



**SPOR SALONLARI AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN PARILTI
DEĞERLERİNİN YAPAY SİNİR AĞI KULLANILARAK TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan GÖK

Danışman

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SPOR SALONLARI AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN PARILTI
DEĞERLERİNİN YAPAY SİNİR AĞI KULLANILARAK TAHMİNİ**

Ramazan GÖK

Danışman

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

03 / 05 / 2023

Ramazan GÖK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SPOR SALONLARI AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN PARILTI DEĞERLERİNİN YAPAY SİNİR AĞI KULLANILARAK TAHMİNİ

Ramazan GÖK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN

Kapalı spor salonları, spor müsabakalarının yoğun olarak yapıldığı alanlardır. Müsabakaların verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için ışık, sıcaklık ve ses gibi fiziksel risk etmenleri mutlaka kontrol altında tutulmalıdır. Bunların içerisinde en önemlisi ışıktır. Hem sporcuların, hem hakemlerin hem de izleyicilerin görme duyularını doğrudan etkilemektedir. Sporcuların ve hakemlerin görme kusurlarına bağlı performans kayıplarının önüne geçmek, izleyicilerin seyir zevkini arttırmak için kapalı spor salonlarında ideal bir aydınlatma şarttır. Bu şartın sağlanmasının başlıca koşulu ise ortalama parıltı düzeyinin optimum seviyede tutulması ve parıltı dağılımındaki harmoniklerin giderilmesi yani zemin üzerindeki parıltı homojenliğinin sağlanmasıdır. Bu şartların sağlanması yukarıdaki olumsuzlukları gidermenin yanı sıra görsel konfor şartlarını da beraberinde getirecektir. Bu yüzden kapalı spor salonlarındaki parıltı değerleri belirli periyotlarla kontrol edilmeli ve sistemin ihtiyaç duyduğu bakımlar yapılmalıdır.

Gerekli olan bakımlar yapılmadığı takdirde aydınlık düzeyi, ışık rengi, gölge faktörü ve düzgünlük faktörü gibi kriterler ihtiyaca harfiyen uygun tasarlanırsa bile ortamda parıltı fazlalığı varsa bu kamaşmaya sebep olacaktır, kamaşma ise görme yeteneğini azaltacaktır. Yani kamaşma görsel konforla doğrudan alakalı bir kavramdır. Bir ortamda görsel konforun sağlanıp sağlanmadığı ise Unified Glare Ratio (UGR) değeri ile kontrol

edilmektedir. UGR hesabı; ortamdaki her bir ışık kaynağının parıltılarına, çevre parıltısına, kamaşmayı meydana getiren kaynağın görüldüğü açının büyüklüğüne ve bunun görüş alanındaki yerine bağlıdır. Görüldüğü üzere UGR değerinin matematiksel olarak hesabı oldukça karmaşıktır. Hesap için bilgisayar ve uygulamalar gerekmektedir. Tüm bu zorluklar göz önüne alındığında yeni bir metot önerilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu amaçla; kapalı spor salonlarında parıltı düzgünlüğünün denetimi için yeni bir tahmin metodu önerisinde bulunulmuştur. Bu metot ile kapalı spor salonlarına ait parıltı dağılımındaki homojen olmayan noktalar kolaylıkla tahmin edilebilecek ve sisteme doğru zamanda gerektiği şekilde müdahale edilebilecektir.

2023, xv + 153 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kapalı spor salonu, Parıltı, Kamaşma, UGR, Yapay zekâ, Yapay sinir ağları.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ESTIMATION OF LUMINANCE VALUES BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN SPORTS HALLS LIGHTING SYSTEMS

Ramazan GÖK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Hasan ÇİMEN

Co-Supervisor: Asst. Prof. Mustafa ŞAHİN

Indoor sport halls are areas where sports competitions are held intensively. Physical risk factors such as light, temperature and sound must be kept under control in order to conduct the competitions efficiently. The most important of these is light. It directly affects the eyesight of both athletes, referees and spectators. An ideal lighting is essential in indoor sports halls to enhance the viewing pleasure of the spectators and to prevent performance losses due to visual impairments of athletes and referees. The main condition for meeting this condition is to keep the average luminance level at the optimum level and to remove the harmonics in the glow distribution. So, ensuring uniformity of glow on the floor. Providing these conditions will bring visual comfort conditions as well as eliminating the above negativities. Therefore, the glow values in indoor sports halls should be checked at certain time intervals and necessary maintenance should be done.

If the necessary maintenance is not done, even if the concepts such as luminance level, smoothness factor, shadow factor and light color are completely suitable for the needs, if there are excess controls, this will cause glare, and glare will reduce the possibility of seeing. So glare is a concept directly related to visual comfort. Whether visual comfort is provided in an environment is checked by Unified Glare Ratio (UGR) value. UGR account; depends on the glow of each light source in the environment, the glow of the

environment, the magnitude of the angle at which the source of the glare appears and its location in the field of view. As is seen, the UGR value is very complex to calculate mathematically. Computers and applications are needed to calculate. Considering all these difficulties, it has become inevitable to propose a new method. For this purpose; a new forecasting method has been proposed for the control of glow smoothness in indoor sports halls. With this method, inhomogeneous points in the luminance distribution of indoor sports halls can be easily predicted and the system can be intervened at the right time as necessary.

2023, xv + 153 pages

Keywords: Indoor sport hall, Luminance, Glare, UGR, Artificial intelligence, Artificial neural networks.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan ÇİMEN'e, bilgi ve tecrübesi ile yüksek lisans eğitim hayatımın tüm zorlu aşamalarında desteklerini esirgemeyen, tecrübeleri ile beni aydınlatan, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ŞAHİN'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Sayın Prof. Dr. Yüksel OĞUZ'a teşekkür ederim.

Ölçümler sırasında yardımcı olan abim Sadettin GÖK'e ve bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı annem Necla GÖK'e, babam İsmail GÖK'e, yengem Zahide GÖK'e, yeğenlerim Alptuğ GÖK ve İsmail GÖK'e teşekkür ederim.

Ramazan GÖK
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. AYDINLATMA SİSTEMLERİ	7
2.1 Işık Kavramı	7
2.2 Elektromanyetik Dalgalar İçinde Işık	8
2.3 Aydınlatmanın Tanımı ve Konusu.....	9
2.4 Aydınlatma Türleri	10
2.4.1 Amacı Bakımından Aydınlatma Türleri.....	11
2.4.2 Işık Kaynağı Bakımından Aydınlatma Türleri.....	11
2.5 Aydınlatma ile İlgili Fotometrik Büyüklükler	16
2.5.1 Düzlemsel Açısı.....	16
2.5.2 Uzay Açısı.....	17
2.5.3 Işık Şiddeti	18
2.5.4 Işık Akısı	19
2.5.5 Etkinlik Faktörü (Işıksal Verim)	20
2.5.6 Aydınlanma Düzeyi	20
2.5.7 Parıltı	21
2.6 Fotometrik Ölçümler.....	23
2.6.1 Aydınlanma Düzeyi Ölçümleri.....	24
2.6.2 Parıltı Ölçümleri.....	29
2.7 Işık Üretim Yöntemleri	31
2.7.1 Termik Tabanlı Işık Üretimi	31
2.7.2 Deşarj Tabanlı Işık Üretimi.....	31
2.7.3 Elektrolüminesans Tabanlı Işık Üretimi	31
2.8 Aydınlatma Elemanları	32
2.8.1 Akkor Flamanlı Lambalar	33
2.8.2 Basınç Deşarjlı Lambalar	33

2.8.3 LED Lambalar.....	35
2.9 Spor Tesislerindeki Genel Aydınlatma Kriterleri	38
2.9.1 Yatay Aydınlik Seviyesi	40
2.9.2 Aydınlik Seviyesinin Düzgünlüğü	43
2.9.3 Kamaşma Sınırlaması.....	44
2.9.4 Renk Sıcaklığı	48
2.9.5 Renksel Geriverim	51
3. YAPAY ZEKÂ.....	57
3.1 Yapay Zekânın Amacı	58
3.2 Yapay Zekâ Uygulama Alanları	58
3.3 Yapay Zekâ Teknikleri	58
3.3.1 Yapay Sinir Ağları	59
3.3.1.1 Yapay Sinir Ağlarına Giriş	59
3.3.1.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	60
3.3.1.3 Yapay Sinir Ağını Oluşturan Ana Elemanlar	64
3.3.1.4 Yapay Sinir Hücresinin Çalışma İlkesi	74
3.3.1.5 Yapay Sinir Ağının Katmanları.....	75
3.3.1.6 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	77
3.3.1.7 Yapay Sinir Ağlarında Temel Öğrenme Kuralları	84
3.3.1.8 Yapay Sinir Ağlarının Eğitim ve Test Aşamaları.....	86
3.3.1.9 Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları	88
3.3.1.10 Herhangi Bir Uygulama İçin Ağ Seçimi	91
3.4 Normalizasyon Yöntemleri.....	91
3.5 Performans Değerlendirme Ölçütleri.....	95
4. KAPALI SPOR SALONU ZEMİNLERİNİN PARILTI TAHMİNİNİN YAPILMASI ve SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	97
4.1 Ölçüm Yapılacak Nokta Sayısının Hesaplanması	99
4.1.1 Basketbol Sahası	100
4.1.1.1 Basketbol Sahaları İçin Ölçüm Nokta Sayısının Hesabı	100
4.1.2 Futsal (Salon Futbolu) Sahası	102
4.1.2.1 Futsal Sahaları İçin Ölçüm Nokta Sayısının Hesabı	102
4.2 Parıltı Değeri Ölçümleri.....	104
4.2.1 Tınaztepe Kapalı Spor Salonu (Basketbol Salonu) Parıltı Ölçümleri	106
4.2.2 Çiğiltepe Kapalı Spor Salonu (Futsal Salonu) Ölçümleri	110

4.3 YSA Eğitimi	114
4.3.1 Ağın Eğitiminde Kullanılan Girdi Verileri	116
4.3.1.1 Salonların Oyun Alanı Ölçüleri	116
4.3.1.2 Salonlardaki Armatürlerin Faydalı Yükseklik Bilgileri	116
4.3.1.3 Oyun Alanlarının Zemin Rengi	117
4.3.1.4 Salonların Aydınlatılmasında Kullanılan Armatür Türleri	117
4.3.1.5 Salonlardaki Armatür Sayısı	117
4.3.1.6 Köşegenler Üzerindeki Parıltı Değerleri	118
4.3.2 Ağın Eğitilmesinde Kullanılan Hedef Verileri	118
4.4 Ölçüm ve Tahmin Değerlerinin Karşılaştırılması	122
4.4.1 Tınaztepe Kapalı Spor Salonu (Basketbol Salonu) Parıltı Değerlerinin YSA ile Tahmini	122
4.4.2 Çiğiltepe Kapalı Spor Salonu (Futsal Salonu) Parıltı Değerlerinin YSA ile Tahmini	126
4.4.3 Oluşturulan Ağın Başarısının Değerlendirilmesi	130
4.5 Çalışmanın Görsel Konfor ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi	131
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	136
6. KAYNAKLAR	138
ÖZGEÇMİŞ	153

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	Göz hizasından tavadaki armatüre olan yükseklik
A	Kürenin yüzey alanı
b	Alfa açısının (α) gördüğü yay uzunluğu
c	Işık hızı
C	Kapasitör
cd	Candela
Ç	Çıktı
dA	Küre duvarının kısmi bir yüzey parçası
E	Aydınlık düzeyi
E →	Elektiriksel alan
e	Etkinlik faktörü
ε	Tolerans değeri
Ed	Düşey aydınlık düzeyi
E _{max}	Maksimum aydınlık düzeyi
E _{min}	Minimum aydınlık düzeyi
E _{ort}	Ortalama aydınlık düzeyi
F	Enerji akısı
h _s	Armatürlerin bulunduğu tavanın boyuna oranı
H →	Manyetik alan
I	Işık şiddeti
K	Kelvin
K _o	Enerji akısının fotometrik eşdeğeri
L	Parıltı
L _b	Çevre parıltı değeri
L _m	Lümen
L _{ort}	Ortalama parıltı düzeyi
L _α	Alfa doğrultusundaki parıltı değeri
M	Metre
N	Veri adedi
nm	Nanometre
p	Her bir armatürün pozisyonuna ilişkin ampirik indis
r	Yarıçap
R	Korelasyon değeri
R ²	Belirleme katsayısı
R _a	Renksel geriverim
S	Alan
sr	Streradyan
W	Watt
W _m	Ağırlık değeri
X _m	Girdi değeri
α	Düzlemsel açı
ΔS	Işık akısı gelen yüzeyin alanı

Simgeler (Devam)

$\Delta\Phi$	Yüzeye gelen ışık akısı
ρ	Yüzeyin yansıtma katsayısını
Υ	Kamaşma riski olan bakış doğrultusu açısı
Φ	Işık akısı
Ω	Uzay açısı
ω	Her bir armatürün görüldüğü uzay açısı
π	Pi sayısı

Kısaltmalar

ADALINE	Adaptive Linear Combiner
ART	Adaptive Resonance Theory
BAM	Bidirectional Associative Memory
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
EEG	ElektroEnsefaloGrafı
EKG	ElektroKardiyoGrafı
FEM	Finite Element Method
FIBA	Uluslararası Basketbol Federasyonu
FIFA	Uluslararası Futbol Federasyonu
LED	Light-Emitting Diode
LM	Levenberg-Marquardt
LVQ	Learning Vector Quantization
MAD	Mean Absolute Deviation
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MATLAB	Matrix Laboratory
MÖ	Milattan Önce
MSE	Mean Squared Error
PNN	Probabilistic Neural Network
RMSE	Root Mean Squared Error
SOM	Self Organizing Map
SVM	Support Vector Machine
SSE	Sum of Squared Error
TANSİG	Tanjant-Sigmoid Transfer Function
UGR	Unified Glare Ratio
XOR	Exclusive Or
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Elektromanyetik dalganın elektrik alan ve manyetik alan cinsinden gösterimi.	7
Şekil 2. 2 Elektromanyetik Spektrum	8
Şekil 2. 3 Görünür ışık bandı	9
Şekil 2. 4 Aydınlatma türleri şeması.	10
Şekil 2. 5 Direkt aydınlatma gösterimi.	13
Şekil 2. 6 Yarı direkt aydınlatma gösterimi.	14
Şekil 2. 7 Karma (yayınık) aydınlatma gösterimi	14
Şekil 2. 8 Yarı endirekt aydınlatma gösterimi.	15
Şekil 2. 9 Endirekt aydınlatma gösterimi	16
Şekil 2. 10 Düzlemsel açı.	17
Şekil 2. 11 Uzay açı.	18
Şekil 2. 12 Aydınlik düzeyi.	20
Şekil 2. 13 Işık yayan bir yüzey üzerindeki M noktasının α doğrultusundaki parıltısı.	22
Şekil 2. 14 Aydınlik ölçer (Lüksmetre).	24
Şekil 2. 15 Gonyofotometre	25
Şekil 2. 16 Ulbricht Küresi.	26
Şekil 2. 17 Ulbricht küresinin şematik gösterimi	29
Şekil 2. 18 Parıltı Ölçer	30
Şekil 2. 19 Işık üretim yöntemlerine göre lambalar	32
Şekil 2. 20 Akkor flamanlı lamba	33
Şekil 2. 21 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba.	34
Şekil 2. 22 Deşarj lambası bağlantı şeması	34
Şekil 2. 23 LED armatür.	35
Şekil 2. 24 LED lamba iç yapısı.	36
Şekil 2. 25 Yatay aydınlık seviyesinin gösterimine ilişkin görsel	40
Şekil 2. 26 Düşey aydınlık değeri ölçümleri için referans noktalar	41
Şekil 2. 27 Kamera ekseni ve referans noktaları	41
Şekil 2. 28 Kameranın çekim mesafesi ve düşey aydınlık seviyesi arasındaki ilişki.	43
Şekil 2. 29 Ortamda aydınlık seviyesi düzgünlüğü	44
Şekil 2. 30 UGR eğrileri diyagramı.	45
Şekil 2. 31 Parıltılı ve parıltısız zemin örnekleri.	46

Şekil 2. 32 Kamaşmalı ve kamaşmasız ortam	47
Şekil 2. 33 Renk sıcaklığındaki değişim ve görüş kalitesi	48
Şekil 2. 34 Renk uzayı ve renk sıcaklığı arasındaki ilişki	49
Şekil 2. 35 Renk sıcaklığının aydınlatma alanı içerisindeki tolerans değerleri	50
Şekil 2. 36 Konforlu renk sıcaklığı aralığı	50
Şekil 2. 37 Renksel geriverim indeksi değerine göre görünüş	53
Şekil 2. 38 Metal halide lambalı ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı projektörlerle aydınlatılmış oyun alanlarının renksel geriverim bakımından farklılığı.	54
Şekil 3. 1 Nöronun yapısı	60
Şekil 3. 2 İki nöron arasındaki bilgi akış mekanizması	62
Şekil 3. 3 Yapay sinir hücresi	63
Şekil 3. 4 Biyolojik ve yapay sinir hücresi elemanlarının karşılaştırılması	64
Şekil 3. 5 Yapay sinir hücresinin ana ögeleri	65
Şekil 3. 6 Lineer aktivasyon fonksiyonu	69
Şekil 3. 7 Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	69
Şekil 3. 8 Tek kutuplu basamak fonksiyonu	70
Şekil 3. 9 Tek kutuplu basamak fonksiyonu	71
Şekil 3. 10 Sinüs aktivasyon fonksiyonu	71
Şekil 3. 11 Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu	72
Şekil 3. 12 Bir yapay sinir hücresi çalışması örneği	75
Şekil 3. 13 YSA katmanlarının birbiri ile ilişkisi	76
Şekil 3. 14 Bir YSA örneği	76
Şekil 3. 15 80 hücreli bir girdi katmanından ve 10 hücreli bir çıktı katmanından oluşan	77
Şekil 3. 16 YSA'ların sınıflandırılması	78
Şekil 3. 17 İleri beslemeli YSA yapısı	79
Şekil 3. 18 Geri beslemeli YSA yapısı	80
Şekil 3. 19 Danışmalı öğrenme algoritması	81
Şekil 3. 20 Danışmasız öğrenme algoritması	82
Şekil 3. 21 Takviyeli öğrenme algoritması	82
Şekil 3. 22 Öğrenen bir YSA'nın hata-iterasyon grafiği	86
Şekil 3. 23 Eğitim ve test adımlarını gösteren akış diyagramı	87
Şekil 4. 1 Uluslararası bir basketbol maçının oynandığı zemine ait görsel	97
Şekil 4. 2 Ölçüm yapılan mekânlara ait görseller.	98

Şekil 4. 3 Basketbol Sahası	100
Şekil 4. 4 Futsal Oyun Sahası.....	102
Şekil 4. 5 Salonun oyun alanının kâğıt üzerinde noktalara ayrılmış hali.....	104
Şekil 4. 6 Salonun oyun alanının fiziksel olarak noktalara ayrılmış hali.	104
Şekil 4. 7 Ölçümlerin yapıldığı lüminansmetre düzeneği.	105
Şekil 4. 8 Basketbol salonuna ait görsel.....	106
Şekil 4. 9 Basketbol salonunun parlıtlı dağılımını gösteren 3 boyutlu grafik.	108
Şekil 4. 10 Basketbol salonunun parlıtlı dağılımını gösteren eş parlıtlı haritası.	109
Şekil 4. 11 Çiğiltepe spor salonuna ait görsel.	110
Şekil 4. 12 Çiğiltepe spor salonunun parlıtlı dağılımını gösteren 3 boyutlu grafik.	112
Şekil 4. 13 Futsal salonunun parlıtlı dağılımını gösteren eş parlıtlı haritası.	113
Şekil 4. 14 Parlıtlı değeri tahmini için oluşturulan ağ topolojisi.	115
Şekil 4. 15 Basketbol salonundaki oyun alanının YSA ile tahmin edilen eş parlıtlı eğrileri.....	124
Şekil 4. 16 Basketbol salonunun oyun alanının ölçülen ve tahmin edilen parlıtlı değerlerinin karşılaştırılması.	125
Şekil 4. 17 Futsal salonundaki oyun alanının YSA ile tahmin edilen eş parlıtlı eğrileri.	128
Şekil 4. 18 Futsal salonunun oyun alanının ölçülen ve tahmin edilen parlıtlı değerlerinin karşılaştırılması.....	129
Şekil 4. 19 Parlıtlının homojen dağıldığı oyun alanı	131
Şekil 4. 20 Parlıtlının homojen dağılmadığı oyun alanı	132
Şekil 4. 21 Bakım ve aydınlık düzeyi arasındaki ilişki gösteren grafik	133
Şekil 4. 22 Bir yıllık bakım periyoduna göre kurulmuş salonun zemin parlıtlısına ait görsel (a) , üç yıllık bakım periyoduna göre kurulmuş salonun zemin parlıtlısına ait görsel (b).	135

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Bazı ışık kaynaklarının lamba güçleri ve ışık akıları	19
Çizelge 2. 2 Bazı ışık kaynaklarının parıltı değerleri	23
Çizelge 2. 3 Bazı lamba türlerinin karşılaştırmalı tablosu	37
Çizelge 2. 4 Spor organizasyonlarının aydınlatma seviyelerine göre sınıflandırılması .	39
Çizelge 2. 5 Spor dalı ve grubu	42
Çizelge 2. 6 Renksel geriverim indeksi değerinin sınıflandırılması	51
Çizelge 2. 7 Bazı lamba türlerinin renksel geriverim indekslerin değerlendirilmesi.....	52
Çizelge 2. 8 Farklı tiplerdeki metal halide ve sodyum buharlı lambalar için renksel geri verim özelliklerinin karşılaştırılması	53
Çizelge 2. 9 Hentbol, basketbol ve voleybol müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri	55
Çizelge 2. 10 Masa tenisi, badminton müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri.	55
Çizelge 2. 11 Eskrim müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri.....	55
Çizelge 2. 12 Boks müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri	56
Çizelge 2. 13 Tenis müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri	56
Çizelge 2. 14 Kapalı spor tesislerindeki binicilik müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri	56
Çizelge 3. 1 Toplama fonksiyonları örnekleri.....	67
Çizelge 3. 2 Aktivasyon fonksiyonları örnekleri.....	73
Çizelge 3. 3 Örneğe ait girdi ve ağırlık değerleri.	74
Çizelge 3. 4 Öğrenme Teknikleri ve Kullanım Alanları Tablosu	83
Çizelge 3. 5 Ağların başarılı oldukları alanlar	91
Çizelge 4. 1 Basketbol salonunda ölçülen parıltı değerleri (cd/m ²).	107
Çizelge 4. 2 Futsal salonunda ölçülen parıltı değerleri (cd/m ²).	111
Çizelge 4. 3 Spor salonlarına ait en ve boy bilgileri.	116
Çizelge 4. 4 Spor salonlarına ait armatür yükseklikleri.	116
Çizelge 4. 5 Oyun alanlarının zemin renkleri.....	117
Çizelge 4. 6 Salonların aydınlatılmasında kullanılan armatür türleri.....	117
Çizelge 4. 7 Salonlardaki armatürlerin sayısı.....	118
Çizelge 4. 8 YSA'nın eğitiminde kullanılan giriş - çıkış değişkenleri ve adetleri.....	119
Çizelge 4. 9 YSA'nın eğitiminde kullanılan giriş ve çıkış değişkenlerin maksimum ve minimum değerleri.....	119

Çizelge 4. 10	Normalizasyonu yapılmış verilerin minimum ve maksimum değerleri.	121
Çizelge 4. 11	YSA eğitiminde kullanılan değişkenler.	122
Çizelge 4. 12	Basketbol salonunun YSA ile tahmin edilen parıltı değerleri (cd/m^2)...	123
Çizelge 4. 13	Futsal salonunun YSA ile tahmin edilen parıltı değerleri (cd/m^2).....	127
Çizelge 4. 14	Çalışmanın R , R^2 ve MAPE değerleri.....	130



1. GİRİŞ

Spor tesislerinde uygun görme koşullarının oluşturulması sporcuları, hakemleri ve seyircileri fizyolojik ve psikolojik açıdan olumlu yönde etkilemektedir (Ünlü ve Şahin 2021). Uygun görme koşullarının oluşturulması ise iyi tasarlanmış bir aydınlatma sistemi ile mümkündür. Bu da yürürlükteki standartların uygulanmasına bağlıdır. Türkiye’de spor tesislerinin aydınlatmasında “*EN 12193 Işık ve Aydınlatma-Spor Aydınlatması*” standartları kullanılmaktadır (Üncü ve Şahin 2021). Bu standartlar; sporcular, hakemler, seyirciler ve TV yayını için uygun görsel koşulları sağlamayı amaçlamaktadır. Tasarım aşamasında aydınlatılacak ortamın özelliklerine göre yeterli aydınlık düzeyinin sağlanması en başta gelen amaçtır (IEA 2014). Başka bir amaç ise uygun aydınlatma şartlarının elde edilmesine olanak sağlayacak bir aydınlatma sisteminin oluşturulmasıdır. Uygun şartların oluşturulmasında ışık akısının doğrultusu, üretilen ışığın rengi, elde edilen aydınlık seviyesinde oluşan gölgelerin keskinliği ve yumuşaklığı gibi kriterler önem arz etmektedir (De Graaf vd. 2014). Aksi takdirde rastgele oluşturulmuş bir aydınlatma ortamında göz yorgunluğu gibi sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır (Khosrowshahi ve Alani 2011). Bundan dolayı aydınlatılacak mekânın türüne göre iyi bir aydınlatma tasarımı zorunluluk haline gelmektedir (Veitch ve Newsham 1998).

Her ortamda olduğu gibi kapalı spor salonlarında da aydınlatma tasarımı yapılırken yürürlükteki standartların uygulanmasına özen gösterilmelidir. Kapalı spor salonlarında aydınlatma tasarımları yapılırken doğal aydınlatma, aydınlık düzeyi, kamaşma (parıltı fazlalığı) ve tekdüzelik gibi kavramlar önem arz etmektedir (TS EN 12193 2019). Kapalı spor salonu aydınlatmasının ana hedefi; sporcular ve hakemler için performans kaybına neden olmayan, seyirciler içinse görsel konforu ön planda tutan bir ortam oluşturmaktır (Hsu 2010, Houser vd. 2011). Standartlar dâhilinde tasarımı yapılmış bir aydınlatma sistemi ile göz yorgunluğu azalır, nesnelerin tanınması hızlanır, spor kalitesi artar ve müsabaka anında oluşabilecek her türlü yaralanma ve kazaların önüne geçilir (Kayakuş ve Üncü 2020). Ortamdaki aydınlatma, sadece salondaki oyuncular, hakemler ve seyirciler için değil aynı zamanda televizyon başında müsabakayı izleyenler içinde önemlidir (Shanghai Sports 2000). Televizyon başında müsabakayı izleyenler; oyun içindeki top ve kişileri, konum ve hıza bağlı olmaksızın her zaman net bir şekilde

görebilmelidir. Maçtaki nesnelerin net bir şekilde görebilmesi için aydınlık düzeyi ve parlaltının kontrol altında tutulup bakımlarının yapılması gerekmektedir (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

İnsan tarafından algılanabilen tek fotometrik büyüklük olan parlaltı, insan gözünün retinal fotoreseptörleri tarafından alınan ışık yoğunluğu ile ilgilidir. Bitişik yüzeylerdeki parlaklık farklılıkları, nesne ayrıntılarının algılanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle parlaklık, hem iç hem de dış ortamlarda aydınlatma sistemlerinin kalitesini belirleyen bir kavramdır (Fiorentin vd. 2005, Kocabey 2008). Bu yüzden spor salonlarında parlaltı değerlerinin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu da düzenli ve periyodik bir bakım ile mümkündür. Bakım ise periyodik olarak ve ortam içerisinde çok sayıda noktada ölçüm yapılarak gerçekleştirilmektedir. Bu da hem zaman hem maliyet açısından büyük bir külfeti beraberinde getirmektedir. Bu zorluklar göz önünde bulundurulduğunda yeni yöntem arayışlarının kaçınılmaz hale geldiği görülmektedir (Kazanasmaz vd. 2005).

Bu bağlamda çalışmada spor salonu aydınlatmasının parlaltı düzgünlüğü denetiminde zaman ve maliyet yönünden büyük kazanç sağlayacak, mevcut denetleme yöntemlerine alternatif bir yöntem olarak yapay sinir ağı (YSA) kullanımı önerilmiştir.

Uygulamada konu ile alakalı çalışmaların sınırlı sayıda olduğu gözlemlenmiş olup literatürdeki bazı çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Kazanasmaz vd. (2005) çalışmasında, günışığının aydınlık seviyesini YSA metodu ile tahmin etmiştir. Tahmin başarı oranı %97,83 olarak bulunmuştur.

Kocabey ve Ekren (2014) çalışmasında, iç mekân aydınlık düzeyi dağılımını Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method, FEM) kullanarak ön görmüştür. Bu yolla sistemin bakım zamanının gelip gelmediğine karar vermiştir.

Tran ve Tan (2014) çalışmasında, YSA metodunu kullanarak LED (Light-Emitting Diode) aydınlatma kullanan bir sistem için sensörsüz bir aydınlatma kontrolü gerçekleştirmiş.

Şahin vd. (2016) çalışmasında, iç mekân içerisindeki birden çok noktaya ait aydınlık seviyesini YSA ile tahmin etmiştir. Tahmin edilen bu aydınlık seviyesi değerlerini kullanarak ortamın ortalama aydınlık seviyesini hesaplamıştır. Bu yolla sistemin bakım periyodunun gelip gelmediğini denetlemiştir.

Fonseca vd. (2013) çalışmasında, ofis binalarında gün ışığından yararlanarak enerji verimliliği için YSA ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri kullanan bir model geliştirmiştir.

Kayakuş ve Üncü (2020) çalışmasında, kapalı spor salonu parıltı tahmini için makine öğrenmesi tekniklerinden olasılıksal sinir ağını (Probabilistic Neural Network, PNN) ve destek vektör makinesini (Support Vector Machine, SVM) kullanmıştır. PNN de doğruluk oranını % 65,71, SVM de ise doğruluk oranını % 74,51 olarak bulmuştur.

Kayakuş ve Üncü (2020) çalışmasında, basketbol sahasının parıltısını ölçmek için bir yazılım geliştirmiştir. Geliştirilen bu yazılım C# programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Yazılımın temel çalışma ilkesi ise YSA metodudur. Söz konusu çalışmada ilk olarak sahanın fotoğrafı çekilmiş çekilen fotoğraf üzerinde görüntü işleme programı kullanılarak ölçüm noktalarının piksel değerleri öğrenilmiştir. Daha sonra lüminansmetre ile salondaki işaretlenen ölçüm noktalarının parıltı değerleri ölçülmüştür. Geliştirilen YSA tabanlı yazılım ile de sahadaki ölçüm noktalarının parıltı değerleri ve piksel değerleri arasında bir bağıntı kurulmuştur. YSA eğitiminde giriş elemanı olarak piksel değerleri hedef elemanı olarak ta ölçülen parıltı değerleri kullanılmıştır. Piksel değerleri kullanılarak sahanın parıltı değeri tahmin edilmiştir. Tahminin başarı oranı %71,12'dir.

Kayakuş (2019) çalışmasında, sınıf ortamında kullanılan beyaz yazı tahtasının parıltısını YSA metodu kullanarak tahmin etmiştir. İlk olarak yazı tahtası üzerinde referans

noktalar belirlenmiştir. Daha sonra yazı tahtasının fotoğrafı çekilmiş çekilen fotoğraf üzerinde görüntü işleme programı kullanılarak referans noktalarının piksel değerleri öğrenilmiştir. Son olarak ise lüminansmetre ile tahta üzerinde işaretlenen referans noktalarının parlaltı değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucu piksel değerleri ile referans noktalarının parlaltı değerleri arasında YSA temelli bir bağıntı kurulmuştur. YSA eğitiminde giriş elemanı olarak piksel değerleri, hedef elemanı olarak ta ölçülen parlaltı değerleri kullanılmıştır. Piksel değerleri kullanılarak saha üzerindeki parlaltı değerleri tahmin edilmiştir. Tahminin başarı oranı %64,87'dir.

Şahin (2019) çalışmasında, ortalama aydınlık düzeyi değerinin tahmini için YSA metodunu kullanmıştır. Söz konusu çalışmada, az sayıda aydınlık düzeyi (Lüks) ölçüm değeri kullanılarak doğru bir ortalama aydınlık düzeyi değerine ulaşılabilme amacıyla bir YSA modeli oluşturulmuştur. YSA eğitimi için giriş elemanı olarak aydınlatma sisteminin aydınlık düzeyi belirli oranlarda artırılıp azaltılmak suretiyle (dim edilmesiyle) elde edilen veriler kullanılmıştır. Hedef verisi olarak ta ortamın ortalama aydınlık düzeyi değeri girilmiştir. Eğitim aşamasından sonra sistem 24 ay süresince kullanıma tabi tutulmuş ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu süre boyunca, bu iç mekânda belirli periyotlarda aydınlık düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen aydınlık düzeyi değerleri kullanılmak suretiyle gerçek ortalama aydınlık düzeyi değerleri hesaplanmış ve aynı değerler oluşturulan YSA modeli tarafından da tahmin edilmiştir. Yapılan tahminler ile bakım zamanının belirlenmesi kolaylaştığı gibi ışığa dönüşmeyen enerji yüzdesi de tespit edilmiştir.

Şahin vd. (2013) çalışmasında, YSA yardımıyla az sayıda aydınlık düzeyi (Lüks) ölçüm değerlerini kullanarak ortam içerisindeki işaretlenmiş her bir noktanın aydınlık düzeyini tahmin etmiştir. Daha sonra tahmin edilen bu değerler ile ortamın aydınlık düzeyi üç boyutlu olarak modellenmiştir. YSA eğitiminde, eğitim algoritmalarından Levenberg-Marquardt (LM) algoritması kullanılmıştır.

Şahin vd. (2014) çalışmasında, iç mekânda kullanılan armatürlerin zamana bağlı olarak meydana gelen aydınlık şiddeti kayıplarının tahmini için bir YSA modeli oluşturmuştur. YSA eğitiminde aydınlık düzeyleri artırılıp azaltılarak (dim edilerek) elde edilen

aydınlık düzeyi değerleri yukarıdan aşağıya ve sağdan sola olmak suretiyle 2 sıra şeklinde kullanılmıştır.

Ok Davarcı (2022) çalışmasında, yol aydınlatmasında kullanılan lambaların etkinlik faktörlerini ve parıltı değerlerini tahmin etmiştir. Söz konusu çalışma dış aydınlatma ile ilgilidir.

Kayakuş vd. (2019) çalışmasında, yol üzerindeki parıltı değerlerini derin öğrenme yöntemi kullanarak tahmin etmiştir. Çalışmada ilk olarak yol üzerinde referans noktalar belirlenmiştir. Daha sonra yolun fotoğrafı çekilmiş çekilen fotoğraf üzerinde görüntü işleme programı kullanılarak referans noktalarının piksel değerleri öğrenilmiştir. Son olarak ise lüminansmetre ile yol üzerinde işaretlenen referans noktalarının parıltı değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucu piksel değerleri ile referans noktalarının parıltı değerleri arasında derin öğrenme yöntemlerinden yararlanılarak matematiksel bir bağıntı kurulmuştur

Kayakuş ve Üncü (2019) çalışmasında, Tenis kortu oyun alanının parıltı değerlerini YSA metodu kullanarak tahmin etmiştir. Çalışmada ilk olarak tenis kortu oyun alanı üzerinde ölçüm noktaları belirlenmiştir. Daha sonra oyun alanının fotoğrafı çekilmiş çekilen fotoğraf üzerinde görüntü işleme programı kullanılarak ölçüm noktalarının piksel değerleri öğrenilmiştir. Son olarak ise lüminansmetre ile oyun alanı üzerinde işaretlenen ölçüm noktalarının parıltı değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucu piksel değerleri ile referans noktalarının parıltı değerleri arasında YSA temelli bir bağıntı kurulmuştur. YSA eğitiminde giriş elemanı olarak piksel değerleri, hedef elemanı olarak ta ölçülen parıltı değerleri kullanılmıştır. Piksel değerleri kullanılarak kort üzerindeki parıltı değerleri tahmin edilmiştir.

Şahin vd. (2015) çalışmasında, iç mekânlarda parlaklık düzeyinin hızlı ve doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için YSA metodunu kullanmıştır. Söz konusu çalışmada, iç mekândaki parlaklık düzeyini tahmin etmek için bir YSA modeli kurulmuştur. YSA eğitiminde giriş elemanı olarak ortam içerisinde aydınlatma elemanları; %100 verimlilikte, %65 verimlilikte, %35 verimlilikte ve %0 verimlilikte iken ölçülen parıltı

düzeylerinin köşegenler üzerindeki değerleri kullanılmıştır. Tahmin edilen parıltı değerleri ile gerçek parıltı değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu YSA metodunun iç mekânlarda parlaklık düzeyini tahmin etmede başarılı bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.

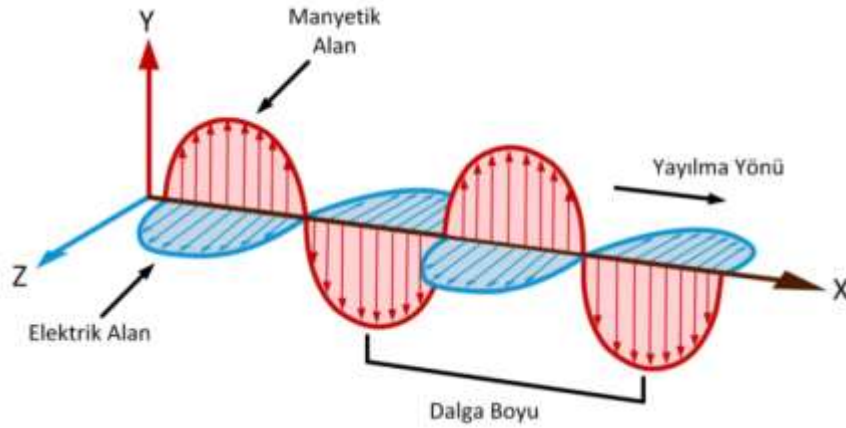


2. AYDINLATMA SİSTEMLERİ

2.1 Işık Kavramı

Doğrusal dalgalar hâlinde yayılan elektromanyetik radyasyonlar, ışık olarak adlandırılmaktadır. Bir enerji biçimi olan ışık, foton ve dalga teorileriyle açıklanır. Bu teoriler birbirilerini tamamlamakta ve ışık kavramının iki değişik özelliğini de açıklamaktadır (Şahin 2014).

Dalga teorisinde ışık, elektromanyetik dalganın özel bir şekli olarak tanımlanmaktadır. Elektromanyetik dalga, elektrik alan ($E \rightarrow$) ve manyetik alan ($H \rightarrow$) olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır (Ok Davarcı 2022). Aşağıda Şekil 2.1’de elektromanyetik dalganın elektrik alan ve manyetik alan cinsinden gösterimi verilmiştir.

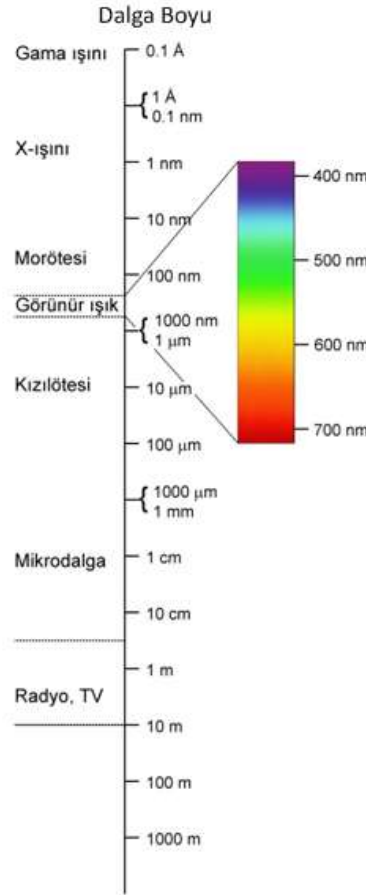


Şekil 2. 1 Elektromanyetik dalganın elektrik alan ve manyetik alan cinsinden gösterimi (İnt. Kyn. 1).

Elektromanyetik dalganın yayılması için ortama gerek yoktur. Elektromanyetik dalgalar enine dalgalar olup boşlukta ışık hızı (c) ile ilerlerler. Elektromanyetik dalgayı oluşturan elektrik alan ve manyetik alan bileşenleri Şekil 2.1’de görüldüğü üzere her zaman birbirlerine diktir. Işığı oluşturan bu alan bileşenleri birbirinin kaynağıdır yani elektrik alandaki değişim manyetik alanı manyetik alandaki değişimde elektrik alanı oluşturur. Periyodik olarak tekrarlanan bu değişim sonucu elektromanyetik dalga, uzayda v hızı ile hareket ederek enerji taşımaktadır (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

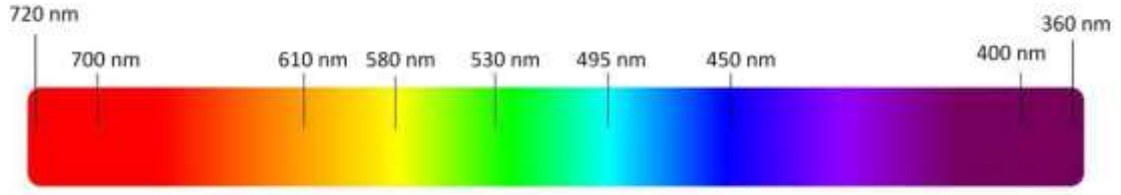
2.2 Elektromanyetik Dalgalar İçinde Işık

İnsanların gözüyle görebildiği ve göremediği tüm elektromanyetik dalgaları barındıran elektromanyetik spektrum, elektromanyetik dalgaların dalga boylarına göre sıralanması sonucu elde edilir (İnt. Kyn. 2). Aşağıda Şekil 2.2’de elektromanyetik spektruma ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 2 Elektromanyetik Spektrum (İnt. Kyn. 3).

Şekil 2.2’den de görüldüğü üzere elektromanyetik dalgalar gama ışınlarından başlayıp radyo ve TV dalgalarına kadar uzanmaktadır. Bu spektrumda sadece 380 - 760 nanometre (nm) arasındaki dalga boylu radyasyonlar göze etki edebilir. Bir başka ifadeyle ışık bu bölgedeki radyasyondan ibarettir. 380 - 760 nm arasındaki dalga boylu radyasyonlar görünebilir ışık bandı olarak isimlendirilmektedir (Şahin 2014). Aşağıda Şekil 2.3’te görünür ışık bandına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 3 Görünür ışık bandı (İnt. Kyn. 3).

