



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MAKETLERİNDE AYDINLATMA DÖNÜŞÜMÜ FAYDA
MALİYET ANALİZİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜBRA TÜRKERİ

AĞUSTOS

KÜBRA TÜRKERİ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ
ANABİLİM DALI**

AĞUSTOS 2025

**GIDA MAKETLERİNDE AYDINLATMA DÖNÜŞÜMÜ FAYDA MALİYET
ANALİZİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

Kübra TÜRKERİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Berkan ZÖHRA

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2025

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Kübra TÜRKERİ tarafından hazırlanan “Gıda Maketlerinde Aydınlatma Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi: İstanbul Örneği” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Berkan ZÖHRA

Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. Ünal KURT

Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Mustafa EKER

Elektrik Makineleri Anabilim Dalı, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 08/08/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kübra TÜRKERİ

08/08/2025

GIDA MAKETLERİNDE AYDINLATMA DÖNÜŞÜMÜ FAYDA MALİYET
ANALİZİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Kübra TÜRKERİ

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ağustos 2025

ÖZET

Bu çalışma, İstanbul'da faaliyet gösteren 53 gıda marketinden toplanan saha verilerine dayanarak, LED aydınlatma dönüşüm projelerinin teknik, ekonomik ve aydınlatma kalitesi yönünden kapsamlı bir fizibilite analizini sunmaktadır. Araştırma metodolojisi, dönüşüm öncesi ve sonrası enerji tüketimi (kWh), aydınlık seviyeleri (lx) ve yatırım maliyetlerinin karşılaştırmalı analizini içermektedir. Dönüşüm çalışmaları, birincil hedeflerine göre ‘Tasarruf Amaçlı’ ve ‘Konfor Amaçlı’ olarak iki ana gruba ayrılarak, yatırımın geri ödeme süresi ile aydınlatma kalitesindeki kazanç arasındaki ilişki incelenmiştir.

Analiz sonuçları, çalışma genelinde aydınlatma kaynaklı enerji tüketiminde ortalama %37,4'lük bir tasarruf sağlandığını göstermektedir. Enerji verimliliğine ek olarak, ortalama aydınlık seviyeleri 513 lx'ten 1.232 lx'e yükselerek, görsel konforda %193'lük bir artış elde edilmiştir. Fayda-maliyet analizi, dönüşümün amacına göre belirgin farklılıklar ortaya koymaktadır: ‘Tasarruf Amaçlı’ olarak sınıflandırılan 38 marketin ortalama geri ödeme süresi 28,3 ay gibi oldukça verimli bir seviyede iken, ‘Konfor Amaçlı’ 15 markette bu süre 60 ayın üzerine çıkmaktadır. Bu ikinci grupta, aydınlatma kazancı %309'a ulaşarak, dönüşüm sürecinde önceliğinin finansal geri dönüşten ziyade aydınlatma kalitesinin iyileştirilmesi olduğu doğrulanmıştır.

Sonuç olarak bu araştırma, gıda marketlerinde LED aydınlatma dönüşümünün, işletmenin stratejik önceliklerine (hızlı geri dönüş veya artırılmış müşteri deneyimi) göre şekillendirilebilen, hem ekonomik olarak fizibil hem de teknik olarak başarılı bir yatırım olduğunu saha verileriyle ortaya koymaktadır.

Sayfa Adedi	: 80
Anahtar Kelimeler	: Enerji verimliliği, Fayda-maliyet analizi, LED aydınlatma, Gıda perakendeciliği, Amortisman süresi
Danışman	: Dr. Öğr. Üyesi Berkan ZÖHRA

LIGHTING RETROFIT IN ISTANBUL'S FOOD MARKETS: ENERGY EFFICIENCY AND ILLUMINANCE OPTIMIZATION

(M. Sc. Thesis)

Kübra TÜRKERİ

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2025

ABSTRACT

This study presents a comprehensive feasibility analysis of LED lighting retrofit projects, examining their technical, economic, and lighting quality aspects based on empirical data collected from 53 grocery stores in Istanbul. The research methodology involves a comparative analysis of pre- and post-retrofit data on energy consumption (kWh), illuminance levels (lx), and investment costs. A key aspect of the analysis is the classification of projects into two primary categories—‘Savings-Oriented’ and ‘Comfort-Oriented’—to investigate the relationship between the investment payback period and the gains in lighting quality.

The results of the analysis indicate that the transition to LED technology yielded an average net saving of 37.4% in lighting-related energy consumption. In addition to energy efficiency, a significant improvement in visual comfort was achieved, with average illuminance levels increasing from 513 lx to 1,232 lx, representing an overall illuminance gain of 193%. The cost-benefit analysis reveals distinct outcomes based on the primary objective of the retrofit: the 38 projects classified as ‘Savings-Oriented’ achieved a highly efficient average payback period of 28.3 months, whereas the 15 ‘Comfort-Oriented’ projects had payback periods exceeding 60 months. This latter finding is substantiated by an exceptional illuminance gain of 309% in this group, confirming that the priority was the enhancement of lighting quality over a rapid financial return.

Ultimately, this research empirically demonstrates that LED lighting retrofits in the grocery retail sector represent a financially feasible and technically successful investment that can be tailored to align with distinct strategic priorities, whether a rapid return on investment or an enhanced customer experience.

Number of pages : 80

Keywords : Energy efficiency, Cost-benefit analysis, LED lighting, Grocery retail,
Payback period

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Berkan ZÖHRA

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, İstanbul’da faaliyet gösteren 53 farklı gıda marketinde uygulanan LED aydınlatma dönüşüm projelerini; teknik, ekonomik ve görsel konfor açısından değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmanın temel amacı, LED tabanlı modern aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimi üzerindeki etkisini sayısal verilerle ortaya koymak, yatırımın geri ödeme süresini analiz etmek ve dönüşümün mağaza içi aydınlık düzeyine olan katkılarını somut verilerle değerlendirmektir.

Saha çalışmalarında elde edilen veriler, dönüşüm projelerinin yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda aydınlatma kalitesinde önemli iyileştirmeler sunduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada yer alan marketler, yatırım önceliklerine göre “Tasarruf Amaçlı” ve “Konfor Amaçlı” olarak iki grupta incelenmiş; bu farklı yaklaşımların yatırımın geri ödeme süresi ve aydınlık artış oranları üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Bu araştırma süreci, yalnızca teknik ve ekonomik bir analiz değil; aynı zamanda enerji verimliliği kavramının saha uygulamaları ile ne kadar somut ve sürdürülebilir bir dönüşüm aracı olabileceğini de gözler önüne sermektedir. Araştırmanın gıda perakende sektöründe faaliyet gösteren işletmeler başta olmak üzere, enerji yönetimi alanında çalışan teknik uzmanlar, karar vericiler ve akademisyenler için yol gösterici nitelikte olacağına inanıyorum.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bilgi ve deneyimiyle yolumu aydınlatan, her aşamada yapıcı yönlendirmeleriyle katkı sunan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Berkan ZÖHRA’ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma sürecinde iş birliğini esirgemeyen ve saha çalışmaları kapsamında armatür dönüşüm uygulamalarını yerinde inceleme olanağı sağlayan Seyyah Kardeşler Elektrik A.Ş. teknik ekiplerine ve yöneticilerine teşekkür ederim. Lüks ölçümleri ve teknik verilerin toplanmasında yardımcı olan saha personeline ve veri analizi konusunda katkı sağlayan çalışma arkadaşlarıma da minnettarım.

Çalışma süresince desteğini esirgemeyen sevgili eşim M. Kürşad TÜRKERİ’ye ve aileme teşekkür ederim. Bu çalışma, yalnızca bir akademik gereklilikten ibaret olmayıp, ülkemizde enerji verimliliği kültürünün yaygınlaştırılması adına atılmış bilinçli bir adım olmayı da amaçlamaktadır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Amacı.....	4
1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları.....	5
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI	9
2.1. Aydınlatma ve Temel Kavramlar.....	10
2.1.1. Işık, lümen, lüks ve renk sıcaklığı	10
2.1.2. Aydınlatma teknolojileri.....	13
2.2. Gıda Marketlerinde Aydınlatmanın Önemi	18
2.2.1. Müşteri deneyimi ve satışa etkisi.....	18
2.2.2. Ürünlerin sergilenmesi ve görsel kalite	20
2.2.3. Çalışan performansı ve güvenliği	22
2.3. Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik.....	24
2.3.1. Aydınlatmada enerji tüketimi	24
2.3.2. LED Teknolojisinin enerji verimliliğine katkısı.....	26
2.3.3. Aydınlatmada sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler	27
2.3.4. Ulusal ve uluslararası standartlar ve yönetmelikler.....	29
2.4. Aydınlatma Standartlarına Göre Kullanım Ömrünün Belirlenmesi	33
2.5. Fayda-Maliyet Analizi	35
2.5.1. FMA'nın tanımı ve temel ilkeleri	35
2.5.2. FMA'da kullanılan başlıca yöntemler ve göstergeler.....	38
2.6. Aydınlatma Dönüşüm Projeleri Üzerine Yapılmış Önceki Çalışmalar	40
2.6.1. Kamu sektöründe aydınlatma dönüşüm projeleri	41
2.6.2. Ulaşım sektöründe aydınlatma dönüşüm projeleri	42
2.6.3. Endüstriyel tesislerde aydınlatma dönüşüm projeleri.....	43

	Sayfa
2.6.4. Ticari binalar ve perakende sektöründe aydınlatma dönüşüm projeleri.....	43
2.6.5. Önceki çalışmalardan çıkarımlar ve araştırma boşluğu.....	44
3. MATERYAL VE METOT.....	46
3.1. Araştırma Probleminin Tanımlanması ve Analiz Çerçevesinin Oluşturulması.....	46
3.2. Araştırma Evreninin ve Örneklemin Belirlenmesi	47
3.3. Veri Toplama Metodolojisi ve Araçları.....	48
3.3.1. Enerji tüketim verilerinin elde edilmesi: IoT tabanlı izleme altyapısı	48
3.3.2. Aydınlik seviyesi (lx) ölçümleri	50
3.3.3. Finansal verilerin temin edilmesi	50
3.4. Verilerin Analizi ve Fayda-Maliyet Metodolojisi.....	50
3.4.1. Enerji tüketimi ve tasarruf analizi	51
3.4.2. Fayda-Maliyet analizi ve amortisman süresi	52
4. BULGULAR.....	53
4.1. İncelenen Gıda Marketlerinin Genel Özellikleri.....	53
4.2. Dönüşüm Öncesi Aydınlatma Sistemlerinin Durumu	54
4.2.1. Mevcut enerji tüketimleri	54
4.2.2. Mevcut aydınlık seviyeleri	55
4.3. Dönüşüm Sonrası Teknik Değerlendirme.....	57
4.3.1. Yeni armatür tipleri, teknik özellikleri ve uygulama dağılımı	57
4.3.2. Dönüşüm sonrası enerji tüketimleri ve elde edilen verimlilik.....	59
4.4. Finansal Analiz ve Modelleme	60
4.4.1. Finansal modelleme için gerekli tahminlerin oluşturulması.....	60
4.4.2. Toplam yatırım maliyetinin belirlenmesi ve analizi.....	61
4.4.3. Dönüşüm amacına göre karşılaştırmalı fayda-maliyet analizi	62
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
5.1. Sonuçlar	66
5.2. Öneriler	67
EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2. 1. Kavramsal ve uygulamalı farklılıklar.....	12
Çizelge 2. 2. Ana ışık renkleri ve özellikleri.....	12
Çizelge 2. 3. İnsan odaklı aydınlatmanın özellikleri.....	16
Çizelge 2. 4. Işık yoğunluğu ve melatonin üretim ilişkisi.....	16
Çizelge 2. 5. Ampul teknolojilerinin karşılaştırılması.....	17
Çizelge 4. 1. Dönüşüm Amacına Göre Karşılaştırmalı Finansal ve Teknik Sonuçlar....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1. Türkiye'nin enerjide ithalata bağımlılığı grafiği.....	2
Şekil 2. 1. Renk sıcaklık skalası.....	13
Şekil 2. 2. Li-Fi teknolojisi çalışma şekli (Aydınlatma portalı, b.t).....	15
Şekil 3. 1. IoT tabanlı enerji verisi toplama sistem mimarisi.....	49
Şekil 3. 2. Projede Kullanılan GA4131 Ray Tipi Güç Analizörü.....	49
Şekil 4. 1. Çalışma kapsamındaki marketlerde kullanılan mevcut armatür tiplerinin yaygınlık dağılımı.....	53
Şekil 4. 2. Ana armatür tipine göre ortalama aylık maliyet.....	55
Şekil 4. 3. 53 Mağazanın dönüşüm öncesi ortalama aydınlık seviyelerinin dağılım histogramı.....	56
Şekil 4. 4. Proje genelinde kullanılan yeni armatür tiplerinin dağılımı.....	57
Şekil 4. 5. 40W lineer armatür kullanılan mağazalarda montajı yapılan armatür adedi dağılımı.....	58
Şekil 4. 6. 33W lineer armatür kullanılan mağazalarda montajı yapılan armatür adedi dağılımı.....	58
Şekil 4. 7. Gerçekleşen ve öngörülen aylık ortalama elektrik tarife bedeli (kWh/TL).....	61
Şekil 4. 8. Gerçekleşen ve Öngörülen Aylık Ortalama Dolar Kuru (USD/TRY)...	61
Şekil 4. 9. Proje Toplam Yatırım Maliyetinin Bileşenlere Göre Dağılımı.....	62
Şekil 4. 10. Dönüşüm Amacına Göre Mağaza Dağılımı.....	63
Şekil 4. 11. Tasarruf amaçlı dönüşümün finansal ve teknik performans analizi: a) amortisman süresi (ay), b) yatırım maliyeti (tl), c) aydınlatma performans karşılaştırması (lx), d) aydınlatma kazancı (%).....	64
Şekil 4. 12. Konfor Amaçlı dönüşümün teknik performans analizi: a) aydınlatma performans karşılaştırması (lx), b) aydınlatma kazancı (%).....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler	Açıklama
A	Alan
B_t	t yıldaki fayda
C_t	t yıldaki işletme maliyeti
CRI	Renksel geriverim indeksi
E	Aydınlık şiddeti
I_0	Başlangıç yatırım maliyeti
K	Kelvin
kWh	Kilowatt-saat
lm	Lümen
$lx0$	Lüks
m^2	Metrekare
MWh	Megawatt-saat
n	Proje ömrü
NPV	Net bugünkü değer
P	Güç
r	İskonto oranı
t	Yıl
TEP	Ton eşdeğeri petrol
TL	Türk Lirası
W	Watt

ϕ	Işık akısı
η	Aydınlatma verimliliği
%	Yüzde
Σ	Toplam sembolü
°C	Santigrat derece
<i>TL</i>	Türk Lirası
<i>CRI</i>	Renksel geriverim indeksi
<i>NPV</i>	Net bugünkü değer
<i>TEP</i>	Ton eşdeğeri petrol

Kısaltmalar	Açıklama
<i>AB</i>	Avrupa Birliği
<i>ABD</i>	Amerika Birleşik Devletleri
<i>AR/VR</i>	Artırılmış gerçeklik / sanal gerçeklik
<i>BEP</i>	Binalarda enerji performansı
<i>BREEAM</i>	Bina araştırma kurumu çevre değerlendirme metodu
<i>CCT</i>	İlişkili renk sıcaklığı
<i>CFL</i>	Kompakt floresan lamba
<i>CIE</i>	Uluslararası aydınlatma komisyonu
<i>CO₂</i>	Karbondioksit
<i>DOE</i>	Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı
<i>ELDER</i>	Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği
<i>EMO</i>	Elektrik Mühendisleri Odası
<i>ETKB</i>	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<i>FMA</i>	Fayda-maliyet analizi
<i>HID</i>	Yüksek yoğunluklu deşarj
<i>HVAC</i>	Isıtma, havalandırma ve klima
<i>IEA</i>	Uluslararası Enerji Ajansı
<i>IESNA</i>	Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Derneği
<i>IoT</i>	Nesnelerin interneti
<i>IPCC</i>	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
<i>IRR</i>	İç verim oranı
<i>ISO</i>	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
<i>LED</i>	Işık yayan diyot
<i>LEED</i>	Enerji ve çevresel tasarımda liderlik

<i>Li – Fi</i>	İşık tabanlı bağlantı
<i>NBD</i>	Net bugünkü değer
<i>OLED</i>	Organik ışık yayan diyot
<i>SI</i>	Uluslararası Birimler Sistemi
<i>TCO</i>	Toplam sahip olma maliyeti
<i>TEDAŞ</i>	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
<i>TfL</i>	Londra Ulaşım İdaresi
<i>TSE</i>	Türk Standartları Enstitüsü
<i>UEVEP</i>	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
<i>UNEP</i>	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
<i>USGBC</i>	Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi
<i>UV</i>	Ultraviyole

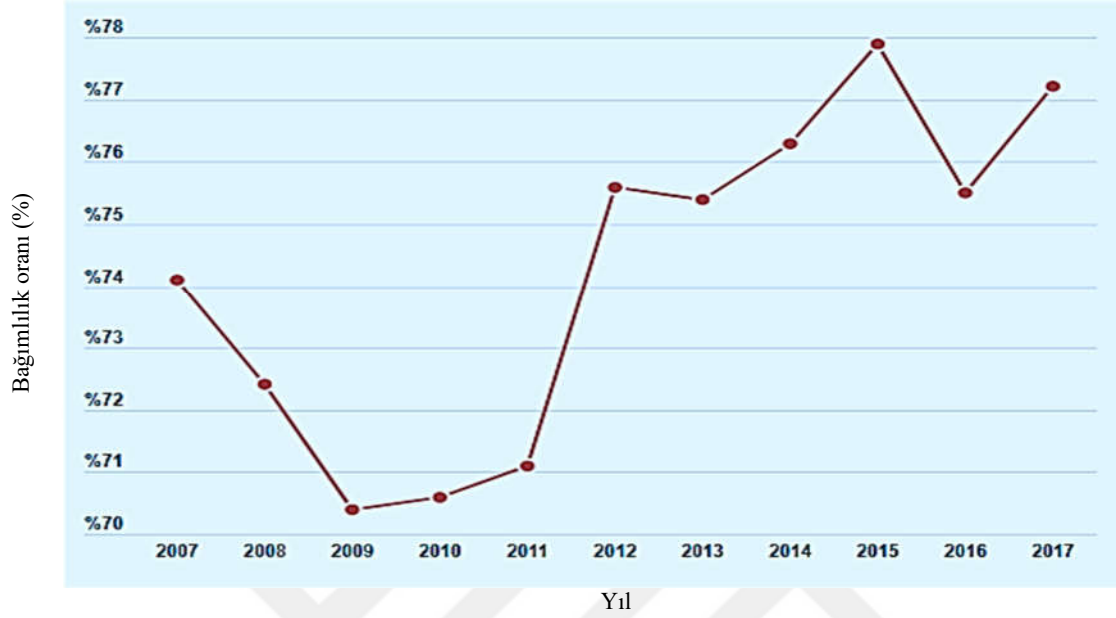
1. GİRİŞ

Küreselleşme ve teknolojik gelişmelerin hız kazandığı yirmi birinci yüzyılda, enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilirlik kavramları, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde ekonomik ve çevresel politikaların merkezine yerleşmiştir. Fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminin çevresel etkileri, iklim değişikliği ve enerji arz güvenliği gibi konular, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin yanı sıra, mevcut enerji tüketiminin optimize edilmesini de zorunlu kılmaktadır (IEA, 2023). Bu bağlamda, ticari işletmelerin enerji tüketimindeki payı ve bu tüketimin azaltılmasına yönelik stratejiler büyük önem arz etmektedir. Özellikle perakende sektörü, geniş operasyonel alanları ve uzun çalışma saatleri nedeniyle önemli bir enerji tüketicisi konumundadır. Perakende sektörü içerisinde gıda marketleri, ürün sergileme, soğutma sistemleri ve aydınlatma gibi enerji yoğun faaliyetleri barındırması sebebiyle dikkat çekmektedir.

Aydınlatma, gıda marketlerinde toplam enerji tüketiminin yaklaşık %20 ila %25'ini oluşturabilmekte (ELDER, 2023), bu da onu enerji verimliliği potansiyeli taşıyan önemli bir alan haline getirmektedir. Geleneksel aydınlatma teknolojileri olan akkor lambalar, floresan lambalar ve metal halide lambalar, düşük enerji verimlilikleri, kısa ömürleri ve yüksek bakım maliyetleri nedeniyle günümüzde yerlerini hızla daha verimli alternatiflere bırakmaktadır. Bu alternatiflerin başında ise Işık Yayan Diyot (LED) teknolojisi gelmektedir. LED'ler, geleneksel aydınlatma kaynaklarına kıyasla %50 ila %80'e varan oranlarda enerji tasarrufu sağlama potansiyeline sahip olup (US DOE, 2018), aynı zamanda daha uzun ömür, daha düşük bakım maliyeti, daha iyi renksel geriverim (CRI) ve esnek tasarım imkanları sunmaktadır (Narendran and Gu, 2011).

Türkiye'de enerji tüketiminin ve ithalata bağımlılığın yüksek olduğu göz önüne alındığında (Şekil 1.1), enerji verimliliği ulusal bir öncelik haline gelmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yürütülen çeşitli strateji ve eylem planları, binalarda enerji verimliliğinin artırılmasını hedeflemektedir. Bu kapsamda, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "27075 sayılı Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği" (5 Aralık 2008) gibi yasal düzenlemeler, enerji verimli teknolojilerin kullanımını teşvik etmektedir. Gıda marketleri gibi ticari işletmelerin bu düzenlemelere uyumu ve enerji verimli

aydınlatma sistemlerine geçişi, hem işletme maliyetlerinin düşürülmesi hem de ulusal enerji tasarrufu hedeflerine katkı sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1. 1. Türkiye'nin enerjide ithalata bağımlılığı grafiği

Aydınlatma kalitesi, gıda marketlerinde sadece enerji tüketimi açısından değil, aynı zamanda müşteri deneyimi, ürünlerin çekiciliği ve çalışan verimliliği gibi faktörler açısından da kritik bir role sahiptir. Doğru aydınlatma, ürünlerin renklerinin daha canlı ve doğal görünmesini sağlayarak müşteri algısını olumlu etkileyebilir, satın alma kararlarını teşvik edebilir ve mağaza içerisinde güvenli ve konforlu bir atmosfer yaratabilir (Boyce, 2003). LED teknolojisi, sunduğu geniş renk sıcaklığı ve yüksek renksel geriverim indeksi seçenekleriyle, bu hedeflere ulaşmada önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu çalışmanın önemi, İstanbul gibi büyük bir metropolde faaliyet gösteren gıda marketlerinin aydınlatma sistemlerinde yapılacak bir LED dönüşümünün sağlayacağı potansiyel enerji tasarrufunu, ekonomik faydaları ve aydınlatma kalitesindeki iyileşmeleri somut verilerle ortaya koyarak, benzer işletmelere ve akademik çalışmalara yol göstermesinden kaynaklanmaktadır. Yapılacak fayda-maliyet analizi, bu tür bir yatırımın rasyonelliğini ve geri ödeme süresini belirleyerek, karar alma süreçlerine bilimsel bir temel sunacaktır.

Gıda marketleri, doğaları gereği geniş alanlara ve uzun çalışma saatlerine sahip oldukları için yüksek enerji tüketen işletmelerdir. Bu tüketimin önemli bir kısmı aydınlatmadan kaynaklanmaktadır. Mevcut durumda, birçok gıda marketi hala eski teknoloji floresan veya metal halide gibi enerji verimliliği düşük aydınlatma sistemlerini kullanmaktadır. Bu durum, hem işletmeler için yüksek enerji maliyetlerine hem de çevresel açıdan gereksiz karbon salınımına yol açmaktadır. LED teknolojisi, enerji tasarrufu ve uzun ömür gibi önemli avantajlar sunsa da, ilk yatırım maliyetinin geleneksel sistemlere göre daha yüksek olması, bazı işletmeciler için caydırıcı bir faktör olabilmektedir.

Bu noktada temel problem, gıda marketlerinde yapılacak bir LED aydınlatma dönüşümünün, ilk yatırım maliyetini ne kadar sürede amorti edeceği, uzun vadede sağlayacağı net ekonomik faydanın ne olacağı ve bu dönüşümün aydınlatma kalitesi üzerindeki etkilerinin ne düzeyde olacağının belirsizliğidir. İşletmeciler, bu tür bir yatırım kararını almadan önce, somut verilere dayalı, kapsamlı bir fayda-maliyet analizine ihtiyaç duymaktadırlar. Literatürde LED dönüşümlerinin genel enerji tasarrufu potansiyeline dair çalışmalar bulunmakla birlikte (örneğin, TEDAŞ'ın kamu binalarındaki LED dönüşüm projeleri veya Metro İstanbul'daki çalışmalar), özellikle Türkiye'deki gıda marketleri özelinde, dönüşüm öncesi ve sonrası gerçek saha verilerine dayalı, hem enerji tüketimini hem de aydınlık seviyelerini (lx) dikkate alan ve detaylı bir fayda-maliyet analizi sunan çalışmaların sayısı sınırlıdır.

Bu araştırma, İstanbul'da yer alan 53 gıda marketinden toplanan saha verilerine dayanarak, LED aydınlatma dönüşümünün teknik ve ekonomik fizibilitesini analiz etmekte ve bu bağlamda aşağıdaki temel soruları yanıtlamaktadır:

1. Örnekleme oluşturan gıda marketlerinde, geleneksel sistemlerden LED teknolojisine geçişin enerji tüketimi üzerindeki nicel etkisi nedir?
2. LED aydınlatma dönüşümü, marketlerin genel aydınlık seviyeleri (lx) üzerinde nasıl bir etki yaratmaktadır?
3. Projenin toplam yatırım maliyeti nedir ve bu maliyetin geri ödeme (amortisman) süresi, dönüşümün temel amacına ('Tasarruf' veya 'Konfor') göre nasıl bir farklılık göstermektedir?
4. Tüm bu teknik ve finansal metrikler ışığında, gıda marketlerinde gerçekleştirilen bir LED aydınlatma dönüşümü uygulaması, işletme kârlılığı, operasyonel verimlilik ve

çevresel sürdürülebilirlik hedefleri açısından fizibil ve stratejik bir yatırım olarak değerlendirilebilir mi?

Bu sorulara verilecek yanıtlar, gıda sektörü başta olmak üzere perakende sektöründeki diğer işletmeler için de aydınlatma modernizasyonu kararlarında önemli bir referans oluşturacaktır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, İstanbul'da yer alan 53 gıda marketinden toplanan saha verilerine dayanarak, LED aydınlatma dönüşümünün teknik ve ekonomik fizibilitesini kapsamlı bir fayda-maliyet analizi çerçevesinde gerçekleştirmektir. Bu temel amaca ulaşmak için, sahadan toplanan nicel veriler (enerji tüketimi, aydınlık seviyeleri, maliyetler) analiz edilecek ve elde edilen sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlanacaktır. Bu ana hedef doğrultusunda, aşağıdaki alt amaçlar belirlenmiştir:

- Dönüşüm öncesi ve sonrası dönemler için, incelenen gıda marketlerinin enerji tüketim düzeylerini ve aydınlık seviyelerini (lx) karşılaştırmalı olarak belirlemek.
- LED aydınlatma dönüşümünün sağladığı ortalama enerji tasarrufunu miktar (kWh ve TL) ve oran (%) olarak hesaplamak.
- Aydınlatma kalitesindeki değişimi, aydınlık seviyelerindeki (lx) artış üzerinden değerlendirmek ve bu iyileşmenin ürün görünürlüğü ile müşteri konforu üzerindeki potansiyel etkilerini irdelemek.
- Projenin toplam yatırım maliyetini ve bu maliyetin, dönüşümün temel amacına ('Tasarruf' veya 'Konfor') göre farklılaşan geri ödeme (amortisman) sürelerini hesaplamak.
- Elde edilen tüm bulgular ışığında, gıda marketlerinde LED aydınlatma dönüşümünün ekonomik açıdan kârlılığını ve operasyonel sürdürülebilirlik açısından önemini değerlendirmek.

