlerini test etmek için tasarlanmış özel armatürler.
13. Calibration Equipment/ Kalibrasyon Ekipmanı: Ölçüm cihazlarının doğru olmasını ve güvenilir veriler sağlamasını sağlayan araçlar.

14. Safety Equipment/ Emniyet araçları: Işık kaynakları ve elektrikli bileşenlerle çalışırken gözlük, eldiven ve diğer güvenlik ekipmanları gibi koruyucu giysiler.
15. Lighting Design Software/ Aydınlatma Tasarımı Yazılımı: Farklı uygulamalara yönelik aydınlatma düzenlerini tasarlamaya ve modellemeye yönelik yazılımlar.



EK- 6. Aydınlatma ve Optik Laboratuvarlar Alanında Bazı Uluslararası Standart Protokol Listeleri

1.Bazı Aydınlatma/ Optik Laboratuvar Türlerine Göre Öncelikli Standartlar

Laboratuvar Türü	Öncelikli Temel Standartlar	Odaklandığı Ana Konular	İlgili Diğer Standartlar
Fotometrik ve Renkimetrik Test Lab.	ISO/CIE 23539, EN 13032-1, CIE 015, IES LM-79, IES LM-80	Işık akısı (lümen), ışık şiddeti dağılımı, aydınlık şiddeti, renk sıcaklığı (CCT), renksel geriverim indeksi (CRI, Rf, Rg), ömür testleri (lümen bakımı).	IES TM-30, IEC 62717, IEC 62612
Lazer Güvenlik ve Performans Test Lab.	IEC 60825-1, ISO 13694, ISO 11146-1, ISO 21254-1, ANSI Z136.1	Lazer sınıflandırması, ışın profili, ışın parametreleri (çap, diverjans, M ²), lazer hasar eşiği (LIDT), iş güvenliği prosedürleri.	IEC 60601-2-22 (Tıbbi Lazerler), ISO 12005
Aydınlatma Ürünü Güvenlik Test Lab. (EMC dâhil)	IEC 60598-1, IEC 62471, IEC 62031, IEC 61347-1, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3	Elektriksel güvenlik, yalıtım, IP koruma sınıfı, mekanik mukavemet, fotobiyolojik güvenlik, harmonik akım emisyonları, voltaj dalgalanmaları.	IEC 60598-2- (Özel armatürler), IEC 61000-4- (EMC bağışıklık)
Enerji Verimliliği ve Akıllı Aydınlatma Test Lab.	(EU) 2019/2020, (EU) 2022/30, IEC 62386 (DALI), IEC 62722-2-1, EN 15193-1	Lümen/Watt verimliliği, Ecodesign ve enerji etiketi şartları, DALI protokolü uyumluluğu, kontrol edilebilirlik,	IES TM-41, IEEE 2030.5, ANSI/IES LP-12-21

Laboratuvar Türü	Öncelikli Temel Standartlar	Odaklandığı Ana Konular	İlgili Diğer Standartlar
		sistem enerji tasarrufu hesaplamaları (LENI).	
Fiber Optik ve Optik Yükseltici Test Lab.	ITU-T G.650.1, ITU-T G.652, IEC 61290-1-1, IEC 60793-2-50	Mod alan çapı, zayıflama, dispersiyon, bant genişliği, yükseltici kazanç, gürültü figürü, fiber tipi karakterizasyonu.	IEC 61300- (Fiber optik bağlantılar)
Optik Malzeme ve Kaplama Test Lab.	**ISO 10110- (seri), ISO 21254-1 (LIDT), DIN 58197	Yüzey kalitesi (çizik-hassaslık), iç kusurlar, malzeme homojenliği, kırılma indisi, optik kaplamaların yansıma/iletme özellikleri ve lazer dayanımı.	ISO 9211- (Optik kaplamalar)
Görüntüleme ve Kamera Sistemleri Test Lab.	ISO 12233, IEEE P2020, IEC 62676-5	Çözünürlük (MTF/SFR), renk doğruluğu, gürültü, dinamik aralık, geometrik distorsiyon, düşük ışık performansı (otomatik ayar).	EMVA 1288, ITU-R BT.500 (Subjektif değerlendirme)
Genel Kalibrasyon ve Test Lab. (Akreditasyon Çerçevesi)	ISO/IEC 17025, ISO/IEC 17020, ISO 10012, ISO/IEC Guide 99 (VIM), ISO/IEC Guide 98-3 (GUM)	Ölçüm belirsizliği, metod validasyonu, cihaz kalibrasyonu, izlenebilirlik, personel yeterliliği, laboratuvar yönetim sistemi.	-----

Ek olarak aşağıda yer alan bazı temel standartlar su şekildedir:

ISO/IEC 17025 Evrenselliği:

Hangi türde olursa olsun, ölçüm yapan ve raporlayan her laboratuvarın temel akreditasyon standardı ISO/IEC 17025'tir. Diğer tüm standartlar, bu çatı standardın altında yürütölen spesifik test metodolojilerini tanımlar.

Yasal Zorunluluklar:

Güvenlik: Bir ürünün piyasaya sürölebilmesi için IEC 60598-1 (armatör) ve IEC 62471 (fotobiyolojik güvenlik) gibi standartlara uyum genellikle zorunludur.

Enerji Verimliliği (AB): AB pazarı için (EU) 2019/2020 (Ecodesign) ve (EU) 2022/30 (Enerji Etiket) yönetmelikleri yasal zorunluluktur. Laboratuvarlar, üreticilerin bu şartları sağladığını kanıtlamak için test yapar.

Bölgesel ve Endüstriyel Tercihler:

Avrupa: EN standartları ve DIN standartları daha yaygındır.

Kuzey Amerika: ANSI/IES LM ve ANSI Z136 serisi standartlar endüstri tarafından yaygın olarak kabul görür ve kullanılır.

Telekomünikasyon: ITU-T önerileri fiber optik karakterizasyonunda küresel ölçekte geçerlidir.

Protokol ve Birlikte Çalışabilirlik:

Akıllı aydınlatma sistemleri için IEC 62386 (DALI-2 / D4i), farklı üreticilerden cihazların birlikte çalışabilirliğini sağlayan en kritik protokol standardıdır.

Ölçüm Belirsizliği:

Tüm kantitatif ölçümlerin temelinde, ölçüm sonucunun ne kadar güvenilir olduğunu gösteren ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) standardına uygun belirsizlik hesaplamaları yatmaktadır.

2. Aydınlatma ve Optik Laboratuvarları İçin Bazı Gerekli Temel Standartlar Genel Test ve Kalibrasyon Laboratuvarları:

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
ISO/IEC 17025:2017	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	Bir laboratuvarın akredite olabilmesi için temel standarttır. Yönetimsel ve teknik yeterlilik gerekliliklerini (ölçüm belirsizliği, personel, ekipman, metod validasyonu vb.) tanımlar.	Tüm Laboratuvarlar
ISO/IEC 17020:2012	Conformity assessment - Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection	Muayene kuruluşlarının (örneğin, endüstriyel tesis, ekipman veya proses muayenesi yapan) yeterlilik ve tarafsızlık şartlarını belirler.	Muayene Kuruluşları
ISO/IEC 17065:2012	Conformity assessment - Requirements for bodies certifying products, processes and services	Ürün, proses veya hizmet belgelendirme kuruluşlarının gerekliliklerini tanımlar.	Belgelendirme Kuruluşları
ISO 9001:2015	Quality management systems — Requirements	Müşteri memnuniyetini artırmak için etkili bir kalite yönetim sisteminin temel şartlarını belirler. ISO 17025'in yönetim şartlarının temelini oluşturur.	Kalite Yönetimi

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
ISO/IEC 17021-1:2015	Conformity assessment - Requirements for bodies providing audit and certification of management systems - Part 1: Requirements	ISO 9001, ISO 14001 gibi yönetim sistemlerini audit edip belgelendiren kuruluşlar için gereklilikleri tanımlar.	Yönetim Sistemi Belgelendirme
ISO/IEC 17011:2017	Conformity assessment - Requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessment bodies	TÜRKAK, UKAS gibi akreditasyon kuruluşlarının çalışma prensiplerini ve gerekliliklerini standartlaştırır.	Akreditasyon Kuruluşları
ISO/IEC Guide 99:2007	International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)	Metroloji (ölçüm bilimi) alanında kullanılan temel terim ve tanımları standartlaştırır (ör. ölçüm, ölçüm belirsizliği, tekrarlanabilirlik).	Metroloji / Tüm Laboratuvarlar
ISO/IEC Guide 98-3:2008	Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)	Ölçüm belirsizliğinin hesaplanması ve raporlanması için uluslararası kabul görmüş temel kılavuzdur. ISO 17025'in zorunlu bir gereğidir.	Metroloji / Tüm Laboratuvarlar

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
ISO 10012:2003	Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment	Kalibrasyon ve ölçüm proseslerinin etkin yönetimi için bir çerçeve sunar.	Metroloji / Kalibrasyon
IEC 61010-1:2010+A1:2019	Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use - Part 1: General requirements	Laboratuvarlarda kullanılan elektrikli ekipmanların (ölçüm cihazları, test tezgâhları vb.) temel güvenlik gerekliliklerini tanımlar.	Güvenlik
ANSI/NCSL Z540.3-2006 (R2013)	Requirements for the Calibration of Measuring and Test Equipment	ABD'de yaygın olan, kalibrasyon hizmetleri için ISO 17025'e alternatif bir standarttır. Ölçüm belirsizliği ve test risk yönetimi (%95 güven seviyesi) üzerine vurgu yapar.	

Aydınlatma Ürün Test Laboratuvarları:

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
ISO/IEC 17025:2017	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	Laboratuvar akreditasyonunun temel standardıdır. Tüm testlerin doğru, tekrarlanabilir ve izlenebilir olması için gerekli yönetsel ve teknik şartları tanımlar.	Tüm Laboratuvarlar (Temel)
IEC 60598-1:2020	Luminaires - Part 1: General requirements and tests	Tüm aydınlatma armatürleri için temel güvenlik gerekliliklerini (elektriksel izolasyon, kablo bağlantıları, ısı direnci, IP koruma sınıfı, mekanik mukavemet) belirler. Güvenlik için en temel standarttır.	Armatür Güvenliği (Genel)
IEC 60598-2-1	... Part 2-1: Particular requirements - Fixed general purpose luminaires	Belirli armatür tipleri için 60598-1'e ek özel güvenlik testlerini tanımlar. Farklı armatür tipleri için -2-X serisi standartlar mevcuttur.	Armatür Güvenliği (Özel)
IEC 62471:2006	Photobiological safety of lamps and lamp systems	Işık kaynaklarının (LED, lazer, halojen, vs.) insan derisi ve gözü üzerinde oluşturabileceği UV, mavi ışık ve termal tehlikeleri değerlendirme yöntemlerini ve risk gruplandırmasını (Risk Grup 0-3) tanımlar.	Fotobiyolojik Güvenlik