Görünür ışık bandı en düşük dalga boyuna sahip mor renkten başlayıp en büyük dalga boyuna sahip kırmızı renge kadar uzanmaktadır. Şekil 2.3'te ki görünür ışık bandı incelendiğinde;

- 380 nm ile 450 nm arası mor renge,
- 450 nm ile 500 nm arası mavi renge,
- 500 nm ile 570 nm arası yeşil renge,
- 570 nm ile 590 nm arası sarı renge,
- 590 nm ile 610 nm arası turuncu renge,
- 610 nm ile 700 nm kırmızı renge

Karşılık geldiği görülmektedir (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

2.3 Aydınlatmanın Tanımı ve Konusu

Çevremizdeki cisimlerin görülebilmesi için gerekli aydınlatma seviyesinin sağlanması aydınlatma tanımının en basit halidir. Uluslararası aydınlatma komisyonunca (CIE) ise aydınlatma “Çevrenin ve çevredeki cisimlerin görülebilmelerini sağlamak için ışık uygulanması işlemidir.” şeklinde tanımlamaktadır (Commission 2000).

Kişilerin görme gereksinimine cevap vermeyi amaç edinmiş gibi görünse de günümüzde aydınlatma; iş verimliliğini ve görsel konforu arttırmaya çalışan bir konu haline gelmiştir (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

Görsel konforu ve iş verimliliğini arttırmak içinse ortamda yapılan işin amacına uygun bir aydınlatma düzeni sağlamak gerekir. Burada kaynaktan çıkan ışığın rengi, yönü, ortamda oluşan gölgelerin sertliği ve yumuşaklığı gibi faktörler önem arz etmektedir. Örneğin farklı renkleri bünyesinde barındıran bir nesnenin, renklerinin doğru algılanabilmesi için aydınlatma kaynağının renk özelliği büyük önem taşımaktadır (Şahin 2010).

Tüm bu tanımlamalardan ve cümlelerden de anlaşılacağı üzere aydınlatma kavramı; gözü, görülecek cismi ve görme olayının gerçekleşebilmesi için gerekli olan ışığı konu edinmektedir (Sirel 1996).

2.4 Aydınlatma Türleri

Aydınlatma tasarımı aşamasında, aydınlatılacak mekânın aydınlık seviyesi ihtiyacı mekânın kullanım hedefleri de dikkate alınarak iyi saptanmalıdır. Aydınlatmanın başlıca amacı, ihtiyaç duyulan aydınlık seviyesi değerini büyük oranda karşılayabilmektir (Şahin 2010). Şekil 2.4'te aydınlatma türleri bir şema halinde verilmiştir.



Şekil 2. 4 Aydınlatma türleri şeması (Şahin 2014).

2.4.1 Amacı Bakımından Aydınlatma Türleri

Aydınlatma türleri, amacı bakımından üç alt başlıkta incelenmektedir. Bu üç alt başlık; fizyolojik aydınlatma, dekoratif aydınlatma ve dikkati çeken aydınlatmadır. (Kocabey 2008, Şahin 2014).

a) Fizyolojik aydınlatma

Fizyolojik aydınlatmada amaç, cisimleri bütün ayrıntıları ile hızlı ve rahat gösterebilmektir. Bu aydınlatma türünde estetik etkiler ön planda değildir. Otoyol, depo ve tünel aydınlatması bu aydınlatma türüne örnek verilebilir (Toylan 2008).

b) Dekoratif aydınlatma

Dekora aydınlatma türünde amaç, görülmesi istenen cisme bakan kişide estetik duygular uyandırmaktır. Cisimleri bütün ayrıntıları ile göstermek ikinci plandadır (Toylan 2008).

c) Dikkati çeken aydınlatma

Dikkati çeken aydınlatma türünde başlıca hedef, cisim etraftaki kişilerin dikkatinin cisme yönelmesini sağlamaktır. Yani kişide dikkat hissi uyandırmaktır. Bunu sağlamak için renkli ışıklara sahip armatürler, hareket eden ışıklı figürler kullanılır. Dikkati çeken aydınlatma türü daha çok fuar, müze, mağaza vitrinleri gibi yerlerde kullanılır (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

2.4.2 Işık Kaynağı Bakımından Aydınlatma Türleri

Aydınlatma türleri ışık kaynağı bakımından; doğal aydınlatma ve yapay (suni) aydınlatma olmak üzere iki grup altında sınıflandırılır (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

a) Doğal aydınlatma

Doğal aydınlatma, temel olarak güneş ışığı ile sağlanır. Gün ışığının, binalardaki pencere ve kapı gibi boşluklardan geçerek iç mekânı aydınlatması doğal aydınlatma

olarak adlandırılmaktadır. Doğal aydınlatmada amaç gün ışığından en iyi ve en doğru şekilde faydalanılmasıdır. (Kocabey 2008, Özkaya ve Tüfekçi 2011).

Doğal aydınlatmanın yapay aydınlatmaya göre en önemli üstünlüğü, cisimleri aslına en yakın haliyle görmemize olanak sağlamasıdır (Özkum 2011).

b) Yapay (Sunî) aydınlatma

Elektrik enerjisini kullanarak yapay ışık kaynaklarının aktifleştirilmesiyle meydana getirilen aydınlatmaya yapay aydınlatma denilmektedir. Bu aydınlatma türünde lamba vb. aydınlatma aygıtları ile aydınlık oluşturulmaktadır. Binalarda doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı yerlerde veya geceleri ortamı aydınlatmak için yapay aydınlatma kullanılmaktadır (Yücel 2019).

Bir yapay aydınlatma sisteminin oluşturduğu renklerin, gün ışığı renklerine yakın olması istenmektedir. Çünkü yukarıda da bahsedildiği üzere gün ışığı cisimleri aslına en yakın haliyle görmemize olanak sağlamaktadır (Houston ve Kennelly 1896, Özkum 2011).

Gündüzleri doğal aydınlatmanın yeterli olmadığı noktalarda yani binalardaki merdiven boşluğu ve depo gibi gün ışığının ulaşamadığı yerlerde yapay aydınlatma kullanılmaktadır. Yapay aydınlatma kaynaklarının yaygınlaşmasından itibaren mekânlarda doğal aydınlatma kullanımı giderek azalsada yapay aydınlatma hiçbir zaman doğal aydınlatmanın yerini tutamamaktadır. (Şahin 2010, Yenidoğan 2017).

Yapay aydınlatma; dış aydınlatma (harici aydınlatma) ve iç aydınlatma (dâhili aydınlatma) olmak üzere iki alt başlık altında sınıflandırılır (Şahin 2014).

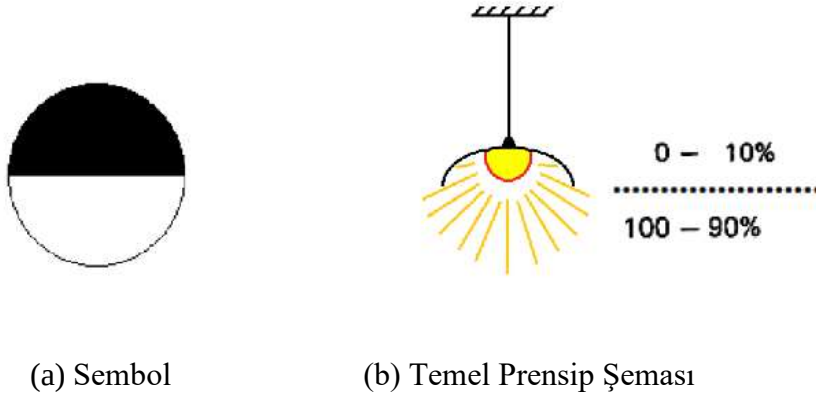
Dış Aydınlatma (Harici Aydınlatma): Yol, park, sokak, tünel, binaların dış yüzeyleri, futbol sahası, hava alanı gibi yerlerin aydınlatılmasına dış ya da harici aydınlatma adı verilir. Dış aydınlatma türünde armatürlerden gelen ışıklar direkt aydınlatılacak yüzeye yönlendirilir (Kocabey 1999, Yapar 2007).

İç Aydınlatma (Dâhili Aydınlatma): Ev, ofis, okul, hastane, depo, fabrika gibi kapalı ortamların aydınlatılmasına iç ya da dâhili aydınlatma adı verilir. İç aydınlatma türünde duvar ve tavanlardan yansıyan ışıklarda çalışma düzlemine giderek çalışma düzleminin aydınlatılmasına katkıda bulunur (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

Işığı ihtiyaç duyulan yere yönlendirmek bir aydınlatma aygıtının en öncelikli görevidir. Yapay aydınlatma, armatürler tarafından yönlendirilen ışığın yüzeye ulaşma şekline göre beş grup altında sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar aşağıda anlatılmıştır.

Direkt (dolaysız) aydınlatma

Aydınlatma aygıtından çıkan ışığın %90'ı ile %100'ü gibi büyük kısmını direkt aydınlatılacak yüzeye yönlendiren bir yapay aydınlatma türüdür (Kocabey 1999). Sınıf, koridor, hastane ve ofis gibi yerlerin aydınlatılmasında bu aydınlatma türü tercih edilmektedir (Kocabey 2008). Şekil 2.5'te direkt aydınlatma türünün sembolü ve temel prensip şeması gösterilmiştir.

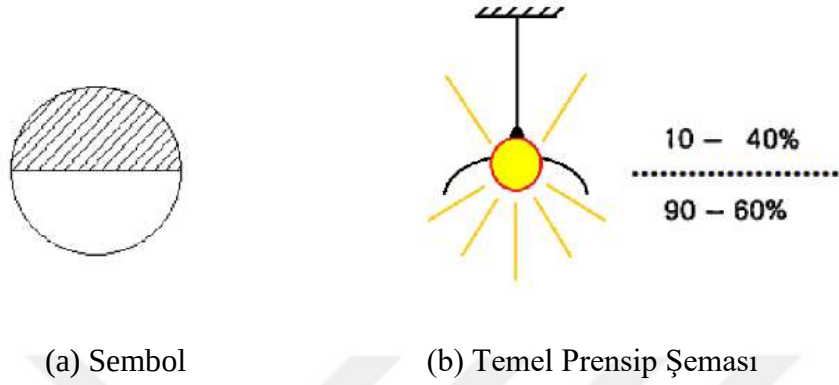


Şekil 2. 5 Direkt aydınlatma gösterimi (Şahin vd. 2014).

Yarı direkt (yarı dolaysız) aydınlatma

Aydınlatma aygıtından çıkan ışığın %60'ı ile %90'ını doğrudan çalışma alanına, kalan %10'u ile %40'nı ise tavana yönlendiren aydınlatma biçimidir (Kocabey 1999). Yarı direkt aydınlatma türü ile direkt aydınlatma türüne göre daha homojen bir aydınlık

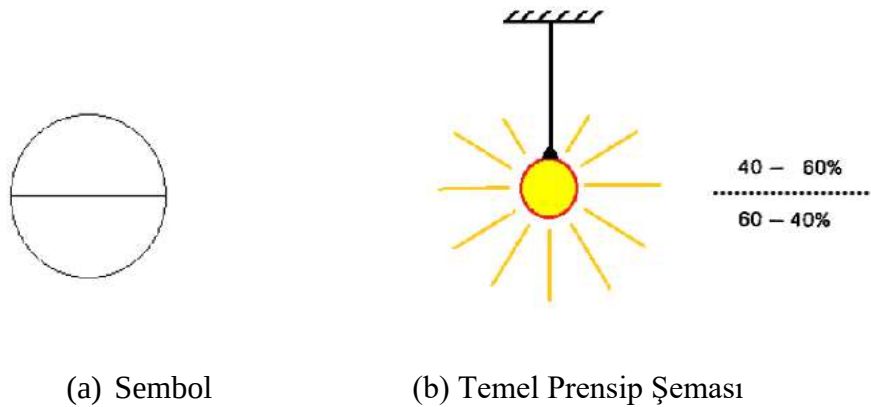
düzeyi elde edilir (Küçük Karagöz 2018). Şekil 2.6’da yarı direkt aydınlatma türünün sembolü ve temel prensip şeması gösterilmiştir.



Şekil 2. 6 Yarı direkt aydınlatma gösterimi (Şahin vd. 2014).

Karma (yayınık) aydınlatma

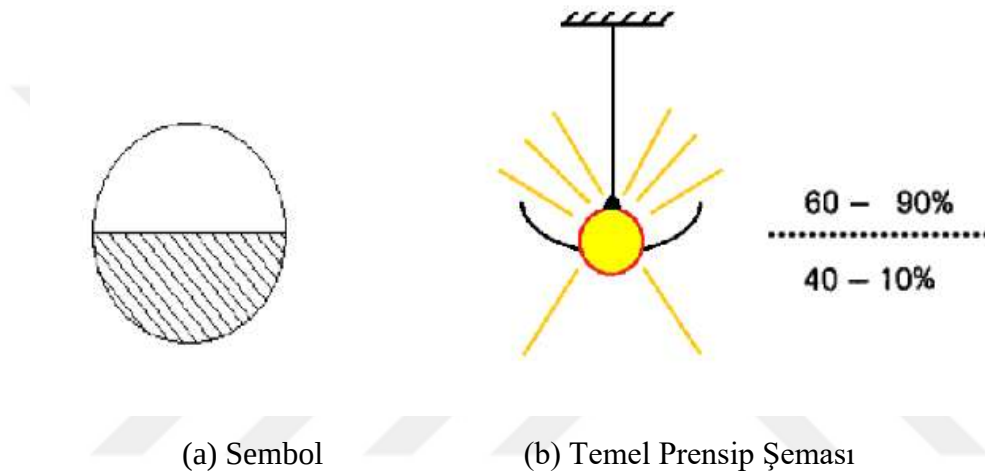
Aydınlatılacak düzleme aydınlatma araçlarından çıkan ışığın %40’ı ile %60’ını yönlendiren aydınlatma biçimidir. Yayınık aydınlatma, hem direkt hem de endirekt aydınlatma türlerinin birlikte kullanıldığı bir aydınlatma türü olarak tanımlanabilir. Tavana asılıp aşağı ve yukarıya doğru ışık yayan aydınlatma aygıtları bu aydınlatma türünde çokça tercih edilir. (Küçük Karagöz 2018). Şekil 2.7’de karma aydınlatma türünün sembolü ve temel prensip şeması gösterilmiştir.



Şekil 2. 7 Karma (yayınık) aydınlatma gösterimi (Şahin vd. 2014).

Yarı endirekt (yarı dolaylı) aydınlatma

Aydınlatma araçlarından çıkan ışığın %60'ı ile %90'ı gibi büyük bir çoğunluğunu yukarı doğru yönlendiren aydınlatma biçimidir. Bu aydınlatma türü loş bir ortam oluşturmak amacıyla kullanılır (Ok Davarcı 2022). Yarı endirekt aydınlatma türü ile tasarlanmış aydınlatma alanında yansıma, gölge ve kamaşma gibi görmeyi etkileyen öğeler yok denecek kadar azdır. Bu aydınlatma türünün bir faydası ise göz yorgunluğunu azaltmasıdır. Şekil 2.8'de yarı endirekt aydınlatma türünün sembolü ve temel prensip şeması gösterilmiştir.

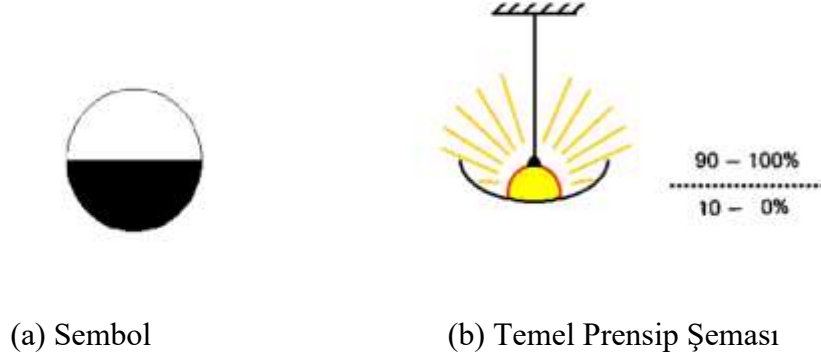


Şekil 2. 8 Yarı endirekt aydınlatma gösterimi (Şahin vd. 2014).

Endirekt (dolaylı) aydınlatma

Aydınlatma araçlarından çıkan ışığın %90'ı ile %100'ü arasını tavana doğru, geri kalan %0 ile % 10'luk kısmını ise aşağı doğru yönlendiren aydınlatma şeklidir. Yansıtma faktörü yüksek olan ortamlarda endirekt aydınlatma tercih edilir. Bu aydınlatma biçiminde duvar ve tavan renkleri ortamın aydınlatma performansını önemli bir biçimde etkilemektedir. Duvar ve tavanlarda açık renkli boya ya da açık renkli yüzey kaplamalarının kullanılması ortamın aydınlatma performansını yükseltmektedir. Yüzeylerin bakımının yapılması ve temiz tutulması gibi faktörler odadaki ışık seviyesinin korunmasında da doğrudan etkilidir. Gizli ışık bantları, yukarı yönlendirilmiş armatürler ve ters çanak sarkıtlar endirekt aydınlatma türüne örnek

verilebilir (Dursun 2005, İnt. Kyn. 4). Şekil 2.9’da endirekt (dolaylı) aydınlatma türünün sembolü ve temel prensip şeması verilmiştir.



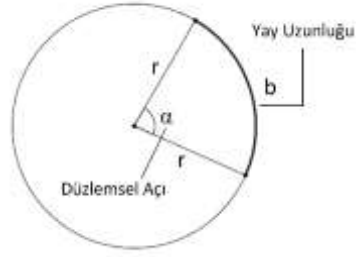
Şekil 2. 9 Endirekt aydınlatma gösterimi (Şahin vd. 2014).

2.5 Aydınlatma ile İlgili Fotometrik Büyüklükler

Doğru bir aydınlatma tasarımı için ilk olarak tasarımda kullanılan aydınlatma kaynaklarına ait temel niceliklerin bilinmesi gerekmektedir. Aydınlatma kaynaklarında verimlilik, performans, etkinlik faktörü gibi terimler fotometrik ölçümler sonucu elde edilmektedir. Fotometri, laboratuvar ortamında yapılan ve ışık ile ilgili olan her türlü ölçmelere verilen isimdir. Fotometri ölçmelerinde lüksmetre ve lüminansmetre gibi ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Yapılan ölçümler ve bu ölçümlerden elde edilen verilerin analizleri ile belirlenen ışık şiddeti ve ışık şiddeti dağılımı, ışık akısı, ışıksal verim, kamaşma, parıltı gibi ışığın niteliğini tanımlayan terimler aydınlatma kaynaklarının fiziksel olarak tanımlanmasını sağlar (Demiröz 2019).

2.5.1 Düzlemsel Açı

Bir noktadan çıkan iki doğru parçası bir açı meydana getirmektedir. Bu iki doğru parçası arasında kalan açıya düzlemsel açı denilmektedir. Düzlemsel açı bir noktadan çıkan iki doğru parçasının bir çemberi kestiği noktalardaki yay uzunluğunun çemberin yarıçapına bölümü ile elde edilir. Birimi radyandır. (Özkaya ve Tüfekçi 2011). Şekil 2.10’da düzlemsel açıya ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 10 Düzlemsel açı.

r yarıçaplı bir çemberde düzlemsel açı;

$$\alpha = b/r \quad (2.1)$$

Şeklinde hesaplanır.

Bu denklemde;

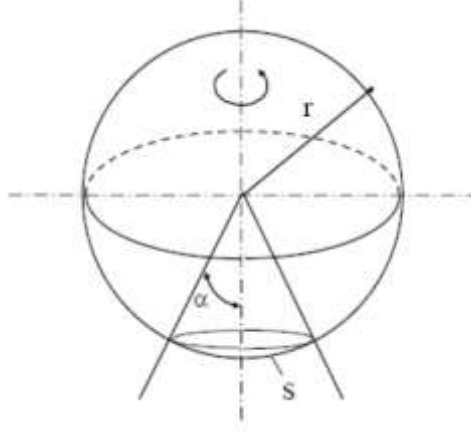
b: alfa açısının (α) gördüğü yay uzunluğunu,

r: çemberin yarı çapını

İfade etmektedir.

2.5.2 Uzay Açısı

Uzay açısı kavramı astronomi biliminde bir noktadan çıkıp piramit ya da koni oluşturan yarı doğruların meydana getirdiği uzay parçası olarak tanımlanır. Aydınlatmada ise içerisinde kısmi bir ışık akısı geçen piramit ya da koni şeklindeki uzay parçası olarak tanımlanmaktadır. Uzay açısı Ω ile sembolize edilmektedir. Birimi steradyan (sr)'dir. (Özkaya ve Tüfekçi 2011). Şekil 2.11'de uzay açısına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 11 Uzay açısı (Kılıç 2018).

r yarıçaplı bir kürede uzay açısı;

$$\Omega = S / r^2 \quad (2.2)$$

Şeklinde hesaplanır.

Bu denklemde;

S : Küre parçasının alanını,

r : Küre parçasının yarı çapını

İfade etmektedir.

2.5.3 Işık Şiddeti

Bir aydınlatma elemanının belirli bir doğrultuda yaydığı ışık miktarı ışık şiddeti olarak adlandırılmaktadır. Işık şiddeti doğrultuya bağlı bir büyüklüktür ve noktasal ışık kaynakları için tanımlanmaktadır. I ile sembolize edilir. Birimi candela (cd)'dir (Ürgüplü 2012).

2.5.4 Işık Akısı

Işık akısı; aydınlatma elemanının birim zamanda yaydığı, gözü etkileyen toplam ışık miktarıdır. Görme yönünden ise ışık akısı, aydınlatma elemanından çıkan ve gözün aydınlık görmesine ait spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen enerji akısı olarak tanımlanmaktadır. Aydınlatma elemanlarının ışık akısı, aydınlatma elemanının tipine göre değişmektedir (Ertik 2012). Işık akısı Φ ile sembolize edilmektedir. Birimi lümen (lm)'dir. Denklem (2.3)'te ışık akısı hesabına ait eşitlik verilmiştir.

$$\Phi = K_0 \cdot F \cdot V_\lambda \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte;

F: Enerji akısını (W),

K_0 : Enerji akısının fotometrik eşdeğerini (683 lm/W),

V_λ : Gözün spektral duyarlılığını veya radyasyonların görülebilme faktörünü ifade etmektedir.

Aşağıda Çizelge 2.1'de bazı ışık kaynaklarının lamba güçleri ile birlikte yaydıkları ışık akıları verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Bazı ışık kaynaklarının lamba güçleri ve ışık akıları (Şahin 2010).

Işık Kaynağı	Lamba Gücü (W)	Işık Akısı (lm)
Kompakt Flüoresan	18	900
Tüp Flüoresan	58	5 400
Akkor Telli Lamba	75	900
Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba	100	10 000
Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba	130	26 000
Yüksek Basıncılı Civa Buharlı Lamba	1 000	58 000
Metal Halojen Lamba	2 000	190 000

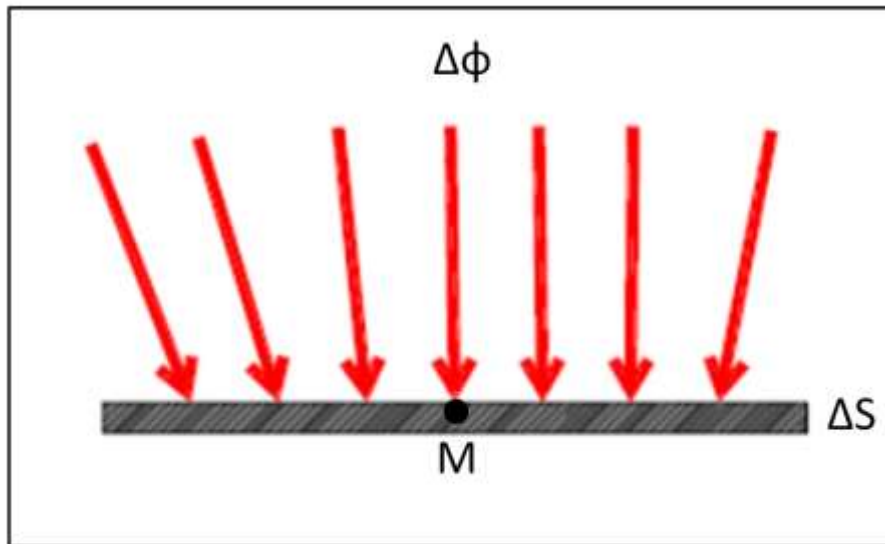
Çizelge 2.1’den de görüleceği üzere ışık kaynaklarının, lamba güçleri ile yaydıkları ışık akıları arasında sabit bir oran yoktur. Işık akısı ile lamba gücü arasındaki orana etkinlik faktörü denilmektedir.

2.5.5 Etkinlik Faktörü (Işıksal Verim)

Aydınlatmada sık sık kullanılan etkinlik faktörü kavramı, ışıksal verim anlamına gelmektedir. Işıksal verim ise aydınlatma kaynağının performansını ifade etmektedir. Etkinlik faktörü, aydınlatma kaynağının toplam ışık akısının kaynağın gücüne bölünmesiyle elde edilmektedir. Bundan dolayı her aydınlatma elemanının etkinlik faktörü de birbirinden farklıdır. e ile sembolize edilen etkinlik faktörünün birimi lümen/watt’tır (Candan 2010, Kılıç 2018).

2.5.6 Aydınlık Düzeyi

Bir ışık kaynağı tarafından aydınlatılan bir yüzeyin birim alanına birim zamanda düşen ışık akısı miktarına aydınlık düzeyi veya aydınlık seviyesi denilmektedir (Yaman 2007). Aydınlık düzeyi E ile sembolize edilir. Birimi lüks’tür (Erbil 2022). Şekil 2.12’de aydınlık düzeyine ait görsel görülmektedir.



Şekil 2. 12 Aydınlık düzeyi (Boyraz 2011).

Bu görselde (Şekil 2.12);

$\Delta\Phi$: Yüzeye gelen ışık akısı (lm),

ΔS : Işık akısı gelen yüzeyin alanını (m^2)

İfade etmektedir.

Şekil 2.12’de işaretlenen M noktasındaki aydınlık düzeyi, bu noktayı içine alan bir ΔS yüzeyine düşen $\Delta\Phi$ ışık akısının ΔS yüzeyine bölümünün ΔS sıfıra giderken ki limitine eşittir. Bu eşitlik denklem (2.4)’te gösterilmiştir.

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (2.4)$$

Eğer ΔS yüzeyi üzerinde ki aydınlık düzeyi dağılımı homojen ise M noktasındaki aydınlık düzeyi;

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.5)$$

Şeklinde elde edilir (Özkaya ve Tüfekçi 2011, Boyraz 2011).

2.5.7 Parıltı

Bir yüzeyin veya aydınlatılan nesnenin ne kadar parlak görüldüğünün bir ölçüsü olan parıltı, bakılan nesnenin gözün ağ tabakasındaki görüntüsünün aydınlık seviyesi ile ilgilidir. Parıltı, belirli bir doğrultudan ışıklı yüzeye bakan bir göz tarafından ne kadar ışık şiddetinin algılandığını ifade eder. İnsan tarafından algılanabilen tek fotometrik büyüklük olan parıltı, doğrultuya bağlı olarak değişir (Kocabey 2008). Parıltı L ile sembolize edilir. Birimi cd/m^2 ’dir. Şekil 2.13’te ışık yayan bir yüzey üzerindeki M noktasının α doğrultusundaki parıltısına ait görsel verilmiştir.

ρ : Yüzeyin yansıtma katsayısını,

π : Pi sayısını (3,14)

İfade etmektedir.

Aşağıda Çizelge 2.2’de bazı ışık kaynaklarının parlıtlı değlerleri verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Bazı ışık kaynaklarının parlıtlı değlerleri (Şahin 2010).

	Parıtlı (cd/m^2)
Floresan lamba	5 000-15 000
Aydınlatılmış yol yüzeyi	0,5-2
Aydın yüzeyi	2500
400 lüks altındaki beyaz kağıt ($\rho=0.8$)	100
400 lüks altındaki gri kağıt ($\rho=0.4$)	50
Güneş ışınlarının altındaki kumsal	15 000

2.6 Fotometrik Ölçümler

Laboratuvar ortamında yapılan ve ışık ile ilgili olan her türlü ölçme fotometrik ölçüm olarak adlandırılmaktadır (Ok Davarcı 2022).

Günümüzde, aydınlatma elemanları ile ilgili fotometrik ölçümden bahsedildiğinde anlaşılan gonyofotometrik ölçümdür. Gonyofotometre; bir aydınlatma elemanının ışık şiddet dağılımının veya aydınlatma dağılımının incelenmesi için kurulan sistemdir. Gonyofotometre ölçümü; aydınlatma aygıtının hangi yöne hangi açılarda ne kadar ışık akısı gönderdiğini ve bu ölçümlerden de parlıtlı diyagramlarını, UGR (Unified Glare Ratio) olarak tanımlanan kamaşma tablolarını, aydınlatma elemanının birinci, ikinci ve üçüncü boyuttaki ışık şiddeti dağılımını ve özel aydınlatmadaki özel açılarının hesaplanmasını sağlar (Uysal 2005, Şahin 2010, İnt. Kyn. 5).

Fotometrik ölçümler;

- Aydınlık düzeyi ölçümleri,
- Parıltı ölçümleri,

Olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir (Sirel 2004, Şahin 2014).

2.6.1 Aydınlik Düzeyi Ölçümleri

Birim yüzeye düşen ışık akısı olarak ta bilinen aydınlık düzeyi, görme olayının sağlanmasında en temel etkenlerden birisidir. Aydınlik düzeyi ölçümleri, belirli bir yüzey alanı üzerine düşen ışık akısı büyüklüğü ile ilgilenilen ölçümlerdir. Birden fazla ölçüm yöntemi vardır. En yaygın ölçme yöntemi aydınlıkölçer (lüksmetre) ile yatay bir düzlem üzerindeki aydınlık düzeyinin ölçülmesidir. Düzlem üzerinde yapılan ölçümler; noktada aydınlık düzeyi ve ortalama aydınlık düzeyi olmak üzere iki çeşittir. Aydınlik düzeyi ölçümleri genellikle yatay yüzeyler üzerinde yapılmaktadır. Bazı aydınlatma tasarımlarında duvar ve tavan gibi yüzeylerde oluşan aydınlık düzeylerinin ölçülmesi de önem arz etmektedir (Şahin 2010). Aşağıda Şekil 2.14'te aydınlık ölçere (Lüksmetre) ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 14 Aydınlik ölçer (Lüksmetre) (İnt. Kyn. 6).

Ayrıca ortam içinde yapılan aydınlık düzeyi ölçümleri ile birlikte gonyofotometrik ölçümlerle de karşılaşılmaktadır. Gonyofotometrik ölçümler, aydınlık düzeyi ölçmelerinin özel bir türüdür. Gonyofotometre ile armatüre ait ışık akısı (lümen), ışık şiddeti (Kandela) ve ışık açısı (Polar diyagram) gibi değişkenlerin ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Gonyofotometrik ölçmeler sonucunda elde edilen ölçüm değerleri, analizi yapılan aydınlatma aygıtının kullanıldığı mekânlarda aydınlık düzeyi hesaplamalarının hatasız bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadırlar (Kocabey 2008). Gonyofotometrik ölçümler gonyofotometre adı verilen cihazlarla yapılmaktadır. Aşağıda Şekil 2.15'te gonyofotometreye ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 15 Gonyofotometre (İnt. Kyn. 5).

Gonyofotometrik ölçüm sonucunda bir aydınlatma elemanının;

- Tepe açısı,
- Hangi yöne ne kadar ışık akısı gönderdiği,
- Aydınlık düzeyi eğrileri ve tabloları,
- Standart geriverimi,
- Konik diyagramı,
- Belli koşullarda oluşturduğu aydınlık düzeyi için izolüks eğrileri,
- Faydalanma faktörü (verim) tablosu,
- Kamaşma tablosu

Gibi ölçümsel karakteristikleri belirlenir (Kocabey 2008).

Gonyofotometrik bir ölçümün sonucunda elde edilen veriler, ölçmesi yapılan aydınlatma elemanının verdiği ışık akısı doğru olarak biliniyorsa direkt olarak aydınlatma hesaplamalarında kullanılabilir. Aydınlatma elemanının ne kadar ışık akısı verdiği bilinmiyor ise gonyofotometrik ölçmeye alınan 100 saat yaşlandırılmış aydınlatma elemanının Ulbricht Küresi yardımıyla her yöne ne kadar ışık akısı verdiği saptanmalıdır (Şahin 2010). Aşağıda Şekil 2.16'da ulbricht küresine ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 16 Ulbricht Küresi (İnt. Kyn. 7).

Ulbricht küresi Şekil 2.16' da görüldüğü gibi iç yüzeyi beyaz olan bir küredir. İçerisine yerleştirilen lambanın yaydığı bütün ışık akılarını bünyesinde toplar (Kocabey 2008). Eğer küre dışarıya herhangi bir şekilde ışık sızdırmıyorsa küre yüzeyindeki aydınlık seviyesi değeri ve lambadan yayılan toplam ışık akısı değeri orantılı olacaktır. Ulbricht küresi ile fotometrik ışık dağılımına gerek duyulmadan ışık çıktılarını ölçmek mümkündür. Ulbricht küresi ışık dağılımını ölçen bir gonyofotometre cihazından daha küçük bir alan kaplamaktadır (Şahin 2010). Ölçümler yapılırken ulbricht küresinin düzgün bir yayınımına ve iç yüzeyinin ρ yansıtma katsayısına sahip olduğu kabul edilir. Aydınlık seviyesi değeri kürenin yüzeyine bağlı olarak değişmektedir.

Yüzey alanı A olarak kabul edilen bir kürenin içerisine yerleştirilen lambanın yaydığı toplam ışık akısı;

$$\Phi = \frac{\pi}{\rho} \int L \cdot dA \quad (2.8)$$

Şeklinde hesaplanır.

Bu denklemde;

L: Küre iç yüzeyinin kısmi bir parçasının (dA) başlangıç parıltısını,

ρ : Küre iç yüzeyinin yansıtma kat sayısını

İfade etmektedir.

İlk yansımadan sonra yansıyan ışık, kürenin tüm kısımlarını eşit bir şekilde aydınlatacaktır. Bundan dolayı, kürenin bütün kısımlarından alınan aydınlık seviyesi, küre iç yüzeyinin kısmi bir parçasından (dA) yansıyan ışığa bağlı olarak;

$$E = \frac{\pi}{A} \cdot L \cdot dA \quad (2.9)$$

Şeklinde hesaplanır.

Kürenin tüm kısımlarından yansıyan ışığa bağlı olarak küre iç yüzeyinin aydınlık seviyesi;

$$E = \frac{\pi}{A} \int L \cdot dA \text{ ve } E = \frac{\rho}{A} \cdot \Phi \quad (2.10)$$

Şeklinde elde edilmektedir.

Benzer şekilde ikinci yansıma ya bağlı olarak kürenin iç yüzeyindeki aydınlık seviyesi;

$$E = \frac{\rho^2}{A} \cdot \Phi \quad (2.11)$$

Şeklinde bulunur.

Kürenin içindeki yansıma bitmeyeceğinden bu işlem sonsuz bir şekilde tekrar edilecektir. Bu durumda kürenin iç yüzeyindeki son aydınlık seviyesi;

$$E = \frac{\rho}{A} \cdot \Phi + \frac{\rho^2}{A} \cdot \Phi + \frac{\rho^3}{A} \cdot \Phi + \dots \quad (2.12)$$

Şekilde formülize edilmektedir.

Yukarıdaki denklem (2.12) düzenlenirse aydınlık seviyesi;

$$E = \frac{\rho}{A} \cdot \Phi \cdot \frac{1}{(1-\rho)} \quad (2.13)$$

Şeklinde elde edilir.

Bu denklemde;

Φ : Lambanın ışık akısını,

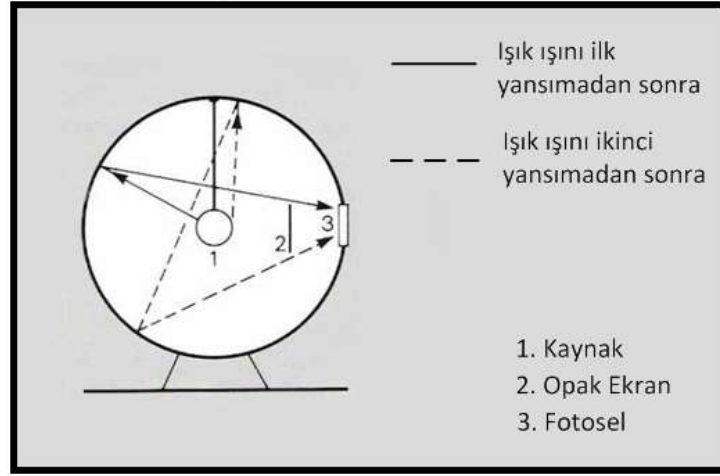
ρ : Kürenin iç yüzeyinin yansıtma kat sayısını,

A: Kürenin yüzey alanını

İfade etmektedir.

Denklem (2.13) incelendiğinde; E aydınlık düzeyinin, kürenin içerisine yerleştirilen lambanın ışık dağılımından bağımsız olduğu görülmektedir. Teoride bu durum, ışık için ohm kanunu olarak isimlendirilmektedir (Simons ve Bean 2001). Teoride küre yüzeyinin yansıtma kat sayısı biliniyor ise E'yi ölçerek Φ 'yi hesaplamak mümkündür. Pratikte yani uygulamada ise teoride yapılan kabuller işe yaramayabilir. Bu sebeple,

ulbricht küresi sadece ışık kaynaklarının karşılaştırılması amacıyla kullanılır (Şahin 2010). Şekil 2.17’de ulbricht küresinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2. 17 Ulbricht küresinin şematik gösterimi (Güler 2007).

Aydınlık seviyesi hesapları; gonyofotometre ve ulbricht gibi cihazlar yardımıyla yapılan ölçmelerin sonucunda elde edilen tablo, grafik ve geriverim değeri gibi büyüklükleri kullanarak el yordamıyla yapılabileceği gibi aydınlık seviyesi hesabı yapan bilgisayar programları yardımıyla da yapılabilmektedir.

2.6.2 Parıltı Ölçümleri

Parıltı ölçümleri, bir cisimden çıkan veya yansıyan belirli bir yöndeki ışık akısı büyüklüğünün saptanması için yapılmaktadır. Parıltı, göz tarafından algılanabilen tek fotometrik niceliktir. Dolayısıyla parıltı kavramı ve parıltı ölçümleri zannedildiğinden de önemlidir. Parıltısı ölçülecek cisim, herhangi bir enerjiyi ışığa dönüştüren lamba, mum ve güneş gibi birincil ışık kaynağı olabileceği gibi üzerine düşen ışığı yansıtarak veya geçirerek çevresine ışık yollayan cisim veya yüzeyler gibi ikincil ışık kaynağı da olabilir (Şahin 2010).

Aydınlatma tasarımlarında parıltı ölçmeleri, genellikle görüş açısı içerisindeki parıltıların dengelenmesi ve ortamdaki parıltının belirli değer aralığında tutulmasının gerekmesi nedeniyle yapılmaktadır. Bir cismin belirli bir noktasındaki parıltı değeri; bu noktayı çevreleyen küçük bir yüzey parçasına gelen ışık şiddetinin, bu yüzey parçasının

alanına bölümü ile elde edilmektedir (Şahin 2010). Parıltı, parıltı ölçer (Lüminansmetre) diye anılan özel bir ölçü aletiyle ölçülmektedir. Şekil 2.18’de parıltı ölçere ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 18 Parıltı Ölçer (İnt. Kyn. 8).

Parıltı ölçerler, ölçüm sırasında gördükleri alan ölçme açısıyla sınırlandırıldığı için ölçü aletinin arkasında ve yanlarında kalan aydınlıklardan etkilenmezler. Ama yine de ölçüm anında ölçüm yapılan yüzeyde istenmeyen aydınlıkların oluşması engellenmelidir.

Parıltı ölçümleri, belirlenen alandaki ortalama parıltı değerinin ölçülmesi şeklinde gerçekleşir. Bundan sebeple parıltı ölçümünde ölçüm yapılacak olan noktanın küçük olmasına dikkat edilir ya da ölçüm yapılan alanda parıltının olabildiğince dengeli yayılmış olmasına çalışılır.

Parıltı ölçerin ölçüm yapılacak yüzeyden uzaklığı yani ölçüm uzaklığı teorik olarak önemsizdir. Çünkü parıltı ölçümünde amaç belli bir alandan gelen ışık akısının ölçülmesidir. Ancak uygulamada ölçülecek yüzeyin, parıltı ölçerin ölçme alanı ile örtüştürülmesi gerektiğinden ölçme uzaklığı gelişigüzel bir şekilde belirlenmemelidir. Ölçüm yapılacak alanda parıltı ölçümünün tek bir noktada yapılması yeterli değildir. Değişik noktalarda birden fazla ölçüm yapılması ve bu ölçümleri ortalamasının alınması

daha doğru bir sonuç elde edilebilmesine olanak sağlayacaktır (Kocabey 2008, Şahin 2014).

2.7 Işık Üretim Yöntemleri

Ortam aydınlatmasını sağlamak için kullanılan lambalarda ışık üretimi; termik tabanlı, deşarj tabanlı ve elektrolüminesans tabanlı olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

2.7.1 Termik Tabanlı Işık Üretimi

Termik tabanlı ışık üretiminde çoğunlukla katı ve sıvı cisimlerin kızgın hale gelmesiyle ışık oluşmaktadır. Akkor flamanlı lambalarda ışık üretimi bu esasa dayanmaktadır. Termik yolla ışık üretimi ile ilgili en önemli yasalar Wien, Kirchoff, Planck, Stefan-Boltzmann tarafından ortaya konulan yasalardır (Küçük Karagöz 2018).

