

**YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNE AİT ETKİNLİK FAKTÖRLERİNİN VE
PARILTI DÜZGÜNLÜĞÜNÜN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Züleyha OK DAVARCI

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Nisan 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNE AİT ETKİNLİK
FAKTÖRLERİNİN VE PARILTI DÜZGÜNLÜĞÜNÜN YAPAY
SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Züleyha OK DAVARCI

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİSAN 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Züleyha Ok Davarcı tarafından hazırlanan “Yol Aydınlatma Sistemlerine ait Etkinlik Faktörlerinin ve Parıltı Düzgünlüğünün Yapay Sinir Ağları ile Tahmini” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 29/04/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

Başkan : Prof. Dr. Yüksel OĞUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğretim üyesi Mustafa ŞAHİN
Sağlık Bilimleri Üniversitesi,
Hamidiye Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Onur AKAR
Marmara Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

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.

29/ 04/ 2022

Züleyha OK DAVARCI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YOL AYDINLATMA SİSTEMLERİNE AİT ETKİNLİK FAKTÖRLERİNİN VE PARILTI DÜZGÜNLÜĞÜNÜN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Züleyha OK DAVARCI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN

Aydınlatma alanında enerji tasarrufu yapılabilmesi için çoğu zaman çok basit tedbirler yeterli olmaktadır. Aydınlatmalarda en fazla enerji kaybı, lambaların gereksiz kullanımından kaynaklanmaktadır. Aydınlatma işi insanların kendi tercihinde olduğunda, insanlar yapay aydınlatma gerekli olsun ya da olmasın, hemen girdikleri ortamın ışıklarını yakmaktadırlar. Fakat işleri bitince o mekândan ayrılırken lambaları söndürmeyi ihmal edebilmektedirler. Bu olay genellikle ortak kullanıma açık olan mekanlarda görülmektedir. Bu yüzden aydınlatmada kullanılmakta olan elektrik enerjisinin çok büyük bir kısmı, hiçbir işte kullanılmadan boştan yere heba olmaktadır. Aydınlatma işinde enerji harcamalarını en aza indirmek için, aydınlık düzeyinin düşürülmeside çözüm değildir. Böyle yapmaktansa, yüzde yüze yaklaşmakta olan kayıpların ve gereksiz olarak yapılan harcamaların olabildiğince önlenmesidir.

Enerji üretim maliyetlerindeki yükselme ve gün geçtikçe her alanda enerji ihtiyacının konusunda ihtiyacın artmasından dolayı enerji konusunda tasarrufun yapılması zorunlu bir hal almış durumdadır. Aydınlatmada enerji tasarrufunda ise, aydınlatma kalitesinde herhangi bir düşüş olmaksızın eşdeğer seviyede aydınlık düzeyleri ekonomik açıdan sağlanarak yapılabilmektedir. İstenmekte olan aydınlatma, aydınlatması istenilen alanlarda lazım olan miktarlarda ışığın gönderilmesiyle mümkün olmaktadır. Böylece kullanılmakta olan alanlar istendiği gibi aydınlatılmış olduğundan enerjide kaybın önüne de geçilmiş olunacaktır. İstenen kalitede aydınlatmayla daha az elektrik enerjisi tüketimi

olduğu gibi aynı zamanda kalitesi iyi bir aydınlatmada sağlanmış olunacaktır. İyi bir aydınlatma yapmak için etkinlik faktörü (ışıksal verim) önemli bir ölçüttür. Lambalar da etkinlik faktörü ayarlanarak lambaların harcayacağı elektrik enerjisi en alt seviyeye çekilebilmektedir. Bir lambada etkinlik faktörü değeri ne kadar büyük ise aydınlatma yapmak için o oranda daha az elektrik enerjisi harcanacaktır. Böylece ekonomiye katkı sağlandığı gibi enerji tasarrufuda sağlanacaktır. Ayrıca yol aydınlatmasında enerji tasarrufu için yeterli parlıltı düzgünlüğünün sağlanmasıda iyi bir yol aydınlatması için önemli bir kriterdir. Yol aydınlatmasında parlıltı düzgünlüğü iyi olduğunda gereksiz olan enerji harcamalarının önünede geçilmiş olunacaktır.

Bu tez çalışmasında, farklı markalardaki lambalara ait lamba türleri, lambaların gerilim değerleri ve lambalara ait renk sıcaklıklarına ait veriler kullanılarak bu lambalara ait etkinlik faktörleri tahmin edilmiştir. Oluşturulmuş olan YSA modeliyle yapılmış olan tahminin sonuçlarına göre farklı türdeki lambalara ait etkinlik faktörü %98'ün üzerinde doğruluk oranı ile tahmin edilmiştir. Yapılacak aydınlatma sistemlerin de aydınlatma kalitesini düşürmeden aynı seviyede aydınlık düzeyini ekonomik şekilde sağlayacak ve ışık verimliliğinin artırılması için hangi etkinlik faktörüne sahip lambanın seçilmesi gerektiğine daha kolay karar verilebilecektir.

Ayrıca belirlenen bir yolda, yol yüzeyindeki parlıltı değerleri ölçülmüştür. Yapay sinir ağları kullanılarak tahmin yapılmıştır. Böylece yol üzerinde bulunan belirli noktaların parlıltı (cd/m^2) değerleri kısa zaman diliminde ve minimum hata ile tahmin etmek mümkün olmuştur. Böylece yol aydınlatma sistemlerinin karmaşık olan trafik yoğunluğundan dolayı yapılamayan ve de uzun süren ölçüm sonuçlarına en kısa zamanda ve daha güvenili olarak yapılmasıda mümkün olacaktır. Her nokta da ölçüm yapılmaya gerek kalmadığından yol aydınlatmasında kullanılan lambaların bakım zamanlarının gelip gelmediğinin belirlenmesi daha kolay olacaktır. Böylece yoldaki trafik akışına engel olmadan belirlenen belli noktalarda ölçüm yapılarak yolun tamamının parlıltı değerleri (cd/m^2) Yapay Sinir Ağları ile tahmini yapılabilecektir. Bunun için ilk olarak aydınlatma kavramları ve Yapay sinir ağları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra belirlenen yol yüzeyinde ölçümler yapılmıştır. Ölçümler doğrultusunda elde edilen veriler yapay sinir ağlarıyla eğitilmiştir. Tahminler gerçekleştirilmiştir.

Tezde uygulama bölümü üç kısımda gerçekleştirilmiştir. Önce ölçüm yapılacak yol belirlenerek uzunluk ve genişliğine göre çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yolun üzerindeki ölçüm yapılacak noktalar işaretlenmiştir. İşaretlenmiş olan noktalarda 'tripot lüminansmetre' cihazı kullanılarak yolun parlıltı(cd/m²) değerleri farklı nokta ve açılardan ölçülerek elde edilen değerler kayıt altına alınmıştır. İkinci aşamada yapılan ölçümler sonucunda elde edilen verilen tablolara aktararak bir kısım veri yapay sinir ağıları ile eğitilmiştir. Son aşama olarakta geride kalan parlıltı(cd/m²) verileriyle yapay sinir ağlarının parlıltı(cd/m²) değeri tahminindeki tutarlılık test edilmiştir.

Tezin son kısmında ise incelenen yol için yapılan yapay sinir ağıyla belirlenen noktalarda elde edilen tahminlerle gerçek değerler arasında uyumluluk irdelenmiştir. Pratikte tasarının uygulanmasıyla ilgili yorumlarda da bulunulmuştur. Sonuçlara bakıldığında yapay sinir ağıyla ile bulunulan tahminlerin gerçeğe yakın ve uygulanabilir sonuç oldukları gözlemlenmiştir.

2022, xx+ 163 sayfa

Anahtar Kelimeler: Etkinlik faktörü, Enerji tasarrufu, Aydınlatma kalitesi, YSA

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ESTIMATION OF EFFICACY FACTORS AND LUMINANCE SMOOTHNESS OF ROAD LIGHTING SYSTEMS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Züleyha OK DAVARCI

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Mustafa ŞAHİN

In order to save energy in the field of lighting, very simple measures are often sufficient. The most energy loss in lighting is due to the unnecessary use of lamps. When the lighting is their choice, people turn on the lights of the environment they enter, whether artificial lighting is necessary or not. However, when they are done with their work, they may neglect to turn off the lamps when they leave the place. This event is usually seen in places open to common use. Therefore, a large part of the electrical energy used in lighting is wasted without being used for any work. In order to minimize the energy expenditure in the lighting business, it is not a solution to reduce the illuminance level. Rather than doing so, it is to prevent as much as possible the approaching losses and unnecessary expenditures.

Due to the increase in energy production costs and the increasing need for energy in every field, it has become a necessity to save on energy. Energy saving in lighting, on the other hand, can be achieved by providing an equivalent level of illumination economically without any decrease in lighting quality. The desired lighting is possible by sending the required amount of light in the areas to be illuminated. Thus, since the areas in use are illuminated as desired, loss of energy will be prevented. With the lighting of the desired quality, less electrical energy consumption will be achieved, as well as a good quality lighting will be provided. The efficiency factor (luminous efficiency) is an important criterion for good lighting. By adjusting the efficiency factor of the lamps, the electrical energy consumed by the lamps can be minimized. The higher the efficiency factor value

in a lamp, the less electrical energy will be consumed for lighting. Thus, it will contribute to the economy as well as energy savings. In addition, it is an important criterion for good road lighting to provide sufficient glow uniformity for energy saving in road lighting. When the brightness uniformity is good in road lighting, unnecessary energy expenditures will be avoided.

In this thesis, the efficiency factors of these lamps were estimated by using the lamp types of lamps of different brands, the voltage values of the lamps, the luminous fluxes of the lamps and the color temperatures of the lamps. According to the results of the estimation made with the created ANN model, the efficiency factor of different types of lamps was estimated with an accuracy rate of over 98%. The lighting systems to be built will provide the same level of illumination economically without reducing the lighting quality, and it will be easier to decide which lamp with the efficiency factor should be selected in order to increase the light efficiency.

In addition, the luminance values on the road surface were measured on a determined road. Prediction was made using artificial neural networks. Thus, it has been possible to estimate the luminance (cd/m^2) values of certain points on the road in a short time period and with minimum error. Thus, it will be possible to make the road lighting systems, which cannot be done due to the complex traffic density, and to make the measurement results, which take a long time, in the shortest time and more reliably. Since there is no need to measure at every point, it will be easier to determine whether the lamps used in road lighting are in time for maintenance. Thus, the luminance values of the whole road (cd/m^2) will be estimated by Artificial Neural Networks by measuring at certain points determined without hindering the traffic flow on the road. For this, firstly, information about lighting concepts and artificial neural networks is given. Then, measurements were made on the determined road surface. The data obtained in line with the measurements were trained with artificial neural networks. Estimates have been made.

The application part of the thesis was carried out in three parts. First, the path to be measured was determined and various calculations were made according to its length and width. As a result of the calculations, the points on the road to be measured are marked.

At the marked points, the luminance (cd/m²) values of the road were measured from different points and angles by using the 'tripod luminancemeter' device and the values obtained were recorded. In the second stage, some of the data obtained as a result of the measurements were transferred to the tables and trained with artificial neural networks. As a final step, the consistency in estimating the luminance (cd/m²) value of artificial neural networks with the remaining luminance (cd/m²) data was tested.

In the last part of the thesis, the compatibility between the predictions obtained at the points determined by the artificial neural network made for the examined path and the actual values was examined. Comments on the implementation of the bill in practice were also made. Looking at the results, it has been observed that the predictions made with the artificial neural network are close to the truth and are applicable.

2022, xx + 163 pages

Keywords: Luminous Efficacy, Energy saving, Lighting quality, ANN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının konusunun, tez amacının belirlenmesi ve tezimin hazırlanma aşamaları boyunca her konuda desteğini ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen çok değerli tez danışmanım ve hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ŞAHİN' e teşekkürlerimi sunarım. Hocam Sayın Prof. Dr. Yüksel OĞUZ' a ve Hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Onur AKAR' a, arkadaşlarım Elektrik Mühendisi Sayın Uğur AÇIKGÖZ'e, Elektrik Mühendisi Sayın Ahsen UYAR'a, Elektrik Mühendisi Sayın Halil ASMA'ya, diğer hocalarıma, arkadaşlarıma da çok teşekkür ederim.

Bu araştırma süresince her konuda destekleriyle yanımda olan aileme ve bana her konuda destek olup yol gösteren eşim Sayın Eyvaz DAVARCI'ya, kızlarım Elif Ceylin, Tusem Eflin, Reyyan Elvin Davarcı' ya çok minnettarım. Onlara çok ama çok teşekkür ediyorum.

Züleyha OK DAVARCI
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
RESİMLER DİZİNİ	xx
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	15
2.1 Işık Tanımı ve Işık özellikleri	15
2.1.1 Elektromanyetik spektrum (Elektromanyetik tayf).....	17
2.1.2 Görme olayı ve Gözün Spektral Duyarlılığı ($V\lambda$).....	20
2.2 Işıktaki kullanılan Fotometrik Büyüklükler ve tanımları.....	23
2.2.1 Düzlemsel Açık (Radyan) ve Uzay Açısı(steradyan).....	24
2.2.2 Işık akısı (Φ ,Lümen)	25
2.2.3 Işık şiddeti (I, candela)	27
2.2.4 Aydınlanma düzeyi (aydınlık şiddeti, lüks).....	27
2.2.5 Parlaklık (L , cd/m^2).....	30
2.2.6 Kontrast (C).....	32
2.2.7 Kamaşma	34
2.2.8 Etkinlik faktörü (e, Lm/W).....	34
2.3. Aydınlatmada kullanılan fotometrik ölçümler	35
2.4 Aydınlatmada Fotometrik Yasalar	39
2.4.1 Kosinüs Yasası	39
2.4.2 Uzaklıklar Karesiyle Ters Orantı Yasası.....	40
2.4.3 Lambert Yasası:.....	42
2.4.4 Uzay Açık İz Düşüm Yasası:	43
2.5 Aydınlatma ve Türleri	44
2.5.1 Işık Kaynağına Göre Yapılan Aydınlatmalar	44
2.5.2 Aydınlatılan Yere Göre Yapılan Aydınlatmalar	45

2.5.3 Amacı Bakımından aydınlatmalar	48
2.5.4 İyi Bir Aydınlatmanın Sağlayacağı Faydalar	48
2.6 Yol Aydınlatma Hesabı ve Düzenleri	49
2.6.1 Yol Aydınlatmasında Bilinmesi Gerekli Değişkenler	49
2.6.2 Yol Aydınlatmasında kullanılan değişkenler	50
2.6.3 Uluslararası Standartlar ve Yol Aydınlatması Kalite Kriterleri	56
2.7 Yol Aydınlatmasında kullanılan Düzenekleri	63
2.7.1 Tek Taraflı Yol Aydınlatması Düzenegi (Soldan/ Sağdan)	65
2.7.2 Karşılıklı Çift Taraflı Yol Aydınlatması	66
2.7.3 Refüjden Çift Konsollu Aydınlatma.....	67
2.7.4 Refüjden Çift Konsollu Karşılıklı Aydınlatma	67
2.7.5 Karşılıklı kaydırılmış tek konsollu Aydınlatma	68
2.7.6 Dönemeçler de Aydınlatma Düzenegi	68
2.8 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambalar	69
2.8.1 Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar.....	70
2.8.2 Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar	71
2.8.3 Metal Halojen Lambalar.....	71
2.8.4 LED Lambalar	72
2.9 Armatür Bakımı	73
2.10 Armatür koruma sınıfları.....	73
2.11 Armatürlerin Bakım Faktörü.....	74
2.12 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Direkler	76
3.MATERYAL VE METOD.....	81
3.1 Etkinlik Faktörü (Işıksal Verim) Değerlerinin Tanımlanması	81
3.2 Parıltı Düzgünlüğünün Ölçümü için Hesap Alanının ve Hesap Noktalarının Belirlenmesi	84
3.3 Yapay Sinir Ağları ve Yapısı	86
3.3.1 YSA Nöron Modeli	94
3.3.2 Aktivasyon (Transfer) Fonksiyonu	96
3.3.3 Doğrusal (Lineer) Aktivasyon Fonksiyonları.....	97
3.3.4 Doğrusal Olmayan (nonlinear) Aktivasyon Fonksiyonu.....	99
3.4 Yapay Sinir Ağları ve Matlab Programı	100
3.5 Yapay Sinir Ağlarında Normalizasyon İşlemleri.....	100
3.5.1 İstatiksel Normalizasyon (z-scorenormalizasyonu) Yöntemi	101

3.5.2 Min-Max Normalizasyon Yöntemi	102
3.5.3 Desimalskala Normalizasyonu Yöntemi	103
3.5.4 D_Min_Max Normalizasyo Yöntemi.....	103
4.BULGULAR.....	105
5.TARTIŞMA ve SONUÇ.....	131
6. KAYNAKLAR	134
ÖZGEÇMİŞ	151
EKLER.....	152

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

E	Elektriksel alan
H	Manyetik alan
v	Işığın yayılma hızı
T	Periyot
P	Lamba gücü
U	Işık enerjisi
E	Aydınlık düzeyi(lx)
f	Frekans
T	Periyot
c	Işık hızı
V(λ)	Fotopik
V'(λ)	Skotopik
sr	Steradyan
Ω	Uzay açısı
E _{ort}	Ortalama aydınlık düzeyi
E _y	Yatay Aydınlık düzeyi
E _d	Dikey Aydınlık düzeyi
I	Işık şiddeti
e	Etkinlik faktörü(lm/W)
F	Enerji akısı
F _{λ}	Dalga enerji akısı
λ	Işık dalga boyu
K _o	Enerji akısının fotometrik eşdeğeri
V _{λ}	Gözün spektral duyarlılığı
R _a	Renksel geriverim
Φ	Işık akısı (lümen)
Ω	Uzay açısı
d Ω	uzay açınının aydınlatılan düzlemdeki iz düşümü
S _r	Steradyan
$\Delta\Phi$	Yüzeğe düşen ışık akısı(lm)
$\Delta\Phi_d$	Yüzeğe düşen ışık akısının dik bileşeni (lm)
ΔS	Işık akısı düşen yüzey alanı(m ²)
α	Gelen ışık akısının yüzeyin normali ile yaptığı açı
L	Parıltı(cd/m ²)
ρ	Yüzeyin yansıtma faktörü
γ	Işığın yüzeye geliş açısı
q	Parıltı Faktörü
°	Derece
D	Noktalar arasındaki boyuna mesafeler (m)
d	Noktalar arasındaki enine mesafeler(m)
S	Armatürler arasındaki mesafe (m)
N	Hesap yapılan noktası sayısı
W _L	Noktaların arasındaki şerit genişliği(m)
L _c	cisim parıltısı(cd/m ²)
L _f	Cisimin görüldüğü zeminin yani fonundaki parıltısı(cd/m ²)

Simgeler (Devam)

V_{λ}	Gözün spektral duyarlılığı
L_c	Engelin yada cismin parıltısı (cd/m^2)
L_f	Cismin görüldüğü zeminin parıltısı (cd/m^2)
L_{min}	Minimum parıltı değeri
L_{max}	Maksimum parıltı değeri
U_1	Boyuna düzgünlük
L_K	Kamaşma durumundaki parıltı eşiği
L_e	kamaşma olayı olmadığı durumdaki parıltı eşiği
ΔL_K	Kamaşma durumunda parıltı eşiğindeki değişim
ΔL_e	kamaşma yokken parıltı eşiğindeki değişim
E_1	Dışdaki ortalama aydınlık düzeyi
E_2	İçteki ortalama aydınlık düzeyi
E_{mn}	S yüzeyinde oluşan aydınlık düzeyi
E_m	M noktasındaki aydınlık düzeyi
E_d	Düşey aydınlık düzeyi
E_y	Yatay aydınlık düzeyi
α	Düşey düzlemde yolun yüzeyinden yansımak süretiyle gözlemcinin gözüne gelen ışıkla yüzeyin yatayı arasında bulunan gözlem açısı
β	Düşeyde gözlemci düzlemiyle armatürden gelmekte olan ışık düzlemi arasında bulunan açı
γ	Düşey yüzeyde dikmeyle gelmekte olan ışık arasında bulunan açı
δ	Gözlemci kişinin bulunmakta olduğu düşey düzlemle yol ekseninde bulunan açı
	Kontrast
C	Armatürün yol seviyesinden yüksekliği (m)
H	Ortalama Parıltı Düzgünlüğü
U_0	Ortalama Parıltı Düzeyi
L_{ort}	Bağlı Eşik Artışı
TI	Çevre Aydınlatma Oranı
SR	Mutlak parıltı farkı
ΔL	Mutlak alan farkı
ΔS	Giriş sinyali
X_j	Tahmin sayısı
n	Girdiler (Ağırlık değerleri)
X_m	
Y_m	Hedef (çıkış değerleri)
Σ	Toplama Fonksiyonu
TI	Bağlı eşik artışı
SR	Çevreleme oranı

Kısaltmalar

AF	Aktivasyon Fonsiyonu (Activation Functions)
BF	Bakım faktörü
BS	İngiliz Standardı (British Standards)
CAN	Controller Area Network (Denetleyici Alan Ağı)
CEN	European Committee for Standardization
Cd	Candela
Cd/m ²	Candela/metre kare
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
CRI	Color rendering Index
ÇKA	Çok katmanlı algılayıcı
DPP	Discounted Payback Period
EN	Avrupa Birliği Standardı (European Norm)
FNN	İleri beslemeli Yapay Sinir Ağı
HDR	Yüksek Dinamik Aralıklı Panoramik Kamera Sistemi
HID	High Intensity Discharge
HPSV	Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı
IEC	International Electrotechnical Commission
IoT	Internet of things
IR	Kızılötesi
IRR	Internal Rate of Return
IP	Ingress Protection (Koruma sınıfı)
K	Kelvin
LAS	LASer
LED	Light Emitting Diode
LİDAR	Light Detection and Ranging
LLMF	Luminaire Maintenance Factor (Armatür Bakım Faktörü)
Lm	Lümen
LogSig	Logarithmic Sigmoid
LPIC	Luminaire photometric intensity curves
LSF	Lamp Survival Factor (Lamba canlılık faktörü)
LVQ	Öğrenme vektör nicelendirmesi
lx	Lüx
m	metre
Mak.	Maksimum
MAPE	Mutlak hata oranları ortlaması
MF	Maintenance Factor (Bakım Faktörü)
MH	Metal Halide
MKS	Meter, Kilogram, Second- metre birim sistemi
MLP	Çok katmanlı Yapay Sinir Ağı
MLS	Microwave Landing System
MSE	Mean Squared Error (Ortalama karesel hata)
Min.	Minimum
NARX	Doğrusal olmayandışsal girdili oto regresif ağı
NEF	Nikon Electronic Format