Bu amaçlar doğrultusunda, sahadan toplanan nicel veriler (enerji tüketimi, lx ölçümleri, maliyetler) analiz edilecek ve elde edilen sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlanacaktır.

1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları

Bu araştırma, İstanbul il sınırları içerisinde faaliyet gösteren ve LED aydınlatma dönüşümü gerçekleştirmiş 53 adet gıda marketini kapsamaktadır. Araştırmanın kapsamı aşağıdaki şekilde detaylandırılmıştır:

Coğrafi Kapsam: Araştırma, Türkiye'nin en büyük metropolü olan ve yoğun ticari faaliyetlerin gözlendiği İstanbul ili ile sınırlıdır. Farklı ilçelerden ve farklı sosyo-ekonomik bölgelerden seçilen marketler aracılığıyla çeşitlilik sağlanmaya çalışılmıştır.

Sektörel Kapsam: Çalışma, perakende sektörünün önemli bir alt kolu olan gıda marketlerine odaklanmıştır. Farklı büyüklüklerdeki (küçük, orta, büyük ölçekli süpermarket/hipermarket) zincir veya bağımsız gıda marketleri inceleme kapsamına dahil edilmiştir.

Teknolojik Kapsam: Araştırma, geleneksel aydınlatma sistemlerinden (özellikle T5/T8 floresan armatürler ve metal halide projektörler) LED aydınlatma sistemlerine yapılan dönüşümleri incelemektedir. LED teknolojisinin farklı tipleri (lineer armatürler, spotlar vb.) ve bu armatürlerin performans özellikleri dikkate alınmıştır.

Analiz Kapsamı: Çalışma, enerji tüketim verileri, aydınlık seviyesi (lx) ölçümleri ve maliyet verileri üzerinden bir fayda-maliyet analizi gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Enerji tasarrufu, lx değişimi ve geri ödeme süresi temel analiz metrikleridir.

Araştırmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır:

Örneklem Sınırlılığı: Araştırma, İstanbul'daki tüm gıda marketlerini değil, belirlenen kriterlere uygun ve veri erişimi sağlanabilen 53 marketi kapsamaktadır. Bu nedenle, elde edilen sonuçların tüm gıda marketleri için genellenebilirliği sınırlı olabilmektedir.

Veri Sınırlılığı: Bu çalışmada kullanılan dönüşüm öncesi ve sonrası enerji tüketim verileri, marketlerin aydınlatma panolarına bağlanan IoT enerji analizörleri aracılığıyla elde edilmiştir. Dolayısıyla, analizin doğruluğu ve kapsamı, bu analizörlerin ölçümleriyle sınırlıdır.

Dışsal Faktörler: Enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar, mevsimsel değişimler veya marketlerin operasyonel yoğunluğundaki farklılıklar gibi dışsal faktörler, enerji tüketimini ve dolayısıyla tasarruf miktarlarını etkileyebilmektedir.

Maliyet Verilerinin Değişkenliği: LED armatür fiyatları, marka, model, alım miktarı ve tedarikçi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Çalışmada kullanılan maliyet verileri, belirli bir döneme ve belirli tedarikçilere ait olarak değerlendirilmiştir.

Kalitatif Değerlendirme Sınırlılığı: Çalışma ağırlıklı olarak nicel verilere dayalı bir fayda-maliyet analizi sunmaktadır. Aydınlatma kalitesinin müşteri memnuniyeti veya çalışan motivasyonu üzerindeki kalitatif etkileri gibi konular, bu çalışmanın birincil odak noktası değildir, ancak tartışma bölümünde değinilecektir.

Bu sınırlılıklar, araştırmanın sonuçları yorumlanırken dikkate alınacaktır.

Bu tez çalışmasında kullanılan bazı temel kavramlar ve tanımları aşağıda sunulmuştur:

Aydınlatma: Belirli bir yüzeyin veya hacmin, doğal veya yapay ışık kaynakları kullanılarak görünür hale getirilmesi ve belirli bir aydınlık düzeyine ulaştırılması işlemidir.

LED (Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot): Elektrik enerjisini doğrudan ışığa dönüştüren yarı iletken bir elektronik devre elemanıdır. Yüksek enerji verimliliği, uzun ömür ve esnek tasarım imkanları sunar.

Aydınlatma Dönüşümü (Lighting Retrofit): Mevcut, genellikle eski ve verimsiz aydınlatma sistemlerinin sökülerek yerine daha modern, enerji verimli yeni aydınlatma sistemlerinin (örneğin LED) kurulması işlemidir.

Lümen (lm): Bir ışık kaynağının toplam ışık akısını, yani yaydığı toplam görünür ışık miktarını ifade eden birimdir.

Lüks (lx): Birim yüzeye (metrekare) düşen ışık akısı miktarını, yani aydınlık şiddetini ifade eden birimdir ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$).

Enerji Verimliliği: Belirli bir hizmeti (bu çalışmada aydınlatma) üretmek için harcanan enerji miktarının azaltılmasıdır. Aydınlatmada genellikle lümen/watt (lm/W) cinsinden ifade edilmektedir.

Fayda-Maliyet Analizi (FMA - Cost-Benefit Analysis): Bir projenin veya yatırımın beklenen toplam faydalarının, beklenen toplam maliyetlerine oranını veya farkını değerlendirerek, projenin ekonomik açıdan yapılabilirliğini ve kârlılığını belirlemeye yönelik bir analiz yöntemidir.

Geri Ödeme Süresi (Amortisman Süresi - Payback Period): Bir yatırımın, sağladığı net gelirler veya tasarruflar yoluyla kendi maliyetini ne kadar sürede karşıladığını gösteren zaman dilimidir.

Enerji Analizörü: Elektrik devrelerindeki enerji tüketimini, güç faktörünü, gerilim, akım gibi parametreleri ölçen ve kaydeden cihazdır.

Smartpower Enerji Yönetim Sistemi: Enerji tüketim verilerini merkezi olarak toplayan, analiz eden ve raporlayan bir yazılım ve donanım sistemidir.

Renk Sıcaklığı (Correlated Color Temperature - CCT): Bir ışık kaynağının yaydığı ışığın rengini tanımlayan, Kelvin (K) cinsinden ifade edilen bir ölçüdür. Düşük K değerleri sıcak (sarımsı), yüksek K değerleri soğuk (mavimsi) ışığı ifade etmektedir.

Renksel Geriverim İndeksi (Color Rendering Index - CRI): Bir ışık kaynağının, aydınlattığı nesnelerin renklerini doğal gün ışığına kıyasla ne kadar doğru yansıttığını gösteren 0-100 arasında bir ölçüdür. Yüksek CRI değeri, daha doğal renk algısı anlamına gelmektedir.

Bu tez çalışması, aşağıda detaylandırılan beş ana bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm olan Giriş bölümünde, araştırmanın arka planı, önemi, problem tanımı, amacı, kapsamı, sınırlılıkları ve temel tanımlar sunulmuştur.

İkinci bölüm olan Genel Bilgiler ve Literatür Taraması bölümünde, aydınlatma teknolojileri, gıda marketlerinde aydınlatmanın önemi, enerji verimliliği, sürdürülebilirlik, fayda-maliyet

analizi yöntemleri ve konuyla ilgili daha önce yapılmış akademik çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Üçüncü bölüm olan Materyal ve Yöntem bölümünde, araştırmanın deseni, evren ve örneklem seçimi, veri toplama araçları ve süreci ile verilerin analizinde kullanılan yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Dördüncü bölüm olan Bulgular bölümünde, araştırma kapsamında toplanan verilerin analizi sonucunda elde edilen enerji tasarrufu miktarları, aydınlık seviyelerindeki değişimler, yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri gibi temel bulgular tablolar ve grafikler eşliğinde sunulmuştur.

Beşinci ve son bölüm olan Sonuç ve Öneriler bölümünde ise, araştırmanın temel sonuçları özetlenmiş, gıda marketi işletmecilerine, enerji politikası yapımcılarına ve gelecekteki araştırmalara yönelik pratik önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

Küresel enerji krizleri, çevresel kaygılar ve artan işletme maliyetleri, enerji verimliliğini günümüzün en kritik konu başlıklarından biri haline getirmiştir. Özellikle ticari yapıların enerji tüketimi içerisindeki payı dikkate alındığında, bu alandaki her bir tasarruf girişimi hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli katkılar sunmaktadır (IEA, 2023; ETKB, 2022). Bu bağlamda, perakende sektörünün en yoğun enerji tüketen alanlarından biri olan gıda marketlerinde aydınlatma sistemlerinin verimli hale getirilmesi, sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Bu bölümde, araştırmanın kuramsal temelini oluşturan enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve aydınlatma teknolojileri gibi anahtar kavramlar detaylı biçimde ele alınmaktadır. Ayrıca, aydınlatmanın perakende sektöründeki rolü, özellikle gıda marketlerindeki önemi, müşteri davranışlarına etkisi ve operasyonel verimlilik açısından taşıdığı stratejik değer literatür ışığında değerlendirilecektir (Boyce, 2003). LED aydınlatma teknolojisinin teknik özellikleri, geleneksel sistemlere göre sunduğu avantajlar ve uygulama örnekleri incelenerek, bu teknolojinin ticari yapılarda yaygınlaşma süreci ortaya konulacaktır (Narendran and Gu, 2011).

Bununla birlikte, fayda-maliyet analizi yaklaşımı ve bu yöntemin enerji verimliliği projelerinde nasıl uygulandığı açıklanarak, tez çalışmasının metodolojik dayanağı desteklenecektir. Türkiye ve dünya genelinde gerçekleştirilen benzer çalışmalar incelenecek, LED dönüşümlerinin enerji tasarrufu, aydınlatma kalitesi ve ekonomik geri dönüşler üzerindeki etkileri değerlendirilerek, mevcut literatürdeki boşluklar ve bu araştırmanın özgün katkıları vurgulanacaktır (Boardman et al., 2018; TEDAŞ, 2023).

Bu kapsamda, literatür taraması yalnızca kavramsal çerçeveyi güçlendirmekle kalmayıp, aynı zamanda İstanbul'daki gıda marketlerinde gerçekleştirilen aydınlatma dönüşümünün bilimsel zeminini oluşturacaktır.

2.1. Aydınlatma ve Temel Kavramlar

Aydınlatma, çevremizi algılamamızın temel unsurlarından biri olup, bir mekanın veya nesnenin görünürlüğünü sağlayan fiziksel bir olgudur. Görme duyumuzun etkin bir şekilde çalışabilmesi için yeterli ve kaliteli aydınlatma vazgeçilmezdir. Aydınlatma, sadece görmeyi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda mekanların atmosferini, insanların ruh halini ve performansını da doğrudan etkiler (Yener, 1997). Bu bölümde, aydınlatma ile ilgili temel kavramlar ve teknolojiler ele alınacaktır.

2.1.1. Işık, lümen, lüks ve renk sıcaklığı

Işık: Elektromanyetik spektrumun insan gözüyle algılanabilen bölümüdür. Dalga boyu yaklaşık 380 nm (mor) ile 780 nm (kırmızı) arasında değişmektedir. Işığın temel özellikleri arasında parlaklık (ışık şiddeti), renk ve yön bulunmaktadır (CIE, 2020).

Lümen (lm): Uluslararası Birimler Sistemi'nde (SI) ışık akısının birimidir. Bir ışık kaynağının her yöne yaydığı toplam görünür ışık miktarını ifade etmektedir. Lambaların veya armatürlerin ışık çıktısını belirtmek için kullanılır ve enerji verimliliği hesaplamalarında önemli bir parametredir (Rea, 2000).

Lüks (lx): Aydınlik şiddetinin SI birimidir. Birim yüzey alanına (metrekare) düşen ışık akısı miktarını tanımlar ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$). Bir mekanın veya çalışma yüzeyinin ne kadar iyi aydınlatıldığını gösteren temel ölçüttür. Farklı görsel görevler ve mekan türleri için önerilen minimum lüks değerleri standartlarla belirlenmiştir (örneğin, TS EN 12464-1).

Renk Sıcaklığı (Correlated Color Temperature - CCT): Bir ışık kaynağının yaydığı ışığın "sıcak" (sarımsı-kırmızımsı) veya "soğuk" (mavimsi) tonlarda olup olmadığını belirten, Kelvin (K) cinsinden ifade edilen bir ölçüdür. Düşük Kelvin değerleri (örn. 2700K-3000K) sıcak beyaz olarak adlandırılırken, orta değerler (örn. 4000K-4500K) nötr veya doğal beyaz, yüksek değerler (örn. 5000K-6500K) ise soğuk beyaz veya gün ışığı olarak tanımlanır. Mekanın fonksiyonuna ve istenen atmosfere göre uygun renk sıcaklığı seçimi önemlidir (Karlen and Benya, 2004).

Renksel Geriverim İndeksi (Color Rendering Index - CRI): Bir yapay ışık kaynağının, aydınlattığı nesnelerin renklerini, referans bir ışık kaynağına (genellikle gün ışığı veya ideal bir siyah cisim ışması) kıyasla ne kadar doğru yansıttığını gösteren bir ölçüttür. CRI, 0 ile 100 arasında bir değer alır; 100 en iyi renksel geriverimi ifade etmektedir. Özellikle renklerin doğru algılanmasının önemli olduğu perakende, sanat galerileri gibi alanlarda yüksek CRI değerlerine sahip ışık kaynakları tercih edilmektedir (IESNA, 2011).

Aydınlatma teknolojilerinin değerlendirilmesinde kullanılan ölçü birimleri, yalnızca teknik değil aynı zamanda uygulamalı anlamlar da içermektedir. Bu bağlamda lümen(lumen, lm) ve lüks (lx) kavramları sıklıkla birbirine karıştırılmaktadır. Ancak bu iki birim, ışık ölçümünün farklı yönlerini temsil etmektedir.

Lümen (ışık akısı), bir ışık kaynağının belirli bir zaman aralığında yaydığı toplam görünür ışık miktarını ifade eden birimdir. Başka bir ifadeyle, lümen bir ışık kaynağının ışık üretme kapasitesini ölçer. Işık kaynaklarının paketleri üzerinde yer alan lümen değeri, tüketicinin ışık miktarı hakkında doğrudan bilgi edinilmesini sağlamaktadır. Örneğin, yaklaşık 800 lümenlik bir ampul geleneksel anlamda 60 watt'lık akkor ampule karşılık gelmektedir. Lümen birimi, özellikle farklı türdeki aydınlatma elemanlarının enerji verimliliğini karşılaştırmak açısından büyük önem arz etmektedir. Aynı enerji tüketimiyle daha fazla lümen üreten bir sistem, daha verimli olarak değerlendirilmektedir.

Lüks(aydınlatma şiddeti), birim alan başına düşen ışık miktarını ölçmekte kullanılan birimdir. Tanımsal olarak 1 lüks eşittir 1 metrekareye düşen 1 lümen ışık akısı şeklinde ifade edilir. Bu yönüyle lüks, belirli bir yüzeyin ne kadar aydınlandığını gösterir ve genellikle ortam aydınlatmasının yeterliliğini değerlendirmek amacıyla kullanılır. Farklı mekan türleri için önerilen lüks değerleri farklıdır. Bekleme salonları ve koridorlar için 100 lx, ofis ve sınıf gibi okuma-çalışma alanları için 300-500 lx, ameliyathane ve laboratuvar gibi hassas görsel işler gerektiren alanlarda 1000+ lx gerekmektedir. Bu değerler, özellikle ergonomi ve iş sağlığı açısından asgari aydınlatma gereksinimlerini karşılamak amacıyla standardize edilmiştir.

Çizelge 2. 1. Kavramsal ve uygulamalı farklılıklar

Özellik	Lümen (lm)	Lüks (lx)
Tanım	Işık kaynağının toplam ışık üretim miktarı	Belirli bir yüzeye düşen ışık miktarı
Ölçtüğü unsur	Işık akısı (ışığın yayılım gücü)	Aydınlatma şiddeti (ışığın yüzeye etkisi)
Bağlı olduğu faktörler	Ampul tipi, güç tüketimi	Mesafe, ışık yönelimi, yüzey alanı
Tipik kullanım alanı	Lamba etiketleri, ürün karşılaştırmaları	Aydınlatma tasarımı, iç mekân mühendisliği
Hesaplama ilişkisi	-	$Lüks = Lümen / m^2$

Lümen ve lüks kavramları, aydınlatma sistemlerinin teknik performansını değerlendirmek açısından tamamlayıcı niteliktedir. Lümen, ışık kaynağının üretim kapasitesini belirtirken; lüks, bu ışığın kullanıldığı ortamda ne derece etkili olduğunu ortaya koyar. Özellikle enerji verimliliği, kullanıcı konforu ve insan merkezli aydınlatma uygulamaları söz konusu olduğunda her iki birimin birlikte analiz edilmesi önem kazanmaktadır (Çizelge 2.1).

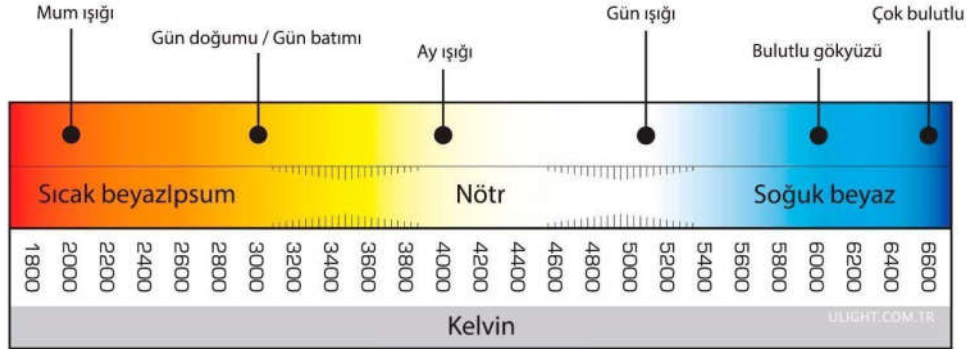
Işık rengi, aydınlatma kaynağından yayılan ışığın spektral bileşimine bağlı olarak algılanan renktir. Işık renkleri genellikle renk sıcaklığı (color temperature) ile ifade edilmekte ve Kelvin (K) birimiyle ölçülmektedir. Renk sıcaklığı, siyah bir cismin ısıtılmasıyla elde edilen ışığın rengini taklit etmektedir. Düşük kelvin değerleri sıcak ve sarı tonlu ışığı, yüksek kelvin değerleri ise soğuk ve mavi tonlu ışığı göstermektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2. 2. Ana ışık renkleri ve özellikleri

Renk sıcaklığı (K)	Işık rengi	Kullanım alanları	Etkileri ve özellikleri
2000K – 3000K	Sıcak beyaz	Ev aydınlatması, restoran, otel	Rahatlatıcı, sıcak ve samimi ortam oluşturur.
3100K – 4500K	Nötr beyaz	Ofis, mağaza, eğitim alanları	Dengeli, nötr ve doğal renk algısı sağlar
4600K – 6500K	Soğuk beyaz	Hastane, laboratuvar, endüstri	Uyarıcı, dikkat artırıcı, mavi tonlar hakimdir
6500K ve üstü	Günışığı	Grafik tasarım, fotoğraf stüdyosu	Gerçek gün ışığına yakın, detayları net gösterir

Renk sıcaklığına ek olarak, renk indeksi (CRI – Color Rendering Index) ışığın renkleri ne kadar doğru ve doğal gösterdiğini ölçmektedir. CRI 0 ile 100 arasında değişmektedir; 80

üzeri iyi, 90 ve üzeri çok iyi kaliteyi ifade etmektedir. CRI yüksek ışık kaynakları, renkleri doğal ve gerçeğe yakın göstermektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1. Renk sıcaklık skalası

2.1.2. Aydınlatma teknolojileri

Aydınlatma, insanlık tarihinde hayatta kalma, üretkenlik ve sosyal yaşamın temel unsurlarından biri olmuştur. Aydınlatma teknolojilerinin tarihsel gelişimini incelersek; doğal ve ateş tabanlı aydınlatma, yağ lambaları ve mumlar, gaz lambaları ve elektriksel aydınlatma olarak üçe ayırabiliriz.

İnsanlık tarihindeki ilk aydınlatma kaynağı güneştir. Güneş ışığının yetersiz kaldığı durumlarda ise ateş kullanılmıştır. Yaklaşık 1.5 milyon yıl önce ateşin kontrollü kullanımıyla insanlar karanlıkta yaşamlarını sürdürebilmeye başlamıştır. İlk yağ lambaları ise Mezopotamya’da M.Ö. 4500 civarında ortaya çıkmıştır. Bu lambalar hayvansal yağların yanmasıyla ışık sağlardı. Antik Roma ve Mısır’da balmumu ve don yağı gibi malzemelerle üretilen mumlar daha yaygın hale gelmiştir. 19. Yüzyıl başlarında gaz lambalarının şehir aydınlatmasında kullanımı yaygınlaşmıştır. 1879 yılında Thomas Edison’un karbon filamanla elektrik ampulünün geliştirmesi, modern aydınlatma sistemlerinin temelini atmıştır.

Günümüzde kullanılan aydınlatma teknolojilerinde ampul türleri, akıllı aydınlatma sistemleri ve güneş enerjili aydınlatma sistemleri yer almaktadır. Günümüzde kullanılan ampuller, enerji verimliliği ve ömürleri bakımından önemli farklılıklar göstermektedir.

Akkor Lambalar (Incandescent Lamps): Elektrik akımının bir filamanı (genellikle tungsten) ısıtarak görünür ışık yayması prensibine dayanır. Düşük verimlilikleri (enerjinin büyük kısmı ısı olarak kaybolur) ve kısa ömürleri nedeniyle günümüzde kullanımı büyük ölçüde azalmıştır ve birçok ülkede yasaklanmıştır (European Commission, 2009). Ancak, mükemmele yakın CRI değeri (100) ve sıcak ışık rengi gibi avantajları da bulunmaktadır.

Floresan Lambalar (Fluorescent Lamps): Düşük basınçlı cıva buharından geçen elektrik akımının ultraviyole (UV) ışınması oluşturmaları ve bu UV ışınlarının lambanın iç yüzeyindeki fosfor tabakasına çarparak görünür ışığa dönüşmesi prensibiyle çalışır. Akkor lambalara göre daha verimli ve daha uzun ömürlüdürler. Farklı renk sıcaklıklarında ve CRI değerlerinde üretilebilirler. Kompakt floresan lambalar (CFL), akkor lambaların duylarına doğrudan takılabilen versiyonlarıdır (Bodart and Cauwerts, 2017). Ancak, cıva içermeleri ve bazı tiplerinde başlatıcı (starter) ve balast gerektirmeleri dezavantajlarıdır. T5 ve T8 gibi lineer floresan tipleri, özellikle ticari ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

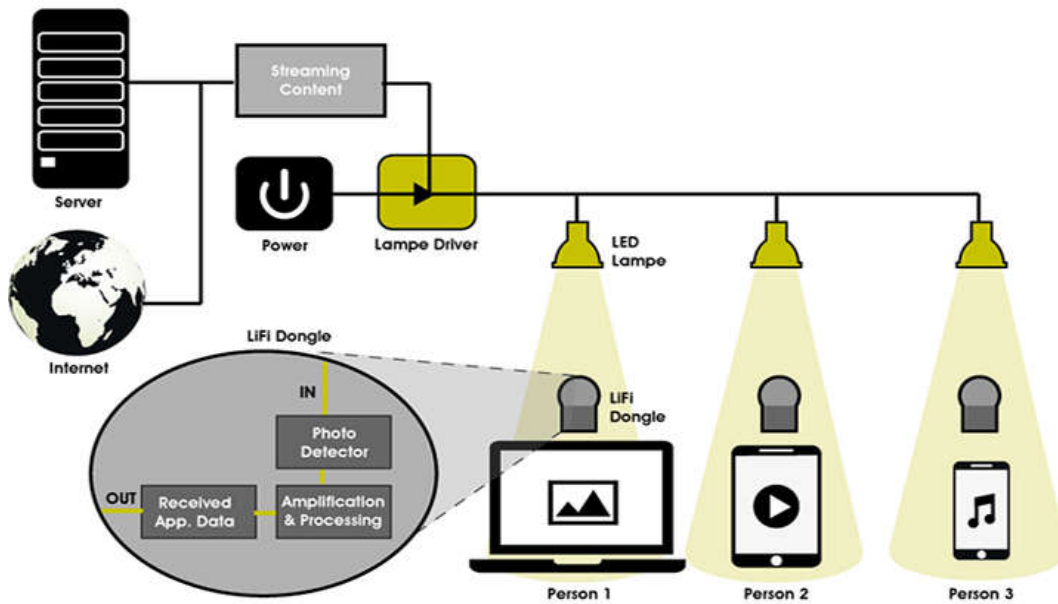
Metal Halide Lambalar (Metal Halide Lamps): Yüksek yoğunluklu deşarj (HID) lambaları sınıfına girer. Cıva ve çeşitli metal halojenürlerin buharından geçen elektrik arkı ile ışık üretirler. Yüksek ışık akısı ve iyi renksel geriverim sunarlar, ancak ısınma süreleri ve tekrar yanma için soğuma gereksinimleri vardır. Genellikle dış aydınlatma, endüstriyel tesisler ve yüksek tavanlı ticari alanlarda kullanılmamaktadır (Waymouth, 1971).

LED (Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot) Lambalar: Yarı iletken teknolojisine dayanan LED'ler, elektrik akımı geçtiğinde doğrudan ışık yayan diyotlardır. Enerji verimlilikleri yüksek olup sürekli gelişmektedir; ömürleri genellikle 25.000–50.000 saat ve üzerindedir. Anında tam parlaklıkta ışık sağlarlar, cıva gibi zararlı maddeler içermezler ve farklı renklerde ve renk sıcaklıklarında üretilebilirler. Ayrıca dim edilebilme ve akıllı aydınlatma sistemleriyle entegrasyon gibi esneklikler sunarlar. Başlangıç maliyetleri geleneksel sistemlere göre daha yüksek olsa da, enerji tasarrufu ve düşük bakım maliyetleri sayesinde toplam maliyetleri genellikle daha düşüktür (Narendran and Gu, 2011; U.S. Department of Energy, 2017).

Son teknolojik gelişmelerde Li-Fi teknolojisi, organik LED ve mikro-LED, insan merkezli aydınlatma ve yapay zeka ile ışık yönetimi bulunmaktadır.

Li-Fi(Light Fidelity) teknolojisi: LED ışıkları üzerinden yüksek hızlı internet iletimi sağlayan ve gelecekte kablosuz iletişimde devrim yaratabilecek bir teknolojidir. Wi-Fi'den daha güvenli ve daha hızlı veri iletimi potansiyeline sahiptir.