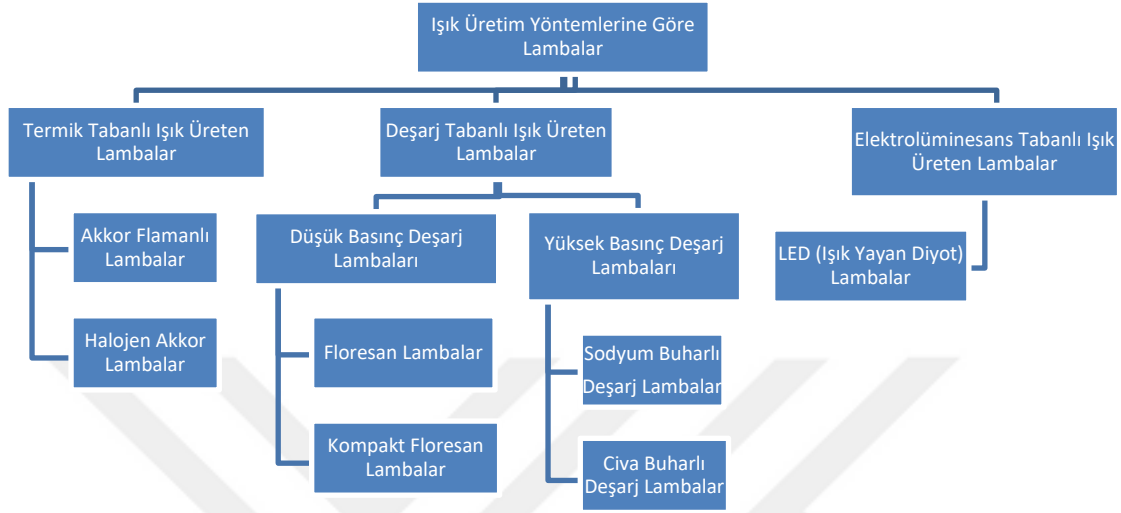
2.7.2 Deşarj Tabanlı Işık Üretimi

Deşarj tabanlı ışık üretimi, uyarılmış olan atom veya moleküllerinin temel duruma geçmeleri anında uyarılmak için almış oldukları enerjiyi ışıma enerjisi şeklinde geri vermesi olayına dayanmaktadır. Bu yolla ışık üretiminde, cismin sıcaklığının herhangi bir önemi yoktur. Floresan lambalardaki ışık üretimi bu esasa dayanmaktadır (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

2.7.3 Elektrolüminesans Tabanlı Işık Üretimi

Elektrolüminesans tabanlı ışık üretimi, elektrik enerjisinin direkt olarak ışık enerjisine dönüştürülmesi sürecidir. Bu ışık üretim türü, p-n jonksiyonlu yarı iletkenlere dayalı bir üretim türüdür. Yarı iletkenin bir tarafına bir elektron enjekte edilir ve diğer taraftan enjekte edilen elektron delik ile birleşerek ışık yayan bir foton meydana getirir. LED (light-emitting diode) lambalardaki ışık üretimi bu esasa dayanmaktadır (Özkaya ve

Tüfekçi 2011, Kılıç 2018). Işık üretim yöntemlerine göre ışık üreten lambalar aşağıda verilen Şekil 2.19'daki gibi gruplandırılmaktadır.



Şekil 2. 19 Işık üretim yöntemlerine göre lambalar (Seçkin 2021).

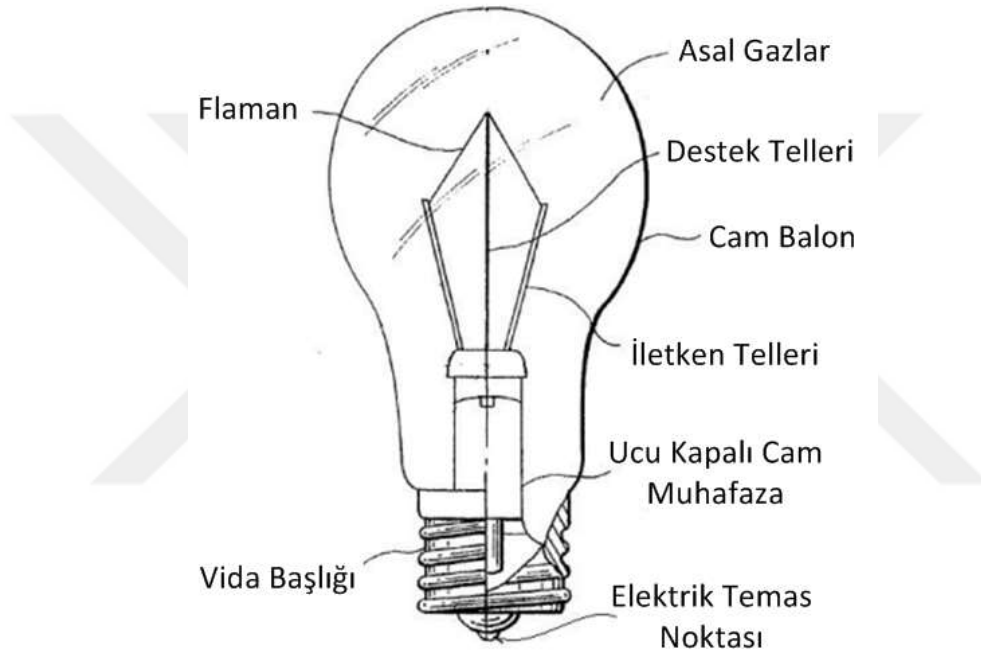
2.8 Aydınlatma Elemanları

Teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi aydınlatma elemanlarının gelişmesine de katkı sağlamıştır. Aydınlatma elemanları çalışma, yöntem ve kullanıldıkları ortama göre farklılıklar gösterir (Gan ve Grabosky 2000).

Elektriğe ulaşmanın pahalı olması elektrik enerjisini verimli kullanmayı zorunlu hale getirmiştir. Verimlilik için aydınlatma elemanları da aydınlatılacak ortamın özelliklerine göre tercih edilmelidir. Çalışma prensiplerine, yöntem ve sonucuna göre çeşitli aydınlatma armatürleri vardır. Bunlar; akkor lamba, basınç deşarjlı lamba, floresan lamba, kompakt floresan lamba ve LED lambalardır. Bu bölümde aydınlatma elemanlarının çalışma prensipleri ve özellikleri incelenmiştir (Özer 2019, Dursun 2021).

2.8.1 Akkor Flamanlı Lambalar

Piyasada enkandesan lamba olarak ta bilinen akkor filamanlı lambalar, iç mekânlarda en çok kullanılan armatür türüdür. Özellikle kısa süreli aydınlatmaya ihtiyaç olan apartman girişleri ve merdivenler gibi yerlerin aydınlatılmasında kullanılırlar. Akkor flamanlı lambaların elektrik iletim sistemlerine ve insan sağlığına olumsuz etkileri de oldukça fazladır (Demir 2014). Şekil 2.20’de akkor flamanlı lamba ve lambanın iç yapısına ait görsel verilmiştir.



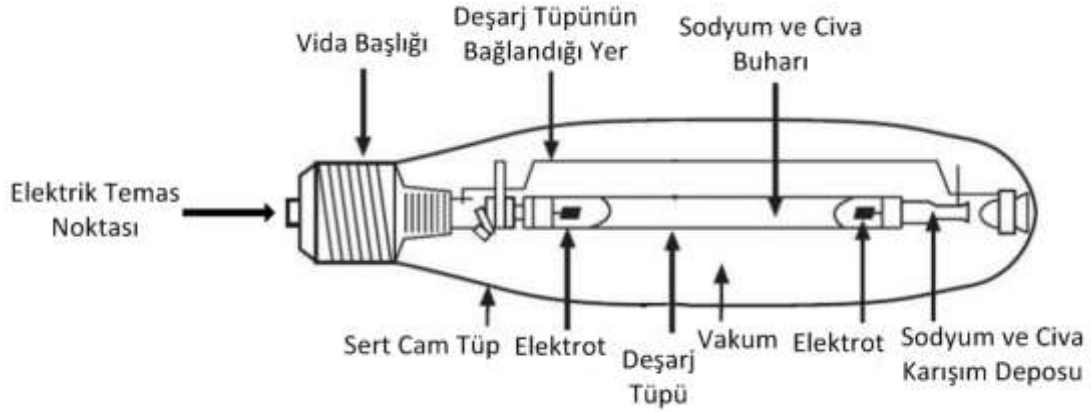
Şekil 2. 20 Akkor flamanlı lamba (Matsuda ve Yaguch 1995).

2.8.2 Basınç Deşarjlı Lambalar

Sokak, otoyol, tünel, spor sahaları ve bahçe gibi dış aydınlatma sistemlerinde sıklıkla kullanılan basınç deşarjlı lambalar üç başlıkta sınıflandırılmaktadır. Bunlar; alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar ve yüksek basınçlı civa buharlı lambalardır

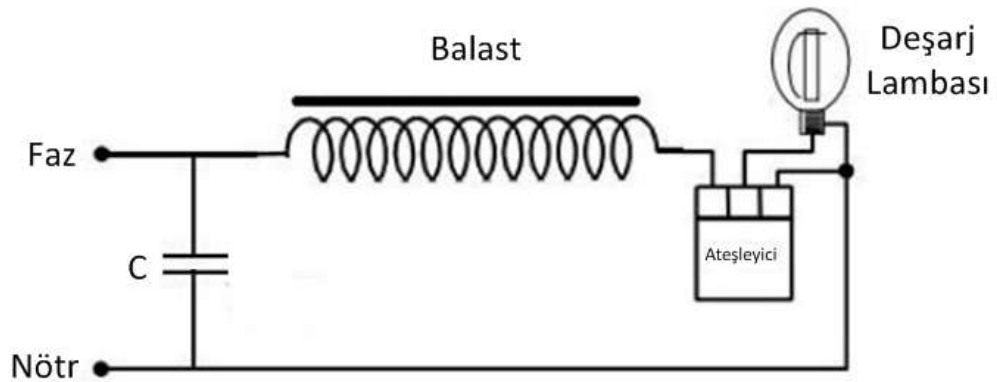
Aydınlatma sistemlerinde en çok tercih edilen basınç deşarjlı lamba türü, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalardır. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı armatürlerin dağıttığı ışık, gün ışığına benzer olmasından dolayı diğer basınç deşarjlı

lamba türlerine göre daha çok tercih edilmektedirler. Basınç deşarjlı lambalar, çoğunlukla dış aydınlatmada kullanılsa da bazı durumlarda sanayi tesisleri gibi iç aydınlatma tesislerinde de tercih edilebilmektedirler (C  vd. 2002, Kılıç 2018). Şekil 2.21'de yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ve bu lambanın yapısına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 21 Yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba (Taylor 2000).

Deşarj tipi lambalar, akkor flamanlı lambaların aksine şebekeye doğrudan ba lanamazlar. Şebekeye ba lanırken ate leyici (ignit r), kaçak akılı trafo, akım sınırlayıcı (balast) vb. devre elemanlarına gereksinim duyarlar. Bu devre elemanlarının kullanılmasındaki amaç ateşleme için ihtiyaç duyulan yüksek voltaj değerini sağlamaktır ( zkaya ve Tüfekçi 2011). Şekil 2.22'de deşarj lambasının bağlantı şemasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 22 Deşarj lambası bağlantı şeması ( mal ve Bektaş 2014).

2.8.3 LED Lambalar

İngilizce’de “Light Emitting Diode” kavramının baş harflerinden meydana gelen LED, dilimizde “Işık Yayan Diyot” veya “Işıklı Diyot” anlamına gelmektedir (İnt.Kyn.9).

Diyotlar elektronik devrelerde kırpma ve doğrultma görevlerinde kullanılmaktayken teknolojinin ilerlemesiyle beraber aydınlatma sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Işık üretimi esnasında ısı meydana getirmemesi sebebiyle reklam panolarında, dış cephe aydınlatmaları ve mağaza aydınlatmaları gibi birçok yerde güvenlikle tercih edilmektedirler (Özer 2019).

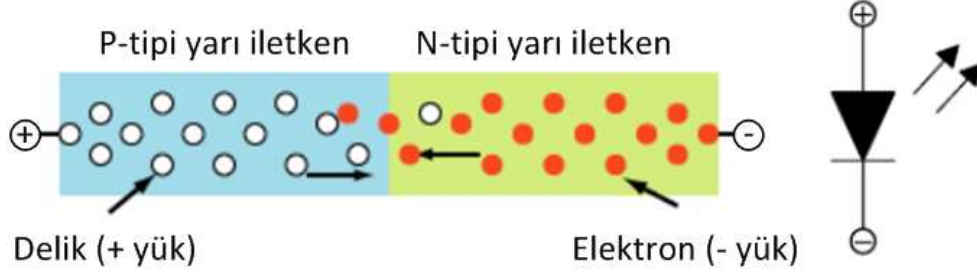
Gözlerde herhangi bir insanı rahatsız edici etkileri olmayan LED lambalar, az enerji harcamasından dolayı da evlerde kullanımı son zamanlarda giderek artmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.23’te LED lambaya ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 23 LED armatür (Özer 2019).

LED lambalarda ışık üretme olayı, belirli bir gerilim seviyesine ulaştıktan sonra içerisinde bulunan elektronların hareket etmesiyle meydana gelmektedir. Bu olay elektrolüminans olarak adlandırılmaktadır. Bu tip lambaların ürettiği ışık, diğer aydınlatma aygıtlarında olduğu gibi termik veya kimyasal işlemler sonucunda meydana gelmemektedir (Erol ve Canbolat 2011).

LED lambaları; iki farklı tipteki yarı iletken malzemenin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Bu malzemeler n-tipi ve p-tipi olmak üzere adlandırılmaktadır. Şekil 2.24'te LED lambanın yapısına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 24 LED lamba iç yapısı (Türköz 2009).

Çizelge 2.3'te bazı lamba türlerine ait özelliklerin karşılaştırması verilmiştir. Lamba türlerinin; renksel geriverim indeksleri, ortalama ömürleri, etkinlik faktörleri, avantajları ve dezavantajları olmak üzere karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çizelge 2. 3 Bazı lamba türlerinin karşılaştırmalı tablosu (Özer 2019).

	AKKOR FLAMANLI LAMBALAR	HALOJEN LAMBALAR	FLORESAN LAMBALAR	METAL HALİDE LAMBALAR	YÜKSEK BASINÇLI CİVA BUHARLI LAMBALAR	YÜKSEK BASINÇLI SODYUM BUHARLI LAMBALAR	ALÇAK BASINÇLI SODYUM BUHARLI LAMBALAR	LED LAMBALAR
Renksel Geriverim İndeksi (Ra)	Çok İyi	Çok İyi	İyi	İyi	Orta	Kötü	Çok Kötü	İyi
Ortalama Ömür	1 000 saat	1 000-4 000 saat	5 000-16 000 saat	6 000-12 000 saat	15 000-25 000 saat	16 000-32 000 saat	16 000 saat	25 000-50 000 saat
Etkinlik Faktörü	6-16 lm/w	12-25 lm/w	60-104 lm/w	72-110 lm/w	40-59 lm/w	88-130 lm/w	100-192 lm/w	80-130 lm/w
Avantajları	Kurulumu ucuz, Küçük ebatlar, Açma kapama ömrü yok	Kurulumu ucuz, Küçük ebatlar, Açma kapama ömrü yok	Çok iyi ışıksal verim	Çok iyi ışıksal verim	Uzun ömürlü	Çok iyi ışıksal verim, Uzun Ömür	Çok çok iyi ışıksal verim, Uzun Ömür	Çok iyi ışıksal verim, uzun ömür, küçük boyut, açma kapama ömrü yok
Dezavantajları	Harcadığı enerji fazla, Ömrü çok kısa	Harcadığı enerji fazla, Ömrü kısa	Açma kapamanın lamba ömrü üzerine olumsuz etkisi var	Düşük Ateşleme Frekansı	Renksel geriverimi düşük	Renksel geriverimi düşük	Lamba boyutu büyük, Renksel geriverim çok kötü	Isınma, Yüksek maliyet

2.9 Spor Tesislerindeki Genel Aydınlatma Kriterleri

Son yıllarda spor müsabakaları özellikle tanıtım ve reklam amaçlarına hizmet eden araçlardan biri haline gelmiştir. Spor müsabakaları tribüne daha fazla seyirci, TV başına daha çok izleyici çekebilmek için akşam saatlerinde yapılmaktadır. Akşam saatlerinde oynanan müsabakalar neticesinde tribünlerdeki seyirci sayısında ve TV reytinglerinde artış meydana gelmektedir. Seyirci sayısında ve reytinglerde meydana gelen bu artışın en önemli sebebi canlı yayın teknolojisidir. Canlı yayın teknolojisindeki gelişmeler spor tesislerindeki aydınlatmanın önemi arttırmakta ve aydınlatma tesisatında iyileştirmeler yapılmasını da zorunlu kılmaktadır. Açık ya da kapalı spor tesislerinde yapılan antrenmanlar veya müsabakalar sırasında tribündeki izleyicilerin, oyuncuların, hakemlerin, güvenlik görevlilerinin ve TV yayıncılarının kaliteli ve iyi tasarlanmış bir aydınlatmaya ihtiyaçları vardır (Boyras 2011).

Kaliteli ve iyi tasarlanmış bir aydınlatma (Boyras 2011);

- Oyun alanının her alanındaki görüş ihtiyacını karşılayabilmeli,
- Oyun alanı üzerinde düzgün bir ışık dağılımına olanak sağlamalı,
- Uluslararası federasyonların önerdiği aydınlatma seviyesi değerlerinin ne altına inmeli ne de üstüne çıkmalıdır.

Aydınlatmanın kalitesi spor tesisinde yapılan organizasyonun seviyesine de bağlıdır. Organizasyonun seviyesine göre üç aydınlatma sınıfı tanımlanmıştır (Üncü ve Şahin 2021).

Aydınlatma Sınıfı I: Seyirci kapasitesi yüksek olan ulusal ve uluslararası müsabakaları içeren aydınlatma sınıfıdır.

Aydınlatma Sınıfı II: Seyirci kapasitesi orta olan bölgesel ve yerel müsabakaları içeren aydınlatma sınıfıdır.

Aydınlatma Sınıfı III: Çoğunlukla seyirci içermeyen ya da az sayıda seyircili müsabakaları içeren aydınlatma sınıfıdır. Düşük seviyeli müsabakaları, yerel veya

küçük kulüp müsabakaları, genel antrenmanları ve okullar arası müsabakaları içermektedir. Çizelge 2.4'te organizasyon seviyesi ve aydınlatma sınıfına ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 2. 4 Spor organizasyonlarının aydınlatma seviyelerine göre sınıflandırılması (TS EN 12193 2019).

Organizasyon Seviyesi	Aydınlatma Sınıfı		
	I	II	III
Uluslararası/Ulusal	*		
Bölgesel	*	*	
Yerel	*	*	*
Antrenman		*	*
Okul Müsabakaları			*

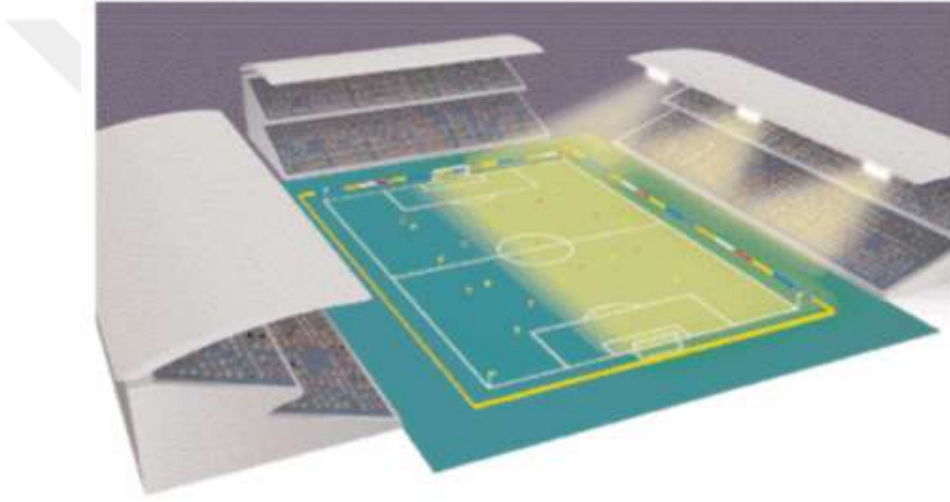
İyi bir spor tesisi aydınlatması; oyuncular, hakemler ve tribündeki seyirciler için iyi bir görüş olanağı sağlamalı, oyun içindeki top; konum ve hıza bağlı olmaksızın her zaman net bir şekilde görülebilmelidir. Bu sonuçların ortaya çıkmasında etkili olan faktörler aşağıda verilmiştir (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

- Yatay aydınlık seviyesi değeri
- Düşey aydınlık seviyesi değeri
- Aydınlatma seviyesi düzgünlüğü
- Kamaşmanın sınırlandırılması
- Işık rengi sıcaklığı
- Renksel geriverim

2.9.1 Yatay Aydınlık Seviyesi

Oyun sahası üzerinde bulunan oyuncuların ve hakemlerin net olarak algılanabilmesi, oyun içindeki topun yerinin rahat ve hızlı bir şekilde görülebilmesi temel alınarak belirlenen bir değer olan yatay aydınlık seviyesi değeri, gerekli göz adaptasyonunu sağlamak içinde önemli bir kavramdır (İmal 2007).

Spor tesisindeki aydınlatma sisteminin etkin kullanımı için tesisteki organizasyonun seviyesine göre yatay aydınlık seviyesi değeri ayarlanmalıdır (Boyraz 2011).Aşağıda Şekil 2.25'te yatay aydınlık seviyesinin gösterimine ilişkin görsel verilmiştir.

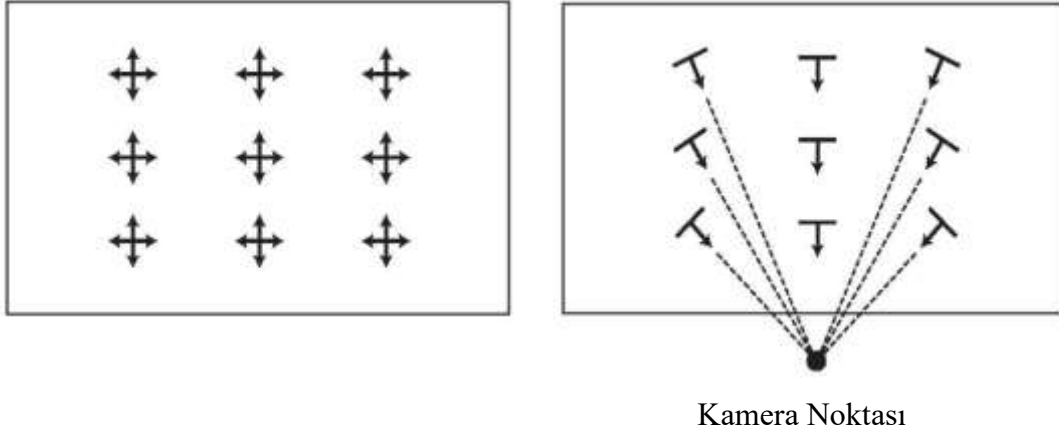


Şekil 2. 25 Yatay aydınlık seviyesinin gösterimine ilişkin görsel (Philips 2002).

2.7.2 Düşey Aydınlık Seviyesi

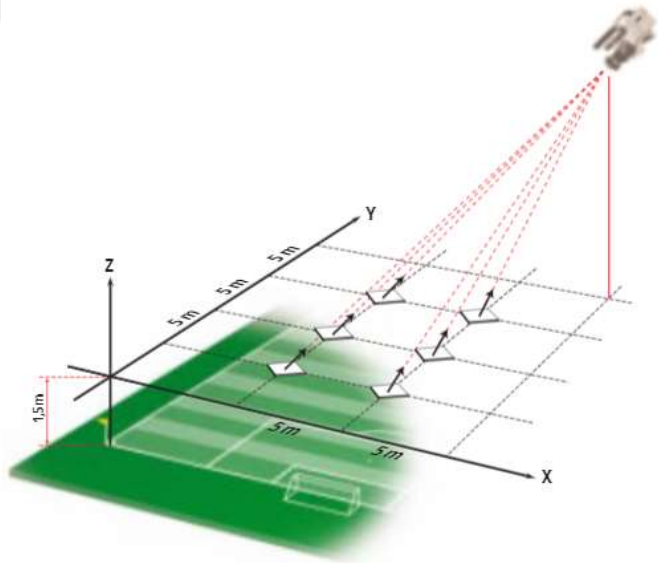
Düşey aydınlık seviyesi hesabı yapılırken oyuncunun bedeni televizyon kamerası için referans alınır. TV yayını olan müsabakalarda kameralar, aydınlık seviyesinin ideal olması için oyun içinde kullanılan topun havada olması durumunu da dikkate almalılardır (Boyraz 2011).

Şekil 2.26’da düşey aydınlık değeri ölçümleri için referans noktalar gösteren görsel verilmiştir.



Şekil 2. 26 Düşey aydınlık değeri ölçümleri için referans noktalar (Petranović 2012).

Düşey aydınlatma, kamera yönündeki ışıktır. Hesaplama yapılırken Şekil 2.26’daki gibi referans noktalar belirlenir. Referans noktalarındaki ölçümler ise Şekil 2.27’de görüldüğü gibi yerden 1,5 metre yükseklikten yapılmalıdır.



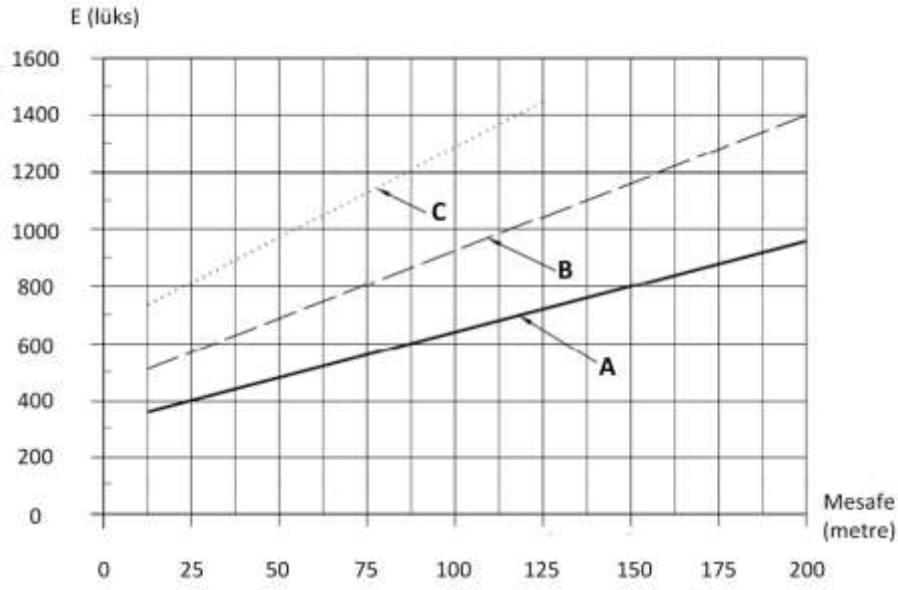
Şekil 2. 27 Kamera eksen ve referans noktaları (Philips 2002).

Düşey aydınlık seviyesi; spor tesisinde gerçekleşen müsabakanın hızına ve kameranın çekim mesafesine bağlıdır. Spor müsabakaları oyunun hızına göre üç gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar; A, B ve C olarak adlandırılmaktadır. Çizelge 2.5’de bazı spor dalları ve bu dalların hangi gruba ait olduğu bilgisi verilmiştir.

Çizelge 2. 5 Spor dalı ve grubu (EN 12193 2007).

Spor Dalı	Grup
Basketbol	B
Badminton	B
Plaj Voleybolu	B
Bilardo	A
Bowling	A
Boks	C
Masa Tenisi	C
Tenis	B
Yüzme	A
Futbol	B
Hentbol	B
Voleybol	B
Jimnastik	B
Florbol	B
Dart	A
Kriket	C
Salon Bisiklet Yarışı	B
Atletizm	A
Okçuluk	A
Eskrim	C
Judo	B
Buz Hokeyi	C
Netbol	B

Şekil 2.28’de öngörülen spor dalı için maksimum çekim mesafesine ve grup bilgisine göre ortamda olması gereken minimum düşey aydınlık seviyesine ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 28 Kameranın çekim mesafesi ve düşey aydınlık seviyesi arasındaki ilişki (EN 12193 2007).

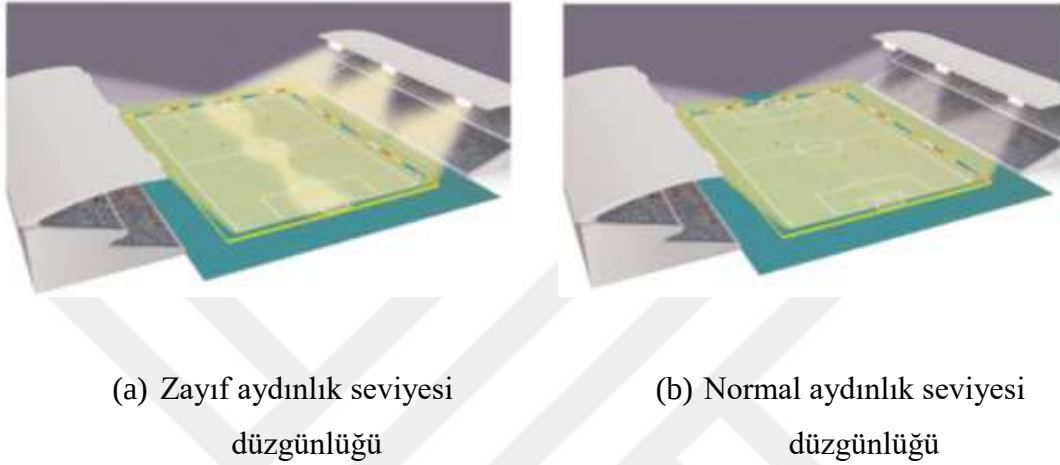
Şekil 2.28'e baktığımızda; Kamera çekimi ile canlı yayın yapılan bir basketbol salonunda 75 m civarında çekim mesafesi için gerekli olan minimum düşey aydınlık seviyesinin 800 lüks'e eşit olduğu görülmektedir. Yani böyle bir müsabakada ortamın düşey aydınlık düzeyi minimum 800 lüks olmalıdır.

Düşey aydınlık seviyesi değeri, izleyenler için kamera açısındaki oyuncuların, hakemlerin vb. görevlilerin vücutlarının belirgin bir şekilde görülebilmesi açısından önemli bir kavramdır (Boyras 2011).

2.9.2 Aydınlık Seviyesinin Düzgünlüğü

Aydınlık seviyesi düzgünlüğünün denetiminde iki ölçüt ön plana çıkmaktadır. Bunlar Emin/Emax ve Emin/Eort ölçütleridir. Emin/Emax ölçütü; oyun alanı üzerindeki en düşük aydınlık seviyesi değerinin, en yüksek aydınlık seviyesi değerine bölünmesi sonucu elde edilen değer olarak ifade edilmektedir. Saha üzerinde bulunan oyuncuların, hakemlerin ve kameranin görsel adaptasyon süresine olumlu yönde etki sağlayarak, görsel performansa katkıda bulunan bir kriterdir (Boyras 2011).

Emin/Eort ölçütü ise oyun alanı üzerindeki en düşük aydınlık seviyesi değerinin, oyun alanının ortalama aydınlık seviyesi değerine bölünmesi sonucu elde edilen değer olarak ifade edilmektedir. Bu ölçüt, gözün adapte olduğu ortamdaki ortalama aydınlık seviyesi değeriyle saha üzerindeki en karanlık noktanın aydınlık seviyesi değeri arasındaki farkla ilgilenmektedir (Boyras 2011). Şekil 2.29’da aydınlık seviyesi düzgünlüğün zayıf olduğu ve normal olduğu durumlara ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 29 Ortamda aydınlık seviyesi düzgünlüğü (Philips 2002).

2.9.3 Kamaşma Sınırlaması

Armatürlerin yanlış yerleştirilmesi, çıplak armatür kullanımı gibi nedenlerden dolayı kişinin görme yeteneğinde azalma meydana gelmesi durumu kamaşma olarak adlandırılmaktadır. Bir aydınlatmada; aydınlık seviyesi, aydınlık seviyesi düzgünlüğü, ışık rengi ve gölge faktörü uygun olsa da ortamda kamaşmanın olması görme yeteneğini azaltmaktadır. (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

İç aydınlatmada kamaşma direkt ve endirekt kamaşma olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır (Özkaya ve Tüfekçi 2011). Direkt kamaşma ışık kaynağından çıkan ışığın gözü doğrudan etkilemesi olarak tanımlanırken endirekt aydınlatma ise ışık kaynağının aydınlattığı yüzeyden yansıyan ışığın gözü etkilemesi olarak tanımlanmaktadır. Bu tez çalışmasında endirekt kamaşma üzerinde durulmuştur.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), aydınlatmada kullanılan ışık kaynaklarının neden olduğu kamaşmayı hesaplamak için UGR adında bir yöntem önermiştir. Bu yöntem ile ortamın aydınlatılmasında kullanılan armatürlerinin ne kadar kamaşma yarattığı ve oluşan bu kamaşma değerinin çevredekilere rahatsızlık verip vermeyeceği anlaşılmaktadır (Özkaya ve Tüfekçi 2011, İnt. Kyn. 11).

UGR'ye ait bağıntı aşağıda verilmiştir (Özkaya ve Tüfekçi 2011, Mangkuto vd. 2018).

$$UGR = 8 \log \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2}{p^2} \omega \quad (2.14)$$

Bu bağıntıda;

L = Görme alanındaki her bir armatürün bakış doğrultusundaki parıltı değeri (cd/m^2),

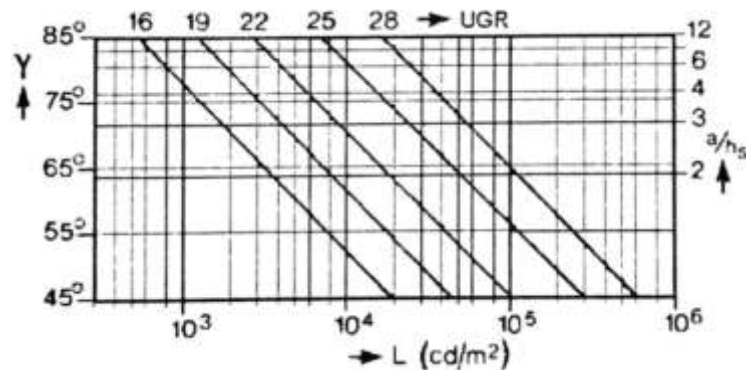
L_b = Çevre parıltı değeri (cd/m^2),

ω = Her bir armatürün görüldüğü uzay açısı (steradyan),

p = Her bir armatürün pozisyonuna ilişkin ampirik indisi

İfade etmektedir (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

Ortamın kamaşma değerlendirilmesi UGR değeri ile yapılmaktadır. UGR değerinin hesaplanması karmaşıktır. Bundan dolayı ortamın kamaşma değerlendirmesi yapılırken UGR eğrileri diyagramı kullanılmaktadır. (Özkaya ve Tüfekçi 2011). Şekil 2.30'da UGR eğrileri diyagramına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2. 30 UGR eğrileri diyagramı (Özkaya ve Tüfekçi 2011).

UGR eğrileri diyagramı Şekil 2.30'da görüldüğü gibi 16, 19, 22, 25, 28 değerlerinde standardize edilmiştir. Armatür parıltısı (L) ile birlikte kamaşma riski olan bakış doğrultusu açısı (γ) veya a/h_s (göz hizasından tavadaki armatüre olan yüksekliğin (a), armatürlerin bulunduğu tavanın boyuna (h_s) oranı) biliniyorsa UGR değerini uzun işlemler yaparak hesaplamak yerine diyagrama bakarak hangi değer aralığında olacağı bulunup ortamın kamaşma değerlendirilmesi yapılabilir. Bu işlem hesaplama içermese de bakış doğrultusu açısını bulmak kolay değildir.

Şekil 2.31'de kapalı spor salonundaki ışıklandırmanın meydana getirdiği parıltılı ve parıltısız zemine ait görseller verilmiştir.



(a) Parıltısız zemin



(b) Parıltılı zemin

Şekil 2. 31 Parıltılı ve parıltısız zemin örnekleri.

Zeminde oluşan parıltı endirekt kamaşmayı meydana getirmektedir. İyi tasarlanmış bir aydınlatmada mutlaka direkt ve endirekt kamaşmanın önüne geçilmelidir.

Spor tesislerinde kamaşmanın önlenmesi çok önemlidir. Kamaşma görsel performansı olumsuz etkilediği gibi oyuncuların veriminin düşmesine de neden olmaktadır. Sadece oyuncuların değil tribünlerdeki izleyenlerin ve televizyon başında canlı müsabaka yayını izleyenler içinde kamaşma önemlidir. Kamaşmanın meydana gelmemesi için spor tesislerinde parıltının kontrol altında tutulması gerekmektedir (Özkaya ve Tüfekçi 2011, Kayakuş ve Üncü 2020).

Kamaşmayı veya oyun alanındaki parıltı düzensizliğini önleyebilmek için spor tesisindeki armatürlerin yerleşimine, faydalı yüksekliklerine ve yerleşim açılarına dikkat edilmelidir. Yani aydınlatma tasarımcısı, oyun alanındaki her türlü olasılığı ve oyun alanında bulunan hakem ve oyuncuların görüş açılarını düşünerek tasarımını gerçekleştirmelidir (Philips 2006). Aşağıda Şekil 2.32’de kamaşmalı ve kamaşmasız ortama ait görsel verilmiştir.



(a) Kamaşmaya neden olan aydınlatma



(b) Kamaşmaya neden olmayan aydınlatma

Şekil 2. 32 Kamaşmalı ve kamaşmasız ortam (Philips 2006).

Spor sahalarındaki aydınlatma tasarımlarında ki ilk hedef; TV yayını için uygun bir aydınlık seviyesi oluştururken aydınlatılan oyun alanında performans gösterecek oyuncuların ve hakemlerin, müsabakayı tribünden izleyen seyircilerin kamaşmaya maruz kalmasının önüne geçmektir.

Oyun alanında ve çevresinde oluşan kamaşma değeri kontrol edilerek belirli bir sınır değerinde tutulduğunda (Boyraz 2011);

- Oyun alanında bulunan oyuncular yeteneklerini gösterebilecek hakemler ve güvenlik görevlileri ise görevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirebileceklerdir.
- Tribündeki ve TV başındaki izleyiciler; aydınlatılan alanda sergilenen oyunu, skor bordta gösterilen maç skorunu ve oyun alanı üzerinde gerçekleşen her türlü aktiviteyi görme zorluğu çekmeden konforlu bir şekilde izleyebileceklerdir.

2.9.4 Renk Sıcaklığı

Doğrusal dalgalar hâlinde yayılan elektromanyetik dalgalar ışık olarak adlandırılmaktadır. Işığın farklı renklerde görünmesinin sebebi farklı dalga boylarına sahip olmasıdır. Dalga boyunun artması ve azalması ile kaynağın ürettiği ışık rengi, soğuktan sığa sığaktan soğığa doğru değışmektedir. Kaynağın renk derecesi Kelvin (K) ile belirlenmektedir. Renk derecesi ile renk sıcaklığı arasında ters orantı vardır yani renk derecesi ne kadar yüksekse, renk sıcaklığı o derece soğuk olacaktır (Boyras 2011). Şekil 2.33'te renk sıcaklığındaki değışimin görüş kalitesine etkisini gösteren görsel verilmiştir.



Şekil 2. 33 Renk sıcaklığındaki değışim ve görüş kalitesi (Philips 2002).

Şekil 2.33'teki görsel incelendiğinde; 2000 K görsel üzerinde sarımsı bir renk 10 000 K'de ise görsel üzerinde mavimsi bir renk oluşturmuştur. 2000 K'den 10 000 K'ye doğru ilerledikçe görseli algılama ve görüş kalitesinin arttığı görülmektedir.

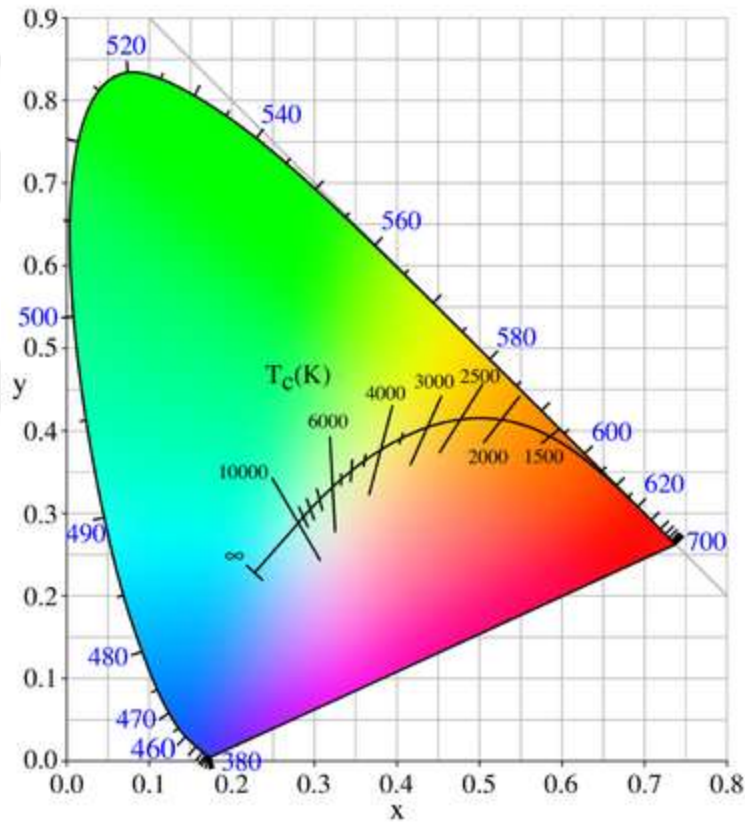
Açık veya kapalı spor tesislerinde, tesisin aydınlatılmasında gün ışığının da etkisi varsa tesisdeki lambaların renk sıcaklığı 4000K ile 6500K arasında seçilmelidir. Aydınlatılmasında gün ışığının etkisi olmayan tesislerde ise lambaların renk sıcaklık değeri 3000K ile 6500K aralığına indirilmelidir. (EN 12193, 2007).