Kısaltmalar (Devam)

2D	Two Dimensional
3D	Three Dimensional
OBJ.	Object.
RGB	Red-Green-Blue
RMSE	Hata kareleri ortalaması karakökü
RNN	Geri beslemeli Yapay SinirAğı
SLE	Surrounding Luminance Effect (Adaptasyon alanının reaksiyon parlaklık etkisi)
SMCF	Root Mean Square error (kök ortalama kare hatası)
SNI	Endonazyaya Ulusal Standardı
SR	Çevreleme oranı
TanSig	Tangent Sigmoid
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım AŞ
THD	Toplam Harmonik Distorsiyonu
TLS	Transport Layer Security
TS	Türk standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
USP	Amerika Bileşik Devletler Farmakopisi
UV	Morötesi
YB	Yüksek Basınçlı
YBC	Yüksek Basınçlı Civa
YBS	Yüksek Basınçlı Sodyum
YG	Yüksekgerilim
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Elektromanyetik dalganın oluşumu	15
Şekil 2. 2 Elektromanyetik dalgadaki Elektriksel alan ve Manyetik alanın birbirine göre değişimi	16
Şekil 2. 3 Sinüsoidal dalganın dalga boyu, periyot ve frekans tanımı	16
Şekil 2. 4 Işığın Elektromanyetik Spektrumu (Tayf) ve insan gözünün görme sınırları	18
Şekil 2. 5 İnsan gözü tarafından görülen görünür ışık bandı.....	19
Şekil 2. 6 Gözün biyolojik yapısı ve görmesi	21
Şekil 2. 7 CIE'ce tanımlanan fotopik $V(\lambda)$ ve skotopik $v'(\lambda)$ görme alan eğrilerinin bölgeleri.....	22
Şekil 2. 8 CIE'ce tanımlanan fotopik $V(\lambda)$ ve stotopik $V'(\lambda)$ görme olayı için normalize edilmiş spektral duyarlılık eğrileri	23
Şekil 2. 9 Düzlemsel açının (Radyanın) bulunması	24
Şekil 2. 10 Uzay açının (steradyanın) bulunması olayı.....	25
Şekil 2. 11 Uzay açısı ile yayılmakta olan kısmi ışık akıları	26
Şekil 2. 12 Noktasal olan bir ışık kaynağının ışık şiddeti değerinin bulunması	27
Şekil 2. 13 Aydınlık düzeyinin oluşumu	28
Şekil 2. 14 a) Noktasal yatay aydınlık düzeyi b) Noktasal düşey aydınlık düzeylerinin gösterimi	29
Şekil 2. 15 Aydınlık düzeyinin a) azalma dağılımı b) Aydınlık düzeyine ait bazı örnek değerler	29
Şekil 2. 16 Bir yüzeydeki M noktasının doğrultusundaki parıltı tanımı	30
Şekil 2. 17 Parıltının çeşitleri a) Direk parıltının oluşumu b) Yansımali parıltının oluşumu	31
Şekil 2. 18 Zemin durumuna göre değişik aydınlatma kontrastları a) Engelin zeminden daha koyu olduğu durum b) Engelin zeminden daha koyu olduğunda ışık kaynağı engelden önceyse c) Engelin zeminden daha koyu veya ışık kaynağı engelden sonra oluşa n görünümler	32
Şekil 2. 19 Kontrast türleri a) Negatif kontrast görünümü b) Pozitif kontrast görünümü	33
Şekil 2. 20 Kontrast sınırının ve fon parıltısı arasındaki ilişkinin gösterimi.....	33
Şekil 2. 21 Bir S yüzeyinde bulunan bir M noktasında yatay aydınlık düzeyinin hesabı	39
Şekil 2. 22 Birbirine paralel olan farklı düzlemdeki yatay aydınlık düzeylerinin hesabı	40
Şekil 2. 23 Uzaklığın karesi ile ters orantı yasasının gösterimi	41

Şekil 2. 24 İdeal dağıtıcı ve yansıtıcılar	42
Şekil 2. 25 İç aydınlatmada ışığın aydınlatma düzeyine göre aydınlatma çeşitleri a) Direk aydınlatma b) Yarı direk aydınlatma c) Karma aydınlatma d) Yarı endirek aydınlatma e) Endirek aydınlatma.....	46
Şekil 2. 26 Yol aydınlatmasında boyuna parıltı düzgünlük faktöründe zebra etkisinin encelenmesi durumu a) UI= 0,4 durumu b) UI= 0,5 durumu c) UI= 0,6 durumu d) 0,7 durumu için boyuna parıltı düzgünlüğünün yol üstündeki görüntüsü	53
Şekil 2. 27 Bağlı eşik artışı olan TI ve örtü parıltısının oluşumunun incelenmesi.....	54
Şekil 2. 28 Çevre aydınlatma oranının hesaplandığı alan	55
Şekil 2. 29 Tek taraflı a) Soldan aydınlatma b) Sağdan aydınlatma düzeneği.....	66
Şekil 2. 30 Karşılıklı çift taraflı aydınlatma	66
Şekil 2. 31 Refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneği.....	67
Şekil 2. 32 Refüjden çift konsollu karşılıklı aydınlatma	67
Şekil 2. 33 Karşılıklı kaydırılmış tek konsollu aydınlatma	68
Şekil 2. 34 Dönemeçlerde aydınlatma düzeneği	69
Şekil 2. 35 Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı lambanın iç yapısı	70
Şekil 2. 36 Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambanın İç yapısı	71
Şekil 2. 37 Metal Halojen lambanın iç yapısı	72
Şekil 2. 38 Beton aydınlatma direği tipleri a)AKN/ T tipi aydınlatma direği tipi b)AKN/Ç tipi aydınlatma direği tipi	80
Şekil 3. 1 Etkinlik faktörünün lamba türlerine göre değişim grafiği.....	83
Şekil 3. 2 Etkinlik faktörünün lamba güçlerine göre değişim grafiği	83
Şekil 3. 3 Etkinlik faktörünün lamba Renk sıcaklıklarına göre değişim grafiği	83
Şekil 3. 4 İki armatür arasında kalan hesap alanı ve bu alandaki büyüklükler	84
Şekil 3. 5 Gözlemcinin yola göre konumu	85
Şekil 3. 6 İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağının yapısı	87
Şekil 3. 7 Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağının yapısı.....	88
Şekil 3. 8 4 Giriş ve 4 Çıkıştan oluşan tek katmanlı Yapay Sinir Ağının Bağlantı yapısı	90
Şekil 3. 9 4 Girişli ve 4 Çıkışlı tek gizli katmanlı Yapay Sinir Ağının yapısı	91
Şekil 3. 10 Danışmanlı Öğrenmenin (Supervised learning) yapısı	92
Şekil 3. 11 Danışmansız öğrenmenin (Unsupervised learning) yapısı.....	93
Şekil 3. 12 Destekleyici öğrenme (Reinforcement learning) yapısı.....	94
Şekil 3. 13 Biyolojik sinir hücrelerinin iç yapısı.....	95
Şekil 3. 14 Yapay siniri hücre yapısı.....	96

Şekil 3. 15 Doğrusal Aktivasyon fonksiyon grafiği	98
Şekil 3. 16 Hard- limit transfer fonksiyon grafiği	98
Şekil 3. 17 Sigmoid Aktivasyon fonksiyon grafiği	99
Şekil 3. 18 Yapay Sinir Ağının Matlab işlem yapısı	100
Şekil 4. 1 Etkinlik faktörünün tahmini için kullanılan giriş ve çıkış değerleri.....	106
Şekil 4. 2 Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörünün, Normalizasyonu alınmış lamba türlerine göre değişim grafiği	109
Şekil 4. 3 Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörünün, Normalizasyonu alınmış lamba güçlerine göre değişim grafiği.....	109
Şekil 4. 4 Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörünün, Normalizasyonu alınmış lamba Renk Sıcaklık Değerlerine göre değişim grafiği	110
Şekil 4. 5 Log-Sigmoid fonksiyon	111
Şekil 4. 6 Tanımlanan Yapay Sinir Ağının şematik gösterimi.....	111
Şekil 4. 7 Etkinlik faktörü değerlerinin tahmin edilen Etkinlik Faktörü değeriyle örtüştüğünü gösteren grafik.....	112
Şekil 4. 8 Mevcut olan ve tahmin edilen etkinlik faktörü değerleri grafiği	113
Şekil 4. 9 Yol aydınlatma direğinde çizelgede numaralandırılan kısımlara denk gelen kısımlar	115
Şekil 4. 10 Yolun a) Kağıt üzerinde ve yolda çizilen ölçüm noktaları b) Ölçümde kullanılan lüminans metre düzeneği.....	116
Şekil 4. 11 Çıkış verileri için yol üzerinde a) Gözlemci 1 b) Gözlemci 2 için işaretlenen ölçüm noktaları.....	117
Şekil 4. 12 Giriş verileri için Gözlemci 1 (a) ve Gözlemci 2 (b) 'ye göre yolda belirli noktalarda yapılan ölçüm noktalarının yol üstündeki işaretlenmiş görüntüsü	119
Şekil 4. 13 Parıltı (cd/m^2) değeri tahmini için YSA'ya verilen ağırlık ve hedef değerleri	120
Şekil 4. 14 Gözlemci 1'e göre ölçüm yapılan değerleri gösteren grafik	123
Şekil 4. 15 Gözlemci 1'e göre tahmin edilen parıltı değerlerini gösteren grafik.....	124
Şekil 4. 16 Gözlemci 1'e göre ölçülen ve tahmin edilen parıltı değerlerinin karşılaştırılmasına ait grafik	125
Şekil 4. 17 Gözlemci 1 için yapılan tahmin edilen değerlere ait hata grafiği	126
Şekil 4. 18 Gözlemci 2'ye göre ölçülen parıltı değerlerine ait grafik.....	127
Şekil 4. 19 Gözlemci 2'ye göre tahmini parıltı değerlerine ait grafik	128
Şekil 4. 20 Gözlemci 2'ye göre ölçülen ve tahmin edilen parıltı değerlerinin karşılaştırılması	129
Şekil 4. 21 Gözlemci 2 için yapılan parıltı tahmin değerlerine ait hata grafiği	130

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Elektromanyetik dalgaların dalga boyu ve frekans aralıkları	19
Çizelge 2. 2 Farklı Elektromanyetik dalgaların kullanım alanları	20
Çizelge 2. 3 Bazı ışık kaynaklarına ait ışık akı değerleri	26
Çizelge 2. 4 Türkiye'deki yol aydınlatmasında en çok kullanılan standartlar	57
Çizelge 2. 5 Türkiye'deki şehir içi yol aydınlatma tanımları ve aydınlatma sınıfları	58
Çizelge 2. 6 Yol aydınlatma sınıflarında sağlanması gereken aydınlatma kalite büyüklükleri	58
Çizelge 2. 7 CIE 115- 1995' e göre yol tanımları ve aydınlatma sınıfları.....	61
Çizelge 2. 8 CIE'ye göre uyarlanmış Türkiye şehir içi yol tanımları ve yol aydınlatma sınıfları	62
Çizelge 2. 9 CIE 115- 1995' e göre yol aydınlatma sınıflarının kalite büyüklükleri.....	62
Çizelge 2. 10 BS EN 13201'e göre Türkiye'deki yol aydınlatma sınıflarının kalite büyüklükleri	63
Çizelge 2. 11 Farklı tip yollarda armatür direkleri arasında sağlanması gereken minimum açıklıklar.....	65
Çizelge 2. 12 Armatür koruma sınıfları	74
Çizelge 2. 13 CIE'ye göre armatürlerin bakım faktörleri	75
Çizelge 3. 1 Aktivasyon fonsiyonlarının matematiksel ifadeleri	97
Çizelge 4. 1 YSA eğitimi ağırlık ve hedef değerlerinin Mak.-Min aralığı	107
Çizelge 4. 2 YSA' da kullanılan lamba türlerine verilen değerler.....	107
Çizelge 4. 3 YSA eğitiminde kullanılan normalizasyonu yapılmış verilerin Mak.-Min. değerleri	110
Çizelge 4. 4 YSA eğitiminde kullanılmakta olan fonksiyon ve datalar	111
Çizelge 4. 5 Ölçüm yapılan yola ve kullanılan lambaya ait teknik bilgiler	115
Çizelge 4. 6 YSA eğitiminde kullanılan ağırlık (girdi), çıktı (hedef) verilerinin Mak. ve Min. değişim aralığı.....	121
Çizelge 4. 7 Normalizasyon yapılmış ağırlık ve hedef değerlerinin Mak.-Min. değerleri	121
Çizelge 4. 8 YSA eğitiminde kullanılan fonksiyon ve datalar	122
Çizelge 4. 9 Gözlemci 1'e göre ölçülen parıltı değerleri (cd/ m ²).....	123
Çizelge 4. 10 Gözlemci 1'e göre tahmin edilen parıltı değerleri (cd/m ²).....	124
Çizelge 4. 11 Gözlemci 1'e göre yapılan tahminlerin hata değerleri	125

Çizelge 4. 12 Gözlemci 2'ye göre ölçülen parıltı değerleri (cd/m ²)	127
Çizelge 4. 13 Gözlemci 2'ye göre tahmin edilen parıltı değerleri	128
Çizelge 4. 14 Gözlemci 2' ye göre yapılan tahmin edilen parıltı değerlerinin hata değerleri	129

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2. 1 Örnek bir lüxmetre cihazının ön ve arka görüntüsü.....	36
Resim 2. 2 Gonyometre cihazı görüntüsü	37
Resim 2. 3 Ulbricht küre görüntüsü	37
Resim 2. 4 Luminans metre (Parıltı ölçer) görüntüsü	39
Resim 2. 5 Dış aydınlatmaya örnek bir köprü görüntüsü	47
Resim 2. 6 Philips Led 70/nm armatür görüntüsü	72
Resim 2. 7 Galvanizli çelik poligon aydınlatma direkleri; a) Çift köşeli konsollu aydınlatma b) Kendinden bikme konsollu aydınlatma direği c) Tek köşeli konsollu aydınlatma direği	77
Resim 2. 8 Dekoratif direkli aydınlatma görüntüsü	78
Resim 2. 9 Solar direkli aydınlatma görüntüsü	78
Resim 2. 10 Beton direk ile yol aydınlatması görüntüsü	79
Resim 4. 1 Ölçüm yapılan yolun görüntüsü.....	114

1. GİRİŞ

Dünyada teknolojik alandaki gelişmeler gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle bilim alanında, sanayi alanın da olduğu gibi teknoloji alanında da önemli birçok gelişmeler olmaktadır. Bu gelişmelerle birlikte aydınlatmaya olan gereksinim daha fazla artmaktadır. Elektrik enerjisi, yaşamımızın her safhasında gerekli olan vazgeçilmez unsurlarından birisidir (Kralikova vd. 2015, Oğuz vd. 2015). Gündelik yaşantımızda aydınlatmadan ısınma, haberleşme, sağlık, trafik, işyerleri, okullarda, hastanelerde, su dağıtımında, güvenlik sistemlerinde, enerji üretiminde, trafik hatta ulaşımaya kadar her alanda elektrik enerjisi kullanılmaktadır (Teng vd. 2016). Elektrik enerjisi üretim tekniklerinin maliyetli oluşuyla birlikte elektriğin tüketicilere ulaştırılmasında karşılaşılan zorlukları da ele aldığımızda elektrik enerjisinin tasarruflu ve verimli olarak kullanılmasının gerekli olduğu görülebilmektedir (Bernatt vd. 2018, Küçük vd. 2021). Gelişen ülkelerde genellikle toplam elektrik tüketiminin %20' si aydınlatma amacı için kullanılırken, dünya genelinde ise toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %19' u iç ve dış aydınlatma için kullanılmaktadır (Shahzad vd. 2014, Simanjuntak vd. 2014). Her geçen gün artan dünya nüfusu ve teknoloji hızla yenilenmekte, dolayısıyla iç aydınlatma ve dış mekân aydınlatılması için gerekli enerji miktarı da artmaktadır. Aydınlatma, insanların binalar, tüneller, hastaneler, işyerleri, işletmeler, fabrikalar, yollar vb. gibi birçok yerde yaşantılarını ve işlerini devam ettirebilmeleri için gerekli en önemli unsurlardan birisidir (Baloch vd. 2018, Cengiz 2019). Binalarda tasarım yapılırken aşırıya kaçmadan aydınlatma yapmak ve elektrik enerji maliyetlerini en aza indirecek şekilde yeterli ışığın elde edilmesi için gerekli dizaynı yapmak en birinci unsurdur. Aydınlatmalarda enerjinin verimli kullanımının sağlanması için binalarda inşa edilirken en uygun aydınlatma tasarımının yapılması gerekmektedir (Anonim 2014). Böyle yapılarak elektrik ve mimarlık alanları birleştirilmiş ve çevreye duyarlı yeni yapılar oluşturulmuş olmaktadır (Tekbıyık 2018). Aydınlatma sistemleri tasarlanırken enerji tasarrufuyla birlikte yapılacak işin amacına uygun olmasına ve aydınlatma koşullarını sağlayan aydınlatma düzeneği olmasına dikkat etmek gerekmektedir. Uygun aydınlatma koşullarını oluştururken ışığın rengiyle birlikte doğrultusu ve aydınlık seviyesinde meydana gelen gölgelerin keskinlik ve yumuşaklık kriterleride önemlidir. Bunlara da dikkat etmek gerekmektedir (Graaf vd. 2014). Ayrıca, aydınlatma sistemlerinin hazırlanma aşaması ve aydınlatma sistemlerinin kullanım süreleri de en aza indirilerek, aydınlatma elemanlarının

kullanım esnasında bakım ve temizliklerinin de düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Diğer taraftan ise tasarlanmış olan bir aydınlatma sistemindeyse etkinlik faktörü yüksek lambalar kullanıldığında da doğru bir bakım yönetimiyle de enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Koninklijke 2012). Aydınlatmada etkinlik faktörü yüksek lambalar tercih edilmelidir. Çünkü etkinlik faktörü ne kadar büyük değerde ise eşit ışık enerjisi elde etmede daha az elektrik kullanılacak demektir. Etkinlik değeri küçük olan lambalar şebekeden daha fazla elektrik kullanacaktır. Kısaca, aydınlatmada etkinlik faktörü yüksek armatürlerle enerji tasarrufu yapılabilmektedir (Sirel 1996). Armatürde kullanılan lambanın türünde tüketilmekte olan elektrik gücünü ve ışık akısını etkilediğinden verim de değişecektir. Her armatürün üzerindeki lambanın türü, tükettiği elektrik gücü ve ışık akısı farklı olduğundan etkinlik faktörü (ışıksal verim)de farklı olacaktır. Bu yüzden floresan, akkor flamanlı, halojen veya yüksek basınçlı sodyum buharlı, LED gibi türlerdeki lambaların özellikleri farklı olduğundan etkinlik faktörü direkt etkilenecektir. Armatürlerde kullanılmakta olan lens, reflektör ya da dağıtıcı parçalar ışığı kontrol altında tuttuğu için ışıksal verimi etkilemektedir (İnt. Kyn. 1).