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
IEC 62031:2018	LED modules for general lighting - Safety specifications	LED modüllerin (armatürün içindeki LED grupları) güvenlik ve performans gerekliliklerini tanımlar.	LED Modül Güvenliği
IEC 62717:2019	LED modules for general lighting - Performance requirements	Genel aydınlatmada kullanılan LED modüllerin performans (lümen çıkışı, verimlilik, ömür, renk özellikleri) gerekliliklerini ve test metodlarını belirler.	LED Modül Performansı
IEC 62612:2022	Self-ballasted LED-lamps for general lighting services - Performance requirements	E27, E14 gibi duylara takılabilen LED ampullerin performans ve dayanıklılık gerekliliklerini tanımlar.	LED Lamba Performansı
EN 13032-1:2012 +A1:2018	Light and lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires - Part 1: Measurement and file format	Fotometrik verilerin (ışık akısı, dağılım eğrisi, verimlilik vb.) nasıl ölçüleceğini, belgeleneceğini ve uluslararası kabul gören LDT dosya formatında nasıl sunulacağını standartlaştırır.	Fotometrik Ölçüm
EN 13032-4:2015	... Part 4: LED lamps, modules and luminaires	LED bazlı ürünlerin fotometrik ölçümlerindeki özel zorlukları (ısınma, stabilizasyon, ısı yönetimi) ve çözüm yöntemlerini ele alır.	LED Fotometrik Ölçüm

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
CIE 015:2018	Color Rendition of White Light Sources	Beyaz ışık kaynaklarının renksel geriverimini değerlendirmek için Renksel Geriverim İndeksi (CRI - Ra) metodolojisini tanımlar.	Renksel Özellikler (CRI)
IES TM-30-20	IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition	CRI'ya ek olarak, doygunluk ve renk tutma gibi daha kapsamlı bir değerlendirme için Rf (renk doğruluk indeksi) ve Rg (doygunluk artışı indeksi) gibi metrikleri tanıtır.	Renksel Özellikler (TM-30)
ANSI/IES LM-79-19	Approved Method for the Electrical and Photometric Testing of Solid-State Lighting Devices	LED armatür ve lambaların elektriksel (güç, akım, güç faktörü) ve fotometrik (ışık akısı, dağılım, verimlilik, renk koordinatları, CCT) ölçümleri için detaylı laboratuvar prosedürlerini belirler.	SSS (LED) Testleri
ANSI/IES LM-80-20	Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources	LED paketleri, modülleri ve lambalarının zamanla ışık çıkışındaki azalmayı (lümen bakımı) ölçme yöntemini standartlaştırır.	LED Ömür Testi (Lümen Bakımı)
ANSI/IES LM-84-21	Approved Method for Measuring Lumen and	LM-80'i genişleterek, sadece ışık akısının değil, aynı zamanda renk	LED Ömür Testi (Renk Kararlılığı)

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
	Chromaticity Maintenance of LED Lamps, Luminaires, and Modules	kaymasının (chromaticity maintenance) da nasıl ölçüleceğini tanımlar.	
IEC 62386	Digital addressable lighting interface	Akıllı aydınlatma sistemleri ve armatürler arası iletişim protokolünü (DALI) ve uyumluluk testlerini tanımlayan bir standartlar serisidir.	Aydınlatma Kontrolü / Dijital Arayüz
COMMISSION REGULATION (EU) 2019/2020	Ecodesign requirements for light sources and separate control gears	AB pazarı için enerji verimliliği (lümens/watt), ürün dayanıklılığı (yanma ömrü), ve ürün bilgisi (etiketleme) için zorunlu minimum gereklilikleri belirler.	Enerji Verimliliği (AB)
COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2022/30	Energy labelling requirements for light sources	AB'deki A'dan G'ye kadar olan enerji etiketleme şemasını ve tüketiciye sunulacak bilgileri tanımlar.	Enerji Etiketleme (AB)

Optik ve Lazer Test Laboratuvarları:

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
ISO/IEC 17025:2017	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	Tüm laboratuvarlar için temel akreditasyon standardıdır. Ölçüm belirsizliği, metod validasyonu, personel yeterliliği ve ekipman kalibrasyonu için genel şartları belirler.	Tüm Laboratuvarlar (Temel)
IEC 60825-1:2014	Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements	Lazerleri radyasyon tehlikesi seviyelerine göre sınıflandırır (1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B, 4). Üreticiler için güvenlik testleri ve işaretleme gerekliliklerini tanımlar. Lazer güvenliğinin temel standardıdır.	Lazer Güvenliği
IEC 60601-2-22:2019	Medical electrical equipment - Part 2-22: Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical, cosmetic, therapeutic and diagnostic laser equipment	Tıbbi lazer cihazları için özel güvenlik ve temel performans gerekliliklerini tanımlar.	Tıbbi Lazerler
ISO 13694:2018	Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment —	Lazer ışın profilinin (gauss, top-hat, vs.) ve ışın	Lazer Işın Karakterizasyonu

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
	Test methods for laser beam power (energy) density distribution	kesitindeki güç dağılımının nasıl ölçüleceğini tanımlar.	
ISO 11146-1:2021	Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios — Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams	Lazer ışın çapı, diverjansı ve kalite faktörünün (M ²) ölçüm metodolojisini standartlaştırır.	Lazer Işın Parametreleri (M ²)
ISO 21254-1:2011	Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser-induced damage threshold — Part 1: Definitions and general principles	Optik bileşenlerin (aynalar, lensler, kaplamalar) lazer ışınına dayanıklılık eşiğinin (LIDT) nasıl test edileceğini tanımlar.	Lazer Hasar Eşiği (LIDT)
ISO 12005:2003	Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam parameters — Polarization	Lazer ışınının kutuplaşma durumunun ölçüm metodlarını belirler.	Lazer Işın Parametreleri
ISO 11145:2018	Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Vocabulary and symbols	Lazer teknolojisi alanında kullanılan temel terim ve sembolleri standartlaştırır.	Terminoloji

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
ISO 10110-1:2006	Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems — Part 1: General	Optik eleman çizimlerinde kullanılan semboller, toleranslar ve hata tanımlamalarını standartlaştırır.	Optik Tasarım ve Üretim
ANSI Z136.1-2022	American National Standard for Safe Use of Lasers	ABD'de lazer güvenliği için temel standarttır. İşyeri ortamlarında lazer kullanımı için güvenlik prosedürlerini, kişisel koruyucu ekipman (KKE) seçimini ve kontrol önlemlerini detaylandırır.	Lazer Güvenliği (ABD Uygulama)
IEC 61290-1-1:2020	Optical amplifiers - Test methods - Part 1-1: Power and gain parameters - Optical spectrum analyzer method	Fiber optik yükselticilerin (EDFA vb.) kazanç, çıkış gücü ve gürültü faktörü gibi parametrelerinin nasıl ölçüleceğini tanımlar.	Fiber Optik / Optik Yükselticiler
ITU-T G.650.1 (2022)	Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable	Tek modlu fiberlerin mod alan çapı, kırılma indisi profili, kesme dalga boyu, zayıflama ve dispersiyon gibi parametrelerinin ölçüm metodlarını standartlaştırır.	Fiber Optik Karakterizasyonu
EN 207:2017	Personal eye-protection equipment - Filters and eye-protectors against	Lazer koruma gözlüklerinin ve filtrelerinin performans gerekliliklerini ve test metodlarını (Optik Yoğunluk, Lazer Dayanımı) tanımlar.	Kişisel Koruyucu Ekipman (KKD)

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
	laser radiation (laser eye-protectors)		
EN 208:2009	Personal eye-protection equipment - Eye-protectors for adjustment work on lasers and laser systems	Lazer hizalama (alignment) işlemleri sırasında kullanılacak düşük seviyeli koruma sağlayan gözlükler için standarttır.	Kişisel Koruyucu Ekipman (KKD)

Fotometri ve Işık Ölçüm Laboratuvarları

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama
ISO/CIE 19476:2014	Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters	Fotometri alanında kullanılan temel terim ve tanımları standartlaştırır.
ISO/CIE 23539:2023	Photometry— The CIE system of physical photometry	Fiziksel fotometrinin temel prensiplerini ve $V(\lambda)$ fonksiyonuna dayalı ölçüm sistemini tanımlar.
ISO 11664 Seti	Colorimetry	CIE renk uzayları (XYZ, Lab) ve kolorimetrik hesaplamalar.
CIE S 023/E:2013	Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters	LED bazlı ışık kaynaklarının test ve ölçüm yöntemlerini detaylandırır.
IEC 60598-1:2020	Luminaires - Part 1: General requirements and tests	Aydınlatma armatürlerinin güvenlik ve performans testleri için genel gereklilikleri belirler.

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama
IEC 62722 Seti	Luminaire performance	Lümen çıkışı, verimlilik ve renksel geriverim (CRI) ölçüm metodları.
IEC 61341	Method of measurement of centre beam intensity and beam angle(s) of reflector lamps	Yansıtıcı aydınlatma ürünlerinin fotometrik testleri.
IEC 62471:2006	Photobiological safety of lamps and lamp systems	Işık kaynaklarının insan derisi ve gözü üzerindeki fotobiyolojik risklerini değerlendirme yöntemlerini tanımlar.
DIN 5032-7:2017-05	Photometry- Part 7: Criteria for measurement and evaluation of lighting at workplaces	İşyeri aydınlatmasının kalite kontrolünde kullanılan ölçüm tekniklerini ve kriterleri açıklar.
EN 13032-1:2012+A1:2018	Light and lighting- Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires- Part 1: Measurement and file format	Fotometrik verilerin ölçülmesi, belgelenmesi ve LDT dosya formatında sunulması için kuralları belirler.
EN 13032-4:2015	... Part 4: LED lamps, modules and luminaires	LED ürünlerine özel fotometrik ölçümlerin zorluklarını ve çözüm yöntemlerini ele alır.
ANSI/IES LM-79-19	Approved Method for the Electrical and Photometric Testing of Solid-State Lighting Devices	LED'ler de dahil olmak üzere katı hal aydınlatma ürünlerinin performans testleri için endüstri standardı.
ANSI/IES LM-80-20	Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources	LED'lerin zamanla ışık çıkışındaki azalma (lümen bakımı) ölçüm yöntemini standartlaştırır.

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama
ANSI/IES LM-82-12	Approved Method for the Characterization of LED Light Engines and LED Lamps for Electrical and Photometric Properties as a Function of Temperature	Sıcaklığın LED performansı üzerindeki etkisini ölçme yöntemini tanımlar.
ITU-R BT.500-15	Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures	Görüntü kalitesinin subjektif (insan değerlendirmesine dayalı) değerlendirilmesi için yöntemler içerir.
OECD/ISO 17025:2017	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	Bir fotometrik laboratuvarın akredite olabilmesi için temel şarttır. Kalite yönetim sistemi ve teknik yeterlilik gerekliliklerini tanımlar.