Renk sıcaklığı;

- 6500 K ve üzeri gün ışığı,
- 5300-6500 K arası soğuk beyaz,
- 3300-5300 K arası ılık beyaz,
- 3300 K ve altı sıcak beyaz

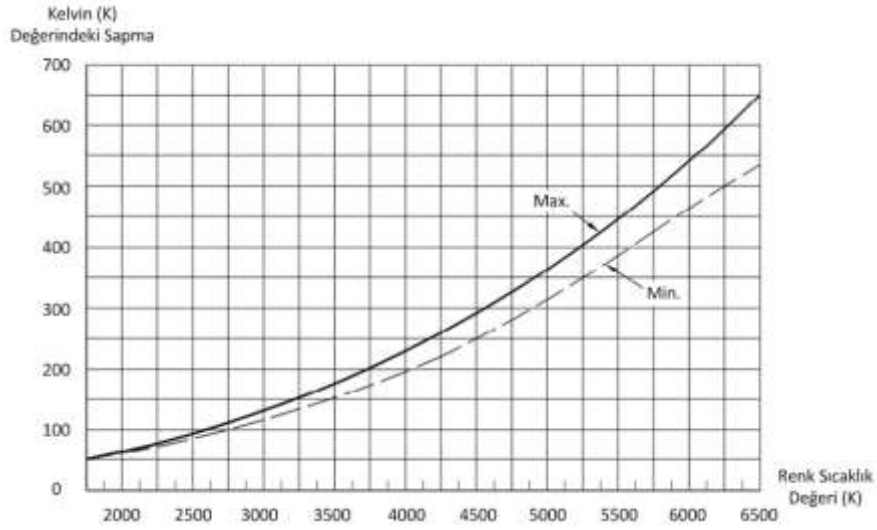
Şeklinde sınıflandırılmaktadır (İnt. Kyn. 11).

Aşağıda Şekil 2.34'te renk uzayı ve renk sıcaklığı arasındaki ilişkiye ait görsel verilmiştir.



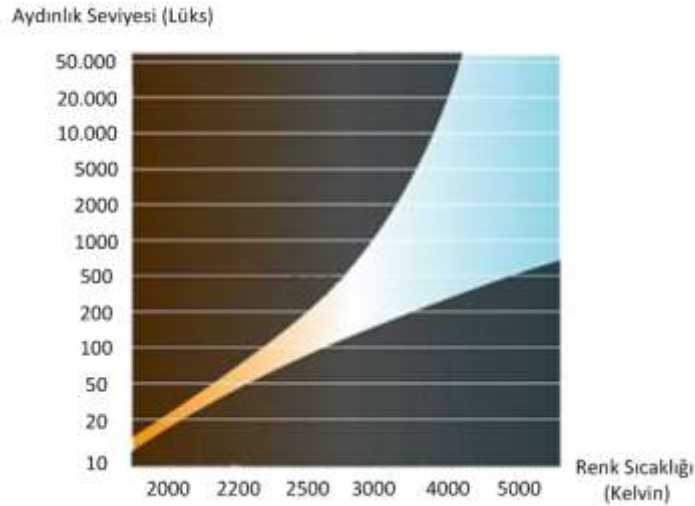
Şekil 2. 34 Renk uzayı ve renk sıcaklığı arasındaki ilişki (De Souza vd. 2019).

Şekil 2.34'teki renk uzayında x y ve z eksenleri üç ana rengi (Kırmızı, yeşil ve mavi) temsil etmektedir (Yılmaz vd. 2000). Eksenler 0 ile 1 arasındadır. Şeklin kenarlarındaki mavi ile yazılmış değerler ise rengin dalga boyunu, içindeki bar ise renk sıcaklık cetvelini göstermektedir. Şekil 2.35'te renk sıcaklığının aydınlatma alanı içerisindeki tolerans değerlerini gösteren görsel verilmiştir.



Şekil 2. 35 Renk sıcaklığının aydınlatma alanı içerisindeki tolerans değerleri (EN 12193, 2007).

Renk sıcaklığı değeri, Şekil 2.35'te verilen grafikteki değerlerin maksimum ve minimum noktalarının dışında sapma göstermemelidir (Boyraz 2011). Örneğin 5250 K değerindeki renk sıcaklığına sahip bir aydınlatma 5650 K ile 4900 K aralığında değişebilir. Bu değer aralığı dışındaki değerler kabul edilemez. Şekil 2.36'da bir ortamdaki aydınlık seviyesine karşılık daha konforlu bir görüş için olması gereken renk sıcaklık aralığını veren grafik verilmiştir.



Şekil 2. 36 Konforlu renk sıcaklığı aralığı (İnt. Kyn. 11).

Şekil 2.36 incelendiğinde; 50 lüks aydınlatmada en iyi görsel konforu 2200 K verirken 500 lüks aydınlatmada bu konforu 3000 K ve üzeri değerler sağlamaktadır.

2.9.5 Renksel Geriverim

Renksel geriverim; lambanın aydınlattığı yüzeylerdeki renklerin hatasız algılanmasını sağlama kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Renksel geriverim indeksi Ra ile sembolize edilmektedir. Renksel geriverim indeksi bir lambanın performansını değerlendirmek içinde kullanılmaktadır (Boyraz 2011).

Aydınlatılan bir yüzeyin renginin algılanması, aydınlatılan yüzeyin rengi ve onu aydınlatan lamba ışığının rengine bağlıdır. Aynı yüzeyi aydınlatan iki farklı lamba aynı renk sıcaklığına sahip olsalar da ışıklarının farklı tayfsal yapısından dolayı yüzeyin farklı iki renge sahipmiş gibi algılanmasına neden olabilmektedirler (İzбек 2006).

Aydınlatma aygıtlarının aydınlattıkları yüzeylerin renklerini ayırt ettirebilme kabiliyetleri, renksel geriverim indeksi (Ra) ile belirlenmektedir. (Özkaya ve Tüfekçi 2011). Renksel geri verim indeksine renk oluşturma indeksi de denilmektedir. Renk oluşturma indeksi 0 ile 100 arasında değer almaktadır. İndeks değeri ne kadar yüksekse algılanan rengin doğruluk oranı o derece yüksek olmaktadır (Kayakuş ve Üncü 2019).

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), renk oluşturma indeksini 5 grupta sınıflandırmaktadır (Özkaya ve Tüfekçi 2011). Aşağıda Çizelge 2.6'da renksel geriverim indeksi grupları, değer aralıkları ve renksel geriverim değerinin renklerin algılanmasındaki etkisi verilmiştir.

Çizelge 2. 6 Renksel geriverim indeksi değerinin sınıflandırılması (Özkaya ve Tüfekçi 2011, Kayakuş ve Üncü 2019).

Grup Numarası	Ra Değer Aralığı	Renklerin Algılanmasındaki Etkisi
1A	90-100	Mükemmel
1B	80-89	Çok iyi
2	60-79	İyi
3	40-59	Kabul edilebilir
4	20-39	Kötü

Renksel geriverim indeks değeri 100 olan lambalar tüm renklerin en iyi şekilde algılanmasını sağlayan kaynaklar olarak bilinmektedir. Renksel geri verimi en kötü lambalar, alçak basınçlı sodyum buharlı lambalardır. Renksel geri verimi en iyi olan lambalar ise halojen, enkandesan, bazı özel flüoresan ve ksenon lambalardır. Metal halide lambaların renksel geriverimleri de oldukça yüksektir (Şahin vd. 2013).

Aşağıda Çizelge 2.7’de bazı aydınlatma elemanlarının renksel geriverim indekslerinin değerlendirilmesi gösterilmiştir.

Çizelge 2. 7 Bazı lamba türlerinin renksel geriverim indekslerin değerlendirilmesi (Şahin vd. 2013).

Lamba Türü	Renksel Geriverim İndeksi Değerlendirilmesi
Akkor Flamanlı Lambalar	Çok İyi
Halojen Lambalar	Çok İyi
Metal Halide Lambalar	Çok İyi
Flüoresan Lambalar	İyi
Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lambalar	Orta
Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar	Kötü
Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar	Çok Kötü

Spor tesislerinde renklerin hatasız algılanması, hem oyun alanındaki oyuncuların ve hakemin giydikleri forma renklerinin gerçek renginde görülmesinde hem de renkli TV yayını için önem arz etmektedir. Bundan dolayı spor tesislerinin aydınlatılmasında renksel geriverim indeksi (Ra) değeri yüksek ışık kaynakları seçmek gerekmektedir (Boyras 2011).

Spor tesislerinin aydınlatılmasında 65-80 aralığında ki renksel geriverim indeksi değerine sahip aydınlatma elemanları tercih edilir (EN 12193 2007). Aşağıda Şekil 2.37’de bir örnek için doğal görünüş, Ra indeksinin düşük olduğu aydınlatmadaki görünüş ve Ra indeksinin yüksek olduğu aydınlatmadaki görünüşe ait görseller verilmiştir.



(a) Gün ışığında ki görünüş



(b) Ra indeksinin düşük olduğu aydınlatmadaki görünüş



(c) Ra indeksinin yüksek olduğu aydınlatmadaki görünüş

Şekil 2. 37 Renksel geriverim indeksi değerine göre görünüş (Philips 2006).

Şekil 2.37’den de görüleceği üzere sporcunun, Ra indeksinin yüksek olduğu aydınlatma altındaki forma rengi gün ışığında ki forma rengine çok yakındır. Gün ışığı için renksel geriverim indeks değeri 100 olarak kabul edilmektedir (İnt. Kyn. 12) Aşağıda Çizelge 2.8’de farklı tiplerdeki metal halideli ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar için verim ve renksel geriverim özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 2. 8 Farklı tiplerdeki metal halide ve sodyum buharlı lambalar için renksel geri verim özelliklerinin karşılaştırılması (Boyras 2011).

Özellikler	Metal Halideli Lambalar				Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar	
	Tüp	Elips	Soket	Çift Başlı	Tüp	Çift Uçlu
Verim (Lümen/Watt)	74-100	74-95	87-92	86-108	88-130	97-120
Renksel Geriverim (Ra)	60-93	60-93	80-96	60-96	20-39	20-39

Çizelge 2.8'e bakıldığında yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların verimliliklerinin metal halide lambaların verimliliklerinden küçük bir miktarda olsa daha iyi oldukları ve renksel geriverim indeks değerlerinin de metal halide lambaların renksel geriverim indeks değerlerine göre aşırı düşük oldukları görülmektedir. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların renksel geriverim indekslerinin düşük olması nedeniyle, spor tesislerinin aydınlatmalarında kullanılmaları imkânsızdır. Metal halide lambaların verimliliklerinin düşük olmasına rağmen, renksel geri verim indekslerinin yüksek olmasından dolayı spor tesislerinin aydınlatmalarında sodyum buharlı lambalara göre daha çok tercih edilmektedir (Boyras 2011). Şekil 2.38'de Metal halide lambalı ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların bulunduğu projektörlerle aydınlatılmış oyun alanlarının renksel geriverim bakımından farklılığını gösteren görsel verilmiştir.



(a) Metal halide lambalı projektörler
ile aydınlatılmış saha



(b) Yüksek basınçlı sodyum buharlı
lambalı projektörler ile
aydınlatılmış saha

Şekil 2. 38 Metal halide lambalı ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı projektörlerle aydınlatılmış oyun alanlarının renksel geriverim bakımından farklılığı (Boyras 2011).

Şekil 2.38'de görüldüğü üzere metal halide lambalı projektörler ile aydınlatılan sahanın çim renkleri gerçeğe daha yakinken yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalı projektörler ile aydınlatılan sahanın çim renkleri ise gerçek renginden uzaklaşıp sarımtırak bir renk almıştır.

Spor müsabakalarının oynanacağı spor tesisinin aydınlatması her spor dalı için ayrı bir önem taşımaktadır. Bundan dolayı spor tesisi aydınlatılmasında uyulması gereken bazı aydınlatma kriterleri vardır. Bu kriterlere ait bilgiler Aşağıda Çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 2. 9 Hentbol, basketbol ve voleybol müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri (TS EN 12193 2019).

Aydınlatma Seviyesi	Yatay Aydınlatma Düzeyi		Renksel Geriverim İndeksi
	$E_{y \text{ ort.}}$	$E_{y \text{ Min.}}/E_{y \text{ ort.}}$	
I	750 lüks	0,7	60
II	500 lüks	0,7	60
III	200 lüks	0,5	20

Çizelge 2. 10 Masa tenisi, badminton müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri (TS EN 12193 2019).

Aydınlatma Seviyesi	Yatay Aydınlatma Düzeyi		Renksel Geriverim İndeksi
	$E_{y \text{ ort.}}$	$E_{y \text{ Min.}}/E_{y \text{ ort.}}$	
I	750 lüks	0,7	60
II	500 lüks	0,7	60
III	300 lüks	0,7	20

Çizelge 2. 11 Eskrim müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri (TS EN 12193 2019).

Aydınlatma Seviyesi	Yatay Aydınlatma Düzeyi		Düşey Aydınlatma Düzeyi		Renksel Geriverim İndeksi
	$E_{y \text{ ort.}}$	$E_{y \text{ Min.}}/E_{y \text{ ort.}}$	$E_{d \text{ ort.}}$	$E_{d \text{ Min.}}/E_{y \text{ ort.}}$	
I	750 lüks	0,7	500 lüks	0,7	60
II	500 lüks	0,7	300 lüks	0,7	60
III	300 lüks	0,7	200 lüks	0,7	20

Çizelge 2. 12 Boks müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri (TS EN 12193 2019).

Aydınlatma Seviyesi	Yatay Aydınlatma Düzeyi		Düşey Aydınlatma Düzeyi	Yatay Aydınlatma Düzeyi	Renksel Geriverim İndeksi
	Ring	Ring	Ring	Antrenman Sahası	
	E_y ort.	E_y Min./ E_y ort.	E_d ort.	E_y ort.	
I	2000 lüks	0,8	Yatay	300 lüks	80
II	1000 lüks	0,8	aydınlatma düzeyinin	300 lüks	80
III	500 lüks	0,5	en az yarısı	300 lüks	60

Çizelge 2. 13 Tenis müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri (TS EN 12193 2019).

Aydınlatma Seviyesi	Yatay Aydınlatma Düzeyi		Renksel Geriverim İndeksi
	E_y ort.	E_y Min./ E_y ort.	
I	750 lüks	0,7	60
II	500 lüks	0,7	60
III	300 lüks	0,5	20

Çizelge 2. 14 Kapalı spor tesislerindeki binicilik müsabakaları için istenen aydınlatma değerleri (TS EN 12193 2019).

Aydınlatma Seviyesi	Yatay Aydınlatma Düzeyi		Düşey Aydınlatma Düzeyi		Renksel Geriverim İndeksi
	E_y ort.	E_y Min./ E_y ort.	E_d ort.	E_d Min./ E_y ort.	
I	500 lüks	0,7	500 lüks	0,7	60
II	300 lüks	0,6	300 lüks	0,6	60
III	200 lüks	0,5	200 lüks	0,5	20

3. YAPAY ZEKÂ

Yapay Zekâ, insanlar tarafından yapılan davranışların makineler tarafından uygulanmasına denilmektedir. Başka ifadeyle ise yapay zekâ; sebep sonuç ilişkisi oluşturma ve öğrenme gibi insana yakın düşünme işlemi gerçekleştiren bilgisayarların geliştirilmesiyle alakalı çalışmalardan ulaşılan neticeler olarak tanımlanmaktadır (Şimşir 2016).

Yapay zekâ kavramı, 1956 yılında ilk defa John McCarthy tarafından kullanılmıştır. John McCarthy yapay zekâyı "Makineleri zeki yapan bilim dalı" ifadesiyle tanımlamıştır (Bağcı 2018).

Geçmişten günümüze kadar bilim insanları yapay zekâ kavramı hakkında bazı tanımlamalarda bulunmuşlardır. Bu tanımlardan bir kaçısı şu şekildedir:

James Robert Slage' ye göre yapay zekâ, sezgisel programlamadır. Axe yapay zeka'yı; karmaşık problemlere çözüm üretebilen zeki programlar olarak tanımlamıştır (Nabiyev 2012). Yapay zekâ alanında birçok çalışmaya imza atan Nils John Nilsson ise yapay zekâyı, doğal zekânın bir taklidini oluşturmayı hedefleyen kuramlar şeklinde tanımlamıştır (Arslan 2020).

Yapay zekâ teknikleri, genel çalışma prensibi olarak sabit ve belirli algoritmalarla ziyade sembolik ve sezgisel kurallardan yararlanmaktadırlar. Matematiksel olarak formülize edilemeyen problemlerin çözülmesinde daha çok tercih edilmektedirler. Veri setinin kapsamlı olması, probleme uygun ağ yapısının seçilmesi ile doğru sonuçlara ulaşma oranı çok yüksektir.

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde yapay zekâ tekniklerinin %95 ve üzerinde doğru sonuca ulaşabilen başarılı teknikler oldukları görülmektedir. Sağlanan veri setinin yanlış olması ya da yanlış yorumlanması sonucu yapay zekâ teknikleri yanlış çözümler de üretebilmektedirler. Buradaki önemli nokta veri setinin kapsamının geniş olması ve problem için doğru bir ağ yapısının seçilmesidir (Vas 1993, Aminian vd. 2002).

3.1 Yapay Zekânın Amacı

Yapay zekânın geliştirilmesinde temel amaçlar;

- İnsanın yaşamını basitleştirmek,
- İnsanın yaşamındaki kaliteyi arttırmak,
- Sanayi bölgelerinde verimliliği arttırmak,
- Bilgisayar modellemelerinin yardımıyla insan beyninin nasıl çalıştığını anlamaya çalışmak

Şeklinde sıralanabilir (Villaverde ve Granna 2011).

3.2 Yapay Zekâ Uygulama Alanları

Bugün hayatımızda sıklıkla karşılaştığımız;

- Görüntü tanıma,
- Makine öğrenimi,
- Doğal dil işleme,
- Uzman sistemler,
- Otonom sistemler,
- Robotik,
- Sanal gerçeklik

Gibi alanlar yapay zekânın uygulama alanlarından bazılarıdır (Şahin 2014).

3.3 Yapay Zekâ Teknikleri

Yapay zekâ teknikleri günümüzde üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Uysal 2009).

Bu üç ana başlık;

- Sezgisel Algoritmalar (Karıncalar algoritması, Yapay arı kolonisi algoritması, Genetik algoritmalar, Balina optimizasyon algoritması, Parçacık sürü optimizasyonu algoritması vb.),
- Bulanık Mantık,

- Yapay Sinir Ağları
- Şeklindedir (Doğan 2019).

3.3.1 Yapay Sinir Ağları

Bir önceki bölümde yapay zekânın tanımlarından, uygulama alanlarından ve tekniklerinden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise yapay zekâ tekniklerin alt başlıklarından olan yapay sinir ağları, genel olarak anlatılmakta ve temel elemanları açıklanmaktadır.

3.3.1.1 Yapay Sinir Ağlarına Giriş

Yapay zekâ tekniklerinin en yaygın kullanılan yöntemlerinden olan YSA, insan sinir sistemindeki nöronlar örnek alınarak geliştirilmiştir. (Eğrioğlu vd. 2019, Öztemel 2020). Bu yöntemle; geleneksel algoritmalarla çözilemeyen karmaşık durumlar, insanın sinir sistemindeki nöronların çalışma prensibi örnek alınarak çözülmeye çalışılır. Bundan dolayı karmaşık problemlerin ve lineer olmayan durumların çözümünde sıklıkla YSA'ya başvurulur (Şahin 2010).

YSA'lar;

- Tahmin ve öngörü,
- Sınıflandırma,
- Öğrenme,
- Kontrol,
- Teşhis,
- Optimizasyon,
- Veri ilişkilendirme,

Gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

3.3.1.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

YSA biyolojik bir sinir hücresinden ilham alınarak geliştirilmesinden ötürü ilk olarak biyolojik sinir hücresinin tanınması gerekmektedir. Bu kısımda ilk olarak biyolojik sinir hücresinden daha sonra ise YSA yapısından bahsedilecektir (Doğan 2010).

a) Biyolojik sinir hücresi

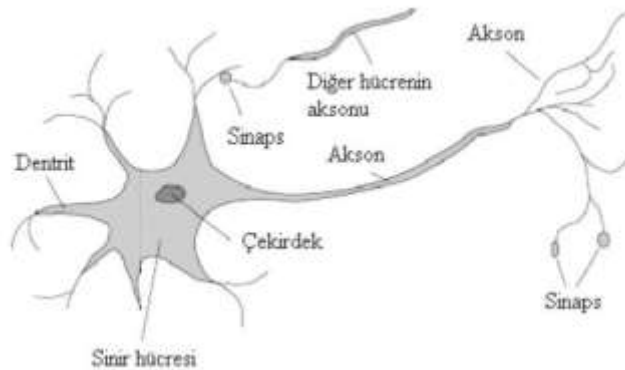
Beyin milyarlarca sinir hücresinden meydana gelmektedir. Bu sinir hücreleri beynin öğrenmesinde, öğrendiği bilgileri birleştirip karşılaştırmasında ve bu bilgileri uygulamasında önemli rol oynamaktadır

Beynin çalışması;

- Bilginin girişi,
- Bilgileri birleştirme ve karşılaştırma,
- Bilginin çıkışı ve eylem

Olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir (Doğan 2010).

Biyolojik sinir hücreleri beynin bu işlevlerini gerçekleştirmesini sağlayan ana öğedir. Literatürde sinir hücreleri nöron olarak ta adlandırılmaktadır. Nöronlar birbirleri ile ilişki halindedirler. Nöronların arasındaki bu ilişki, bilgi akışını sağlayarak sinirsel işlevin temelini oluşturmaktadır (Şahin 2010). Şekil 3.1 nöronun yapısına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3. 1 Nöronun yapısı (Yetkin 2015).

Şekil 3.1 incelendiğinde bir sinir hücresinin (Nöron);

- Dendrit,
- Akson,
- Hücre gövdesi,
- Sinaps

Olmak üzere başlıca dört ana bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bu dört ana bölge aşağıda açıklanmıştır.

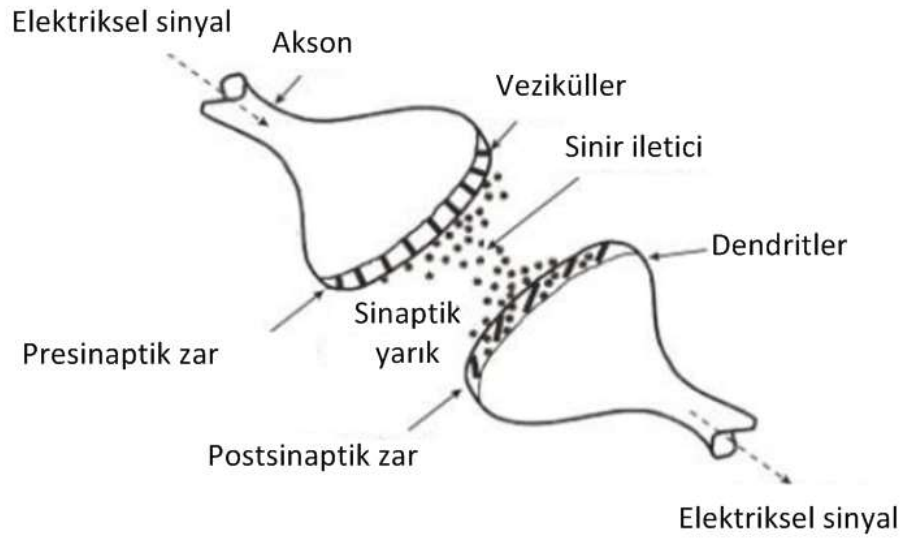
Dendrit: Hücrenin gövdesinden çok sayıda çıkan kısa yapılar dendrit olarak isimlendirilmektedir. Dendritler, diğer hücrelerden gelen sinyallerini alarak bulundukları hücreye taşırlar (Şahin 2010).

Akson: Aksonların görevleri, hücrede üretilen sinyalleri diğer hücrelerin dendritlerine taşımaktır.

Hücre gövdesi: Hücre gövdesi soma ve çekirdek kısımlarından meydana gelmektedir. Hücrenin başlıca işlevlerini belirleyen genetik bilgiler çekirdekte bulunur. Hücre gövdesinde birçok organel de bulunmaktadır (Yazıcı 2007).

Sinaps: Hücre dendritlerinin ve aksonlarının alışverişi için buluştukları noktalar sinaps olarak isimlendirilmektedir. Sinapslerde veri alışverişi gerçekleşmektedir. Bu noktalarda veriler bir sinir hücresinden diğer sinir hücresine geçmektedir (Yazıcı 2007).

Sinir hücreleri, dendritlerin bağlantı yolları ile hücre gövdesine veri taşıma işlemi yaparlar. Hücre gövdesine gelen bu veriler kendi içerisinde değerlendirilerek aksonlar yardımıyla diğer sinir hücrelerine gönderilir (Korkut 2019). Şekil 3.2’de iki nöron arasındaki sinapslar yardımıyla gerçekleşen bu bilgi alışverişine ait görsel verilmiştir.

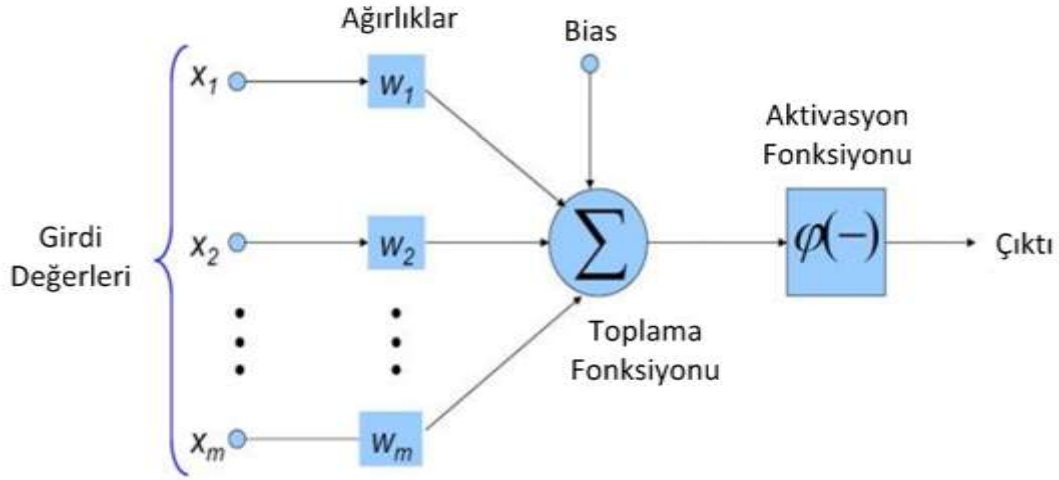


Şekil 3. 2 İki nöron arasındaki bilgi akış mekanizması (Cain 2016).

Şekil 3.2’de de görüldüğü üzere nöronlar sinapslar yardımıyla kendi aralarında bağlantılar kurarak bilgi aktarımı gerçekleştirmektedirler. Öğrenme bu bilgi aktarım noktalarının artması yani sinaps sayısının artmasıyla gerçekleşmektedir. Sinir hücreleri arasındaki bu bağlantı noktalarının artması beraberinde bilgi alışverişini arttıracak böylelikle beyin daha çok öğrenmiş olacaktır (Yazıcı 2007).

b) Yapay sinir hücresi

Yapay sinir hücresi, biyolojik bir sinir hücresinden ilham alınarak geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. Şekil 3.3’te yapay bir sinir hücresine ait görsel verilmiştir. Şekil 3.3 incelendiğinde yapay bir sinir hücresinin beş temel bölgeden oluştuğu görülmektedir. Bu temel beş öge “3.3.1.3 Yapay Sinir Ağını Oluşturan Ana Elemanlar” kısmında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 3. 3 Yapay sinir hücresi (Keskenler ve Keskenler 2017).

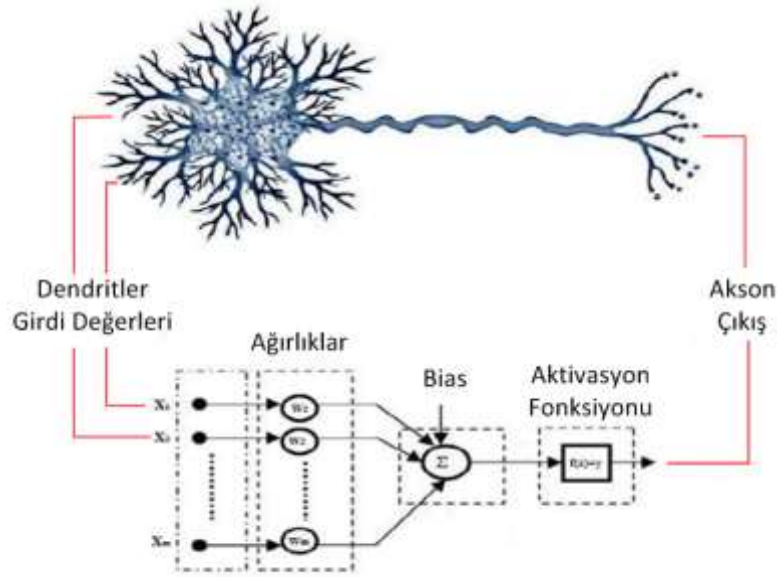
Biyolojik ve yapay sinir hücresini oluşturan elemanlar birbirleriyle benzerlik göstermektedir (Şahin 2010).

Bu benzerlik;

- Nöron – İşlem elemanı,
- Dendrit – Girdi Değerleri (Eğrioğlu vd. 2019),
- Hücre gövdesi – Aktivasyon fonksiyonu,
- Akson – Çıktı,
- Sinapslar – Ağırlıklar

Şeklindedir.

Şekil 3.4’te biyolojik ve yapay sinir hücresi elemanlarının benzerliklerine ait görsel verilmiştir.



Şekil 3. 4 Biyolojik ve yapay sinir hücresi elemanlarının karşılaştırılması (Şahin 2014).

3.3.1.3 Yapay Sinir Ağını Oluşturan Ana Elemanlar

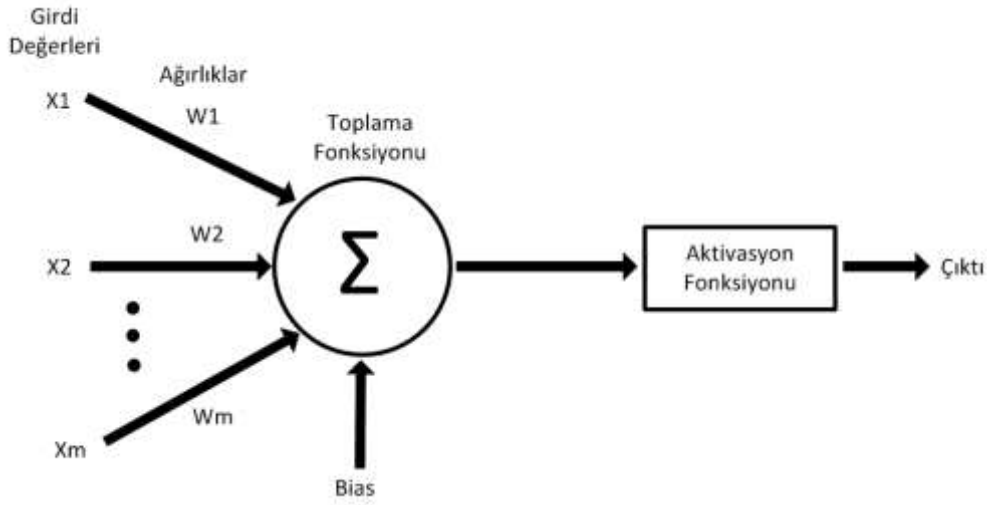
YSA’da biyolojik ağdaki gibi sinir hücrelerinden oluşmaktadır. YSA’yı oluşturan sinir hücrelerine yapay sinir hücreleri denilmektedir. Yapay sinir hücreleri başlıca beş ana öğeden meydana gelmektedir.

Bu beş ana öğe sırasıyla;

- Girdi değerleri,
- Ağırlıklar,
- Toplama fonksiyonu,
- Aktivasyon (transfer) fonksiyonu,
- Hücre çıktısı

Şeklindedir (Öztemel 2020).

Yapay sinir hücresinin ana öğelerine ait görsel Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3. 5 Yapay sinir hücresinin ana öğeleri (Zorlu 2021).

a) Girdi değerleri

Dış ortamdan yapay sinir hücresine gelen bilgilerdir. Bu bilgiler yapay sinir hücresine dışarıdan tanımlanabileceği gibi YSA'yı oluşturan herhangi bir sinir hücresi çıktısından da gelebilir (Doğan 2010).

b) Ağırlıklar

Yapay sinir hücresine gelen bilginin hücreye nasıl bir etkisi olduğunu hücreye tanımlanan verilerin ağırlıkları belirler (Caner ve Akarşlan 2009). Şekil 3.5'te görüldüğü gibi ağırlık W_m , girdi değeri X_m 'in sinir hücresi üzerindeki etkisini göstermektedir. Ağırlıklar pozitif değerli, negatif değerli ve nötr yani sıfır değerli olabilirler. Pozitiflik veya negatiflik ağırlıkların önemini belirlememektedir. Aldığı değerin pozitif olması hücreye etkisinin pozitif olduğunu, negatif olması hücreye etkisinin negatif olduğunu ve değerin sıfır olması ise hücreye hiçbir etkisinin olmadığını göstermektedir. Ağırlıklar birbirinden farklı olabileceği gibi sabit değerlerde olabilirler.

c) Toplama Fonksiyonu

Bir sinir hücresine gelen net girdi değeri, toplama fonksiyonları yardımıyla hesaplanmaktadır. Literatürde birden fazla toplama fonksiyonu mevcuttur. En çok tercih

edileni ise ağırlıklı toplamı hesaplamaktır (Korkmaz 2022). Ağırlıklı toplamı hesaplamak için denklem (3.1) kullanılır.

$$NET = \sum_{i=1}^m X_i \cdot W_i \quad (3.1)$$

Bu denklemde;

X: Ağa tanımlanan girdi değerlerini,

W: Girdi değerlerinin ağırlıkları,

m: Ağa tanımlanan girdi değeri sayısını

İfade etmektedir.

Yapay sinir ağlarında toplama fonksiyonu seçilirken her zaman ağırlıklı toplam fonksiyonunun seçilmesi zorunlu değildir. Literatürde birçok toplama fonksiyonu mevcuttur. Bu fonksiyonlara ait bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 Toplama fonksiyonları örnekleri (Öztemel 2020).

Fonksiyon İsmi	Formül	Açıklama
Çarpım fonksiyonu	$\prod_i^m X_i \cdot W_i$	Girdiler ile ağırlıkları çarpılır daha sonra bulunan değerler birbirleri ile de çarpılarak net girdi hesaplanır.
Çoğunluk fonksiyonu	$\sum_{i=1}^m \text{sgn}(X_i \cdot W_i)$	Girdi değerleri ağırlıkları ile çarpıldıktan sonra elde edilen değerlerde büyük olanı net girdi olarak kabul edilir.
Minimum fonksiyonu	$\text{Min}(X_i \cdot W_i) \quad i=1, 2, \dots, m$	Girdi değerleri ağırlıkları ile çarpıldıktan sonra aralarındaki en küçüğü girdi olarak kabul edilir.
Kumilatif toplam fonksiyonu	$\text{Net}(\text{Eski}) + \sum_i^m (X_i \cdot W_i)$	Ağırlıklı olarak toplanan bilgiler daha önce gelen bilgilere eklenir, hücrenin net girdisi bulunur.
Maksimum fonksiyonu	$\text{Max}(X_i \cdot W_i) \quad i=1, 2, \dots, m$	Girdi değerleri ağırlıkları ile çarpıldıktan sonra aralarındaki en büyüğü net girdi olarak kabul edilir.

Çizelge 3.1 incelendiğinde bir çok toplama fonksiyonunun mevcut olduğu görülmektedir. Tasarım esnasında probleme uygun toplama fonksiyonunu bulmak için herhangi bir denklem yoktur yani probleme uygun fonksiyon tasarımcının denemeleriyle belirlenmektedir. Toplama fonksiyonunda ağı yapay sinir hücresi öğelerinin hepsi aynı toplama fonksiyonunu kullanmak zorunda değildir. Yani ağı oluşturan sinir hücrelerinin bazıları aynı toplama fonksiyonunu kullanırken bazıları da farklı bir tür toplama fonksiyonu kullanabilirler. Hatta ağı bazı yapay sinir hücresi öğeleri grup halinde aynı toplama fonksiyonunu kullanırken kalan öğeler ise farklı bir tür toplama fonksiyonunu kullanabilirler. (Öztemel 2020).

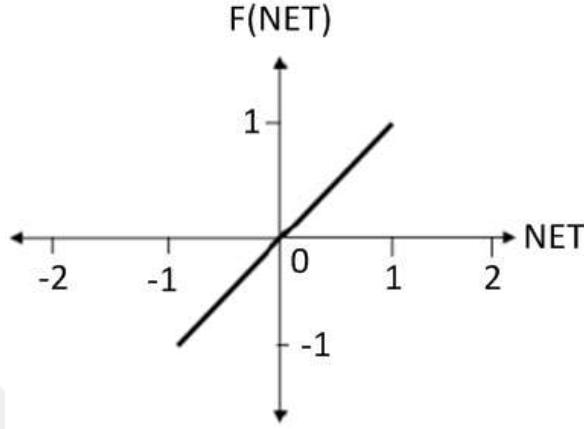
d) Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen verileri sinir hücresinden çıkacak olan çıkış verisine dönüştürmek amacıyla kullanılmaktadır. Birçok aktivasyon fonksiyonu mevcuttur. Aktivasyon fonksiyonunda ağı yapay sinir hücresi öğelerinin hepsi aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanmak zorunda değildir. Yani ağı oluşturan sinir hücrelerinin bazıları aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanırken bazıları da farklı bir tür aktivasyon fonksiyonu kullanabilirler. Tasarım esnasında probleme uygun aktivasyon fonksiyonunu bulmak için herhangi bir denklem yoktur yani probleme uygun fonksiyon tasarımcının deneme yanımlarıyla belirlenmektedir. (Şahin 2010, Araç 2019). Aşağıda YSA uygulamalarında çokça tercih edilen aktivasyon fonksiyonları açıklanmıştır.

Lineer Aktivasyon Fonksiyonu: Purelin aktivasyon fonksiyonu olarak da isimlendirilen bu fonksiyon yalnızca doğrusal problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. Bu fonksiyona gelen girdi değerleri aynen hücrenin çıkışına gönderilir (Saraç 2004). Lineer aktivasyon fonksiyonuna ait matematiksel gösterim denklem (3.2)'de verilmiştir.

$$F(\text{NET}) = \text{NET} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de ki NET, toplama fonksiyonu tarafından hesaplanan NET değerini göstermektedir. Şekil 3.6'da ise lineer aktivasyon fonksiyonun analitik düzlem grafik gösterimi verilmiştir.

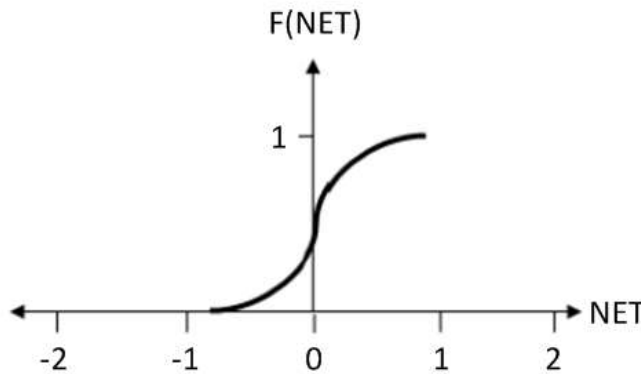


Şekil 3. 6 Lineer aktivasyon fonksiyonu (Duman 2016).

Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu: Yalnızca pozitif değerler üreten bu fonksiyon en çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonlardan birisidir (Yetkin 2015). Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna ait matematiksel gösterim denklem (3.3)'te verilmiştir.

$$F(NET) = \frac{1}{1+e^{-NET}} \quad (3.3)$$

Aşağıda Şekil 3.7'de ise fonksiyonunun analitik düzlem grafik gösterimi verilmiştir.

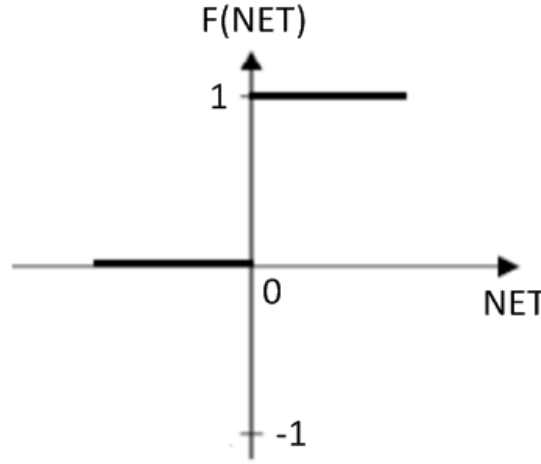


Şekil 3. 7 Sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Duman 2016).

Step Aktivasyon Fonksiyonu: Bu fonksiyon, basamak fonksiyonu olarak ta isimlendirilmektedir. Tek ve çift kutuplu türleri vardır. Hücre çıktısı bu fonksiyon yardımıyla belirlenen eşik değerine göre -1,0 veya 1 değerlerini alır (Kuyucu 2012, Öztemel 2020). Step aktivasyon fonksiyonunun tek kutuplu formu için matematiksel gösterim denklem (3.4)’te verilmiştir;

$$F(\text{NET}) = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{NET} > \text{Eşik Değer} \\ 0, & \text{if } \text{NET} \leq \text{Eşik Değer} \end{cases} \quad (3.4)$$

Şekil 3.8’de ise tek kutuplu basamak fonksiyonunun analitik düzlem grafik gösterimi verilmiştir.

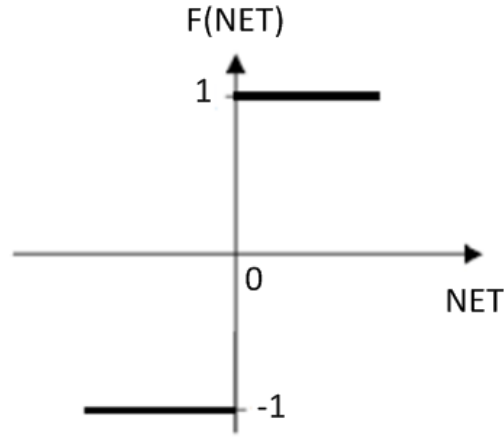


Şekil 3. 8 Tek kutuplu basamak fonksiyonu (Duman 2016).

Step aktivasyon fonksiyonunun çift kutuplu formu için matematiksel gösterim denklem (3.5)’de verilmiştir.

$$F(\text{NET}) = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{NET} > \text{Eşik_Değer} \\ -1, & \text{if } \text{NET} \leq \text{Eşik_Değer} \end{cases} \quad (3.5)$$

Aşağıda Şekil 3.9’da ise çift kutuplu basamak fonksiyonunun analitik düzlem grafik gösterimi verilmiştir.