Enerji kaynaklarının verimli ve ekonomik olması konusunda çalışmalar her alanda olduğu gibi aydınlatmada da yapılmaktadır. Şu anda kullanılan aydınlatma teknolojisine ancak yıllarca süren deneyim ve araştırmalar sonucunda ulaşılmıştır. Aydınlatma sistemleri, yeni aydınlatma lambaları ve ekipmanlar ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde;

Olgun vd. (2019) arkadaşı pasif kızılötesinde sensörlü aydınlatma armatürlerinin ışıksal ve elektriksel performanslarının değerlendirilmesini yapmıştır. Çalışmaları sonucunda, elektriksel ve ışıksal analizlerde verimli olan PIR sensörlü armatürün LED cipli armatürler olduğu bulunmuştur. PIR sensörlü armatürleri ise LED lamba kullanılan E27 duylu armatürlerin izlediğini söylemişlerdir. Yaptıkları ekonomik analiz sonuçlarının elektriksel ve ışıksal analiz sonuçlarına paralel olarak gerçekleştiği sonucuna ulaşmışlardır. Hasan vd. (2017) ise LED lamba, kompakt floresan lamba, floresan ve enkandesan lambalar incelenmiş ve bu lambalarla ilgili detaylı analizler yapmışlardır. Yapılan analiz sonuçlarında ise en yüksek etkinlik değerini LED lambalara da elde etmişlerdir. Enkandesan armatürlerin yüksek güç faktörü değerinde olan ve floresan ve

enkandesan lambalara göre LED lambaların toplam harmonik distorsiyonu (THD) değerlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Akın (2000) yaptığı çalışmada, flüoresan lambaları ve mimaride kullanıldığı yerleri incelenmiştir. Çalışmada günümüzde kullanılan flüoresan lamba türleri sınıflandırılmış ve ışıksal verimlerinin yüksek, ömürlerinin uzun olmasından dolayı akkor lambalara göre daha ekonomik olduğunu belirtmiştir. Bu lambalarda, boyutu, biçimi, gücü, verimi, renksel vb. özellikleri yönünden çeşidinin çok olmasından dolayı farklı aydınlatma düzeneklerinde yer alarak ve çeşitli gereksinimlere uygulanabileceği sonucuna ulaşmıştır. Perdahcı (2018) tarafından yapılan çalışmada, bir metal işleme endüstriyel tesisinde konvansiyonel armatürler kullanılarak yapılan aydınlatma sisteminin aydınlık düzeyi korunarak armatürü LED armatürle değiştirilip bilgisayar simülasyonu ile enerji analizinde gerçekleştirilmiştir. LED armatürler elektronik balastla çalışan floresan armatürlerle tesiste aydınlatma projesinin tasarımı yapılmıştır. Armatürlerde tüketilmekte olan gücü, ışık akısıyla ışık etkinliği değerleri her bir işlem için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Işık akısı, iki farklı aydınlatma armatüründen tüketilen güç değeriyle karşılaştırılmış ve elektriksel güç tüketimi analizi edilmiştir. Floresan ve LED armatürlerin verimli olmasını araştırmak için yapılan aydınlatma sistemi tasarımının simülasyon sonuçlarına göre floresan ve LED lambalı armatürün etkinlik faktörü değerinde bulunmuştur. Gencoğlu vd. (2007) yapılan çalışmada ise, enerji tasarrufunun yanında enerjide verimliliğin öneminden, aydınlatmada enerji tasarrufuna sağlayacağı faydaları belirtilmiştir. İyi bir aydınlatma için yapılması gerekenlerle aydınlatmada enerji tasarrufunda olan şeyler belirlenmiştir. Lamba seçiminde, etkinlik faktörü yüksek olan, zamanla oluşan ışık akısı değeri düşük lambaların kullanılması önerilmiştir. Güler vd. (2015) tarafından, örnek bir yol modeli oluşturularak gerçekleştirilen tasarımla elde edilen hesaplamalarla armatürlerin fotometrik özelliklerinin tesisatlarda tesisin ve işletmedeki maliyetlerin büyük oranda etkilediği gösterilmiştir. Ayrıca lamba seçiminin de tesis ve işletme maliyeti bakımından en uygun lambanın seçilmesi gerektiğinde önemli değerlerin ekonomik ömür, lambaların renk özelliklerinin ve etkinlik faktörü olduğu belirtilmiştir. Metal halojen lambaların etkinlik faktörleriyle birlikte ömürlerinin farklı lambalara göre düşük değerlerde olduğu söylenmiştir. Fakat elektronik ünitelerde çalıştırılmakta olan metal halojen lambaların farklı modeldekilerinin ise son yıllarda ömürle birlikte ve etkinlik faktörleri açısından iyi değerlere ulaştığı belirtilmiştir. Gün vd. (2015) ise çalışmalarında, yapıların yüz

aydınlatmasında uygulanabilecek olan farklı aydınlatma tekniklerini incelenmiştir. Çeşitli ülkelerde yer alan örnek yapıları belirlenmiş ve İstanbul'da bulunan LED ile aydınlatılmış yapıları ele alınarak aydınlatma düzenleri belirlenen tekniklere göre incelenmiştir. LED lambaların Yüksek etkinlik faktörü ve uzun ömürleri nedeniyle tercih sebebi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Winterbottom vd. (2009) çalışmalarında, sınıflarda gereksiz yere verimsiz bir flüoresan ile aydınlatılma yapılmasının baş ağrısına neden olarak görsel performansı düşürdüğü belirtmişlerdir. Bunu önlemek için yeni yapılan sınıfların, titreşimsiz olmaları koşuluyla, otomatik olarak karartma lambaları olması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca çevresel şartların, lambaların etkinlik faktörlerinin ve ömürlerinin azalmasının ve kirlenme faktörü gibi sebeplerden dolayı başlangıçta elde edilen değerlerin zamanla kaybolduğu belirtilmiştir. Perdahcı vd. (2009) ise, enerji verimliliği ile birlikte aydınlatma, aydınlatmada enerji tasarrufuyla birlikte kontrol sistemleride incelenerek, LED lambanın enerji tasarrufu değeri incelemişlerdir. Ayrıca armatür seçerken, etkinlik faktörü yüksek verimliliğe sahip olmasına dikkat çekmişlerdir. Küçüköğlü (2019), aydınlatmada enerji kullanımı, aydınlatma sistemlerinin yapımını hafifletmek ve yapay aydınlatma sistemlerinin kullanma süresini minimize etmekle mümkün olacağı düşünülerek bu konu incelenmiştir. Ayrıca lambaların özellikle etkinlik değerleriyle enerji tüketiminde büyük rolleri olduğu belirtilmiştir. Gün boyunca geceleri devamlı kullanılan tesislerde, renksel özellikleri istenen nitelikteki lambalardan etkinlik değeri en yüksekini seçilmesinin aydınlatma enerjisinin etkin kullanımı açısından son derece önemli olduğu belirtilmiştir. Taşkan (2016) yapılan çalışmada ise, hızla birlikte yol aydınlatmasında flicker etkisini enellemeye yönelik gerekli direk açıklıklarının tespitine yönelik analizler yapılarak sonuçları incelemiştir. Her bir lamba ya da armatür tipinin etkinlik faktörünün farklı olduğunu belirtmiştir.

Aydınlatma alanında, iç aydınlatma kadar dış aydınlatmada günümüzde önem arz etmektedir. Yol aydınlatması, trafikte bulunan insanların güvenliğini sağlamak için önemli bir konudur. Enerji kaynaklarının ekonomik ve verimli kullanılmasında çalışmalar her yerde olduğu gibi yol aydınlatmasında da yapılmaktadır. Şu anda kullanılan yol aydınlatma teknolojisine ancak yıllarca süren deneyim ve araştırmalar sonucunda ulaşılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde;

Cihan (2020) çalışmasında, bir yol profilinde yol aydınlık düzeyinin istenen seviyede olmasını sağlayacak ve lamba gücünü belirlemede tanımlanan bir algoritma ile dağıtık çözümünü araştırmıştır. Yolun her bölümünün ortasında bir aydınlatma direği olacak şekilde çoklu yol bölümleri olarak modellemiştir. Yaptığı tahminlerle yol kısımlarının aydınlanma düzeyinin, lamba güçlerinin bir doğrusal fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Model ve önerilen çözümü sayısal bir örnekle de doğrulamıştır. Yılmaz vd. (2019) çalışmalarında, sokak aydınlatmasını incelenmişler ve sokak aydınlatması dönüşümüne faydalı olabilecek maliyet analizi yapmışlardır. Ülkemizdeki sokak aydınlatmasında standart aydınlatma armatürlerinin yerine LED aydınlatma armatürleriyle değiştirmek gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca Türkiye’de sokak aydınlatmasının LED armatüre dönüşümünde 5 yıllık fayda maliyet analizinde gerçekleştirmişlerdir. Ayaz vd. (2019) yaptıkları çalışmada ise, yol aydınlatmasında kullanılan M1 ve M2 yol sınıflarını inceleyerek maliyet analizi yapmışlardır. Ayrıca fotometrik değerleri bilinen konvansiyonel lambaların ve LED lambaların M1 ve M2 yol sınıfına ait yol tasarımlarıyla birlikte hesaplamalarını DIALux yazılımı ile gerçekleştirmişlerdir. Farklı armatür teknolojilerini (HPSV, MH ve LED) enerji tasarrufu, aydınlatma kalitesi ve maliyet etkinliği açısından incelemişlerdir. LED armatür sistemlerinin maliyet etkinliğinin iki ana parametre olan elektrik fiyatı ve lamba fiyatına bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çetinkaya (2019) yaptığı çalışmada, aydınlatma sistemini değerlendirirken yol şartlarına uygun lambalara ait ömür, gerçek fiyat, ışık akısı ve ışık dağılım eğrisi gibi özelliklerinde göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca uygun lamba seçiminde, değerlendirilmesinde, diğer altyapı problemlerinde ekonomik ve güvenli çözüm önerileri sunmuştur. Örnek bir yol aydınlatması yaparak, önerilen sistemlerin uygunluklarını ekonomik açıdan karşılaştırmıştır. Rezazad vd. (2019) ise yaptıkları çalışmada, yol aydınlatmasında kullanılan yol sınıfı kriterlerini incelemişlerdir. Yol sınıfı kriterlerinin çevre koşullarına bağlı olarak yol sınıflarına uyum sağlayacak akıllı aydınlatma sistemleri ve M1-M6 yol sınıfı grupları arasındaki değişimlere ait kombinasyonları dikkate alarak otomasyon sistemleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kaya (2018) ise çalışmasında, Şanlıurfa ilinin merkezinde ve ilçelerinde bulunan HPSV (Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı) armatürlü yol aydınlatma sistemlerinin elektrik tüketim miktarını araştırmıştır. Yol aydınlatma armatürlerinin tamamının LED (Işık Yayan Diyot) armatür dönüşümüyle LED’ e dönüşen sistemlerde Akıllı Şehir Aydınlatma uygulamaları eklenmesi

durumlarında incelemiştir. Ayrıca HPSV, LED ve akıllı aydınlatma sistemlerinin enerjilerinin fotovoltaik sistemlerle karşılaşması durumlarını incelemiştir. Kayakuş (2018) ise çalışmasında, yol aydınlatmasında kullanılan mevcut armatürlere göre verimli ve ekonomik, daha ufak kamaşma yapan bir LED armatür tasarımıyla birlikte imalatıda yapmıştır. Lens tasarımı, lens üretimi ve LED armatürünü imalat aşamalarını anlatmıştır. Ayrıca günümüzde donanımsal olarak yapılan ölçümlerin, yazılımsal gerçekleştirmek için Web uygulaması geliştirmiştir. Yolda çekilen fotoğrafıda belirlenen noktaların piksel değerleri üzerinde yapay zekayı kullanarak renk haritaları oluşturmuştur. Ayrıca LED armatürlerin yol üzerindeki kritik cisimlerin görülebilirliğine etkisini web uygulaması kullanarak hesaplamıştır. Bektaş vd. (2018) ise yaptıkları çalışmada, dış aydınlatma sistemlerinde hesaplamaların standartlar bazında olması gerektiğini savunmuşlardır. Aydınlatmalarda tasarım, uygulama ve kullanım aşamalarının adımları ve birbirleri ile ilişkilerini vurgulamışlardır. Yol aydınlatmasında klasik ya da bilgisayar destekli hesaplamalarını yapmışlar ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Şahin vd. (2017) çalışmasında yapay aydınlatma sistemlerini park, bahçe, sokak ve şehir aydınlatması gibi harici alanlarda da neredeyse zorunluluk haline geldiği belirtmişlerdir. Harici aydınlatma kavramını, uygun aydınlatma ve ışık kirliliği kavramları ile birlikte ayrıntılı biçimde ele almışlardır. Dış aydınlatma sistemleri başlığı altında ışık kirliliğini oluşturan faktörleri incelemiştir. Sonuç olarak eldeki bulgulardan yararlanarak ışık kirliliğinin etkileri belirlemişler ve çözüm önerileri sunmuşlardır. Büyükkınacı vd. (2017) ise çalışmalarında, sürücülerin görme performanslarını değerlendirmek için değişik şartlar ve senaryolarla yaratılabileceği bir test yolu kurmuşlardır. Bu projenin sonucunda, trafik algılayıcılarından araç hız ve yoğunluk bilgisini alan, yol üzerindeki koşullara uygun loşlaştırma oranına karar verebilen ve armatürlere bu yönde kumanda ederek sürücü emniyet ve konforunu bozmadan enerji tasarrufu sağlayabilen bir "akıllı yol aydınlatma kontrol sistemi" nin geliştirilmesini hedeflemişlerdir. Demirtaş vd. (2017) yaptıkları çalışmaları ile sokak aydınlatması için güneş enerjisi kaynaklı bir LED armatür için enerji kontrol yazılımıyla birlikte elektronik sistem tasarlamışlardır. LED armatürü çalıştırmak için çoklu modlu çalışma olarak isimlendirilen ve C# tabanlı bilgisayar ara yüzüne sahip olan yeni bir sistem önermişlerdir. Önermekte oldukları sistemin yaz ve kış mevsimlerinde farklı güneşlenme zamanları nedeniyle gerekli olan PV panel gücündeki değişikliği ortadan kaldıracığını ve akünün ömrünü uzatacağını savunmuşlardır.

Tasarlanan sistemin aküler üzerindeki etkisi ve enerji tasarrufu durumlarını ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Uygulama sonuçlarında çoklu modlu çalışan sistemin geleneksel aydınlatma sistemine göre %42 daha verimli çalıştığını deneylegöstermişlerdir. Yeğen vd. (2016) ise çalışmalarında, Kocaeli ili İzmit ilçesinde sokak aydınlatma armatürlerinin LED armatürler ile değiştirilmesiyle enerji verimliliği ve maliyeti açısından değerlendirilmesini yapmışlardır. Çalışmada ilk uygulamaların geçmişteki bakım, işleme ve yatırım maliyetleri belirlenmiş, ikinci olarak İzmit merkezinde ve ilçesi içerisindeki M6 aydınlatma sınıfındaki yollarda sokak lamba sayısı, güçleri ve enerji maliyetleri tespitini yapmışlardır. Ayrıca mevcut sokak lambalarının LED armatürler ile değiştirilmesi durumunu analiz etmişlerdir. Taşkan (2016) tarafından yapılan çalışmada yol aydınlatmasındaki flicker esasları yerine direk ve armatür dizilimi esaslı flicker etkisine uygun tasarım modellerini gerçekleştirmeye çalışmıştır. Hızla bağlantılı olarak yol aydınlatmasında flicker etkisinin oluşumunu önlemeye yönelik uygun direk açıklıklarını tespit etmeye yönelik analizler yapmış ve analiz sonuçlarını değerlendirmiştir. Flicker etkisinin görüş bakımından sürücülerde algıda yavaşlamaya ve durağanlık gibi riskli durumlara sebep olacağı görüşüne varmıştır. Bunu engellemek içinde dar açılı projektörlerin kullanılması ve aydınlık karanlık bölgelerin eşit alınması gerektiğine ve direklerin ardışık olarak sıralanması gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Yılmaz (2016) çalışmasında, yollarda bulunan aydınlatma sistemlerinin yeni teknolojilerle değiştirilmesiyle enerjin tasarrufu sağlanacağı görüşünü savunmuştur. Ayrıca LED gün geçtikçe ucuzlasa da milyonlarca sokak lambasının LED dönüşümünde büyük bir harcama yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada ülkemizde yapılması tasarlanansokak aydınlatma dönüşümünün beş yıllık fayda maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Büyükkınacı vd. (2016) ise çalışmalarında, sürücü görme başarımını araştırmak amacıyla farklı şart ve senaryolarla yaratılan bir test yolu kurmuşlardır. Test yoluna loşlaştırma uygulanarak yol aydınlatmasında otomasyon sistemi geliştirilmek amaçlanmıştır. Hazırlanan test yolundaysa sekiz ayrı yol aydınlatma sınıfında EN13201-3'de belirtilen 60 tane ölçüm gridinde yol yüzeyine ait parıltı değerleri kameralı parıltı ölçeriyle vede noktasal parıltıyı ölçerle ölçülmüştür. Aynı zamanda Dialux programıyla bu noktalara ait parıltı değerleri hesaplanmıştır. Ölçülen aydınlık düzeylerinin hesaplanan değerlerinden çok daha yüksek olması daha iyi parıltının ölçüldüğü kameralı parıltı ölçeriyle sonuçların koşulları daha iyi sağladığını göstermişlerdir. Ahmadi (2015) ise

çalışmasında, yol aydınlatmasında kullanılan Metal halide (MH) ve HPSV gibi lambaların sağlığa zararlı olduğunu ve yüksek enerji sarfiyatı nedeniyle 2015 yılında kullanılmasının yasaklandığını belirtmiştir. Bu lambaların yerine LED 'li aydınlatmaların son yıllarda fazlasıyla tercih edildiğini ve aydınlatmada LED lambaların kullanılmasının çok iyi sonuçlar verdiği savunmaktadır. Ayrıca LED' li sokak aydınlatma sisteminin oluşturulmasında yeni nesil Power LED teknolojisini kullanımının günümüzde ulaştığı seviye hakkında bilgi vermektedir. Verimli LED' li sokak aydınlatmasının en iyi nasıl yapılabileceği konusunda fikirler sunmuştur. Ayaz vd. (2015) ise çalışmalarında, M2 sınıfı yollarda yol aydınlatmasını incelemişler ve M2 yol sınıfı için yol aydınlatma armatürlerinin karşılaştırmasını yaparak armatürlerin enerjide verimliliğini incelemişlerdir. Üç farklı fotometrik özelliğe sahip lambaları Goniofotometre kullanılarak incelemişlerdir. Elde edilen verileri Dialux yazılımını kullanarak örnek bir yol modeli oluşturmuşlardır. LED armatürleri kullanmanın M2 yol sınıfında enerji tasarrufu sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Toy (2015) ise çalışmasında, M1 ve M2 yol aydınlatması sınıflarındaki yollardaysa belirlenen aydınlatma ihtiyacı için bir mercek tasarlamıştır. M1 ve M2 sınıflarına yönelik bir aydınlatma problemini ve aydınlatmaya ihtiyacını ortaya koymuştur. Problemleri çözmek için optik tasarım gerçekleştirmiştir. SolidWorks ve OptisWorks programlarıyla aydınlatma aygıtının optik bölümünü tasarlayıp, tasarım doğruluğunu DIALux programı ile incelemiştir. Tasarım çıktılarını, CIE (Uluslararası Aydınlatma Örgütü)'nin teknik raporlarda belirttiği aydınlatma kalite büyüklükleriyle karşılaştırmıştır. Belirlenen aydınlatma problemi için bir çözüm geliştirmiştir. Sönmezocak (2014) ise çalışmasında, aydınlatmada kullandığımız fotometrik büyüklükler tanımlayarak bu fotometrik büyüklükleri ölçmede kullanılan standart teknikler ve yeni modern teknikler incelenmiştir. Bu teknikler biri Uzak Alan (Far Field), diğ erinin ise Yakın Alan (Near Field) ölçüm tekniği olduğu anlatmıştır. Son yıllarda kullanılan Yakın Alan ölçüm tekniğinin yol aydınlatmasında kullanılan dijital video kamera tekniğine dayalı yeni bir teknik olduğundan bahsetmiştir. Işık kaynaklarının tipine ve boyut farklılıklarına uygun bir fotometrik ölçme sistemi seçmek gerektiğ inden bahsederek ve bu farklılıklar göz önüne alınarak geleneksel fotometrik ölçüm sistemlerini ve yeni modern sistemlerini yeni araştırmalara ışık tutması amacı ile ele almıştır. Kayakuş (2010) ise çalışmasında, aydınlatması yapılan yolun çekilmiş olan fotoğrafı üzerinden yol aydınlatması CIE 1995 tarih 115 numaralı 'Motorlu ve Yaya Trafikli Yolların

Aydınlatılması için 'Öneriler' adlı yayınındaki standartlarına göre test etmiştir. Hazırladığı yazılımla görüntü işleme teknikleri kullanarak piksellerin nicemsel değerleriyle fotometrik birimler arasında bir bağıntı kurmuştur. Bulduğu bağıntı yardımı ile fotometrik birimler arası geçiş sağlanabileceği sonucuna ulaşmıştır. Onaygil (2009) çalışmasında, LED'lerin yol aydınlatması tesisatlarında kullanılabilirliklerini incelemiştir. Yaptığı maliyet analiz sonucunu, tesisatın ilk kurulum masrafları ve kullanma aralıkları boyunca yekün maliyetleri farklı alternatif analizörlerle karşılaştırmıştır. Elde edilen değerlerle gerçekleştirilen maliyet analizinde LED yol aydınlatması tesisatları alternatifleri olan şeffaf YBSB ve seramik deşarj tüplü MH lambalıyla kurulum maliyetinde %60; on yıllık kullanımda hesaplanmış toplam maliyetlerde %55 oranında daha yüksek maliyetli olduğunu belirtmiştir. Büyükkınacı (2008) ise kalite kriterlerinden ayrılmadan istenilen seviyede aydınlatma sağlamanın otomasyon sistemiyle yol şartlarının takibiyle yapılabileceğini savunmuştur. Yol aydınlatması otomasyon sistemlerinin yapısını incelemiş ve farklı ülkelerde yapılan projeler hakkında bilgi vermiştir. Yol aydınlatmasında otomasyon sistemleriyle daha iyi hizmet verildiği ve bakım maliyetlerinin azaltılabileceği sonucuna ulaşmıştır. Ancak ışık akısındaki azaltma sürücü görme performansını nasıl etkileyeceğini, sürücü emniyet ve konforunu nasıl etkileyeceği konusunda yeterli araştırma olmadığından, kontrol stratejileriyle loşlaştırma çeşitleri belirlenirken çatışık yaklaşımlar ortaya konulduğunu belirtmiştir. Özkızılkaya (2008) ise yaptığı çalışmada, yol aydınlatmasını incelenmiş ve yol aydınlatmasında enerji maliyet analizi yapmıştır. Her yol aydınlatması için maliyet hesaplamalarında sık kullanılan beş farklı maliyet formülünü inceleyerek farklılıkları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Formüllerin uygulanması sonucunda ortaya çıkan 165 tane farklı durumu tekrardan incelemiş, elde edilen durumlarda maliyeti etkileyecek parametrelerin toplam maliyete olan etkileri derecelerini belirlemiştir. Bu etkilerin dereceleri dikkate alınarak, kolay uygulanabilirlik ve net sonuç elde etmeyi amaçlayan yeni maliyet analiz yöntemi bulmuştur. Semiz (2006) çalışmasında, görülebilirlikle ilgili bir yol aydınlatması kontrolü geliştirmeyi amaçlamıştır. Bunun için Norveç'in Oslo kentinde gerçekleştirilen kontrol sistemli yol aydınlatma tesisatını esas alarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Görülebilirlik değerinin trafiğin hızı ve yolun ıslak olması durumu ile ilişkisini de incelemiştir. Ayrıca örnek yol aydınlatmasını bu iki değişkene bağlı olarak enerjide ne kadar tasarruf edilebileceğini de incelemiştir. Bu

şekilde bir tasarımla görülebilirliğe dayalı loşlaştırma yapılırsa sürüş güvenliği tehlikeye sokulmadan enerjiden tasarruf yapılabileceğini göstermiştir. Güler vd. (2006) ise çalışmasında, örnek bir yolda yirmi çeşit dizayn yaparak armatür fotometrik değerlerinin yapılan tesisatların aydınlatma kalitesi ölçütlerini ve maliyetini etkilediğini göstermişlerdir. Elde edilenler karşılaştırılmış görme şartları bakımından uygun, aynı zamanda ekonomik optimum çözümlerin yarı ekranlı tip armatürlerle sağlanabildiğini göstermişlerdir. Aynı sınıftaki armatürlerin ışık dağılımlarının farklı olabileceğini vurgulamışlardır. Kaliteli yol aydınlatması tesislerinin yapılabilmesi için kullanılacak armatürlerin detaylı fotometrik değerleriyle tasarım hesaplarının yapılması sonucuna varmışlardır. Güler vd. (2005) yaptıkları çalışmada, ayrıntılı tasarım hesapları yapılmadan oluşturulmuş mevcut yetersiz yol aydınlatma tesisatlarının düzeltilmesi ve bakıma gerek kalmadan sürekliliğini amaçlamışlardır. Yatırımlarda ise iki yıl gibi sürede amorti ettiği sonucuna ulaşmışlardır. Parıltı değerlerinin yolun özelliğine, sınıflarına ve kullanım maksadına göre farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. İstenen şartlar belirlenerek, doğru dizayn hesaplarıyla uygun tesisat geometrisi ve elemanlarında belirlenebileceği yeni yol tesisatlarında az direk ve armatür ile optimal çözümler sağlanabileceğini söylemişlerdir. Güler vd. (2002) ise yaptıkları çalışmada, yol aydınlatmasında yoldaki görünürlük seviyesi formülünü değerlendirmek için aydınlatma hesapları, üzerinde fotometrik ölçümler yapmışlardır. İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa yerleşkesinde bulunan gerçek bir yolda gözlemcilerle yapılan ölçümlerde hesaplanan ve değerlendirilen korelasyon görünürlük seviyeleri yaklaşık 0,75 olarak belirlemişlerdir. Bilişim Teknoloji yol aydınlatmasında kullanılan görünürlük formülünde bulunan hesaplamaların ancak gerçek yol koşulları göz önüne alındığında geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Erçetin (1999) çalışmasında, optimal bir yol aydınlatmasının gerekli koşulları incelemiş ve uygun yol aydınlatmasını gerçekleştirmek için Microsoft Office 2007 ile birlikte kullanılan Excel 7.0 programı kullanmıştır. Bu program ile optimal yol aydınlatmasının gerekli koşullarını sağlayarak karayollarının istediği çözümleri elde etmiştir.