Li-Fi, LED lambalar gibi görünür ışık yayan bir kaynaktan veri gönderir. Bu LED lambalar, çok hızlı bir şekilde açılıp kapanarak (ışık şiddeti değişimi) veriyi ışık sinyallerine dönüştürür. LED'ler saniyede milyonlarca kez yanıp sönerek veri paketlerini kodlar. Bu hızlı yanıp sönme insan gözü tarafından fark edilmez çünkü çok hızlıdır. Veri, bu ışığı algılayan fotodiyot ya da fotosensörler tarafından alınır. Alıcı, ışık sinyallerini elektrik sinyallerine çevirir. Elektrik sinyalleri, orijinal verilere dönüştürülür ve cihazlar arasında iletişim sağlanır (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2. Li-Fi teknolojisi çalışma şekli (Aydınlatma portalı, b.t)

Organik LED (OLED), esnek, ince ve homojen ışık sağlamakta, dekoratif aydınlatma ve ekranlarda kullanılmaktadır. Mikro-LED, daha uzun ömürlü ve parlaklık sunarken AR/VR teknolojilerine entegre edilmektedir. İnsan merkezli aydınlatma ise biyolojik saatleri destekleyen, gün ışığı döngüsüne göre ayarlanabilen ışık sistemleri, çalışma verimliliğini ve ruh halini olumlu yönde etkilemektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2. 3. İnsan odaklı aydınlatmanın özellikleri

İnsan odaklı aydınlatmanın özellikleri	Açıklama
Dinamik ışık sıcaklığı	Gün boyunca değişen renk sıcaklıkları (sabah soğuk beyaz, akşam sıcak sarı)
Işık yoğunluğu kontrolü	Gün içinde değişen aydınlık düzeyleri (lx değeri)
Renk sıcaklığı (CCT)	Işığın tonu (2700K sıcak, 6500K soğuk)
Mavi ışık yönetimi	Melatonin üzerindeki etkisini dengelemek için kontrollü mavi ışık kullanımı

İnsan odaklı aydınlatma sistemlerinin biyolojik ritimler üzerindeki etkisi, özellikle melatonin üretimi bağlamında büyük önem taşımaktadır. Melatonin, vücudun biyolojik saatini düzenleyen ve uyku-uyanıklık döngüsünde kritik rol oynayan bir hormondur (Cajochen vd., 2011). Işık yoğunluğu ve renk sıcaklığı gibi faktörler, melatonin salgısını doğrudan etkilemekte (Çizelge 2.4); yüksek yoğunluklu ve özellikle mavi ışık içeren aydınlatma melatonin üretimini baskımlarken uyanıklık halini arttırmaktadır (Brainard vd., 2001). Bu nedenle, insan odaklı aydınlatma tasarımlarında, günün farklı saatlerinde değişen ışık koşullarına uygun ayarlamalar yapılması hem biyolojik ritimlerin korunması hem de kullanıcıların konforu açısından önemli görülmektedir (Stevens and Zhu, 2015).

Çizelge 2. 4. Işık yoğunluğu ve melatonin üretim ilişkisi

Işık yoğunluğu (lx)	Melatonin üzerindeki etkisi
0-15	Belirgin etki yok
15-120	Melatonin üretiminde artış başlar
120-550	Etki artarak devam eder
550-9100	Maksimum baskılama noktasına ulaşır
9100	Tam baskılama

Bu grafik, ışık yoğunluğunun melatonin üretimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Düşük ışık seviyelerinde melatonin üretimi üzerinde belirgin bir etkisi yokken, ışık yoğunluğu arttıkça melatonin üretimi baskılanmaktadır. Maksimum baskılama noktası yaklaşık 550 lx civarındadır.

Yapay zeka ile ışık yönetiminde aydınlatma sistemlerinin otomatik öğrenme yoluyla kullanıcılara özel senaryolar geliştirmesini sağlamaktadır. Özellikle akıllı şehirler ve enerji yönetimi sistemlerinde kullanılmaktadır.

Aydınlatma teknolojileri, tarih boyunca evrim geçirerek yalnızca yaşamı kolaylaştırmakla kalmamış, aynı zamanda sosyal ve ekonomik gelişim üzerinde de etkili olmuştur. Günümüzde sürdürülebilirlik ve dijitalleşme odağında gelişen aydınlatma sistemleri gelecekte daha da entegre, verimli ve kullanıcı dostu haline gelecektir.

Çizelge 2. 5. Ampul teknolojilerinin karşılaştırılması

Aydınlatma türü	Enerji verimliliği	Ortalama ömür	Avantajları
Akkor ampul	Düşük	1000 saat	Ucuz ancak verimsiz
Halojen	Orta	2000 saat	Daha parlak
CFL (Floresan)	Yüksek	10000 saat	Ofis aydınlatmalarında yaygın, düşük ısı yayılımı
Led	Çok yüksek	25000+ saat	Düşük tüketim, uzun ömür

Genel olarak incelenen aydınlatma sistemlerinin teknolojik karşılaştırmasının özetlendiği Çizelge 2.5'de de görüldüğü üzere, aydınlatma teknolojileri arasında enerji verimliliği ve performans ömrü açısından belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Çizelge, düşük verimlilik ve kısa kullanım ömrüne sahip geleneksel ışık kaynaklarından, yüksek verimlilik ve uzun ömür sunan modern katı hal aydınlatma (SSL) teknolojilerine doğru ilerleyen net bir teknolojik evrimi ortaya koymaktadır. Bu karşılaştırma, bu araştırma kapsamında incelenen aydınlatma dönüşümü projelerinin arkasındaki temel rasyoneli ve teknik dayanağı açıklamaktadır.

Çizelgeye göre, Akkor ve Halojen ampuller, sırasıyla "Düşük" ve "Orta" olarak sınıflandırılan enerji verimlilikleri ve 1.000 ila 2.000 saat gibi oldukça kısa olan ortalama ömürleri nedeniyle, modern ticari işletmelerin yoğun kullanım saatlerine ve enerji maliyeti hedeflerine yanıt verememektedir. Bu çalışmadaki marketlerin dönüşüm öncesi sistemlerinde de yaygın olarak kullanılan CFL (Kompakt Floresan) teknolojisi, "Yüksek" verimlilik ve 10.000 saatlik ömrü ile önemli bir ilerleme sağlamış olsa da, LED teknolojisi bu metrikleri bir üst seviyeye taşımaktadır. LED teknolojisi, "Çok Yüksek" olarak sınıflandırılan enerji verimliliği ve 25.000 saatin üzerinde olan ortalama ömrü ile diğer tüm alternatiflerden açıkça ayrışmaktadır. Bu durum, LED armatürlerin, CFL'lere kıyasla en az

2.5 kat daha uzun bir performans ömrü sunarken, harcanan her birim enerji başına daha fazla görünür ışık (lumen) ürettiğini göstermektedir. Dolayısıyla bu çizelge, projenin temelini oluşturan LED aydınlatma dönüşümünün, sadece marjinal bir iyileştirme değil; enerji tüketimini minimize etme, bakım maliyetlerini düşürme ve uzun vadeli operasyonel sürdürülebilirlik sağlama açısından stratejik ve teknolojik olarak en üstün tercih olduğunu kanıtlamaktadır.

2.2. Gıda Marketlerinde Aydınlatmanın Önemi

Gıda marketleri, tüketicilerin günlük veya haftalık temel ihtiyaçlarını karşıladığı, yoğun insan trafiğinin yaşandığı ve rekabetin yüksek olduğu ticari mekanlardır. Bu dinamik ortamda, işletmelerin müşteri çekme, satışları artırma ve marka sadakati oluşturma çabalarında aydınlatma, genellikle göz ardı edilen ancak son derece kritik bir rol oynamaktadır. Aydınlatma, sadece mekanın görünürlüğünü sağlamanın ötesinde, alışveriş deneyimini şekillendiren, ürünlerin algılanışını etkileyen ve hatta çalışanların motivasyonunu ve güvenliğini etkileyen çok boyutlu bir faktördür. Gıda marketlerinde doğru ve etkin bir aydınlatma stratejisinin benimsenmesi, enerji verimliliği ve maliyet tasarrufu gibi operasyonel avantajların yanı sıra, pazarlama ve müşteri ilişkileri açısından da önemli faydalar sunmaktadır.

Bu bölümde, gıda marketlerinde aydınlatmanın önemi, müşteri deneyimi ve satışlara etkisi, ürünlerin sergilenmesi ve görsel kalitesi ile çalışan performansı ve güvenliği alt başlıkları altında detaylı bir şekilde incelenecektir.

2.2.1. Müşteri deneyimi ve satışa etkisi

Gıda marketlerinde müşteri deneyimi, tüketicilerin mağazaya adım attığı andan itibaren kasadan ayrıldığı ana kadar yaşadığı tüm etkileşimlerin ve algıların bir bütünüdür. Bu deneyimin kalitesi, müşterinin mağazada geçirdiği süreyi, yaptığı harcama miktarını ve gelecekte aynı mağazayı tekrar tercih etme olasılığını doğrudan etkilemektedir. Aydınlatma, bu deneyimin şekillenmesinde temel bir rol oynamakta, zira ışık, mekanın genel atmosferini, müşterilerin ruh halini ve ürünlerle olan etkileşimini büyük ölçüde belirlemektedir (Quartier vd., 2014).

İnsan psikolojisi üzerinde ışığın güçlü etkileri olduğu bilinmektedir. Örneğin, parlak ve canlı bir aydınlatma, müşterilerde enerji ve hareketlilik hissi uyandırabilirken, daha loş ve sıcak tonlardaki bir aydınlatma sakinlik ve rahatlama sağlayabilir (Knez, 1995). Gıda marketlerinde genel aydınlatmanın doğru seviyede ve renkte olması, müşterilerin kendilerini güvende ve rahat hissetmelerini sağlamaktadır. Yetersiz veya rahatsız edici bir aydınlatma (örneğin, göz kamaştırıcı parlaklık veya titreyen ışıklar) ise müşterilerin mağazada daha az vakit geçirmesine ve olumsuz bir izlenimle ayrılmasına neden olabilmektedir (Areni and Kim, 1994).

Aydınlatmanın müşteri davranışı üzerindeki etkileri, mağaza içi navigasyon kolaylığından dürtüsel satın almalara kadar geniş bir yelpazede kendini göstermektedir. İyi aydınlatılmış reyonlar ve koridorlar, müşterilerin aradıkları ürünleri kolayca bulmalarını sağlamakta ve alışveriş sürecini hızlandırmaktadır. Özellikle vurgu aydınlatması (accent lighting) kullanılarak belirli ürünlerin veya promosyon alanlarının öne çıkarılması, müşterilerin dikkatini çekerek plansız satın almaları teşvik edebilmektedir (Summers and Hebert, 2001). Baker vd. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, mağaza atmosferini oluşturan unsurlardan biri olan aydınlatmanın, müşterilerin mağazaya yönelik tutumlarını ve harcama niyetlerini etkilediği gösterilmiştir. Araştırmacılar, özellikle ortam aydınlatmasının ve vurgu aydınlatmasının uyumlu bir şekilde kullanılmasının, müşterilerin mağazayı daha çekici bulmasına ve daha fazla harcama yapma eğiliminde olmasına yol açtığını belirtmişlerdir.

Renklerin doğru algılanması da müşteri deneyimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle taze meyve, sebze, et ve şarküteri ürünlerinin sergilendiği reyonlarda, yüksek renksel geriverim indeksine (CRI) sahip ışık kaynaklarının kullanılması, ürünlerin doğal renklerinin ve tazeliğinin doğru bir şekilde yansıtılmasını sağlamaktadır. Bu durum, müşterilerin ürün kalitesi hakkındaki algısını olumlu etkileyerek satın alma olasılığını artırılabilmektedir (Cuttle, 2007). Örneğin, düşük CRI değerine sahip bir ışık altında soluk ve cansız görünen bir meyve, yüksek CRI değerine sahip bir ışık altında taze ve iştah açıcı görünebilmektedir. LED teknolojisi, sunduğu geniş CRI seçenekleri ile bu konuda önemli avantajlar sağlamaktadır.

Ayrıca, aydınlatma tasarımı mağazanın genel imajını ve marka kimliğini de yansıtmaktadır. Modern ve şık bir aydınlatma, mağazaya çağdaş ve kaliteli bir hava katarken, daha geleneksel ve sıcak bir aydınlatma samimi ve davetkar bir atmosfer oluşturabilmektedir.

Mağazanın hedef kitlesi ve pazarlama stratejileri doğrultusunda bilinçli bir aydınlatma tasarımı yapılması, marka algısının güçlendirilmesine ve müşteri sadakatının artırılmasına katkıda bulunmaktadır (Turley and Milliman, 2000). Örneğin, organik ve doğal ürünler satan bir gıda marketi, doğal ışığı taklit eden ve sıcak tonlarda bir aydınlatma kullanarak bu imajını pekiştirebilmektedir.

Sonuç olarak, gıda marketlerinde aydınlatma, sadece teknik bir gereklilik olmanın ötesinde, müşteri deneyimini zenginleştiren, satın alma davranışlarını etkileyen ve mağazanın genel başarısına katkıda bulunan stratejik bir pazarlama aracıdır. İyi planlanmış bir aydınlatma sistemi, müşterilerin mağazada daha keyifli vakit geçirmesini, daha fazla ürün keşfetmesini ve sonuç olarak daha fazla harcama yapmasını teşvik edebilmektedir. Bu nedenle, aydınlatma tasarımına yapılan yatırım, işletmeler için önemli bir rekabet avantajı sağlayabilmektedir.

2.2.2. Ürünlerin sergilenmesi ve görsel kalite

Gıda marketlerinde satılan ürünlerin büyük bir çoğunluğu, tazelik, renk ve görünüm gibi görsel özellikleriyle müşterilerin dikkatini çekmekte ve satın alma kararını etkilemektedir. Bu nedenle, ürünlerin doğru ve etkili bir şekilde sergilenmesi, satış başarısı için hayati önem taşımaktadır. Aydınlatma, ürünlerin görsel çekiciliğini artırmada, kalitesini vurgulamada ve müşterilerin algısını yönlendirmede en güçlü araçlardan biridir (IESNA, 2011).

Doğru aydınlatma, ürünlerin gerçek renklerinin ve dokularının en iyi şekilde ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Özellikle taze ürün reyonlarında (meyve, sebze, et, balık, şarküteri, unlu mamuller) kullanılan ışık kaynaklarının renksel geriverim indeksi (CRI) yüksek olmalıdır. Yüksek CRI, ürünlerin doğal renklerini bozmadan, canlı ve taze görünmelerine yardımcı olmaktadır. Örneğin, kırmızı etlerin daha iştah açıcı görünmesi için kırmızı tonları vurgulayan özel spektrumlu LED'ler kullanılırken, yeşil sebzelerin canlılığını öne çıkarmak için farklı spektral özelliklere sahip ışıklar tercih edilebilmektedir (Park and Farr, 2007). Ancak, bu tür özel aydınlatmaların abartıdan uzak ve ürünün gerçek kalitesini yanıltmayacak şekilde kullanılması etik bir zorunluluktur.

Aydınlatma şiddeti (lüks seviyesi) de ürün sergilemede önemli bir faktördür. Genellikle, daha parlak aydınlatılmış ürünler daha dikkat çekici ve daha kaliteli algılanmaktadır. Ancak,

her ürün tipi için ideal aydınlık seviyesi farklılık göstermektedir. Örneğin, hassas ürünler olan taze yeşillikler veya bazı şarküteri ürünleri aşırı parlak ışıktan olumsuz etkilenebilirken, ambalajlı ürünler veya promosyon ürünleri daha yüksek aydınlık seviyeleriyle öne çıkarılabilir. Reyonlar arasında ve hatta aynı reyon içinde farklı aydınlık seviyeleri kullanarak bir hiyerarşi oluşturmak, müşterilerin dikkatini belirli noktalara çekmeye yardımcı olabilmektedir (Custers vd., 2010).

Göz kamaşması (glare) ve gölgelenme, ürünlerin görsel kalitesini olumsuz etkileyen önemli faktörlerdir. Yanlış konumlandırılmış veya uygun olmayan armatürler, ürünler üzerinde rahatsız edici yansımalar veya derin gölgelere neden olabilmekte, bu da ürünlerin detaylarının net bir şekilde görülmesini engellemektedir. Örneğin, parlak ambalajlı ürünlerde direkt ışık kaynaklarından gelen yansımalar, ürün bilgilerinin okunmasını zorlaştırabilmektedir. Aynı şekilde, rafların yanlış aydınlatılması sonucu oluşan gölgeler, bazı ürünlerin görünürlüğünü azaltabilmektedir. Bu nedenle, armatürlerin doğru açılarla yerleştirilmesi, difüzörler veya yansıtıcılar gibi aksesuarların kullanılması ve genel ile bölgesel aydınlatmanın dengeli bir şekilde planlanması, göz kamaşmasını ve olumsuz gölgelenmeyi minimize etmek için kritik öneme sahiptir (Flynn vd., 1979).

Vurgu aydınlatması, belirli ürünleri veya ürün gruplarını öne çıkarmak için etkili bir yöntemdir. Spot ışıklar veya dar açılı projektörler kullanılarak, yeni gelen ürünler, özel indirimdeki ürünler veya mevsimlik ürünler gibi dikkat çekilmesi istenen noktalara odaklanılabilmektedir. Bu tür bir aydınlatma, ürünlerin daha değerli ve arzu edilir algılanmasına yardımcı olabilmekte ve müşterilerin ilgisini belirli alanlara yönlendirerek satışları artırabilmektedir (Areni and Kim, 1993). Örneğin, bir şarküteri reyonunda özel bir peynir çeşidi, üzerine odaklanmış sıcak tonlu bir spot ışıkla sergilendiğinde, müşteriler tarafından daha kolay fark edilecek ve daha cazip bulunacaktır.

LED teknolojisi, ürün sergileme ve görsel kalite açısından gıda marketlerine önemli avantajlar sunmaktadır. LED'lerin sunduğu geniş renk sıcaklığı seçenekleri, her ürün kategorisi için en uygun ışık renginin seçilmesine olanak tanımaktadır. Örneğin, fırın ürünleri için sıcak beyaz (yaklaşık 2700K-3000K) ışıklar davetkar bir atmosfer yaratırken, deniz ürünleri için soğuk beyaz (yaklaşık 5000K-6500K) ışıklar tazelik hissini pekiştirebilmektedir. Ayrıca, LED'lerin yüksek CRI değerleri, ürünlerin doğal renklerinin korunmasını sağlamaktadır. Uzun ömürleri ve düşük ısı yayımları, özellikle ısıya duyarlı

taze ürünlerin sergilendiği alanlarda bozulma riskini azaltmakta ve enerji maliyetlerini düşürmektedir (Singh vd., 2014). Dinamik aydınlatma çözümleri sayesinde, günün farklı saatlerine veya özel kampanyalara göre aydınlatma senaryoları kolayca değiştirilebilirken, bu da mağazanın görsel çekiciliğini ve esnekliğini arttırmaktadır.

Sonuç olarak, gıda marketlerinde ürünlerin sergilenmesi ve görsel kalitenin artırılması, doğrudan satışları etkileyen bir faktördür. Aydınlatma, bu süreçte renklerin doğru yansıtılmasından, ürünlerin vurgulanmasına ve olumsuz görsel etkilerin (göz kamaşması, gölge) minimize edilmesine kadar pek çok aşamada kritik bir rol oynamaktadır. LED teknolojisi, bu hedeflere ulaşmada sunduğu esneklik ve verimlilik ile modern gıda marketleri için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

2.2.3. Çalışan performansı ve güvenliği

Gıda marketleri, yoğun tempolu ve çeşitli görevlerin yerine getirildiği çalışma ortamlarıdır. Kasiyerlerden reyon görevlilerine, depocularından yöneticilere kadar geniş bir çalışan kadrosu, müşterilere hizmet vermek, ürünleri düzenlemek, stok takibi yapmak ve mağazanın genel işleyişini sağlamak gibi farklı sorumluluklar üstlenmektedir. Bu görevlerin etkin ve verimli bir şekilde yerine getirilebilmesi, çalışanların fiziksel ve zihinsel sağlığı ile doğrudan ilişkilidir. Aydınlatma, çalışanların performansı, motivasyonu, konforu ve en önemlisi güvenliği üzerinde önemli etkilere sahip bir faktördür.

Yeterli ve kaliteli bir aydınlatma, görsel görevlerin daha kolay ve doğru bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Örneğin, kasiyerlerin ürün barkodlarını okuması, etiketleri görmesi ve para üstünü doğru hesaplaması, reyon görevlilerinin ürünleri doğru yerleştirmesi, son kullanma tarihlerini kontrol etmesi ve fiyat etiketlerini düzenlemesi gibi görevler, iyi bir görüş keskinliği gerektirmektedir. Yetersiz aydınlatma, bu tür görevlerde hata yapma olasılığını artırabilmekte, işleri yavaşlatabilmekte ve çalışanların göz yorgunluğu yaşamasına neden olabilmektedir (Veitch and Newsham, 1998). Uluslararası standartlar (örneğin, ISO 8995-1 / CIE S 008) farklı çalışma alanları ve görevler için minimum aydınlık seviyelerini belirlemektedir. Bu standartlara uygun bir aydınlatma, çalışanların görsel konforunu ve dolayısıyla iş performansını artırılmaktadır.

Göz kamaşması ve rahatsız edici yansımalar, çalışanların performansını olumsuz etkileyen ve yorgunluğa neden olan önemli sorunlardır. Özellikle bilgisayar ekranlarının kullanıldığı (kasa, ofis alanları) veya parlak yüzeylerin bulunduğu (bazı reyonlar, zeminler) ortamlarda, yanlış konumlandırılmış ışık kaynakları veya uygun olmayan armatürler, ekranlarda veya yüzeylerde rahatsız edici parlamalara yol açmaktadır. Bu durum, çalışanların baş ağrısı, göz yorgunluğu ve konsantrasyon güçlüğü yaşamasına neden olabilmektedir (Wilkins, 1989). Ergonomik bir aydınlatma tasarımı, bu tür olumsuz etkileri minimize ederek daha sağlıklı ve verimli bir çalışma ortamı sağlamaktadır. LED aydınlatma armatürlerinde kullanılan difüzörler ve optik lensler, ışığın daha homojen dağılmasını sağlayarak ve parlamayı azaltarak bu konuda olumlu katkılar sunabilmektedir.

Aydınlatmanın çalışan motivasyonu ve ruh hali üzerindeki etkileri de göz ardı edilmemelidir. İyi aydınlatılmış, ferah ve davetkar bir çalışma ortamı, çalışanların kendilerini daha iyi hissetmelerine ve işlerine daha motive olmalarına yardımcı olmaktadır. Monoton, kasvetli veya yetersiz aydınlatılmış bir ortam ise çalışanların moralini düşürebilir ve iş tatminini azaltabilmektedir (Baron vd., 1992). Işığın renk sıcaklığı da bu konuda önemli etkiye sahiptir. Örneğin, gün ışığına yakın (soğuk beyaz) bir aydınlatma, özellikle gündüz saatlerinde çalışanların uyanıklığını ve dikkatini artırabilirken, akşam saatlerinde veya dinlenme alanlarında daha sıcak tonlardaki bir aydınlatma rahatlatıcı bir etki yaratmaktadır. İş güvenliği, gıda marketlerinde aydınlatmanın en önemli işlevlerinden biridir. Yeterli aydınlatma, koridorların, geçiş yollarının, depo alanlarının ve potansiyel tehlike oluşturabilecek noktaların (merdivenler, ıslak zeminler vb.) net bir şekilde görülmesini sağlayarak kayma, düşme, çarpma gibi kazaların önlenmesine yardımcı olmaktadır (IESNA, 2011). Acil durum aydınlatma sistemlerinin varlığı ve düzgün çalışması da, elektrik kesintisi gibi durumlarda güvenli tahliyeyi sağlamak için hayati öneme sahiptir. İyi aydınlatılmış bir çalışma ortamı, aynı zamanda hırsızlık ve diğer güvenlik risklerine karşı caydırıcı bir etki de oluşturmaktadır.

Çalışanların yoğun olarak bulunduğu depo ve hazırlık alanları gibi "arka ofis" bölgelerinde de aydınlatma kalitesi önemlidir. Bu alanlarda genellikle daha az dikkat edilse de, yetersiz aydınlatma, ürünlerin yanlış etiketlenmesi, stok hataları veya iş kazaları gibi sorunlara yol açmaktadır. Bu bölgelerde de görev odaklı ve yeterli seviyede aydınlatma sağlanması, operasyonel verimliliği ve güvenliği arttırmaktadır.

Sonuç olarak, gıda marketlerinde çalışan performansı ve güvenliği, işletmenin genel başarısı için temel unsurlardır. Aydınlatma, görsel görevlerin etkin bir şekilde yerine getirilmesinden, çalışanların konforu ve motivasyonunun artırılmasına ve en önemlisi güvenli bir çalışma ortamının sağlanmasına kadar pek çok alanda kritik bir rol oynamaktadır. İşletmelerin, sadece müşteri alanlarına değil, çalışanların bulunduğu tüm alanlara yönelik olarak standartlara uygun, ergonomik ve kaliteli bir aydınlatma sistemi kurması, hem insani hem de operasyonel açıdan önemli bir yatırımdır.

2.3. Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik

Yirmi birinci yüzyılın en belirleyici küresel sorunlarından biri olan iklim değişikliği ve doğal kaynakların hızla tükenmesi, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik kavramlarını hem bireyler hem de kurumlar için vazgeçilmez bir öncelik haline getirmiştir. Enerji, modern toplumların ve ekonomilerin temel itici gücü olmakla birlikte, geleneksel enerji üretim yöntemlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, daha temiz ve daha verimli enerji kullanım stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, aydınlatma sektörü, küresel enerji tüketimindeki önemli payı nedeniyle enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik çabalarında kilit bir rol oynamaktadır. Özellikle ticari binalar ve perakende sektörü, uzun operasyon saatleri ve geniş aydınlatılmış alanları ile enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir.

Gıda marketleri, doğası gereği enerji yoğun işletmelerdir. Soğutma sistemleri, HVAC (Isıtma, Havalandırma ve Klima) sistemleri ve aydınlatma, bu işletmelerin toplam enerji tüketimindeki en büyük kalemleri oluşturmaktadır. Bu nedenle, gıda marketlerinde enerji verimliliğinin artırılması hem işletme maliyetlerinin düşürülmesi hem de çevresel ayak izinin azaltılması açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu bölümde, aydınlatmanın enerji tüketimindeki yeri, LED teknolojisinin enerji verimliliğine sağladığı katkılar ve aydınlatma sektöründeki sürdürülebilirlik yaklaşımları detaylı bir şekilde incelenecektir.

2.3.1. Aydınlatmada enerji tüketimi

Aydınlatma, küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %15 ila %19'unu oluşturduğu tahmin edilmektedir (IEA, 2022; Zissis vd., 2018). Bu oran, aydınlatmanın enerji verimliliği potansiyelinin ne denli büyük olduğunu ve bu alanda yapılacak iyileştirmelerin küresel enerji tasarrufuna ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına önemli katkılar

sağlayabileceğini göstermektedir. Ticari binalarda ise aydınlatma, toplam elektrik tüketiminin %20 ila %40'ını, hatta bazı durumlarda daha fazlasını oluşturabilmektedir (U.S. Department of Energy, 2017). Gıda marketleri gibi geniş iç mekanlara, çeşitli reyonlara ve genellikle günün büyük bir bölümünde (hatta bazen 7/24) faaliyette olan işletmelerde, aydınlatma kaynaklı enerji tüketimi bu ortalamaların da üzerine çıkabilmektedir. Türkiye'de tüketilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %20'si aydınlatma için kullanılmaktadır, bu da konunun ulusal düzeydeki önemini pekiştirmektedir.

Geleneksel aydınlatma teknolojileri olan akkor lambalar, halojen lambalar, floresan lambalar ve metal halide lambalar, enerjinin önemli bir kısmını ışık yerine ısıya dönüştürerek ciddi verimsizliklere yol açmaktadır. Örneğin, bir akkor lamba, tükettiği elektriğin sadece %5 ila %10'unu görünür ışığa çevirirken, geri kalanı ısı olarak kaybolmaktadır (Mills, 2002). Floresan lambalar akkor lambalara göre daha verimli olsalar da (yaklaşık %20-25 verimlilik), cıva içermeleri ve ömürlerinin LED'lere kıyasla daha kısa olması gibi dezavantajlara sahiptirler. Metal halide lambalar ise yüksek ışık akısı sunmalarına rağmen, uzun ısınma süreleri ve renksel kararlılık sorunları yaşayabilmektedir. Aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimi, sadece kullanılan lambaların türüne ve gücüne değil, aynı zamanda armatürlerin tasarımına, optik verimliliğine, aydınlatma kontrol sistemlerinin varlığına ve kullanım alışkanlıklarına da bağlıdır. Verimsiz armatür tasarımları, ışığın hedeflenen alana etkin bir şekilde yönlendirilmesini engelleyerek ışık kayıplarına neden olabilmektedir. Aydınlatma kontrol sistemlerinin (örneğin, varlık sensörleri, gün ışığı sensörleri, dimleme sistemleri) kullanılmaması, gereksiz yere yanan lambalar nedeniyle önemli miktarda enerji israfına yol açabilmektedir. Ayrıca, bakım eksikliği (kirlenmiş armatürler, ömrünü tamamlamış lambalar) de aydınlatma sisteminin verimliliğini zamanla düşürmektedir.