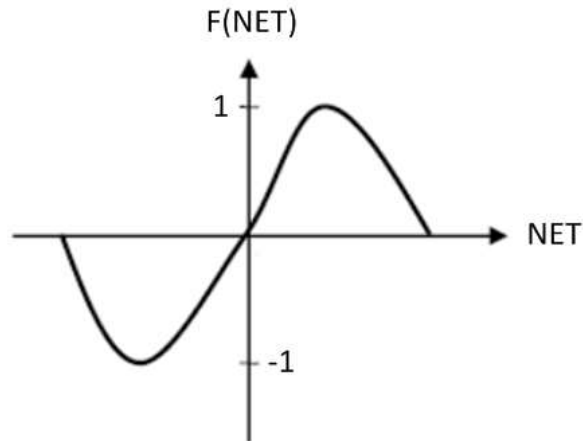


Şekil 3. 9 Tek kutuplu basamak fonksiyonu (Duman 2016).

Sinüs Aktivasyon Fonksiyonu: Ağın eğitiminde kullanılacak veri seti sinüs fonksiyonuna uygun olarak dağılım gösterirse bu aktivasyon fonksiyonu tercih edilmektedir (Kuyucu 2012). Sinüs aktivasyon fonksiyonuna ait matematiksel gösterim denklem (3.6)'da verilmiştir.

$$F(\text{NET}) = \text{Sin}(\text{NET}) \quad (3.6)$$

Şekil 3.10'da ise sinüs aktivasyon fonksiyonunun analitik düzlem grafik gösterimi verilmiştir.

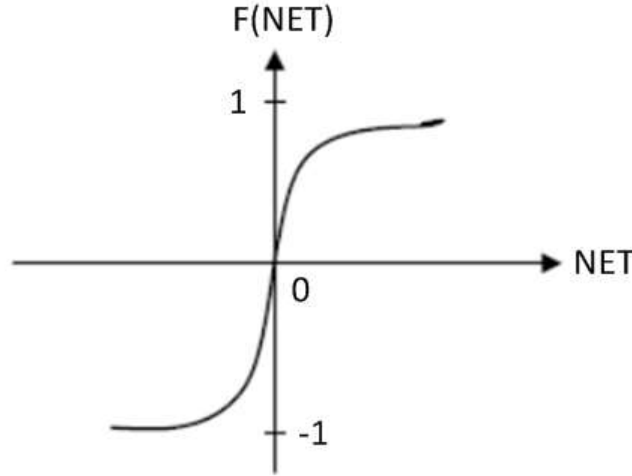


Şekil 3. 10 Sinüs aktivasyon fonksiyonu (Duman 2016).

Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu: Bu fonksiyon, sigmoid aktivasyon fonksiyonuyla benzerlik göstermektedir. Çift kutuplu fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Çıkış değerleri -1 ile +1 arasındadır (Özkan ve Erbek 2003). Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna ait matematiksel gösterim denklem (3.7)'de verilmiştir.

$$F(Net) = (e^{Net} - e^{-Net}) / (e^{Net} + e^{-Net}) \quad (3.7)$$

Şekil 3.11'de ise hiperbolik tanjant fonksiyonunun analitik düzlem grafik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3. 11 Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu (Özkan ve Erbek 2003).

Çizelge 3.2’de aktivasyon fonksiyonlarına ait bilgiler özet şeklinde anlatılmıştır.

Çizelge 3. 2 Aktivasyon fonksiyonları örnekleri.

Fonksiyon İsmi	Formül	Açıklama
Lineer	$F(Net) = Net$	Ağa tanımlanan girdi değerleri aynen hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.
Sinüs	$F(Net) = \sin(Net)$	Öğrenilmesi düşünülen verilerin sinüs fonksiyonuna uygun olarak dağılım gösterdiği durumlarda sinüs aktivasyon fonksiyonu tercih edilmektedir.
Step	$F(Net) = \begin{cases} 1, & \text{if } Net > \text{Eşik_Değer} \\ 0, & \text{if } Net \leq \text{Eşik_Değer} \end{cases}$	Hücre çıktısı belirlenen eşik değerine göre 1 veya 0 değerini alır.
Sigmoid	$F(Net) = \frac{1}{1+e^{-Net}}$	En çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonudur.
Hiperbolik Tanjant	$F(Net) = \frac{e^{Net} - e^{-Net}}{e^{Net} + e^{-Net}}$	Çıktı değerleri -1 ile +1 arasındadır.

a) Hücre Çıktısı

Hücre çıktısı, ağ tasarımının bir parçası olan aktivasyon fonksiyonları ile belirlenmektedir. Seçilen aktivasyon fonksiyonuna göre değer üretmektedir. Bu değer direkt ağ çıkışına gönderilebileceği gibi bir başka yapay sinir hücresine girdi değeri olarak ta gönderilebilir. Yani hücreden çıkan çıktı değeri hücre tarafından tekrar girdi değeri olarak kullanılabilir (Yadav 2003, Öztemel 2020).

3.3.1.4 Yapay Sinir Hücresinin Çalışma İlkesi

Bir örnekle bir yapay sinir hücresinin nasıl işlem yaptığını göstermek bu konuyu anlamamız için yararlı olacaktır. Bir yapay sinir hücresine gelen girdi değerlerinin ve bu değerlerin ağırlıkları Çizelge 3.3'teki gibidir.

Çizelge 3. 3 Örneğe ait girdi ve ağırlık değerleri.

Sıra	Girdi Değerleri	Ağırlık Değerleri
1	0,5	-0,2
2	0,6	0,6
3	0,2	0,2
4	0,7	-0,1

Örnekte toplama fonksiyonu için ağırlıklı toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu içinde sigmoid aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir.

Ağırlıklı toplam fonksiyonu kullanılarak hücreye gönderilen NET bilgi;

$$NET = (0,5 \cdot (-0,2)) + (0,6 \cdot 0,6) + (0,2 \cdot 0,2) + (0,7 \cdot (-0,1))$$

$$NET = 0,23$$

Şeklinde hesaplanır.

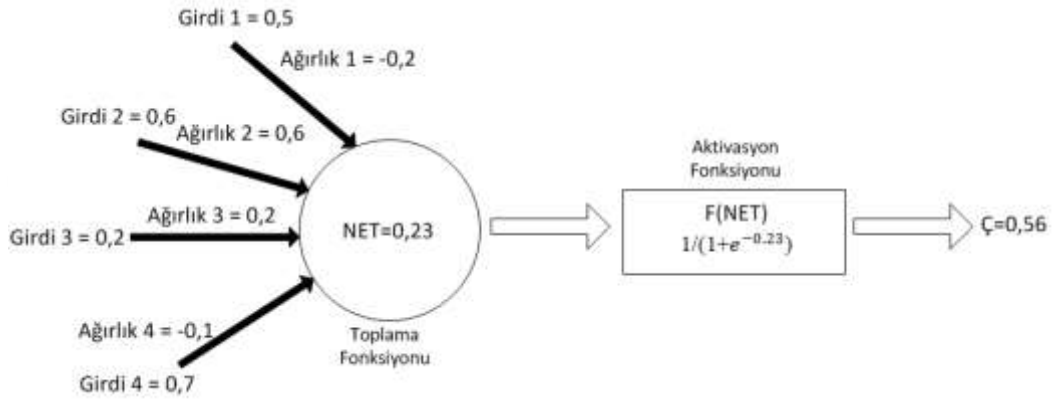
Hesaplana bu değ er aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Hücrenin aktivasyon fonksiyonuna göre çıktısı ( );

$$  = 1/(1+e^{-0,23})$$

$$  = 0,56$$

 eklinde hesaplanır.

Şekil 3.12’de bu örneğe ait görsel verilmiştir.



Şekil 3. 12 Bir yapay sinir hücresi çalışması  rne i (Öztemel 2020).

3.3.1.5 Yapay Sinir A ının Katmanları

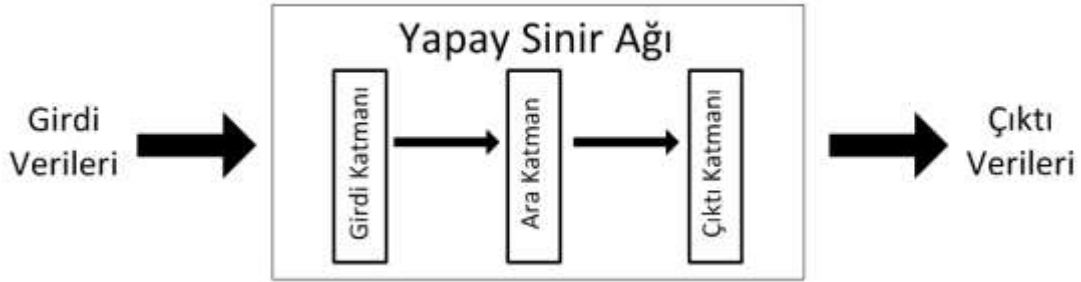
YSA’lar; girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. Bu katmalar detaylıca aşağıda açıklanmıştır (Engin 2022).

Girdi Katmanı: Veriler a a girdi katmanı yardımıyla gönderilir. Bazı YSA’larda girdi katmanında hiç bir işlem gerçekleşmeden girdi verileri ile aynı değerde çıktı üretilir (Öztemel 2020).

Ara Katman: Gizli katman olarakta bilinen bu katmanda, girdi katmanından gönderilen veriler işlenerek çıktı katmanına yönlendirilir. Bir YSA da çok sayıda ara katman bulunabilir (Fausett 1994,  ztemel 2020).

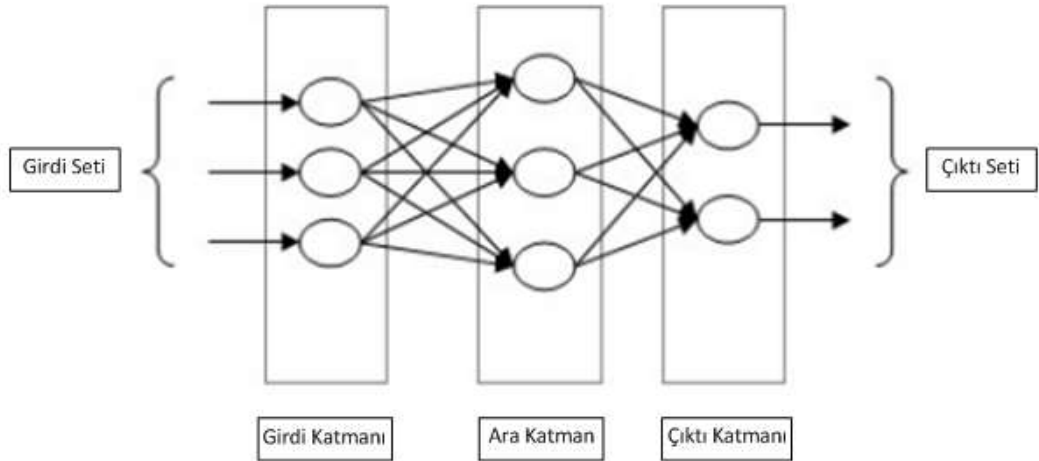
 ıktı katmanı: Bu katmanda ara katmandan gelen veriler işlenir. A ın girdi katmanına tanımlanan veri setine karşılık çıktı değeri üretilir (Öztemel 2020).

Şekil 3.13'te katmanların birbiri ile ilişkisini şematik olarak gösteren görsel verilmiştir.



Şekil 3. 13 YSA katmanlarının birbiri ile ilişkisi (Öztemel 2020).

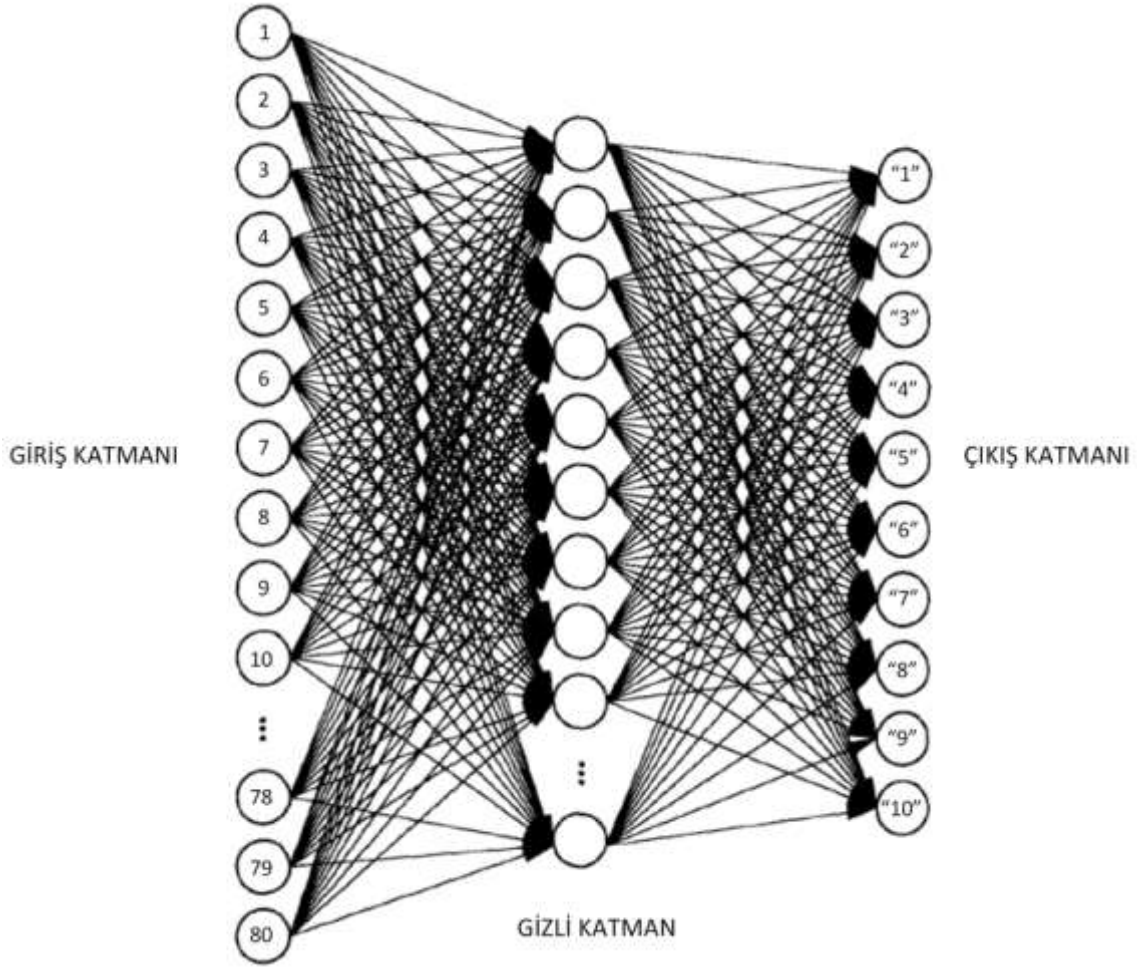
Bu üç katmanın her birinde buluna yapay sinir hücresi öğeleri arasındaki ilişki şematik olarak Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Şekil 3.14 incelendiğinde katmaların birbirleri ile ilişki kurdukları görülmektedir.



Şekil 3. 14 Bir YSA örneği (Ustalı vd. 2021).

Şekil 3.14'te yuvarlak şekiller yapay sinir hücresi öğelerini, bu hücreleri birbirine bağlayan çizgiler ise ağı bağlantısını temsil etmektedir. Her katmanda birbirine paralel öğeler söz konusudur. Yapay sinir hücreleri ve bağlantılar YSA'yı meydana getirmektedir.

Şekil 3.15’da girdi katmanı 80, çıktı katmanı 10 hücreli olan bir YSA örneği verilmiştir.

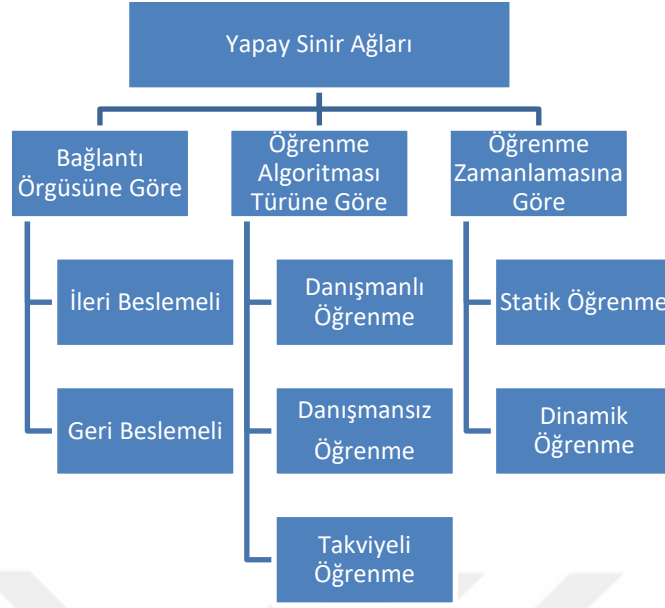


Şekil 3. 15 80 hücreli bir girdi katmanından ve 10 hücreli bir çıktı katmanından oluşan ağ örneği (Şahin 2014).

Şekil 3.15 görüldüğü gibi katmanlardaki hücre sayısının artması tasarlanan ağ topolojisini daha karmaşık hale getirmektedir.

3.3.1.6 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

YSA’lar işleyiş olarak birbirlerine benzeseler de herhangi bir standart işleyiş ve tasarım şablonu bulunmamaktadır. Bağlantı örgüsüne, öğrenme algoritması türüne ve öğrenme zamanlamasına göre yapay sinir ağları üç grup altında sınıflandırılmaktadır. Aşağıda Şekil 3.16’da YSA’ların sınıflandırılmasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3. 16 YSA'ların sınıflandırılması (Araç 2019).

a) Bağlantı Örgüsüne Göre Yapay Sinir Ağları

YSA'lar, katmanların birbirlerine bağlanma şekline göre;

- İleri beslemeli sinir ağı,
- Geri beslemeli sinir ağı

Olarak iki başlıkta sınıflandırılmaktadır (Ataseven 2013).

YSA'daki katman bağlantılarının tek yönlü olduğu ağlar ileri beslemeli sinir ağları, katmanlar arası bağlantıların geri ve ileri yönlü olduğu ağlar da geri beslemeli sinir ağları olarak adlandırılmaktadır (Krender vd. 2002).

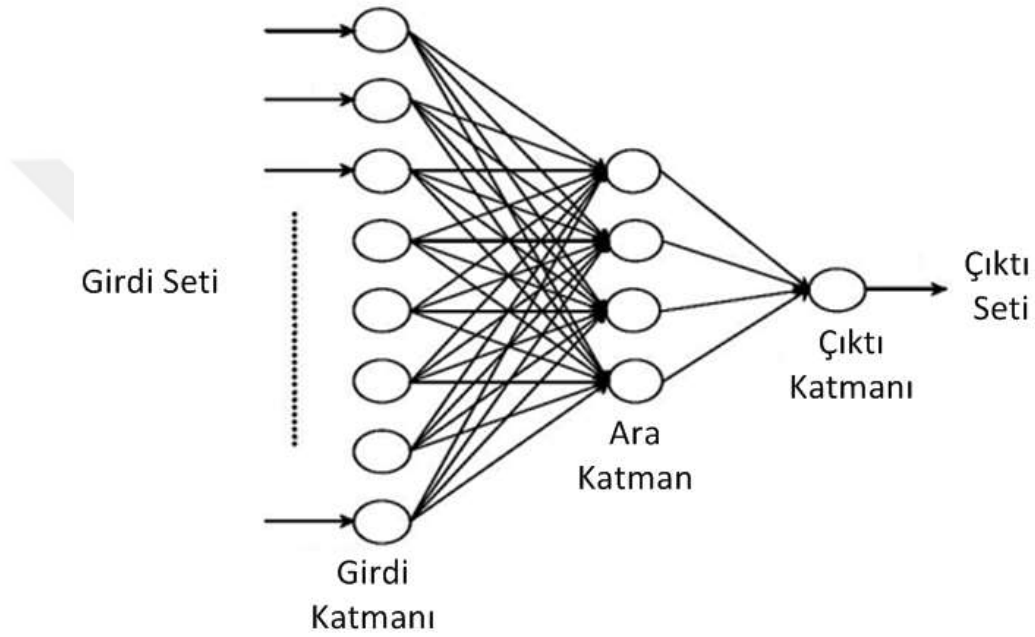
İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: Bu ağlar, en basit YSA yapısıdır. Bu ağ yapısında girdi seti ileri doğru ara katman veya katmanlardan geçirilip çıkışa aktarılmaktadır (LeCun vd. 2015).

İleri beslemeli ağlar;

- Tek katman,
- Çok katman

Olmak üzere iki türden oluşmaktadır (Özcan 2021).

Şekil 3.17’de ileri beslemeli YSA yapısına ait görsel verilmiştir. Şekil 3.17 incelendiğinde katmanlar arası bağlantıların tek yönlü ilerlediği görülmektedir.



Şekil 3. 17 İleri beslemeli YSA yapısı (Haciefendioğlu 2012).

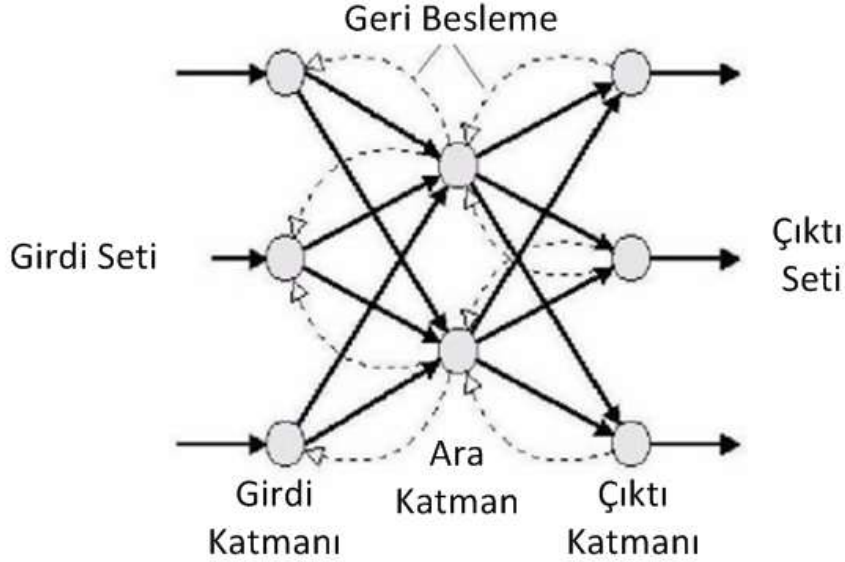
Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: Bu ağ yapısında, katmanlar arasında ki bağlantılar ileri ve geri olmak üzere çift yönden oluşmaktadır. (Kaya vd. 2005). Geri besleme, aynı katmanda ki yapay sinir hücreleri arasında olabildiği gibi farklı katmanda ki hücrelerde de olabilir (Özcan 2021).

Geri beslemeli yapay sinir ağ yapısı

- ART (Adaptive Resonance Theory) Ağı,
- Elman Ağı,
- Hopfield Ağı,
- SOM (Self Organizing Map) Ağı

Olmak üzere dört başlık altında incelenmektedir (Ataseven 2013).

Aşağıda Şekil 3.18’de geri beslemeli YSA yapısına ait görsel verilmiştir. Şekil 3.18 incelendiğinde verilerin giriş katmanından çıkışa doğru hem ileri hem de geri yönlü iletildiği görülmektedir.



Şekil 3. 18 Geri beslemeli YSA yapısı (Yılmaz 2012).

b) Öğrenme Algoritması Türüne Göre Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağlarının en önemli özelliği, ilgilendiği problemde aldığı örneklerle problemi öğrenerek kendi performansını düzeltebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Bu öğrenme işlemi, ağı girdileri kullanılarak yapay sinir hücreleri arasındaki ağırlıkların belirlenmesi işlemi olarak da tanımlanabilir. Öğrenme yapabilmesi, yapay sinir ağlarını daha yetkin ve önemli bir hale getirmiştir.

YSA’larda öğrenme süreci;

- Çıktıları hesaplamak,
- Çıktıları hedefle karşılaştırmak ve hata hesabı yapmak

Olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır (Kapucugil 2005).

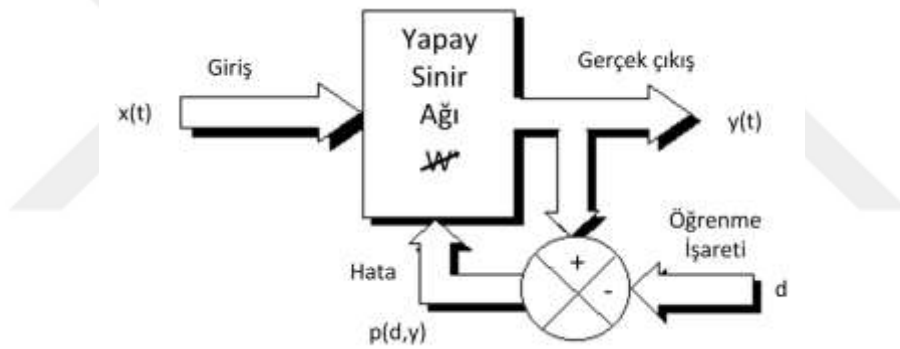
Ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan metotların farklı olmasından dolayı farklı öğrenme algoritmaları ortaya çıkmıştır (Duman 2016).

YSA'lar öğrenme algoritması türüne göre;

- Danışmalı öğrenme,
- Danışmasız öğrenme,
- Takviyeli öğrenme

Olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılmaktadır (Şahin 2010).

Danışmalı Öğrenme (Supervised Learning): Bu algoritma en çok tercih edilen öğrenme algoritmasıdır. Burada YSA'nın üretmiş olduğu çıktı değerleri ile eğitimde kullanılan çıktı değerleri kıyaslanarak hata değeri elde edilir. Elde edilen bu hata değerine göre YSA'nın bağlantı ağırlıkları kendini günceller. Hata değeri kabul edilebilir bir değer aldığında bağlantılar arasındaki ağırlık güncellemesi sona erer ve böylelikle öğrenme işlemi tamamlanmış olur (Elmas 2007). Aşağıda Şekil 3.19'da danışmalı öğrenme algoritmasına ait görsel verilmiştir.

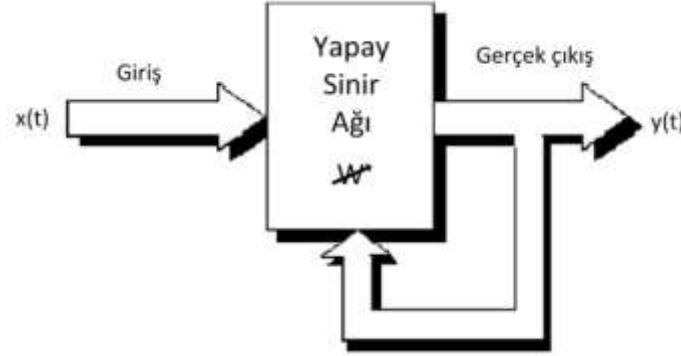


Şekil 3. 19 Danışmalı öğrenme algoritması (Şahin 2010).

Danışmalı öğrenmede YSA'nın eğitilmesinde kullanılacak veri grubu veri yönünden zengin olmalıdır. Veri yönünden zengin olan bir veri setiyle eğitilen YSA, test aşamasında da başarılı sonuçlar verecektir.(Yılmaz 2012).

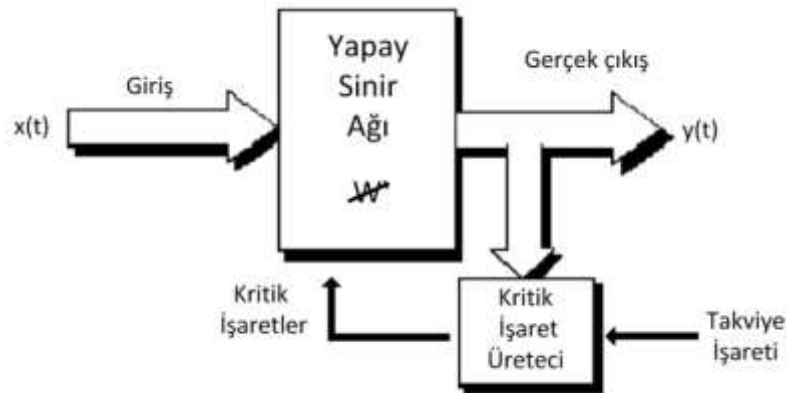
Danışmasız Öğrenme (Unsupervised Learning): Bu öğrenme algoritmasına “Kendi kendine öğrenme algoritması” da denilmektedir. Bu algoritmada eğitim aşamasında YSA'ya sadece girdi parametreleri tanımlanırken arzu edilen çıktı parametreleri tanımlanmamaktadır (Bishop 2005). Danışmasız öğrenme algoritmasını kullanan yapay sinir ağlarında eğitim seti, sadece girdi değerlerinden oluşmaktadır. Girdi değerleri ağa tanıtılarak parametreler arasındaki bağlantıyı ağın kendisinin kurması beklenir. Bu

algoritmada öğrenmeye yardımcı öğeler bulunmamaktadır. Girdi değerleri ile üretilen çıktı değeri arasında var olan ilişkiyi sistemin yarımsız öğrenmesi beklenir (Korkut 2019). Şekil 3.20’de danışmasız öğrenme algoritmasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3. 20 Danışmasız öğrenme algoritması (Şahin 2010).

Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning): Takviyeli öğrenme, danışmalı öğrenme algoritmasına benzer bir algoritmadır. Bu algoritmada YSA’nın öğrenmesine yardımcı olan öğeler bulunmaktadır. Takviyeli öğrenme algoritmasında çıkış verilerinin bilinmesinin önemi yoktur. Çıkış verilerinin bilinmemesine rağmen çıkışın girişlere uyumluluğunu analiz eden bir kriter kullanılmaktadır (Karasu 2012). Bu öğrenme algoritmasını kullanan YSA her iterasyon (tekrar) sonunda başarılı bir sonuç elde edip etmediği hakkında bilgi verir. Elde edilen bilgiler sonucunda YSA ağırlıklarını düzenler. Bu sayede YSA girdi setiyle hem eğitilir hem de sonuç elde ederek öğrenmesini sürdürür (Şahin 2014). Şekil 3.21’de takviyeli öğrenme algoritmasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3. 21 Takviyeli öğrenme algoritması (Şahin 2010).

Çizelge 3.4’te öğrenme teknikleri ve kullanım alanlarına ait özet bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3. 4 Öğrenme Teknikleri ve Kullanım Alanları Tablosu (Deveci 2012).

Öğrenme Tekniği	Öğrenme Kuralı	Ağ Mimarisi	Öğrenme Algoritması	Kullanım Alanları
Danışmalı öğrenme	Hata düzeltme	Bir veya daha fazla katman	Geriye yayılım algoritmaları	Şekil tanıma, Tahmin ve Kontrol
	Boltzman	Geri beslemeli	Boltzmann Öğrenmesi	Şekil sınıflandırma
	Hebbian	Çok katmanlı ileri beslemeli	Doğrusal diskriminant	Veri analizi ve Şekil sınıflandırma
	Rekabetli	Rekabetli	Vektör kuantalama öğrenmesi	Veri sıkıştırma
		ART ağı	Art haritalaması	Sınıflandırma
Danışmasız öğrenme	Hata Düzeltme	Çok katmanlı	Sammon projeksiyonu	Veri analizi
	Hebbian	İleri beslemeli	Temel analiz	Veri analizi ve Veri sıkıştırma
		Hopfield ağı	İlişkili öğrenme	İlişki
	Rekabetli	Rekabetli	Vektör kuantalaması	Veri sıkıştırma ve Sınıflandırma
		Kohonen, SOM	Kohonen, SOM	Sınıflandırma, Veri analiz
		ART Ağı	ART 1, ART 2	Sınıflandırma
				Sınıflandırma,
Karma öğrenme	Hata düzeltme	Radyal tabanlı	Radyal tabanlı öğrenme	Tahmin, Kontrol ve Şekil tanıma

c) Öğrenme Zamanlamasına Göre Yapay Sinir Ağları

YSA'lar öğrenme zamanlamasına göre;

- Statik öğrenme,
- Dinamik öğrenme

Olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Ceyhan 2020).

Statik öğrenme: Bu kuralla öğrenme yapan YSA'larda eğitim, kullanılmaya başlanmadan önce gerçekleşmektedir. YSA eğitimi tamamlandıktan sonra arzu edildiği şekilde kullanılabilir. Fakat kullanım anında ağıdaki bağlantı ağırlıklarında hiçbir şekilde bir değişiklik yapılmaz (Aytekin vd. 2019).

Dinamik öğrenme: Bu kuralla öğrenme yapan YSA'larda öğrenme işlemi, ağı çalıştığı süre zarfında gerçekleşmektedir. YSA, eğitim aşaması bittikten sonra her çalıştırmada çıkan sonucun onaylanmasına göre ağırlık değerlerini değiştirerek çalışmasına devam eder (Şahin 2010).

3.3.1.7 Yapay Sinir Ağlarında Temel Öğrenme Kuralları

Öğrenme kuralları matematiksel algoritmalarlardır. YSA'larda öğrenme süresince bağlantı ağırlıklarının neye göre değişeceğini belirlerler. Literatürde birçok öğrenme algoritması mevcut olsada bu bölümde temel öğrenme kuralları ele alınacaktır.

a) Hebb Öğrenme Kuralı

Hebb öğrenme kuralı; aralarında ilişki bulunan iki yapay sinir hücrelerinde herhangi birinde meydana gelen diğer sinir hücresinde etkiler yaklaşımından hareket etmektedir. (Yılmaz 2022).

b) Hopfield Öğrenme Kuralı

Hebb öğrenme kuralına benzer olan bu kural, bağlantı ağırlıklarında ne derecede değişim meydana geleceğini belirtir. Uygulama anında öğrenme derecesi 0-1 arasında seçilir. İki nöron arasında bilgi alışverişi varsa ağırlığın katsayısı 1 olmaktadır. Eğer iki

nöron aralarında bilgi alışverişinde bulunmuyorlarsa ağırlık katsayısı 0 olmaktadır (Öğücü 2006).

c) Delta Öğrenme Kuralı

Delta öğrenme kuralı Hebb öğrenme kuralı temel alınarak tasarlanmıştır. YSA, bağlantı ağırlıklarını bu kural sayesinde arzu edilen çıktı değeri ile üretilen çıktı değeri arasındaki fark en az olacak şekilde düzenler. Bernard Widrow ve Marcian Edward Hoff Jr tarafından geliştirilen bu kural “En küçük kareler ortalaması kuralı” olarak ta bilinmektedir (Öztemel 2020).

d) Kohonen Öğrenme Kuralı

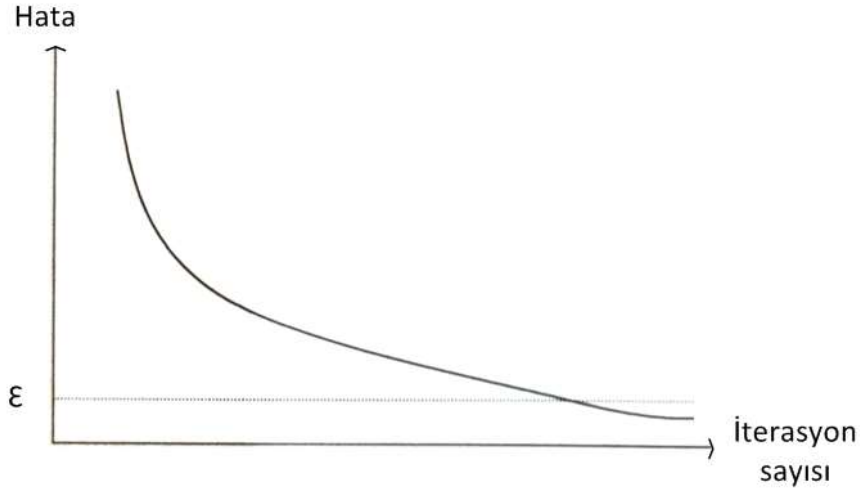
Kohonen öğrenme kuralı, biyolojik sistemlerdeki öğrenme şekli ilham alınarak tasarlanmıştır. Arzu edilen çıktı değerine yaklaşık çıktı üreten yapay sinir hücrelerinin ağırlıkları artırılıp diğer yapay sinir hücrelerinin ise ağırlıkları azaltılarak problem için en ideal yapay sinir hücresi ağırlığını elde etmeyi amaçlamaktadır (Öztemel 2020).

e) Genelleştirilmiş Delta Öğrenme Kuralı

Delta kuralının genelleştirilmiş hali olan bu kural “Geri yayılım algoritması” olarak da bilinir. Beklenen çıktı ile üretilen çıktı arasındaki farka dayanır. Aktivasyon fonksiyonunun birinci derece türevi alınarak bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi gerçekleştirilir (Aşık 2013).

Bir YSA’nın öğrenip öğrenmediği hata-iterasyon grafiği yardımıyla gösterilmektedir. Aşağıda Şekil 3.22’de öğrenen bir YSA için hata-iterasyon grafiği verilmiştir. Bu grafikte ϵ tolerans değerini ifade etmektedir. Tolerans değeri, ağırlık öğrenme performansının değerlendirildiği noktadır. Tolerans değerinin altındaki herhangi bir noktada ağırlık başarılı bir öğrenme gerçekleştirdiği kabul edilirken tolerans değerinin üstündeki noktalarda ise başarılı bir öğrenme gerçekleştiremediği kabul edilmektedir. Bu durumda ağırlık bazı değişikliklerle yeniden eğitilmesi gerekir. Şekil 3.22’de ki hata-iterasyon grafiği incelendiğinde; Hata değerinin iterasyonlar sonucu giderek azaldığı ve belirli bir iterasyon değerinden sonra ise ağırlık öğrenme işleminin tamamlandığı

görülmektedir. Ağın öğrenme işlemini tamamlaması daha fazla öğrenemeyeceği ve daha iyi bir sonuç bulamayacağı anlamına gelir.



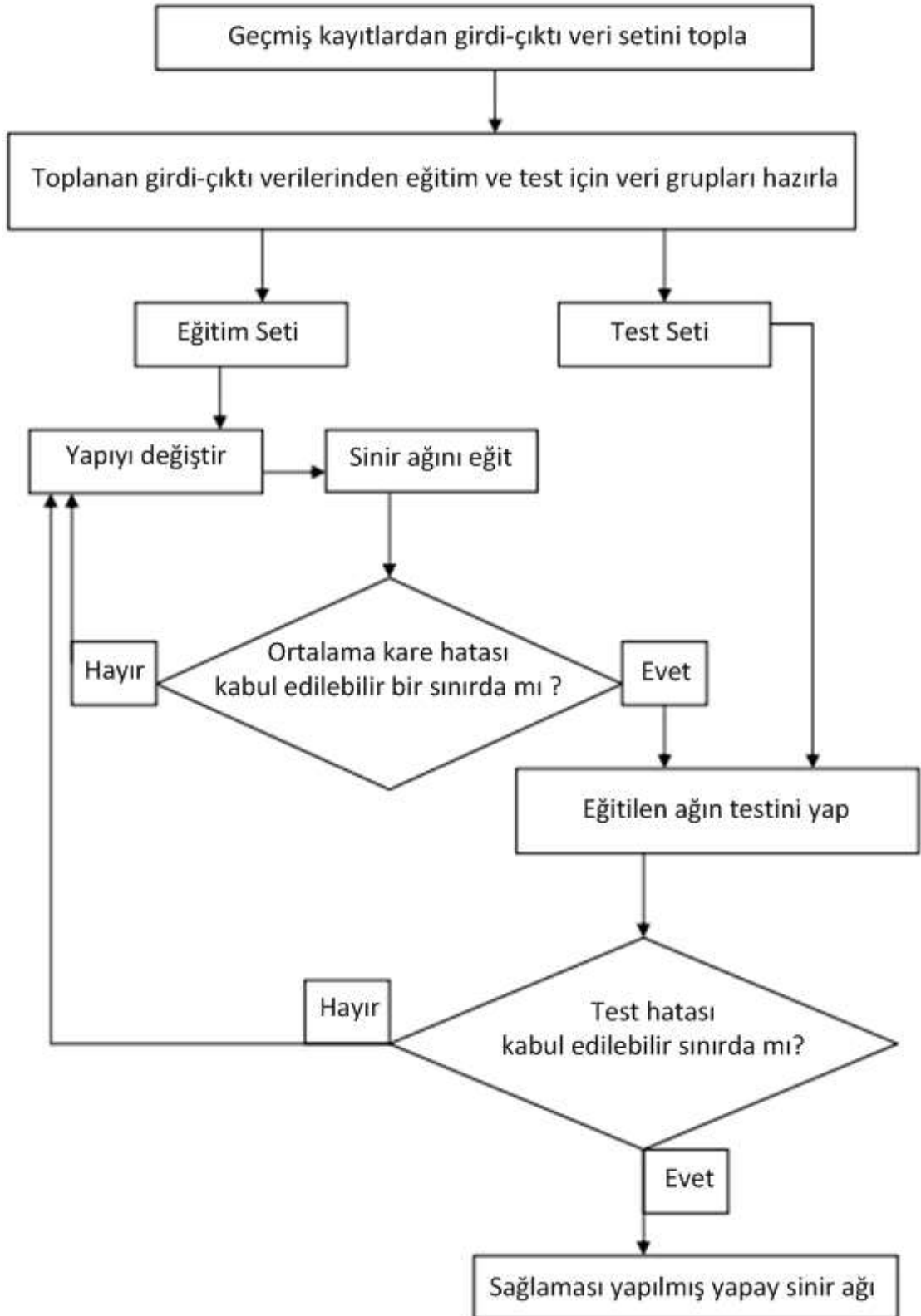
Şekil 3.22 Öğrenen bir YSA'nın hata-iterasyon grafiği (Öztemel 2020).

3.3.1.8 Yapay Sinir Ağlarının Eğitim ve Test Aşamaları

YSA'larda eğitim ve test aşaması bazı adımlar izlenerek yapılmaktadır. Bu adımlar aşağıda verilmiştir (Rajpal vd. 2006):

- İlk olarak ağın ihtiyaç duyduğu girdi parametreleri ağa tanımlanır. Tanımlama yapılırken girdi parametrelerinin ağa uygun olması gerekmektedir.
- Ağın başarısını ölçebilmek için ağa uygun olan çıktı parametreleri tanımlanır.
- Eğitim ve test aşaması için girdi ve çıktı verilerinden veri seti hazırlanır. Hazırlanan verilerin; belirli bir kısmı eğitim için, geri kalan kısmı ise test aşaması için kullanılır. Eğitim ve test aşamasında kullanılacak veriler rastgele seçilmelidir.
- YSA, daha önceden eğitim için hazırlanan veriler ile eğitilir ve eğitim aşaması eğitim hatası minimum oluncaya kadar devam eder.
- Eğitim aşamasından sonra test için hazırlanan veriler ile YSA'nın başarısı kontrol edilir.
- Eğer başarılı bir sonuç elde edilmemişse yukarıdaki adımlar en iyi sonuç elde edilene kadar tekrarlanır.