Kayakuş vd. (2020) çalışmasında, spor salonunun fotometrik değerleri kamerayla ölçme ve araştırmak için yazılım geliştirmişlerdir. Yazılımda C# programlama ve YSA yöntemi kullanılmıştır. Parıltı ölçerle salondaki belirlenen noktaların parıltıları ölçülmüştür.

Geliştirilen YSA yazılımla parıltı değerleriyle piksel (R, G, B) değerleri arasında bir bağlantı kurulmuştur. Sonuçların doğruluğu ve hata oranları için doğruluk oranı, ortalama karesel hata (Mean Squared Error-MSE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE) kullanılmıştır. Budak vd. (2020) çalışmasında, güç transformatörünün nötr noktası topraklı olmayan, doğrudan topraklanmış ve empedansla topraklanmış sistemlerde kısa devre arızasında mesafe rölesinin arıza tespitini artıracak çalışmalar yapmışlardır. Yüksek gerilimli enerji iletim hatları kısa devre arızalarının farklı topraklama çeşitlerinde arıza yerinin belirlenmesi için YSA'lı akıllı sistemi tasarlamışlardır. YSA girdileri olarak mesafe koruma rölesi R-X empedans diyagramındaki görüntüleri kullanmışlardır. Diğer çalışmalardan avantajlı olarak ek masraf, ek aygıt ve kompleks matematiksel formüller olmadan seri bir şekilde mesafe koruma rölesi görüntüleri işleyen YSA 'lı akıllı bir sistem tasarlamışlardır. Şahin (2019) çalışmasında, E_{ort} değerinin tahmini için YSA' yı kullanmışlardır. Yapılan tahminlerle bakım zamanının tespiti kolaylaştığı gibi ışığa dönüşmeyen enerji yüzdesinde bulunmuştur. Böylece aydınlatma sistemlerini zamanında müdahale olanağı sağlayacak iyileştirilmelere gidilmiştir. Yapılan bu iyileştirmelerle ışığa dönüşmeyen enerji harcamalarının önüne geçilmiştir. Demircioğlu (2019) yaptığı çalışmada, atölye tipi üretimde çizelgeleme yaparken harcanacak en fazla enerji miktarını hesaplayarak, yalnızca toplamdaki işlerin sonlanma süresinin azalmasını değil elektrik tasarrufu yaptıran bir cetvelde yapmıştır. Her bir zamanda harcanan elektrik miktarını bulmuş ve tüm işlemin bitim zamanına kadarki tüm zamanlarda en fazla elektrik harcamasını hesaplamıştır. Buradaki değeri azaltmaya çalışarak elektrik tasarrufu sağlamaya çalışmıştır. Tamsayılı matematiksel model oluşturarak YSA'la çözümler bulunmuştur. Uygulamadabi bütün işlemlerin bitim süresini çok azaltarak mühim değerde enerji tasarrufunun yapılabileceği görülmüştür. Yavuz (2018) yaptığı çalışmada YSA'da zamansal seri tahminlerinde kullanılan model olan NARX (Autoregressive network with nonlinear external input) modelini kullanmıştır. NARX optimal YSA model oluşturarak, çeşitli çalışma şartları için gerekli olan analizleri yapmıştır. CAN ağından elde edilen çıktılar, NARX mimarisini kullanarak modellenme yapmış ve bu modellemelerle en mukemmel ağ yapısında bulmayı başarmıştır. Öztürk vd. (2018) yaptıkları çalışmada, YSA' ları ile yapay zekâyı ele almışlardır. Yapay zekâ ve YSA'nın insanların yüz yıllardır cansız varlıkları canlandırma hayali olduğu ve bütün insanların ilgisini çektiğini belirtmişlerdir. Fakat çoğu kişinin bu teknoloji hakkında bilgisi bulunmadığını

belirtmişlerdir. Kendini geliştiren insanların işlerini kolaylaştırmak ve daha faydalı işler yapmak için önemli bir araç olarak gördüğü düşüncesini savunmuşlardır. Bu teknolojinin makinelerinde öğrenebileceğini ve bu öğrendiği bilgiyi ise en doğru şekilde kullanabildiğini de ortaya koymaya çalışmışlardır. Şahin vd. (2014) çalışmasında aydınlatma öğelerindeki başarımların düşüşleri, deformasyondan ve kullanılmaktan kaynaklanmakta olan ışık akısındaki azalmaları ortamdaki aydınlık seviyesi dağılımındaki etkisi, YSA kullanılarak farklı açılardan incelemiştir. Aydınlatma tesislerindeki kompleks ve uzun süren bakımlarının en kısa zamanda ve güvenli olarak yapmayı hedeflemiştir. Seçilen modelde tahmin edilen değerlerle ölçülen değerler arasındaki hata oranını yok edip iyi aydınlatmayla birlikte istenilen yerlerde aydınlatma sağlamışlardır. Ergonomik, ekonomik kullanım açısından daha doğru sonuçlara ulaştıklarını gözlemlemiştir. Şahin vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, İç mekânlarda aydınlık seviyesini belirlemek için YSA'yı kullanmışlardır. Klasik hesaplama yöntemiyle uzun zaman alan, ölçme cihazlarıyla yapılan uzun ölçümler, YSA kullanılarak az sürede, minimal hatayla tahmin yapılarak elde edilen bu değerlerle Matlab programı kullanılarak 3D olarak modelleme yapılmıştır. Aydınlatmadaki düzeyinin belirlenmesiyle kalitesinin tahmin edilmesinde YSA'nın ne kadar başarılı olduğu gözlemlenmiş ve hem ekonomik açıdan aynı zamanda kullanma bakımından doğru neticilere ulaşılabileceği gösterilmiştir. Çırak (2012) yaptığı çalışmada, üniversiteli öğrencilerin başarılarını sınıflandırmak için YSA'yı ve lojistik regresyon yöntemini kullanmıştır. Karşılaştırma için üniversitede okuyan öğrencilerin başarılarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi için bir anket kullanmıştır. Lojistik regresyon yönteminden İleriye doğru (Forward: LR) ve YSA modellerinden ise Çok Katmanlı Algılayıcı Model kullanmıştır. Öğrencilerin akademik başarı durumlarına göre hangi doğruluk oranında sınıflandırıldığı araştırmıştır. YSA analizinin sınıflandırma başarısının yüksek olmasından, eğitim alanında yapılan çalışmalarda bu yöntemin alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır. Erdoğan vd. (2012) yaptıkları çalışmada, YSA kullanılarak İMKB 100 endeksinde bulunan beyaz eşya firmalarının günlük fiyat tahminlemesini yapmak istemişlerdir. Hisse senedi fiyatını etkileyen faktörler literatüre taraması yapılarak belirlenmiştir. Belirlenen bu faktörlere ait veriler İMKB'den alınarak çalışmadaki giriş verilerini oluşturmuşlardır. YSA modelinin uygulanabilirliğini Matlab programını kullanarak test etmişlerdir. Hisse senedi fiyat tahmininde YSA'nın klasik

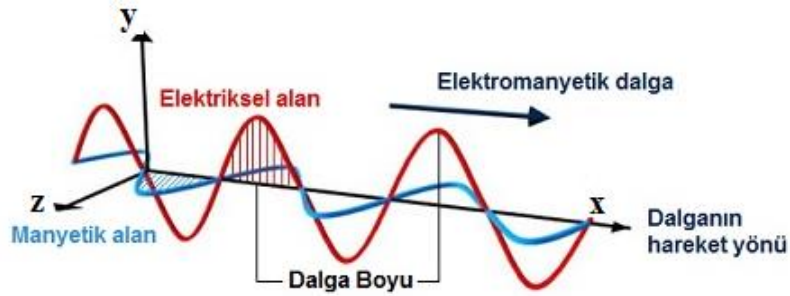
yöntemlere alternatif olarak kullanılabilceğini ve bu sonuçlardan yola çıkarak yatırım yapılacak hisse senedine karar verilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Şahin (2010) yaptığı çalışmada dâhili ortamlarda yapay aydınlatma kavramını, YSA ile farklı açılardan incelemiştir. Ölçme cihazlarıyla uzun zaman alan ölçümleri, en az sürede bitmeyen sayıdaki noktada aydınlık şiddeti değeri YSA 'la en az bir sürede, minimal hata oranıyla tahmin ettirmek için bir değerlendirme oluşturmuştur. Böylece aydınlatma tesislerinin kompleks ve uzun süren bakımlarının az zamanda ve daha güvenilir olarak yapılmasını hedeflemiştir. Vural (2007) yaptığı çalışmada, Türkiye'nin finansal piyasalardaki gelişmelerin hisse senedi bazındaki değerlendirmesinde YSA'nı kullanmıştır. Türk finansal piyasaları için gerekli olan ağ yapısı oluşturup ve gerekli parametreleri tespit etmiştir. Daha sonra çıkarımları referans olarak almıştır. 2005 yılı kapanış verileri kullanılarak 4-5-1 sinir ağları kullanılmıştır. Fakat Üç katmanlı yapılarda daha fazla katman kullanıldığından yapay sinir ağının performansını düşürmüştür. Orta katmandaki sinir hücre sayısını artırılmış fakat buda herhangi bir fayda sağlamamıştır. Yapay Sinir ağlarının öğrenim algoritması olarak en iyi sonucun alındığı geriye doğru yayılım algoritması kullanılmış ve en önemli öğrenim parametrelerinden olan alpha ve beta değerlerinin her ikisinde 0,1 değerini alması durumunda YSA'nın performansında iyi sonuca ulaştığını göstermiştir. Bayır (2006) yaptığı çalışmada, günümüzde tahmin tekniklerinde çok kullanılan YSA'yı incelemiş ve istatistiksel bir yöntem olarak çoklu doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırmasını yapmıştır. Türkiye'nin yapım sanayinin dış satım değerleri için YSA' yı vede çoklu doğrusal regresyon analizi ile tahmin modellerini kurmuş ve karşılaştırılmış sonuçların yorumunu yapmıştır. Problemin yapısına uygun olarak kurulmuş ve eğitilmiş bir YSA' nın, günümüzde kullanılmakta olan tahmin metodlarından daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. Çura (2004) yaptığı çalışmada, karar verme aracı olarak YSA'nı kullanmıştır. Kritik YSA öğelerinin belirlenmesi ve yatırımların risk ve getiriye dayalı tercihlerini araştırmıştır. Bu amaç için bir model önermiş, bu önerilen model doğrultusunda bir yapay sinir ağı oluşturmuş ve yatırımcı verilerine uygulamıştır. Gerekli analizleri yapıp raporlamıştır. Analiz sonuçlarında yatırımcı tecihlerine göre elde edilen portföylerin gerçekçi ve kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşmıştır. YSA kullanarak verilerle istenen sonuçları elde edebilmiştir. Öztemel (2003) yaptığı çalışmada, YSA'nı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler uygulanarak ağ çıkışları gözlemlenebileceğini gösterilmiştir. Genelde eldeki

örneklerin %80'i ağı verilip ağ eğitildiğini ve daha sonra geri kalan %20'lik veri ile ise ağın davranışlarının incelenebileceğini savunmuştur. Yapılan bu işlemde ağın test edilmesi olarak tanımlanmıştır. Yapılan tüm bu çalışmaları incelendiğinde, genelde lambaların etkinlik faktörleri tanımlanmış ve farklı lambaların etkinlik faktörleri karşılaştırılmıştır. Etkinlik faktörünün faydası ve aydınlatmada etkisi üzerinde durulmuştur. Bu gibi sebeplere olarak YSA ile yol aydınlatmasının incelenmesi(Bhattacharya vd. 2021, Ayaz vd. 2019, Yoomak vd. 2018, Büyükkınacı vd. 2016, Ayaz vd. 2015, Toy 2015), yollarda kullanılan lambalar birbirlerine göre üstünlüklerinin araştırılıp ve karşılaştırılmasına (Kaya 2018, Yeğin vd. 2016, Ahmadi 2015, Markvica vd. 2019, Yoomak vd. 2018, Li vd. 2009), dâhili iç ortamlarda yapay aydınlatma kavramı incelenirken (Şahin vd. 2013, Şahin 2010), aydınlatma kalitesi ve ortalama aydınlık düzeyinin tahmininde (Şahin 2019) farklı yöntemler araştırılmıştır. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan farklı kılan yenilik ise YSA modeli ile bir lambanın etkinlik faktörünün tahminidir. Burada lambalara ait, lamba gücü, lamba gerilimi, lamba akısı ve marka gibi farklı değerler girdi ve etkinlik faktörü ise çıktı değeri olarak YSA modeli tanımlanmıştır. Test verisi de kullanılarak tahmini yapılan Etkinlik faktörünün %98 oranında uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. YSA modeli kullanılarak her seferinde hesap yapmaya gerek olmadan belli değerlere göre ortama uygun ışıksal verimi sağlayacak lamba bu şekilde daha kolay belirlenerek aydınlatmada enerji tasarrufu yapılmış olacaktır. Ayrıca bu çalışmada, belirlenen bir yol yüzeyinde parıltı değerleride ölçülmüştür. Elde edilen değerler YSA'nın eğitiminde kullanılarak parıltı değerleri tahmini yapılmıştır. Bu tezi diğer çalışmalardan ayıran diğer bir özellik ise YSA eğitiminde yolun sadece küçük bir kısmında ölçüm yapılmasıdır. YSA eğitiminde giriş değerleri olarak yolun en sol ve en sağ kenarında belirlenen küçük alanda ölçülen kullanılmıştır. Çıkış değerleri olarak ise tüm yola ait parıltı değerleri tahmin edilmiştir. Bu yöntemle her seferinde yolun tamamında ölçüm yapmaya gerek kalmamış ve küçük bir alanda ölçüm yapılarak bir yoldaki bütün parıltı değerlerinin YSA ile tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde yapıldığında tüm yolun trafiğe kapanmasına gerek kalmadığı gibi aynı zamanda da zamandan ve maliyetten tasarruf edilmiştir. Ölçümler sırasında oluşabilecek kazalarında önüne geçilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

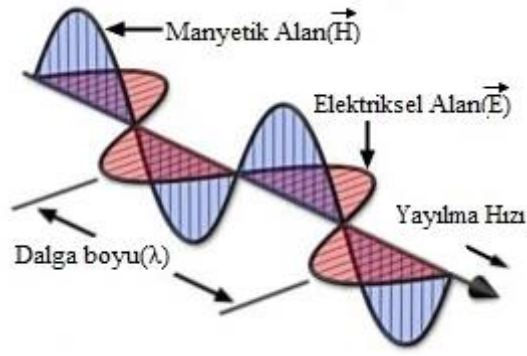
2.1 Işık Tanımı ve Işık özellikleri

Dalgalar halinde yayılarak ilerleyen ve parçacık etkili olarak göze tesir eden bir enerji şekli ışıktır. Işık enerjisinin dalgalar ve fotonlar şeklinde yayılmakta olduğu kabul edilmekte olup birbirini tamamlayan bir olayın iki yarısını oluşturmaktadırlar (Şahin 2010). Dalga teorisinde ışık, elektromanyetik dalga enerjisinin özel bir şekli olup radyasyonun gözle görülebilen kısmıdır. Elektromanyetik dalga ise, birbirine dik vaziyette olan ve bölümleri sabit olan elektriksel (E) ve manyetik (H) alan vektörlerinden oluşmaktadır. Şekil 2.1’de görülen ışık, elektriksel alan dediğimiz ‘E’, manyetik alan dediğimiz ‘H’ vektörleriyle ve ışığın yayılma hız vektörü olan ‘v’ birbirine göre dik olan üçlüden oluşmaktadır. Elektrik alan ile manyetik alan arasında faz farkı bulunmamaktadır. Bu alanların oranı ise boş uzayın empedansına eşittir. Bu alan bileşenleri alan bileşenleri olan ‘E’ ve ‘H’ birbirinin kaynağı olduğundan birinin değişimi diğerini oluşturmaktadır. Tekrarlanan bu değişimler sonucunda dalga v hızıyla uzaya hareket ederek enerji taşımaktadır (İnt. Kyn.1, İnt. Kyn.2, Kaya 2011, Steffy 2002).



Şekil 2. 1 Elektromanyetik dalganın oluşumu.

Şekil 2. 2 de görüldüğü gibi ışık birbirine dik hareket eden elektriksel ve manyetik alan salınımlarından oluşmaktadır. Elektriksel ve manyetik alan iki sinüs dalgası şeklinde olup birbirlerine diktirler (İnt. Kyn.3).



Şekil 2. 2 Elektromanyetik dalgadaki Elektriksel alan ve Manyetik alanın birbirine göre değişimi.

→

E: Elektriksel alanı vektörü,

→

H: Manyetik alanı vektörü,

λ : Işığın dalga boyu,

v: Işığın yayılma hız vektörü' dür.

Bu sinüsoidal dalgalar, Şekil 2.3' de görüldüğü gibi sürekli tekrar etmekte olan, periyodik olabileceği gibi tek seferli olan periyodik devam etmeyen nitelikte olabilmektedirler. Her tür dalgalarda dalga boyu, frekansı, periyodu gibi birbiriyle bağıntılı ve dalgalara ait nitelikleri bulunmaktadır. Tam olan dalganın meydana gelene kadar geçen zamana periyot denilmektedir. Büyük T harfi ile gösterilmekte olup frekans ile ters orantılıdır (İnt. Kyn. 4).



Şekil 2. 3 Sinüsoidal dalganın dalga boyu, periyot ve frekans tanımı.

Tüm Elektromanyetik olan dalgalarda yayılma ve ışık hızı gibi belli sabit değerlere eşit olduklarından, hız çarpımını vermekte olan dalga boyu ve frekansın birbiriyle ters orantılıdır. Spektrumda dalga boyunun fazlalaşması frekansta azalmaya, frekansta artış olması ise dalga boyunun azalmasına neden olmaktadır. Yani $\lambda = c / f$ 'dir. Şekil 2. 3'

deki sinüs dalgasının değişimin periyodu görölmektedir (İnt. Kyn. 3). Periyot aşığıdaki denklem (2. 1) ile bulunmaktadır.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2. 1)$$

Periyodu T olan bir dalga ise v hızıyla yayıldığıında λ dalga uzunluğu ise;

$$\lambda = v \cdot T \quad (2. 2)$$

şeklinde bulunacaktır. Bir dalgada ard arda kendisini takip eden iki aynı nokta arasındaki yani iki tepeden, ikide çukurdan oluşan kısmı arasındaki uzaklığa dalga boyu denilmektedir. T periyodu yerine $f = \frac{1}{T}$ koyarsak aşığıdaki (1. 3) nolu denklem elde edilecektir.

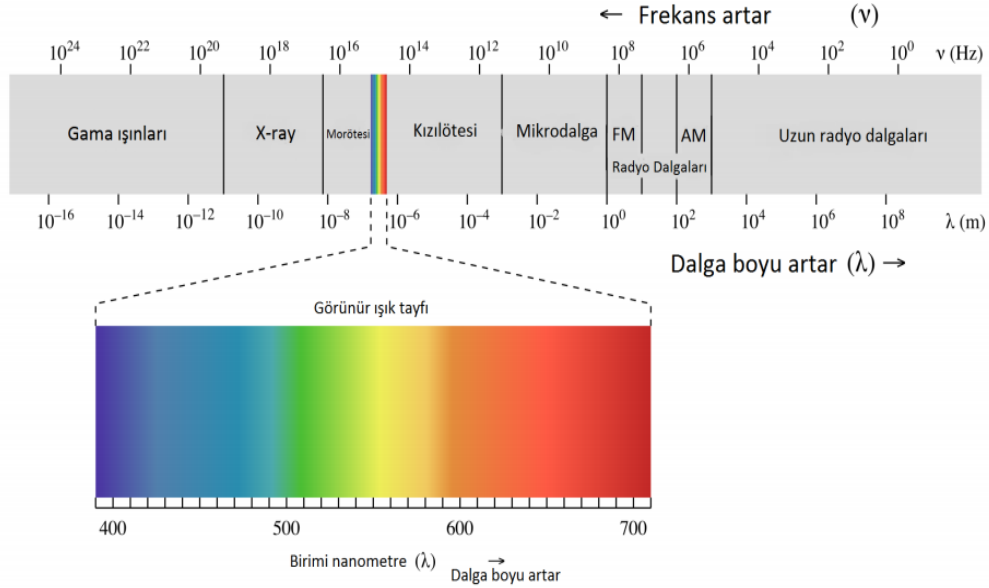
$$\lambda = v \cdot T = \frac{c}{f} \quad (2. 3)$$

Burada; T=Dalğanın periyodu, λ =Dalğanın uzunluğu, f= Dalğanın frekansı' dır. Boşluk alanda elektromanyetik dalğanın dağılma hızı $c = 3 \cdot 10^{-8}$ m/sn kabul edilmiştir.

2.1.1 Elektromanyetik spektrum (Elektromanyetik tayf)

Elektromanyetik dalgaları, dalga uzunluklarına göre sıralayacak olursak elektromanyetik spektrum (tayf) elde edilmektedir. Elektromanyetik spektrum, insanların gözüyle göremediği tüm ışık türlerinin incelendiği ve bütün elektromanyetik dalgaları içerisinde

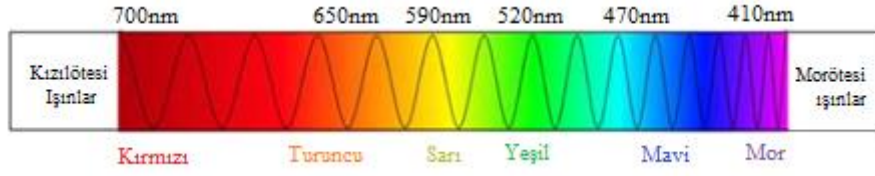
barındıran bir ölçek olarak kabul edilmektedir. Elektromanyetik dalganın spektrumunda bulunduğu yeri, frekansına (f) veya dalga boyuna (λ) bakarak belirlenebilmektedir. Elektromanyetik dalgav frekansı yükseldikçe enerjiside artmaktadır. Yani frekans yükseldiğinde dalga boyu küçüleceğinden, dalga boyu küçüldüğünde de enerjisi artmaktadır (Serway vd. 2000, İnt. Kyn.5).