Enerji Verimliliği ve Akıllı Aydınlatma Standartları:

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
ISO 50001:2018	Energy management systems — Requirements with guidance for use	Bir kuruluşun enerji performansını (verimlilik, kullanım, tüketim) sistematik olarak yönetmesi için çerçeve sunar. Tesis ve şehir ölçeğindeki aydınlatma sistemlerinin enerji yönetimi için temeldir.	Enerji Yönetim Sistemi
IEC 63002:2023	Identification and communication	Dış güç kaynaklarının (LED sürücülerini dahil) enerji verimliliği	Güç Kaynağı Verimliliği

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
	interoperability method for external power supplies	ve birlikte çalışabilirlik gerekliliklerini tanımlar.	
IEC 62386	Digital addressable lighting interface	Akıllı aydınlatma sistemleri için açık, üreticiden bağımsız bir iletişim protokolüdür. DALI-2 (cihaz seviyesi uyumluluk) ve D4i (armatür içi IoT ve enerji raporlama) bu serinin önemli parçalarıdır.	Aydınlatma Kontrol Protokolü
IEC 62722-2- 1:2023	Luminaire performance — Part 2-1: Particular requirements for smart luminaires	Akıllı armatürlerin (dimmer edilebilir, renk ayarlanabilir, sensörlü) performans şartlarını ve kontrol arayüzü uyumluluk testlerini tanımlar.	Akıllı Armatür Performansı
IEEE 2030.5- 2018	IEEE Standard for Smart Energy Profile Application Protocol	Enerji tüketici cihazları (EV şarj istasyonları, PV invertörler, akıllı aydınlatma) ile şebeke operatörü arasında iki yönlü iletişim için bir protokol tanımlar.	Şebeke Etkileşimi (Smart Grid)
ANSI/IES LP-12- 21	Design Guide for Controlled Environment Lighting	Sensörler, kontroller ve ayarlanabilir armatürler kullanarak enerji tasarrufu sağlayan aydınlatma sistemlerinin nasıl tasarlanacağına dair bir kılavuz sunar.	Kontrollü Aydınlatma Tasarımı

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
ANSI/IES TM-41-23	Guide for Calculation of Energy Savings from Lighting Systems	Farklı aydınlatma kontrol stratejilerinin (gün ışığı algılama, varlık/yokluk sensörü, programlama) sağladığı enerji tasarrufunun nasıl hesaplanacağını standardize eder.	Enerji Tasarrufu Hesaplama
EN 15193-1:2017	Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications	Bir binadaki aydınlatma sisteminin enerji verimliliğini ve yıllık enerji ihtiyacını hesaplama metodolojisini (LENI - Lighting Energy Numeric Indicator) tanımlar.	Bina Enerji Performansı
COMMISSION REGULATION (EU) 2019/2020	Ecodesign requirements for light sources and separate control gears	AB pazarı için zorunludur. Işık kaynakları ve sürücüler için minimum enerji verimliliği (lümens/watt), ürün dayanıklılığı (yanma ömrü > 6000 saat), sürdürülebilirlik (üretim, geri dönüşüm) ve ürün bilgisi gerekliliklerini belirler.	Enerji Verimliliği (Yasal Zorunluluk-AB)
COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2022/30	Energy labelling requirements for light sources	AB pazarı için zorunludur. Tüketicileri bilgilendirmek amacıyla A'dan G'ye kadar olan enerji etiketleme şemasını, etiketin içeriğini ve ürün kutusu/veri sayfasında bulunması gereken bilgileri tanımlar.	Enerji Etiketleme (Yasal Zorunluluk-AB)

Standart Kodu	Standart Adı (Orijinal)	Kapsam ve Açıklama	İlgili Olduğu Alan
DIN SPEC 5035- 100:2023-03	Interior lighting - Part 100: Human Centric Lighting (HCL) control	İnsan Merkezli Aydınlatma (HCL) sistemlerinin planlanması, uygulanması ve işletilmesi için gereklilikleri ve önerileri standartlaştırır.	İnsan Merkezli Aydınlatma (HCL)
ANSI/CTA-2069- A (2023)	Physical Interface for Smart Lighting Devices	Akıllı aydınlatma cihazları için mekanik, elektriksel ve haberleşme arayüzlerini tanımlayarak, farklı üreticilerden gelen bileşenlerin birlikte çalışabilirliğini artırmayı amaçlar.	Fiziksel Birlikte Çalışabilirlik
ITU-T Y.4470 (2020)	IoT-based energy-efficient smart street lighting for smart cities	Akıllı şehirlerde enerji verimli sokak aydınlatma sistemlerinin planlanması, dağıtımı ve yönetimi için bir çerçeve ve gereklilikleri tanımlar.	Akıllı Şehir Sokak Aydınlatması

EK- 7. Optik Laboratuvarları Çalışma Alanları

Temel Bilimler ve Uzay Teknolojileri:

1. Temel optik araştırma laboratuvarları. Genel araştırma konuları; ışık dalga teorisi, kırınım, polarizasyon, interferometridir. (Ör. Max Planck Institute for the Science of Light (<https://mpl.mpg.de/>))
2. Lazer ve fotonik laboratuvarları. Genel araştırma konuları; lazer üretimi, optik fiberler, plazmoniklerdir. (Ör. Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) (lzh.de))
3. Görüntüleme ve spektroskopi laboratuvarları. Genel araştırma konuları; Raman spektroskopisi, hiperspektral görüntüleme, mikroskopidir. (Ör. European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) (esrf.fr))
4. Biyomedikal optik laboratuvarları. Genel araştırma konuları; optik tomografi, lazer cerrahi, diagnostik cihazlarıdır. (Ör. Massachusetts General Hospital, Wellman Center for Photomedicine (<https://wellman.massgeneral.org/>))
5. Optoelektronik ve nanofotonik laboratuvarları. Genel araştırma konuları; LED, güneş pilleri, meta malzemeleridir. (Ör. Fraunhofer Institute for Applied Optics (IOF) (<https://www.iof.fraunhofer.de/>))
6. Astronomi ve uzay optiği laboratuvarları. Genel araştırma konuları; teleskop aynaları, uydu sensörleridir. (Ör. European Southern Observatory (ESO) (<https://www.eso.org/public/>))
7. Endüstriyel optik test laboratuvarları. Genel araştırma konuları; kamera kalibrasyonu, aydınlatma testleridir. (Ör. TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) (<https://www.ume.tubitak.gov.tr/>))
8. Kuantum optiği laboratuvarları. Genel araştırma konuları; kuantum dolanıklık, optik kuantum hesaplamalarıdır. (Ör. Quantum Engineering Lab, Caltech Research Group (<https://qubit.caltech.edu/>))

Sosyal Bilimler Alanında Deneysel Optik Laboratuvarları:

1. Göz izleme araştırmaları. Genel araştırma konusu; tüketici davranışları, psikoloji, reklamcılık ve bilişsel bilimlerde göz hareketlerinin analiz çalışmalarıdır. (Ör. Ruh Sağlığı Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı, Koç Üniversitesi (<https://mentallab.ku.edu.tr/>))
2. Yüz ifadesi ve duygu analizi araştırmaları. Genel araştırma konusu; yüz kas hareketlerinin optik sensörlerle kaydedilerek duygusal tepkilerin ölçülmesi

- çalışmasıdır. (Ör. MIT Media Lab, Affective Computing Group (<https://www.media.mit.edu/groups/affective-computing/overview/>))
3. Hareket analizi. Genel araştırma konusu; spor bilimleri veya antropolojide vücut hareketlerinin optik sensörlerle izleme çalışmaları. (Ör. Evolutionary Genetics, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology (<https://www.eva.mpg.de/genetics/index/>))
 4. Sanat tarihi ve kültürel miras. Genel araştırma konusu; tablo veya heykellerin multispektral görüntüleme ile yapılan analiz çalışmaları. (Ör. Bilimsel Arastırma Bolumu, British Museum (<https://www.britishmuseum.org/our-work/departments/scientific-research>))

Tasarım ve Sanat Disiplinleri:

1. Mimarlık ve İçmimarlık. Genel araştırma konusu; doğal/yarı doğal ışık simülasyonları, malzeme yansıma özelliği ve optik etkileşimi, mekânsal algı çalışmalarıdır. (Ör. MIT Media Lab, Mediated Matter Group (<https://www.media.mit.edu/groups/mediated-matter/archived-projects/>))
2. Görsel iletişim tasarımı alanında:
 - a. Renk ve ışık araştırma laboratuvarları. Genel araştırma konusu; Renk algısı, renk yönetimi, dijital görüntüleme, optik teknolojiler (ISO 3664 standardı), marka renklerinin tutarlılığı, ambalaj tasarımında optik yansılamaları, renk psikolojisi, görsel iletişimde renk sembolizmi çalışmalarıdır. (Ör. Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology (<https://www.rit.edu/science/munsell-color-lab>))
 - b. Dijital görüntüleme ve AR/ VR laboratuvarları. Genel araştırma konusu; ışık alanı kameraları, holografik görüntüleme, etkileşimli medya, reklam afişlerinde optik illüzyonlar, AR filtre tasarımı, veri görselleştirme, projektif mapping sistemleri. (Ör. MIT Media Lab, Affective Camera Culture Group (<https://www.media.mit.edu/groups/camera-culture/overview/>))
 - c. İnsan- bilgisayar etkileşimi (HCI) ve göz izleme. Genel araştırma konusu; web tasarımında görsel dikkat analizi, kullanıcı deneyimi (UX), tipografik okunabilirlik, infografik tasarım çalışmaları. (Ör. Multimedia Vision and Graphics Laboratory (<https://mvgl.ku.edu.tr/>), Innovative DEvices and

(<https://mysite.ku.edu.tr/snizamoglu/>) Koç Üniversitesi)

- d. Malzeme ve yüzey optiği laboratuvarları. Genel araştırma konusu; ambalaj gibi malzemelerde dokunsal ve görsel etkileşim için optik yüzey, optik illüzyonlu billboard, holografik marka kimliği tasarımlarıdır. (Ör. Functional Surfaces and Materials, Fraunhofer IOF (<https://www.igb.fraunhofer.de/en/research/functional-surfaces-and-materials.html>))

3. Sinema ve televizyon alanında:

- a. Kamera ve lens teknolojileri laboratuvarları. Genel araştırma konusu; sinematik lenslerin optik performans testleri (çözünürlük, distorsiyon, ışık geçirgenliği), yüksek dinamik aralıklı (HDR) görüntüleme için optik filtre geliştirme, sinema lenslerinde kromatik aberasyon kontrolü, Anamorfik lens tasarımı için optik simülasyon çalışmaları. (Ör. Canon Science LAB, Canon Global (https://global.canon/en/technology/s_lab/light/))
- b. Işık ve renk bilimi laboratuvarları. Genel araştırma konusu; renk doğruluğu standartları, projektör kalibrasyonu ve ekran optiği testleri, holografik ekranlar ve 3D sinema teknolojileri, Işık alanı kamera sistem çalışmaları. (Ör. SMPTE Metadata Committee Conduct Study on Circle of Confusion veya DSC Labs Exclusive SMPTE Charts (https://www.smpite.org/hs-search-results?term=optical+lab&type=SITE_PAGE&type=LANDING_PAGE&type=BLOG_POST&type=LISTING_PAGE&type=KNOWLEDGE_ARTICLE))
- c. Özel efekt ve görsel efekt (VFX) laboratuvarları. Genel araştırma konusu; fotogerçekçi insan modelleri için 360° aydınlatma sistemleri, yüz hareketlerinin optik motion capture'ı, pratik efektler için optik kompozisyon teknikleri ve lazer projektörlerle yeşil perde aydınlatma optimizasyonu çalışmaları. (Ör. USC Institute for Creative Technologies-Light Stage Lab (<https://ict.usc.edu/research/labs-groups/>))
- d. Yayıncılık ve televizyon teknolojileri laboratuvarları. Genel araştırma konusu; 8K yayın için lens aberasyon düzeltme algoritmaları, HDR renk uzayında optik sensör kalibrasyonu, “Perceptive Media” için optik dikkat

analizi, süper 16K (132 megapiksel) kamera optiği, Süper 16K (132 megapiksel) kamera optiği, ışık alanı temelli odaklanma sonrası teknolojileri çalışmaları. (Ör. NHK Science and Technology Research Laboratories (<https://www.nhk.or.jp/str/english/index.html>))

4. Dijital sanatlar. Genel araştırma konusu; ışık-madde etkileşimleri, holografik enstalasyonlar, yeni medya araçları, optik kinetik heykeller ve lazer enstalasyonları, LED panellerle etkileşimli ışık sanatı, optik sensörlerle etkileşimli dijital sanat, projection mapping ile anlatı deneyim çalışmaları. (Ör. MIT Media Lab, Affective Camera Culture Group (<https://www.media.mit.edu/groups/camera-culture/overview/>))



EK- 8. Temel Optik Laboratuvarlarında Kullanılan Temel Cihaz ve Aletler

Temel Ölçüm ve Analiz Cihazları:

1. **Spektrofotometre.** Işık spektrum analizi, renk ölçümü, kimyasal konsantrasyon belirleme için kullanılır. İlgili standart protokolleri, ISO/ CIE 11664 ve ASTM E275 standartlarıdır.
2. **Interferometre.** Optik yüzey düzgünlüğü, dalga boyu ve optik eleman kalınlık ölçümleri için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 10110-5 standardıdır.
3. **Optik güç metresi.** Lazer ve fiber optik sistemlerde güç/enerji ölçümü için kullanılır. İlgili standart protokolü, IEC 61280-1-3 standardıdır.
4. **Refraktometre.** Maddelerin kırılma indisinin ölçülmesi için kullanılır. İlgili standart protokolü, ASTM D1218 standardıdır.
5. **Polarimetre.** Optik aktivite ölçümü için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 592 standardıdır.
6. **Fotometre.** Işık şiddeti, aydınlık düzeyi ve lümen ölçümleri için kullanılır. İlgili standart protokolü, ANS/ IES LS-4-20 standardıdır.
7. **Otokolimatör.** Hassas optik hizalama sistemleri için kullanılır. İlgili standart protokolü, DIN 58187 standardıdır.