Şekil 3.23'te eğitim ve test aşamalarının gösterildiği akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. 23 Eğitim ve test adımlarını gösteren akış diyagramı (Rajpal vd. 2006).

3.3.1.9 Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

YSA'larla birçok alanda binlerce uygulama yapılmıştır ve uygulamalardan başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

YSA yöntemi;

- Endüstriyel
- Ulaştırma ve havacılık (Kaplan vd. 2022)
- Sağlık ve ilaç sanayi (Göksu 2022, Khemphila ve Boonjing 2011)
- Askeri ve savunma
- Finans (Tekin ve Patır 2023)
- İletişim sanayi

Gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Deveci 2012).

Endüstriyel Alandaki Uygulamalar

YSA'lar; sanayideki kalite denetimi, kalitenin geliştirilmesi gibi alanlarda sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. YSA'lar çok sayıda endüstriyel uygulamada kullanılmıştır.

Kullanım alanlarından bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztemel 2020):

- Optimizasyon uygulamaları (üretim planlama ve kontrol çalışmaları)
- Otomobillerde otomatik rehber sistemlerini geliştirilmesi
- Robotlarda arıza tespiti
- Robot insan etkileşimleri
- İşlerin makinelerle atanması ve çizelgelenmesi
- Güç sistemlerinin güvenliği ve reaktif güç kompanzasyonu
- Motor kontrol uygulamaları

Ulaştırma ve Havacılık Alanlarındaki Uygulamalar

YSA'lar, ulaştırma ve havacılık alanlarında da sıklıkla tercih edilmektedir. Ulaştırma ve havacılık alanlarında ki uygulamalardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Güngör 2007):

- Hava alanlarındaki bagaj geçişlerinde bomba tanıma sistemi
- Fren kontrolü
- Uçaklarda titreşim seviyesi ve ses analizinden motor arıza teşhisi
- Etkin süspansiyon denetimi

Sağlık ve İlaç Sanayi Alanlarındaki Uygulamalar

YSA'lar sağlık ve ilaç sanayisi alanlarındaki uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu alanlardaki bazı uygulamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztemel 2020):

- Solunum hastalıklarının tespiti
- EEG (ElektroEnsefaloGrafı) ve EKG (Elektrokardiyografi) analizleri
- Troit bozukluklarının teşhisi
- Tıbbi görüntü işleme
- Farmakoekonomi alanında (Polak vd. 2008)

Askeri ve Savunma Alanlarındaki Uygulamalar

YSA'ların askeri alandaki uygulamalarda kullanımı son zamanlarda giderek artmaktadır. Bu alandaki uygulamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztemel 2020):

- Silah otomasyonu
- Hedef seçme/izleme
- Hava araçlarının sınıflandırılması (Karacor vd. 2011)
- Radar sonucu elde edilen sinyallerin işlenmesi
- Uçaklarda arıza tespiti (Wang vd. 2012)
- Askeri uçakların uçuş yörüngelerinin belirlenmesi

Finans Alanındaki Uygulamalar

YSA'lar finans dünyasında da oldukça yaygın kullanılmaktadır. Bu alandaki uygulamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztemel 2020):

- Borsa endekslerinin tahmin edilmesi
- Finansal modelleme ve tahminler (Christakis vd. 2011)
- Kredi kartı hilelerinin tespit edilmesi
- Döviz kurunda öngörüler
- Makroekonomik tahminler
- Risk Analizleri

İletişim Alanındaki Uygulamalar

YSA'lar iletişim alanında da sıklıkla kullanılmaktadır (Güngör 2007).

- Kablosuz ağ kapsamalarının modellenmesi (Bulucu ve Kavas 2007)

Yukarıda verilen alanlara ek olarak daha birçok alanda da YSA uygulamaları kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztemel 2020):

- Veri madenciliği
- Petrol ve gaz aranması
- İnşaat projelerinde maliyet tahmini
- Karakter, el yazısı ve imza tanıma (Şenol 2004)
- Yemeklerdeki nem oranının tahmini

3.3.1.10 Herhangi Bir Uygulama İçin Ağ Seçimi

Hangi problemde hangi ağın kullanılması gerektiğinin bilinmesi YSA uygulamalarında önemli bir konudur. Hangi ağların hangi alanlarda başarılı oldukları Çizelge 3.5’de gösterilmiştir

Çizelge 3. 5 Ağların başarılı oldukları alanlar (Öztemel 2020).

Kullanım Alanı	Ağ türü	Ağın kullanımı
Sınıflandırma	LVQ	Veri havuzundaki verilerin hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesi
	ART	
	PNN	
Tahmin	Çok katmanlı ağ	Ağa verilen girdilerle bir çıktı değerinin tahmin edilmesi
Veri İlişkilendirme	Hopfield	Veri seti içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması
	Boltzmann	
	BAM	

Çizelge 3.5 incelendiğinde ağların başarılı olduğu alanlar görülmektedir. ağların verilen alanlar dışında kullanılması YSA’nın performansını çok net bir biçimde düşürmektedir. YSA’dan başarılı sonuçlar elde edebilmek için yapılan işleme uygun bir ağın seçilmesi, doğru bir veri setinin kullanılması ve doğru bir öğrenme algoritmasının tercih edilmesi gerekmektedir (Öztemel 2020).

3.4 Normalizasyon Yöntemleri

YSA eğitiminde kullanılan ağırlık ve hedef verileri arasında normalden küçük veya büyük değerli veriler bulunabilir. Bilindiği üzere YSA’da katmanlar arasında geçişlerde aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır. Çoğu aktivasyon fonksiyonun çıkış aralığı -1 ile 1 veya 0 ile 1 arasında olduğundan dolayı çok büyük ve çok küçük değerli veriler

YSA'nın yanılmasına neden olmaktadır. Bu verilerin YSA'da kullanılabilmesi için eşik fonksiyonların çıkış aralıklarına çekilmesi gerekir. Bu çekilme işlemine, "normalizasyon" adı verilir (Şahin 2014).

Normalizasyon işlemi, farklı veri setlerindeki dengesizliğin ortadan kaldırılmasını veya aynı veri setindeki veriler arasında çok büyük ve çok küçük değerlerin olmasından kaynaklanacak olumsuzlukların engellenmesini sağlar. Literatürde normalizasyon işlemi için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir (Yavuz ve Deveci 2012).

a) İstatistiksel Normalizasyon (Z-score Normalizasyonu)

Bir veri hazunda pozitif ve negatif değerli verilerin bulunması veriler arasında ciddi uzaklıklar olduğunu gösterir. Veriler arasındaki bu uzaklıklar elde edilecek sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Veriler normalleştirilerek, veriler arasındaki bu uzaklıklar azaltılmış olur. Aşağıda istatistiksel normalizasyon yöntemine ait denklem verilmiştir.

$$X' = \frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i} \quad (3.8)$$

Bu denklemde;

X' = Normalize edilmiş veriyi,

X_i = Veri havuzundaki normalize edilecek veriyi,

μ_i = Veri havuzundaki verilerin ortalamasını,

σ_i = Veri havuzundaki verilerin standart sapmasını

İfade etmektedir (Saranya ve Manikandan 2013).

b) Min-Max Normalizasyonu

Min-Max normalizasyon yöntemi bir veriyi 0 ile 1 arasına düşürmek için kullanılır. Bu normalizasyon yönteminde veriler; minimum 0 değerini, maksimum 1 değerini alarak

doğrusal olarak normalize edilir. Aşağıda min-max normalizasyon yöntemine ait denklem verilmiştir.

$$X' = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3.9)$$

Bu denklemde;

X' = Normalize edilmiş veriyi,

X_i = Veri havuzundaki normalize edilecek veriyi,

$X_{\max}$ = Veri havuzundaki en büyük değerli veriyi,

$X_{\min}$ = Veri havuzundaki en küçük değerli veriyi

İfade etmektedir (Yavuz ve Deveci 2012).

c) Medyan normalizasyonu

Medyan normalizasyonu yönteminde, her girdi değeri girdi setinin medyanına bölünerek normalize hale getirilir. Aşağıda Medyan normalizasyon yöntemine ait denklem verilmiştir.

$$X' = \frac{X_i}{\text{Median}(\alpha_i)} \quad (3.10)$$

Bu denklemde;

X' = Normalize edilmiş veriyi,

X_i = Veri havuzundaki normalize edilecek veriyi,

α_i = Veri havuzundaki verilerin meydanını

İfade etmektedir (Şahin 2014).

d) Sigmoid normalizasyonu

Sigmoid normalizasyon yönteminde veriler, [0,1] veya [-1,1] arasında değerler alacak şekilde normalize edilmektedir. Aşağıda sigmoid normalizasyon yöntemine ait denklem verilmiştir.

$$X' = \frac{e^{X_i} - e^{-X_i}}{e^{X_i} + e^{-X_i}} \quad (3.11)$$

Bu denklemde;

X' = Normalize edilmiş veriyi,

X_i = Veri havuzundaki normalize edilecek veriyi,

e = Euler sayısını (2,7182)

İfade etmektedir (Buldanlı 2021).

e) Desimal skala normalizasyonu

Desimal skala normalizasyon yönteminde, veri havuzunda bulunan verilerin ondalık noktaları hareket ettirilerek normalizasyon işlemi yapılır. Aşağıda Desimal skala normalizasyon yöntemine ait denklem verilmiştir.

$$X' = \frac{X_i}{10^m} \quad (3.12)$$

Bu denklemde;

X' = Normalize edilmiş veriyi,

X_i = Veri havuzundaki normalize edilecek veriyi,

m = Veri havuzundaki en küçük değerli veriyi

İfade etmektedir (Şahin 2014).

f) D_Min_Max normalizasyonu

D_Min_max yönteminde, veri havuzunda bulunan veriler tamamı 0,1 ile 0,9 arasına indirgenir. Bu yöntem ile veriler boyutsuz hale getirilerek belirli değerler arasında sınırlandırılır. Aşağıda D_Min_max normalizasyon yöntemine ait denklem verilmiştir.

$$X' = 0,8 \cdot \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} + 0,1 \quad (3.13)$$

Bu denklemde;

X' = Normalize edilmiş veriyi,

X_i = Veri havuzundaki normalize edilecek veriyi,

$X_{\max}$ = Veri havuzundaki en büyük değerli veriyi,

$X_{\min}$ = Veri havuzundaki en küçük değerli veriyi

İfade etmektedir (Saranya ve Manikandan 2013).

3.5 Performans Değerlendirme Ölçütleri

Bir YSA performansının değerlendirilme ölçüsü tahminin ne kadar doğru olduğudur. Bu ölçü, gerçek veriler ile tahmin verileri arasındaki farktır. Literatürde birçok performans değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. En çok kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir (Visalakshi ve Thangavel 2009).

a) Karesel Ortalama Hata Karekökü (Root Mean Squared Error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\text{Gerçek değer} - \text{tahmin değer})^2}{N}} \quad (3.14)$$

b) Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|\text{Gerçek değer} - \text{tahmin değer}|}{\text{Gerçek değer}}}{N} \cdot 100(\%) \quad (3.15)$$

c) Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error, MSE)

$$MSE = \frac{\sum (\text{Gerçek değer} - \text{tahmin değer})^2}{N} \quad (3.16)$$

d) Ortalama Mutlak Sapma (Mean Absolute Deviation, MAD)

$$MAD = \frac{\sum |\text{Gerçek değer} - \text{tahmin değer}|}{N} \quad (3.17)$$

e) Hatanın Karesel Toplamı (Sum of Squared Error, SSE)

$$SSE = \sum (\text{Gerçek değer-tahmin değer})^2 \quad (3.18)$$

Bu denklemlerde; “N” veri sayısını ifade etmektedir.



4. KAPALI SPOR SALONU ZEMİNLERİNİN PARILTI TAHMİNİNİN YAPILMASI ve SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada amaç kapalı spor salonlarındaki parıltı düzgünlüğünün YSA ile denetlenmesidir. Bunun için öncelikle bir YSA topolojisi oluşturulmuş ve belirlenen ortamlarda ölçümü yapılan parıltı değerleri ile söz konusu ağ eğitilmiştir. Eğitim aşamasından sonra ilgili mekânlara ait parıltı değerleri eğitilen YSA ile tahmin edilmiştir. Tahminlerden elde edilen veriler kullanılmak suretiyle kapalı spor salonları ergonomik ve görsel konfor şartları açısından değerlendirilmiş ve salon içerisindeki parıltı düzensizlikleri tespit edilmiştir. Şekil 4.1’de uluslararası bir basketbol müsabakasının oynandığı salonun zeminine ait görsel verilmiştir. Görsel incelendiğinde oyun alanı içerisinde parıltının homojen olmayan bir şekilde dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu da oyuncular, hakemler, seyirciler ve hatta TV başında ki izleyiciler için istenmeyen bir durumdur. İstenmeyen bu durumu ortadan kaldırmak için oyun alanı içerisindeki parıltı dağılımı hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bunun içinde sahanın boyutuna göre birçok noktada parıltı ölçümü yapılarak gerekli hesaplamalarla sahadaki parıltının düzgünlüğü hakkında çıkarımlarda bulunulur. Bu da gerek zaman gerekse maliyet açısından önemli ölçüde büyük bir külfet oluşturmaktadır. Çalışmanın başında da belirtildiği gibi buna alternatif olarak bir YSA modeli oluşturulup gerekli çıkarımlara YSA modeli sayesinde kolaylıkla ulaşılabacaktır.



Şekil 4. 1 Uluslararası bir basketbol maçının oynandığı zemine ait görsel (İnt. Kyn. 13).

Bu bilgiler ışığında ilk olarak YSA'nın eğitilmesinde kullanılacak olan verilerin hazırlanması gerekmektedir. Eğitimde yararlanılacak veriler; oyun alanının eni ve boyu, salondaki armatürlerin faydalı yükseklik bilgileri, oyun alanının zemin rengi, aydınlatmada kullanılan armatür türü, salondaki armatür sayısı ve oyun alanı içerisindeki parıltı düzeyi (cd/m^2) dağılımıdır. Şekil 4.2' de ölçümlerin yapıldığı mekanlara ait görseller verilmiştir.



(a) Tınaztepe spor salonu



(b) Çiğiltepe spor salonu

Şekil 4. 2 Ölçüm yapılan mekânlara ait görseller.

Şekil 4.2 incelendiğinde Şekil 4.2 (a)'da kapalı basketbol salonu, Şekil 4.2 (b)'de ise kapalı futsal salonu görülmektedir. Tezin uygulama kısmı olan bu bölümünde; ölçüm yapılacak nokta sayısı hesabı, YSA'nın eğitilmesi için veri hazırlama ve YSA modeli kurma gibi adımlar bu salonların ölçüm değerleri ve fiziksel büyüklükleri kullanılarak yapılmıştır.

İlk adımda, iki farklı kapalı spor salonu ayarlanıp bu salonların oyun alanlarının eni ve boyu kullanılarak salonlarda en az kaç noktada ölçüm yapılması gerektiği hesaplanmıştır.

İkinci adımda, ayarlanan salonlarda hesaplanan ölçüm noktası sayısı neticesinde parıltı düzeyi (cd/m^2) ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler tek bir salon için 225 noktada gerçekleştirilmiştir. Ölçülen bu parıltı düzeyi değerleri ile birlikte ölçümün yapıldığı salonun oyun alanının eni ve boyu, salondaki armatürlerin faydalı yükseklik bilgileri,

oyun alanının zemin rengi, aydınlatmada kullanılan armatür türü ve salondaki armatür sayısı bilgileri kayıt edilmiştir.

Üçüncü adımda YSA eğitiminde kullanılacak olan kapalı spor salonlarında ölçülen parlıltı değerleri ile kayıt edilen mekân özellikleri bir araya getirilip matris formuna dönüştürölüp YSA eğitimi gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü ve son adımda ise ölçüm ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması yapılmış oluşturulan ağın başarı oranı ortaya konulmuştur.

4.1 Ölçüm Yapılacak Nokta Sayısının Hesaplanması

Salonlara ait parlıltı değerleri ölçümleri, belirli noktalarda ve yeterli sayıda noktasal bir şekilde gerçekleşir. Ölçümlerden önce ölçüm yapılacak salonların oyun alanlarının en ve boy bilgileri kullanılarak sahada en az kaç noktada ölçüm yapılması gerektiğı belirlenmelidir. Bir alanda en az kaç adet noktada ölçüm yapılacağıının saptanması için de iki adet ölçüm noktası arası mesafenin en fazla ne kadar olacağı hesabı yapılmalıdır. İki adet ölçüm noktası arası maksimum mesafe hesabını yaparken aşağıda denklem (4.1) ‘ten yararlanılır.

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d} \quad (4.1)$$

Bu denklemde;

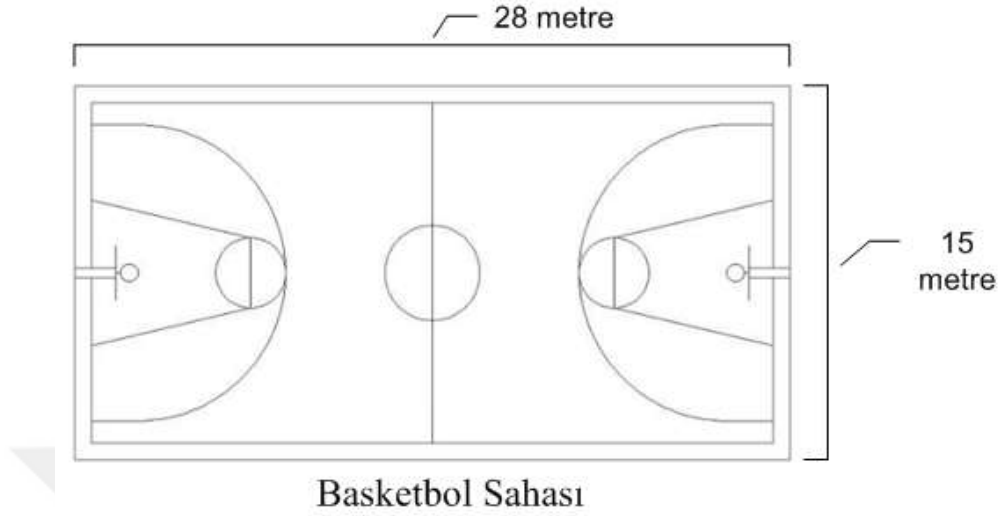
p: İki adet ölçüm noktası arası maksimum mesafe (m);

d: Ölçüm yapılacak ortamın uzunluğu (boy) (m);

Şeklindedir (Marques vd. 2017, Şahin 2019, İnt. Kyn. 14).

Yukarıdaki denklem (4.1) kullanılarak iki ölçüm noktası arasındaki maksimum mesafe (p) değeri hesap edildikten sonra ilgili kenarda ölçüm yapılacak nokta sayısı, ilgili kenarın uzunluğunun hesap edilen p değerine bölünmesiyle belirlenir (Marques vd. 2017, Şahin 2019).

4.1.1 Basketbol Sahası



Şekil 4. 3 Basketbol Sahası (İnt. Kyn. 15).

Uluslararası Basketbol Federasyonu (FIBA) standartlarına göre basketbol sahaları 28 metre uzunluğunda 15 metre genişliğindedir (İnt. Kyn. 16).

4.1.1.1 Basketbol Sahaları İçin Ölçüm Nokta Sayısının Hesabı

Basketbol Sahalarında;

Uzunluk (Boy): 28 metre

Genişlik (En): 15 metre

Saha boyutları denklem (4.1)'de yerine koyulursa;

$$p = 0,25^{\log_{10} 28}$$

$p = 2,0537$ metre elde edilir.

Bu sonuca göre iki nokta arasındaki maksimum uzaklık 2,05 metre olmalıdır.

Uzunluk ve genişlikte en az kaç ölçüm noktası olduğunu bulmak için boyutların 2,05 metre değerine bölünmesi gerekir.

Uzunluk (Boy) için;

$$28 / 2,05 = 13,63 \approx 14 \text{ adet nokta}$$

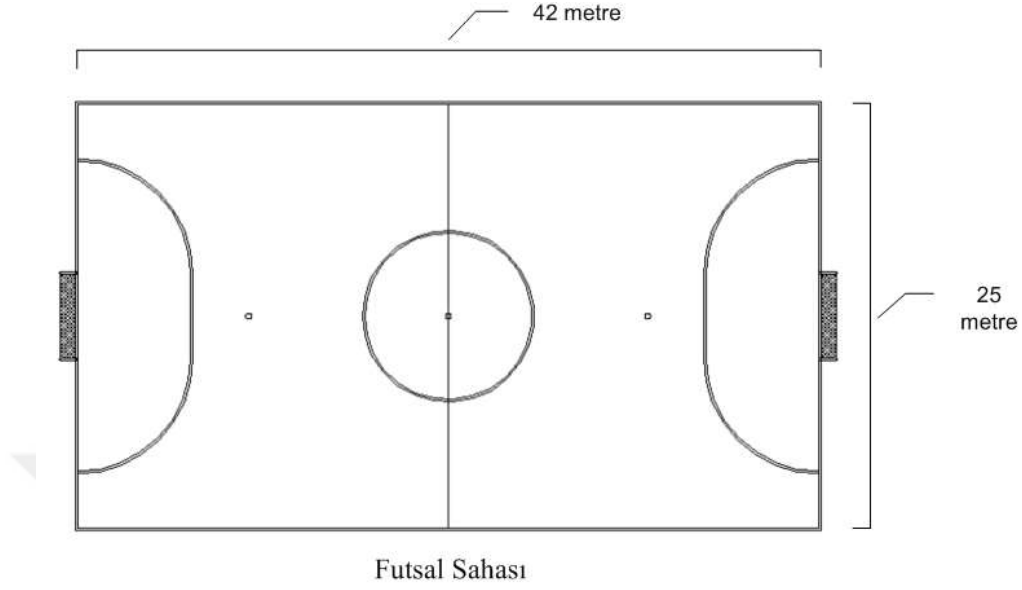
Genişlik (En) için;

$$15 / 2,05 = 7,30 \approx 7 \text{ adet nokta}$$

Ölçüm sayısını az tutmak suretiyle oyun alanında ki en doğru parıltı dağılımını elde edebilmek için YSA'nın eğitilmesinde girdi verisi olarak çapraz köşegenler üzerinde bulunan parıltı değerleri kullanılacaktır (Şahin vd. 2016). Bundan dolayı köşegenler üzerinde eşit sayıda ölçüm noktası olması gerekir. Köşegenler üzerinde eşit sayıda ölçüm noktası elde edebilmek içine uzunluk (boy) ve genişlik (en) eşit sayıda noktalara ayrılmalıdır.

Basketbol sahaları için yapılan hesaplamalara göre iki nokta arası maksimum mesafe (p) 2,05 metre olmalıdır. Hesaplamalara göre uzunluk (boy) üzerinde yapılacak ölçüm sayısı en az 14 adet, genişlik (en) üzerinde yapılacak ölçüm sayısı ise en az 7 adettir. Uygunluk kontrolü yapıldığında 7x7'lik matris en az nokta sayısını sağlamadığı için ölçüm matrisi 14x14 olmalıdır. 14x14'lük matrise göre basketbol sahasında en az 196 adet ölçüm yapılması gerekmektedir.

4.1.2 Futsal (Salon Futbolu) Sahası



Şekil 4. 4 Futsal Oyun Sahası (İnt. Kyn. 17).

Uluslararası Futbol Federasyonu (FIFA) nun belirlediği standartlarına göre Futsal sahaları 42 metre uzunluğunda 25 metre genişliğindedir (İnt. Kyn. 18).

4.1.2.1 Futsal Sahaları İçin Ölçüm Nokta Sayısının Hesabı

Futsal sahalarında;

Uzunluk (Boy): 42 metre

Genişlik (En): 25 metre

Saha boyutları denklem (4.1)'de yerine koyulursa;

$$p = 0,2.5^{\log_{10} 42}$$

$p = 2,7276$ metre elde edilir.

Bu sonuca göre iki nokta arasındaki maksimum uzaklık 2,727 metre olmalıdır.

Uzunluk ve genişlikte en az kaç ölçüm noktası olduğunu bulmak için boyutların 2,727 metre değerine bölünmesi gerekir.

Uzunluk (Boy) için;

$$42 / 2,727 = 15,40 \approx 15 \text{ adet nokta}$$

Genişlik (En) için;

$$25 / 2,727 = 9,19 \approx 9 \text{ adet nokta}$$

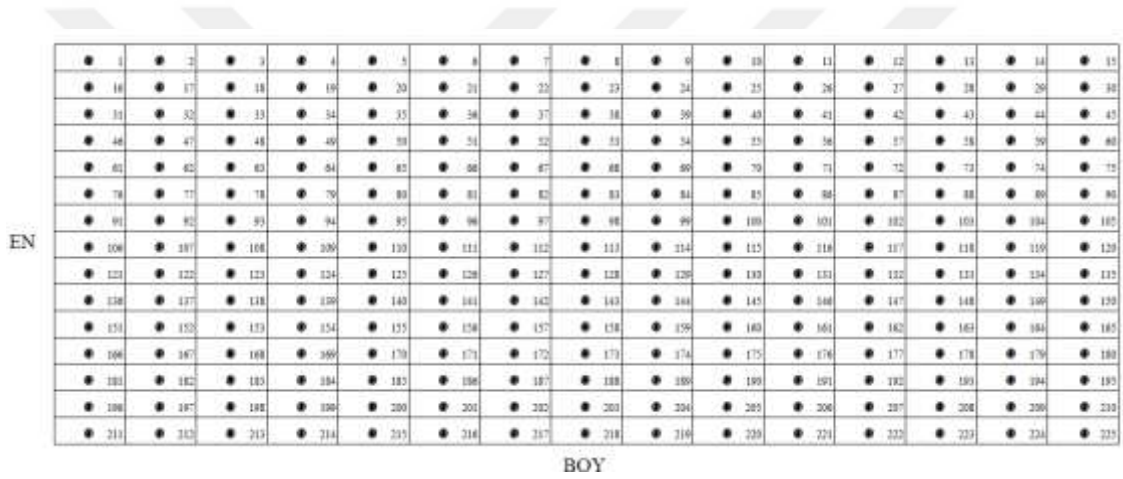
Ölçüm sayısını az tutmak suretiyle oyun alanında ki en doğru parıltı dağılımını elde edebilmek için YSA'nın eğitilmesinde girdi verisi olarak çapraz köşegenler üzerinde bulunan parıltı değerleri kullanılacaktır (Şahin vd. 2016). Bundan dolayı köşegenler üzerinde eşit sayıda ölçüm noktası olması gerekir. Köşegenler üzerinde eşit sayıda ölçüm noktası elde edebilmek içine uzunluk (boy) ve genişlik (en) eşit sayıda noktalara ayrılmalıdır.

Futsal sahaları için yapılan hesaplamalara göre iki nokta arası maksimum mesafe (p) 2,727 metre olmalıdır. Hesaplamalar sonucu uzunluk (boy) üzerinde yapılacak ölçüm sayısı en az 15 adet, genişlik (en) üzerinde yapılacak ölçüm sayısı ise en az 9 adettir. Uygunluk kontrolü yapıldığında 9x9'luk matris en az nokta sayısını sağlamadığı için ölçüm matrisi 15x15 olmalıdır. 15x15 lük matrise göre futsal sahasında en az 225 adet ölçüm yapılması gerekmektedir.

Çalışmalarımızda kullanacağımız salonlar bu iki ana başlıkta toplanmaktadır. YSA'yı eğitmek için giriş verisi olarak çapraz köşegen üzerindeki parıltı değerleri kullanılacak olup eğitimde kullanacak ölçüm noktaları sayısı eşit olmak zorundadır. Farklı mekânlarda yapılacak ölçümlerde uygunluk kontrolü yapıldığında 14x14'lük matrisler 15x15'lik alanda en az nokta sayısını karşılamadığı için çalışmada en az 15x15'lik matrisler kullanılacaktır. Yani kapalı spor salonlarında yapılacak ölçümlerde her bir saha için en az 225 adet noktada ölçüm yapılması gerekmektedir.

4.2 Parıltı Değeri Ölçümleri

Bu çalışmada parıltı değeri (cd/m^2) ölçümlerini yapmak amacıyla iki farklı kapalı spor salonu kullanılmıştır. Salonlarda ölçümler gece yapılmıştır ve salona dışarıdan herhangi bir ışık girişi söz konusu değildir. Yani yapay aydınlık haricinde herhangi bir dış aydınlık YSA giriş çıkışlarını etkilememektedir. Ölçümlerin yapıldığı salonların oyun alanları aşağıda Şekil 4.5’de görüldüğü üzere ilk olarak kâğıt üzerinde noktalara ayrılmıştır. Toplamda 15x15 olmak üzere 225 adet ölçüm noktası elde edilmiştir. Kağıt üzerinde noktalara ayrıldıktan sonra ise Şekil 4.6’da görüldüğü gibi salonların oyun alanları gerekli ölçümler sonrası fiziki olarak işaretlenmiştir.



Şekil 4. 5 Salonun oyun alanının kâğıt üzerinde noktalara ayrılmış hali.



Şekil 4. 6 Salonun oyun alanının fiziksel olarak noktalara ayrılmış hali.

Ölçümler yerden 150 cm yüksekliğinde lüminansmetre düzeneği ile yapılmıştır. Şekil 4.7’de düzeneğe ait görsel verilmiştir. Düzenek üzerinde, Gossen Mavolux 5032-C Usb marka lüminansmetre kullanılmıştır. Lüminansmetrenin kalibrasyonu yapılmış ve sertifika ile tescillenmiştir.



Şekil 4. 7 Ölçümlerin yapıldığı lüminansmetre düzeneği.

Şekil 4.7’deki düzenek incelendiğinde düzeneğin tripot ve lüminansmetreden oluştuğu görülmektedir. Bu düzenek ile ölçümler iki farklı kapalı spor salonunda gerçekleştirilmiştir. Bir salonda 225 noktada olmak üzere toplam 450 noktada parlaklık değeri ölçümü yapılmıştır.

4.2.1 Tınaztepe Kapalı Spor Salonu (Basketbol Salonu) Parıltı Ölçümleri

İlgili basketbol salonu 28 metre uzunluğunda 15 metre eninde oyun alanına sahiptir. Salon, LED ve civa buharlı lambaların bulunduğu projektörler ile aydınlatılmaktadır. Salonda toplam 66 adet aydınlatma elemanını bulunmaktadır. Aydınlatma elemanlarının oyun sahasından yükseklikleri 12,36 metredir. Zemin rengi kahverengi ve bej tonlarından oluşmaktadır. Şekil 4.8’ de basketbol salonuna ait görsel verilmiştir.



Şekil 4. 8 Basketbol salonuna ait görsel.

Şekil 3.8 incelendiğinde, salonun üç tarafında tribün, bir tarafında ise duvar olduğu görülmektedir. CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) aydınlatma sistemlerindeki ölçümlerde, herhangi bir alanda yapılacak ölçümün; kolon, taşıyıcı direk ve duvar gibi durağan objelerden en az 0,5 metre uzaktan başlanmasını önermektedir (Kocabey 2008). Şekil 4.8’de ki salonun oyun alanının kenarlara uzaklıkları 0,5 metreden büyüktür.

Spor salonunun oyun alanı, denklem (4.1) kullanılarak yapılan hesaplamalardan sonra enine 15 nokta boyuna 15 nokta olmak üzere toplam 225 noktaya ayrılarak

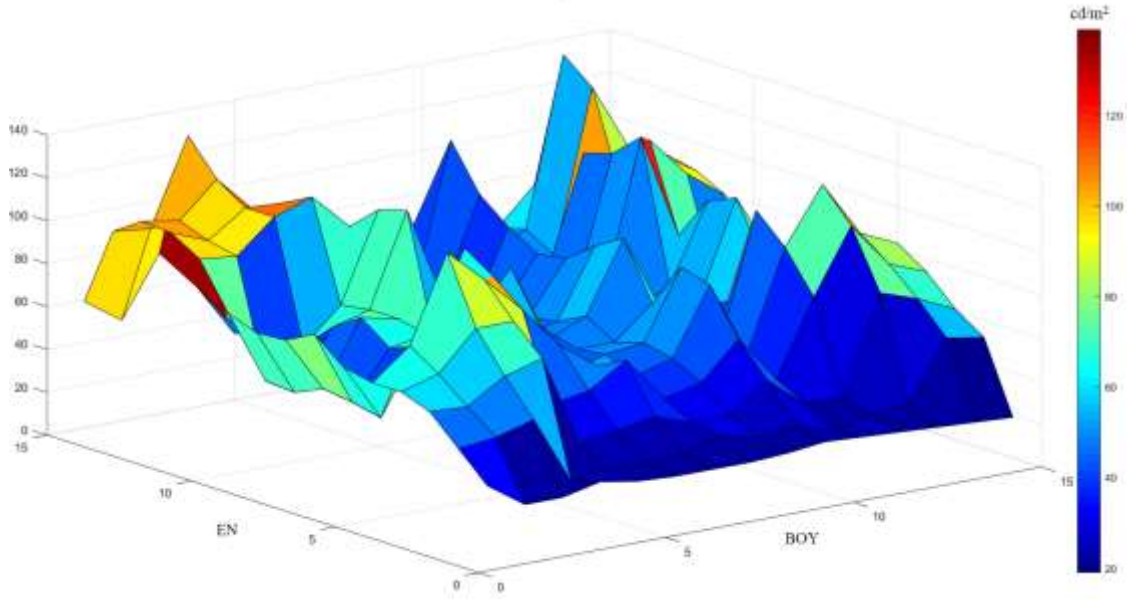
işaretlenmiştir. Daha sonra ise bu işaretlenen 225 noktada parıltı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler yapılmadan önce salonun aydınlatılmasında kullanılan civa buharlı lambaların rejime girme süresi dikkate alınmıştır. Bu süre civa buharlı lamba için 10 dakika civarındadır (Büyükkınacı 2008). Ölçümler, yerde işaretlenen ve numaralandırılan noktalarda sıra ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlere Şekil 4.5'te görüldüğü gibi oyun alanının sol üst köşesinden başlanmış olup sağ tarafa doğru ilerlenmiştir. Birinci satırdaki ölçümler bitince ikinci satırın birinci noktasından tekrar ölçüme devam edilmiştir. Ölçümler esnasında bir kişi Şekil 4.7'deki düzeneği işaretli noktalara koyup ölçüm değerlerini okurken bir kişide ölçüm sonuçlarını not etmiştir. Ölçüm değerlerini okuyan kişi düzeneği işaretli noktaya koyduktan sonra en az 2 metre uzaklaşmış ve herhangi bir gölgelemeye yol açmamıştır. Ölçüm sonuçları ilk olarak kağıt üzerine not alınmış daha sonra ise bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ortamdaki ölçülen parıltı değerlerinin matris şekline dönüştürülmüş hali Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Basketbol salonunda ölçülen parıltı değerleri (cd/m²).

33	21	21	25	22	21	21	21	22	24	23	22	21	20	19
46	48	53	21	23	23	24	29	25	27	21	26	27	55	52
59	58	69	74	31	34	37	31	31	44	30	30	75	69	61
64	69	87	87	45	48	59	38	42	59	37	72	102	81	74
64	78	118	102	85	65	52	44	49	80	45	91	117	91	83
67	40	70	65	96	61	45	50	52	84	43	104	65	49	43
78	43	65	68	105	56	62	48	48	63	51	57	72	60	56
71	45	75	71	54	65	85	48	56	89	52	53	98	67	34
70	39	66	71	114	68	56	46	49	81	48	56	92	59	42
75	40	53	69	110	63	58	50	47	71	50	121	72	48	41
96	94	109	115	98	52	54	40	44	69	47	109	112	93	80
104	97	109	108	41	44	49	34	39	77	50	105	85	98	87
105	102	118	100	34	36	39	32	43	88	49	53	128	96	90
96	94	134	46	35	29	37	27	40	109	50	61	139	80	87
59	47	75	56	31	27	31	24	38	74	45	57	74	40	44

Alınan değerlere göre oyun alanı üzerinde parıltı dağılımının homojen olmadığı, özellikle duvarın olduğu kenarda en düşük seviyede olduğu görülmektedir.

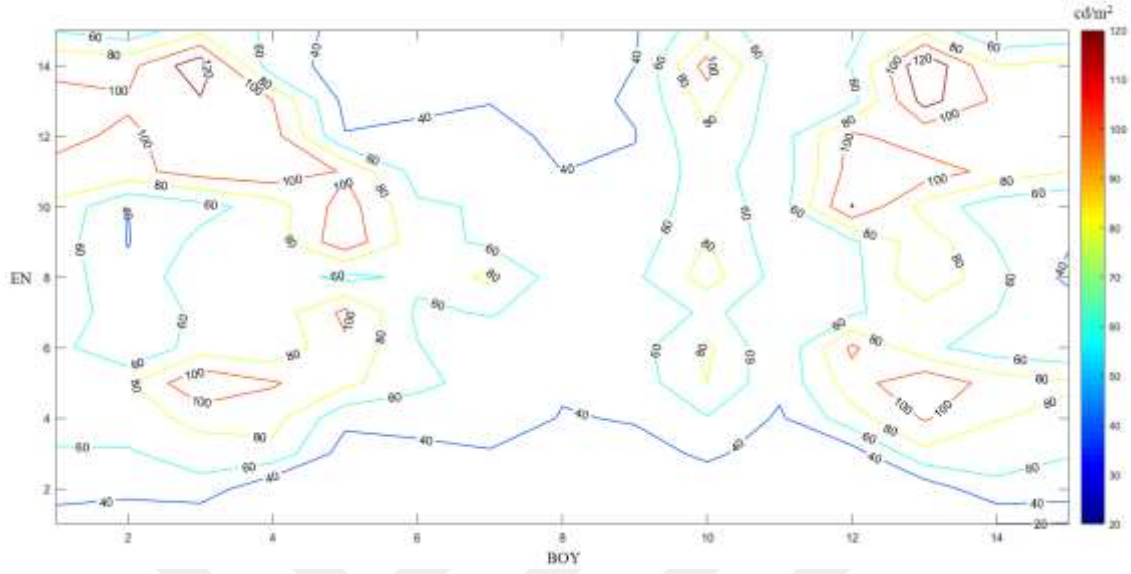
Şekil 4.9’da ilgili basketbol salonunun oyun alanının parıltı dağılımını gösteren 3 boyutlu grafik verilmiştir.



Şekil 4. 9 Basketbol salonunun parıltı dağılımını gösteren 3 boyutlu grafik.

Şekil 4.9 incelendiğinde koyu mavili kısım ölçüm değerlerinin en düşük olduğu kısımdır. Bu kısımdaki ölçüm değerleri daha öncede bahsedildiği gibi duvar tarafındaki kenarın ölçüm sonuçlarıdır. Yine aynı şekilde bazı bölgelerde parıltının pik yaptığı görülmektedir. Bu pik noktaları da armatürlerin hemen altındaki noktalara tekabül etmektedir. Bu da spor müsabakalarında istenmeyen bir durumdur. İstenmeyen bu durumun ortadan kaldırılması için ayrıca çalışmanın tartışma ve sonuç bölümünde çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Şekil 4.10’da ise ilgili basketbol salonun oyun alanındaki parıltı dağılımının eş parıltı eğrilerine ait harita verilmiştir.



Şekil 4. 10 Basketbol salonunun parıltı dağılımını gösteren eş parıltı haritası.

Salonun oyun alanının Şekil 4.10’da ki eş parıltı eğrilerine ait haritası incelendiğinde, oyun alanı üzerindeki parıltı dağılımının homojen olmadığı görülmektedir. Özellikle duvar kenarındaki kısmın parıltı değerleri en düşük seviyelerdedir. Bu seviyeler mavi ile gösterilmiştir.

4.2.2 Çiğiltepe Kapalı Spor Salonu (Futsal Salonu) Ölçümleri

İlgili futsal salonu 42 metre uzunluğunda 25 metre eninde oyun alanına sahiptir. Salon, civa buharlı lambaların kullanıldığı projektörler ile aydınlatılmaktadır. Salonda toplam 32 adet aydınlatma elemanını bulunmaktadır. Aydınlatma elemanlarının oyun sahasından yükseklikleri 6,99 metredir. Zemin rengi turuncu ve açık mavi tonlarından oluşmaktadır. Şekil 4.11’de Çiğiltepe spor salonuna ait görsel verilmiştir.



Şekil 4. 11 Çiğiltepe spor salonuna ait görsel.

Şekil 4.11 incelendiğinde, salonun bir tarafında tribün, üç tarafının ise duvar olduğu görülmektedir. CIBSE aydınlatma sistemlerindeki ölçümlerde, herhangi bir alanda yapılacak ölçümün; kolon, taşıyıcı direk ve duvar gibi durağan objelerden en az 0,5 metre uzaktan başlanmasını önermektedir (Kocabey 2008). Şekil 4.11’de ki salonun oyun alanı kırmızı çizgilerle ayrılmıştır ve kırmızı çizgilerin kenarlara olan uzaklıkları 0,5 metreden büyüktür.

Spor salonunun oyun alanı, denklem (3.1) kullanılarak yapılan hesaplamalardan sonra enine 15 nokta boyuna 15 nokta olmak üzere toplam 225 noktaya ayrılarak işaretlenmiştir. Daha sonra ise bu işaretlenen 225 noktada parıltı ölçümleri yapılmıştır.