Şekil 2. 4 Işığın Elektromanyetik Spektrumu (Tayf) ve insan gözünün görme sınırları.

Elektromanyetik spektrumu, elektromanyetik dalgalarının enerji değerlerine bakılarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 2. 4' de görüldüğü gibi sağdan sola ilerledikçe frekans yükselmekte buna karşılık dalga boyu küçüldüğünden enerjisise artmaktadır (İnt. Kyn. 5).

Elektromanyetik spektrumunda ışığa görünür ışık ismidde verilmekte olup Elektromanyetik spektrumun çok ufak bir kısmını ifade etmektedir. Beyin, görünmekte olan ışığın bölümlerinde bulunan renkleri farklı enerji olarak algılamaktadır. Kırmızı rengi en az enerjide iken Mor rengi ise en fazla enerjiye sahip olan renklerdir. İnsan gözü 380 nm ile 780 nm arasında bulunan elektromanyetik dalgalarını görebilmektedir. Görünür ışık olan kısım dışında, insan gözünün göremediği birçok ışık türü bulunmaktadır. İnsan gözünün gördüğü görünür ışık bandı Şekil 2. 5' de görüldüğü gibidir (İnt. Kyn. 6., Kocabey 2008, Şahin vd. 2014)



Şekil 2. 5 İnsan gözü tarafından görülen görünür ışık bandı.

Frekansa sahip elektromanyetik dalgaların, farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Farklı fiziksel özelliklere sahip olmaları sebebiyle kullanım alanları da ona göre değişmektedir. Çizelge 2. 1 'deki aralıklar birer tanımlama aralığı olup farklı yerlerde değerlerde ufak değişiklikler görülebilmektedir (İnt. Kyn.7).

Çizelge 2. 1 Elektromanyetik dalgaların dalga boyu ve frekans aralıkları.

Elektromanyetik dalga	Dalga boyu	Frekans
Gama ışını	<0,02nm	>15 Ehz
X- ışını	0,01nm-10nm	30EHZ-30 PHz
Morötesi (UV)	10nm-400nm	30PHz-750 THz
Görsel bölge	390nm-750nm	70THz-400THz
Kızılötesi (IR)	750nm-1m	400Th-300GHZ
Mikrodalga	1 nm-1m	300GHZ-300MHz
Radyo dalgaları	1m-100km	300MHz-3kHz

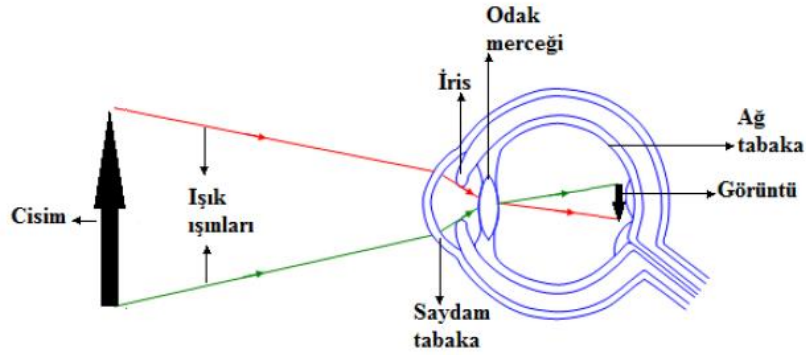
Elektromanyetik spektrumun en uç kısmında, dalga boyu görünür olan ışıktan milyarlarcadan çok daha uzun radyo dalgaları vardır. Spektrumun öbür ucunda ise dalga boyları görünür ışıktan milyarlarcadan çok daha kısa olan gama ışınları bulunmaktadır. Radyo dalgaları çok düşük enerjiye sahip olup buna karşılık gama ışınları en çok enerjiye sahiptir. Radyo dalgalarıyla gama ışınlarının arasında ise mikrodalga ışınları, kızılötesi ışınlar, ultraviyole (mor ötesi) ışınları ve röntgen (X) ışınları da bulunmaktadır. İnsanların gözü ise bu ışınları algılayamamaktadır. Bunların uygulama alanları, üretim mekanizmaları ve kullanıldığı yerler Çizelge 2. 2' de belirtildiği şekildedir (İnt. Kyn. 8).

Çizelge 2. 2 Farklı Elektromanyetik dalgaların kullanım alanları.

Elektromanyetik dalgalar	Üretim mekanizma	Uygulanma Alanları	Etkileri ve Kullanımı
Gamma ışını	Nükleer bozunum	Nükleer Tıp	Medikal teshişlerde, kanser terapisinde ve görüntüleme Kanser oluşabilmektedir.
X- Işını	İvmelenen yükler	Medikal ve Güvenlik	Medikal teshişlerde, kanser terapilerinde ve görüntüleme Kanser oluşturabilmektedir.
Moröte (UV) ışını	Termal radyasyonda ve elektron geçişlerinde	Sterilizasyon	D vitamini üretimi, Ozon tabakasındaki kimyasal süreçlerde Kanser oluşturabilmektedir.
Görünür ışık	Termal radyasyonda ve elektron geçişlerinde	Pek çok alan	Fotosentez ve görme olayında kullanılır.
Kızılöte(IR) ışını	Termal radyasyonda ve elektron geçişlerinde	Termal görüntüleme	Atmosfer tarafından soğurulmakta ve sera etkisine neden olmaktadır.
Mikrodalga ışını	ivmelenen yükler ve termalde	İletişim, fırınlar ve radar	Polar moleküllerini titreştirerek nesnelere ısıtmaktadır. (mikrodalga fırınlar)

2.1.2 Görme olayı ve Gözün Spektral Duyarlılığı (Vλ)

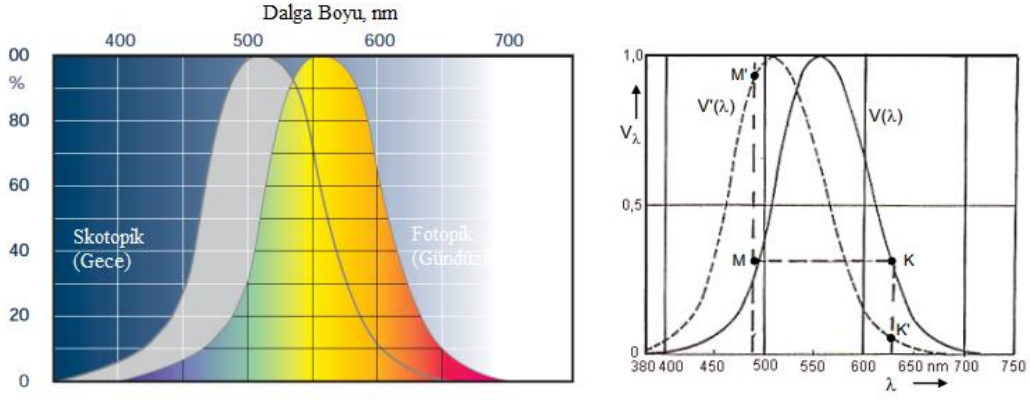
Işık, insan yaşamının vazgeçilmez bir unsurudur. Işık olmazsa görmede gerçekleşeyecektir. Işık enerjisini elektrokimyasal enerjiye çevirerek işleyen görme organımız gözdür. İnsan gözü yaklaşık olarak 25 mm çapda küre şeklindedir ve her tarafa dönebilmesini sağlayan altı sayıda kas bulunmaktadır. Gözün ön kısmında kornea olarak adlandırılan saydam tabaka mevcuttur. Işık, Şekil 2. 6' deki gibi kornea tabakası yoluyla göze girince mercek tarafından kırılacak ve gözün iç kısmını kaplayan retina tabakasına düşecektir. Bu kısımda elektrik akımına dönüştürülen ışık ise beyindeki görme merkezine görme siniri vasıtasıyla iletilmektedir (Demirci 2008, İnt. Kyn. 9).



Şekil 2. 6 Gözün biyolojik yapısı ve görmesi.

Beyin gelen bilgiyi görsel veri olarak yorumlayacaktır. Gözde bulunan lensin ön kısmında olan iris kısmı ise kamerada bulunan diyafram gibi, göze girmekte olan ışık miktarının kontrolü için açık veya kapalı olabilmektedir. Gözbebeği İris önünde olup göze çok ışık geldiğinde küçülen, karanlık ortamda ise daha çok ışık toplayabilmek için büyüyecektir. Retina, beyine gitmekte olan sinir sistemi başlangıcını oluşturmakta olup 100 milyondan çok sinir hücrelerine sahip bulunmaktadır (Bommel 2011).

Fotokimyasal reaksiyonlar dediğimiz Işık enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesi olayı retina içindeki fotoreseptör hücrelerinde gerçekleşmektedir. Görme merkezi dediğimiz sarı nokta ismidde verilen foveada fotoreseptör yoğunluğu en fazla düzeydedir. Foveadaki fotoreseptörler dediğimiz kısım renkli olan ve keskin görme üzerinde yoğunlaşmış kon fotoreseptörleridir. Kon fotoreseptörlerinin yoğunluğu retinanın çevresine gidildikçe küçülmekte ve karanlık ortamda görmek için yoğunlaşmış olan rod fotoreseptörlerinin sayısı çoğalmaktadır. Görme olayında keskinliğin %90 olan kısmını 0,5mm'lik foveadaki konlarla gerçekleşmektedir. Bu hücreler içerisinden çıkan 1,2 milyon sinir liflerini içeren optik olan kısımdaki sinir hücreleri görsel olan iletiyi taşıma işini yapmaktadır. Bu sinir hücreleri iki çeşittirler. Bu sinir hücreleri şekillerinden dolayı koni ve çomak hücreleri olarak adlandırılmakta olup gangliyon hücreleri ve sinir lifleri ile aracılığıyla beyine bağlanmaktadır (Barbur vd. 2010, Şahin vd. 2014).

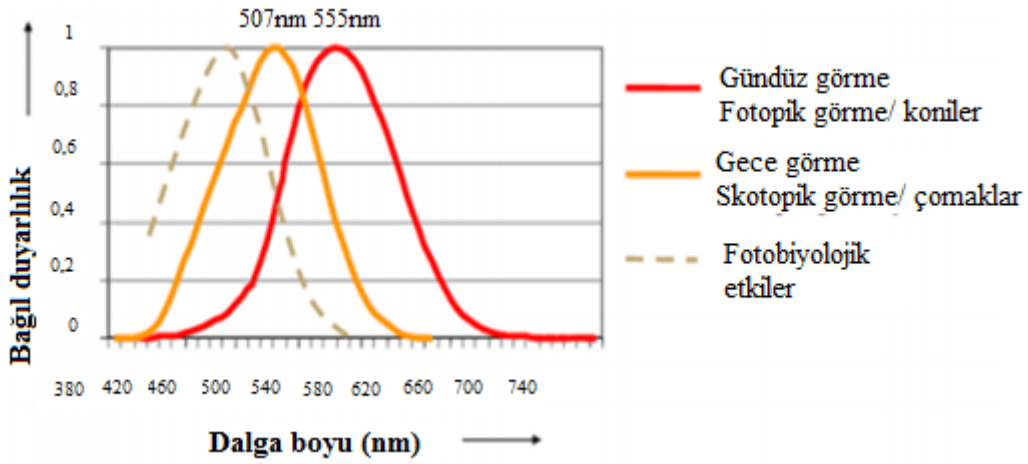


Şekil 2. 7 CIE'ce tanımlanan fotopik $V(\lambda)$ ve skotopik $v'(\lambda)$ görme alan eğrilerinin bölgeleri.

Skotopik görme: Işığa duyarlı olan çomak hücreleri cisimlerin şeklini ve hareketini algılamamızı sağlayan hücrelerdir. Aydınlik seviyesinin 0.01 cd/m^2 'nin altında olduğunda çomak hücreleri duyarlı olmaktadır. Bu durumda Koni hücreleri çalışmamaktadır. Çomak hücreleriyle elde edilmiş olan görüntüyü görme olayına skotopik görme denilmektedir. Şekil 2. 7' deki gibi çomak hücreleriyle renkler ayırt edilemezse, bu hücrelerin duyarlılıkları başka renklere sahip olan farklı dalga boylarına göre değişiklik göstermektedir. En hassas olduğu dalga boyu 507 nm Mavi renk-Yeşil renk' tir. Bu duyarlılık durumu kırmızı renge yaklaştıkça azalmaktadır.

Fotopik görme: Koni hücreleri, aydınlık seviyesi 3 cd/m^2 'den fazla olduğu ortamlarada çalışmaktadır. Koni hücreleriyle oluşan görmeye fotopik görme denilmektedir. Her bir koni hücresiye tek bir sinir lifiyle beyne bağlı olup görüntüleme çözünürlüğü ise çok yüksektir. Şekil 2. 7' da görüldüğü gibi koni hücrelerinin spektral duyarlılığı 555 nm 'de yeşil-sarı renklere daha yüksektir. Koni hücreleri renkleri ayırt etmemizi yardımcı olmaktadır.

Mezopik görme: Aydınlik seviyesi değerinin 0.01 cd/m^2 - 3 cd/m^2 arasında olduğu bölümlerde ise çomak ve koni hücreleri hep birlikte çalışmaktadırlar. Şekil 2. 8' de görüldüğü gibi yüksek aydınlık seviyesinden daha düşük aydınlık seviyesine geçiş durumunda ise yani adaptasyon durumundaysa koni hücreleri değerini yitirecektir ve bu durumda spektral duyarlılık $V(\lambda)$ 'den $V'(\lambda)$ 'ye doğru kayacaktır (David 2003).



Şekil 2. 8 CIE'ce tanımlanan fotopik $V(\lambda)$ ve stotopik $V'(\lambda)$ görme olayı için normalize edilmiş spektral duyarlılık eğrileri.

Gözse eşit güçlü fakat değişik dalga boylu renkleri yani radyasyonları değişik sayılarla değerlendirmektedir. Buna gözün spektral duyarlılığı denilmektedir. Göme olayı belli spektiral duyarlılıkta olmaktadır. Çünkü gözümüz bütün radyasyonlara karşılık aynı oranda duyarlı değildir. Işığın spektrumu renklere göre farklılık göstermektedir. Gözün maksimum duyarlılığı 555 nm' dir. Aydınlık görme dediğimiz sarı-yeşil renk 555,5 nm dalga boyundaki ışımada gözün spektral duyarlılığı en yüksek değerde olup $V_{\lambda}=1$ kabul edilmektedir. Değişik dalga radyasyonlarında spektral duyarlılık V_{λ} , denkelem (2. 4)

$$V_{\lambda} = F_{555} / F_{\lambda} \quad (2. 4)$$

V_{λ} = spektral duyarlılık

F_{λ} = Enerji akısı (güçleri)

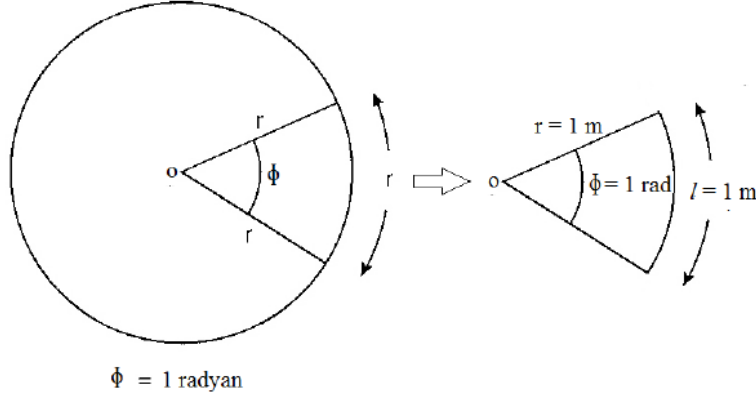
bağıntısı ile bulunmaktadır (Ertik 2012).

2.2 Işıқта kullanılan Fotometrik Büyüklükler ve tanımları

Aydınlatma ve ışık ile ilgili hesaplamalar ve değerlendirmeler yapmak için bazı birimleri ve tanımlamalarını bilmek gerekmektedir. Burada gözün spektural duyarlılığı dikkate alınmaktadır.

2.2.1 Düzlemsel Açı (Radyan) ve Uzay Açısı(steradyan)

Düzlemsel açığı, iki yarım doğru arasında kalmış olan yayın uzunluğunun yarıçapa bölünmesiyle bulunmakta olup birimi radyandır. Bir noktadaki düzlemsel açı değeri 2π radyan'dır (Özkaya 2004, İnt. Kyn.10).

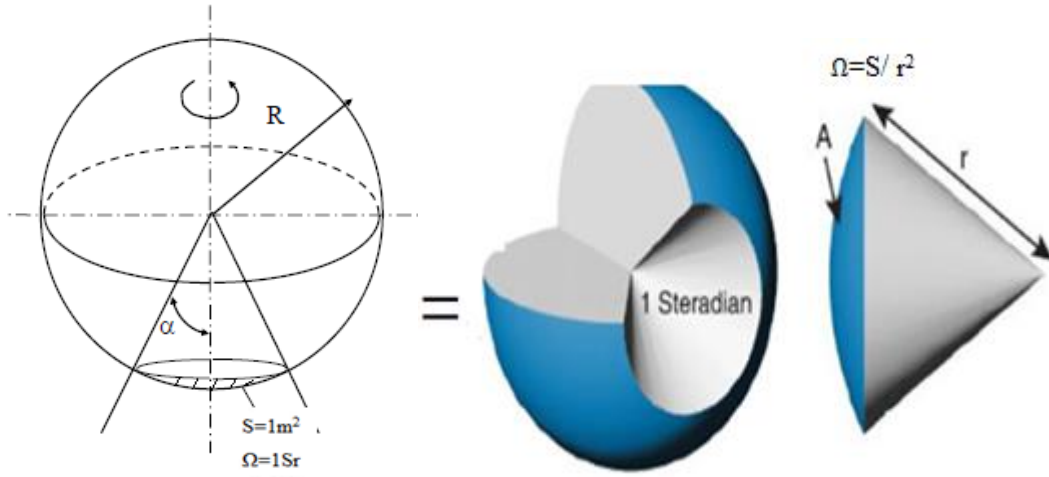


Şekil 2. 9 Düzlemsel açının (Radyanın) bulunması.

Şekil 2. 9'da düzlemsel açı görülebilmektedir. Burada yarıçapı (r) 1 metre olan bir çemberde 1 metre uzunluğundaki yayı gören merkez açısı olan ϕ açısı 1 radyan'a eşittir. İçinden belirli miktarda ışık akısı geçen koni yada piramit şeklindeki uzay parçasına uzay açısı (steradyan) denilmekte olup Ω sembolü ile gösterilmektedir (Çolak 1999, İnt. Kyn. 11).

$$\Omega = \frac{S}{r^2} \text{ (sr)} \quad (2.5)$$

denklem (2.5) ile hesaplanmaktadır. Uzay açısı değeri yüzeybüyüklüğü ile doğru orantılı olup, uzaklık karesi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Uzay açısı, bir koni r yarıçaplı küreden ayırmış olduğu küre kapağı alanının yarıçap karesine bölümüyle ölçülmekte olup birimiye steradyan (sr)' dır. Bir noktadaki uzay açısı değeri 4π steradyan değerindedir. Şekil 2. 10'da uzay açısını görmemiz mümkündür.



Şekil 2. 10 Uzay açının (steradyanın) bulunması olayı.

Yarıçapı 1 m olan bir kürenin üzerinde 1 m^2 lik yüzeye ait uzay açısı birimi 1 steradyandır. Küre yüzeyini görmekte olan uzay açısı hesaplanırken çeyrek olan küre yüzeyi $S = \pi R^2$ olmak üzere denklem (2. 6) ile Str olarak hesaplanmaktadır (Özkaya 2004).

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{\pi R^2}{R^2} = \pi \quad (2.6)$$

2.2.2 Işık akısı (Φ , Lümen)

Bir ışık kaynağından birim zamanda yayılmakta olan toplam ışık miktarına ışık akısı denilmektedir. Sağlıklı bir gözün gündüz görmesi durumuna ait spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilmekte olan enerji şeklidir. Φ harfi ile gösterilmekte olup birimi lümen (lm)' dir. Denklem (2.7) ile hesaplanmaktadır (Malman 2005, Onaygil 2006).

$$\Phi = K_o \cdot F \cdot V_\lambda \quad (2.7)$$

Φ : Işık akısı değeri(lm)

K_o : Enerjinin akısı fotometrik eşdeğeri ($K_o=683 \text{ lm/W}$)

F: Enerji akısı (W)

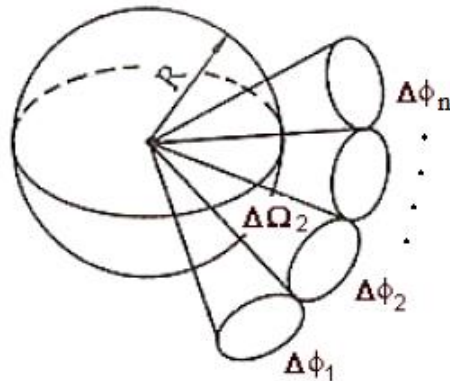
V_{λ} : Gözün spektral duyarlılığı

Çizilge 2. 3' de görülen ışık kaynaklarının şebekeden çektiği güçleriyle yaymış oldukları ışık akısı miktarı arasında sabit orantı bulunmamaktadır.

Çizelge 2. 3 Bazı ışık kaynaklarına ait ışık akı değerleri.

Işık Kaynağı	Işık Kaynağının Gücü(W)	Işık Akısı (Lümen)
Bisikletin farı	3 W	30
Akkor telli flemenli lamba	75 W	900
Kompakt floresan lamba	18 W	1000
Tüp floresan lamba	58 W	5400
Y. Basınçlı sodyum buharlı lamba	100 W	10000
A. Basınçlı sodyum buharlı lamba	130 W	26000
Y. Basınçlı civa buharlı lamba	1000 W	58000
Metal halojen lamba	2000 W	190000

Işık kaynaklarının ışık akısı genel olarak düzgün dağılımlı ışık sağlayamazlar. Işık akısının uzayın farklı doğrultularında yoğunluğu farklı olmaktadır. Bu yüzden Şekil. 2.11' de görüldüğü gibi bir kaynağın ışık akısı olan Φ , uzayın çeşitli bölümlerine yayılan kısmi ışık akılarının toplamına yani $\Phi = \Delta\Phi_1 + \Delta\Phi_2 + \Delta\Phi_3 \dots + \Delta\Phi_n$ ' e eşittir.