Gıda marketlerinde, farklı reyonların farklı aydınlatma ihtiyaçları bulunmaktadır. Örneğin, genel dolaşım alanları için daha düşük aydınlık seviyeleri yeterli olabilirken, ürünlerin detaylı incelendiği taze gıda reyonları veya kasalar daha yüksek aydınlık seviyeleri gerektirebilir. Bu farklı ihtiyaçlara göre optimize edilmemiş, homojen ve aşırı aydınlatılmış sistemler, gereksiz enerji tüketimine neden olmaktadır. Aydınlatma tasarımında "görev aydınlatması" (task lighting) ve "ortam aydınlatması" (ambient lighting) prensiplerinin dengeli bir şekilde uygulanması, hem görsel konforu sağlamak hem de enerji tüketimini optimize etmek açısından önemlidir (IESNA, 2011).

Sonuç olarak, aydınlatmada enerji tüketimi, hem küresel hem de işletme bazında önemli bir maliyet ve çevre sorunudur. Geleneksel teknolojilerin verimsizliği ve yanlış aydınlatma uygulamaları, bu sorunu daha da derinleştirmektedir. Bu nedenle, enerji verimli aydınlatma teknolojilerine geçiş ve akıllı aydınlatma stratejilerinin benimsenmesi, enerji tüketiminin azaltılması ve sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunulması açısından kaçınılmazdır.

2.3.2. LED Teknolojisinin enerji verimliliğine katkısı

Işık Yayan Diyot (LED) teknolojisi, son yıllarda aydınlatma sektöründe devrim niteliğinde bir değişim yaratmış ve enerji verimliliği alanında önemli bir çözüm olarak öne çıkmıştır. LED'ler, geleneksel ışık kaynaklarına kıyasla sundukları üstün performans ve çevresel avantajlar sayesinde hızla yaygınlaşmaktadır (Pattison vd., 2017).

LED'lerin en belirgin avantajı yüksek enerji verimliliğidir. LED'ler, tükettikleri elektrik enerjisinin çok daha büyük bir kısmını doğrudan görünür ışığa çevirerek, akkor ve floresan lambalara göre önemli ölçüde daha az enerji harcanmaktadır. Güncel LED lambaların verimliliği 80-150 lm/W ve üzeri seviyelere ulaşmışken, bu değerler laboratuvar ortamında 200 lm/W'ı aşmaktadır (U.S. Department of Energy, 2021). Bu, akkor lambaların 10-17 lm/W ve floresan lambaların 50-100 lm/W verimlilikleriyle karşılaştırıldığında büyük bir fark anlamına gelmektedir.

Uzun ömür, LED teknolojisinin en önemli avantajlarından biridir. Kaliteli LED lambaların ömrü genellikle 25.000 ila 50.000 saat arasında değişmekte olup, bazı özel uygulamalarda 100.000 saate kadar çıkabilmektedir. Bu süre, akkor lambaların yaklaşık 1.000 saatlik ve floresan lambaların 8.000 ila 15.000 saatlik ömürleriyle karşılaştırıldığında oldukça yüksektir (Narendran and Gu, 2011; U.S. Department of Energy, 2017). Uzun ömür, lamba değiştirme sıklığını ve dolayısıyla bakım maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Özellikle gıda marketleri gibi erişimi zor veya sürekli operasyon gerektiren alanlarda bu durum büyük bir avantaj sağlamaktadır.

LED'ler, düşük ısı yayılımı sayesinde de enerji verimliliğine katkıda bulunurlar. Geleneksel ışık kaynakları, tükettikleri enerjinin önemli bir kısmını ısı olarak ortama yayarken, LED'ler çok daha az ısı üretirler. Bu durum, özellikle klimalı ortamlarda soğutma yükünü azaltarak dolaylı yoldan enerji tasarrufu sağlar. Gıda marketlerinde, özellikle soğutmalı reyonların

yakınında kullanılan aydınlatmaların düşük ısı yayması, ürünlerin kalitesinin korunması ve soğutma sistemlerinin daha verimli çalışması açısından önemlidir.

Anında tam parlaklıkta ışık verme özelliği, LED'lerin bir diğer pratik avantajıdır. Metal halide gibi bazı geleneksel ışık kaynakları tam parlaklığa ulaşmak için belirli bir ısınma süresine ihtiyaç duyarken, LED'ler açıldıkları anda maksimum ışık seviyesine ulaşırlar. Bu, özellikle sık açılıp kapanan alanlarda veya anlık aydınlatma ihtiyacı olan durumlarda enerji tasarrufu ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

Çevresel açıdan bakıldığında, LED'ler cıva gibi zararlı ağır metaller içermemeleri nedeniyle daha çevre dostu bir seçenektir. Floresan lambaların bertarafı, içerdikleri cıva nedeniyle özel prosedürler gerektirirken, LED'lerin bu tür bir sorunu bulunmamaktadır. Daha az enerji tüketmeleri sayesinde karbon emisyonlarının azaltılmasına da dolaylı olarak katkıda bulunurlar (IEA, 2018).

Ayrıca, LED teknolojisi tasarım esnekliği sunar. Küçük boyutları, farklı renklerde ve renk sıcaklıklarında üretilebilmeleri, kolayca dim edilebilmeleri ve akıllı kontrol sistemleriyle entegre olabilmeleri, mimarların ve aydınlatma tasarımcılarının daha yaratıcı ve amaca yönelik aydınlatma çözümleri geliştirmelerine olanak tanır. Gıda marketlerinde, farklı reyonların atmosferini ve ürünlerin çekiciliğini artırmak için bu esneklikten faydalanılabilir. Her ne kadar LED'lerin ilk yatırım maliyeti geleneksel sistemlere göre daha yüksek olabilse de, sağladıkları enerji tasarrufu, uzun ömürleri ve düşük bakım maliyetleri sayesinde toplam sahip olma maliyetleri (Total Cost of Ownership - TCO) genellikle daha düşüktür. Bu durum, LED dönüşümünü uzun vadede ekonomik olarak cazip bir yatırım haline getirmektedir. Çalışmamızın temelini oluşturan fayda-maliyet analizi de tam olarak bu ekonomik rasyonaliteyi ortaya koymayı hedeflemektedir.

2.3.3. Aydınlatmada sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler

Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılamak olarak tanımlanmaktadır (Brundtland Komisyonu, 1987). Enerji, sürdürülebilir kalkınmanın temel bileşenlerinden biridir ve aydınlatma sektörü, enerji tüketimindeki önemli payı nedeniyle sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir etkiye sahiptir. Aydınlatmada sürdürülebilirlik, sadece enerji verimli

teknolojilerin kullanımını değil, aynı zamanda kaynakların etkin kullanımını, çevresel etkilerin minimize edilmesini ve sosyal sorumlulukları da içeren bütüncül bir yaklaşımı ifade etmektedir.

Aydınlatmanın çevresel etkileri temel olarak enerji üretimi ve tüketimi aşamalarında ortaya çıkar. Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi, sera gazı emisyonlarının (başta karbondioksit olmak üzere) en büyük kaynağıdır ve bu emisyonlar iklim değişikliğinin temel nedenidir (IPCC, 2021). Aydınlatma için tüketilen elektrik enerjisinin azaltılması, dolayısıyla enerji santrallerindeki fosil yakıt tüketiminin ve buna bağlı sera gazı emisyonlarının düşürülmesine doğrudan katkıda bulunur. LED teknolojisi gibi enerji verimli aydınlatma çözümlerine geçiş, bu bağlamda önemli bir emisyon azaltım potansiyeli sunmaktadır. Örneğin, uluslararası düzeyde tüm aydınlatma sistemlerinin LED'e dönüştürülmesi durumunda, yıllık CO₂ emisyonlarında yüz milyonlarca tonluk bir azalma sağlanabileceği tahmin edilmektedir (UNEP, 2017).

Enerji tüketiminin azaltılması, sadece sera gazı emisyonlarını değil, aynı zamanda enerji üretimi için gerekli olan su tüketimi, hava kirliliği ve katı atık oluşumu gibi diğer çevresel baskıları da hafifletir. Özellikle termik santraller, büyük miktarda su tüketmekte ve çeşitli hava kirleticileri yaymaktadır. Enerji talebinin düşürülmesi, bu olumsuz etkilerin azalmasına yardımcı olmaktadır.

Aydınlatma ürünlerinin yaşam döngüsü de çevresel etkiler açısından önemlidir. Lambaların üretimi, taşınması, kullanımı ve bertarafı süreçlerinde çeşitli kaynaklar tüketilmekte ve atıklar oluşmaktadır. LED lambaların geleneksel lambalara göre daha uzun ömürlü olması, daha az sıklıkta değiştirilmelerini sağlayarak üretim ve bertaraf kaynaklı çevresel yükü azaltır. Ayrıca, LED'lerin cıva gibi tehlikeli maddeler içermemesi, atık yönetimi açısından önemli bir avantajdır. Floresan lambaların içerdiği cıvanın doğaya karışması durumunda ciddi sağlık ve çevre sorunlarına yol açabileceği bilinmektedir (Boudou vd., 2006).

Işık kirliliği, aydınlatmanın bir diğer önemli çevresel etkisidir. Özellikle dış aydınlatmada yanlış tasarlanmış veya aşırı güçlü ışık kaynaklarının kullanımı, gökyüzünün doğal karanlığını bozarak astronomik gözlemleri zorlaştırır, ekosistemler üzerinde (özellikle gece aktif canlılar ve göçmen kuşlar) olumsuz etkilere yol açar ve insan sağlığını (uyku düzeni vb.) etkileyebilir (CIE, 2003; Falchi vd., 2016). Sürdürülebilir aydınlatma tasarımı, ışığın

sadece hedeflenen alana yönlendirilmesini, gereksiz yere gökyüzüne veya komşu alanlara yayılmasını engelleyen armatürlerin kullanılmasını ve ihtiyaç duyulan minimum aydınlık seviyelerinin tercih edilmesini içerir. LED'lerin yönlendirilebilir ışık özellikleri ve gelişmiş optik tasarımları, ışık kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olabilmektedir.

Kaynakların etkin kullanımı da sürdürülebilir aydınlatmanın bir parçasıdır. Bu, sadece enerji kaynaklarını değil, aynı zamanda lambaların ve armatürlerin üretiminde kullanılan hammaddeleri de kapsar. Geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilmiş, modüler tasarıma sahip ve onarımı kolay aydınlatma ürünleri, kaynak verimliliğine katkıda bulunur. "Döngüsel ekonomi" prensipleri, aydınlatma sektöründe de giderek daha fazla önem kazanmaktadır; bu yaklaşım, ürünlerin ömrünü uzatmayı, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü teşvik ederek atık oluşumunu minimize etmeyi hedefler (European Commission, Ecodesign Directive).

Gıda marketleri özelinde sürdürülebilirlik, sadece enerji verimli aydınlatmaya geçişle sınırlı değildir. Aynı zamanda, gün ışığından maksimum düzeyde faydalanma (doğal aydınlatma), akıllı aydınlatma kontrol sistemleri ile gereksiz kullanımı önleme, yerel ve etik kaynaklardan tedarik edilen aydınlatma ürünlerini tercih etme gibi stratejileri de içerebilir. Aydınlatma sistemlerinin düzenli bakımı ve temizliği de enerji verimliliğini korumak ve ürün ömrünü uzatmak açısından önemlidir.

Sonuç olarak, gıda marketlerinde enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada aydınlatma stratejileri merkezi bir role sahiptir. LED teknolojisine geçiş, bu hedeflere ulaşmada önemli bir adım olmakla birlikte, ışık kirliliğinin önlenmesi, kaynakların etkin kullanımı ve bütünsel bir yaşam döngüsü yaklaşımının benimsenmesi, sürdürülebilir bir aydınlatma geleceği için vazgeçilmezdir. İşletmelerin bu konuda atacağı adımlar, hem ekonomik hem de çevresel açıdan uzun vadeli faydalar sağlayacaktır.

2.3.4. Ulusal ve uluslararası standartlar ve yönetmelikler

Aydınlatma sektöründe enerji verimliliğinin ve sürdürülebilir uygulamaların yaygınlaştırılması, sadece teknolojik gelişmeler ve işletme inisiyatifleriyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda ulusal ve uluslararası düzeyde oluşturulan standartlar, yönetmelikler ve politika araçlarıyla da desteklenmekte ve yönlendirilmektedir. Bu

düzenlemeler, minimum enerji performans seviyelerini belirlemek, enerji etiketlemesi yoluyla tüketicileri bilinçlendirmek, çevreye duyarlı tasarım prensiplerini teşvik etmek ve enerji yönetim sistemlerinin uygulanmasını özendirmek gibi çeşitli amaçlara hizmet etmektedir. Gıda marketleri gibi ticari işletmelerin aydınlatma sistemlerini tasarlarken ve yenilerken bu standart ve yönetmeliklere uyum sağlaması, hem yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesi hem de enerji verimliliği hedeflerine ulaşılması açısından kritik öneme sahiptir.

Uluslararası Standartlar ve Girişimler

Uluslararası düzeyde, enerji verimliliği ve sürdürülebilir aydınlatma konusunda birçok kuruluş ve girişim bulunmaktadır. Bunların başında Uluslararası Enerji Ajansı (IEA - International Energy Agency) gelmektedir. IEA, enerji politikaları konusunda üye ülkelere tavsiyelerde bulunan, enerji verimliliği teknolojileri ve uygulamaları üzerine kapsamlı raporlar ve analizler yayınlayan önemli bir kuruluştur. Özellikle IEA'nın "Energy Efficiency Market Report" gibi yayınları, aydınlatma dahil olmak üzere çeşitli sektörlerdeki enerji verimliliği trendlerini ve politika gelişmelerini takip etmek için değerli bir kaynaktır (IEA, 2023).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP - United Nations Environment Programme) da "en.lighten" gibi girişimleriyle, gelişmekte olan ülkelerde verimsiz aydınlatma teknolojilerinden enerji verimli alternatiflere geçişi hızlandırmayı amaçlamaktadır. Bu tür girişimler, politika desteği, teknik kapasite geliştirme ve farkındalık artırma faaliyetleri yoluyla küresel düzeyde enerji tasarrufuna katkıda bulunmaktadır (UNEP, 2017).

Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO - International Organization for Standardization) tarafından geliştirilen standartlar da enerji verimliliği alanında önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemleri Standardı, kuruluşların enerji performanslarını sürekli iyileştirmek için bir çerçeve sunar. Bu standart, enerji tüketiminin sistematik bir şekilde izlenmesi, analiz edilmesi, hedefler belirlenmesi ve enerji verimliliği projelerinin uygulanması için bir yol haritası sağlar. Gıda marketleri gibi işletmelerin ISO 50001 sertifikasyonu alması, enerji yönetimi konusundaki taahhütlerini ve başarılarını göstermeleri açısından önemlidir (ISO, 2018).

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE - Commission Internationale de l'Éclairage), aydınlatma bilimi ve teknolojisi alanında uluslararası standartları ve tavsiyeleri belirleyen temel kuruluştur. CIE yayınları, aydınlatma kalitesi, ölçüm yöntemleri, renksel geriverim, ışık kirliliği gibi konularda teknik rehberlik sağlar ve enerji verimli aydınlatma tasarımlarının temelini oluşturur (CIE, çeşitli yayınları). Örneğin, CIE S 008/E-2001 (ISO 8995-1 ile aynıdır) gibi standartlar, iç mekan çalışma alanları için aydınlatma gereksinimlerini tanımlar.

Avrupa Birliği (AB) düzeyinde, enerji verimliliği ve sürdürülebilir ürün tasarımı konusunda önemli yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Ekotasarım (Ecodesign) Direktifi (2009/125/EC) ve Enerji Etiketlemesi Yönetmeliği ((EU) 2017/1369), aydınlatma ürünleri dahil olmak üzere enerji tüketen ürünler için minimum enerji performans standartları ve zorunlu enerji etiketlemesi gereklilikleri getirmektedir. Bu düzenlemeler, piyasadan verimsiz aydınlatma ürünlerinin aşamalı olarak kaldırılmasını ve tüketicilerin daha bilinçli tercihler yapmasını sağlamıştır (European Commission, Ecodesign; European Commission, Energy Labelling). Örneğin, akkor lambaların ve bazı verimsiz halojen lambaların AB pazarında satışı bu direktifler kapsamında aşamalı olarak yasaklanmıştır.

Ulusal standartlar ve yönetmelikler

Türkiye'de enerji verimliliği ve sürdürülebilir aydınlatma konuları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı başta olmak üzere çeşitli kamu kurumları tarafından yönetilmekte ve denetlenmektedir. 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (2007), Türkiye'de enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik temel yasal çerçeveyi oluşturmaktadır. Bu kanun, binalarda, sanayide ve ulaşımda enerji verimliliğini teşvik edici mekanizmalar, enerji yöneticiliği, enerji etütleri ve farkındalık artırma faaliyetleri gibi konuları kapsamaktadır. Kanunun uygulanmasına yönelik olarak çeşitli yönetmelikler çıkarılmıştır.

Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği (Resmi Gazete Tarihi: 05.12.2008, Sayısı: 27075), yeni ve mevcut binaların enerji performansını iyileştirmeyi amaçlayan en önemli düzenlemelerden biridir. BEP Yönetmeliği, binaların mimari tasarımından yalıtımına, ısıtma-soğutma sistemlerinden aydınlatmasına kadar tüm enerji tüketen bileşenleri için minimum performans kriterleri ve hesaplama yöntemleri tanımlar. Aydınlatma özelinde, yönetmelik, enerji verimli ışık kaynaklarının ve armatürlerin kullanılmasını, aydınlatma

kontrol sistemlerinin entegrasyonunu ve gün ışığından etkin faydalanmayı teşvik eder. Gıda marketleri gibi ticari binaların enerji kimlik belgesi alması ve belirli enerji performans standartlarını karşılaması bu yönetmelik kapsamında zorunludur.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından yayınlanan standartlar da aydınlatma sistemlerinin tasarımı, performansı ve güvenliği açısından önemlidir. Özellikle TS EN 12464-1 "Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları" standardı, ofisler, eğitim kurumları, sağlık tesisleri ve perakende satış alanları dahil olmak üzere çeşitli iç mekan çalışma ortamları için minimum aydınlık düzeyleri, kamaşma sınırları ve renksel geriverim gibi aydınlatma kalitesi kriterlerini belirler. Gıda marketlerinin aydınlatma tasarımları yapılırken bu standardın gereklilikleri dikkate alınmalıdır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yürütülen Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planları (UEVEP), farklı sektörlerde enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik hedefleri ve stratejileri ortaya koymaktadır. Bu planlar kapsamında, aydınlatma sektöründe enerji verimli teknolojilere geçişi hızlandırmak, farkındalığı artırmak ve finansal destek mekanizmaları oluşturmak gibi çeşitli eylemler tanımlanmaktadır (ETKB, UEVEP yayınları). TEDAŞ'ın LED dönüşüm projeleri de bu tür ulusal stratejilerin bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) gibi meslek kuruluşları da aydınlatma projelerinin tasarımı ve uygulanması konusunda teknik standartlar ve rehberler yayınlarak sektördeki kaliteyi artırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır.

Yeşil bina sertifikasyon sistemleri

Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik performansını değerlendiren ve belgelendiren uluslararası yeşil bina sertifikasyon sistemleri de aydınlatma tasarımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) gibi sistemler, binaların enerji tüketimi, su verimliliği, malzeme seçimi, iç mekan kalitesi gibi çeşitli kriterlere göre değerlendirilmesini sağlar. Aydınlatma, bu sistemlerde hem enerji verimliliği hem de iç mekan kalitesi (görsel konfor, gün ışığı kullanımı vb.) başlıkları altında önemli bir puanlama ağırlığına sahiptir (USGBC, LEED Reference Guides; BRE Global, BREEAM Technical Manuals). Gıda marketleri gibi ticari binaların bu tür sertifikalara sahip olması, hem çevresel sorumluluklarını göstermeleri hem de marka değerlerini artırmaları açısından

giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu sertifikasyon sistemleri, tasarımcıları daha verimli ve kaliteli aydınlatma çözümleri geliştirmeye teşvik etmektedir.

Sonuç olarak, gıda marketlerinde aydınlatma sistemlerinin tasarımı ve yenilenmesi süreçlerinde, ulusal ve uluslararası düzeyde geçerli olan standartlar, yönetmelikler ve en iyi uygulama rehberlerinin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Bu düzenlemeler, sadece yasal bir zorunluluk olmanın ötesinde, enerji verimliliğinin maksimize edilmesi, işletme maliyetlerinin düşürülmesi, çevresel etkilerin azaltılması ve kullanıcı konforunun artırılması için değerli bir çerçeve sunmaktadır. Bu çalışmada incelenen LED aydınlatma dönüşüm projelerinin başarısı da, büyük ölçüde bu standart ve yönetmeliklerin ruhuna uygun bir şekilde planlanıp uygulanmalarına bağlı olacaktır.

2.4. Aydınlatma Standartlarına Göre Kullanım Ömrünün Belirlenmesi

Modern aydınlatma sistemlerinin, özellikle katı hal aydınlatma (SSL) teknolojisine dayalı LED armatürlerin performansı ve güvenilirliği, bir dizi ulusal ve uluslararası standart tarafından düzenlenmektedir. Bu standartlar, bir ürünün temel güvenlik şartlarından performans beyanlarının doğruluğuna kadar geniş bir yelpazede, üreticiler için bağlayıcı bir çerçeve oluşturmakta ve son kullanıcılar için bir teknik güvence mekanizması teşkil etmektedir. Bu bağlamda, aydınlatma armatürlerinin ömrü, geleneksel aydınlatma kaynaklarından farklı olarak, ani bir bozulmadan ziyade performans düzeyindeki kademeli değişimler üzerinden tanımlanmakta ve bu tanımın geçerliliği, ilgili standartlara uyumluluk ile doğrudan ilişkili olarak ifade edilmektedir.

Bir aydınlatma armatürünün güvenli ve uzun ömürlü bir şekilde çalışabilmesi, tek bir bileşenin değil, bütünsel sistemin standartlara uygunluğuna bağlıdır. Bu sistemin temelini, armatürlerin genel güvenlik kurallarını ve deneylerini tanımlayan TS EN 60598-1 standardı oluşturmaktadır. Bu ana standart, bir armatürün yapısal bütünlüğü, elektriksel güvenliği (izolasyon, topraklama), termal performansı (ısınma limitleri) ve ürün üzerinde bulunması zorunlu olan işaretlemeler gibi kritik konularda üreticiye bağlayıcı zorunluluklar getirmektedir. Bu çerçevenin tamamlayıcı bir unsuru olarak TS EN 62031 standardı ise, armatürün "ışık motoru" olarak kabul edilen LED modüllerinin güvenlik özelliklerini spesifik olarak ele almaktadır. Dolayısıyla, bir armatürün güvenli olarak kabul edilebilmesi için, hem genel yapısının hem de temel ışık kaynağı bileşeninin ilgili güvenlik standartlarına

uygun olması gerekmektedir (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2013a; Türk Standartları Enstitüsü, 2015).

Sistemin fiziksel ömrü ve çevresel koşullara dayanıklılığı, mahfaza koruma sınıfları ile belirlenmektedir. TS EN 60529 standardı ile tanımlanan IP (Ingress Protection) kodu, armatürün katı cisimlere (toz) ve sıvılara (su) karşı koruma seviyesini belirtmektedir. Benzer şekilde, TS EN 62262 standardı ile tanımlanan IK (Impact Protection) kodu, armatürün dış mekanik darbelere karşı dayanıklılığını sınıflandırmaktadır. Bir üreticinin bu kodları beyan etmesi durumunda, ilgili standartlarda belirtilen test prosedürlerini başarıyla geçmiş olması zorunludur (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2010; Türk Standartları Enstitüsü, 2014).

Aydınlatma sistemlerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri de standartlar kapsamında değerlendirilmektedir. TS IEC TR 62471 teknik raporu, lambaların ve lamba sistemlerinin fotobiyolojik güvenliğini analiz etmekte; özellikle mavi ışık tehlikesi gibi potansiyel risklere karşı ışık kaynaklarını sınıflandırmaktadır. Genel aydınlatma uygulamalarında, insan sağlığı için tehlike oluşturmaması açısından armatürlerin genellikle RG0 (Risksiz) veya RG1 (Düşük Riskli) grubunda yer alması beklenmektedir (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2011).

Geleneksel aydınlatma kaynaklarının aksine, LED armatürlerin ömrü, ışık akısındaki kademeli azalma (lümen amortismanı) ile tanımlanan bir performans ölçütüdür. Bu ömrün ifade edilme biçimi ve beyanların doğrulanması, TS EN 62722-2-1 standardı tarafından düzenlenmektedir (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2013b). İlgili standart uyarınca, modern armatürlerin ömrü, $L_{xx}B_{yy}$ notasyonu ile ifade edilmektedir. L_{xx} terimi, armatürün belirtilen ömür sonunda başlangıçtaki ışık akısının yüzde kaçını (xx) koruyacağını (lümen bakımı), B_{yy} terimi ise bu süre sonunda armatür popülasyonunun yüzde kaçının (yy) L_{xx} lümen seviyesinin altına düşeceğini (istatistiksel arıza oranı) belirtmektedir. Örneğin, "L80B10 @ 60.000 saat" beyanı, 60.000 saatlik çalışma sonunda armatürlerin %90'ının, başlangıç ışık seviyelerinin en az %80'ini sağlayacağını taahhüt etmektedir.

Bu beyanların keyfi olmaması ve teknik bir temele dayanması zorunludur. Bu temeli, Aydınlatma Mühendisliği Derneği (IES) tarafından yayımlanan iki kritik standart oluşturmaktadır. IES LM-80, LED modüllerinin uzun süreli lümen bakım testlerinin nasıl yapılacağını tanımlarken, IES TM-21 ise bu testlerden elde edilen kısa dönemli verilerin

kullanılarak uzun vadeli ömür projeksiyonlarının (ekstrapolasyon) nasıl yapılacağını belirlemektedir (Illuminating Engineering Society [IES], 2011; Illuminating Engineering Society, 2015). Bir armatürün ömrünü belirleyen en kritik faktörlerden biri olan termal yönetim, TS EN 60598 standardı ile dolaylı olarak bu sürece dahil edilmektedir. Zira armatürün "in-situ" (yerindeki) çalışma sıcaklığı, TM-21 projeksiyonu için temel bir girdi teşkil etmektedir. Bunun yanı sıra, sistemin en hassas bileşenlerinden biri olan elektronik sürücünün ömrü ve armatürün fiziksel dayanıklılığı da (IP/IK kodları) sistemin bütünsel ömrünü doğrudan etkileyen faktörler arasında yer almaktadır.

2.5. Fayda-Maliyet Analizi

Kamu ve özel sektörde yatırım kararlarının alınmasında rasyonel bir temel oluşturan Fayda-Maliyet Analizi (FMA), bir projenin veya politikanın topluma veya kuruluşa sağlayacağı tüm faydaların, o proje veya politika için katlanılacak tüm maliyetlerle karşılaştırıldığı sistematik bir değerlendirme sürecidir. Temel amacı, kaynakların en etkin şekilde kullanılıp kullanılmadığını belirlemek ve sınırlı kaynaklarla maksimum faydayı elde etmeyi hedefleyen projeleri seçmeye yardımcı olmaktır (Boardman vd., 2018). Aydınlatma dönüşüm projeleri gibi enerji verimliliği yatırımları, genellikle önemli bir başlangıç maliyeti gerektirdiğinden, bu tür yatırımların ekonomik fizibilitesinin ve uzun vadeli getirilerinin FMA ile değerlendirilmesi, işletmelerin doğru yatırım kararları alması açısından hayati önem taşımaktadır.