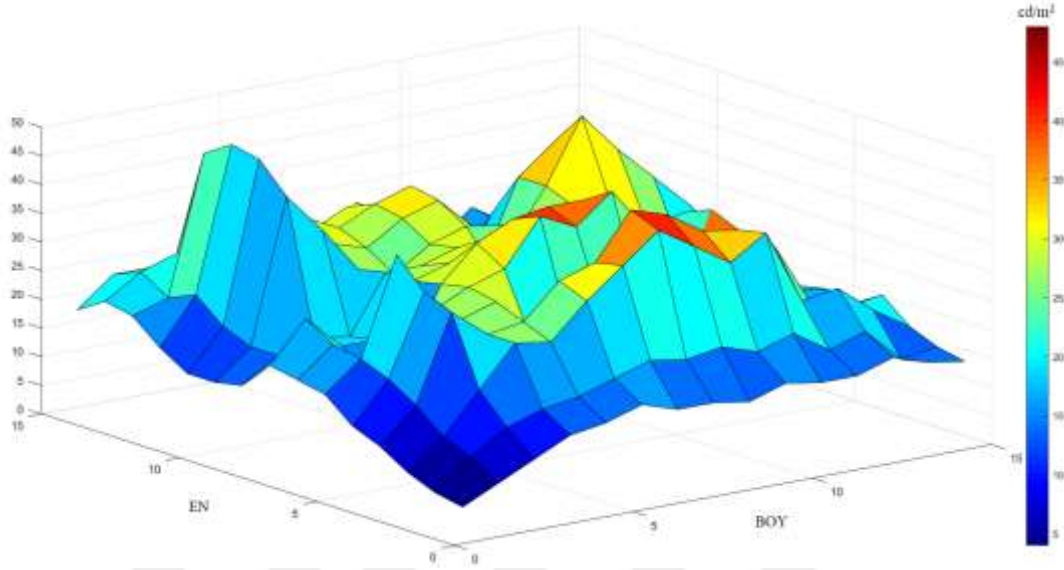
Ölçümler yapılmadan önce salonun aydınlatılmasında kullanılan civa buharlı lambaların rejime girme süresi dikkate alınmıştır. Bu süre civa buharlı lamba için 10 dakika civarındadır (Büyükkınacı 2008). Ölçümler, yerde işaretlenen ve numaralan noktalarda sıra ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlere Şekil 4.5'te görüldüğü gibi oyun alanının sol üst köşesinden başlanmış olup sağ tarafa doğru ilerlenmiştir. Birinci satırdaki ölçümler bitince ikinci satırın birinci noktasından tekrar ölçüme devam edilmiştir. Ölçümler esnasında bir kişi Şekil 4.7'deki düzeneği işaretli noktalara koyup ölçüm değerlerini okurken bir kişide ölçüm sonuçlarını not etmiştir. Ölçüm değerlerini okuyan kişi düzeneği işaretli noktaya koyduktan sonra en az 2 metre uzaklaşmış ve herhangi bir gölgelemeye yol açmamıştır. Ölçüm sonuçları ilk olarak kağıt üzerine not alınmış daha sonra ise bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ortamdaki ölçülen parlıltı değerlerinin matris şekline dönüştürülmüş hali Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Futsal salonunda ölçülen parlıltı değerleri (cd/m²).

4	7	10	13	14	16	14	14	13	15	14	14	16	14	13
5	10	14	16	17	19	21	20	21	19	21	17	19	13	14
7	12	19	26	25	31	36	41	37	33	37	24	25	20	16
10	16	31	26	27	33	35	43	41	37	36	32	21	19	20
12	19	33	27	29	21	23	23	25	22	38	28	23	17	17
16	21	38	27	30	32	40	37	42	34	36	32	24	19	18
17	22	15	16	29	35	38	39	39	34	26	23	22	19	17
18	25	19	19	28	30	33	27	35	32	24	21	22	18	16
13	17	19	18	28	28	30	25	33	30	26	20	23	14	18
12	17	42	35	27	25	29	31	30	27	31	31	26	20	22
12	19	47	36	30	28	32	34	28	24	33	44	37	31	25
15	23	48	36	33	30	33	35	27	19	33	38	29	25	23
19	21	45	30	32	28	31	29	25	13	25	25	25	15	18
20	24	26	23	21	27	26	29	18	17	16	21	22	17	19
17	22	22	21	19	21	23	21	14	11	17	22	18	16	16

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 karşılaştırıldığında futsal sahasındaki parlıltı dağılımının basketbol sahasındakine göre daha düzgün olduğu görülmektedir.

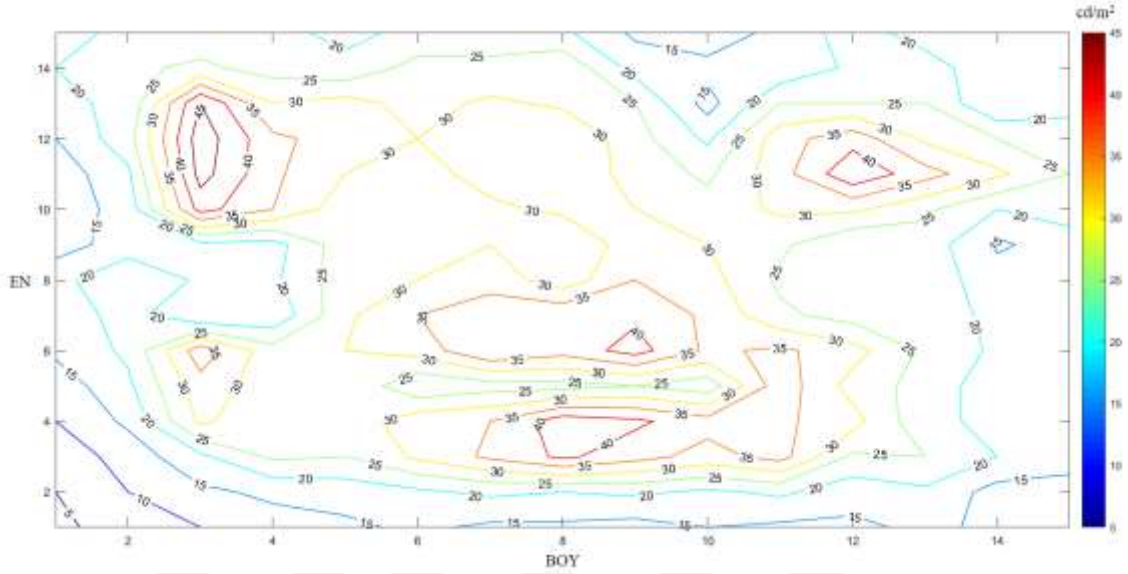
Şekil 4.12’de İlgili futsal salonu oyun alanının parlrlt dağılımını gösteren 3 boyutlu grafik verilmiştir.



Şekil 4. 12 Çiğiltepe spor salonunun parlrlt dağılımını gösteren 3 boyutlu grafik.

Şekil 4.12 incelendiğinde koyu mavili kısım ölçüm değrlerinin 10 cd/m^2 ve altı olduğu noktaları temsil ederken koyu kırmızılı kısım ise ölçüm değrlerinin 40 cd/m^2 ve üstü olduğu noktaları temsil etmektedir. Koyu mavili rengin çoğunlukla üç kenarda dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu üç kenar ise duvarların olduğu taraflardır. Oyun alanı üzerinde 40 cd/m^2 üzerinde parlrlt değrleri fazla dağılım göstermemektedir. Ağırlıkla 30 cd/m^2 altı parlrlt değrlerinin dağılım gösterdiği görülmektedir.

Şekil 4.13’de ise ilgili futsal salonu oyun alanındaki parıltı dağılımının eş parıltı eğrilerine ait haritası verilmiştir.



Şekil 4. 13 Futsal salonunun parıltı dağılımını gösteren eş parıltı haritası.

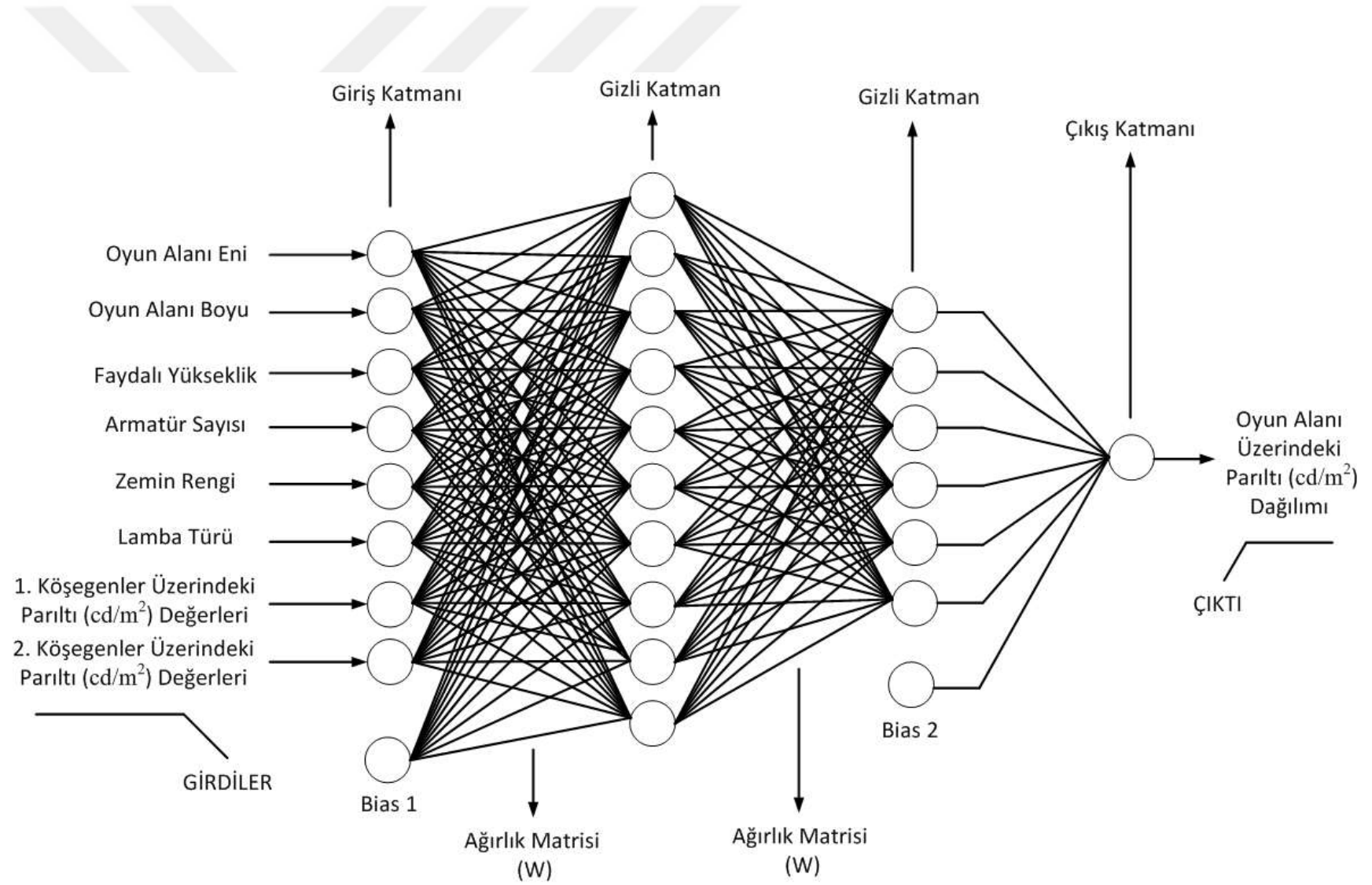
Şekil 4.13 incelendiğinde üç kenarın ölçüm sonuçlarının 15 cd/m^2 ve altında olduğu görülmektedir. Bu kenarlar ise duvarların olduğu taraflardır. Yine aynı şekilde bazı bölgelerde parıltının yüksek olduğu görülmektedir. Bu noktalar da armatürlerin hemen altındaki noktalara tekabül etmektedir.

Yapılan tüm bu ölçümler spor salonlarının parıltı dağılımını değerlendirilebilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Görüldüğü üzere lüminasmetre ile yerden 150 cm yükseklikte ve çok sayıda noktada parıltı düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Tüm bu işlemler göz önünde bulundurulduğunda yapılanların zor, yorucu ve uzun zaman aldığı aşîkârdır. Burada tüm bu yorucu ve uzun zaman alan işlemlere alternatif olarak bir alt yapay zekâ tekniği olan YSA metodu yeni bir yöntem olarak önerilmiştir. Bu metot sayesinde az sayıda ölçüm noktasından yola çıkarak ortam içinde ölçüm yapılmayan diğer noktalar için tahminler yapılmıştır. Kısa zamanda gerçeğe yakın doğruluk oranıyla parıltı değerlerine ulaşılmıştır.

4.3 YSA Eğitimi

Çalışmadaki uygulama kısmının üçüncü aşamasını oluşturan bu bölümde, ilk olarak yapılan parıltı düzeyi ölçümleri ile ortamın özelliklerine ait veriler normalize edilmiştir. Daha sonra bir YSA modeli oluşturulmuştur. En sonunda ise oluşturulan YSA modeli normalize edilmiş veriler ile eğitilmiştir.

YSA'nın eğitilmesinde kullanılan veriler iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar girdi ve çıktı verileri olarak isimlendirilmektedir. Ağın girişine uygulanan verilere girdi diğer bir isimle ağırlık verileri, ağın çıkışından alınmak istenen verilere de çıktı diğer bir isimle hedef verileri denilmektedir. Aşağıda Şekil 4.14'te parıltı düzeyi tahmini için oluşturulan ağ topolojisi görülmektedir. Şekil 4.14'te ki ağ topolojisi incelendiğinde çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerini görmek mümkündür.



Şekil 4. 14 Parıltı değeri tahmini için oluşturulan ağ topolojisi.

4.3.1 Ağın Eğitiminde Kullanılan Girdi Verileri

Çalışmada oluşturulan YSA'nın girdi verileri; ölçümün yapıldığı salonun oyun alanının eni ve boyu, salondaki armatürlerin faydalı yükseklik bilgileri, oyun alanının zemin rengi, aydınlatmada kullanılan armatür türü, salondaki armatür sayısı ve oyun alanının köşegenleri üzerindeki parıltı düzeyi değerleri (cd/m^2) olmak üzere 8 bileşenden oluşmaktadır.

4.3.1.1 Salonların Oyun Alanı Ölçüleri

Çalışmada yapılan ölçümler basketbol salonu ve futsal salonu olmak üzere iki farklı mekânda gerçekleştirilmiştir. Çizelgede 4.3'te iki spor salonuna ait en ve boy bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4. 3 Spor salonlarına ait en ve boy bilgileri.

Spor Salonu İsmi	En (m)	Boy (m)
Basketbol Salonu	15	28
Futsal Salonu	25	42

4.3.1.2 Salonlardaki Armatürlerin Faydalı Yükseklik Bilgileri

İki spor salonunda da armatürlerin faydalı yükseklikleri farklılık göstermektedir. Bu yüzden bu değerlerde YSA eğitimi için girdi değişkenlerinin arasına dâhil edilmiştir. Ölçümler leica disto d810 touch markalı lazer metre ile yapılmıştır. Çizelge 4.4'te spor salonlarındaki armatürlerin faydalı yüksekliklerine ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4. 4 Spor salonlarına ait armatür yükseklikleri.

Spor Salonu İsmi	Armatür Yüksekliği (m)
Basketbol Salonu	12,36
Futsal Salonu	6,99

4.3.1.3 Oyun Alanlarının Zemin Rengi

Ölçümlerin yapıldığı salonlardaki oyun alanının zemin rengi farklılık göstermektedir. Ağırlıklı olarak tek renk hâkim olsa da her bir salondaki oyun alanının zemini iki farklı renkten oluşmaktadır. Çizelge 4.5'te oyun alanları zemin renklerine ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4. 5 Oyun alanlarının zemin renkleri.

Spor Salonu İsmi	Oyun Alanı Zemin Rengi
Basketbol Salonu	Kahverengi + Bej
Futsal Salonu	Açık mavi + turuncu

4.3.1.4 Salonların Aydınlatılmasında Kullanılan Armatür Türleri

Ölçümlerin yapıldığı spor salonlarında ki aydınlatma türleri incelendiğinde bir grupta civa buharlı lambaların bulunduğu projektörler + LED projektörlerin diğer grupta ise sadece civa buharlı lambaların bulunduğu projektörlerin kullanıldığı görülmektedir. Çizelge 4.6'da salonların aydınlatılmasında kullanılan armatür türlerine ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4. 6 Salonların aydınlatılmasında kullanılan armatür türleri.

Spor Salonu İsmi	Armatür Türü
Basketbol Salonu	Civa buharlı lambaların bulunduğu projektörler + LED projektörler
Futsal Salonu	Civa buharlı lambaların bulunduğu projektörler

4.3.1.5 Salonlardaki Armatür Sayısı

İki spor salonunda da armatürlerin sayısı birbirinden farklıdır. Çizelge 4.7'de iki spor salonundaki armatürlerin sayısına ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4. 7 Salonlardaki armatürlerin sayısı.

Spor Salonu İsmi	Armatür Sayısı (adet)
Basketbol Salonu	66
Futsal Salonu	32

4.3.1.6 Köşegenler Üzerindeki Parıltı Değerleri

YSA eğitiminde mekân özelliklerine ek olarak köşegenler üzerindeki parıltı değerleri de kullanılmıştır. Burada amaç az miktarda ölçüm noktasından ve mekân özelliklerinden yola çıkarak oyun alanının parıltı değerlerini elde etmektir.

İki salonda toplam dört köşegen kullanılmıştır. Bir köşegende 15 ölçüm değeri mevcuttur. Yani 60 ölçüm noktasını kullanarak 450 ölçüm noktasının parıltı değeri tahmin edilmiştir.

4.3.2 Ağın Eğitilmesinde Kullanılan Hedef Verileri

Salonlarda ölçülen parıltı değerleri oluşturulan YSA'da hedef verisi olarak kullanılmıştır. İki salonda toplam 450 parıltı değeri mevcuttur.

Spor salonlarındaki oyun alanlarının renkleri Kahverengi + Bej 1 numara, Açık mavi + Turuncu ise 2 numara olmak numaralandırılmışlardır. Salonlardaki armatür türleri de civa buharlı lambaların bulunduğu projektörler + LED projektörler 1 numara, civa buharlı lambaların bulunduğu projektörler ise 2 numara olarak numaralandırılmışlardır.

Eğitilen ağın girdi ve çıktı değişkenleri ve adet olarak bilgileri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4. 8 YSA'nın eğitiminde kullanılan giriş - çıkış değişkenleri ve adetleri.

Kod	Giriş Değişkenleri	Veri Adedi
X ₁	Oyun Alanının Eni	2
X ₂	Oyun Alanının Boyu	2
X ₃	Spor Salonlarına Ait Armatür Yükseklikleri	2
X ₄	Oyun Alanının Zemin Rengi	2
X ₅	Salonların Aydınlatılmasında Kullanılan Armatür Türleri	2
X ₆	Salonlardaki Armatür Sayısı	2
X ₇	1. Köşegenler Üzerindeki Parıltı Değerleri	30
X ₈	2. Köşegenler Üzerindeki Parıltı Değerleri	30
Kod	Çıkış Değişkenleri	Veri Adedi
Y ₁	İki Salona Ait Toplam Parıltı Değeri	450

Çizelge 4.9'da YSA'nın eğitiminde kullanılan giriş ve çıkış değişkenlerin en büyük ve en düşük değerleri tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 4. 9 YSA'nın eğitiminde kullanılan giriş ve çıkış değişkenlerin maksimum ve minimum değerleri.

Kod	Değişkenler	Minimum Değer	Maksimum Değer
X ₁	Oyun Alanının Eni	15 metre	25 metre
X ₂	Oyun Alanının Boyu	18 metre	42 metre
X ₃	Spor Salonlarına Ait Armatür Yükseklikleri	6,99 metre	12,36 metre
X ₄	Oyun Alanının Zemin Rengi	1	2
X ₅	Salonların Aydınlatılmasında Kullanılan Armatür Türleri	1	2
X ₆	Salonlardaki Armatür Sayısı	32 adet	66 adet
X ₇	1. Köşegenler Üzerindeki Parıltı Değerleri	4 cd/m ²	128 cd/m ²
X ₈	2. Köşegenler Üzerindeki Parıltı Değerleri	13 cd/m ²	128 cd/m ²
Y ₁	İki Salona Ait Toplam Parıltı Değeri	4 cd/m ²	139 cd/m ²

YSA eğitimi için veri hazırlarken veri havuzunda olması gerekenden büyük veya küçük değerler görülebilir. Bu değerler, YSA'nın eğitiminde kullanıldığından net girdiler hesaplanırken ağı yanıltabilmektedirler. Eğitimde kullanılacak tüm verilerinin 0 ile 1 aralığına düşürülmesi yani normalize edilmesi, veri havuzundaki büyük ve küçük değerlerin ağıdaki etkisini azaltacaktır. Bu sebeple YSA'nın eğitilme aşamasına geçilmeden normalizasyon işlemi yapılması YSA'nın öğrenmedeki başarısını arttırılabilmektedir (Şahin 2014).

Bu çalışmada normalizasyon tekniği olarak Min-Max normalizasyon tekniği tercih edilmiştir. Bu teknikte; bir verinin alabileceği en düşük değer minimum, en yüksek değer ise maksimum olarak ifade edilmektedir. Verileri 0 ile 1 aralığına düşürmek için denklem (4.2) kullanılmıştır.

$$X' = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4.2)$$

Bu denklemde;

X' = Normalize edilmiş veriyi,

X_i = Veri havuzundaki normalize edilecek veriyi,

$X_{\max}$ = Veri havuzundaki en büyük girdi değerini,

$X_{\min}$ = Veri havuzundaki en küçük girdi değerini

İfade etmektedir (Jassim vd. 2022).

YSA eğitiminde kullanılan normalizasyonu yapılmış verilerin minimum ve maksimum değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4. 10 Normalizasyonu yapılmış verilerin minimum ve maksimum değerleri.

Kod	Değişkenler	Minimum Değer	Maksimum Değer
X ₁	Oyun Alanının Eni	0,10145	0,17391
X ₂	Oyun Alanının Boyu	0,19565	0,29710
X ₃	Spor Salonlarına Ait Armatür Yükseklikleri	0,04341	0,08231
X ₄	Oyun Alanının Zemin Rengi	0	0,00725
X ₅	Salonların Aydınlatılmasında Kullanılan Armatür Türleri	0	0,00725
X ₆	Salonlardaki Armatür Sayısı	0,22464	0,47101
X ₇	1. Köşegenler Üzerindeki Parıltı Değerleri	0,02174	0,92029
X ₈	2. Köşegenler Üzerindeki Parıltı Değerleri	0,08696	0,92029
Y ₁	İki Salona Ait Toplam Parıltı Değeri	0,02174	1

Bu çalışmada ağ türü olarak ileri beslemeli geri yayımlı ağ (Feed-Forward Backpropagation Neural Network) tercih edilmiştir. Bu ağ türünün tercih edilmesindeki temel amaç, öğrenme performansı başarısının tanımlanan gizli katman tarafından geliştirilmesi avantajına sahip olmasıdır. Ağın eğitiminde Levenberg-Marquardt (LM) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın kullanılma amacı sağladığı hız ve kararlılık özelliğidir. Öğrenme fonksiyonu olarak Learngdm seçilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak ise Tanjant-Sigmoid aktivasyon fonksiyonu seçilmiştir. Oluşturulan YSA'nın başarısını değerlendirmek için de Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) performans kriteri tercih edilmiştir.

Çizelge 4.11'de çalışmada kullanılan YSA'nın eğitiminde tercih edilen değişkenler özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4. 11 YSA eğitiminde kullanılan değişkenler.

Ağ Türü	Feed-Forward Backpropagation
Eğitim Algoritması	TRAINLM
Aktivasyon Fonksiyonu	TANSIG
Öğrenme Fonksiyonu	LEARNGDM
Nöron Sayısı	25
Performans Değerlendirme Fonksiyonu	MAPE

YSA modelinin oluşturulmasında kullanılan köşegenlerden gelen 60 verinin %80'i eğitim, %10'u test ve %10'u da doğrulama için rastgele ayrılmıştır. Oluşturulan YSA, MATLAB programı yardımıyla Network Fitting Tool (nftool) toolbox'ı kullanılarak, en az hata oranına ulaşınca kadar eğitilmiştir. Birçok denemeden sonra en az hata oranına 12. iterasyonda ulaşılmış ve oluşturulan ağ MATLAB ortamında kaydedilmiştir.

4.4 Ölçüm ve Tahmin Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde ölçümlerin yapıldığı kapalı spor salonlarındaki oyun alanlarının parıltı dağılımları ile YSA'nın tahmin ettiği parıltı dağılımları karşılaştırılmıştır.

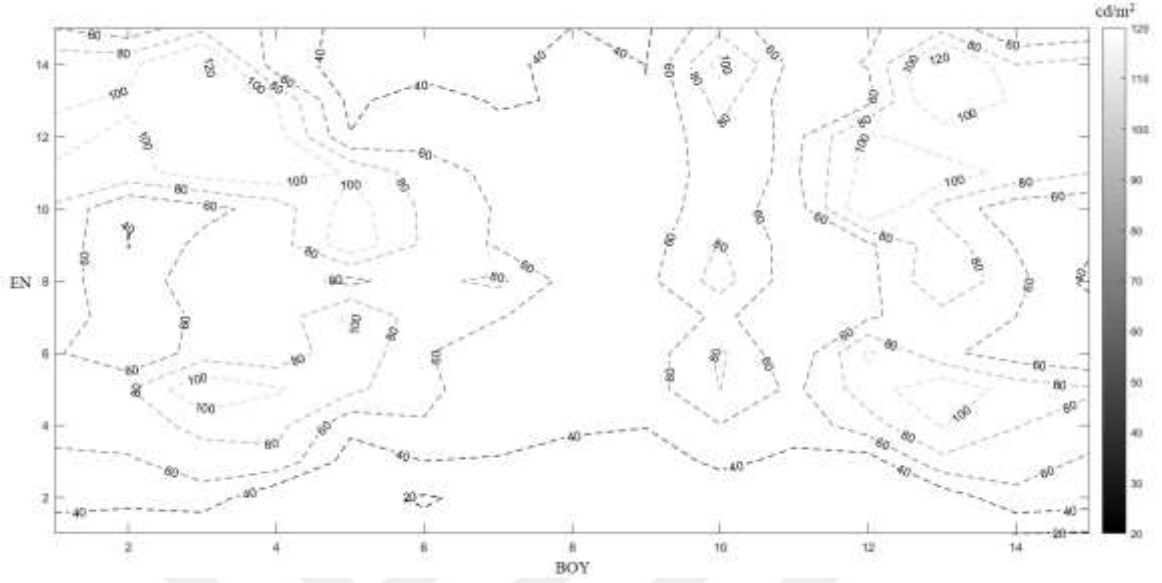
4.4.1 Tınaztepe Kapalı Spor Salonu (Basketbol Salonu) Parıltı Değerlerinin YSA ile Tahmini

İlgili basketbol salonun oyun alanının YSA ile tahminine ait parıltı dağılımı Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4. 12 Basketbol salonunun YSA ile tahmin edilen parlaltı değerleri (cd/m²).

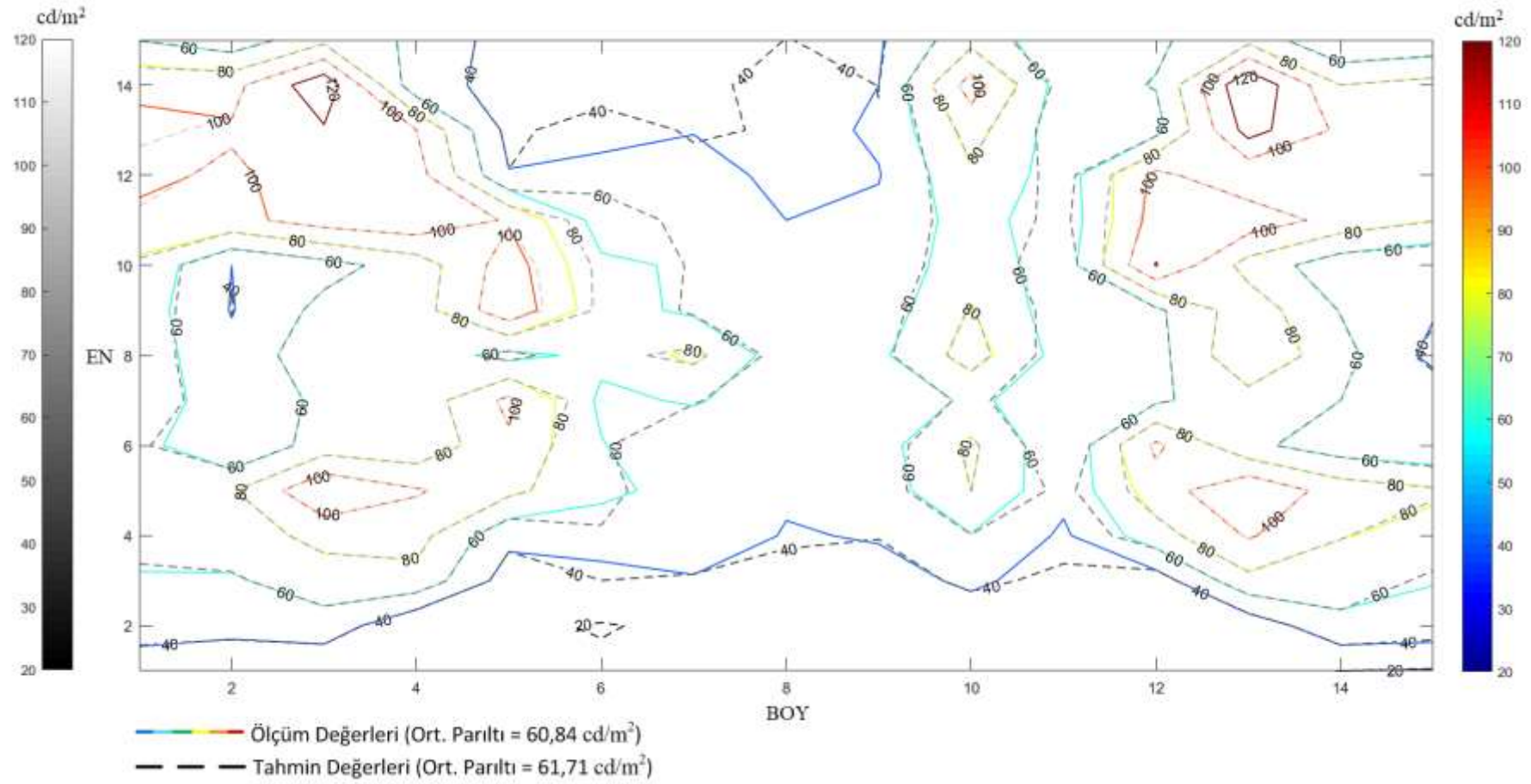
32,17	21,07	21,33	24,38	21,90	23,65	21,19	21,84	22,24	24,13	21,27	22,22	20,90	19,95	18,60
45,94	48,39	53,00	21,08	23,04	18,59	24,30	25,73	22,73	26,98	29,90	25,95	26,87	55,08	49,86
57,42	57,88	69,01	74,03	31,04	39,89	36,54	32,26	30,53	44,12	35,64	30,04	74,70	69,00	56,95
64,27	68,44	86,98	87,05	44,93	58,95	59,55	43,14	40,83	59,40	47,18	71,80	101,56	80,99	70,67
62,84	78,54	118,24	102,13	85,21	63,49	51,19	51,99	51,16	80,18	55,35	90,88	116,68	91,07	82,73
62,87	40,00	69,96	64,97	95,95	61,94	43,77	45,46	48,83	83,68	42,70	103,97	64,65	49,06	40,24
76,02	42,96	64,92	67,86	104,89	65,93	61,40	47,75	47,92	63,08	48,19	57,06	71,82	60,00	53,94
69,77	44,88	74,98	70,95	53,98	75,46	84,66	51,46	54,84	88,92	47,52	53,06	98,03	66,99	32,97
73,32	39,45	66,06	71,02	114,05	76,52	56,92	51,35	51,53	81,35	50,68	56,13	92,12	58,95	44,42
76,56	40,32	52,94	68,98	110,06	76,34	58,14	49,29	49,27	71,14	48,83	121,06	72,24	47,90	43,24
98,35	94,41	109,07	115,06	98,01	69,57	54,66	50,65	46,99	69,44	55,90	108,96	111,80	92,91	80,79
103,65	97,15	109,00	107,99	41,00	52,93	49,04	46,01	40,05	77,17	53,63	104,88	84,76	97,91	86,24
97,95	102,01	117,91	99,96	33,94	54,84	36,51	42,80	40,38	87,71	48,16	52,97	127,34	95,92	84,97
93,04	94,14	134,20	46,03	35,06	24,69	36,12	45,36	39,84	108,84	52,73	60,96	138,64	80,07	86,70
59,48	47,34	75,00	55,90	30,96	34,88	31,63	40,23	37,31	73,81	42,64	56,94	74,02	39,95	45,47

Şekil 4.15'te Basketbol salonundaki oyun alanının YSA ile tahmin edilen eş parıltı eğrileri verilmiştir.



Şekil 4. 15 Basketbol salonundaki oyun alanının YSA ile tahmin edilen eş parıltı eğrileri.

Şekil 4.16'da Ölçüm ve tahmini parıltı değerlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 4. 16 Basketbol salonunun oyun alanının ölçülen ve tahmin edilen parıltı değerlerinin karşılaştırılması.

Ölçüm değerlerine göre salonun oyun alanının ortalama parıltı değeri $60,84 \text{ cd/m}^2$ dir. YSA'nın tahmin ettiği ortalama parıltı değeri ise $61,71 \text{ cd/m}^2$ dir. Ölçüm ve tahmin değerlerine bakıldığında birbirlerine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. YSA'nın tahmin ettiği ortalama parıltı değeri $0,87 \text{ cd/m}^2$ fazla çıkmıştır. Bu da ağın hata oranının %1,429 olduğunu göstermektedir. Yani oluşturulan ağın başarı oranı bu salon için %98,571 dir.

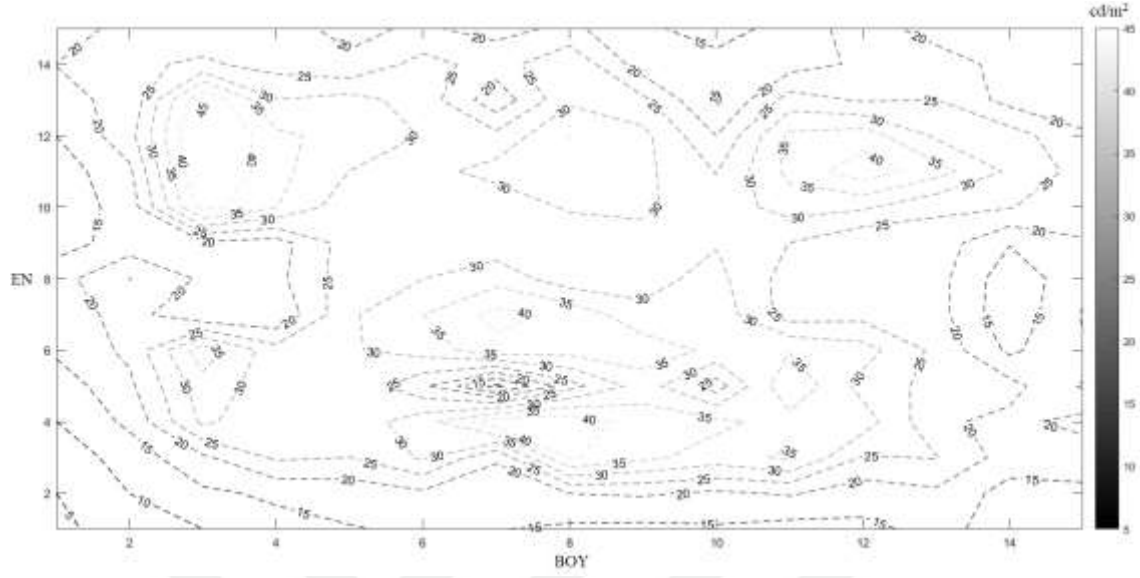
4.4.2 Çiğiltepe Kapalı Spor Salonu (Futsal Salonu) Parıltı Değerlerinin YSA ile Tahmini

İlgili futsal salonun oyun alanının YSA ile tahminine ait parıltı dağılımı Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4. 13 Futsal salonunun YSA ile tahmin edilen parlıltı değęrleri (cd/m²).

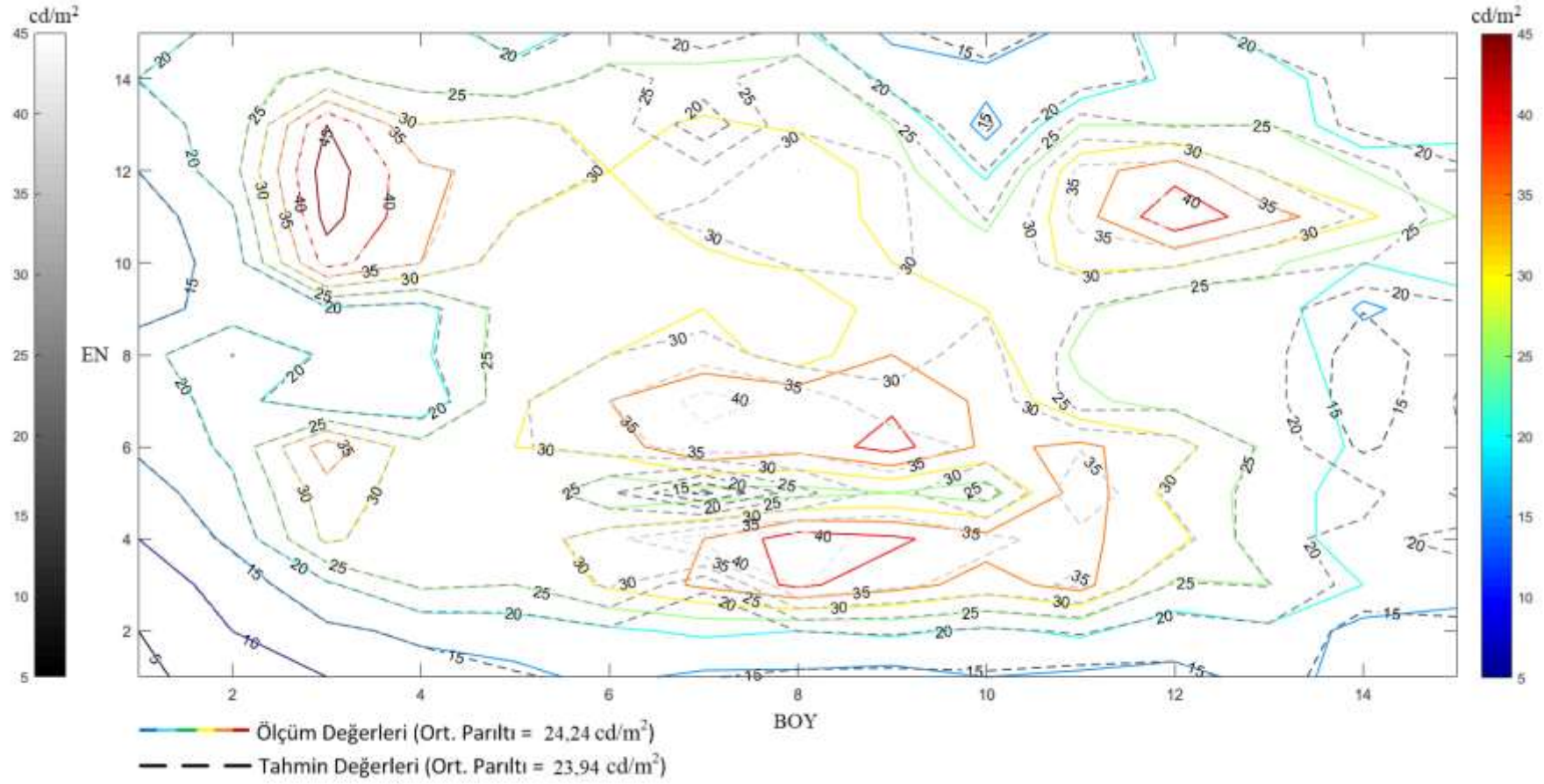
4,03	6,96	9,99	13,19	14,74	15,66	15,24	13,97	13,66	14,38	13,04	13,86	16,29	13,11	13,12
4,99	10,03	14,02	15,91	16,73	18,95	16,80	20,04	20,62	19,08	20,55	17,26	18,93	12,99	14,22
7,06	12,03	19,10	25,79	24,97	30,74	20,65	40,57	36,18	32,76	35,88	24,47	25,24	17,70	16,75
9,97	16,13	31,13	25,74	26,82	33,03	43,36	42,98	37,62	36,21	33,02	32,57	20,87	18,70	21,79
12,06	18,91	32,88	27,30	29,04	20,85	8,52	23,00	32,38	22,50	39,49	28,18	23,23	21,68	14,36
15,89	21,11	38,13	26,81	29,48	32,21	38,41	36,78	38,14	33,70	34,67	32,09	23,72	13,98	19,58
16,96	22,11	15,27	15,58	29,18	34,91	41,57	38,79	31,12	33,12	22,54	23,31	21,98	11,26	20,39
17,92	25,13	19,22	18,62	27,94	29,98	33,09	26,93	28,37	31,53	22,74	21,23	21,86	11,74	18,40
12,93	17,13	19,17	17,73	27,57	28,15	27,01	25,05	28,46	29,67	24,92	20,20	22,67	15,29	19,73
11,96	16,98	41,93	35,16	26,71	25,13	25,84	30,84	30,80	27,28	32,03	30,85	25,92	25,26	21,46
12,10	18,97	46,95	36,66	29,95	28,24	32,01	33,44	31,23	24,77	36,54	43,09	36,99	29,24	23,12
15,05	23,01	47,76	36,09	33,08	29,76	26,31	35,03	31,45	20,00	36,12	37,68	29,21	27,38	20,71
19,05	20,94	44,88	30,14	31,89	27,81	16,62	29,00	26,14	14,01	27,23	24,43	25,05	18,19	17,01
20,06	23,99	25,86	23,00	20,52	26,94	22,74	29,30	17,27	17,59	17,80	20,90	21,78	18,80	18,65
17,14	21,84	21,82	20,92	19,26	20,52	18,54	21,01	16,42	11,73	17,85	21,72	18,42	17,54	14,99

Şekil 4.17’de Futsal salonundaki oyun alanının YSA ile tahmin edilen eş parıltı eğrileri verilmiştir.



Şekil 4. 17 Futsal salonundaki oyun alanının YSA ile tahmin edilen eş parıltı eğrileri.

Şekil 4.18’de Ölçüm ve tahmini parıltı değerlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 4. 18 Futsal salonunun oyun alanının ölçülen ve tahmin edilen parıltı değerlerinin karşılaştırılması.

Ölçüm değerlerine göre salonun oyun alanının ortalama parlıltı değeri 24,24 cd/m² dir. YSA'nın tahmin ettiği ortalama parlıltı değeri ise 23,94 cd/m² dir. Ölçüm ve tahmin değerlerine bakıldığında birbirlerine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. YSA'nın tahmin ettiği ortalama parlıltı değeri 0,30 cd/m² daha az çıkmıştır. Bu da ağın hata oranının %1,24 olduğunu göstermektedir. Yani oluşturulan ağın başarı oranı bu salon için %98,76 dır.