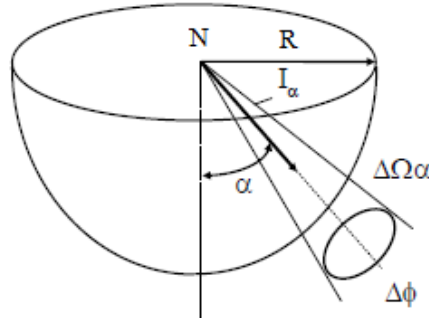
Şekil 2. 11 Uzay açısı ile yayılmakta olan kısmi ışık akıları.

2.2.3 Işık şiddeti (I, candela)

Bir kaynaktan yayılan toplam akı miktarıdır. MKS sistem biriminde ışık şiddeti birimi candela (cd) olup “I” harfi ile gösterilmektedir (Taş 2013).

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \text{ (cd)} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7) ile hesaplanmaktadır. Noktasal olan ışık kaynaklarına tanımlanmakta olup doğrultuya bağlı olarak değişen bir değerdir. Şekil 2. 12’ de görüldüğü gibi noktasal olan ışık kaynağında bir α doğrultusunda bulunan ışık şiddeti değeri, bu doğrultuyuda kapsamakta olan bir uzay açısından çıkan ışık akısı değerinin bu uzay açığı bölümüne eşittir (Onaygil 2006, Onaygil 2016, Yaman 2007).



Şekil 2. 12 Noktasal olan bir ışık kaynağının ışık şiddeti değerinin bulunması.

Noktasal bir ışık kaynağının ışık şiddeti,

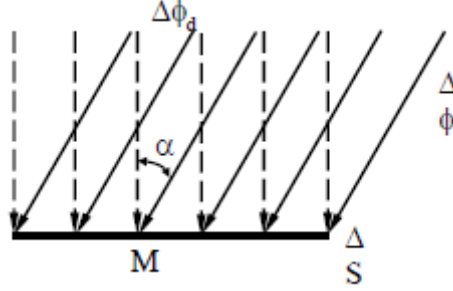
$$I_{\alpha} = \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega_{\alpha}} \right) = \frac{d\Phi}{d\Delta\Omega_{\alpha}} \quad (2.9)$$

yukarıdaki denklem (2.9) ile hesaplanmaktadır.

2.2.4 Aydınlık düzeyi (aydınlık şiddeti, lüks)

Birim yüzeye düşmekte olan ışık akısı miktarı olup ‘E’ harfi ile gösterilmekte olup

birimiye lux'dür. Aydınlik düzeyi, yüzeydeki ışık akısının, o yüzeye ait alana bölünerek bulunmaktadır. Şekil 2.13.' de bir yüzeyde bulunan M noktasındaki aydınlık düzeyi değeri, bu noktanda içinde bulunduğu ΔS yüzeyine düşmekte olan ΔΦ ışık akısının ΔS yüzey değerine bölümünün ΔS sıfıra giderkenki limitine eşdeğerdır. Denklem (2.10) ile hesaplanmaktadır (Eser 2013, Ünal 2009, Ganslandt 1992).



Şekil 2. 13 Aydınlik düzeyinin oluşumu.

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_d}{\Delta S} = \frac{d\Phi_d}{dS} \quad (2.10)$$

$\Delta \phi$: Yüzeye düşen ışık akısı değeri(lm),

$\Delta \phi_d$: Yüzeye düşmekte olan ışık akısının dik bileşen değeri (lm),

ΔS : Işık akısının geldiği yüzeyin alanı değeri(m²),

α : Gelen ışık akısının yüzeyin normali ile yaptığı açı,

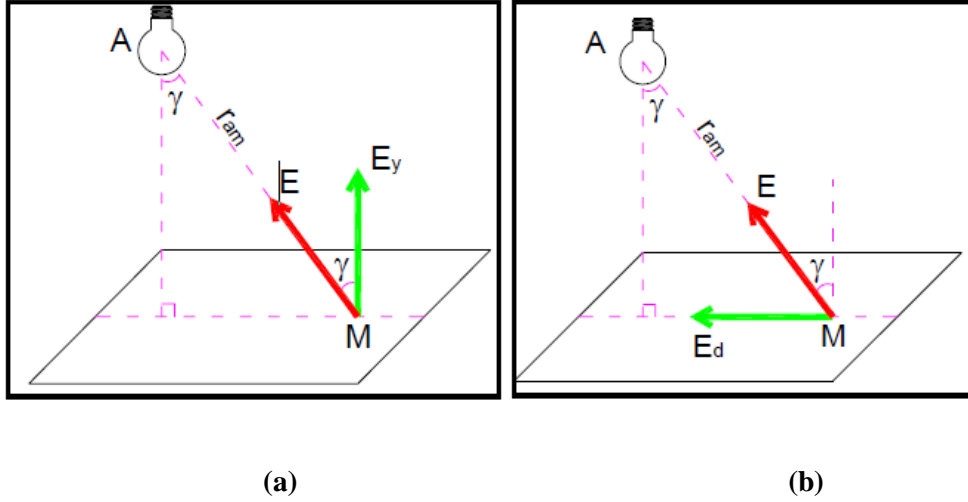
E: Aydınlik düzeyi (lux)

Noktasal olan aydınlık düzeyi, yatay olan ve düşey olan aydınlık düzeyi şeklinde iki bileşeni bulunmaktadır. Şekil 2. 14 'de görülen A noktasında bulunan ışık kaynağından γ açı ile çıkmakta olan I_γ ışık şiddetinin, A noktasına r_{am} uzaklıktaki M noktasında oluşturduğu yatay aydınlık düzeyi E_y , düşey aydınlık düzeyiyse E_d 'dir. Yatayda ve düşeydeki aydınlık düzeyleri şu şekilde bulunmaktadır;

$$E_y = \frac{I_\gamma}{r_{am}^2} \cos \gamma \quad (2.11)$$

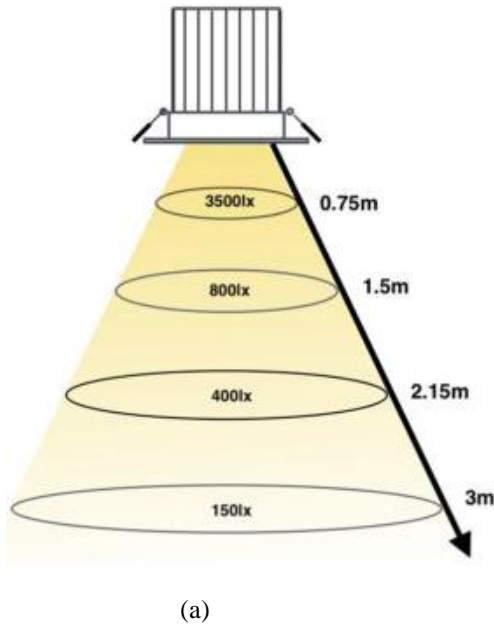
$$Ed = \frac{I_y}{r_{am}^2} \sin \gamma \quad (2.12)$$

Yatay ve düşey aydınlık düzeyleri denklem (2.11) ve denklem (2.12) ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2. 14 a) Noktasal yatay aydınlık düzeyi b) Noktasal düşey aydınlık düzeylerinin gösterimi.

Aydınlık düzeyi, ışık kaynağındaki toplam ışık verilerini ifade etmekte olan lümen değeriyle alakalıdır. Işık kaynağından uzaklaştıkça, ölçülecek olan lüks değerinde o kadar düşüş görülecektir (İnt.Kyn.12, Özkaya 2004).



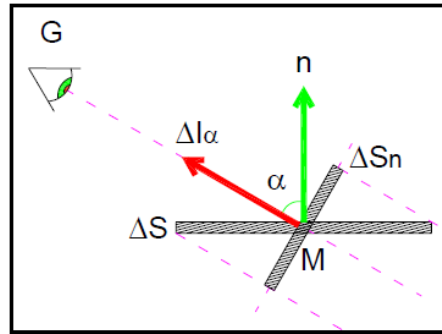
Durumlar	Aydınlık Düzeyi (Lx)
Yazın bulutsuz günün öğle vakti	100000
Yazın bulutsuz günde gölgede	10000
Parçalı-bulutlu olan hava	5000
İyi aydınlatılmış olan oturma odasında	1000
Aydınlatılmış olan bir yol yüzeyinde	100,5-30
Açık bir akşam vaktinde ay ışığında	0.25

Şekil 2. 15 Aydınlık düzeyinin a) azalma dağılımı b) Aydınlık düzeyine ait bazı örnek değerler.

Işık Şekil 2. 15.a’ da görüldüğü gibi küçük bir alana yoğunlaştığında, aydınlatma düzeyi yükseldiğinden o alan daha parlak algılanmaktadır. Ancak aynı miktarda ışık, daha geniş bir alana yayılırsa; daha loş bir görüntü oluşmaktadır. Her iki ışık kaynağı aynı miktarda ışık yaysada odaklanmış kaynaktan ışık daha yoğun olduğu için daha parlak olarak gözükecektir. Şekil 2.16. b’ de Aydınlık düzeyi değerine bazı örnekler verilmiştir (İnt. Kyn.12).

2.2.5 Parıltı (L , cd/m^2)

Bir yüzeyin bakan bir göze ne ölçüde parlak görüldüğünün bildiren bir ölçüttür. Ayrıca bir metrekare başına karşılık gelen toplam ışık şiddetini ifade etmektedir. Parıltı değeri 'L' harfi ile gösterilmekte olup birimi nit (cd/m^2) veya stilb (cd/cm^2)' dir (Ganslandt 1992).



Şekil 2. 16 Bir yüzeydeki M noktasının doğrultusundaki parıltı tanımı.

Şekil 2. 16’de görüldüğü gibi, ışık yaymakta olan yüzeydeki M noktasında yüzey normaliyle α açısı yapan doğrultudaki parıltı değeri, M noktasında içine almakta olan ΔS yüzey unsurunun bu yönde oluşturduğu ΔI_α ışık şiddeti değerinin ΔS ‘nın bu doğrultuya dik düzlemdeki ΔS_n görünen alanın oranının limitidir (Göçmen 2014). Denklem 2.13’de görüldüğü gibidir.

$$L_\alpha = \lim_{\Delta S_n \rightarrow \infty} \frac{\Delta I_\alpha}{\Delta S_n} \quad (\text{cd}/\text{m}^2) \quad (2.13)$$

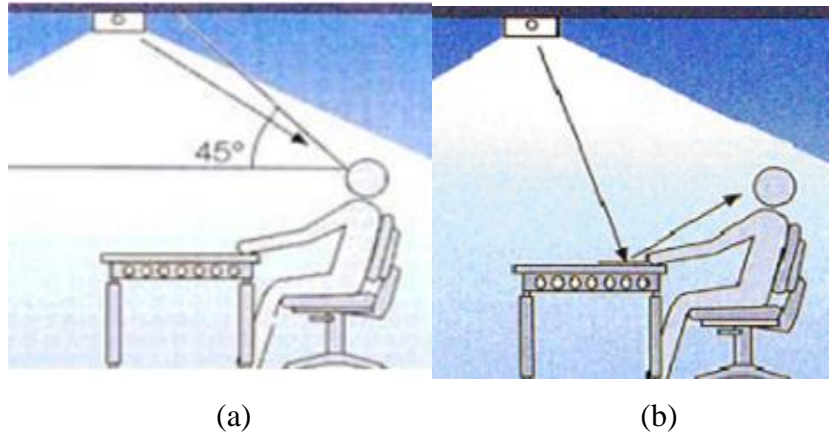
İdeal olan yansıtıcı yüzeylerde ise parıltı, aydınlık düzeyi kullanılarak hesaplanabilmektedir. Parıltı değeriyle aydınlık düzeyi arasında bulunan ifade denklem (2.14) 'deki gibidir.

$$L = \rho \cdot \frac{E}{\pi} \quad (2.14)$$

Burada

ρ : yüzeyin yansıtma faktörüdür.

Parıltı değerleri, direkt olan parıltı ve yansımali olan parıltı olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Direkt parıltıda, uygunsuz olarak ve yanlış şekilde monte edilmiş olan armatürlerin neden olduğu çok ışıklılıktan kaynaklanmaktadır. Armatürden yayılmakta olan ışık hüzmesinin yayılma açısı 45 derece olduğunda parıltı değeri kritik duruma gelmektedir. Bu direkt parıltı olup örneği Şekil 2. 17.a' da gösterilmiştir.



Şekil 2. 17 Parıltının çeşitleri **a)** Direk parıltının oluşumu **b)** Yansımali parıltının oluşumu.

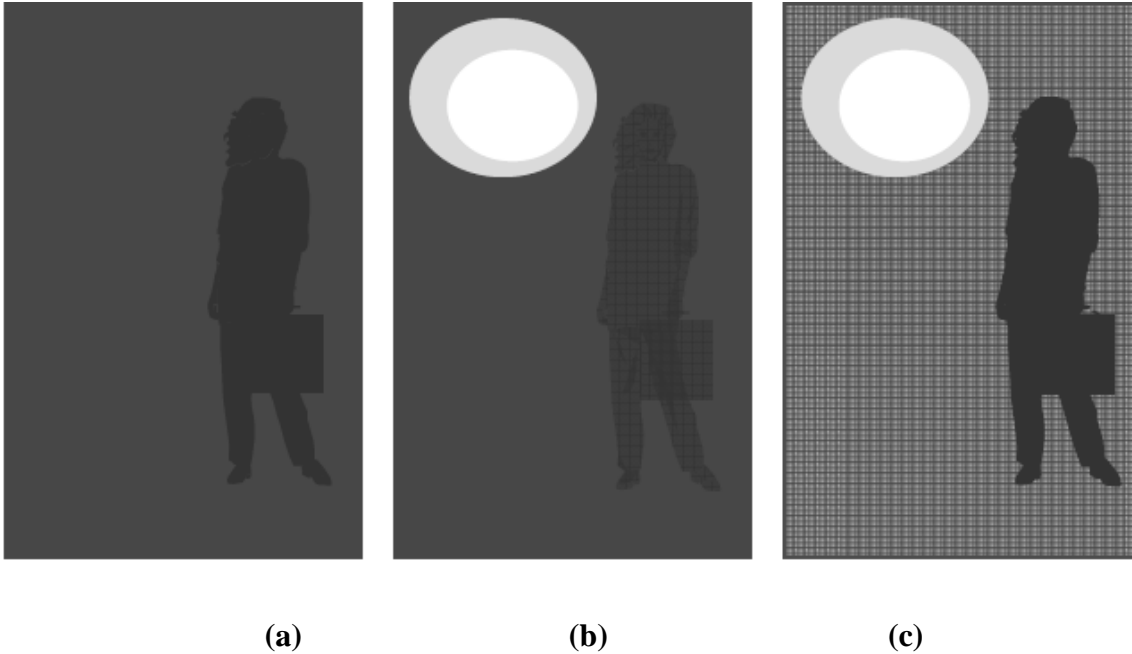
Yansımali parıltı, gün ışığıyla oluşan, lamba ya da armatürlerin oluşturduğu yansımalarla mekanlar da kullanılmakta olan malzemelerin ışığı yansıtmasından oluşmaktadır. Yansımali parıltı Şekil 2. 17.b'de gösterilmiştir. Parıltıları, verdikleri zarara değerine göre sınıflandırmak mümkündür. Rahatsızlık verecek olan parıltı, biyolojik ihtiyaçlarımızı karşılamak için gerekli olan algılamayı engelleyecek fakat hareket edebilmek için gerekli görüşü yüksek oranda azaltmaz. Engelleyici olan parıltı değeriye, belirli hareketlerde gerekli olan görüşü azaltan parıltıdır. Kör edecek olan parıltıya,

üzerinden çok fazla bir zaman geçtiği halde görsel olarak bir algının oluşmayacağı kadar fazla olan parlaktır. Ortam aydınlatmaları yapılırken aydınlık birimi olarak lx (lüks) değeri kullanılmaktadır. Yol aydınlatması ve tünel aydınlatması gibi aydınlatmalarda ise parlaklık (cd/m²) birimi kullanmak gerekmektedir (İnt. Kyn. 13).

2.2.6 Kontrast (C)

Bir nesne kendisi parlaklığıyla görüntünün parlaklığı arasında belirgin olan bir parlaklık ayrımı bulunuyorsa görülebilmektedir. Bu farka kontrast denilmektedir. Kontrast C sembolü ile gösterilir.

Bir cismin algılanabilmesinde gerekli olan kontrast gerekliliği, cismin görülebildiği açıya ve gözlemci kişinin görüş alanında bulunan parlaklık dağılımı bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2. 18' de değişik aydınlatma kontrastları görülmektedir. Aydınlatma tesisatlarında farklı aydınlık düzeyinde bulunan engeller, ekseriyetle nesnelerin veya insanların aydınlık bir zeminde karanlık görünmeleri özelliklerinden yararlanılarak ayırt edilebilmektedirler (Onaygil 2006).



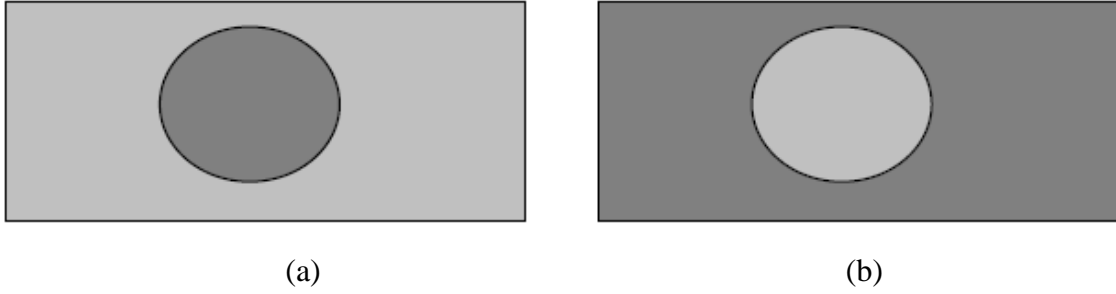
Şekil 2. 18 Zemin durumuna göre değişik aydınlatma kontrastları **a)** Engelin zeminden daha koyu olduğu durum **b)** Engelin zeminden daha koyu olduğunda ışık kaynağı engelden önceyse **c)** Engelin zeminden daha koyu veya ışık kaynağı engelden sonraysa oluşan görüntüler.

Görünürlük, zeminle engel arasındaki aydınlanma kontrastına bağlıdır. Kontrast denklem (2. 15) ile bulunmaktadır.

$$C = \frac{|L_c - L_f|}{L_f} \quad (2.15)$$

L_c : Engelin ya da cismin parlıltısı(cd/m^2),

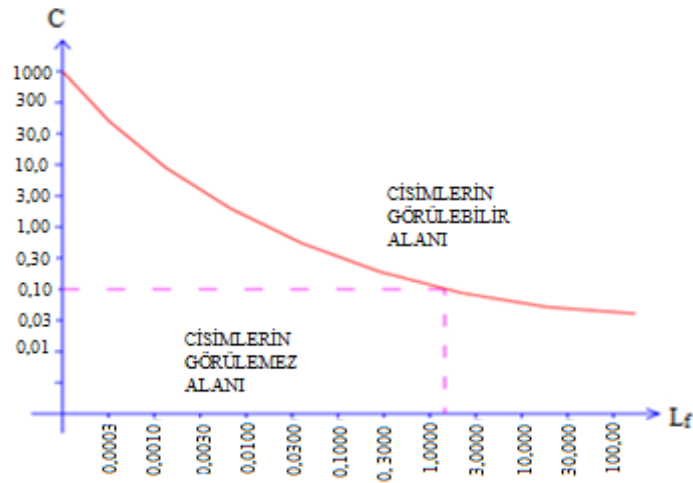
L_f : Cismin görüldüğü zeminin yani fonun parlıltısı(cd/m^2)



Şekil 2. 19 Kontrast türleri a) Negatif kontrast görünümü b) Pozitif kontrast görünümü.

Engel, zeminden daha koyu renkte ise silüet olarak görünür. Buna negatif kontrast denir. Engel, zeminden daha açık renkte ise buna pozitif kontrast denir. Şekil 2. 19’ da görüldüğü gibidir. Yol aydınlatmasında genellikle negatif kontrast oluşturulmaktadır.

Şekil 2. 20 ‘ye bakıldığında L_f değeri arttığı zaman C azalmaktadır. Zemin parlıltısının az olduğu yerlerde kontrast eşiği yüksek olmaktadır. $C=0,3$ ‘ü sağlamak için zemin parlıltısının takribi $2 cd/m^2$ olması gerekliliği grafikte görülmektedir. Bu kontrast



Şekil 2. 20 Kontrast sınırının ve fon parlıltısı arasındaki ilişkinin gösterimi.

eşğininse 20cm x 20cm' lik bir cismin 100m uzaklıktan güvenilirlik standardıyla fark edilebildiği C değeridir (Emta 1988). Kontrast duyarlığı aydınlık-karanlık farkıyla birlikte, aynı zamanda cismin gözlemcinin bulunduğu konuma ve çevrenin parlıtlı değerine bağılı olarak da değışmektedir. Cismin parlıtlısıyla eşdeğer olan çevre parlıtlı oluştuğunda kontrast en büyük değerini almaktadır. Fakat ortamda bulunan aydınlık-karanlık farkı çok az ise bu kontrast değerinin fark edilebilmesi için yüksek aydınlık düzeyi gerekmektedir. Yol yüzeyindeki cismin kontrastının yüksek olabilmesi ve yol yüzeyindeki her noktada daha iyi görülebilmesi için, minimum ve ortalama yol yüzeyi parlıtlıları arasındaki fark çok büyük olmamalıdır (Van Bommel 2015).

2.2.7 Kamaşma

Kamaşma, sağlıklı gözün dış etkilerden dolayı kısa süreli olarak etrafında bulunan cisimleri görememesidir. Gözün bulunduğu görme alanında bulunan parlıtlı değeri çok fazla olursa oluşan kamaşmaya direkt kamaşma denir. Gözü Kamaştıran kaynak görme alanının dışarisındaysa bu tür kamaşmaya indirekt kamaşma denir. Yol aydınlatma olayında iki türlü kamaşma olmaktadır:

Psikolojik Kamaşma: Görme olayında herhangi bir sorun yokken sürücüde beğenilmeyen bir his uyandıran ve yolculuk konforunda olumsuz etkileyen kamaşmadır.