Bu bölümde, FMA'nın tanımı ve temel ilkeleri, FMA'da kullanılan başlıca yöntemler ve bu analizin aydınlatma dönüşüm projeleri özelindeki uygulama alanları ele alınacaktır.

2.5.1. FMA'nın tanımı ve temel ilkeleri

Fayda-Maliyet Analizi (FMA), en basit tanımıyla, bir projenin veya alternatif eylem planlarının beklenen faydalarını ve maliyetlerini ölçmek, karşılaştırmak ve değerlendirmek için kullanılan bir analitik araçtır. FMA'nın temel mantığı, bir projenin faydaları maliyetlerinden büyükse (veya fayda/maliyet oranı birden büyükse), projenin ekonomik olarak kabul edilebilir olduğu varsayımına dayanmaktadır (Mishan and Quah, 2007). Ancak, bu basit mantığın ötesinde, FMA'nın uygulanması bir dizi karmaşık adımı ve dikkate

alınması gereken önemli ilkeleri içerir. FMA'nın temel ilkeleri şunlardır (Brent, 2006; Zerbe and Dively, 1994):

1. Kapsamlılık (Comprehensiveness): Analiz, projenin tüm olası faydalarını ve maliyetlerini, hem doğrudan hem de dolaylı, hem maddi hem de maddi olmayan unsurları dikkate almalıdır. Örneğin, bir LED aydınlatma dönüşüm projesinin faydaları sadece enerji tasarrufuyla sınırlı kalmayıp, azalan bakım maliyetleri, artan ürün satışları (daha iyi sergileme sayesinde) veya iyileşen çalışan verimliliği gibi dolaylı faydaları da içerebilir. Benzer şekilde, maliyetler sadece ilk yatırım maliyetini değil, aynı zamanda eski sistemlerin söküm ve bertaraf maliyetlerini de kapsayabilir.

2. Parasal Değerleme (Monetization): Mümkün olduğunca, tüm fayda ve maliyetler ortak bir ölçü birimi olan parasal değere dönüştürülmelidir. Bu, farklı nitelikteki fayda ve maliyetlerin karşılaştırılabilir hale gelmesini sağlar. Ancak, bazı faydaların (örneğin, artan estetik değer, azalan çevresel kirlilik) veya maliyetlerin (örneğin, gürültü kirliliği) doğrudan parayla ölçülmesi zor olabilir. Bu durumlarda, çeşitli dolaylı değerlendirme teknikleri (örneğin, koşullu değerlendirme, hedonik fiyatlandırma) kullanılabilir veya bu unsurlar kalitatif olarak değerlendirilip karar alma sürecine dahil edilebilir.

3. Zaman Değeri (Time Value of Money): Paranın zaman değeri ilkesi, FMA'nın temel taşlarından biridir. Gelecekte elde edilecek faydaların veya katlanılacak maliyetlerin bugünkü değeri, bugünkü bir liradan daha azdır. Bu nedenle, farklı zaman dilimlerinde ortaya çıkan fayda ve maliyetler, bir iskonto oranı kullanılarak bugünkü değere indirgenmelidir. Bu işlem, projelerin zaman içindeki nakit akışlarını adil bir şekilde karşılaştırmayı mümkün kılar. İskonto oranının doğru belirlenmesi, FMA sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilir.

4. Marjinal Analiz (Marginal Analysis): Bazı durumlarda, bir projenin "yapılıp yapılmaması" yerine, "ne kadar yapılması" gerektiği sorusu önem kazanır. Marjinal analiz, projenin ölçeğindeki küçük bir değişikliğin yaratacağı ek fayda ve ek maliyeti karşılaştırarak optimal proje büyüklüğünü belirlemeye yardımcı olur.

5. Alternatiflerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Alternatives): FMA, genellikle tek bir projenin değil, birden fazla alternatif projenin veya eylem planının karşılaştırılmasında kullanılır. Analiz, her bir alternatifin fayda ve maliyetlerini değerlendirerek, en yüksek net faydayı sağlayan veya en iyi fayda/maliyet oranına sahip olan alternatifi belirlemeyi amaçlar. "Hiçbir şey yapmama" (status quo) seçeneği de genellikle bir alternatif olarak değerlendirilir.

6. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis): FMA'da kullanılan birçok parametre (iskonto oranı, fayda ve maliyet tahminleri vb.) belirsizlikler içerebilir. Duyarlılık analizi, bu kilit parametrelerdeki değişikliklerin proje sonuçları üzerindeki etkisini inceleyerek, analizin sağlamlığını test etmeye yardımcı olur. Bu, karar vericilere farklı senaryolar altında projenin performansını anlama imkanı sunar.

FMA'nın uygulanma süreci genellikle şu adımları içerir (Atlassian, "Cost-Benefit Analysis Explained"):

- Projenin Tanımlanması ve Kapsamının Belirlenmesi: Analiz edilecek projenin veya alternatiflerin net bir şekilde tanımlanması.
- Fayda ve Maliyetlerin Belirlenmesi: Projeyle ilişkili tüm potansiyel fayda ve maliyetlerin listelenmesi.
- Fayda ve Maliyetlerin Ölçülmesi ve Parasal Değerlenmesi: Her bir fayda ve maliyet kaleminin uygun birimlerle ölçülmesi ve mümkünse parasal değere dönüştürülmesi.
- İskonto Oranının Belirlenmesi: Gelecekteki nakit akışlarını bugünkü değere indirmek için kullanılacak uygun iskonto oranının seçilmesi.
- Net Bugünkü Değer (NBD) veya Diğer Göstergelerin Hesaplanması: Projenin ekonomik fizibilitesini gösteren NBD, fayda/maliyet oranı gibi metriklerin hesaplanması.
- Duyarlılık Analizinin Yapılması: Kilit varsayımlardaki değişikliklerin sonuçlar üzerindeki etkisinin incelenmesi.
- Sonuçların Yorumlanması ve Önerilerin Geliştirilmesi: Analiz sonuçlarına dayanarak karar vericilere tavsiyelerde bulunulması.

Gıda marketlerinde aydınlatma dönüşümü gibi bir proje için FMA, işletme yöneticilerine yatırımın geri dönüşünü, kârlılığını ve risklerini net bir şekilde göstererek bilinçli kararlar almalarına yardımcı olur.

2.5.2. FMA’da kullanılan başlıca yöntemler ve göstergeler

Fayda-Maliyet Analizi'nde projelerin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek için çeşitli nicel yöntemler ve göstergeler kullanılır. Bu göstergeler, farklı projeleri karşılaştırmak ve yatırım kararlarına temel oluşturmak için önemli bilgiler sunar. Başlıca kullanılan yöntemler ve göstergeler şunlardır:

Net bugünkü değer (NBD):

NBD, bir projenin ömrü boyunca sağlayacağı tüm faydaların bugünkü değeri ile yine projenin ömrü boyunca yol açacağı tüm maliyetlerin bugünkü değeri arasındaki farktır. Fayda ve maliyetlerin bugünkü değere indirgenmesinde belirli bir iskonto oranı kullanılmaktadır (Denklem 1).

$$NPV = \sum \left(\frac{(B_t - C_t)}{(1 + r)^t} - I_0 \right) \quad (1)$$

- B_t : t yıldaki fayda
- C_t : t. yıldaki işletme maliyeti
- r: İskonto oranı
- t: Yıl (0, 1, 2, ..., n)
- n: Projenin ömrü
- I_0 : Başlangıç yatırım maliyeti

Karar kuralı genellikle şöyledir: Eğer $NPV > 0$ ise, proje ekonomik olarak kabul edilebilir ve kârlıdır. Birden fazla proje karşılaştırılıyorsa, en yüksek NPV'ye sahip olan proje tercih edilir (Ross vd., 2019). NPV, paranın zaman değerini dikkate alması ve projenin mutlak kârlılığını göstermesi nedeniyle en yaygın ve teorik olarak en sağlam kabul edilen yöntemlerden biridir.

İç verim oranı (İVO) :

İVO, bir projenin Net Bugünkü Değerini sıfıra eşitleyen iskonto oranıdır. Başka bir deyişle, projenin kendi içindeki kârlılık oranını gösterir. İVO hesaplandıktan sonra, işletmenin veya yatırımcının kabul edilebilir minimum getiri oranı (hurdle rate veya sermaye maliyeti) ile karşılaştırılır.

Karar kuralı: Eğer İVO > Kabul edilebilir minimum getiri oranı ise, proje kabul edilebilir. Birden fazla proje karşılaştırılıyorsa, en yüksek İVO'ya sahip olan proje genellikle daha cazip kabul edilir. Ancak, İVO'nun bazı durumlarda (örneğin, geleneksel olmayan nakit akışları, karşılıklı dışlayan projelerin sıralanması) yanıltıcı sonuçlar verebileceği ve NPV ile çelişebileceği unutulmamalıdır (Brealey vd., 2020).

Geri ödeme süresi:

Geri ödeme süresi, bir projenin başlangıç yatırım maliyetini, projenin ürettiği net nakit akışları (veya tasarruflar) ile ne kadar sürede geri kazandığını gösteren zaman dilimidir. Hesaplanması nispeten basittir ve projenin likidite riskini değerlendirmede kullanılır.

$$\text{Basit Geri Ödeme Süresi(Yıl)} = \frac{\text{Başlangıç yatırım maliyeti}}{\text{Yıllık net nakit akışı}} \quad (2)$$

Eğer yıllık nakit akışları eşit değilse, kümülatif nakit akışlarının başlangıç yatırımını karşıladığı yıl bulunur. İşletmeler genellikle daha kısa geri ödeme süresine sahip projeleri tercih ederler. Ancak, bu yöntem paranın zaman değerini dikkate almaz ve geri ödeme süresinden sonraki nakit akışlarını göz ardı eder, bu da önemli bir sınırlılığdır (Horngren vd., 2018). Bu tezin bulgular bölümünde de amortisman süresi olarak bu yöntem kullanılacaktır.

İskontolu geri ödeme süresi:

Basit geri ödeme süresinin paranın zaman değerini dikkate almaması sorununu çözmek için geliştirilmiştir. Bu yöntemde, gelecekteki nakit akışları bugünkü değere indirgendikten sonra geri ödeme süresi hesaplanır. Bu, basit geri ödeme süresinden her zaman daha uzun bir süre verir ve daha gerçekçi bir değerlendirme sunar.

Fayda/maliyet oranı (F/M Oranı):

F/M oranı, bir projenin beklenen toplam faydalarının bugünkü değerinin, beklenen toplam maliyetlerinin bugünkü değerine bölünmesiyle elde edilir.

$$BCR = \sum \frac{\frac{B_t}{(1+r)^t}}{I_0 + \sum \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

Karar kuralı: Eğer $BCR > 1$ ise, proje ekonomik olarak kabul edilebilir, çünkü faydalar maliyetlerden daha yüksektir. Bu oran, özellikle kamu projelerinin değerlendirilmesinde ve kaynakların sınırlı olduğu durumlarda projeleri önceliklendirmede kullanışlıdır (Campbell and Brown, 2003).

Yıllık eşdeğer maliyet/fayda:

Farklı ömürlere sahip projeleri karşılaştırmak için kullanılır. Projenin toplam bugünkü değer maliyeti veya faydası, projenin ömrü boyunca eşit yıllık taksitlere dönüştürülür. Bu, farklı ömürlü projelerin yıllık bazda karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

Aydınlatma dönüşüm projelerinin değerlendirilmesinde, bu yöntemlerden birkaçı bir arada kullanılabilir. Örneğin, NBD projenin mutlak kârlılığını gösterirken, geri ödeme süresi yatırımın ne kadar hızlı geri döneceği hakkında fikir verir. İVO ise projenin getiri oranını sermaye maliyetiyle karşılaştırma imkanı sunar. Bu tez çalışmasında, özellikle enerji tasarruflarının düzenli olması beklendiğinden, basit geri ödeme süresi hesaplaması pratik bir gösterge olarak kullanılacaktır. Daha kapsamlı bir ekonomik analiz için NBD ve İVO gibi göstergelerin de hesaplanması faydalı olabilir.

2.6. Aydınlatma Dönüşüm Projeleri Üzerine Yapılmış Önceki Çalışmalar

Aydınlatma teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, özellikle LED (Işık Yayan Diyot) sistemlerinin yaygınlaşması, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda dünya genelinde ve Türkiye'de çok sayıda aydınlatma dönüşüm projesinin hayata geçirilmesine olanak sağlamıştır. Bu projeler, kamu binalarından endüstriyel tesislere, ulaşım altyapılarından ticari işletmelere kadar geniş bir yelpazede uygulanmakta ve genellikle enerji tüketiminde önemli azalmalar, bakım maliyetlerinde düşüşler ve aydınlatma kalitesinde iyileşmeler sağlamaktadır. Bu bölümde, aydınlatma dönüşüm projeleri üzerine yapılmış bazı önemli ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenerek, bu projelerin hedefleri, uygulanan metodolojiler, elde edilen sonuçlar ve karşılaşılan zorluklar ele alınacaktır. Bu

literatür incelemesi, mevcut tez çalışmasının teorik zeminini güçlendirecek ve elde edilecek bulguların daha geniş bir perspektifte değerlendirilmesine katkıda bulunacaktır.

2.6.1. Kamu sektöründe aydınlatma dönüşüm projeleri

Kamu sektörü, geniş bina stoğu ve kamu hizmeti sorumluluğu nedeniyle enerji verimliliği ve aydınlatma dönüşümü konusunda öncü bir rol oynamaktadır. Birçok ülkede, kamu binalarında ve sokak aydınlatmasında enerji verimli teknolojilere geçişi hedefleyen kapsamlı programlar yürütülmektedir.

Türkiye'de bu alandaki en önemli girişimlerden biri, Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) tarafından koordine edilen ve kamu binalarında enerji verimliliğini artırmaya yönelik LED aydınlatma dönüşüm projeleridir. TEDAŞ, LED'li yol aydınlatma armatürleri için teknik şartnameler yayınlamış ve bu standartlara uygun dönüşüm projelerini desteklemiştir. Bu projeler, özellikle eski tip cıva buharlı veya sodyum buharlı yol armatürlerinin LED armatürlerle değiştirilmesini kapsamaktadır. TEDAŞ (2023) tarafından yapılan açıklamalarda, bu dönüşümlerle %50'nin üzerinde enerji tasarrufu sağlanabildiği ve aydınlatma kalitesinde belirgin bir artış elde edildiği ifade edilmektedir. Bu projeler, sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda trafik güvenliğinin artırılmasına ve ışık kirliliğinin azaltılmasına da katkıda bulunmaktadır.

Benzer şekilde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından desteklenen ve kamu binalarında enerji verimliliğini artırmayı hedefleyen projeler kapsamında da aydınlatma dönüşümleri önemli bir yer tutmaktadır. ETKB (2019) tarafından yayınlanan raporlarda, 100'den fazla kamu binasında gerçekleştirilen LED dönüşümleri sonucunda ortalama %55 enerji tasarrufu sağlandığı, bakım maliyetlerinin düştüğü ve aydınlatma kalitesinin iyileştiği belirtilmiştir. Bu tür projeler, kamu kaynaklarının daha verimli kullanılmasına ve ulusal enerji tasarrufu hedeflerine ulaşılmasına önemli katkılar sunmaktadır.

Uluslararası düzeyde de benzer örnekler bulunmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde US Department of Energy (DOE) tarafından yürütülen "Solid-State Lighting Programı" kapsamında, belediyelerin sokak aydınlatmalarını LED'e dönüştürmeleri teşvik edilmekte ve bu dönüşümlerin sonuçları detaylı bir şekilde raporlanmaktadır. DOE (2018)

raporlarına göre, birçok şehirde LED sokak aydınlatması dönüşümleri ile %50 ila %70 arasında enerji tasarrufu sağlanmış ve bakım maliyetleri önemli ölçüde azaltılmıştır. Avrupa Birliği ülkelerinde de Ekotasarım Direktifi kapsamında verimsiz sokak aydınlatma lambalarının piyasadan çekilmesi ve enerji verimli alternatiflere geçiş hızlandırılmıştır (European Commission, 2019).

2.6.2. Ulaşım sektöründe aydınlatma dönüşüm projeleri

Ulaşım sektörü, istasyonlar, tüneller, havaalanları ve araç içi aydınlatma gibi çeşitli alanlarda yoğun aydınlatma ihtiyacı duyan bir diğer önemli sektördür. Bu alanlarda yapılacak LED dönüşümleri, hem enerji tasarrufu hem de güvenlik ve konfor açısından önemli faydalar sunmaktadır.

Metro İstanbul LED Dönüşüm Projesi, bu alandaki başarılı ulusal örneklerden biridir. Metro İstanbul (railwayturker.com), yolculu alanlarındaki T5 ve T8 floresan armatürleri LED sistemlerle değiştirerek yıllık enerji tüketimini 25.408 MWh'den 7.625 MWh'ye düşürmeyi ve toplam aydınlatma tüketiminde %70'e varan enerji tasarrufu sağlamayı hedeflemiştir. Bu dönüşümün, yaklaşık 1.529 TEP (Ton Eşdeğeri Petrol) enerji tasarrufu sağlaması ve Metro İstanbul'un toplam enerji tüketiminde %4'lük bir azalmaya yol açması beklenmektedir. Proje, sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda istasyonlardaki aydınlatma kalitesini artırarak yolcu konforunu ve güvenliğini de iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Hareket algılayıcı otomasyon sistemlerinin entegrasyonu da projenin enerji verimliliği potansiyelini daha da artıracaktır.

Dünya genelinde de birçok metro ve demiryolu işletmesi benzer LED dönüşüm projelerini hayata geçirmiştir. Örneğin, Londra Metrosu (Transport for London), istasyon ve tünel aydınlatmalarında LED teknolojisine geçerek hem enerji tüketimini azaltmış hem de bakım aralıklarını uzatarak operasyonel verimliliği artırmıştır (TfL, çeşitli sürdürülebilirlik raporları). Benzer şekilde, havaalanları da terminal binaları, aprondaki projektörler ve pist aydınlatmaları gibi alanlarda LED teknolojisine geçerek önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır (ICAO, "Guidance on LED Airfield Lighting", 2016).

2.6.3. Endüstriyel tesislerde aydınlatma dönüşüm projeleri

Endüstriyel tesisler, özellikle üretim hatları, depolar ve kalite kontrol alanları, yüksek aydınlık seviyeleri gerektiren ve genellikle uzun saatler boyunca aydınlatmanın açık olduğu mekanlardır. Bu nedenle, bu tesislerde aydınlatma kaynaklı enerji tüketimi oldukça yüksektir.

Tekstil sektörü örneği, endüstriyel tesislerde LED dönüşümünün potansiyel faydalarını göstermektedir. Bir iplik üretim fabrikasında mevcut 36W floresan lambaların yerine 32W LED lambaların kullanılmasıyla %40'a varan enerji tasarrufu sağlanmış ve yatırımın geri dönüş süresi 1,8 yıl olarak hesaplanmıştır. Başka bir tekstil fabrikasında ise 250 adet 250W metal halide armatürün yerine 150W LED armatürlerin kullanılmasıyla yıllık 175.000 kWh enerji tasarrufu, 63.000 TL maliyet tasarrufu ve 81 ton/yıl CO₂ emisyon azalımı sağlanmış, amortisman süresi ise 2 yıl olarak belirlenmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2022; Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği [ELDER], 2023). Bu örnekler, LED dönüşümünün endüstriyel tesislerde hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir.

Uluslararası literatürde endüstriyel tesislerde LED aydınlatma dönüşümünün faydalarını inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Kaldellis ve Zafirakis (2011) tarafından yapılan bir araştırmada, bir üretim tesisinde LED aydınlatmaya geçişin enerji tüketiminde önemli azalmalar sağladığı ve aydınlatma kalitesinde iyileşme getirdiği rapor edilmiştir. Benzer şekilde, Mills ve Schleich (2012) tarafından yapılan çalışmada, akıllı LED aydınlatma sistemlerinin entegre edildiği depolama tesislerinde %50-75 arasında enerji tasarrufu potansiyeli olduğu belirtilmiştir.

2.6.4. Ticari binalar ve perakende sektöründe aydınlatma dönüşüm projeleri

Gıda marketlerinin de içinde bulunduğu ticari binalar ve perakende sektörü, müşteri çekme ve satışları artırma hedefleri doğrultusunda aydınlatma kalitesine büyük önem veren alanlardır. Ancak, bu sektörde enerji verimliliği de giderek daha fazla ön plana çıkmaktadır.

Literatürde, perakende mağazalarında LED aydınlatma dönüşümünün etkilerini inceleyen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Narendran ve Gu (2011), LED aydınlatma

sistemlerinin enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığını ve renk kalitesini artırdığını belirtmiştir. Benzer şekilde, Kim ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, LED aydınlatmanın mağaza atmosferi üzerinde olumlu etkileri olduğu ve müşteri memnuniyetini artırdığı gösterilmiştir.

Gıda marketleri özelinde yapılan çalışmalar genellikle enerji tasarrufu ve ürünlerin görsel çekiciliği üzerine odaklanmaktadır. Candan ve Aksoy (2018), Türkiye'deki bir süpermarkette gerçekleştirdikleri LED dönüşümü uygulaması sonucunda enerji tüketiminde %40'a varan azalma ve aydınlatma kalitesinde gözle görülür iyileşme sağlandığını raporlamıştır. Bununla birlikte, LED dönüşümlerinin ekonomik fizibilitesi ve geri ödeme süreleri üzerine kapsamlı saha verilerine dayanan çalışmaların sayısı halen sınırlıdır. Bu tez çalışması, bu alandaki boşluğu doldurmaya önemli bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

2.6.5. Önceki çalışmalardan çıkarımlar ve araştırma boşluğu

İncelenen önceki çalışmalar, LED aydınlatma dönüşüm projelerinin farklı sektörlerde önemli enerji tasarrufu potansiyeli sunduğunu, bakım maliyetlerini azalttığını ve genellikle aydınlatma kalitesini iyileştirdiğini göstermektedir. Kamu sektörü, ulaşım altyapıları ve endüstriyel tesislerde bu tür dönüşümlerin başarılı bir şekilde uygulandığına dair çok sayıda kanıt bulunmaktadır. Fayda-maliyet analizleri, genellikle bu yatırımların ekonomik olarak fizibil olduğunu ve kabul edilebilir geri ödeme sürelerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, literatürde bazı araştırma boşlukları da göze çarpmaktadır. Bunlar:

1. *Sektörel Odak:* Gıda marketleri gibi spesifik perakende alt sektörlerine yönelik, detaylı saha verilerine dayalı kapsamlı fayda-maliyet analizlerinin sayısı görece azdır. Mevcut çalışmalar genellikle daha genel perakende veya ticari bina kategorilerine odaklanmaktadır.
2. *Yerel Bağlam:* Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, yerel ekonomik koşullar, enerji fiyatları, standartlar ve uygulama pratikleri dikkate alınarak yapılmış çalışmaların artırılmasına ihtiyaç vardır.

3. *Aydınlatma Kalitesi ve Diğer Faydaların Entegrasyonu:* Birçok FMA çalışması, öncelikli olarak enerji tasarrufu ve doğrudan ekonomik faydalara odaklanmaktadır. Aydınlatma kalitesindeki iyileşmelerin (lx artışı, CRI iyileşmesi vb.) müşteri davranışı veya çalışan verimliliği üzerindeki dolaylı etkilerinin parasal değerlemesi ve FMA'ya entegrasyonu konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.
4. *Uzun Vadeli Performans ve Teknolojik Eskime:* LED teknolojisi hızla gelişmektedir. Yapılan dönüşümlerin uzun vadeli performansı, potansiyel teknolojik eskime riskleri ve bu risklerin FMA'ya dahil edilmesi önemli bir konudur.

Bu tez çalışması, özellikle Türkiye'deki gıda marketleri bağlamında, LED aydınlatma dönüşümlerinin hem enerji tüketimi hem de aydınlık seviyeleri üzerindeki etkilerini gerçek saha verileriyle analiz ederek ve kapsamlı bir fayda-maliyet değerlendirmesi sunarak yukarıda belirtilen araştırma boşluklarından bazılarını doldurmayı amaçlamaktadır. Elde edilecek bulguların, hem sektör profesyonelleri hem de akademik çevreler için değerli bir kaynak oluşturması hedeflenmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu araştırmanın metodolojisi, gıda marketlerindeki aydınlatma dönüşümünün teknik ve ekonomik fizibilitesini bütünsel bir yaklaşımla analiz etmek üzere beş ardışık adımdan oluşan sistematik bir süreç üzerine kurgulanmıştır. İlk aşamada, kapsamlı bir literatür taraması aracılığıyla araştırma problemi netleştirilmiş ve çalışmanın temel amaçları tanımlanmıştır. Bu teorik çerçevenin ardından, araştırmanın evrenini oluşturan İstanbul'daki gıda marketleri arasından, veri paylaşımına açık olan ve aydınlatma dönüşümünü tamamlamış 53 işletme örneklem olarak belirlenmiştir. Bu örneklem üzerinden veri toplama aşamasına geçilmiş; enerji tüketimi, aydınlık seviyeleri ve yatırım maliyetleri gibi nicel veriler, sırasıyla enerji analizörleri, kalibrasyonlu lüksmetreler ve resmi mali belgeler aracılığıyla güvenilir bir şekilde temin edilmiştir. Bu yaklaşımın tercih edilme nedeni, analizin sadece teorik varsayımlara değil, sahadan toplanan ampirik ve doğrulanabilir verilere dayanmasını sağlamaktır. Dördüncü adımda, toplanan bu ham veriler, bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde detaylandırılacak olan zaman serisi analizi ve fayda-maliyet analizi gibi istatistiksel ve finansal modelleme teknikleri kullanılarak işlenmiştir. Son olarak, elde edilen bulgular, araştırmanın amaçları ve mevcut literatür ışığında yorumlanarak, projenin sonuçları ve sektöre yönelik önerileri yapılandırılmış bir biçimde raporlanmıştır. Bu bütüncül süreç, araştırmanın hem teorik bir temele oturmasını hem de pratik ve uygulanabilir sonuçlar üretmesini temin etmek amacıyla tasarlanmıştır.

3.1. Araştırma Probleminin Tanımlanması ve Analiz Çerçevesinin Oluşturulması

Araştırmanın ilk ve temel adımını, gıda perakendeciliği sektöründe aydınlatma dönüşümünün gerekliliğini ve fizibilitesini ortaya koyan araştırma probleminin tanımlanması oluşturmaktadır. Artan enerji maliyetleri ve ulusal enerji verimliliği hedefleri, işletmeleri mevcut aydınlatma sistemlerini daha verimli teknolojilerle değiştirmeye teşvik etmektedir. Ancak bu dönüşüm süreci, sadece enerji tasarrufu odaklı bir maliyet azaltma hedefi ile değil, aynı zamanda müşteri deneyimini doğrudan etkileyen görsel konfor gereksinimleriyle de şekillenmektedir. Ürünlerin doğru renksel geriverim ile sergilenmesi, yeterli aydınlık seviyelerinin (lx) sağlanması ve genel mağaza atmosferinin iyileştirilmesi gibi "konfor" odaklı hedefler, projenin başarısı için en az enerji tasarrufu kadar kritik bir rol oynamaktadır. Bu çift yönlü beklenti, çalışmanın temel problemini oluşturmaktadır: Gıda marketleri için bir LED aydınlatma dönüşüm projesi, hem operasyonel verimlilik ve tasarruf

sağlamalı hem de görsel konfor standartlarını karşılamalıdır. Dolayısıyla bu adım, projenin teknik ve ekonomik fizibilitesini bu iki ana eksen etrafında analiz edecek bir çerçevenin oluşturulmasını amaçlamaktadır.