4.4.3 Oluşturulan Ağın Başarısının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, oluşturulan ağın başarısının değerlendirilmesinde Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percentage Error, MAPE), Korelasyon (R) ve Belirleme Katsayısı (R²) performans parametrelerinden faydalanılmıştır. Tahmin çalışmalarında MAPE değerinin 0'a yakın olması istenmektedir. MAPE değeri %10'un altında olan ağlar “çok iyi”, % 10 - % 20 arasında olan ağlar “iyi”, % 20 - % 50 arasında olan ağlar “kabul edilebilir” ve % 50'nin üzerinde olan ağlar ise “hatalı” ağlar olarak kategorize edilmektedir (Var ve Türkay 2014). Tahmin çalışmalarında R² değerinin ise 1'e yakın olması istenir (Yanık 2019). R² değerinin 1'e yakın olması, ölçüm değerleri ile tahmin edilen değerlerin birbirine yaklaştığını göstermektedir (Taşkıner 2018). MAPE değeri denklem (3.15)'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Aşağıda Çizelge 4.14'te çalışmanın R, R² ve MAPE değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 14 Çalışmanın R, R² ve MAPE değerleri.

	R	R²	MAPE
YSA	0,98665	0,97347	0,01333

Çizelge 4.14 incelendiğinde oluşturulan ağın ürettiği tahmini değerler ile ölçüm değerleri arasındaki korelasyon yani ağın doğruluk oranı 0,98655 olarak hesaplanmıştır.

Literatürde, MAPE performans kriteri diğer performans ölçütlerine göre daha çok kabul görmektedir. Bunun nedeni ise tahmin hatalarını yüzde olarak ifade etmesinden dolayı tek başına da bir anlam taşıması durumudur (Karahana 2015). Çalışmada, MAPE değeri 0'a çok yakın 0,01333 olarak bulunmuştur yani %1,33' lük bir hata payı meydana

gelmiştir. Ağın tahmin gücünü yansıtan R^2 değeri ise 1'e çok yakın, 0,97347 olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre, oluşturulan ağın yapmış olduğu tahmin değerlerinin güvenilir ve tutarlı olduğu söylenebilir.

4.5 Çalışmanın Görsel Konfor ve Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Pratikte, uygulamada yani günlük hayatta iç mekân aydınlatma sistemlerinin yeterliliğinin denetiminde ekseriyetle kriter olarak çalışma düzleminde ki aydınlık seviyesi ve ortalama aydınlık seviyesi referans alınmaktadır. Bu bağlamda büro, hastane, okul, ev vb. iç mekânlarda aydınlatma yeterliliğinin denetimi birçok noktada aydınlık seviyesi ölçümü yapılarak sağlanmaktadır (Kocabey ve Ekren 2014, Şahin vd. 2016). Özellikle iş sağlığı ve güvenliği alanında fiziksel risk etmenlerine bağlı aydınlık yeterliliği denetimlerinde de büyük bir çoğunlukla aydınlık seviyesi (Lüks) referans alınmaktadır. Bu çalışmada da kapalı mekânlarda aydınlatma denetimi yapılmıştır. Fakat diğer iç mekânların aksine aydınlık seviyesi denetimi yerine parıltı denetimi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Şekil 4.19'da homojen bir parıltı dağılımına sahip örnek bir basketbol sahası ve Şekil 4.20'de parıltı dağılımı homojen olmayan bir basketbol sahasına ait görseller verilmiştir.



Şekil 4. 19 Parıltının homojen dağıldığı oyun alanı (İnt. Kyn. 19).

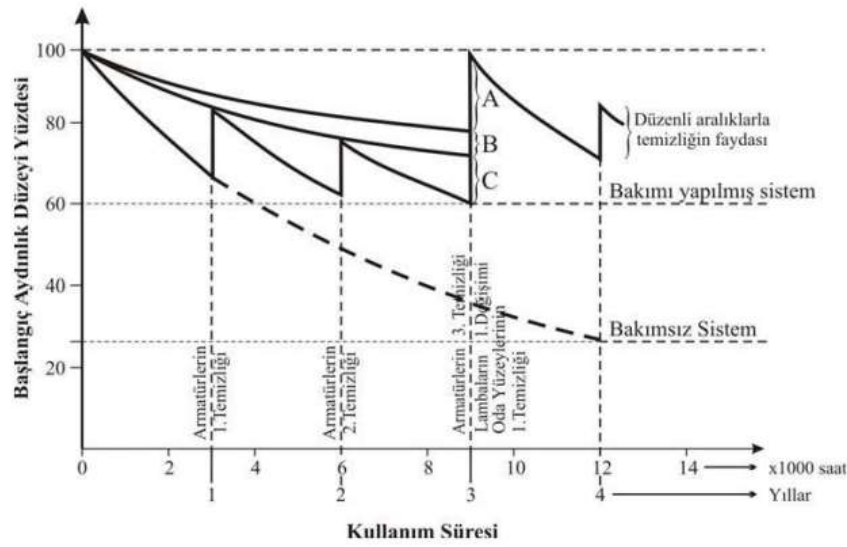
Şekil 4.19 incelendiğinde oyun alanı üzerinde gözü rahatsız eden herhangi bir parıltılı noktanın olmadığı görülmektedir. Bu da görsel konfor açısından büyük önem arz etmektedir.



Şekil 4. 20 Parıltının homojen dağılmadığı oyun alanı (İnt. Kyn. 20).

Şekil 4.20 incelendiğinde oyun alanının pota altı ve çevresindeki parıltılarının homojen olmadığı ve gözü rahatsız ettiği görülmektedir. Gerek oyuncu gerek hakemler ve gerekse seyirciler hatta ve hatta TV başındaki izleyiciler açısından da Şekil 4.20'deki parıltı dağılımı istenmeyen bir durumdur. Çünkü böyle bir salonda hakemlerin kamaşmaya maruz kalmasından dolayı görme yeteneği azalacak ve performansları düşecektir. Bu durum ise vereceği kararları olumsuz etkileyecektir. Oyuncular için oyun içindeki pas, şut vb. hareketleri olumsuz yönde etkileyip performans düşüklüğüne neden olacaktır. Aynı zamanda tribündeki ve TV başındaki seyirciler de o bölgedeki olayları göremeyecek müsabakadan istenilen verim alınamayacaktır.

Şekil 4.21'de bakım ve aydınlık düzeyi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir. Bu grafiğe göre bakım periyotları, üç veya dört yıllık olacak şekilde ilk kurulumda referans alınır ve kurulum buna göre gerçekleşir.



Şekil 4. 21 Bakım ve aydınlık düzeyi arasındaki ilişki gösteren grafik (Şahin 2019).

Şekil 4.21'e göre üç yıllık bakım periyodu referans alınarak kurulum gerçekleştirildiğinde Eort üç yıllık süre boyunca aydınlık düzeyi %40'lık bir düşüş meydana gelecektir. Bu azalmayı amorte etmek için ilk kurulumda ortam için gerekli olan Eort %40 fazla seçilecektir. Bu da aynı oranda hem ilk kurulum maliyetlerini hem de sonrasındaki işletme giderlerini aynı oranda arttıracaktır. Aynı işlemler bir yıllık bakım periyoduna göre yapıldığında tüm bu olumsuzluklar yarı yarıya azalacaktır yani bir önceki durumda ilk kurulum maliyetine ek olarak göre % 40 ilave edilen ek ilk kurulum ve işletme masrafları %20'ye düşecektir. Görüldüğü üzere bakım periyotlarının sıklaştırılması ilk kurulum maliyetini ve işletme giderlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Tüm bu avantaj ya da dezavantajlar bununla da sınırlı değildir. Zamanla oluşacak kayıpları göz önünde bulundurduğumuzda başlangıçtaki aydınlık seviyesi 1 yıllık bakıma göre %20, üç yıllık bakıma göre %40 fazla seçilecektir. Bu fazlalık ortamdaki ortalama aydınlık seviyesi açısından büyük bir sorun teşkil etmese de ortalama parıltı düzeyinin fazlalığı kapalı spor salonu gibi kritik müsabakaların yapıldığı ortamlarda büyük önem teşkil etmektedir. Parıltı kavramı (cd/m^2) aydınlık düzeyi (Lüks) kavramı ile doğrudan ilintili olduğu için aydınlık düzeyindeki fazlalık ve homojensizlik parıltı dağılımındaki fazlalığı ve homojensizliği direkt olarak etkileyecektir. Yani ilk kurulumda bakıma göre seçilen %20 veya %40'lık toleranslar

Şekil 4.1 ve Şekil 4.20’de görülen olumsuzlukları beraberinde getirecektir. Bu da spor müsabakalarında kesinlikle ve kesinlikle istenmeyen bir durumdur.

Diğer bir konu ise kurulum maliyetidir. Elektrik tesis uygulamalarında kurulum maliyeti sorti sayısına göre belirlenmektedir. Yani kurulum maliyetinin en belirleyici özelliği sorti sayısıdır. Sorti sayısı ise aydınlatma sisteminin bakım kat sayısına göre hesaplanandan belirli bir oranda fazla seçilmektedir. Bu fazlalık grafiksel olarak Şekil 4.21’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 1 yıllık bakım periyoduna göre yapılan kurulumda ortalama aydınlık seviyesi %20 fazla seçileceğinden aydınlatma elemanı sayısı %20 artmaktadır. Bu da hem parıltı seviyesinin gereğinden fazla artmasına hem de sorti sayısının yaklaşık olarak %20 artmasına sebebiyet verecektir. Aynı şekilde 3 yıllık bakım periyoduna göre yapılan kurulumda ortalama aydınlık seviyesi %40 fazla seçileceğinden aydınlatma elemanı sayısı %40 artacaktır. Bu da aynı şekilde hem parıltı seviyesinin daha da fazla artmasına hem de sorti sayısının yaklaşık olarak %40 artmasına neden olacaktır. Bu şekilde 1 ya da 3 yıllık bakım periyoduna göre kurulum yapıp sonrasında tesisi kendi haline bırakmak özellikle kritik kullanım hassasiyetine sahip kapalı spor salonlarında istenmeyen bir durumdur.

Çalışmada kapalı basketbol salonunda 21 adet LED projektör ve 45 adet civa buharlı projektör kullanılmıştır. Kapalı futsal salonunda ise 32 adet civa buharlı projektör kullanılmıştır. Bu tesisler 3 yıllık bakım periyoduna göre kurulmuş olup başlangıçtaki hesaplanan aydınlatma elemanı sayısına %40 ilave edilerek sistem tesis edilmiştir. Bu çalışma sayesinde sistem 3 yıllık bakım periyoduna göre kurulmanın yerine oluşturulan YSA modeli sayesinde istenilen ortalama parıltı değerini çok yakın bir üst değere (%10 toleranslı) göre kurulmuş ve istenilen bir zamanda sistemin yeterliliğinin denetiminin önü açılmıştır. Bu sayede ilk kurulum aşamasında ki sorti sayısı yaklaşık olarak %30 oranında azalmış buna bağlı olarak ta tesisin ilk kurulum maliyetinde %30’luk bir azalma görülmüştür. Aynı zamanda sorti sayısının %30 azalması armatür sayısında %30 azalmasına sebep olmuş bu da yaklaşık %30 enerji tasarrufunu beraberinde getirmiştir. %30 enerji tasarrufu ise kurulum aşamasından sonraki işletme maliyetlerinde %30 oranında tasarruf anlamına gelmektedir.

Tüm bu ekonomik avantajlara ilaveten çalışma birçok görsel avantajı da beraberinde getirmiştir.



Şekil 4. 22 Bir yıllık bakım periyoduna göre kurulmuş salonun zemin parlıtısına ait görsel (a) , üç yıllık bakım periyoduna göre kurulmuş salonun zemin parlıtısına ait görsel (b).

Şekil 4.22 (a) bir yıllık bakım periyoduna göre kurulmuş salonun zemin parlıtısına ait görsel, Şekil 4.22 (b) üç yıllık bakım periyoduna göre kurulmuş salonun zemin parlıtısına ait görsel verilmiştir. Bu çalışma sayesinde sistemin bakım zamanının gelip gelmediğinin tespiti kolaylaşmış istenilen zamanda ortalama parlıtı hesabı kolaylıkla yapılabilmektedir. Yani istenilen zamanda sisteme müdahalenin önü açılmıştır. Bu kolaylıklar göz önünde bulundurulduğunda daha uzun bakım periyotlarının yerine daha sık bakım periyotları planlanmış ve Şekil 4.22 (b)'deki ilk kurulumdan kaynaklanan parlıtı piklerinin önüne geçilmiştir. Bu sayede gerek oyuncuların gerek hakemlerin ve gerekse tribün ve TV başındaki izleyicilerin görsel konfor olanakları iyileştirilmiş. Yani oyuncularda parlıttan kaynaklı konsantrasyon bozukluğunun, hakemlerde parlıtı kaynaklı karar verme yanılgılarının ve izleyicilerde ise parlıtı kaynaklı seyir keyifsizliğinin önüne geçilerek kusursuz bir spor müsabakasının önü açılmıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kapalı spor salonu aydınlatma sistemlerinde de diğer aydınlatma sistemlerinde olduğu gibi ilk kurulumundan itibaren kullanım süresi boyunca tozlanma, yıpranma, ışık akısı azalması vb. nedenlerden dolayı aydınlık düzeyinde azalmalar meydana gelmektedir. Parıltı kavramı ise aydınlık düzeyi ile doğrudan alakalı olduğu için ortam içerisinde ki ortalama aydınlık düzeyi (Eort) zamanla azaldığından ortalama parıltı düzeyi de (Lort) doğrudan azalacaktır. Dolayısıyla iç mekân ortalama aydınlık düzeyinin ölçümü ve hesaplanmasındaki tüm zorluklar parıltı içinde karşımıza çıkacaktır. Hatta kapalı spor salonları çok geniş alanlara sahip olduğu için burada yapılacak olan ölçüm işlemleri normal iç mekân denetiminde yapılan aydınlık seviyesi ölçümlerinden çok daha karmaşık ve zor hale gelmektedir. Bu bağlamda çalışmada spor salonu aydınlatmasının parıltı düzgünlüğü denetiminde zaman ve maliyet yönünden büyük kazanç sağlayacak, mevcut denetleme yöntemlerine alternatif bir yöntem olarak YSA kullanımı önerilmiştir.

Çalışmada İlk adımda, iki farklı kapalı spor salonu ayarlanıp bu salonların oyun alanlarının eni ve boyu kullanılarak salonlarda en az kaç noktada ölçüm yapılması gerektiği hesaplanmıştır. İkinci adımda, ayarlanan salonlarda hesaplanan ölçüm noktası sayısı neticesinde parıltı düzeyi (cd/m^2) ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler tek bir salon için 225 noktada gerçekleştirilmiştir. Ölçülen bu parıltı düzeyi değerleri ile birlikte ölçümün yapıldığı salonun oyun alanının eni ve boyu, salondaki armatürlerin faydalı yükseklik bilgileri, oyun alanının zemin rengi, aydınlatmada kullanılan armatür türü ve salondaki armatür sayısı bilgileri kayıt edilmiştir. Üçüncü adımda YSA eğitiminde kullanılacak olan kapalı spor salonlarında ölçülen parıltı değerleri ile kayıt edilen mekân özellikleri bir araya getirilip matris formuna dönüştürülüp YSA eğitimi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü ve son adımda ise ölçüm ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması yapılmış oluşturulan ağırlık başarı oranı ortaya konulmuştur.

Ağın başarısının değerlendirilmesinde MAPE, R ve R2 performans parametrelerinden faydalanılmıştır. Ağın ürettiği tahmini değerler ile ölçüm değerleri arasındaki R değeri 0,98655 olarak hesaplanmıştır. Bu da ağın tahmin başarısının %98,665 olduğunu göstermektedir. R2 değeri ise 0,97347 olarak bulunmuştur. R2 değerinin 1'e yakın olması ağın güçlü bir tahmin yaptığını göstermektedir. MAPE değeri ise 0,01333 olarak bulunmuştur yani %1,33' lük bir hata payı meydana gelmiştir. MAPE değerinin %10'un altında olması oluşturulan ağın tahmin gücünün çok iyi olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre, oluşturulan ağın yapmış olduğu tahmin değerlerinin güvenilir ve tutarlı olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada oluşturulan YSA modeli ile büyük çalışma alanına sahip olan kapalı spor salonlarının karmaşık olan bakım periyotlarının tespiti oldukça kolay bir hale gelmiştir. Bu sayede istenilen zamanda tüm bu karmaşık işler kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu sayede ilk kurulum aşamasında dört yıllık veya üç yıllık bakım periyotlarının referans alınmasının yerine bir yıl gibi kısa süreli bakım periyotları referans alınarak gerek ilk kurulum maliyetinde ve gerekse işletme giderlerinde % 20'lik bir tasarruf sağlanmıştır.

Bu çalışma sayesinde ofis vb. çalışma ortamlarının ötesine geçilerek çok daha büyük olan kapalı spor salonlarında uygulama olanağı bulunmuş ve ileriki çalışmaların önü açılmıştır. Yani bununda ötesine geçilerek futbol sahası, beyzbol sahası, Amerikan futbolu sahası gibi çok çok daha büyük mekânlar üzerinde çalışmalar yapıp bu ortamlara ait tahminlerde bulunulabilir. Bu ortamlar gerek alan gerekse ilk kurulum açısından oldukça büyük ve maliyetli olduklarından denetim kolaylığı ve maliyet açısından büyük kazanç sağlayacağı öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Aminian F, Aminian M, Collins Jr H W, 2002, Analog Fault Diagnosis of Actual Circuits, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 51, 544-550.
- Araç Y E, 2019, Yapay Sinir Ağı Kullanarak Müşteri Memnuniyeti Analiz, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, İstanbul.
- Arslan K, 2020, Eğitimde Yapay Zekâ ve Uygulamaları, Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi, 11, 71-88.
- Aşık E, 2013, Lokal Jeoit Belirlemede Yapay Sinir Ağları ve Kriging Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Afyonkarahisar.
- Ataseven B, 2013, Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi, Öneri Dergisi, 10, 101-115.
- Aytekin A, Ayaz A, Tüminçin F, 2019, İnsan Beyni Modellemesi Ve Yapay Sinir Ağları, SADAB 5th International Social Research and Behavioral Sciences Symposium, October 11-12, Tbilisi, Georgia, 163-171.
- Bağcı B, 2018, Bulanık Esnek Kümelere Dayalı Birleştirilmiş Bir Tahminleme Yaklaşımı, Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 161s, Çorum.
- Bishop M C, 2005, Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, New York, NY.
- Boyras Y, 2011, Spor Alanlarında Uygulanan Aydınlatma Kriterlerinin İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 166s, İstanbul.
- Buldanlı B, 2021, Isı Yalıtım Levhası Üretimi Şişirme Prosesinde Boncuk Yoğunluğunun Yapay Sinir Ağları İle Tahmini, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Kayseri.

- Bulucu U, Kavas A, 2007, Kablosuz Ağ Kapsaması için YSA (Yapay sinir Ağ) Modeli Kullanılarak Propagasyon Kayıplarının Hesaplanması, İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Balcalı, Adana.
- Büyükkinacı B, 2008, Yol Aydınlatması Otomasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 124s, İstanbul.
- Cain G, 2016, Artificial Neural Network- New Research, Nova Science Publishers, New York, 100s.
- Candan B, 2010, Peyzaj Düzenlemelerinde Bitkilendirme ile Aydınlatmanın Uyumunu Sağlayacak Tasarım Stratejileri Üzerine Araştırmalar, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 199s, İstanbul.
- Caner M, Akarslan E, 2009, Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve YSA Yöntemleri ile Tahmini, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 221-226.
- Ceyhan G, 2020, Sınıflandırmada Kullanılan Veri Madenciliği Yöntemlerinin Performanslarının Veri Seti Özelliklerine Göre Karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 237s, Ankara.
- Christakis N, Barbaris V, Spentzos A, 2011, A New Approach in Financial Modelling with the Aid of Artificial Neural Networks, Journal of Algorithms & Computational Technology, 5, 513-529.
- Có M A, Resende C Z, Simonetti D, Vieira J L, Almeida P C, 2002, Microcontrolled Electronic Gear for Low Wattage Metal Halide (MH) and High-Pressure Sodium (HPS) Lamps, In Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference, 37th IAS Annual Meeting (Cat. No. 02CH37344), Pittsburgh, USA 1863-1868.
- Commission:“IES Lighting Handbook, Application Volume”, 2000, Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), Newyork.
- Da Fonseca W R, Didoné L E, Pereira R O F, 2013, Using Artificial Neural Networks to Predict the Impact of Daylighting on Building Final Electric Energy Requirements, Energy and Buildings, vol. 61, pp. 31-38.

- De Graaf T, Dessouky M, Müller H F, 2014, Sustainable Lighting of Museum Buildings, Renewable Energy, 67, 30-34.
- De Souza D F, Da Silva P P F, Fontenele L F A, Barbosa G D, De Oliveira Jesus M, 2019, Efficiency, Quality, and Environmental Impacts: A comparative Study of Residential Artificial Lighting, Energy Reports, 5, 409-424.
- Demir N, 2014, Peyzaj Aydınlatması: Antalya Mardan Palace Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, İstanbul.
- Demiröz Y, 2019, Tarihi binaların Yapı Yüzü Aydınlatmasında LED Aydınlatma Teknolojilerinin Kullanılması ve Galata Kulesi ile Kız Kulesi Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 247s, İstanbul.
- Deveci M, 2012, Yapay Sinir Ağları ve Bekleme Süresinin Tahmininde Kullanılması, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s, Ankara.
- Doğan C, 2019, Balina Optimizasyon Algoritması ve Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmaları Kullanılarak Yeni Hibrit Optimizasyon Algoritmalarının Geliştirilmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Kayseri.
- Doğan G, 2010., Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Türkiye'deki Özel Bir Sigorta Şirketinde Portföy Değerlendirmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 126s, Ankara.
- Duman O, 2016, Batı Anadolu Bölgesindeki Depremlerin Yapay Sinir Ağı Yöntemiyle Tahmini, Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142s, Gümüşhane.
- Dursun B, 2005, Dâhili Ortamlarda Aydınlatma Hesaplama Tekniklerinin Analizi Ve Bir Uygulama Örneği, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 207s, İstanbul.
- Dursun S, 2021, Aydınlatma Elemanlarının Elektrik Sistemine Etkilerinin Karşılaştırmalı Analizi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, İstanbul.

- Eğrioğlu E, Yolcu U, Baş E, 2019, Yapay Sinir Ağları (Öngörü ve Tahmin Uygulamaları), Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Elmas Ç, 2007, Yapay Zekâ Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- EN 12193, 2007, Light and Lighting - Sports lighting.
- Engin B, 2022, Yapay Sinir Ağı Metodu ile Bir Tekstil Firmasında Hammadde Siparişi için Talep Tahmini Uygulaması, Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 55s, Sakarya
- Erbil C Z, 2022, Dış Mekan Aydınlatmasında Enerji Verimliliğinin Kelebekler Vadisi Parkı (Konya) Örneğinde İrdelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104s, Konya.
- Erol Y, Canbolat T, 2011, Aydınlatma Sektöründe Yeni Nesil Power LED Teknolojileri, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 239-241.
- Ertik A, 2012, Demiryolu Sistemlerinin Enerji Verimliliğine Göre Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 130s, İstanbul.
- Fausett L, 1994, Fundamentals of Neural Networks Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, 7632.
- Fiorentin P, Iacomussi P, Rossi G, 2005, Characterization and Calibration of a CCD Detector for Light Engineering, IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 54, 171-177.
- Gan F, Grabosky P, 2000, Improved Street Lighting and Crime Reduction, The Promise of Crime Prevention. Canberra: Australian Institute of Criminology, Canberra, 1326, 6004.
- Göksu T, 2022, Beyin kan damarlarının derin öğrenme sinir ağları kullanılarak analizi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 67s, İstanbul.

- Güler H G, 2007, Aydınlatma Armatür Tasarımında Gerçek Değer ile Tasarım Değerinin Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 181s, İstanbul.
- Güngör E, 2007, Yapay sinir Ağları Yardımı ile Makine Arızalarının Önceden Tahmin Edilmesi, Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Kocaeli.
- Haciefendioğlu Ş, 2012, Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Glokom Hastalığının Teşhisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Konya.
- Houser K, Wei M, Royer M P, 2011, Illuminance Uniformity of Outdoor Sports Lighting, Leukos, 7, 221-235.
- Houston E, Kennelly A, 1896, Electric Incandescent Lighting. The W. J. Johnston Company, New York.
- Hsu C H, 2010, The Effects of Lighting Quality on Visual Perception at Sports Events: A Managerial Perspective, International Journal of Management, 27, 693
- IEA, 2014, Policies for Energy-Efficiency lighting, Energy Efficiency Policy Profiles, International Energy Agency.
- İmal N, 2007, Stadyum Aydınlatma Projelerinin Parametrik Benzetimi ile Tasarımı ve Örnek Uygulamalar, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 169s, Sakarya.
- İmal N, Bektaş N, 2014, Deşarj Lambalarında Lamba-Balast Uyumluluğunun Regresyon Yaklaşımı Kullanılarak Analizi, Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım 2014, Bursa, 13-18.
- İzbek K K, 2006, Tünel Aydınlatma Tekniği (Prensip, Kriterler, Örnekler), Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Jassim M S, Coşkun G, Zontul M, 2022, Comparative Performance Analysis of Support Vector Regression and Artificial Neural Network for Prediction of Municipal Solid Waste Generation, Waste Management & Research, 40, 195-204.

- Kaplan E M, Erdem A, Özer M B, 2022, Jet Uçağı ile Taşınan Bir Faydalı Yükün Yapısal Cevabının Havacılık Yapıları Tasarımında Kullanımı, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 37, 1341-1354.
- Kapucugil A, 2005, Halka Arzların İlk Gün Fiyat Performanslarının Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 154s, İzmir.
- Karacor A G, Torun E, Abay R, 2011, Aircraft Classification Using Image Processing Techniques and Artificial Neural Networks, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 25, 1321-1335.
- Karahan M, 2015, Yapay Sinir Ağları Metodu İle İhracat Miktarlarının Tahmini: ARIMA Ve YSA Metodunun Karşılaştırmalı Analizi, Ege Akademik Bakış, 15, 165-172.
- Karasu F, 2012, Petrokimya Sektöründe Talep Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması “PETKİM AŞ Örneği”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 123s, İzmir.
- Kaya İ, Oktay S, Engin O, 2005, Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümünde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 21, 92-107.
- Kayakuş M, Çevik K K, 2019, Derin Öğrenme Yöntemi ile Yol Aydınlatmasında Parıltı Ölçümlerinin Tahmini, International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIAME 2019), Antalya, 111-112.
- Kayakuş M, 2019, Determination of White Board Luminance Used in Classrooms With Artificial Neural Networks, 6. International Management Information Systems Conference “Connectedness and Cybersecurity”, 09-12 October, İstanbul, 355-361.
- Kayakuş M, Üncü İ S, 2019, Tenis Kortu Aydınlatmasının Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Ölçülmesi, International Conference on Multidisciplinary Sciences (icomus), 22 - 24 Ağustos, İstanbul.

- Kayakuş M, Üncü İ S, 2020, Kapalı Basketbol Salonunun Parıltısının Geliştirilen Yapay Sinir Ağları Temelli Yazılım ile Ölçülmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 19, 770-777.
- Kayakuş M, Üncü S İ, 2019, Tenis Kortlarında Parıltının Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Ölçülmesi, In book: Strateji Odaklı Akademik Değerlendirmeler, 171-190, Chapter: 9Publisher: SRA Academic Publishing.
- Kayakuş M, Üncü S İ, 2020, The Luminance Estimation of Basketball Halls Using Machine Learning Methods, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8, 2468-2479.
- Kazanasmaz T, Günaydın M, Binol S, 2009, Artificial Neural Networks to Predict Daylight Illuminance in Office Buildings, Building and Environment, 44, 1751-1757.
- Keskenler M F, Keskenler E F, 2017, Geçmişten Günümüze Yapay Sinir Ağları Ve Tarihçesi, Takvim-i Vekayi, 5, 8-18.
- Khemphila A, Boonjing V, 2011, Heart Disease Classification Using Neural Network and Feature Selection. 21st International Conference on Systems Engineering, Las Vegas, USA, 406-409.
- Khosrowshahi F, Alani A, 2011, Visualisation of Impact of Time on the Internal Lighting of a Building, Automation in Construction, 20, 145-154.
- Kılıç E, 2018, Termik Deşarja Dayanan ve Elektrolüminesans Yollarla Üretilen Işığın Triticum Aestivum L. (buğday) ve Hordeum Vulgare L. (arpa) Üzerindeki Biyokimyasal Etkilerinin Araştırılması, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Erzincan.
- Kocabey S, 1999, Dâhili Ortamlarda Aydınlik Seviyesinin Kontrolü ile Enerji Tasarrufunun Sağlanması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, İstanbul.
- Kocabey S, 2008, İç Hacimlerde Aydınlik Düzeyi Dağılımının Bulunması ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 155s, İstanbul.

- Kocabey S, Ekren N, 2014, A New Approach for Examination of Performance of Interior Lighting Systems, *Energy and Buildings*, 74, 1-7.
- Korkmaz, Z. 2022, Jeotermal Enerji ile Isıtılan Bir Serada, Üretimin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Doktora Tezi, 115s, Tokat
- Korkut D, 2019, Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Talep Tahmini Ve Ayakkabı Sektörüne Uygulaması. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Ankara.
- Krender A, Bester J K A, 2002, Artificial Neural Networks- Methodological Advances and Biomedical Applications: Introduction to the Artificial Neural Networks, Publisher: InTech.
- Kuyucu Y E, 2012, Lojistik Regresyon Analizi (Lra), Yapay Sinir Ağları (Ysa) Ve Sınıflandırma Ve Regresyon Ağaçları (C&Rt) Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ve Tıp Alanında Bir Uygulama, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 128s, Tokat.
- Küçük Karagöz Z, 2018, Farklı Renk Sıcaklığına Sahip Yarıiletken Tabanlı Aydınlatma Sistemlerinin Triticum Aestivum L. (buğday) ve Hordeum Vulgare L. (arpa) Üzerindeki Etkileri, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Erzincan.
- LeCun Y, Bengio Y, Hinton G, 2015, Deep Learning, *Nature*, 521, 436- 444.
- Mangkuto R A, Rachman A P, Aulia A G, Asri A D, Rohmah M, 2018, Assessment of Pitch Floodlighting and Glare Condition in the Main Stadium of Gelora Bung Karno, Indonesia. *Measurement*, 117, 186-199.
- Marques É, Melo R B, Carvalho F, 2017, Ergonomic Work Analysis of Industrial Quality Control Workstations. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Springer, Cham. 532- 544.
- Matsuda O, Yaguch T, 1995, Filling Composition for Incandescent Lamp and Incandescent Lamp Containing The Same and Its Use, United States Patent, 5.432,408, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

- Nabiyev V V, 2012, Yapay Zekâ: İnsan-Bilgisayar Etkileşimi, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Ok Davarcı, Z. (2022). Yol Aydınlatma Sistemlerine ait Etkinlik Faktörlerinin ve Parıltı Düzgünlüğünün Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 187s, Afyonkarahisar.
- Öğücü M O, 2006, Yapay Sinir Ağları ile Sistem Tanıma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, İstanbul.
- Özcan E, 2021, Yapay Sinir Ağları Uygulaması Kullanılarak Tüketici Fiyat Endeksi (Tüfe) Değerlerinin Öngörü Modellemesi ve Analizi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Sivas.
- Özer Ş, 2019, Harici Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılan Aydınlatma Elemanlarının Ürettiği Harmoniklerin Analizi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Erzincan.
- Özkan C, Erbek F S, 2003, The Comparison of Activation Functions for Multispectral Landsat TM Image Classification. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69, 1225-1234.
- Özkaya M, Tüfekçi T, 2011, Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özkum E, 2011, Doğal Ve Yapay Aydınlatmanın İnsan Psikolojisi Üzerindeki Etkileri, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 167s, İstanbul.
- Öztemel E, 2020, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Petranović D, 2012, Stadium Reflector Aiming Using Genetic Algorithms, Proceedings of the 35th International Convention MIPRO, Opatija, Croatia, 1070-1075.
- Philips 2002, Guide to The Artificial Lighting of Football Pitches, France.
- Philips, 2006, Guide to The Artificial Lighting of Indoor and Outdoor Sports Venues, France.
- Polak S, Skowron A, Brandys J, Mendyk A, 2008, Artificial Neural Networks Based Modeling for Pharmacoeconomics Application, Applied mathematics and computation, 203, 482-492.

- Rajpal P S, Shishodia K S, Sekhon G S, 2006, An artificial Neural Network For Modeling Reliability, Availability And Maintainability of A Repairable System, Reliability Engineering & System Safety, 91, 809-819.
- Saraç T, 2004, Yapay Sinir Ağları Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Saranya C, Manikandan G, 2013, A Study On Normalization Techniques For Privacy Preserving Data Mining, International Journal of Engineering and Technology (IJET), 5, 2701-2704.
- Seçkin S, 2021, Aydınlatma Armatüründe Malzeme Seçiminin İşğe Etkisi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 252s, İstanbul.
- Shanghai Sports, 2000, Sports Buildings in Shanghai, In. China: Tongji University Press.
- Simons R H, Bean A R, 2008, Lighting engineering: applied calculations, Routledge.
- Sirel O, 2004, Fotometrik Ölçmeler. Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü, Teknoloji Semineri, Türkiye.
- Sirel Ş, 1996, Aydınlatma Tasarımında Temel Kurallar, İstanbul: Yapı Fiziği Uzmanlık Uygulamaları Yayını.
- Şahin M, 2010, Yapay Sinir Ağları İle Dâhili Ortamlardaki Aydınlik Düzeyinin Analizi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, İstanbul.
- Şahin M, 2014, Farklı Teknik ve Fiziksel Özelliklerdeki Ortamların Bakım Katsayılarının Belirlenmesi ve Aydınlik Düzeylerini Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 283s, İstanbul.
- Şahin M, Büyüktümtürk F, Oğuz Y, 2013, Yapay Sinir Ağları ile Aydınlik Kalitesi Kontrolü, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13, 1-10.

- Şahin M, Büyüktümtürk F, Yüksel O, Yalçın P, 2014, Aydınlatma Elemanlarındaki Işık Akısı Azalmalarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, Erzincan University Journal of Science and Technology, 7, 19-36.
- Şahin M, Büyümtürk F, Oğuz Y, 2014, Technicaland Economical Compare Semi Direct and Semi Indirect Lighting, LightWorld, Lighting Industry, 27, 146-170.
- Şahin M, Oğuz Y, Büyüktümtürk F, 2013, Effect of Lighting Economy and Visuality to Color Section in Indoor Lighting, Electronic Journal of Machine Technologies, 10, 15-26.
- Şahin M, Oğuz Y, Büyüktümtürk F, 2015, Approximate and Three-Dimensional Modeling of Brightness Levels in Interior Spaces by Using Artificial Neural Networks, Journal of Electrical Engineering and Technology, 10, 1822-1829.
- Şahin M, Oğuz Y, Büyüktümtürk F, 2016, ANN Based Estimation of Time-dependent Energy Loss in Lighting Systems, Energy and Buildings, 116, 455-467.
- Şahin M, 2019, İç Mekân Aydınlatma Sistemlerinde Ortalama Aydınlik Düzeyinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19, 348-360.
- Şenol C, 2004, Standart Ve Hibrid Yapılar Kullanarak Yapay Sinir Ağları İle İmza Tanıma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 59s, İstanbul.
- Şimşir M, 2016, Tekerlek İçi Elektrik Motorlarında Yapay Zekâ Tabanlı Arıza Teşhisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 148s, Sakarya.
- Taşkıner B, 2018, Ankara İli Doğal Gaz Tüketiminin Yapay Sinir Ağları İle Öngörüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, İstanbul.
- Taylor A E, 2000, Illumination Fundamentals, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, 22.
- Tekin T G, Patır S, 2023, Amerikan Doları Kurunun Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahminlenmesi: 2009 – 2021 Dönemi, R&S- Research Studies Anatolia Journal, 5, 56-77.

- Toylan H, 2008, Laboratuvar İç Aydınlatmasının Plc ve Bilgisayar Yardımı ile Kontrolü, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 162s, İstanbul.
- Tran D, Tan Y K, 2014, Sensorless Illumination Control of A Networked Led-Lighting System Using Feedforward Neural Network, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61, 2113-2121.
- TS EN 12193, 2019, Aydınlatma ve Işık, Spor Aydınlatması.
- TS EN 12193, 2019. Aydınlatma ve Işık-Spor aydınlatması.
- Türköz M S, 2009, Elektronik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Ustalı N K, Tosun N, Tosun Ö, 2021, Makine Öğrenmesi Teknikleri İle Hisse Senedi Fiyat Tahmini, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 16, 1-16.
- Uysal A E, 2009, Yapay Zekânın Temelleri Ve Bir Yapay Sinir Ağı Uygulaması, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 164s, İstanbul.
- Uysal Ö, 2005, Toplama Küresi İle Işık Akısı Ölçeğinin Gerçekleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70s, İstanbul.
- Ünlü Y D, Şahin N, 2021, Spor Tesislerinin Aydınlatmasında Yüksek Enerji Verimli ve LED’li Aydınlatma Araçları, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10, 277-286.
- Ürgüplü Z, 2012, Elektrobank Elektroteknik Bilgi Bankası, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Var H, Türkay B E, 2014, Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Kısa Dönem Elektrik Yüğü Tahmini, Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 – 29 Kasım 2014, Bursa, 34-37.
- Vas P, 1993, Parameter Estimation, Condition Monitoring and Diagnosis of Electrical Machines, Claredon Press, Oxford.

- Veitch J A, Newsham G R, 1998, Lighting Quality and Energy-Efficiency Effects on Task Performance, Mood, Health, Satisfaction, and Comfort, Journal of the Illuminating Engineering Society, 27, 107-129.
- Villaverde I, Granna M, 2011, Neuro-Evolutionary Mobile Robot Egomotion Estimation With A 3D Tof Camera, Neural Computing and Applications, 20, Spain, 345-354.
- Visalakshi N K, Thangavel K, 2009, Impact Of Normalization İn Distributed K-Means Clustering, International Journal of Soft computing, 4, 168-172.
- Wang Z F, Zarader J L, Argentieri S, 2012, Aircraft Fault Diagnosis And Decision System Based On İmproved Artificial Neural Networks, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Kaohsiung, Taiwan, 1123-1128.
- Yadav R N, 2003, Classification Using Single Neuron, Industrial Informatics, Proceedings, IEEE International Conference on, 21-24 Aug. Kanpur, India.
- Yaman Y, 2007, Uygulamalı Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Yanık, E. (2019). İş Makineleri Sektöründe Yapay Sinir Ağları İle Talep Tahmini Uygulaması, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, Kırıkkale.
- Yapar T, 2007, Aydınlatma Otomasyonu ile Enerji Tasarrufu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 149s, İstanbul.
- Yavuz S, Deveci M, 2012, İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 40, 167-187.
- Yazıcı A C, 2007, Artificial Neural Networks: review, Türkiye Klinikleri J Med Sci, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Fizyoloji Anabilim Dalı, 65-71, Ankara, Türkiye.
- Yenidoğan C, 2017, Gelişmiş Doğal Aydınlatma Sistemlerinin İç Mekânda Kullanımı Açısından İncelenmesi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 216s, İstanbul.

- Yetkin M, 2015, Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemlerinin Yapay Sinir Ağları Tekniğiyle Optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, İstanbul.
- Yılmaz C, 2022, Yapay Sinir Ağları İle Denizli İli Doğal Gaz Tüketim Analizi Ve Tahmini Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, Denizli.
- Yılmaz İ, Güllü M, Baybura T, Erdoğan A O, 2000, Renk Uzayları ve Renk Dönüşüm Programı (RDP), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2, 19-35.
- Yılmaz M, 2012, Jeodezik Nokta Hız Kestiriminde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılabilirliği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 106s, Afyonkarahisar.
- Yurtoğlu H, 2005, Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi. Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Yücel B Ş, 2019, Açık Planlı Ofislerde Aydınlatma Tasarımının İrdelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, İstanbul.
- Zorlu I, 2021, Yapay Sinir Ağı İle Kömür İşçilerinde Pnömokonyoz Risklerinin Öngörülmesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Tıpta Uzmanlık Tezi, 105s, Zonguldak.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/atmosferik-radyasyon-nedir>, 03.08.2022
- 2- <https://tua.gov.tr/tr/blog/havacilik-ve-teknoloji/dalgalar-ve-elektromanyetik-tayf-spektrum>, 15.07.2022
- 3- https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum, 03.08.2022
- 4- <https://www.aydinlatma.org/>, 14.02.2022
- 5- <https://www.aydinlatma.org/gonyofotometre-nedir.html>, 26.05.2022
- 6- <http://www.infotek.com.tr/isik.htm>, 09.09.2022
- 7- <https://www.aydinlatma.org/lm-79.html>, 09.09.2022.
- 8- <https://pomiarymetr.pl/assets/pomiarymetr/pdf/folder/lm10.pdf>, 28.05.2022
- 9- <https://tr.wikipedia.org/wiki/led>, 30.05.2022
- 10- <https://www.aydinlatma.org/ugr.html>, 27.08.2022
- 11- <https://www.aydinlatma.org/isikta-renk-ve-renk-sicakligi-cct-kavrami.html>, 22.07.2022
- 12- <https://www.avonni.com/cri-nedir/>, 20.08.2022
- 13- <https://www.youtube.com/watch?v=1SNuWOqzLNs>, 19.03.2023
- 14- <https://www.aydinlatma.org/spor-sahalarinin-aydinlatilmasi.html>, 11.01.2023
- 15- <https://tr.pinterest.com/pin/450008187736867317/>, 03.03.2023
- 16- <https://www.tbf.org.tr/docs/default-source/mevzuat/yonergeler/salon-standartlari-ve-guvenlik-talimati.pdf?sfvrsn=4>, 03.03.2023
- 17- <https://www.urjer.xyz/ProductDetail.aspx?iid=329039196&pr=61.88>, 03.03.2023
- 18- <https://www.tff.org/Resources/TFF/Documents/MHK/oyun-kurallari/Futsal-Oyun-Kurallari.pdf>, 03.03.2023
- 19- https://www.youtube.com/watch?v=sZRuHjI_XYQ, 19.03.2023
- 20- <https://beinsports.com.tr/mac-ozetleri-goller/basketbol-super-ligi/ozet/2022-2023/12/pinar-karsiyaka-81-80-bursaspor-basketbol-mac-ozeti>, 19.03.2023