Fizyolojik Kamaşma: Yolculuk esnasında gözün görme yeteneğini azaltan kamaşma türüdür (Özkaya 2004)

2.2.8 Etkinlik faktörü (e, Lm/ W)

Işık akısıyla kullanılmakta olan güç arasında bulunan orana etkinlik faktörü ya da ışıksal verim denilmektedir. Işık kaynağının etkinlik faktörü değeri, kaynaktan çıkmakta olan toplam ışık akısı değerinin kaynağın gücüne oranı olup 'e' harfi ile gösterilmektedir. Birimiyse lümen/ watt' tır.

$$e = \frac{\Phi}{P} \quad (2.16)$$

e: etkinlik faktörü değeri (lm/W)

Φ : ışık akısı değeri(lm)

P: güç (W)

Denklem (2. 16) ile hesaplanmaktadır. Aydınlatmada etkinlik faktörü (lumen/ Watt) yüksek olan lambalar tercih edilmelidir. Çünkü etkinlik faktörü ne kadar büyükse, eşit ışık enerjisi elde etmek için daha az elektrik kullanılacak demektir. Etkinlik değeri küçük olan lambalar şebekeden daha fazla elektrik kullanacaktır. Bu da demek oluyor ki aydınlatmada etkinlik faktörü yüksek armatürlerle enerji tasarrufu yapılabilmektedir (Ünal 2009, Ganslandt 1992).

2.3. Aydınlatmada kullanılan fotometrik ölçümler

Laboratuvar şartlarında ışıkla alakalı olan her türden ölçümler fotometrik ölçümlerdir. Işık, göz ile değerlendirilen fizyolojik ve optik bir büyüklüktür. Göz, normalde bir ölçüm aleti olmadığı bir karşılaştırma faktörü olduğundan dolayı objektif olmayan ölçüm yöntemlerini karşılaştırmak gerekmektedir. Modern fotometri temelini ise objektif metodlar oluşturmakta olup en değerli unsurları fotoelektrik elemanlarıdır. Fotometrik ölçümleri, aydınlık seviyesi ölçümleri ve parlıltı ölçümleri olarak iki şekilde incelenmektedir (Kocabey 1999, Sirol 2004).

Günümüzde armatürler ile ilgili fotometrik ölçüm deyince akla gonyofotometrik ölçüm gelmektedir. Işık kaynağının ya da fotometrik başlıklardan biri sabitken, diğeri ise kararlı olarak yaptığı davranışlarla ışık kaynağına ait ışık siddet dağılımı değerinin incelenmesi için kurulmuş olan sisteme gonyofotometre denilmektedir (İnt. Kyn. 14, Kocabey 2008).

Gonyofotometrik ölçümler, armatürün üretimine geçilmesinden sonra ışık şiddeti değer dağılımının elde edilmesi amacıyla Gonyometrik ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümler,

armatürün etrafa ne kadar ışık akısı yolladığının belirlenmesi amacıyla yapılmakta olan çok sayıdaki ölçümlerden oluşmaktadır. Gonyofotometre cihazı, ışık kaynaklarının 360° de yaydığı toplam ışık şiddetini hesaplamakta kullanılmaktadır. Gonyofotometri cihazı, ışık kaynağından çıkmakta olan ışığı bir, iki ve üç boyutlu dağılımlarını ele almakta yani ışığın hangi açıda ne kadar ışık akısı gönderdiğini belirlenmektedir. Parıltı ölçümlerinde en fazla armatür geliştirilirken, kullanılacak olan yansıtıcı kalitesi ve teknik özelliklerinin araştırılmasında kullanılmaktadır. Aydınlık düzeyi ölçmelerinde iç aydınlatmalarda yapılan hesaplamaların ve iç aydınlatma ölçümlerinde değerlendirilmede ölçüt olmaktadır (İnt. Kyn. 14).

a. Aydınlık düzeyi ölçümleri

Görme olayının gerçekleşmesi sağlamakta olan temel etkenlerden birisi, birim yüzeye düşmekte olan ışık akısı olarak tanımlanmakta olan aydınlık düzeyidir. Çok fazla aydınlık düzeyi ölçüm teknikleri bulunmaktadır. En fazla kullanılanı ise yatay düzlem üzerinde aydınlık düzeyi değerinin Resim 2. 1.' de görülen aydınlık ölçer yani lüksmetre cihazıyla ölçülmesidir. Bu cihazlar elde taşınabilir cihazlar olup ve çok pahalı değildirler (Kocabay 2008).



Resim 2. 1 Örnekle bir lüksmetre cihazının ön ve arka görüntüsü.

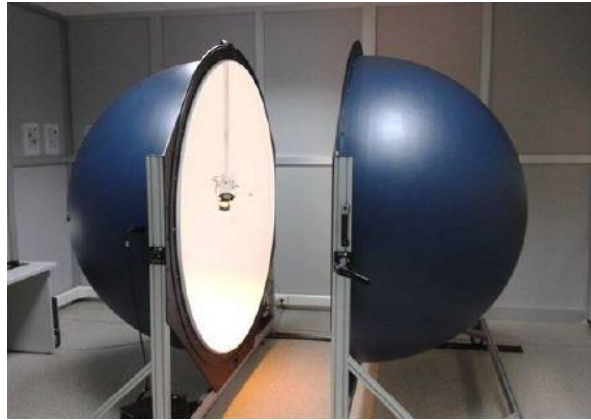
Ayrıca ortamda çalışma düzleminde aydınlık seviyesi ölçümleri yanında bu ölçümlerin özel bir tipi olan gonyofotometrik ölçümlerde rastlanmaktadır. Resim 2. 2' deki

gonyofotometreyle armatür ışık şiddetinin ortamda nasıl yayıldığını gösterecek olan ışık şiddeti dağılım eğrisiyle ölçülmektedir. Gonyofotometrenin üzerinde armatürle birlikte hareket etmekte olan bir foto pili bulunmaktadır. Gonyofotometrik ölçümler sonucunda elde edilen değerler, incelenecek olan armatürün kullanılmakta olduğu ortamlarda aydınlık düzeyi hesaplama değerlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır (İnt. Kyn.15, İnt. Kyn. 16).



Resim 2. 2 Gonyometre cihazı görüntüsü.

Gonyofotometrik ölçümünden sağlanan verilerin aydınlatma hesaplamalarında kullanılabilmesi için ölçüm aşamasında kullanılacak olan lambanın verdiği ışık akısı değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun içinde gonyofotometrik ölçmeye alınan lambanın 100 saat çalıştırılarak Resim 2. 3' deki Ulbricht Küresiyle etrafa ne miktarda ışık akısı yaydığının belirlenmesi gerekmektedir (İnt. Kyn. 17, İnt. Kyn. 18).



Resim 2. 3 Ulbricht küre görüntüsü.

Ulbricht Küresi, iç kısmına yerleştirilen bir ışık kaynağından dağılan tüm ışık akılarını birleştiren ve beyaz renk iç yüzeyine sahip bir küredir. Fakat tüm şartlar sağlanıyorsa küre yüzeyinde aydınlık seviyesi dağılan toplam ışık akısı ile orantılıdır. Ulbricht Küresiyle fotometrik ışık dağılımı değerine ihtiyaç olmaksızın ışık çıktılarını ölçmek mümkün olmaktadır. Ayrıca Ulbricht küresi bir ışık dağılımını ölçmekte olan fotometreden daha ufak bir çalışma hacmi gerektirmektedir. Ulbricht küre iç yüzeyinin ρ yansıtma katsayısı değerine sahip olduğu onaylanmaktadır. Ulbricht küresi, ışık akısı ölçümünde kullanılan en güvenilir ve en uygun ölçüm yöntemidir (Kocabey 1999).

Gonyofotometrik ölçümler, bir armatür hangi tarafa ne kadar ışık akısı göndermekte olduğunun grafiksel olarak görülebilmesi için kullanılmaktadır. Bir aydınlatma projesi planlanırken konulacak armatürlerin yaygın olan seçiminde grafiksel belirleme imkanı sağlayarak, armatürlerin seçimini kolaylaştırmaktadır (Özkaya 2004).

b) Parıltı ölçümleri

Parıltı ölçümleri, bir ışık kaynağından yüzeye düşen ışık akısının değerinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Algılanabilmekte olan tek fotometrik büyüklük parıltıdır. Parıltısı ölçülecek olan nesne birincil ışık kaynağı olan lamba olabildiği gibi ikincil ışık kaynağı yani üzerine düşen ışığı yansıtmakta olan veya geçirilerek çevresine ışık dağıtmakta olan bir nesne ya da yüzeyde olabilmektedir. Parıltı ölçümleri sonucunda bulunan veriler iç ve dış ortam aydınlatma tasarımında kullanıldığı gibi görme alanı içindeki parıltıların dengelenmesinde ve belirli sınırlarda tutulması gereken alanlarda da kullanılmaktadır. Belli bir noktadaki parıltı değeri, bu noktayıda içine alan yüzey parçasına verilmiş doğrultudaki ışık şiddeti, bu yüzey parçasının alanına bölümü ile hesaplanabilmektedir. Parlaklık ölçümleri, uzaklıktan bağımsızdır. Yani mesafe arttıkça ölçülen parıltı (cd/m^2) değeri değişmeyecektir (İnt.Kyn.19, İnt. Kyn. 20).

Parıltı değerinin doğrudan ölçülmesinde Lüminans metre yani parıltı ölçer kullanılmaktadır. Belirli bir alandan gelen ışığı ölçmek için kullanılmaktadırlar. Yol aydınlatmasında yol yüzeyindeki parıltı değerlerinin ölçülmesinde parıltı ölçer kullanılmaktadır. Resim 2. 4' de görülen parıltı ölçerin farklı markaları ve çeşitleride bulunmaktadır (Kocabey 2008, İnt. Kyn.21).

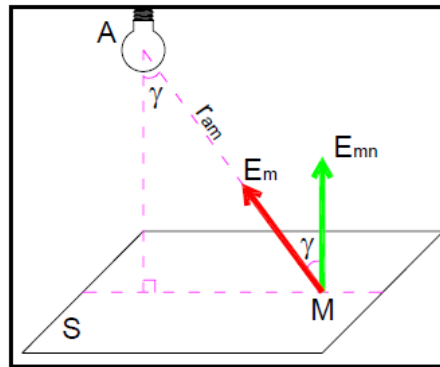


Resim 2. 4 Luminans metre (Parıltı ölçer) görüntüsü (İnt. Kyn.22).

2.4 Aydınlatmada Fotometrik Yasalar

2.4.1 Kosinüs Yasası

Bir ışık demeti içinde bulunan bir S yüzeyindeki aydınlık düzeyi, ışık akısı değerinin yüzeye geliş açısı olan γ değerine bağlı olarak değişecektir. Işık akısının sabit olduğu varsayılırsa yüzeydeki aydınlık şiddetinin değişimi yalnızca ışık akısı ile yüzey arasındaki açıya bağlı olacaktır. Yani Şekil 2. 21'deki yüzeyden geçen aydınlık düzeyi olan E_{mn} ışığın normal çizgisinden yüzeye doğru ölçülen geliş açısı γ 'nın kosinüsüne bağlıdır. E_{mn} yüzeyin normali doğrultusundaki aydınlık düzeyi formül (2. 17)' ile ifade edilmektedir. Buna kosinüs yasası denilmektedir (Taylor 2000).



Şekil 2. 21 Bir S yüzeyinde bulunan bir M noktasında yatay aydınlık düzeyinin hesabı.

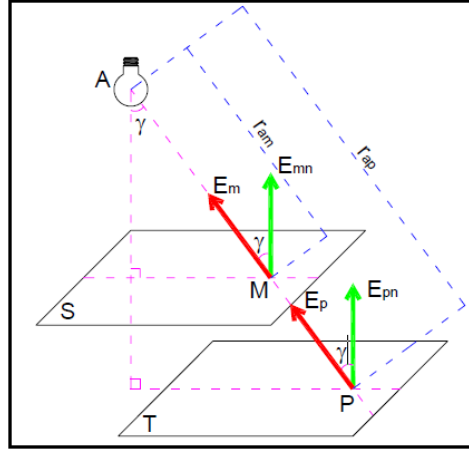
Bir ışık demeti içinde bulunan bir S yüzeyinin aydınlık düzeyi E_{mn} , yüzeyin normaliyle ışık demeti arasındaki açı γ ise;

$$E_{mn} = E_m \cdot \cos\gamma \quad (2.17)$$

denklem(2.17) şeklinde hesaplanır(Ongun 2007, Toylar 2000).

2.4.2 Uzaklıklar Karesiyle Ters Orantı Yasası

Noktasal olan bir ışık kaynağı, Şekil 2.22’de görüldüğü gibi herhangi bir γ doğrultusunda I_γ ışık şiddeti oluşturduğunda, bu doğrultuya dik düzlemlerde bulunmakta olan aydınlık düzeyleri düzlemlerin kaynağa olan uzaklıkların karesiyle ters orantılı olacaktır. Buna uzaklığın karesiyle ters orantı yasası denilmektedir.



Şekil 2. 22 Birbirine paralel olan farklı düzlemdeki yatay aydınlık düzeylerinin hesabı.

$$\frac{E_{mn}}{E_{pn}} = \frac{(r_{ap})^2}{(r_{am})^2} \quad (2.18)$$

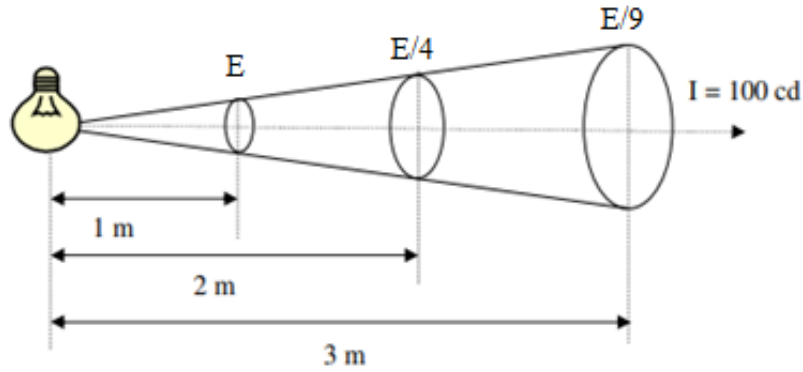
Denklem (2.18) ‘den aydınlatma hesabında çok kullanılan noktasal aydınlatma denklemi (2.19)’ u aşağıdaki gibi yazabiliriz (Onaygil 2008, Taylor 2000).

$$E_{pn} = \frac{I_\gamma}{(r_{ap})^2} \cdot \cos\gamma \quad (2.19)$$

Işığın geldiği doğrultuya dik düzlem üzerinde bulunan bir noktanın aydınlık düzeyi, bu nokta doğrultusunda bulunan ışık şiddetinin, icelenen nokta ile noktasal ışık kaynağı arasındaki mesafenin karesine bölünmesine eşittir. Uzaklık değeri d ile gösterilmekte olup, ışığın geliş doğrultusuna bulunan dik düzlem üzerindeki P noktasındaki aydınlık düzeyi;

$$E_p = \frac{I}{d^2} \quad (2.20)$$

denklem (2.20) şeklinde bulunacaktır (Taş 2013).

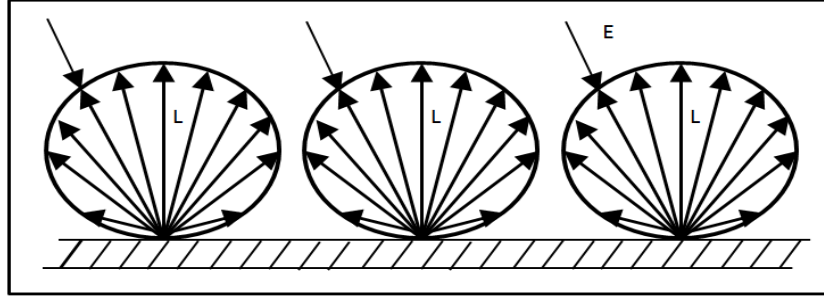


Şekil 2. 23 Uzaklığın karesi ile ters orantı yasasının gösterimi.

Şekil 2. 23’deki çizimle gösterilmekte olan bu bağıntıya “uzaklıkların karesi ile ters orantı yasası” denilmektedir. Noktasal olan kaynaklarda geçerlidir. Bir ışık kaynağı, yeterli oranda büyük olan bir uzaklıktan bakıldığında noktasal kabul edilebilmektedir. Fotometrik ölçmelerde, sınır uzaklığı %1’den ufak olan hata değeriyle ışık kaynağının en büyük boyutunun yaklaşık 10 katı ve %1 ila %2 hata ile de 5 katı kadardır. Ancak uygulamadaysa ışık kaynağıyla hesap noktası arasında bulunan uzaklıkla, ışık kaynağının en büyük boyutundan 3 kat daha büyük olduğunda konu olan kaynak noktasal kabul edilmektedir (Onaygil 2008).

2.4.3 Lambert Yasası:

Lambert yasasına göre, ışık yaymakta olan bir yüzeyin parıltısı, her yönde de sabit değerde ise bu yüzeye ışık yayan yüzey ya da ideal dağıtıcı olan yüzey denilmektedir. Işık yaymakta olan yüzeyin parıltısı L_γ eşittir L olup sabittir. Şekil 2.24' de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. 24 İdeal dağıtıcı ve yansıtıcılar.

Cisim Lambert yasasına uygun olarak ışık yaymaktaysa eğer bu cisim mat görünümlüdür. Siyah cisimler, opal camlar, badanalar ve bu gibi benzerileri ideal dağıtıcı kabul edilmektedir. Lambert yasasına uygun ışık yaymakta olan düzlemler ve cisimlerde;

$$\Phi = \pi \cdot L \cdot S. \quad (2.21)$$

dir. Bu denklem (2.21)' deki Φ değeri, cisim veya düzlemden yayılan toplam ışık akısını (lm) cinsinden, L ise Lambert yasasına göre ışık yaymakta olan yüzeyin sabit olan parıltısını (cd/m^2) cinsinden ve S de cismin ya da düzlemin yüzey alanı m^2 cinsinden ifade edilebilmektedir (Özkaya 2004).

İdeal olan dağıtıcı bir yüzeyde aydınlık düzeyi $E = \frac{\Phi}{S}$ ve yansıma faktörü ρ biliniirse, parıltı L aşağıdaki denklem (2.22) ile hesaplanmaktadır.

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (2.22)$$

Bu eşitlik değeri sırf ideal dağıtıcı yüzeylerde kullanılmaktadır.

2.4.4 Uzay Açı İz Düşüm Yasası:

Belirli bir ışık akısının içinden geçtiği piramit veya koni şeklinde olan uzay parçasına uzay açısı denilmekte olup Ω ile gösterilmektedir. Uzay açısı izdüşümü ise uzay açısının aydınlatılan düzlemdeki iz düşümüdür ve $d\Omega$ ile gösterilir.

Lambert yasasına göre ışık yayılmakta olan bir S yüzeyinin, çalışma düzleminin bir P noktasının normali ile yaptığı açı γ olduğunda aydınlık düzeyi, uzay açısının izdüşümü:

$$dE = \frac{dI_{\epsilon}}{r^2} \cdot \cos\gamma \quad (2.23)$$

$$dI_{\epsilon} = L \cdot dS_n = L \cdot dS \cdot S \cdot \cos\epsilon \quad (2.24)$$

$$dE = (L \cdot dS \cdot \cos\epsilon \cdot \cos\alpha) r^2 \quad (2.25)$$

Uzay açısı tanımından;

$$d\Omega = \frac{(dS \cdot \cos\epsilon)}{r^2} \quad (2.26)$$

$$dE = L \cdot \cos\alpha \cdot d\Omega \quad (2.27)$$

denklem (2.27) şeklinde bulunur. Buradaki $\cos\alpha \cdot d\Omega$ ise uzay açısının aydınlatılan çalışma düzleminde iz düşümü olup ‘uzay açısı izdüşümü’ adını alır ve $d\Omega$ ile gösterilmektedir. Bu çalışma düzlemindeki bulunan aydınlık düzeyi;

$$E = \int dE = \int L \cdot d\Omega \quad (2.28)$$

denklem (2.28) şeklinde olup bu bağıntıya ‘Uzay açısı izdüşüm yasası’ denilmektedir.

2.5 Aydınlatma ve Türleri

Günümüzde insanların en önemli ihtiyaçlarından birisi aydınlatmadır. Aydınlatma, insanların yaşam ya da iş alanlarında gerekli olan aydınlık düzeyi değerinin sağlanması gerekmektedir. CIE tarafından aydınlatmaysa, “çevrenin ve nesnelerin yeteri gibi görülmesini sağlamak maksadıyla ışık uygulamak” şeklinde ifade edilmektedir (Görgülü 2010). Dünyada teknolojik alandaki gelişmeler gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle bilim alanında, sanayi alanının da olduğu gibi teknoloji alanında da önemli birçok gelişmeler olmaktadır. Bu gelişmelerle birlikte aydınlatmaya olan gereksinim daha fazla artmaktadır. İyi tasarlanmamış aydınlatma sistemleri toplumda birçok sorunların sebebi olmaktadır (Jin vd.2015, Dursun vd.2021, Pracki 2011). Aydınlatmadaki amaç, ortamda kullanımına uygun belli bir aydınlatma seviyesi elde etmekle birlikte görme koşullarını da iyileştirilmesi gerekmektedir (Özkaya 2004). Aydınlatma da enerji tasarrufu lambayı söndürerek değil, gözün görme yeteneğiyle birlikte görsel konforunda uygun düzeyde aydınlık şiddetlerinin elde edilmesiyle sağlanabilmektedir. Böylece hem insanın göz, ruh, fizik, estetik ve motivasyon birlikteliği sağlanmış hem de verimli bir çalışma ortamı oluşturulmuş olacaktır (Kocabey 2004).

2.5.1 Işık Kaynağına Göre Yapılan Aydınlatmalar

-Doğal aydınlatma

Gün ışığıyla yapılarda bulunan kapı ve pencere boşlukları kullanılarak görsel konforun sağlanmasına doğal aydınlatma denir (Özkaya 2004). Yapılarda doğal aydınlatma yapılarak konforlu ve verimli bir çalışma ortamları oluşturulmaktadır. İyi tasarlanmış olan doğal aydınlatma, bina sakinlerinin sağlığını ve aktivitelerini destekleyeceği gibi, binanın enerji sarfiyatını azaltacağından ısıtmada-soğutmada yüklerinin dengelenmesini de sağlayacaktır (Küçükdoğu 2005). Gün boyunca elektrikle aydınlatmaya gerek olmadığından elektrik enerjisinden tasarruf yapıldığı gibi çevreye salınmakta olan zararlı atıkların neden olduğu asit yağmurlarında, hava kirliliğinde ve küresel ısınma da bu

sayede engellenmiş olmaktadır (Leslie 2003, Capelute 2003). Aydınlatma tesisatı uygulamaları yapılırken doğal ışık kaynaklarıyla birlikte mimari yapının proje çiziminde göz önünde bulundurularak ve projelerin bu bağlamda oluşturulması gerekmektedir.