Görüntüleme ve Mikroskopi Sistemleri:

1. **Konfokal mikroskop.** Yüksek çözünürlüklü 3D yüzey görüntüleme için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 19012-1 standardıdır.
2. **Elektron Mikroskobu.** Nano ölçekli yapıların görüntülenme için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 16700 standardıdır.
3. **Yüksek hızlı kamera.** Lazer atımları, plazma dinamikleri gibi hızlı olayların kaydedilmesi için kullanılır. İlgili standart protokolü, EMVA 1288 standardıdır.
4. **Termal kamera.** Isı dağılımı ve termal analizi için kullanılır. İlgili standart protokolü, IEC 80601-2-59 standardıdır.
5. **Hiperspektral görüntüleyici.** Malzeme bileşimi analizi için kullanılır. İlgili standart protokolü, IEEE 4001 standardıdır.

Lazer Sistemleri ve Aksesuarları:

1. **He-Ne lazer.** Referans ışık kaynağı, hizalama sistemleri için kullanılır. İlgili standart protokolü, IEC 60825-1 standardıdır.
2. **Diyot Lazer.** Fiber optik iletişim, malzeme işleme için kullanılır. İlgili standart protokolü, ANSI Z136.1 standardıdır.

3. **Femtosaniye lazer.** Ultra-hızlı süreçlerin incelenmesi, mikro-malzeme işleme için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 11554 standardıdır.
4. **Lazer güç metresi.** Lazer çıkış gücünün ölçülmesi ve kalibrasyonu için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 13694 standardıdır.
5. **Lazer tarayıcı.** 3D yüzey tarama, LIDAR uygulamaları için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 10360-7 standardıdır.

Optik Test ve Kalibrasyon Ekipmanları:

1. **Optik test bankı.** Lens ve aynaların odak uzaklığı, aberasyon testleri için kullanılır. İlgili standart protokolü bulunamadı.
2. **Optik Bağlaçlar.** Fiber optik sistemlerde ışık iletim verimliliği ölçümü için kullanılır. İlgili standart protokolü, IEC 61755 serisi standardıdır.
3. **Fiber Optik Spektrum Analizörü.** Fiber optik ağlarda kayıp ve dalga boyu analizi için kullanılır. İlgili standart protokolü, IEC 61280-1-1 standardıdır.

Destek Ekipmanları ve Sistemler:

1. **Titreşim izolasyonlu masa.** Yüksek hassasiyetli ölçüm ve optik düzenekler için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 10110-5 standardıdır.
2. **Faraday Kafesi.** Elektromanyetik gürültü izolasyonu için kullanılır. İlgili standart protokolü, EN IEC 61000-5-7 standardıdır.
3. **Kriyojenik Sistem.** Düşük sıcaklık optik deneyler için kullanılır. İlgili standart protokolü, ASTM C1774-13 standardıdır.

Özel Amaçlı Sistemler:

1. **Raman Spektrometresi.** Moleküler titreşim analizi için kullanılır. İlgili standart protokolü, ASTM E1840 standardıdır.
2. **Elipsometre.** İnce film kalınlık ve optik sabit ölçümü için kullanılır. İlgili standart protokolü, ISO 23131 standardıdır.
3. **Fotoluminesans Sistemi.** Yarıiletken ve nano yapıların içse- dışsal optik özelliklerinin incelenmesi için kullanılır. İlgili standart protokolü, IEC 62607-3-1 standardıdır.

EK-9. C Fizik (Optik) Laboratuvarları – Mimari ve İşlevsel Özellikler Tablosu (Crowther, 1974)

KAT ve BÖLÜM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM ve EKİPMAN	OPTİK ARAŞTIRMALARDA Kİ İŞLEVİ ve KULLANIMI
ZEMİN KAT			
Manyetik Araştırma Laboratuvarı	- 60 cm kalınlığında taş kaideler üzerine inşaa edilmiştir - Duvarlar manyetik alandan etkilenmeyen malzeme (bakır alaşım) ile kaplanmıştır - Yerden 2m yükseklikte meridyen aynaları yerleştirilmiştir	Kew Gözlemevi tipi hassas manyetometreler 1m çapında bakır bobinler (1000 sarım) Manyetik indüksiyon ölçüm cihazları	Dünyanın manyetik alanının ışık polarizasyonuna etkisinin incelenmesi Manyeto-optik etki (Faraday etkisi) deneyleri
Saat ve Sarkaç Odası	- Titreşimi emen kum yatağı üzerine kurulmuştur - 4m yüksek tavan (sarkacın salınımı için) - Nem kontrol sistemi (%50 sabit)	Foucault sarkacı (28 kg ağırlığında) Kronometrik kayıt cihazları Yerçekimi ivme ölçer	Işık hızı hesaplamalarında zaman ölçümü Yerçekimi kırılmasının ışık yolu üzerindeki etkisinin araştırılması
Isı Transferi Laboratuvarı	- Çift katlı panjurlu pencereler (ışık ve ısı kontrolü) - Mermer tezgahlar (ısıya dayanıklı) - Çift taraflı taş raflar	Maxwell'in hava viskozitesi ölçüm cihazı (cam plakalar, ayna ve teleskop kombinasyonu) Termoelektrik termometreler Radyant ısı ölçüm cihazları	Siyah cisim ışıması deneyleri için sıcaklık kontrolü Termal radyasyon spektrumunun incelenmesi Işık hızının farklı sıcaklıklardaki değişimi
Kütüphane ve Okuma Odası	- 5m yüksek tavan, - 8 adet büyük pencere (kuzey ışığı) - Şömine ile ısıtma, duvar boyu meşe kütüphane rafları	Optik ve fizik üzerine 2000+ cilt kitap Meridyen ölçüm aletleri Bilimsel dergi koleksiyonu (Nature, Philosophical Magazine)	Işık teorisi üzerine tarihi kaynakların incelenmesi Optik hesaplamalar ve çizimler Bilimsel tartışma ve fikir alışverişi mekânı
Çay Odası ve Sosyal Alan	- Kurşun lavabolu mutfak tezgâhı - Deri koltuklar ve ahşap masalar -Doğal havalandırma	Su sebili Çay ve kahve demleme ekipmanları Bilimsel tartışma panosu	Araştırmacılar arasında optik bulguların informal paylaşımı

KAT ve BÖLÜM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM ve EKİPMAN	OPTİK ARAŞTIRMALARDA Kİ İŞLEVİ ve KULLANIMI
			Disiplinlerarası fikir tartışmaları (özellikle renk teorisi)
Atölye ve Depo	- Ağır malzeme rafları (3 ton kapasiteli) - Vinçli tavan sistemi (2 ton kapasite) - Taş zemin	Torna tezgâhı, matkap, mingeneler Cam işleme aletleri Ahşap işleme tezgâhları	Optik deney düzeneklerinin imalatı ve tamiri Spektrometre ve interferometre prototip üretimi Mercek ve prizma taşıyıcıların imalatı
1. KAT			
Genel Öğrenci Laboratuvarı	- 10 adet masif meşe masa (5cm kalınlık, 2.5m x 1.2m) - Her masada gaz brülörü için boru hattı - Delikli ahşap tavan panelleri (havalandırma)	100'den fazla temel optik deney seti (prizmalar, mercekler, aynalar) Gaz brülörleri ve kimya setleri Spektroskoplar	Öğrencilere temel optik deneylerin yaptırılması (kırılma, yansıma, girişim) Spektral analiz eğitimi
Derslik	- 30 derece eğimli amfi düzeni (180 kişilik) - 3 çıkış kapısı - Tam karartma için panjurlu pencereler	2m uzunluğunda çekmeceli öğrenci masaları Büyük ders masası (Foucault sarkacı asılabilir) Tepegöz ve optik demonstrasyon aletleri	Optik teori dersleri Işık deneyleri demonstrasyonları Işık dalga teorisi ve elektromanyetizma dersleri
Alet Odası	- Cam kapaklı, kilitli dolaplar - Nem ve toz kontrolü	Thomson'un kadran elektrometresi (Britanya Bilim Derneği direnç standartları) Tarihi optik aletler koleksiyonu	Değerli optik aletlerin saklanması ve korunması Ölçüm aletlerinin kalibrasyonu Bilim tarihi eğitimi
Hazırlık Odası	- Geniş çalışma tezgâhları - Duvar boyu depolama dolapları	Deney düzeneği kurma aletleri	Optik deneylerin hazırlanması

KAT ve BÖLÜM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM ve EKİPMAN	OPTİK ARAŞTIRMALARDA Kİ İŞLEVİ ve KULLANIMI
		Cam ve metal işleme aletleri Çizim masaları	Deney düzeneklerinin tasarımı ve prototip üretimi Ölçüm ve veri kayıt planlaması
2. KAT			
Optik Araştırma Laboratuvarı I	- Tam karartılabilir mekân (ışık sızmazsız) - Heliostat sistemi (çatıdan güneş ışığı girişi) - Siyah kadife kaplı duvarlar ve tavan	İnterferometre (Michelson tipi) Spektrometre (yüksek çözünürlüklü) Kollimatör ve hassas lens setleri	Işık dalga boyu ölçümleri Işık girişim ve kırınım deneyleri Spektral analiz ve Fraunhofer çizgilerinin incelenmesi
Optik Araştırma Laboratuvarı II	- Nem kontrolü (%30 sabit) - Sıcaklık kontrolü (20°C ±1°C) - Titreşim izolasyonlu taş masalar	Elektro-optik modülasyon cihazları Manyeto-optik düzenek (Faraday etkisi için) Yüksek voltaj kaynağı	Elektro-optik ve manyeto-optik etkilerin incelenmesi Işığın elektrik ve manyetik alanlardaki davranışı Kristallerin optik özelliklerinin araştırılması
Karanlık Oda	- Işık geçirmez çift kapılı giriş - Kimyasal buharlar için özel havalandırma - Asit dirençli seramik tezgahlar	Fotoğraf plakası işleme banyoları Büyütücü (enlarger) ve kesici aletler Kimyasal saklama dolapları	Fotoğrafik plakaların hazırlanması ve işlenmesi Spektral görüntüleme ve kayıt Renk algısı ve renk ayrımı deneyleri
Hesaplama ve Çizim Odası	- Geniş çizim masaları (ışıklı) - Duvar boyu kitaplık ve dosya dolapları - Doğal aydınlatma (kuzey cephe)	Hesaplama tabloları ve logaritma cetvelleri Çizim aletleri (pergel, cetvel, iletke) Optik diyagram ve şema koleksiyonu	Optik verilerin analizi ve hesaplanması Deney sonuçlarının çizimi ve diyagramlanması Teorik modellerin geliştirilmesi