Bu analitik çerçevenin sınırlarını ve temelini belirlemek amacıyla, konuyla ilgili mevcut standartlar, düzenlemeler ve akademik literatür kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle, armatürlerin güvenliği (TS EN 60598), performansı (TS EN 62722-2-1), çevresel dayanıklılığı (TS EN 60529) ve insan sağlığına etkileri (TS IEC TR 62471) gibi konuları düzenleyen bağlayıcı teknik standartlar, bir dönüşüm projesinin karşılaması gereken minimum teknik gereklilikleri tanımlamıştır. Bu standartlar, yapılacak olan yatırımın kalitesini, güvenilirliğini ve uzun vadeli performansını garanti altına alan temel dayanak noktaları olarak kabul edilmektedir. Bu incelemeler sonucunda, araştırma problemi; belirli bir yatırım maliyeti karşılığında, standartlara uygun bir aydınlatma sistemi kurarak hem ölçülebilir enerji tasarrufu elde etme hem de hedeflenen görsel konfor seviyelerine ulaşma arasındaki ilişkinin modellenmesi olarak nihai halini almıştır. Bu adım, araştırmanın sonraki aşamalarında hangi verilerin toplanacağını, bu verilerin nasıl analiz edileceğini ve projenin başarısının hangi metriklerle ölçüleceğini belirleyen bir yol haritası sunmaktadır.

3.2. Araştırma Evreninin ve Örneklemin Belirlenmesi

Araştırmanın evreni, Türkiye'nin en büyük metropolü ve en yoğun ticari faaliyet merkezlerinden biri olan İstanbul'daki gıda perakendeciliği sektörü olarak tanımlanmıştır. Bu coğrafi alanın seçilmesinin temelinde, şehrin kendine özgü sosyo-ekonomik dinamikleri yatmaktadır. İstanbul, yüksek nüfus yoğunluğu, rekabetçi perakende ortamı ve Türkiye ortalamasının üzerindeki operasyonel maliyetleri (kira, işçilik, enerji vb.) ile karakterize edilmektedir. Bu bağlamda, aydınlatma gibi temel bir gider kaleminde yapılacak verimlilik artışının, işletmelerin kârlılığı üzerindeki potansiyel etkisi, diğer bölgelere kıyasla daha belirgindir. Dolayısıyla, bir aydınlatma dönüşüm projesinin fayda-maliyet analizinin ve geri ödeme süresinin en kritik olduğu bu rekabetçi pazar, araştırmanın hipotezlerini test etmek için ideal ve temsili bir laboratuvar ortamı sunmaktadır.

Belirlenen evren içerisinden, araştırmanın amaçlarına uygun verileri sağlayabilecek bir örneklem oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, örneklem seçim kriterleri; LED aydınlatma dönüşümünü tamamlamış olmak, dönüşüm öncesi ve sonrası enerji tüketimi,

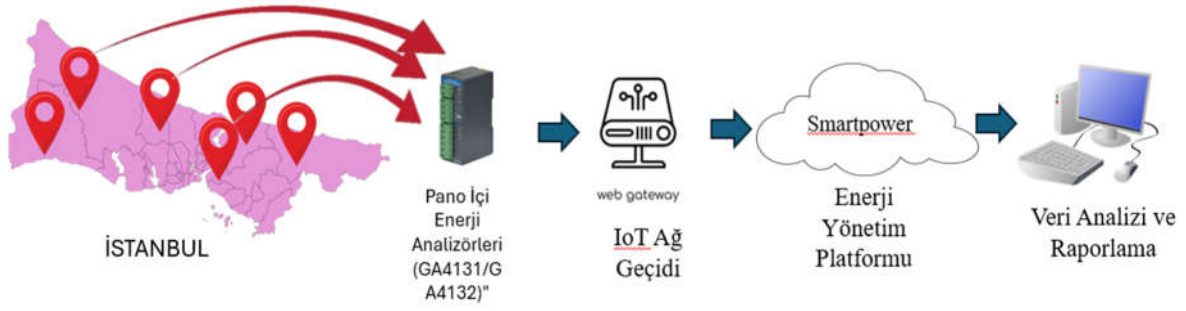
yatırım maliyetleri ve aydınlık seviyeleri gibi kritik verilere tam erişim sağlamayı kabul etmek ve bu verilerin doğrulanabilir nitelikte olması olarak belirlenmiştir. Bu titiz seçim süreci sonunda, farklı ölçek ve lokasyonlara sahip 53 adet gıda marketi nihai örneklemi oluşturmuştur. Bu aşamada toplanması hedeflenen temel veriler; enerji analizörlerinden elde edilen kWh cinsinden tüketim kayıtları, armatür ve montaj maliyetlerini içeren resmi faturalar ve kalibrasyonlu cihazlarla yapılmış lx ölçüm raporlarıdır. Ayrıca, işletmelerin dönüşümdeki birincil hedeflerinin (konfor veya tasarruf) kaydedilmesi, sonraki analiz adımlarında karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmasına zemin hazırlamıştır. Bu şekilde yapılandırılmış bir örneklem, projenin finansal ve teknik bulgularının genellenebilirliğini ve güvenilirliğini artırmaktadır.

3.3. Veri Toplama Metodolojisi ve Araçları

Araştırmanın bu aşaması, analizlerin temelini oluşturacak olan ham verilerin, tanımlanmış ve doğrulanabilir yöntemlerle elde edilmesini kapsamaktadır. Veri toplama süreci, projenin çok yönlü yapısını (teknik, ekonomik, operasyonel) yansıtacak şekilde üç ana kategoride yürütülmüştür: Enerji tüketim verileri, Aydınlık seviyesi (lx) ölçümleri ve Finansal maliyet verileri.

3.3.1. Enerji tüketim verilerinin elde edilmesi: IoT tabanlı izleme altyapısı

Projenin temelini oluşturan enerji tüketimi ve tasarrufu verilerinin yüksek doğruluk ve granüleritede elde edilmesi amacıyla, geleneksel fatura okuma yöntemleri yerine, Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı bir uzaktan izleme altyapısı kurulmuştur. Bu yaklaşımın tercih edilmesinin nedeni; faturalardaki olası yuvarlama hatalarını ortadan kaldırmak, sadece aydınlatma yükünü izole edebilmek ve anlık, günlük, aylık gibi farklı zaman dilimlerinde veri toplayarak daha derinlemesine analiz yapma imkanı sağlamasıdır. Kurulan bu altyapının sistem mimarisi, Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. 1. IoT Tabanlı enerji verisi toplama sistem mimarisi

Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, sistemin veri toplama süreci marketlerin elektrik panolarından başlamaktadır. Her bir marketin aydınlatma panosunun ana barasına, Grup Arge markasının GA4131 (X/5 A) ve GA4132 (CT30 AT) model Ray Tipi Güç Analizörleri entegre edilmiştir. Bu cihazlar, aydınlatma sisteminin elektriksel davranışını anlık olarak ölçen ve kaydeden temel veri kaynağıdır. Şekil 4.2'de, projede kullanılan analizörün bir örneği ve pano içi uygulaması görülmektedir.



Şekil 3. 2. Projede kullanılan GA4131 ray tipi güç analizörü

Analizörler tarafından toplanan veriler, endüstriyel standart olan RS-485 Modbus RTU protokolü aracılığıyla bir IoT ağ geçidine (gateway) iletilmektedir. Bu ağ geçitleri, topladıkları verileri mobil şebeke üzerinden bulut tabanlı merkezi bir platforma aktarmaktadır.

Verilerin toplandığı, depolandığı ve yönetildiği bulut katmanını, Smartpower enerji yönetim yazılımı tarafından sağlanmaktadır. Bu platform, www.enerjitaakibi.com adresi üzerinden

erişilebilen, gelen ham verileri işleyen, zaman damgasıyla (timestamp) etiketleyerek bir veri tabanına kaydeden ve kullanıcıların bu verileri analiz etmesine olanak tanıyan bir yazılım altyapısı sunmaktadır. Platformun arayüzü, her bir analizör için akım trafosu oranı gibi teknik parametrelerin uzaktan ayarlanmasına da imkan tanımaktadır. Bu merkezi yazılım altyapısı sayesinde, 53 marketin tamamından gelen veriler tek bir noktada toplanarak, dönüşüm öncesi ve sonrası aydınlatma tüketimlerinin tutarlı bir şekilde karşılaştırılması ve analiz edilmesi mümkün kılınmıştır.

Bu IoT tabanlı metodolojinin geleneksel yöntemlere göre sağladığı temel faydalar; veri doğruluğunun artırılması, sadece aydınlatma yükünün izole edilebilmesi, iş gücünden tasarruf ve anlık veri toplama kabiliyeti ile dinamik analizlere olanak tanımasıdır.

3.3.2. Aydınlatma seviyesi (lx) ölçümleri

Dönüşümün görsel konfor üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla, standartlara uygun ve periyodik kalibrasyonu yapılmış lüksmetreler kullanılmıştır. Ölçümler, her bir marketin farklı reyonlarında (manav, sütlük, genel alanlar vb.) dönüşüm öncesi ve sonrası olmak üzere iki ayrı fazda, standartlaştırılmış bir metodolojiyle gerçekleştirilmiştir.

3.3.3. Finansal verilerin temin edilmesi

Projenin fayda-maliyet analizinin temelini oluşturan yatırım maliyeti verileri, alanda hizmet veren özel bir aydınlatma firması ile yapılan anlaşma çerçevesinde temin edilmiştir. Bu maliyetlendirme, sadece armatür bedelini değil, projenin tamamını kapsayan ve ABD Doları (\$) üzerinden sabit birim fiyatlar içeren bir anahtar teslim proje bedeli olarak yapılandırılmıştır. Anlaşma; armatür, askı aparatları, kablolar, işçilik ve diğer tüm sarf malzemeleri kapsamaktadır. Bu yaklaşım, her bir mağaza için toplam yatırım maliyetinin, kullanılan malzeme miktarına göre şeffaf ve standart bir şekilde hesaplanabilmesini sağlamıştır.

3.4. Verilerin Analizi ve Fayda-Maliyet Metodolojisi

Araştırmanın bu aşamasında, sahadan toplanan ham veriler, projenin teknik ve finansal hedeflerini değerlendirmek amacıyla sistematik bir analiz sürecine tabi tutulmaktadır. Analizler, 3.2. bölümünde tanımlanan "Konfor Amaçlı Dönüşüm", "Tasarruf Amaçlı

Dönüşüm" ve "Tüm Firmalar" olmak üzere üç ayrı kategoride gerçekleştirilerek, farklı motivasyonların proje sonuçları üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.

3.4.1. Enerji tüketimi ve tasarruf analizi

Her bir marketin dönüşüm öncesi ("mevcut sistem") ve sonrası ("yeni sistem") enerji performansı, bir dizi standart denklem kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu denklemler, anlık güç tüketiminden yola çıkarak aylık maliyet ve tasarruf metriklerinin türetilmesini sağlamaktadır.

İlk olarak, bir aydınlatma sisteminin saatlik enerji tüketimi (P_{saat}), aşağıdaki denklem (7) ile hesaplanmaktadır:

$$P_{\text{saat}} = (G_{\text{amp}} * N_{\text{amp}}) / 1000 \quad (7)$$

Bu denklemde;

P_{saat} : Sistemin bir saatlik toplam enerji tüketimini (kWh),

G_{amp} : Kullanılan tek bir ampulün veya armatürün gücünü (Watt),

N_{amp} : Mağazada kullanılan toplam ampul veya armatür adedini ifade etmektedir.

Elde edilen saatlik tüketim verisi, işletmenin operasyonel süresi ile ilişkilendirilerek günlük ($P_{\text{gün}}$) ve aylık (P_{ay}) tüketim değerleri sırasıyla denklem (8) ve (9) aracılığıyla bulunmaktadır:

$$P_{\text{gün}} = P_{\text{saat}} * t_{\text{çalışma}} \quad (8)$$

$$P_{\text{ay}} = P_{\text{gün}} * 30 \quad (9)$$

Burada $t_{\text{çalışma}}$, mağazanın günlük ortalama çalışma saatini temsil etmektedir.

Aylık enerji tüketiminin finansal karşılığı olan aylık aydınlatma maliyeti (M_{ay}), ilgili dönem için geçerli olan ve nihai birim enerji fiyatı (F_{birim}) ile çarpılarak denklem (10) uyarınca hesaplanmaktadır:

$$M_{\text{ay}} = P_{\text{ay}} * F_{\text{birim}} \quad (10)$$

Dönüşümün sağladığı verimlilik artışı, yüzde cinsinden tasarruf oranı (R_{tasarruf}) ile ifade edilmektedir. Bu oran, yeni sistemin saatlik tüketiminin mevcut sistemin saatlik tüketimine oranının birden çıkarılmasıyla denklem (11) kullanılarak bulunmaktadır:

$$R_{\text{tasarruf}} (\%) = [1 - (P_{\text{saat_yeni}} / P_{\text{saat_mevcut}})] * 100 \quad (11)$$

Projenin finansal fizibilitesinin temelini oluşturan net aylık parasal kazanç, yani aylık tasarruf (S_{ay}), mevcut sistemin aylık maliyetinden yeni sistemin aylık maliyetinin çıkarılmasıyla denklem (12) ile belirlenmektedir:

$$S_{\text{ay}} (\text{TL}) = M_{\text{ay_mevcut}} - M_{\text{ay_yeni}} \quad (12)$$

3.4.2. Fayda-Maliyet analizi ve amortisman süresi

Projenin ekonomik olarak uygulanabilirliğinin temel göstergesi, yapılan yatırımın sağlanan tasarruflar aracılığıyla ne kadar sürede geri kazanılacağını ölçen fayda-maliyet analizidir. Bu analizin odağında, yatırımın geri ödeme (amortisman) süresinin hesaplanması yer almaktadır.

Toplam Yatırım Maliyeti ($C_{\text{yatırım}}$): Bu değer, yeni LED armatürlerin, ekipmanların ve montaj işçilik hizmetlerinin toplam maliyetini ifade etmektedir.

Aylık Net Fayda (S_{ay}): Denklem (12) ile hesaplanan ve dönüşüm sonrası her ay elde edilen net parasal tasarrufu temsil etmektedir.

Bu iki temel finansal gösterge kullanılarak, projenin amortisman süresi ($T_{\text{amortisman}}$), toplam yatırım maliyetinin aylık net faydaya bölünmesiyle denklem (13) aracılığıyla hesaplanmaktadır:

$$T_{\text{amortisman}} (\text{Ay}) = C_{\text{yatırım}} / S_{\text{ay}} \quad (13)$$

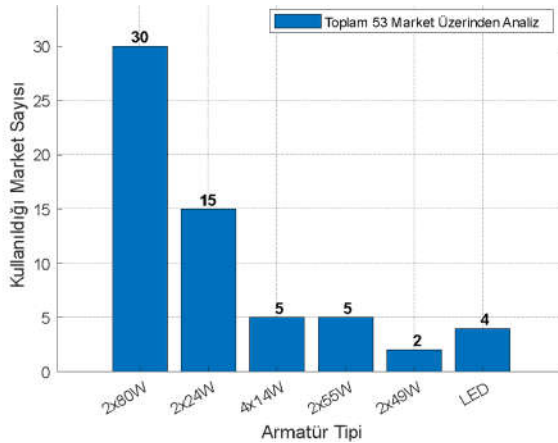
Bulgular bölümünde, bu metodoloji ile hesaplanan enerji tasarrufları, maliyetler ve amortisman süreleri; tablo, grafik ve istatistiksel veriler aracılığıyla sunulacak ve "Konfor", "Tasarruf" ve "Tüm Firmalar" kategorileri bazında karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

4. BULGULAR

Bu bölümde, araştırma kapsamında İstanbul ilindeki 53 adet gıda marketinden toplanan verilerin analizi sonucunda elde edilen bulgular sunulmaktadır. Bulgular, Yöntem bölümünde açıklanan adımlara paralel olarak, öncelikle incelenen gıda marketlerinin genel özelliklerini, ardından dönüşüm öncesi ve sonrası aydınlatma sistemlerinin durumunu (enerji tüketimi ve aydınlık seviyeleri açısından) ve son olarak da LED aydınlatma dönüşümünün fayda-maliyet analizi sonuçlarını içermektedir.

4.1. İncelenen Gıda Marketlerinin Genel Özellikleri

Çalışma kapsamında aydınlatma dönüşümü projesi için incelenen 53 adet marketin mevcut aydınlatma envanterini oluşturan armatür tiplerinin kullanım sayıları ve dağılımı Şekil 4.1’de göstermektedir. İlgili grafikte de görüldüğü üzere 2x80W Floresan T5 tipi armatürün 30 markette kullanımı ile en fazla kullanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunu, 15 markette bulunan 2x24W Armatür takip etmektedir. Diğer armatür tiplerinin dağılımı incelendiğinde, 4x14W ve 2x55W armatür tiplerinin her birinin 5'er markette, 2x49W tipi armatürün 2 markette ve LED tipi aydınlatmaların ise 4 markette kullanıldığı belirlenmiştir. Grafikte sunulan kullanım sayılarının toplamı (61), toplam market sayısından (53) fazladır. Bu fark, bazı marketlerde birden fazla çeşit armatürün bir arada kullanıldığı karma uygulamaların varlığından kaynaklanmaktadır. Veri tablosu incelendiğinde, 21 marketin bu şekilde karma aydınlatma kurulumuna sahip olduğu görülmektedir. İlgili aydınlatma dönüşümü verilerinin tamına EK-1’de yer verilmiştir.



Şekil 4. 1. Çalışma kapsamındaki marketlerde kullanılan mevcut armatür tiplerinin yaygınlık dağılımı

Araştırma kapsamına alınan marketler, İstanbul'un farklı ilçelerinde konumlanmakta olup, büyüklük ve operasyonel özellikler açısından çeşitlilik göstermektedir. Ortalama çalışma saatleri incelendiğinde, gıda marketlerinin genellikle günün büyük bir bölümünde faaliyette olduğu ve bu durumun aydınlatma kaynaklı enerji tüketimini önemli bir faktör haline getirdiği görülmektedir. Dönüşüm öncesinde marketlerin büyük bir çoğunluğunda ana aydınlatma kaynağı olarak T8 tipi floresan armatürlerin ve bazı durumlarda LED panellerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu geleneksel aydınlatma teknolojileri, enerji verimliliği açısından modern LED sistemlere kıyasla daha düşük performans sergilemektedir.

4.2. Dönüşüm Öncesi Aydınlatma Sistemlerinin Durumu

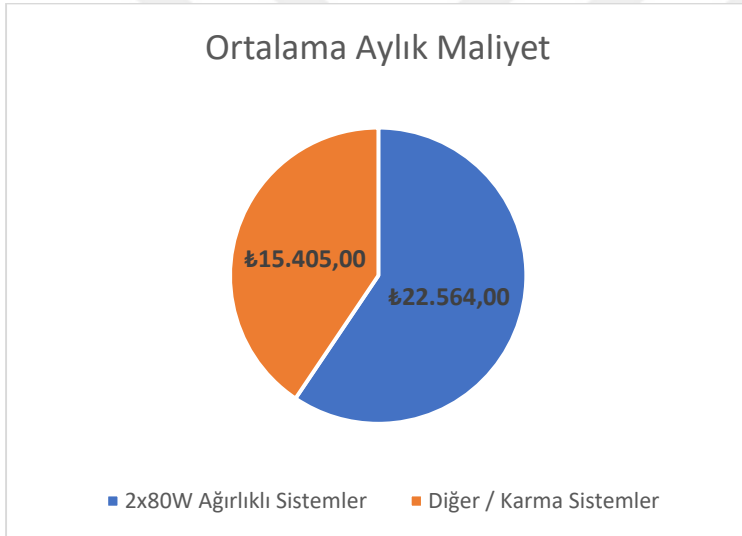
LED aydınlatma dönüşümü gerçekleştirilmeden önce, örneklemdeki marketlerin mevcut aydınlatma sistemlerinin enerji tüketim profilleri ve reyon bazlı aydınlık seviyeleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

4.2.1. Mevcut enerji tüketimleri

Dönüşüm öncesi dönemde, örnekleme oluşturan 53 marketin mevcut aydınlatma sistemlerinin envanteri çıkarılmış ve bu sistemlerin enerji performansları analiz edilmiştir. Her bir market için kullanılan armatürlerin tipleri, güçleri ve sayıları tespit edilerek, sistemlerin saatlik (kW) ve aylık (kWh) bazda enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Yapılan toplu analizlere göre, 53 marketin aydınlatma kaynaklı aylık toplam enerji tüketiminin 210.066 kWh olduğu belirlenmiştir. Bu tüketimin 2023 yılı Ocak ayı tarife bedeli referans alındığında şebekeye olan aylık toplam maliyeti ise 958.110 TL seviyesindedir. Bu genel veriler, market başına ortalama 3.964 kWh'lik bir aylık tüketime ve 18.078 TL'lik bir ortalama aylık maliyete işaret etmektedir. Bu değerler, projenin tamamlandığında elde edilecek potansiyel tasarrufun büyüklüğünü anlamak için temel bir referans noktası oluşturmaktadır.

Aydınlatma maliyetlerindeki bu yüksekliğin temel nedenlerini ve marketler arasındaki farklılıkları daha detaylı incelemek amacıyla, marketler baskın olarak kullandıkları ana armatür tipine göre kategorize edilmiştir. Bu sınıflandırmaya dayalı olarak yapılan ortalama maliyet analizi Şekil 4.2'de görselleştirilmektedir. Grafik, kullanılan aydınlatma

teknolojisinin türünün, doğrudan işletme maliyetlerine olan etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Yapılan analize göre, en yüksek ortalama maliyet, ağırlıklı olarak 2x80W Floresan T5 armatürlerin kullanıldığı market grubunda 22.564 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durum, bu armatürlerin yüksek enerji tüketiminin doğrudan aydınlatma maliyetlerine yansıdığını ve projenin en önemli maliyet kalemini oluşturduğunu göstermektedir. Ağırlıklı olarak 2x24W Armatür ve LED panel gibi daha modern veya düşük güçlü armatürlerin kullanıldığı "Diğer / Karma" kategorisindeki marketlerin ortalama maliyeti ise 15.405 TL olarak tespit edilmiştir. Bu karşılaştırma, 2x80W ağırlıklı bir marketin, 2x24W veya karma sistemlere sahip bir markete kıyasla ortalamada yaklaşık %46 daha fazla aylık aydınlatma maliyetine katlandığını sayısal olarak ortaya koymaktadır. Bu bulgu, enerji verimliliği düşük teknolojilerin değiştirilmesinin finansal gerekliliğini doğrulamaktadır.

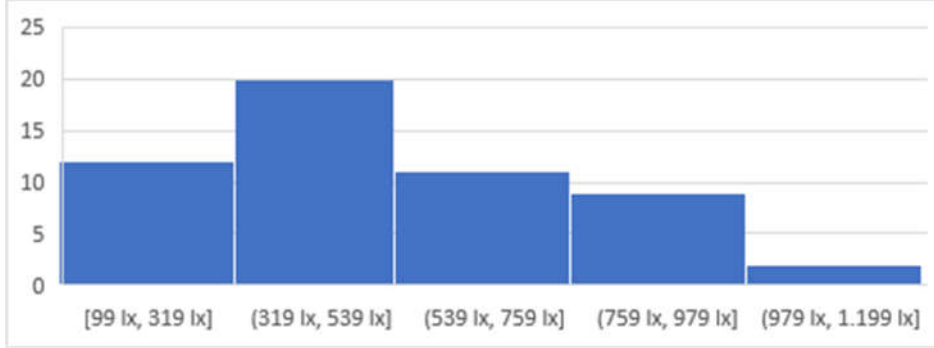


Şekil 4. 2. Ana armatür tipine göre ortalama aylık maliyet

4.2.2. Mevcut aydınlık seviyeleri

Dönüşüm projesinin temel gerekçelerinden biri olan mevcut aydınlatma koşullarının değerlendirilmesi amacıyla, 53 marketin tamamında kapsamlı aydınlık seviyesi (lx) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler, marketlerin genel alanlarındaki ortalama aydınlık düzeylerini belirleyerek, dönüşüm öncesi durumun nicel bir analizini sunmaktadır. Yapılan analizler sonucunda, 53 marketin dönüşüm öncesi ortalama aydınlık seviyesinin 513 lx olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu ortalama değer, marketler arasındaki aydınlatma seviyelerindeki önemli farklılıkları ve tutarsızlıkları tek başına yansıtmamaktadır. Bu

dağılımın daha detaylı incelenmesi amacıyla, elde edilen ölçüm verileri kullanılarak bir histogram oluşturulmuş ve Şekil 4.3'te sunulmuştur.



Şekil 4. 3. 53 Mağazanın dönüşüm öncesi ortalama aydınlık seviyelerinin dağılım histogramı

Şekil 4.3'te sunulan histogram, marketlerin aydınlık seviyeleri açısından ne denli heterojen bir yapıya sahip olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Histogram incelendiğinde, marketlerin en yoğun kümelendiği aydınlık seviyesi aralığının (319 lx, 539 lx] olduğu görülmektedir; bu aralıkta toplam 20 market yer almaktadır. Dikkat çekici bir diğer bulgu ise, 12 marketin aydınlık seviyesinin 319 lx'ün altında kalmasıdır. Bu iki aralığın toplamı, örneklemin yarısından fazlasını (%60'ını) oluşturmakta ve marketlerin büyük bir bölümünün aydınlatma seviyesinin 539 lx'ün altında yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durum, pek çok lokasyonda aydınlatmanın, ürün sergileme ve yeterli görsel konfor için önerilen standartların altında kalabileceğine işaret etmektedir.

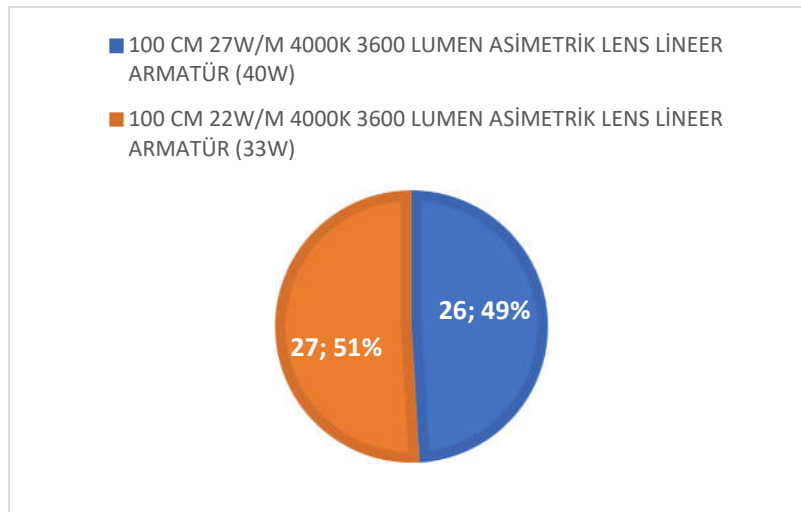
Dağılımın diğer ucunda ise, 759 lx'ün üzerinde aydınlatma seviyesine sahip toplam 11 market bulunmaktadır. Buna karşın, sadece 2 marketin 979 lx'ün üzerinde, oldukça yüksek bir aydınlık seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu geniş yelpaze (99 lx ile 1.199 lx arasında değişen değerler), dönüşüm öncesinde marketler genelinde bir aydınlatma standardının bulunmadığını doğrulamaktadır. Sonuç olarak, mevcut durumun bazı marketlerde yetersiz aydınlatma nedeniyle zayıf bir görsel deneyime, bazı marketlerde ise aşırı aydınlatma nedeniyle gereksiz enerji tüketimine yol açtığı ve bu durumun, hem konfor hem de verimlilik odaklı bir aydınlatma dönüşümünün gerekliliğini ortaya koyduğu tespit edilmiştir.

4.3. Dönüşüm Sonrası Teknik Değerlendirme

Bu bölümde, 53 marketin tamamında gerçekleştirilen aydınlatma dönüşümü sonrası kurulan yeni sistemlerin teknik özellikleri, uygulama detayları ve enerji tüketim performansları analiz edilmektedir.