KAT ve BÖLÜM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM ve EKİPMAN	OPTİK ARAŞTIRMALARDA Kİ İŞLEVİ ve KULLANIMI
ENERJİ ve ALTYAPI			
Batarya Odası	- Porselen izolatörlü taşıyıcılar - Dikey kablo dağıtım kanalları - Asit sıçramasına dayanıklı zemin	Çinko-karbon piller (500V toplam) Anahtarlama ve sigorta panosu Galvanometreler ve voltmetreler	Elektro-optik deneyler için sabit DC güç kaynağı Hassas ölçümler için temiz enerji sağlama Ark lambası ve elektrik deşarj deneyleri
Vakum Sistemi ve Kulesi	- Binanın en yüksek noktasında konumlandırılmış - Su pompaları için kurşun boru hatları - Bakır çatı çubuğu (1.5m, atmosferik elektrik toplama)	Bunsen ve Sprengel tipi vakum pompaları Cam vakum göstergeleri (her katta) Vakum odaları ve hava almayı engelleyen vanalar	Işığın düşük basınç ortamlarındaki davranışının incelenmesi Vakum tüplü optik deneyler Atmosferik elektriğin optik etkilerinin araştırılması
GÜVENLİK ve DİĞER			
Yangın Güvenlik Sistemi	- Her katta kanvas kaplı kauçuk yangın hortumları - Kimyasal depolarda kum kovaları - Ana girişte acil durum çanı	İtfaiye çekme alarmları Yangın söndürücü kum ve su kovaları Acil çıkış işaretleri	Yanıcı kimyasallar (eter, alkol) ile yapılan optik deneylerde güvenlik Elektrik arkı ve yüksek ısı deneylerinde yangın önlemi
Elektrik Dağıtım Sistemi	- Duvarlar içine gizlenmiş bakır kablo kanalları - Her katta ahşap/keçe kapaklı erişim noktaları - Topraklama hatları	Ana şalter ve sigorta kutusu Gaz lambası ve ark lambası besleme hatları Ölçüm aletleri için ayrılmış temiz güç hatları	Laboratuvarlara güvenli elektrik dağıtımı Hassas ölçüm aletlerinin elektrik gürültüsünden korunması Yüksek voltajlı optik deneyler için izole hatlar
Su ve Atık Sistemi	- Kurşun su boruları ve porselen lavabolar - Kimyasal atık için nötralizasyon havuzu - Yağmur suyu tahliye kanalları	Distile su üretim cihazı Atık su arıtma ve filtreleme	Optik cam temizliği için saf su temini Fotoğrafik kimyasal atıkların bertarafı

KAT ve BÖLÜM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM ve EKİPMAN	OPTİK ARAŞTIRMALARDA Kİ İŞLEVİ ve KULLANIMI
		Kimyasal atık depolama tankları	Soğutma sistemleri için su temini



EK-10 Cavendish Fizik (Optik) Laboratuvarları – – İnsan Kaynakları, İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulama Tablosu (Crowther, 1974)

KATEGORİ	UYGULAMA ve PROSEDÜRLER	SORUMLU KİŞİ/BİRİM	DENETİM ve KAYIT MEKANİZMASI
PERSONEL SINIFLANDIRMASI			
Kıdemli Araştırmacılar	- Maxwell ve sonrasında Rayleigh, Thomson gibi profesörler - Haftalık 60 saat çalışma - Tam akademik özerklik	Laboratuvar Direktörü	Yıllık yayın ve araştırma raporları
Doktora Öğrencileri	- 25-30 kişi, 6 yıl maksimum süre - Haftalık 50 saat çalışma - Usta-çırak ilişkisi	Danışman Akademisyenler	Haftalık laboratuvar defteri imzalı kontrolü
Teknisyenler	- 5 kişi, sabit maaşlı - Cam üfleme, alet tamiri, elektrik tesisatı - Haftalık 48 saat	Baş Teknisyen	Aylık bakım ve onarım kayıt defteri
İdari ve Destek Personeli	- Kütüphaneci, temizlik personeli, - Kırtasiye sorumlusu - Haftalık 40 saat	Laboratuvar Müdür Yardımcısı	Aylık iş takip çizelgeleri
İŞE ALIM ve EĞİTİM			
İşe Alım Kriterleri	- Akademik referanslar zorunlu - 3 aylık deneme süresi - Pratik beceri testi (cam üfleme, elektrik bağlantısı)	Laboratuvar Yönetim Kurulu	Aday değerlendirme formları
İş Başı Eğitim	- Kimyasal madde güvenliği (1 hafta) - Elektrik ve yangın güvenliği (2 gün) - Alet kullanım eğitimi (1 hafta)	Kıdemli Araştırmacılar	Eğitim tamamlama belgesi imzası
Sürekli Eğitim	- Haftalık seminerler (Cumartesi 10:00) - Aylık güvenlik brifingleri	Laboratuvar Direktörü	Katılım defteri ve eğitim içeriği kayıtları

KATEGORİ	UYGULAMA ve PROSEDÜRLER	SORUMLU KİŞİ/BİRİM	DENETİM ve KAYIT MEKANİZMASI
	- Yıllık yenileme eğitimleri		
ÇALIŞMA KOŞULLARI			
Çalışma Saatleri	- Pazartesi-Cumartesi 08:00-18:00 - Pazar günleri kapalı - Resmî tatillerde izinli	Laboratuvar Müdür Yardımcısı	Giriş-çıkış defteri (elle imzalı)
İzin ve Dinlenme	- Yıllık 1 ay izin (yaz dönemi) - Günlük 1 saat yemek molası - Çay odasında molalar (10:00 ve 15:00)	Danışman Akademisyenler	İzin defteri ve mola kayıtları
Sosyal Haklar	- Üniversite yemekhanesinde indirim - Kütüphane erişim imtiyazı - Konut desteği (yurt imkânı)	Cambridge Üniversitesi İdari Birimleri	Personel kimlik kartı ve erişim kayıtları
SAĞLIK ve GÜVENLİK			
Kimyasal Güvenlik	- Asit ve bazlar için nötralizasyon kitleri - Zehirli gazlar için çeker ocak kullanım zorunluluğu - Kimyasal depolama kuralları (ayrıştırılmış)	Kimya Sorumlusu	Kimyasal madde envanter defteri Kaza ve olay kayıt defteri
Elektrik Güvenliği	- Topraklama kontrolü (haftalık) - Yüksek voltaj uyarı işaretleri - Yalıtkan paspas ve eldiven kullanımı	Baş Teknisyen	Elektrik kontrol kayıt defteri Güvenlik denetim raporları
Yangın Güvenliği	- Her katta 2 yangın söndürücü - Haftalık yangın hortumu kontrolü - Acil çıkış yollarının işaretlenmesi	Güvenlik Sorumlusu	Yangın tatbikatı kayıtları (6 ayda bir) Ekipman kontrol çizelgeleri

KATEGORİ	UYGULAMA ve PROSEDÜRLER	SORUMLU KİŞİ/BİRİM	DENETİM ve KAYIT MEKANİZMASI
İlk Yardım	- Her katta ilk yardım çantası - Temel ilk yardım eğitimi (yıllık) - En yakın hastane ile protokol	İlk Yardım Sorumlusu	İlk yardım müdahale kayıt defteri Eğitim katılım belgeleri
KİŞİSEL KORUYUCU EKİPMAN			
Zorunlu KKE	- Asit dirençli önlük (kimya lab.) - Yalıtkan eldiven (elektrik lab.) - Koruyucu gözlük (cam işleme)	Laboratuvar Sorumluları	KKE dağıtım ve kontrol çizelgeleri İhlal kayıt defteri
Özel Koruma	- Kurşun önlük (radyasyon deneyleri) - Solunum maskesi (tozlu ortamlar) - Isıya dayanıklı eldiven (yüksek sıcaklık)	Deney Sorumlusu	Özel KKE envanter defteri Kullanım talimatları
SAĞLIK TARAMALARI			
Periyodik Muayeneler	- Yıllık genel sağlık kontrolü - Solunum testi (kimyasal maruziyet) - Görme testi (optik çalışanlar)	Üniversite Sağlık Merkezi	Sağlık kayıt dosyaları Muayene raporları
Meslek Hastalıkları	- Kimyasal maruziyet takibi - İşitme testi (yüksek gürültülü ortamlar) - Kas-iskelet sistemi taramaları	İşyeri Hekimi	Meslek hastalığı kayıt defteri Maruziyet sınırı izleme raporları
ACİL DURUM PROSEDÜRLERİ			
Kazaya Müdahale	- Kimyasal dökülme protokolü - Elektrik çarpması müdahalesi	Acil Müdahale Ekibi	Acil durum talimatları (duvar panosu) Tatbikat raporları

KATEGORİ	UYGULAMA ve PROSEDÜRLER	SORUMLU KİŞİ/BİRİM	DENETİM ve KAYIT MEKANİZMASI
	- Yangın söndürme talimatları		
İlk Yardım İstasyonları	- Her katta tanımlanmış ilk yardım alanı - Acil çıkış haritaları - İlk yardım malzemeleri (her 50m ² 'ye bir set)	Güvenlik Sorumlusu	İlk yardım malzeme envanteri Erişim kolaylığı kontrol listesi
PSİKOSOSYAL RİSKLER			
Çalışma Ortamı	- Doğal aydınlatmalı ortamlar - Yeterli havalandırma - Ergonomik çalışma masaları	Laboratuvar Direktörü	Çalışan memnuniyeti anketleri (yıllık) Ortam ölçüm raporları
İş Yüğü Yönetimi	- Makul çalışma saatleri - Görev çeşitlendirmesi - Dinlenme molalarının denetimi	Danışman Akademisyenler	İş yüğü değerlendirme formları Performans görüşmeleri
KAYIT ve RAPORLAMA			
Kaza Kayıtları	- Tüm kazaların 24 saat içinde raporlanması - Kaza kök neden analizi - Önleyici faaliyet planı	Güvenlik Sorumlusu	Kaza ve olay kayıt defteri İstatistiksel analiz raporları
Denetim Raporları	- Aylık güvenlik denetimleri - Yıllık sağlık taramaları - Periyodik ekipman kontrolleri	Laboratuvar Yönetim Kurulu	Denetim raporları arşivi Düzeltilici faaliyet takip çizelgeleri

EK-11 Menlo Park Laboratuvarları– Mimari ve İşlevsel Özellikler Tablosu
(Jenkins vd., 1989, Cilt. 1; Rosenberg vd., 1998, Cilt.4; Israel vd., 2004, Cilt.5;
Rosenberg vd., 1995, Cilt.3; Rosenberg vd., 1992, Cilt.2)

KATEGORİ	ALT BİRİM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve FAALİYETLER
ANA LABORATUVAR BİNASI				
Üst Kat	Kimya Laboratuvarı	- Ahşap tezgahlar - 1 adet basit çeker ocak - Doğal havalandırmalı	Analitik terazi Distilasyon seti Kimyasal reaktörler	Filament malzemesi araştırmaları Elektrokimya deneyleri Kimyasal sentez çalışmaları
	Elektrik Test Alanı	- Geniş pencerele - Ahşap yalıtımlı duvarlar - Taş zemin	Galvanometreler Direnç kutuları Pil bankaları	Devre testleri Elektrik ölçümleri Yeni buluş prototip testleri
Zemin Kat	Mekanik Atölye	- Taş zemin - Vinç sistemi - Büyük çalışma tezgâhları	Torna tezgâhı Matkaplar Mengeneler	Prototip imalatı Alet tamiri Mekanik düzenek üretimi
	Edison'un Ofisi	- Geniş pencere - Duvar panoları - Çizim masası	Patent çizim aletleri İletişim sistemleri Dosyalama dolapları	Proje yönetimi Patent başvuruları Stratejik planlama
DESTEK BİNALARI				

KATEGORİ	ALT BİRİM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve FAALİYETLER
Cam Üfleme Atölyesi	Müstakil Bina	- Yüksek tavan - Isıya dayanıklı malzeme - Doğal havalandırma	Cam üfleme masaları Gaz brülörleri Temperleme fırını	Ampul camı üretimi Özel cam eşya imalatı Kimyasal kap yapımı
Kütüphane	Ana Bina İçi	- Duvar boyu raflar - Okuma masaları - Doğal aydınlatma	Teknik dergi koleksiyonu Patent dosyaları Referans kitapları	Araştırma kaynakları Teknik çizimler Bilimsel literatür taraması
ENERJİ ALTYAPISI				
Buhar Makinesi	Müstakil Daire	- Tuğla bacalı - Yakıt depolama alanı - Ses yalıtımlı	Corliss buhar motoru Jeneratör setleri Buhar dağıtım hatları	Elektrik üretimi Makine gücü sağlama Isıtma sistemi
Pil Odası	Zemin Kat	- Serin ve kuru ortam - Ahşap raflar - Havalandırılmalı	Çinko-karbon piller Şarj ekipmanları Gerilim ölçerler	Elektrik depolama Deneyler için güç kaynağı Acil durum enerjisi
TEST ve ARAŞTIRMA				
Elektrik Test Sahası	Açık Hava	- Yalıtımlı direkler - Topraklama sistemi - Güvenlik bariyerleri	Transformatorler Yüksek voltaj ekipmanları Ölçüm aletleri	Büyük ölçekli testler Yalıtım deneyleri Güç sistemleri testleri

KATEGORİ	ALT BİRİM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve FAALİYETLER
Akustik Laboratuvarı	Müstakil Oda	- Ses yalıtımlı duvarlar - Yumuşak yüzeyli - Doğal aydınlatma	Fonograf test düzenekleri Ses kayıt cihazları Akustik ölçüm aletleri	Fonograf geliştirme Ses kalitesi testleri Kayıt teknolojisi araştırmaları
LOJİSTİK				
Hammadde Deposu	Müstakil Bina	- Büyük kapılı - Rafli depolama - Nem kontrolü	Tartım terazileri El arabaları Stok kayıt defterleri	Kimyasal madde depolama Metal ve cam stoku Malzeme dağıtımı
Sevkiyat Alanı	Açık Hava	- At arabası erişimli - Yükleme rampası - Yağmur korunaklı	Paketleme masaları Ambalaj malzemeleri Kargo kayıt defteri	Bitmiş ürün sevkiyatı Malzeme transferi Müşteri siparişleri
GÜVENLİK SİSTEMLERİ				
Yangın Güvenliği	Tüm Binalar	- Kum kovaları - Su varilleri - El tipi söndürücüler	Yangın alarm zili Hidrant bağlantıları Acil çıkış işaretleri	Yangın önleme Acil durum müdahalesi Personel tahliye
Elektrik Güvenliği	Laboratuvarlar	- Topraklama sistemi - Yalıtkan paspaslar - Güvenlik bariyerleri	Sigorta kutuları Gerilim ölçerler İzolasyon malzemeleri	Elektrik çarpması önleme Ekipman koruması

KATEGORİ	ALT BİRİM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve FAALİYETLER
				Güvenli çalışma ortamı
İNSAN KAYNAKLARI				
Araştırma Ekibi	Tüm Laboratuvar	- Kişisel çalışma masaları - Deney defterleri - Ölçüm aletleri	Laboratuvar aletleri Test ekipmanları Kişisel koruyucu ekipman	Yeni buluş araştırmaları Deney tasarımı Teknoloji geliştirme
Teknisyenler	Atölyeler	- El aletleri setleri - Makine bakım ekipmanları - Üretim istasyonları	Torna tezgâhı Matkaplar Ölçüm aletleri	Prototip imalatı Ekipman bakımı Üretim süreçleri
Destek Personeli	Ofis ve Depolar	- Dosyalama sistemleri - Yazı masaları - İletişim ekipmanları	Daktilo Telgraf cihazı Kayıt defterleri	İdari işler İletişim yönetimi Kayıt tutma
EĞİTİM ve GELİŞİM				
Usta-Çırak Sistemi	Tüm Laboratuvar	- Çalışma istasyonları - Demonstrasyon alanları - Pratik eğitim köşeleri	Eğitim modülleri Örnek projeler Değerlendirme kriterleri	Pratik beceri eğitimi Teknoloji transferi Yenilikçi düşünce geliştirme
Teknik Toplantılar	Konferans Alanı	- Büyük toplantı masası - Projeksiyon alanı - Tartışma köşeleri	Demonstrasyon ekipmanları Çizim tahtaları	Fikir alışverişi

KATEGORİ	ALT BİRİM	MİMARİ ve FİZİKSEL ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve FAALİYETLER
			Not defterleri	Proje değerlendirmesi Strateji geliştirme



**EK-12 West Orange Laboratuvarları– Mimari ve İşlevsel Özellikler Tablosu
(Millard ve Carlson, 1987; Israel vd., 2004, Cilt.5)**

KATEGORİ	BİNA/ ALAN	MİMARİ ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve KAPASİTE
TOPLAM BİNA SAYISI: 8				
1. ANA ARAŞTIRMA BİNASI (3 Kat)				
Üst Kat	Kimya Laboratuvarları	- 12 adet platin kaplı çeker ocak (1m aralıklı) - Asit dirençli seramik tezgahlar (3cm kalınlık) - Nem kontrol sistemi (%30±5 RH)	Karbonizasyon fırınları (1500°C kapasite) Gaz analiz cihazları (0.1mg hassasiyet) Analitik teraziler (0.001g hassasiyet)	Günlük 20'den fazla filament testi 50'den fazla kimyasal analiz
Orta Kat	Optik Test Odaları	- Siyah kadife kaplı duvarlar ve tavan - Işık sızdırmaz macunlu derzler - Tam karartma sistemli	Modüler test bankaları (100 ampul kapasiteli) Spektrometreler (400-700nm aralık) Otomatik kayıt cihazları	Aynı anda 100 ampul testi 15 dakikalık ölçüm aralıklı
Zemin Kat	Prototip Atölyesi	- Buhar borulu ısıtma (94°C sabit) - Hidrolik asansörler (2 ton kapasite) - Ağır yük vinci (3 ton)	Cam üfleme tezgâhları 10onluk hidrolik presler Buharlı torna tezgâhları	Günlük 50'den fazla prototip üretimi 500'den fazla duy üretim kapasitesi
2. KÜTÜPHANE ve ARŞİV BİNASI (2 Kat)				
Arşiv Katı	Patent Arşivi	- Yangına dayanıklı çelik çekmeceler - Manyetik tutuculu duvar panoları - Klima kontrollü ortam	10,000'den fazla patent dosyası Teknik çizim masalar	Enaz 40 yıllık patent arşivi 5,000'den fazla teknik çizim

KATEGORİ	BİNA/ ALAN	MİMARİ ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve KAPASİTE
			Mikrofilm kayıt cihazları	
Okuma Odası	Araştırma Alanı	- Doğal aydınlatmalı - Ses yalıtımlı - Şömine ısıtılmalı	Elektrik Mühendisliği dergi koleksiyonu Referans kitapları (2,000'den fazla cilt) Çalışma masaları	50 kişi kapasiteli 100'den fazla süreli yayın
3. ENERJİ SANTRALİ (1 Kat)				
Enerji Üretim Merkezi	Güç Sistemleri	- Tuğla örme bacalar (25m yüksek) - Su arıtma sistemi - Kömür depolama bunkerleri (100 ton)	Corliss buhar motorları (150 HP) DC jeneratör bankası (500V) Transformatör istasyonları	1 MW elektrik üretimi 5 binaya buhar dağıtımı
4. PERSONEL SOSYAL BİNASI (2 Kat)				
Yemekhane	Beslenme Alanı	- Özel havalandırma sistemi - Tam teşekküllü mutfak - Deri koltuklu dinlenme alanları	Su sebilleri Yemek pişirme ekipmanları Servis tezgâhları	100 kişi kapasiteli 3 öğün yemek hizmeti
Dinlenme Odaları	Sosyal Alan	- Doğal aydınlatmalı - Rahat koltuklar - Okuma köşeleri	Süreli yayınlar Masa oyunları İçecek tezgâhı	4 ayrı dinlenme salonu 80 kişi kapasite
5. CAM FABRİKASI (1 Kat)				
Cam Üretim Alanı	Üretim Hattı	- Özel ısı yalıtımlı fırınlar	Cam üfleme tezgâhları	Günlük 1,000'den fazla ampul camı

KATEGORİ	BİNA/ ALAN	MİMARİ ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve KAPASİTE
		- Kuvars kumu depolama - Temperleme banyoları	Fırın kontrol sistemleri Kalite kontrol ekipmanları	500'den fazla özel cam üretimi
6. METAL DÖKÜMHANESİ (1 Kat)				
• Metal İşleme	Üretim Alanı	- Ağır yük vinci (5 ton) - Isıya dayanıklı zemin - Havalandırma sistemi	10 tonluk hidrolik presler Metal işleme makineleri Döküm kalıpları	Günlük 2,000'den fazla metal parça 500'den fazla döküm işlemi
7. BLACK MARIA STÜDYOSU (1 Kat)				
Film Çekim Alanı	Prodüksiyon Stüdyosu	- Döner tabanlı yapı Işık geçirmez siyah branda Çatıda açılır kapanır panel	Film projektörleri Yansıtıcı paneller Kamera sistemleri	20 kişi ekip kapasitesi Aynı anda 3 set çekim
8. SERGİ PAVYONU (1 Kat)				
Ürün Sergileme	Müşteri Alanı	- Geniş pencere alanları - Modern vitrin sistemleri - Ziyaretçi bekleme alanları	Ürün sergileme rafları Demonstrasyon masaları Satış ofisi	50'den fazla ürün sergileme 100 ziyaretçi kapasitesi
ALTYAPI SİSTEMLERİ				
Demiryolu Sistemi	Lojistik Altyapı	- 300m Lackawanna Demiryolu yan hattı - Hidrolik kaldırma platformu - Eğimli raylar (5° aç)ı	Dar hatlı vagonlar (5-10 ton kapasite) Döner tabla mekanizması Vinç sistemleri	Günlük 50 ton malzeme 20 vagon hareket kapasitesi