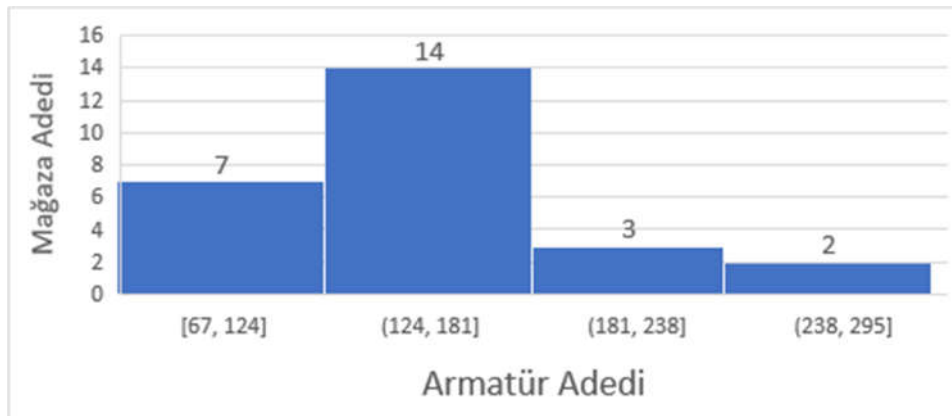
4.3.1. Yeni armatür tipleri, teknik özellikleri ve uygulama dağılımı

Dönüşüm projesinin temel hedeflerinden biri, mevcut durumdaki heterojen ve verimsiz aydınlatma altyapısını, standart, yüksek verimli ve uzun ömürlü bir sistemle değiştirmektir. Bu amaç doğrultusunda, tüm marketlerde "Linda Serisi 100 CM Lineer Market Aydınlatma Armatürü" kullanılmıştır. Projenin teknik şartnamesi ve üretici dokümanları incelendiğinde, bu armatürün seçimi, Bölüm 4.2'de detaylandırılan tüm temel standartları (TS EN 60598, TS EN 60529, TS EN 62722-2-1 vb.) karşılamaına dayanmaktadır. Armatürün alüminyum ekstrüzyon gövdesi, IP40 toza karşı koruma sınıfı, IK08 darbe dayanımı ve 125 lm/W gibi yüksek bir etkinlik faktörü, ürünün hem endüstriyel ortamlar için yeterli dayanıklılığa hem de yüksek enerji verimliliğine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, gıda aydınlatması için kritik bir özellik olan UV ve kızılötesi ışın içermeyen LED teknolojisi, ürünlerin tazeliğinin ve doğal renklerinin korunmasına olanak tanımaktadır. Uygulama esnasında, marketlerin tavan yüksekliği, reyon düzeni ve aydınlatma ihtiyacı gibi farklılıklarına göre esnek bir çözüm sunabilmek amacıyla iki farklı güç seviyesinde armatür kullanılmıştır. Kurulan yeni sistemde kullanılan armatür tiplerinin dağılımı Şekil 4.4'te gösterilmektedir.

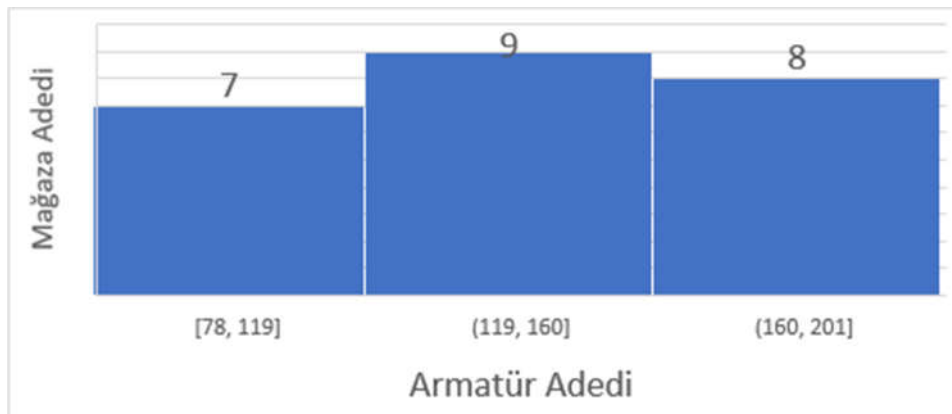


Şekil 4. 4. Proje genelinde kullanılan yeni armatür tiplerinin dağılımı

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, çalışma kapsamında neredeyse dengeli bir dağılım tercih edilmiştir. Toplam 53 marketin 27'sinde (%51) daha düşük güç tüketimine sahip olan 33W'lık model kullanılırken, geriye kalan 26 markette (%49) ise daha yüksek lümen paketine sahip 40W'lık modelin montajı yapılmıştır. Bu strateji, her bir lokasyonun kendine özgü aydınlatma ihtiyacını, enerji verimliliğinden ödün vermeden en uygun şekilde karşılamayı hedeflemektedir. Dönüşüm sonrası her bir markete monte edilen toplam armatür adedinin dağılımı ise Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sunulan histogramlar aracılığıyla incelenmektedir.



Şekil 4. 5. 40W lineer armatür kullanılan mağazalarda montajı yapılan armatür adedi dağılımı



Şekil 4. 6. 33W Lineer armatür kullanılan mağazalarda montajı yapılan armatür adedi dağılımı

Histogramlar incelendiğinde, 40W'lık modelin kullanıldığı marketlerde belirgin bir kümelenme olduğu görülmektedir. Bu gruptaki 26 marketin 14'ünde (%54), 124 ile 181 adet arasında armatür kullanılmıştır. Bu durum, bu marketlerin benzer büyüklükte veya aydınlatma ihtiyacında olduğunu düşündürmektedir. Öte yandan, 33W'lık modelin kullanıldığı marketlerde ise armatür adedi dağılımının daha homojen olduğu; 7, 9 ve 8 marketlik gruplar halinde farklı aralıklara yayıldığı gözlemlenmektedir. Bu bulgular, aydınlatma tasarımının her bir mağazanın fiziksel koşullarına göre özel olarak yapıldığını, ancak standartlaştırılmış iki temel ürün tipi üzerinden ilerlendiğini doğrulamaktadır.

4.3.2. Dönüşüm sonrası enerji tüketimleri ve elde edilen verimlilik

Projenin birincil hedeflerinden biri olan enerji verimliliğinin artırılması, dönüşüm sonrası kurulan standart ve yüksek verimli aydınlatma altyapısı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlere göre, projenin aylık toplam enerji tüketimi 210.066 kWh'ten 131.515 kWh'e gerilemiştir. Bu, proje genelinde %37,4'lük net bir enerji tasarrufu sağlandığını göstermektedir. Market başına düşen ortalama aylık tüketim ise 3.964 kWh'ten 2.481 kWh'e düşmüştür. Bu değerler, eski ve verimsiz teknolojilerin, modern ve standartlara uygun LED sistemleriyle değiştirilmesinin, enerji verimliliği ve operasyonel maliyetlerin düşürülmesi üzerindeki doğrudan ve ölçülebilir etkisini somut bir şekilde ortaya koymaktadır.

Uygulama esnasında, her bir markete monte edilen yeni armatür sayısı, belirli standartlar ve mühendislik hesaplamaları doğrultusunda belirlenmiştir. Armatür adedinin belirlenmesindeki temel amaç, her bir reyonun kendine özgü görsel ihtiyacını karşılayacak ve TS EN 12464-1 (İç Mekan Çalışma Alanları Aydınlatması) standardında belirtilen minimum aydınlık seviyelerini (lx) sağlayacak bir aydınlatma tasarımı oluşturmaktır. Reyonların büyüklüğü, tavan yüksekliği ve sergilenen ürün tipi gibi faktörler, her market için ayrı ayrı değerlendirilerek, optimum armatür sayısı hesaplanmıştır. Bu titiz planlama sonucunda, proje genelinde toplam 8.016 adet yeni armatür montajı yapılmıştır.

Proje genelinde market başına ortalama 151 adet yeni armatür kullanılmıştır. Kullanılan iki farklı armatür tipi bazında incelendiğinde ise; daha düşük güçteki 33W'lık modelin kullanıldığı marketlerde ortalama 150 adet armatür kullanılırken, daha yüksek güçteki 40W'lık modelin kullanıldığı marketlerde ise ortalama 152 adet armatür kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu yakın değerler, armatür gücü seçiminin, marketin toplam büyüklüğünden

ziyade, belirli reyonların spesifik aydınlatma ihtiyaçlarını karşılama hedefiyle yapıldığını göstermektedir. Bu metodoloji, enerji tüketimini minimize ederken görsel konforu maksimize etmeyi amaçlayan bir mühendislik yaklaşımının sonucudur. Dönüşüm sonrası elde edilen aydınlık seviyelerinin detaylı analizi ve bu standartlara uygunluğu, bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

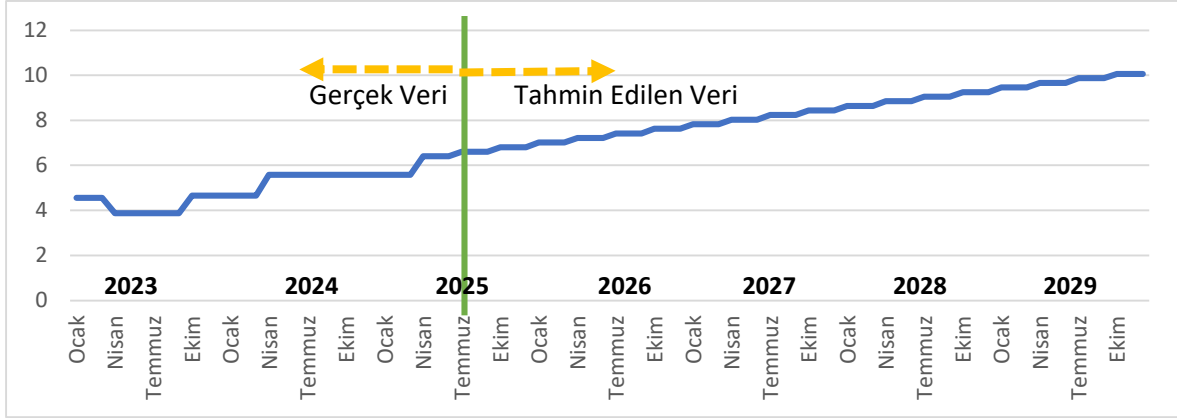
4.4. Finansal Analiz ve Modelleme

Bu bölümde, aydınlatma dönüşüm projesinin uzun vadeli ekonomik fizibilitesi ve sürdürülebilirliği, fayda-maliyet analizi prensipleri çerçevesinde incelenmektedir. Analizin temelini, gelecekteki enerji maliyetlerini ve döviz kurunu öngörmek için modellenen veriler ile projenin toplam yatırım maliyetinin detaylı bir dökümü oluşturmaktadır. Bu veriler, projenin geri ödeme süresini ve finansal verimliliğini, dönüşümün temel amacına (konfor veya tasarruf) göre sınıflandırarak analiz etmek için kullanılmıştır.

4.4.1. Finansal modelleme için gerekli tahminlerin oluşturulması

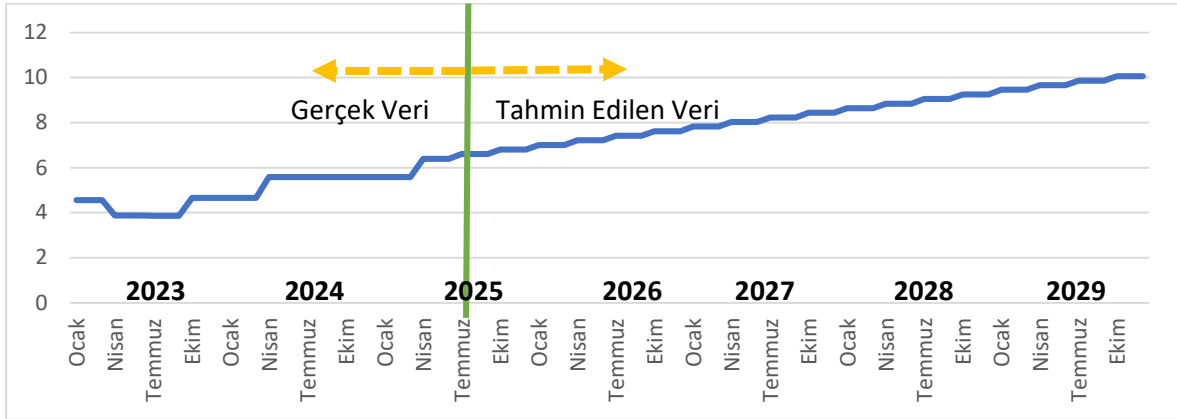
Projenin amortisman süresi, gelecekteki birkaç yılı kapsayan bir döneme yayıldığı için, finansal analizin sadece mevcut maliyet verileriyle yapılması yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, gelecekteki aylık tasarruf tutarlarını daha isabetli bir şekilde hesaplayabilmek amacıyla, iki temel finansal gösterge için öngörü modelleri oluşturulmuştur. Yöntem bölümünde detaylandırıldığı üzere, her iki tahminde tarihsel verilerdeki ana eğilimi (trend) temel alan Zaman Serisi Lineer Regresyon Modeli kullanılarak geliştirilmiştir.

Projenin sağlayacağı TL bazlı tasarrufları öngörmek için, 2023-2029 dönemine ait aylık nihai birim enerji fiyatları (TL/kWh) modellenmiştir. Modelin oluşturulmasında, 2023 Ocak - 2025 Haziran arasındaki gerçekleşmiş EPDK verileri kullanılmış ve bu dönemdeki trendin gelecek yıllarda da devam edeceği varsayılmıştır. Şekil 4.7, gerçekleşen ve tahmin edilen tarife bedellerini göstermektedir.



Şekil 4. 7. Gerçekleşen ve öngörülen aylık ortalama elektrik tarife bedeli (kWh/TL)

Projenin toplam yatırım maliyeti ABD Doları (\$) cinsinden yapıldığı için, bu maliyetin TL karşılığını ve projenin döviz kuru dalgalanmalarına karşı hassasiyetini analiz etmek amacıyla, 2023-2029 dönemi için aylık ortalama USD/TRY kuru tahmini oluşturulmuştur. Bu model de, 2023 Ocak - 2025 Haziran arasındaki TCMB verilerine dayanan tarihsel trendi esas almaktadır. Şekil 4.8, gerçekleşen ve tahmin edilen dolar kurunu göstermektedir.

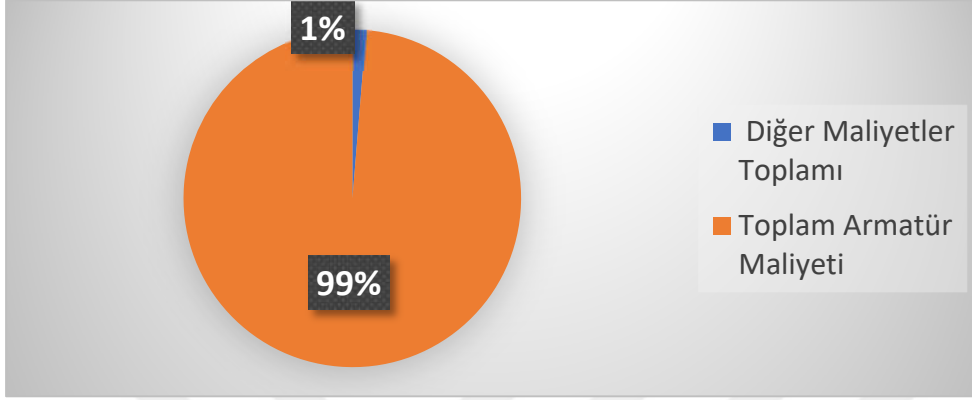


Şekil 4. 8. Gerçekleşen ve öngörülen aylık ortalama dolar kuru (USD/TRY)

4.4.2. Toplam yatırım maliyetinin belirlenmesi ve analizi

Projenin fayda-maliyet analizinin "maliyet" ayağını, 53 marketin tamamı için yapılan toplam yatırım harcaması oluşturmaktadır. Yapılan hakediş ve fatura analizlerine göre, projenin

KDV hariç toplam maliyeti 449.919 \$ olarak gerçekleşmiştir. Bu maliyetin bileşenleri incelendiğinde, projenin ana maliyet kaleminin armatür tedariki olduğu net bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.9, toplam maliyetin bileşenlere göre dağılımını göstermektedir.

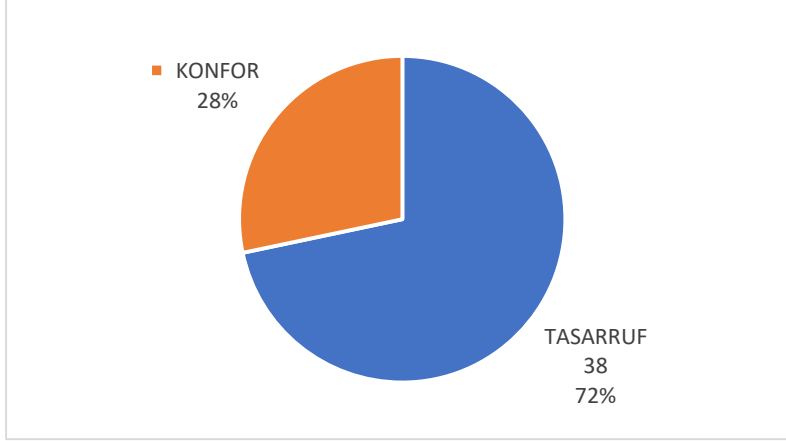


Şekil 4. 9. Proje toplam yatırım maliyetinin bileşenlere göre dağılımı

Şekil 4.9'da görüldüğü üzere, toplam yatırım maliyetinin %99'unu (\$443.987 \$) doğrudan armatürlerin maliyeti oluşturmaktadır. Kablo, askı teli, işçilik ve diğer sarf malzemeleri gibi kalemleri içeren "Diğer Maliyetler" ise toplam maliyetin sadece %1'ini (5.932 \$) teşkil etmektedir. Bu bulgu, projenin toplam maliyetini belirleyen en kritik faktörün, seçilen armatürün birim fiyatı olduğunu ve gelecekteki benzer projelerde maliyet optimizasyonunun doğrudan ürün tedariki üzerine odaklanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.4.3. Dönüşüm amacına göre karşılaştırmalı fayda-maliyet analizi

Araştırmanın bu son aşamasında, projenin finansal ve teknik başarısı, marketlerin dönüşümdeki temel motivasyonlarına göre sınıflandırılarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Firma tarafından taahhüt edilen ürün garantisi 5 yıl (60 ay) olarak verilmiştir. Bu nedenle, hesaplanan amortisman süresi 60 aydan fazla olan projeler, birincil hedefin tasarruf değil, aydınlık seviyesini ve kalitesini artırmak olduğu varsayılarak "Konfor Amaçlı" olarak sınıflandırılmıştır. Geri ödeme süresi 60 ayın altında olan projeler ise "Tasarruf Amaçlı" olarak kategorize edilmiştir. Şekil 4.10, bu sınıflandırmaya göre mağaza sayılarının dağılımını göstermektedir.



Şekil 4. 10. Dönüşüm amacına göre mağaza dağılımı

Proje genelinde, marketlerin %72'sinin (38 adet) tasarruf, %28'inin (15 adet) ise konfor odaklı bir dönüşüm projesi gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu iki grubun armatür maliyetleri referans alınarak hazırlanan finansal ve teknik performans metrikleri Çizelge 4.1'de özetlenmektedir. Tablodaki bulgular, yapılan sınıflandırmanın ne denli isabetli olduğunu ortaya koymaktadır. "Tasarruf Amaçlı" olarak sınıflandırılan 38 marketin ortalama amortisman süresi 28,3 ay gibi oldukça verimli bir seviyede iken, "Konfor Amaçlı" marketlerin ortalama amortisman süresi 60 ayın üzerindedir.

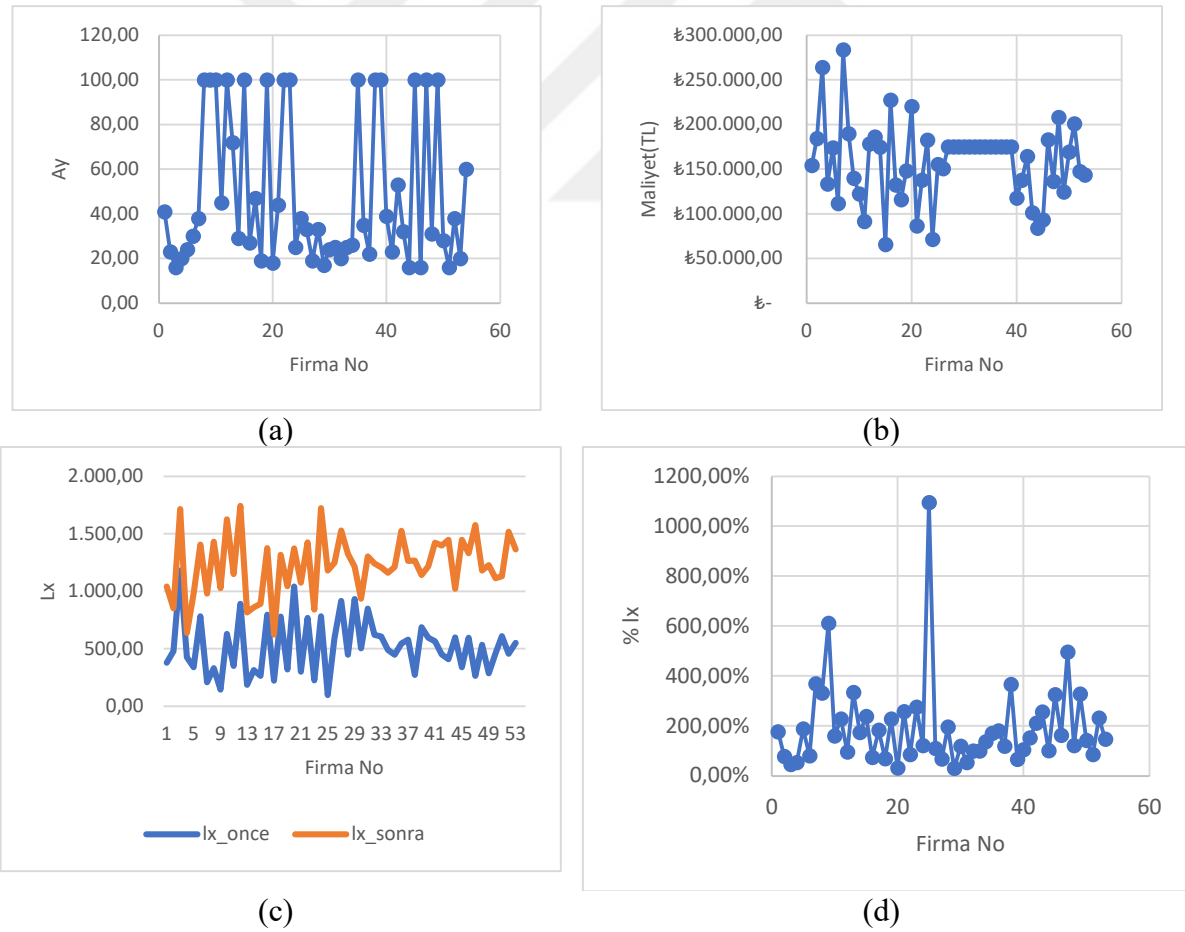
Çizelge 4. 1. Dönüşüm amacına göre karşılaştırmalı finansal ve teknik sonuçlar

	TASARRUF	KONFOR	TÜMÜ
MAĞAZA SAYILARI:	38	15	53
Dönüşüm maliyetleri (toplam)	\$327.526,44	\$118.988,70	\$446.515,14
Dönüşüm maliyetleri (ortalama)	\$8.619,12	\$7.932,58	\$8.424,81
Dönüşüm maliyetleri (toplam)	6.143.740,96₺	2.231.990,03₺	8.375.731,00₺
Dönüşüm maliyetleri (ortalama)	161.677,39₺	148.799,34₺	158.032,66₺
Ortlama amortisman süresi (hafta)	28,3	60>	
Dönüşüm öncesi lx (ortalama)	563 lx	404 lx	518 lx
Dönüşüm sonrası lx(ortalama)	1.220 lx	1.248 lx	1.228 lx
Ortalama kazanç (%lx)	216,72%	308,79%	237,04%

Bu finansal farklılığın temel nedeni, aydınlatma seviyelerindeki değişimde yatmaktadır. Bu durumu daha detaylı incelemek amacıyla, "Tasarruf Amaçlı" olarak sınıflandırılan 38

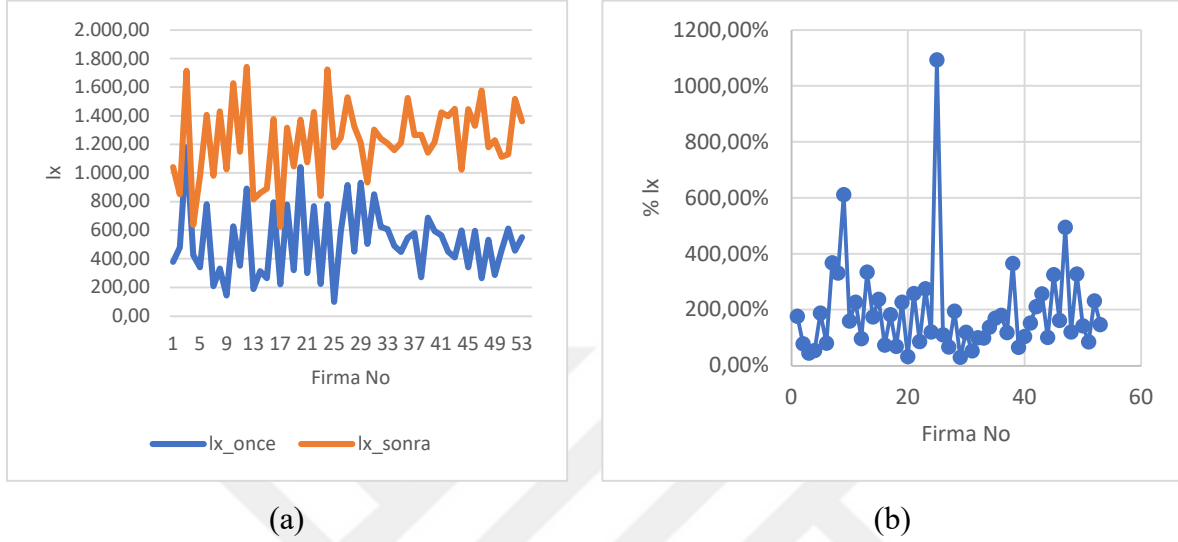
marketin bireysel performansları Şekil 4.11'de sunulan grafikler aracılığıyla analiz edilmiştir.

Şekil 4.11 a'da görüldüğü gibi, tasarruf grubundaki amortisman süreleri geniş bir yelpazede dağılım göstermekle birlikte, büyük çoğunluğu projenin hedefleriyle uyumlu olarak 60 ayın oldukça altında kalmaktadır. Bu grubun yatırım maliyetleri de Şekil 4.11 b'de incelendiğinde, genellikle 100.000 TL ile 200.000 TL arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu grubun en belirleyici özelliği ise Şekil 4.11 c'de ortaya çıkmaktadır; dönüşüm öncesi aydınlatma seviyeleri (lx_önce) zaten makul bir düzeyde iken, dönüşüm sonrası (lx_sonra) bu seviyeler daha da iyileştirilmiştir. Bu durum, Şekil 4.11 d'de %217 olarak hesaplanan ortalama aydınlatma kazancıyla sonuçlanmıştır.



Şekil 4. 11. Tasarruf amaçlı dönüşümün finansal ve teknik performans analizi: a) amortisman süresi (ay), b) yatırım maliyeti (tl), c) aydınlatma performans karşılaştırması (lx), d) aydınlatma kazancı (%)

Öte yandan, "Konfor Amaçlı" olarak sınıflandırılan marketlerin teknik performans analizi Şekil 4.12'de sunulmaktadır.