KATEGORİ	BİNA/ ALAN	MİMARİ ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve KAPASİTE
Su Sistemi	Temiz ve Atık Su	- 5 kuyu suyu kaynağı - 10.000 galon depolama - Atık su arıtma tesisi	Pompa istasyonları Filtreleme sistemleri Arıtma havuzları	Günlük 20.000 galon su %90 su geri dönüşüm
Elektrik Şebekesi	Güç Dağıtım	- Yeraltı kablo kanalları - 8 sigorta odası - Topraklama ağı	Transformatörler Anahtarlama panoları Gerilim regülatörleri	5 MW dağıtım kapasitesi 24/7 kesintisiz güç
GÜVENLİK SİSTEMLERİ				
Yangın Güvenliği	Önleme Sistemleri	- 20 hidrant noktası - 50 yangın söndürücü - Acil çıkış sistemleri	Yangın alarm zili Duman dedektörleri Acil aydınlatma	5 dakika müdahale süresi 8 acil çıkış yolu
Kimyasal Güvenlik	Tehlikeli Madde	- Asit nötralizasyon havuzları - Havalandırılmalı depolama - Özel drenaj sistemi	pH ölçüm cihazları Nötralizasyon kitleri Acil durum duşları	100'den fazla kimyasal madde güvenliği 24 saat izleme
İNSAN KAYNAKLARI				
Araştırma Ekibi	Kaşifler	- 20 kişi kapasite - Kişisel çalışma masalar - Teknik kütüphane erişimi	Ölçüm aletleri setleri Deney düzeneği bileşenleri Kişisel koruyucu ekipman	Yılda 40'tan fazla patent 100'den fazla deney projesi
Teknisyenler	Üretim Ekibi	- 40 kişi kapasite - Atölye çalışma istasyonları	El aletleri setleri	Günlük 2.000'den fazla parça üretimi

KATEGORİ	BİNA/ ALAN	MİMARİ ÖZELLİKLER	TEKNİK DONANIM	İŞLEV ve KAPASİTE
		- Toplu eğitim alanları	Makine bakım ekipmanları Üretim metrikleri panoları	500'den fazla ampul montajı



EK-13 Temel ilke ve ölçütler listesi

OPTİK/AYDINLATMA LABORATUVARLARI DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	
A	Laboratuvar Profili ve Çalışma Alanı
	A.1. Laboratuvarın ana faaliyet alan(lar)ı
☐	Aydınlatma Teknolojileri (İç Mekân / Dış Mekân / Araç Aydınlatma)
☐	Optik Bileşen Üretimi
☐	LED ve OLED Sistemleri
☐	Spektrofotometrik ve / veya Fotometrik Laboratuvarı
☐	Mikrooptik Sistemler
☐	Lazer Laboratuvarı
☐	Ar- Ge Laboratuvarı
☐	Eğitim Amaçlı Aydınlatma Laboratuvarı
☐	Aydınlatma Tasarım Laboratuvarı
☐	Diğer :
	A.2. Laboratuvarın sahip olduğu akreditasyon ve sertifikalar
☐	ISO/IEC 17025
☐	TÜRKAK Akreditasyonu
☐	CIE Standartlarına Uygunluk
☐	ILAC MRA
☐	Ana Fımanın Akreditasyon ve/ veya Sertifikasyonları :
☐	Çözüm Ortağı Fımanın Akreditasyon ve/ veya Sertifikasyonları :
☐	Diğer :
	A.3. Laboratuvarın işbirlikçileri ve sektörel ortaklıkları
☐	Üniversiteler
☐	Kamu Kurumları
☐	Özel Sektör
☐	Uluslararası Kuruluşlar
☐	Diğer :
B	Laboratuvar Niteliği
	B.1. Laboratuvarın en güçlü yönleri
☐	Teknik donanım ve ölçüm sistemleri
☐	Ar-Ge çalışmaları ve inovasyon kapasitesi
☐	Uluslararası kurum ve kuruluşlarla işbirlikleri
☐	Uluslararası standartlara uyum
☐	Akademi ve sanayi işbirlikleri
☐	Diğer :
	B.2. Laboratuvarın en fazla geliştirilmesi gereken alanları hangileridir?
☐	Fiziksel altyapı ve laboratuvar genişletme ihtiyacı
☐	Teknik donanım ve ölçüm sistemleri
☐	Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik uygulamaları
☐	Ar-Ge çalışmaları ve inovasyon kapasitesi
☐	Personel eğitimi ve sertifikasyon süreçleri
☐	Standardizasyon ve / veya akreditasyon süreçleri
☐	Diğer :

OPTİK/AYDINLATMA LABORATUVARLARI DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

1 Fiziksel Ölçütler

✓ 1.1. Laboratuvar Alanı ve Yapısal Özellikler

- ☐ Laboratuvarın krokisi mevcuttur.
- ☐ Karanlık oda mevcuttur. İşlev(ler) için:
- ☐ Yankısız oda mevcuttur. İşlev(ler) için:
- ☐ Temiz oda mevcuttur.
- ☐ Temiz oda uluslararası standartlara uygundur.
- ☐ Temiz oda uluslararası standartları mevcuttur. : FS209E / ISO 14644-1 (2- 3- 4- 5) / Diğer:
- ☐ Gün ışığı ile çalışan ölçüm alanları mevcuttur.
- ☐ Laboratuvar uluslararası / ulusal standart belgesine sahiptir. : ISO/IEC 17025 / Diğer:

Laboratuvar alanı Esneklik ve Modülerite

- ☐ Genişletilebilir.
- ☐ Kısmen, belirli bölümleri genişletilebilir.
- ☐ Genişletilemez, sabit bir yapıdadır.
- ☐ Laboratuvar ve bölümlerine erişilebilir.

✓ 1.2. Laboratuvarın İşlevsel Alanları

Kullanıcının, laboratuvarın dışında ekstra mekânlara duyduğu ihtiyaç

- ☐ Yok
- ☐ Ofis alanı
- ☐ Toplantı alanı
- ☐ Mutfak
- ☐ Dinlenme alanı
- ☐ Soyunma alanı
- ☐ Diğer :

Laboratuvarın gün ışığına, özel karartılmış veya özel aydınlatılmış mekânlara duyduğu ihtiyaç

- ☐ Yok
- ☐ Personel için gün ışığı ile aydınlatılan çalışma alanları
- ☐ Karanlık odadan aydınlık alanlara geçiş için özel aydınlatılmış ara alan
- ☐ İşlevine özel aydınlatılmış alanlar :
- ☐ Diğer :

✓ 1.3. Özel Altyapı Gereksinimleri

- ☐ Elektrik ve güç altyapısı
- ☐ Su
- ☐ Gaz
- ☐ Havalandırma
- ☐ Isıtma
- ☐ İklimlendirme (Sıcaklık/Nem kontrolü)
- ☐ Hepa filtre
- ☐ UPS (Kesintisiz Güç Kaynağı)
- ☐ Anti-statik zemin kaplaması
- ☐ Ses yalıtımı
- ☐ Titreşim yalıtımı
- ☐ Manyetik alan yalıtımı
- ☐ IoT (Nesnelerin İnterneti) altyapısı
- ☐ Dijital dönüşüm ve entegrasyon
- ☐ Siber güvenlik altyapısı
- ☐ Yazılım ve uygulama altyapısı
- ☐ Veri iletişim ve ağ altyapısı
- ☐ Fiziksel (yetkisiz erişim) güvenlik altyapısı
- ☐ Diğer :

OPTİK/AYDINLATMA LABORATUVARLARI DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

2 Çevresel Ölçütler

✓ 2.1. İç Mekân Aydınlatma Koşulları

- ☐ Aydınlatma laboratuvarına özel aydınlatma tasarımı yapılmıştır.
- ☐ Aydınlatma laboratuvarı aydınlatması uluslararası standartlara uygun :
- ☐ Çalışma alanlarında işleve göre aydınlatma sağlanmıştır.
- ☐ Çalışma alanlarının aydınlatmasında uluslararası standartlar sağlanmış :
- ☐ İşleve göre aydınlatma sağlanan alanlar vardır. :
- ☐ Aydınlatma teknolojileri kullanılmıştır (LED, OLED, Lazer vb.). :

✓ 2.2. Hava Kalitesi ve Havalandırma

- ☐ ISO 14001, ISO / IEC 17020, TS EN 1751 ve WHO sürdürülebilirlik kriterlerine uygundur.
- ☐ Hava değişim oranı (ACH) yeterlidir.
- ☐ Partikül filtreleme (Hepa Filtre) sistemleri mevcuttur.
- ☐ HVAC (ısıtma, havalandırma, klima) sistemleri mevcuttur.
- ☐ Sürdürülebilir enerji kullanımı sağlanmaktadır. Yapılanlar:

✓ 2.3. Akustik & Ses Yalıtımı

- ☐ Ses seviyesi hassas ölçümlere zarar vermeyecek şekilde optimize edilmiştir.
- ☐ Ses yalıtımı yönetmeliklere uygundur.
- ☐ Laboratuvar içi ses yalıtımı mevcuttur.
- ☐ Dışarıdan gelen seslerin kontrolü yapılmıştır.
- ☐ Ses yalıtım malzemeleri kullanılmıştır.
- ☐ Elektriksel gürültü filtreleme mevcuttur.
- ☐ Akustik ve ses yalıtımı konusunda standart belgesi mevcuttur. : ISO 3741 / ISO 717 / TS 901 / DIN 4109 / Diğer :

✓ 2.4. Titreşim ve Manyetik Alan Etkisi

- ☐ Titreşim Kaynaklarının tespiti ve gerekli izolasyon yapılmıştır.
- ☐ Titreşim izolasyonlu zemin ve masalar mevcuttur.
- ☐ Pasif ve aktif titreşim izolasyon sistemleri mevcuttur.
- ☐ Manyetik alan kaynakları tespit edilmiş ve uzaklaştırılmıştır.
- ☐ Manyetik kalkanlama mevcuttur.
- ☐ Manyetik alan kaynakları tespit edilmiş ve uzaklaştırılmıştır.
- ☐ Kombi titreşim ve manyetik alan kontrolü sağlanmıştır.
- ☐ Ölçüm ve testler düzenli olarak yapılmaktadır.
- ☐ Yer seçimi ve bina tasarımı ihtiyaca uygun yapılmıştır.
- ☐ Manyetik alan yalıtımı uluslararası standartlara uygundur. : IEC 61000 Serisi / ISO 11452-8 / ASTM A753 / Diğer :
- ☐ Titreşim yalıtımı uluslararası standartlara uygundur. : ISO 18436 / ISO/IEC 17025 / Diğer :

3 Güvenlik Ölçütleri

- ☐ Laboratuvar uluslararası / ulusal güvenlik standart belgesine sahiptir. :ISO 45001 / Diğer:.....

✓ 3.1. Fotobiyolojik Güvenlik

- ☐ Işık kaynakları konusunda fotobiyolojik güvenlik sağlanmıştır.
- ☐ Göz güvenliği sağlanmıştır.
- ☐ Cilt güvenliği sağlanmıştır.
- ☐ Ekipman ve sistem güvenliği sağlanmıştır.
- ☐ Ortam güvenliği sağlanmıştır.
- ☐ Acil durum planları mevcuttur.
- ☐ LED ve diğer ışık kaynaklarının güvenlik standartlarına sahiptir. : IEC 62471 / Diğer:.....
- ☐ Lazer güvenlik standartlarına sahiptir. : ISO 11252 / ISO 11553 / IEC 60825-1 / Diğer:.....
- ☐ Güvenlik kayıtları tutulmaktadır.

OPTİK/AYDINLATMA LABORATUVARLARI DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

✓ 3.2. Yangın & Acil Durum Prosedürleri

- ☐ Yangın önleme ve güvenlik önlemleri alınmıştır.
- ☐ Acil durum planları mevcuttur.
- ☐ Elektrik kesintisi ve diğer acil durum planları mevcuttur.
- ☐ Acil durum ekipmanları mevcuttur.
- ☐ Düzenli eğitim, denetim ve iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.
- ☐ Güvenlik kayıtları tutulmaktadır.

✓ 3.4. Veri Güvenliği & Gizliliği

- ☐ Yasal düzenlemelere uyumludur. : GDPR / KVKK / ISO/IEC 27001 / NIST Güvenlik Rehberi / Diğer
- ☐ Veri güvenliği önlemleri alınmıştır. : Şifreleme / Erişim / Yedekleme / Ağ Güvenliği / Siber Güvenlik Yazılımı / Diğer
- ☐ Fiziksel güvenlik önlemleri alınmıştır.
- ☐ Veri işleme ve depolama güvenliği sağlanmıştır.
- ☐ Veri gizliliği konusunda önlemler alınmıştır.
- ☐ Olağanüstü durum planları mevcuttur.
- ☐ Veri denetim ve izleme prosedürleri mevcuttur.
- ☐ Veri güvenliğinde üçüncü taraf güvenliği sağlanmıştır.
- ☐ Güvenlik kayıtları tutulmaktadır.

4 Makine & Ekipman Ölçütleri

✓ 4.1. Aydınlatma Laboratuvarında Bulunan Cihazlar

- ☐ Fotometre (Işık Ölçer)
- ☐ Spektrofotometre
- ☐ Renk Ölçer (Kolorimetre)
- ☐ Gonyofotometre
- ☐ Entegre Küre (Integrating Sphere)
- ☐ Osiloskop
- ☐ Güç Analizörü
- ☐ UV ve IR Ölçüm Cihazları
- ☐ Fotobiyolojik Güvenlik Test Cihazları
- ☐ Lazer Güç Ölçer
- ☐ Termal Görüntüleme Sistemleri
- ☐ Optik Mikroskoplar
- ☐ Radyometrik Ölçüm Sistemleri
- ☐ Fotodedektörler ve Sensörler
- ☐ Kalibrasyon Cihazları
- ☐ Diğer

✓ 4.2. Kalibrasyon ve İzlenebilirlik

- ☐ Kalibrasyon yönetimi yapılmaktadır. : Laboratuvar bünyesinde ve/ya yetkili firma
- ☐ Referans standartları : TÜBİTAK UME / ISO IEC 17025 / ISO 10012 / CIE ... / Diğeri
- ☐ Kalibrasyon yönetim standartları : TÜBİTAK UME / ISO IEC 17025 / ISO 10012 / CIE ... / Diğeri

5 İnsan Kaynakları Ölçütleri

✓ 5.1. Eğitim & Sertifikasyon

- ☐ Eğitim ve deneyim
- ☐ Teknik yetkinlik
- ☐ Yazılım ve donanım bilgisi
- ☐ Eğitim Programları
- ☐ Sertifikasyon : ISO IEC 17025 / ISO 9001 / ISO 14001 / Diğer
- ☐ Ekip yönetimi ve iş bölümü

✓ 5.2. Çalışma Koşulları & İş Güvenliği

- ☐ Güvenlik prosedürleri mevcuttur.
- ☐ Acil durum eğitimleri planlıdır.
- ☐ Çalışan alanları ergonomik planlanmıştır.
- ☐ Eğitim ve güvenlik kayıtları tutulmaktadır.

OPTİK/AYDINLATMA LABORATUVARLARI DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

6 İşletmeye Dair Ölçütler

✓ 6.1. Kalite Yönetimi

- ☐ Laboratuvarın kalite yönetim sistemi mevcuttur.
- ☐ Laboratuvarın standart belgeleri mevcuttur. : ISO IEC 17025/ISO 9001/ISO 17034/ISO 45001/ISO 50001/Diğer
- ☐ Laboratuvarın akreditasyonu mevcuttur. : EA/ IAAC/ ILAC/ IAF/ TÜRKAK/ Diğer

✓ 6.2. Veri Yönetimi & Arşivleme

- ☐ Veri yönetimi mevcuttur.
- ☐ Veri depolama ve arşivleme yönetimi mevcuttur.
- ☐ Veri Güvenliği yönetimi mevcuttur.
- ☐ Veri yedekleme ve kurtarma yönetimi mevcuttur.
- ☐ Uluslararası standart belgesi mevcuttur. : ISO IEC 27001 / ISO IEC 27040 / ISO 16175 / Diğer:

7 Sürdürülebilirlik & Geri Dönüşüm Ölçütleri

- ☐ Laboratuvar AB Yeşil Mutabakatına (EU Green Deal) uyumludur.

✓ 7.1. Enerji Verimliliği

- ☐ Enerji tüketimi azaltılmaktadır.
- ☐ Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır.
- ☐ Enerji yönetim standart belgesi mevcuttur. : ISO 50001 / ISO 14001 / Diğer:

✓ 7.2. Su Kullanımı ve Yönetimi

- ☐ Su tasarrufu yapılmaktadır.
- ☐ Atık su yönetimi yapılmaktadır.
- ☐ Su yönetim standart belgesi mevcuttur. : ISO 50001 / ISO 14001 / Diğer:

✓ 7.3. Atık Yönetimi

- ☐ Atık yönetimi mevcuttur. : Laboratuvar Bünyesinde / Yetkili Firma
- ☐ Atık ayrıştırma sistemi mevcuttur.
- ☐ Elektronik atık sistemi mevcuttur.
- ☐ Geri dönüşüm sistemi mevcuttur.
- ☐ Atık yönetim standart belgesi mevcuttur. : ISO 50001 / ISO 14001 / Diğer:

✓ 7.4. Sürdürülebilir Tasarım ve İnşaat

- ☐ Yeşil Bina sertifikasyonu mevcuttur. : LEED/ WELL/ BREEAM/ Diğer:
- ☐ Enerji verimli laboratuvar tasarımı mevcuttur.
- ☐ Elektronik atık sistemi mevcuttur.
- ☐ Geri dönüşüm sistemi mevcuttur.
- ☐ Laboratuvarın sürdürülebilirliği konusunda standartlar uyumludur : ISO 50001 / ISO 14001 / Diğer:

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-5430-1867

Ad Soyad : Ferhan KIZILTEPE

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 1989 - 1993, Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Lisans
- 1992 - 1993, Anadolu Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Eğitim Bilimleri Bölümü, Eğitim Programları ve Öğretim PR.
- 2008 – 2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat ve Tasarım Yüksek Lisansı (Tezli)
- 2009- 2010, Kassel Üniversitesi, Kunsthochshulle, Tasarım Önlisansı

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

Makaleler

- Kızıltepe, F. (2010). An overall Approach to Frank O. Gehry's Architecture from a Symmetry Perspective. *Symmetry: Art and Science*, 1 (4), 134- 137.
- Kızıltepe, F. (2010). Analyzing the Plane Symmetry of Ottoman Tiles as an Architectural Element between the 15th and 16th Century. *Symmetry: Culture and Science*, 21 (4), 413- 432.
- Kızıltepe, F. (2007). Plane Transformations on the Ottoman Tiles. *Symmetry: Art and Science*, 9(1), 270- 273.
- Kızıltepe, F. (2007). Transformations of Sculptures. *Symmetry: Art and Science*, 9(1), 274- 275.
- Kızıltepe, F. (2004). Science and art? Which one will save the world?. *Symmetry: Art and Science*, 1(7), 114- 117.
- Kızıltepe, F. (2003). Science and art? Which one will save the world?. *Symmetry: Art and Science*, 2(14- 15), 753- 758.

Uluslararası Toplantılarda Sunulan Tam Metin Bildiriler

- Kızıltepe, F. (2020). A Short Essay on the Meaning of Differentiation in Design. *GA2020, The 23th Generative Art Conference*, e-konferans, İtalya. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://generativeart.com/reserved_to_participants/11_ferhan.pdf
- Aslan, Ş. ve Kızıltepe, F. (2018). The Senses in Basic Design Education. *GA2018, The 21st Generative Art Conference*, Verona- İtalya. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://generativeart.com/GA2018_papers/GA2018_SahaASLAN.pdf
- Kızıltepe, F. ve Kızıltepe, A. (2018). A Brief Essay on Semantical Analysis of the Space Time and Speed in Drawing and painting. *GA2018, The 21st Generative Art Conference*, Verona- İtalya. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://generativeart.com/GA2018_papers/GA2018_Ferhan%20KIZILTEPE.pdf
- Kızıltepe, F. (2015). A Short Essay onto Zaha Hadid's Architecture from a Different Perspective. *GA2015, The 18th Generative Art Conference*, Venedik-İtalya. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.generativeart.com/ga2015_WEB/zahahadid_Kiziltepe.pdf
- Kızıltepe, F. (2012). A Brief Essay onto Joel- Peter Witkin from Symmetry Perspective. *GA2012, The 15th Generative Art Conference*, Lucca- İtalya. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://generativeart.com/GA2012/ferhan.pdf
- Kızıltepe, F. (2011). A Brief Review of Frank O. Gehry and the Nationale-Nederlanden Building. *International Coimbra Conference of Bridges: Matematical Connections in Art, Music and Science* içinde (551- 554). Maryland- USA.
- Kızıltepe, F. (2011). Review of Cinema Film from the Perspective of Symmetry: The Pillow Book- Nederlanden Building. *International Pecs Conference of Bridges: Matematical Connections in Art, Music and Science* içinde (439- 442). Maryland- USA

Yazılan Ulusal ve Uluslararası Kitap Bölümleri

- Kızıltepe, F. (2023). Restoranlarda Anlam- Kavram ile Görsellik İlişkisi. P. Şenel (Editor), Restoran Tasarımı içinde (s. 2- 28). Ankara: Detay Yayıncılık.
- Aslan, Ş ve Kızıltepe, F. (2020). *Bauhaus Ekolün'nün Değişen Paradigmaları: Tasarım Eğitimi Yeniden Düşünmek*. A Derin İnan ve A. Cengizhan (Editörler), Bauhaus_100+TR içinde (s. 300-319). Ankara: TED Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
- Kızıltepe, F. (2014). From 2D to 3D Paper Sculptures ve From New Surfaces to New Volumes adlı bölümler. K. Fenyvesi, I.O. Téglási ve I.P. Szilágyi (Editörler), Adventures On Paper içinde (s. 177- 190). EU- Eğitim Vakfı. Eger: Eszterházy Károly College.
- Kızıltepe, F. (2014). Две вежбе о димензијама ве површима и запреминама у математици adlı bölümler. K. Fenyvesi, I.O. Téglási ve I.P. Szilágyi (Editörler), АВАНТУРЕ НА ПАПИРУ içinde (s. 177- 190). EU- Eğitim Vakfı. Eger: Eszterházy Károly College.
- Kızıltepe, F. (2012). A Short Essay on Ottoman Ceramics Art and Symmetry. S. Jablan, J. Barolli, A. Kling, K. Fenyvesi, I.O. Téglási ve I.P. Szilágyi (Editörler), Experience- centered Approach and Visuality In The Education of Mathematics and Physics içinde. Kaposvar: Kaposvar Üniversitesi Yayını.