Şekil 4. 12. Konfor amaçlı dönüşümün teknik performans analizi: a) aydınlatma performans karşılaştırması (lx), b) aydınlatma kazancı (%)

"Konfor" grubundaki marketlerin en temel ortak özelliği, Şekil 4.12a'da da net bir şekilde görüldüğü gibi, dönüşüm öncesi aydınlatma seviyelerinin (lx_önce) istisnasız olarak çok düşük olmasıdır. Proje, bu marketlerdeki aydınlatma seviyesini dramatik bir şekilde artırarak ortalama 404 lx'ten 1.248 lx'e yükseltmiştir. Bu olağanüstü iyileştirme, Şekil 4.12b'de görülen ve ortalaması %309 olan aydınlatma kazancı ile sonuçlanmıştır. Yatırımın geri dönüş süresi daha uzun olsa da, bu grupta projenin temel hedefi olan görsel konforun sağlanması ve mağaza atmosferinin iyileştirilmesi hedefine başarıyla ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, projenin her iki segmentin de kendine özgü hedeflerini başarıyla karşıladığını göstermektedir: Tasarruf grubunda hızlı bir finansal geri dönüş sağlanırken, konfor grubunda düşük olan aydınlatma kalitesi standartların üzerine çıkarılarak müşteri deneyimi önceliklendirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, İstanbul ilindeki 53 adet gıda marketinde gerçekleştirilen LED aydınlatma dönüşüm projelerinin enerji verimliliği, aydınlatma kalitesi ve ekonomik fizibilitesi üzerine yapılan araştırmanın temel sonuçları özetlenmekte ve elde edilen bulgular doğrultusunda çeşitli paydaşlara yönelik öneriler sunulmaktadır. Analizler, işletmelerin dönüşümdeki temel motivasyonlarını ("Tasarruf Amaçlı" ve "Konfor Amaçlı") dikkate alarak karşılaştırmalı bir perspektifle ele alınmış ve projenin çok yönlü etkileri değerlendirilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen analizler neticesinde, araştırmanın temel sorularına yönelik aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Enerji Tüketimi ve Tasarrufu: İncelenen 53 marketin tamamında, geleneksel aydınlatma sistemlerinden LED teknolojisine geçiş, enerji tüketiminde istatistiksel olarak anlamlı ve büyük ölçekli bir azalma sağlamıştır. Proje genelinde, aydınlatma kaynaklı enerji tüketiminde ortalama %37,4 oranında net bir tasarruf elde edildiği tespit edilmiştir. Bu enerji tasarrufu, marketlerin aylık ve yıllık operasyonel giderlerinde doğrudan ve ölçülebilir bir maliyet düşüşüne yol açmıştır.

Aydınlatma Kalitesi ve Konfor Seviyeleri: Enerji tasarrufunun yanı sıra, aydınlatma dönüşümü projesi, marketlerin tamamında görsel konforu ve aydınlık seviyelerini dramatik bir şekilde iyileştirmiştir. Dönüşüm öncesi ortalama 513 lx olan genel aydınlık seviyesi, dönüşüm sonrasında ortalama 1.232 lx seviyesine yükselmiştir. Bu, proje genelinde ortalama %193'lük bir aydınlatma kazancı sağlandığını göstermektedir. Bu artış, özellikle dönüşüm öncesinde standartların altında kalan lokasyonları ortadan kaldırmış ve tüm marketlerde ürün sergileme kalitesini ve müşteri deneyimini olumlu yönde etkileyecek bir atmosfer oluşturmuştur.

Projenin başarısını belirleyen temel teknik faktörlerden biri, seçilen armatürlerin lümen performansıdır. Armatürlerin 125 lm/W gibi yüksek bir etkinlik faktörüne sahip olması, %37,4'lük enerji tasarrufunun temelini oluştururken; 5000 lm'e varan yüksek ışık akısı değerleri ise verimli optiklerle birleşerek ortalama aydınlık seviyelerinin %193 oranında

artırılmasını sağlamıştır. Bu sayede, daha az enerji ile daha fazla ve daha kaliteli ışık elde edilerek, projenin hem 'Tasarruf' hem de 'Konfor' hedeflerine aynı anda ulaşması mümkün kılınmıştır. Ayrıca, armatür başına yüksek lümen çıkışı, market başına ortalama 151 armatür gibi optimize edilmiş bir tasarımla hedeflenen aydınlık seviyelerine ulaşılmasına olanak tanıyarak, projenin yatırım maliyetinin de kontrol altında tutulmasına katkıda bulunmuştur. **Fayda-Maliyet Analizi ve Ekonomik Fizibilite:** Projenin toplam armatür yatırım maliyeti, market başına ortalama 8.425 \$ olarak gerçekleşmiştir. Bu yatırımın geri ödeme (amortisman) süresi, marketin dönüşümdeki öncelikli amacına göre belirgin bir farklılık göstermektedir.

Tasarruf Amaçlı olarak sınıflandırılan 38 markette, yatırımın ortalama geri ödeme süresi 28,3 ay gibi finansal olarak oldukça cazip bir sürede gerçekleşmiştir. Konfor Amaçlı olarak sınıflandırılan ve öncelikli hedefi düşük aydınlık seviyelerini iyileştirmek olan 15 markette ise, ortalama geri ödeme süresi 60 ayın üzerinde hesaplanmıştır. Bu grupta finansal geri dönüş daha uzun vadeli olsa da, projenin temel hedefi olan aydınlatma kalitesindeki olağanüstü artış (%309) başarıyla sağlanmıştır.

Elde edilen bulgular, İstanbul'daki gıda marketlerinde LED aydınlatma dönüşümünün, işletmenin önceliklerine göre şekillenen, çok yönlü faydalar sunan stratejik bir yatırım olduğunu ortaya koymaktadır. Proje, hem enerji verimliliğini artırarak önemli maliyet avantajları sağlamakta, hem de aydınlatma kalitesini iyileştirerek rekabetçi bir pazar ortamında müşteri deneyimini güçlendirmektedir. Yapılan fayda-maliyet analizi, bu tür bir yatırımın, her iki senaryoda da hedeflerine ulaşan, ekonomik olarak fizibil ve kârlı bir girişim olduğunu kanıtlamaktadır.

5.2. Öneriler

Araştırmadan elde edilen sonuçlar ışığında, gıda perakendeciliği sektöründeki enerji verimliliğini ve aydınlatma kalitesini artırmak amacıyla, farklı paydaşlara yönelik aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

Dönüşüm Hedefini Netleştirilmesi: Konfor mu, Tasarruf mı? Bu çalışma, aydınlatma dönüşümünün iki farklı stratejik amaca hizmet edebileceğini ortaya koymuştur. İşletmecilerin, yatırım kararı öncesinde kendi önceliklerini netleştirmeleri önerilmektedir.

Eğer temel hedef hızlı bir finansal geri dönüş ise, mevcut aydınlatma seviyeleri yeterli olan lokasyonlarda "Tasarruf Amaçlı" bir dönüşüm planlanmalıdır. Eğer öncelik, düşük aydınlatma kalitesini iyileştirerek müşteri deneyimini ve marka imajını güçlendirmek ise, daha uzun bir amortisman süresini göze alarak "Konfor Amaçlı" bir dönüşüm stratejisi benimsenmelidir.

İşletmeye Özgü Fizibilite Çalışması: Her marketin kendine özgü koşulları (büyüklük, tavan yüksekliği, reyon düzeni) bulunmaktadır. Bu nedenle, bir dönüşüm kararı öncesinde, işletmeye özel detaylı bir aydınlatma etüdü ve bu çalışmada sunulan metodolojiye benzer bir fayda-maliyet analizi yaptırılması, yatırımın doğru planlanması için kritik öneme sahiptir.

Standartlara Uygun, Kaliteli Ürünleri Tercihi: Projenin başarısı, kullanılan armatürlerin kalitesi ve standartlara uygunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Yatırım kararında sadece başlangıç maliyetine odaklanmak yerine, armatürlerin etkinlik faktörü (lm/W), performans ömrü (L80B10), garantisi ve termal yönetim kapasitesi gibi uzun vadeli verimliliği etkileyen teknik özelliklerinin sorgulanması tavsiye edilmektedir.

Akıllı Aydınlatma Kontrol Sistemlerini Entegre Edilmesi: Bu çalışma, sadece armatür değişimiyle elde edilen tasarruflara odaklanmıştır. Enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için, varlık sensörleri, gün ışığı sensörleri ve programlanabilir dimleme sistemleri gibi akıllı aydınlatma kontrol sistemlerinin LED dönüşümü ile birlikte entegre edilmesi, özellikle daha az kullanılan depo gibi alanlarda ek tasarruf potansiyeli sunacaktır.

Finansal Teşvik Mekanizmalarını Güçlendirilmesi: Ticari işletmelerin, özellikle KOBİ niteliğindeki gıda marketlerinin, enerji verimli aydınlatma dönüşümlerini gerçekleştirmelerini kolaylaştırmak amacıyla mevcut finansal teşvik mekanizmalarının (hibe, düşük faizli kredi, vergi avantajları vb.) gözden geçirilmesi ve yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Standart ve Yönetmeliklerle Düzenlenen Verimlilik Hedeflerinin Yükseltilmesi: LED teknolojisindeki hızlı gelişmeler dikkate alınarak, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve ilgili aydınlatma standartlarının (örn. TS EN 12464-1) düzenli olarak güncellenmesi ve

enerji verimliliği hedeflerinin yükseltilmesi, sektörün genel verimlilik seviyesini artıracaktır.

Farkındalık ve Bilgilendirme Çalışmaları: Enerji verimli aydınlatma teknolojilerinin, bu çalışmada da kanıtlandığı gibi, sadece maliyet tasarrufu sağlamadığı, aynı zamanda aydınlatma kalitesini ve dolayısıyla müşteri deneyimini de iyileştirdiği konusunda işletmelere yönelik bilgilendirme ve farkındalık artırma faaliyetlerinin artırılması gerekmektedir.

Aydınlatma Kalitesinin Müşteri Davranışları ve Satışlar Üzerindeki Nicel Etkilerinin Araştırılması: Bu çalışma, aydınlık seviyelerindeki artışı nicel olarak ortaya koymuştur. Gelecekteki araştırmalar, bu iyileşmenin müşteri memnuniyeti, mağazada kalma süresi ve satış gelirleri üzerindeki somut ve ölçülebilir etkilerini analiz ederek, "Konfor Amaçlı" dönüşümlerin finansal getirisini daha net bir şekilde modelleyebilir.

Farklı Coğrafi Bölgeler ve Perakende Sektörleri Üzerinde Çalışmaların Genişletilmesi: Bu çalışma İstanbul ile sınırlı kalmıştır. Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde ve gıda dışındaki diğer perakende sektörlerinde (giyim, elektronik vb.) yapılacak benzer çalışmalar, sonuçların genellenebilirliğini artıracak ve farklı sektörlerin verimlilik potansiyelini ortaya koyacaktır.

Akıllı Aydınlatma Sistemlerinin Ek Katkısının Analizi: LED dönüşümü ile birlikte uygulanan akıllı aydınlatma kontrol sistemlerinin sağladığı ek enerji tasarrufunun, bu çalışmada kullanılan IoT tabanlı izleme altyapısı ile hassas bir şekilde ölçülerek, bu sistemlerin fayda-maliyet analizlerinin ayrıntılı olarak yapılması, gelecekteki yatırım kararlarına ışık tutacaktır.

Uzun Vadeli Performans ve Yaşam Döngüsü Analizi: Bu çalışma, üretici beyanlarına dayalı bir performans ömrü analizi sunmuştur. Gelecekteki çalışmalar, kurulan LED sistemlerinin uzun vadeli performansını, potansiyel arıza oranlarını, ışık akısı kayıplarını (lümen amortismanı) ve toplam yaşam döngüsü maliyetlerini takip ederek daha kapsamlı bir ekonomik değerlendirme sunabilir.

KAYNAKLAR

- Areni, C. S. and Kim, D. (1993). The influence of in-store lighting on consumers' examination of merchandise in a wine store. *International Journal of Research in Marketing*, 10(1), 117-125.
- Areni, C. S. and Kim, D. (1994). The influence of in-store lighting on consumers' examination of merchandise in a wine store. *Advances in Consumer Research*, 21(1), 310-314.
- Baker, J., Parasuraman, A., Grewal, D. and Voss, G. B. (2002). The influence of multiple store environment cues on perceived merchandise value and patronage intentions. *Journal of Marketing*, 66(2), 120-141.
- Baron, R. A., Rea, M. S. and Daniels, S. G. (1992). Effects of indoor lighting (illuminance and spectral distribution) on the performance of cognitive tasks and interpersonal behaviors: The potential mediating role of positive affect. *Motivation and Emotion*, 16(1), 1-33.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R. and Weimer, D. L. (2018). *Cost-benefit analysis: Concepts and practice* (5th ed.). Cambridge University Press.
- Bodart, M. and Cauwerts, C. (2017). *Lighting in buildings*. John Wiley & Sons.
- Boudou, A., Ribeyre, F. and Maury-Brachet, R. (2006). Methylmercury in a tropical impoundment (Petit-Saut dam, French Guiana): sources, bioaccumulation and risks. *Environmental Science and Pollution Research*, 13(1), 1-10.
- Boyce, P. R. (2003). *Human factors in lighting* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Boyce, P.R. (2003). *Lighting for the built environment*. Routledge.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E. and Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405-6412.
- Brealey, R. A., Myers, S. C. and Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.
- Brent, R. J. (2006). *Applied cost-benefit analysis* (2nd ed.). Edward Elgar Publishing.
- Brundtland Komisyonu. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Cajochen, C., Münch, M., Kriebel, S., Kräuchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P. and Wirz-Justice, A. (2011). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(3), 1311-1316.

- Campbell, H. F. and Brown, R. P. (2003). Benefit-cost analysis: Financial and economic appraisal using spreadsheets. Cambridge University Press.
- Candan, B. ve Aksoy, A. (2018). LED retrofit project in a Turkish supermarket: Energy savings and lighting quality improvements. *Energy and Buildings*, 174, 93-101.
- CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). (2003). CIE 154:2003 Maintenance of outdoor lighting systems. CIE.
- CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). (2020). International Lighting Vocabulary (ILV) (2nd ed., CIE S 017/E:2020). CIE.
- Custers, P. J. M., de Kort, Y. A. W., IJsselsteijn, W. A. and de Kruiff, A. C. (2010). Lighting in retail: A review of the literature. *Lighting Research & Technology*, 42(3), 331-340.
- Cuttle, C. (2007). *Lighting by design*. Architectural Press.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2007). 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu. Resmi Gazete. Son Erişim Tarihi: [27.05.2025]
- European Commission. (2009). Commission Regulation (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. Official Journal of the European Union.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K. and Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6), e1600377.
- Flynn, J. E., Hendrick, C., Spencer, T. and Martyniuk, O. (1979). A guide to methodology procedures for measuring subjective impressions in lighting. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 8(2), 95-110.
- Horngren, C. T., Datar, S. M. and Rajan, M. V. (2018). *Cost accounting: A managerial emphasis* (16th ed.). Pearson.
- ICAO (International Civil Aviation Organization). (2016). *Guidance on LED Airfield Lighting* (Doc 9977). ICAO.
- IEA (International Energy Agency). (2022). *Energy Efficiency 2022*. IEA.
- IEA (International Energy Agency). (2023). *World Energy Outlook 2023*. IEA.
- IESNA (Illuminating Engineering Society of North America). (2011). *The IESNA Lighting Handbook* (10th ed.). IESNA.
- Illuminating Engineering Society. (2011). TM-21-11: Projecting long term lumen maintenance of LED light sources. Illuminating Engineering Society.

Illuminating Engineering Society. (2015). LM-80-15: Measuring lumen maintenance of LED light sources. Illuminating Engineering Society.

International Energy Agency (IEA). (2020). Energy Efficiency 2020. Paris: IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

ISO (International Organization for Standardization). (2018). ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use. ISO.

İnternet: Atlassian. (b.t.). Cost-Benefit Analysis Explained: A Step-by-Step Guide. URL: <https://www.atlassian.com/work-management/strategic-planning/cost-benefit-analysis> Son Erişim Tarihi: [27.05.2025]

İnternet: ELDER (Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği). (2023). LED Aydınlatma ve Enerji Verimliliği Raporu. URL: <https://www.elder.org.tr/Webkontrol/uploads/Fck/df7e73fd-07f2-4e84-b386-c846ecb499fa.pdf> Son Erişim Tarihi: [27.05.2025]

İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2017-2023). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planları. URL: <https://enerji.gov.tr> Son Erişim Tarihi: [27.05.2025]

İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2019). Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi Sonuç Raporu. URL: <https://enerji.gov.tr> Son Erişim Tarihi: [27.05.2025]

İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2022). Sanayi Sektörü Enerji Verimliliği Rehberi. URL: <https://enerji.gov.tr> Son Erişim Tarihi: [27.05.2025]

İnternet: European Commission. (2019). Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals. URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC115406/jrc115406_eug_pp_road_lighting_technical_report_1.pdf Son Erişim Tarihi: [25.06.2025]

İnternet: European Commission. (b.t.). Ecodesign. URL: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en Son Erişim Tarihi: [27.05.2025]

İnternet: European Commission. (b.t.). Energy Labelling. URL: https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/ecodesign-and-energy-label_en Son Erişim Tarihi: [19.06.2025]

İnternet: Li-Fi teknolojisi çalışma şekli. URL: <https://aydinlatma.org/li-fi-light-fidelity-nedir.html>. Son erişim tarihi: [29.05.2025]

İnternet: Metro İstanbul LED Dönüşüm Projesi. URL: Railwayturker.com. (b.t.). Son Erişim Tarihi: [29.05.2025]

İnternet: Renk sıcaklık skalası. URL: <https://ulight.com.tr/blog/color-kelvin>. Son erişim tarihi: [31.05.2025]

İnternet: TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.). (2023). LED'li Yol Aydınlatma Armatürleri Teknik Şartnamesi. URL: <https://www.tedas.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/2686c374-78c6-4770-95d9-c776c2cf854a.pdf> Son Erişim Tarihi: [19.06.2025]

İnternet: TfL (Transport for London). (Çeşitli Yıllar). Sustainability Reports. URL: <https://tfl.gov.uk/corporate/about-tfl/sustainability> Son Erişim Tarihi: [19.06.2025]

İnternet: U.S. Department of Energy (DOE). (2017). LED Lighting. Energy Saver. <https://www.energy.gov/energysaver/led-lighting> Son Erişim Tarihi: [19.06.2025]

İnternet: UNEP (United Nations Environment Programme). (b.t.). en.lighten Initiative. URL: <https://www.enlighten-initiative.org/> Son Erişim Tarihi: [19.06.2025]

Kaldellis, J. K. and Zafirakis, D. (2011). The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. *Renewable Energy*, 36(7), 1887-1901.

Karlen, M. and Benya, J. (2004). *Lighting design basics*. John Wiley & Sons.

Kim, S., Park, H. and Lee, J. (2017). Effects of LED lighting on customer behavior and perception in retail environments. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 34, 287-294.

Knez, I. (1995). Effects of indoor lighting on mood and cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 15(1), 39-51.

Mills, E. (2002). The \$230 billion global lighting energy bill. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 22(1), 25-55.

Mills, E. and Schleich, J. (2012). Commercial building energy efficiency retrofit: A systematic review. *Energy Policy*, 49, 501-513.

Mishan, E. J. and Quah, E. (2007). *Cost-benefit analysis* (5th ed.). Routledge.

Müller, B., Ruf, R. and Weidmann, U. (2015). *The impact of lighting on sales in retail stores*. ETH Zurich, Institute for Transport Planning and Systems.

Nas, T. F. (2019). *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*. Lexington Books. <https://rowman.com/ISBN/9780739111693>

Narendran, N. and Gu, Y. (2011). Light-emitting diodes (LEDs) for general illumination: Energy savings and environmental benefits. *Lighting Research & Technology*, 43(3), 297-313. <https://doi.org/10.1177/1477153511401305>

- Narendran, N. and Gu, Y. (2011). Solid-state lighting research and development: A case study of an emerging technology. *Journal of Display Technology*, 7(12), 688-699.
- Park, N. K. and Farr, C. A. (2007). The effects of lighting on consumers' emotions and purchasing behavior. *Journal of Interior Design*, 32(2), 13-29.
- Pattison, P. M., Tsao, J. Y. and Krames, M. R. (2017). LEDs for solid state lighting and other SSL applications. *Proceedings of the IEEE*, 105(10), 1707-1710.
- Quartier, K., Vanrie, J. and Van Cleempoel, K. (2014). As real as it gets: What role does lighting have on consumer's perception of atmosphere, emotions and behaviour? *Journal of Environmental Psychology*, 39, 32-39.
- Rea, M. S. (Ed.). (2000). *The IESNA lighting handbook: Reference and application* (9th ed.). Illuminating Engineering Society of North America.
- Ross, S. A., Westerfield, R. W. and Jaffe, J. (2019). *Corporate finance* (12th ed.). McGraw-Hill Education.
- Stevens, R. G. and Zhu, Y. (2015). Electric light, particularly at night, disrupts human circadian rhythmicity: is that a problem? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667), 20140120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0120>
- Summers, T. A. and Hebert, P. R. (2001). Shedding some light on store atmospherics: Influence of illumination on consumer behavior. *Journal of Business Research*, 54(2), 145-150.
- TS EN 12464-1. (2011). Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları. Türk Standartları Enstitüsü.
- Turley, L. W. and Milliman, R. E. (2000). Atmospheric effects on shopping behavior: A review of the experimental evidence. *Journal of Business Research*, 49(2), 193-211.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2010). TS EN 62262: Elektriksel cihaz mahfazalarının dış mekanik darbelere karşı koruma dereceleri (IK kodu). Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2011). TS IEC TR 62471-2: Lambaların ve lamba sistemlerinin fotobiyolojik güvenliği - Bölüm 2: Genel aydınlatma hizmetinde kullanılan lambalar ve armatürler için imalat kılavuzu. Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2013a). TS EN 62031: Genel aydınlatma için LED modülleri - Güvenlik özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2013b). TS EN 62722-2-1: Armatür performansı - Bölüm 2-1: LED'li armatürler için özel gerekler. Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2014). TS 3033 EN 60529: Mahfazalarla sağlanan koruma dereceleri (IP kodu) (Elektrik donanımlarında). Türk Standartları Enstitüsü.

- Türk Standartları Enstitüsü. (2015). TS EN 60598-1: Aydınlatma armatürleri - Bölüm 1: Genel özellikler ve deneyler. Türk Standartları Enstitüsü.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2017). Accelerating the Global Transition to Energy Efficient Lighting. UNEP.
- U.S. Department of Energy (DOE). (2017). Energy Savings Forecast of Solid-State Lighting in General Illumination Applications. DOE.
- U.S. Department of Energy (DOE). (2018). Adoption of LEDs in Common Lighting Applications. DOE.
- U.S. Department of Energy (DOE). (2021). Solid-State Lighting R&D Opportunities. DOE.
- USGBC (U.S. Green Building Council). (Çeşitli Yıllar). LEED Reference Guides. USGBC.
- Veitch, J. A. and Newsham, G. R. (1998). Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, and visual comfort and preference in offices: A review. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1), 107-129.
- Waymouth, J. F. (1971). Electric discharge lamps. MIT Press.
- Wilkins, A. J. (1989). Visual discomfort and visual display units. In *Work with display units* 89 (pp. 459-467). Elsevier.
- Yener, C. (1997). *Aydınlatma Tekniği*. Birsen Yayınevi.
- Zerbe, R. O. and Dively, D. D. (1994). Benefit-cost analysis: In theory and practice. HarperCollins College Publishers.
- Zissis, G., Bertoldi, P. and Serrenho, T. (2018). Update on the status of LEDification in Europe. *LEUKOS*, 14(2), 71-72.



EKLER

EK-1. Araştırmaya dahil edilen 53 adet gıda marketinin temel demografik ve operasyonel özellikleri

Çizelge 1. Araştırmaya dahil edilen gıda marketlerinin genel özellikleri (1-22 kodlular)

Market Kodu	Büyüklik (m ²)	Çalışma Saati (Günlük Ortalama)	Dönüşüm Öncesi Ana Aydınlatma Tipi
1	5,05 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
2	7,86 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
3	7,86 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5 ve 2x49W Armatür
4	6,05 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
5	1. kat 3,23 m ² ve 2. kat 5,36 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
6	3,91 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
7	13,11 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5 ve 2x24W Armatür
8	8,20 m ²	15 Saat	2x24W Armatür
9	4,62 m ²	15 Saat	2x24W Armatür ve 4x14W Armatür
10	-	15 Saat	60x60 Led Panel ve 2x24W Armatür
11	m ²	15 Saat	2x24W Armatür ve 2x35W Armatür
12	6,15 m ²	15 Saat	2x20W Armatür
13	8,41 m ²	15 Saat	4x14W Armatür, 2x24W Armatür ve 60x60 Led Panel
14	8,50 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
15	10,14 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
16	5,80 m ²	15 Saat	2x24W Armatür
17	5,34 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
18	6,43 m ²	15 Saat	2x24W Armatür
19	9,98 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
20	-	15 Saat	2x24W Armatür ve 36W LED Panel
21	6,19 m ²	15 Saat	2x24W Armatür ve 1x10W LED Panel
22	8,11 m ²	15 Saat	2x24W Armatür

EK-1. (devamı)

Çizelge 2. Araştırmaya dahil edilen gıda marketlerinin genel özellikleri (23-48 kodlular)

Market Kodu	Büyüklik (m ²)	Çalışma Saati (Günlük Ortalama)	Dönüşüm Öncesi Ana Aydınlatma Tipi
23	2,64 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
24	6,82 m ²	15 Saat	4x15W Armatür
25	-	15 Saat	2x24W Armatür
26	9 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
27	8,74 m ²	15 Saat	2x24W Armatür
28	14,75 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5 ve 2x55W Armatür
29	8 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
30	7 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
31	7,80 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
32	-	15 Saat	4x14W Armatür
33	10 m ²	15 Saat	2x24W Armatür
34	-	15 Saat	2x80W Floresan T5
35	-	15 Saat	2x24W Armatür
36	-	15 Saat	2x80W Floresan T5
37	11,18 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
38	-	15 Saat	2x80W Floresan T5 ve 1x36W Armatür
39	6,31 m ²	15 Saat	2x49W Armatür ve 2x55W Armatür
40	4 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5, 1x24W Armatür ve 1x40W Armatür
41	5,40 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5 ve 1x55W Armatür
42	5,40 m ²	15 Saat	1x24W Armatür ve 1x36W Armatür
43	4 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
44	9,60 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
45	4,60 m ²	15 Saat	1x49W Armatür, 4x14W Armatür ve 1x24W Armatür
46	-	15 Saat	2x80W Floresan T5
47	-	15 Saat	4x14W Armatür ve 1x24W Armatür
48	-	15 Saat	2x55W Armatür ve 1x24W Armatür

EK-1. (devamı)

Çizelge 3. Araştırmaya dahil edilen gıda marketlerinin genel özellikleri (49-53 kodlular)

Market Kodu	Büyükölük (m ²)	Çalışma Saati (Günlük Ortalama)	Dönüşüm Öncesi Ana Aydınlatma Tipi
49	-	15 Saat	1x36W Armatür
50	-	15 Saat	2x80W Floresan T5 ve 1x24W Armatür
51	9 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5 ve 2x55W Armatür
52	5,68 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5
53	6 m ²	15 Saat	2x80W Floresan T5 ve 2x55W Armatür

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Kübra TÜRKERİ

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1-) Türkeri, K. ve Zöhra, B. (2025). *İstanbul Perakende Sektöründe Aydınlatma Modernizasyonu: Verimlilik Artışı ve Stratejik Kazançlar*. 6. Bilisel International Gordion Scientific Researches Congress. s358, Haziran 01-02, 2025, Ankara.