-Yapay aydınlatma

Yapay aydınlatma, gün ışığı dışında yapay ışık kaynaklarının kullanılarak görsel konfor gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmış aydınlatma sistemleridir. Yapay ışık kaynakları kontrol edilebilir olduğundan görsel algı en iyi şekilde sağlanabilmektedir (İnt. Kyn. 20). Gün ışığının yetersiz olduğu noktalarda kullanılan yapay ışık, birçok sorunun çözümü olabilmektedir. Yapay aydınlatmanın sağlıklı bir biçimde uygulanması için aydınlık düzeyi ve dağılımının iyi olması gerekmektedir. Yapay aydınlatma yöntemi doğal aydınlatmaya göre aydınlatma projesini hazırlayan kişinin uygun tasarım yapabilmesine daha fazla olanak sağlayabilmektedir (Özlu 2008).

-Bütünleşik aydınlatma

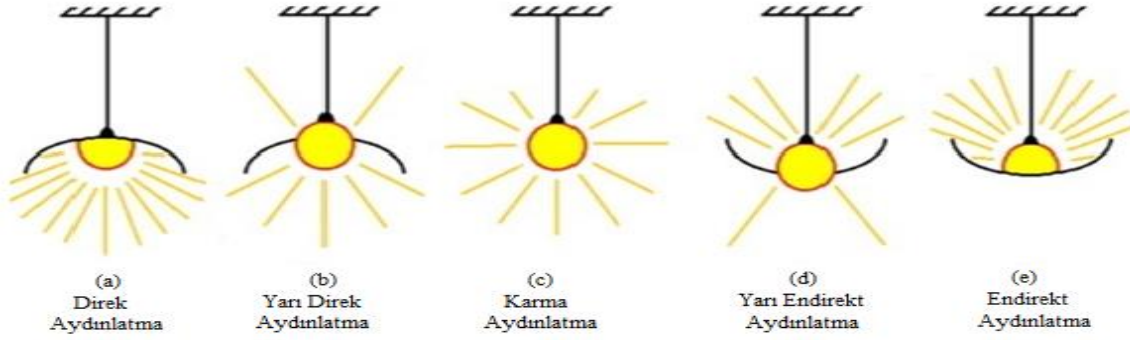
Görüntüsül konforu sağlamada gün ışığının yetersiz olduğu durumlarda destekleyecek yapay ışık kaynağı kullanılarak yapılan aydınlatmaya bütünleşik aydınlatma denir Doğal aydınlatma ile birlikte yapay aydınlatmanında kullanıldığı aydınlatma türüdür (İnt. Kyn. 22).

2.5.2 Aydınlatılan Yere Göre Yapılan Aydınlatmalar

İç aydınlatma

Bina veya büyük yapıların içinde bulunan kapalı alanların aydınlatılmasıdır. Bu aydınlatmada tavana ve duvarlara ışık yansıtılarak veya çalışma düzlemine ışık gönderilerek çalışma düzlemi aydınlatılmak suretiyle katkıda bulunmaktadır (İnt. Kyn. 23). Konut, işyeri, okullarda, hastanede, camii, fabrikalar, sinemalarda, tiyatrolarda, açık ve kapalı planlanmış olan iş ortamlarının aydınlatması bu aydınlatma sınıfına girmektedir. İç aydınlatmada ışık dağılımı: aşağı, yukarı ve çok yönlü olmak üzere üç yönde yapılabilmektedir (Özlu 2008). İç aydınlatmayı Şekil 2.25'deki gibi ışığın aydınlık

düzeyi dağılımına göre beş grupta incelemek mümkündür (Goordon 2003, Şahin 2015).



Şekil 2. 25 İç aydınlatmada ışığın aydınlatma düzeyine göre aydınlatma çeşitleri **a)** Direk aydınlatma **b)** Yarı direk aydınlatma **c)** Karma aydınlatma **d)** Yarı endirek aydınlatma **e)** Endirek aydınlatma.

- *Direk Aydınlatma:* Aydınlatılacak düzleme ışığın %90'ı ile %100'ü oranında, aydınlatılacak düzleme doğrudan yollandığı aydınlatmadır. Bu aydınlatmalarda keskin sınırlar ve sert gölgeler vardır. Spotlar örnek verilebilir.

- *Yarı Direkt Aydınlatma:* Işığın belli bir oranı olan %60'ı ile %90'ının direkt olarak, kalanında farklı noktalara yansıtıldığı aydınlatma şeklidir. Tavan aydınlatmaları en iyi örnektir (Şahin 2014)

- *Karma Aydınlatma:* Işığın belli bir oranı olan %40'ı ile %60'ı arasında kalan kısmının aydınlatılacak olan düzleme yollanmasıyla yapılan aydınlatma şeklidir. Karma aydınlatmalarda tavan ve duvar yansıtıcıları örnek olarak verilebilir (Yapar 2007)

- *Endirekt Aydınlatma:* Işığın belli bir oranı olan %0 ya da %10' unun aşağıya geri kalanının tavana gönderildiği aydınlatmadır. Yüzey yansıtma faktörünün yüksek olduğu mekanlar da daha çok tercih edilmektedir. Tavan rengiyle ve duvar renkleri bu aydınlatma tipinde çok önemli bir değere sahiptir (Dursun 2005).

- *Yarı Endirekt Aydınlatma:* Aydınlatmanın belli bir oranı olan ışığın %10'u ile %40'lık bölümünü mekâna, geriye kalan kısmının da tavana yönlendirilmesiyle oluşan aydınlatma şeklidir. Burada amaç kullanıcılar tarafından istenen loş ve huzur verici olan bir ortamın temin edilmesidir (Şahin 2014).

Dış aydınlatma

Şehirlerde yapıların dışında kalan bütün açık mekân olan park, bahçe, sokak, yol, spor sahası, havaalanı, tünel gar ve benzeri gibi açık alanların aydınlatmasına dış aydınlatma denir. Aydınlatılacak alanlar genellikle ışık kaynaklarından gelen direkt ışıklarla aydınlatılmaktadır. İç mekân aydınlatmasında olduğu gibi duvarlarla ve tavanlarla sınırlanmış olan bir ortam bulunmadığından dış aydınlatma tekniğinde farklar bulunmaktadır (Onuk 2008).

Meydanların, caddelerin veya sokaklarında aydınlatılması işinde kullanılacak olan gereçlerle birlikte direkler ya da gergi tellerine montaj edilebilmektedirler. Bunların aydınlatmanın yer yüzeyine eşit olarak dağılımının sağlanabilmesi için yeter yükseklikte ve aralıklarda yerleştirilmeleri gerekmektedir. Değerlerin belirlenmesinde kullanılacak olan ışık kaynaklarıyla ve aydınlatma gereçlerinin türüne bağlı olarak değerler olacaktır. Dış aydınlatmasında hesaplamalar genellikle noktasal aydınlatma hesabı yapılarak uygulanmaktadır. Aydınlatma elemanının yolun en uzak mesafedeki bir noktasına ulaştırdığı ışık ışını ile sağladığı şiddeti, standartlardan az olmaması gerekmektedir. Bu değerlerin hesaplanmasında ilk olarak yol yüzeyi üstündeki bu noktanın ışık kaynağıyla dik eksen arasında yaptığı açı bulunmaktadır. Aydınlatma elemanının ışık eğrisinin bu açıdaki ışık şiddeti (I) değeri alınarak hesaplama yapılmaktadır. Aşağıdaki Resim 2. 5' de bir köprü aydınlatması görülmektedir (İnt. Kyn.24).



Resim 2. 5 Dış aydınlatmaya örnek bir köprü görüntüsü.

2.5.3 Amacı Bakımından aydınlatmalar

Kullanım amacı yönünden aydınlatmalar fizyolojik aydınlatma, dekoratif olan aydınlatma ve dikkat çekici aydınlatma olarak üç ana başlıkta incelenmektedir (Kocabey 2008, İnt. Kyn. 24).

-Fizyolojik Aydınlatma: Bu aydınlatma türünde amacı, nesnelere şekil olarak, renk olarak ve ayrıntıları ile birlikte daha rahat ayırt ederek ve daha hızla görebilmeyi sağlamaktır. Bu şartları sağlamak için yapılmış olan aydınlatmaya Fizyolojik Aydınlatma denilmektedir. Genellikle renkli olan ışıklar, değişken şekilli ışıklar ya da yanıp daha sonra sönen düzenler kullanılarak yapılmaktadır. Kamaşma kesinlikle olmamalıdır (Özkaya 2004).

Dekoratif Aydınlatma: Fark edilmesi istenen cisimleri bütün ayrıntılarıyla birlikte göstermek için değil, daha estetik olan etkiler uyandırmak için yapılan aydınlatmadır. Işık ile nesnelere kombinasyon yapılması gerekmektedir.

Dikkati Çekici Aydınlatma: Buradaki gaye, dikkat çekerek reklam yapmaktır. Genelde yüksek aydınlık düzeylerine sahip olan renkli ışıklar, değişken şekilli ışıklarla ve yanıp sönen düzenler kullanılmaktadır. En çokta mağazaların vitrinleri, fuarlar ve sergileme işinin ana unsur olduğu alanlarda reklamı yapmak amacıyla kullanılmaktadır.

2.5.4 İyi Bir Aydınlatmanın Sağlayacağı Faydalar

İnsanların çevrelerinde olup bitenleri görme ile algılamatadırlar. Görme olayı, renkli ve ışık uyarıcıları ile oluşmaktadır. İyi bir aydınlatmadan, gözün görme yetisinin artırılmakta ve mekân da bulunmakta olan nesnelere doğru olarak algılanmasını sağlaması beklenir (Çetin 2003). Aydınlatma projeleri hazırlanırken, bir ortamda en fazla ne kadar ışığa ihtiyaç bulunmakta ise o kadar ışık kullanılması gerekir (Kürkçü 2013). Böyle bir aydınlatmayla gözün daha fazla gereksiz yere yorulması önleneceğinden böylece sağlık problemleri de olmayacaktır. Ayrıca göz fazla yorulmadığından işdeki hızı ve verimide artacaktır. Aydınlatma olayının doğru yapılmaması, göz sağlığıyla birlikte psikolojik

bozuklukların da oluşmasına neden olmaktadır. İyi aydınlatma yapıldığında psikolojik olan olumsuzluklarında oluşmasının önüne geçecektir. Aydınlatmada yapılan hatalar psikolojide olumsuz etkilere, iş veriminide düşürmektedir. Uygun bir aydınlatma ile görme sağlanarak meydana gelebilecek kazalarında önüne geçilmiş olunacaktır.

Aydınlatmanın amacıysa, belli değerde bir aydınlık düzeyi elde edildiğinde değil, iyi görme koşullarının sağlanmasıyla olmaktadır (Sirel 1991). Aydınlatma tesisatları tek bir parçadan oluşmamaktadır. Aydınlatmanın iyi olabilmesi için birden çok bileşeninde bir araya gelmesi lazımdır. İyi yapılan bir aydınlatma insanlara konforlu bir yaşam standardı sunmaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı aydınlatma tesisat projeleri hazırlanırken önemli olan sadece ışıklandırma yapmak olmamalı, aydınlatılacak alanlar daha iyi analiz edilip ortama en aydınlatmayı dizayn edebilmektir (Kocabay 2008).

Aydınlatma ergonomik yönden incelendiğinde ilk olarak yapının mimari şekli ve işlevsel özellikleri incelenerek ortam için en uygun aydınlık seviyesi değerleri belirlenmelidir. Bu tespit işlemleri gerçekleştirilirken komşu mekânlarında aydınlık düzeyleri ve mekânsal geçişlerinde bulunan aydınlık düzeyindeki farklarında göz önünde bulundurulmalıdır. Bu işlemlerden sonra gerekli olan aydınlık düzeyi için aydınlatma elemanlarının seçimi yapılmalıdır. Çalışma alanındaki düzlemlerin yüksekliği ve seçilecek olan ışık kaynaklarının renksel endeksine dikkat edilmelidir. Uygun olan aydınlatma sistemleri için, aydınlatma hesabı yapıp, lamba sayısı ona göre ayarlanmalıdır (Şahin 2010).

2.6 Yol Aydınlatma Hesabı ve Düzenleri

2.6.1 Yol Aydınlatmasında Bilinmesi Gerekli Değişkenler

Yol aydınlatma hesabı yapılırken bazı değişken değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu değişkenler aşağıdaki gibidir (Onaygil 2008).

Aydınlatma düzenine ilişkin bilgiler

- Armatürlerin yola yerleştirilme düzeni (Çift taraflı düzen v.b.)
- Armatürler direkleri arası mesafe (m)
- Direk yüksekliği (m)

- Armatür Konsol boyu (m)
- Armatür Konsol eğim açısı
- Armatür direğinin yol kenarına uzaklığı(m)

Armatürlere ilişkin bilgiler

- Kullanılan armatürün ışık akısı
- Armatürün bakım- eskime faktörü
- Armatüre ait ışık dağılım tablosu
- Armatüre ait eğim açısı

Yola ilişkin bilgiler

- Yolun genişliği (m)
- Yolda bulunan şerit sayısı
- Her bir şeridin genişliği
- Refüj varsa genişliği
- Dönemeç varsa yolun eğrilik yarıçapı
- Yol yüzeyine ait yansıtma tablosu

2.6.2 Yol Aydınlatmasında kullanılan değişkenler

Aydınlık düzeyi ve parıltı olmak üzere iki değişken bulunmaktadır. Aydınlık seviyesi parametreleri, ortalama aydınlık seviyesi, minimal aydınlık seviyesi, maksimal aydınlık seviyesi, ortalama aydınlık seviyesi düzgünlüğü, boyuna aydınlık seviyesi düzgünlüğü ve çevreleme oranıdır. Parıltı düzeyiyle ilgili değişkenler ortalama parıltı düzeyi, ortalama parıltı düzgünlüğü, boyuna parıltı düzeyi düzgünlüğü ve bağıl eşik artışıdır (Onaygil ve Güler 2005).

Günümüzde bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de aydınlatma kalitesinde yol yüzeyi parıltısı esas alınmaktadır. Çünkü yol da sürücülerin görme konforunun sağlanması yol yüzeyinde düzgün bir parıltı dağılımının sağlanması ile mümkün olabilmektedir. Parıltı metodunda amaçlanan yol üstündeki cisimlerin karartılı

görülmesini engelleyerek aydınlık bir yol yüzeyi oluşturmaktır. Ayrıca eğer parıltı, gözün görme alanında çok büyük değerler alacak olursa oluşan kamaşma sonucu göz etrafını göremeyeceğinden kazaya sebebiyet verecektir. Bundan dolayı, yol yüzeyinin parıltısının düzeyi ve düzgünlüğüyle beraber kamaşma denetimide önemlidir. Fakat dikkate alınacak diğer önemli yol aydınlatma kriteriyse çevreleme oranı olup aydınlık seviyesiyle ilgilidir. Bu araştırmada parıltı metoduna göre hesap yapılırken dikkat edilmesi gereken parıltı esasına dayalı kalite kriterleri incelenmiştir. Ayrıca CIE 140-2000’ de “Yol Aydınlatması Hesapları” yayınında yol aydınlatmasında kriter kabul edilen büyüklükleriyle hesap metodları belirlenmiştir (Anonim 1995, Onaygil ve Güler 2005).

a) Ortalama Parıltı Düzeyi (L_{ort})

Ortalama Parıltı düzeyi L_{ort} ile gösterilmekte olup birimi cd/m^2 dir. İki direk arasında kalan ölçüm alanında, gözlemci tarafından ölçüm noktalarında ölçülen parıltı değerlerinin toplamının, ölçülen nokta sayısına bölümü ile elde edilmektedir. Bir iki şeritli bir yolda parıltı ölçüm alanı Şekil 3. 3’de görüldüğü gibidir (Anonim1 2000, İnt. Kyn. 25) .

Yol üzerindeki parıltı değerleri her bir gözlemci için değiştiğinden her gözlemci için ayrı hesap edilmelidir. Sadece gözlemcini kendi şeridindeki hesap noktaları değil, yolun tamamı için hesaplanmalıdır. Her bir şeritteki gözlemci için ortalama parıltı değerleri de ayrı ayrı hesaplanmalıdır (Ongun 2007).

b) Ortalama Parıltı Düzgünlüğü (U_0)

Ortalama parıltı düzgünlüğü U_0 ile gösterilir. Ölçüm alanındaki her bir gözlemci için ayrı hesaplanmaktadır. Bir gözlemciye göre tüm hesap alanındaki en düşük parıltı değerinin, aynı gözlemciye göre hesaplanmış olan ortalama parıltı değerine bölümü ile denklem (2.29)’ daki gibi hesaplanmaktadır. Birimsiz bir büyüklüktür (Anonim 2010, Onaygil 2005).

$$U_0 = \frac{L_{min.}}{L_{ort.}} \quad (2.29)$$

Tüm seritin ortasında bulunan bütün gözlemciler için tek tek hesap edilip en ufak değer alınmaktadır. Örneğin, iki şeritli bir yolda 1. Şeritte 1. Gözlemcinin, 2. Şeritte 2. Gözlemci düşünürsek;

1. Gözlemci için, ortalama parıltı L_{ort1} , minimum parıltı değeri L_{min1} ise ortalama parıltı düzgünlüğü;

$$U_{01} = \frac{L_{min1}}{L_{ort1}} \quad (2.30)$$

2. Gözlemci için, ortalama parıltı L_{ort2} , minimum parıltı değeri L_{min2} ise, ortalama parıltı düzgünlüğü;

$$U_{02} = \frac{L_{min2}}{L_{ort2}} \quad (2.31)$$

olarak yazılabilir. Ortalama parıltı düzgünlüğü, görüş konforu ile alakalı olup sürücü üzerinde psikolojik etkilere sahiptir. Bu sebeple, değeri ne kadar yüksek ise o oranda makbuldür (Anonimous 2010, Anonim 1995).

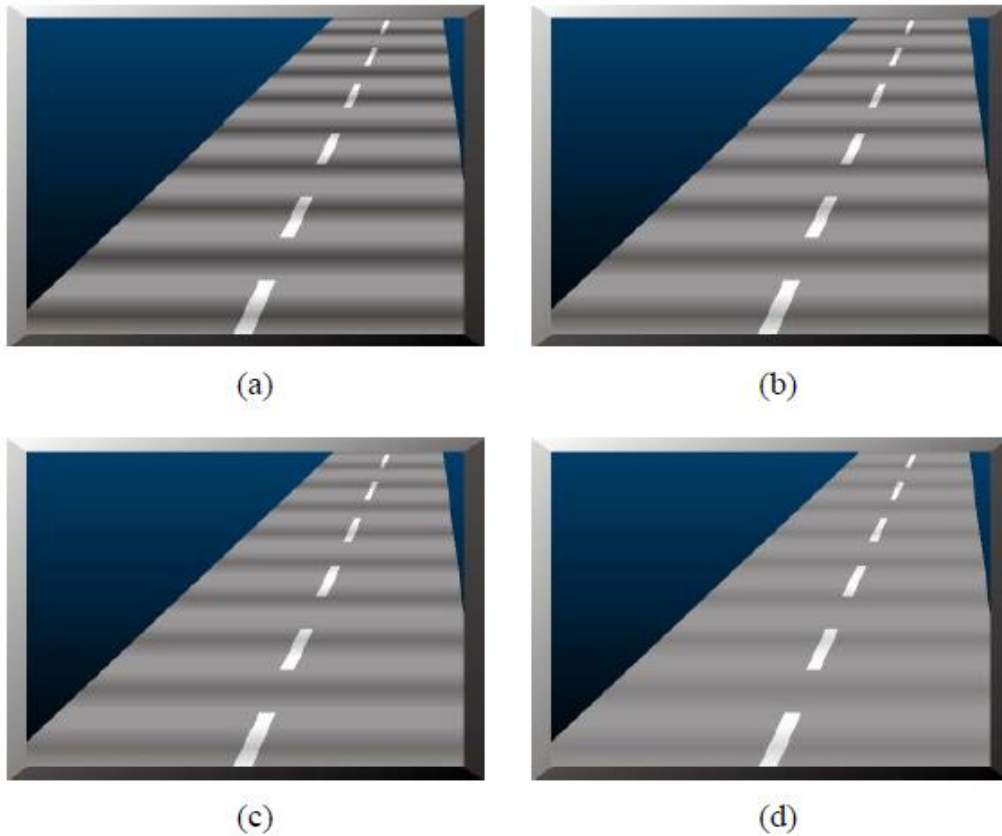
c) Boyuna parıltı düzgünlüğü (U_l)

Boyuna parıltı düzgünlüğü U_l ile gösterilmekte olup her bir gözlemci için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Fakat bütün hesap alanı değil tek gözlemcinin bulunduğu şerit dikkate alınarak yapılmaktadır. Şeridin orta çizgisinde üstünde bulunan en düşük parıltı değerinin, şeridin orta çizgisi boyunca bulunan en yüksek parıltı değerine oranı olan denklem 2.32 ile hesaplanır (Anonim 2010).

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} \quad (2.32)$$

Görsel konfor açısından yoğun trafik akışının olduğu yollarda aydınlık ve karanlık bölgeler sürücüler için oldukça rahatsız edici olabilmektedir. Trafik akışının yoğun olduğu yolların üzerindeki aydınlık ve karanlık bölgelerin bulunması “Zebra Etkisi” diye anılmaktadır. Yolda bulunan aydınlık ve karanlık noktaların yol yüzeyindeki minimal ve maksimal parlılıklar arasındaki farkın belirli bir değerin altında durmasıyla azaltılarak yok edilebilmektedir. Boyuna parlılık düzgünlüğü Şekil 2.26’ dan da anlaşılacağı gibi konforlu ve güvenli bir sürüş için gerekmektedir. Boyuna parlılık düzgünlüğü değeri ne kadar yüksek olursa o oranda iyidir. Düşük boyuna düzgünlük değerleri sürücülerini, periyodik aydınlık ve karanlık efektlerine maruz bıraktığından dolayı sinir bozuklukları gibi gözün görme kabiliyeti üzerine de bozucu etkiler olmaktadır (Demirdeş 1983, Onaygil 2005).

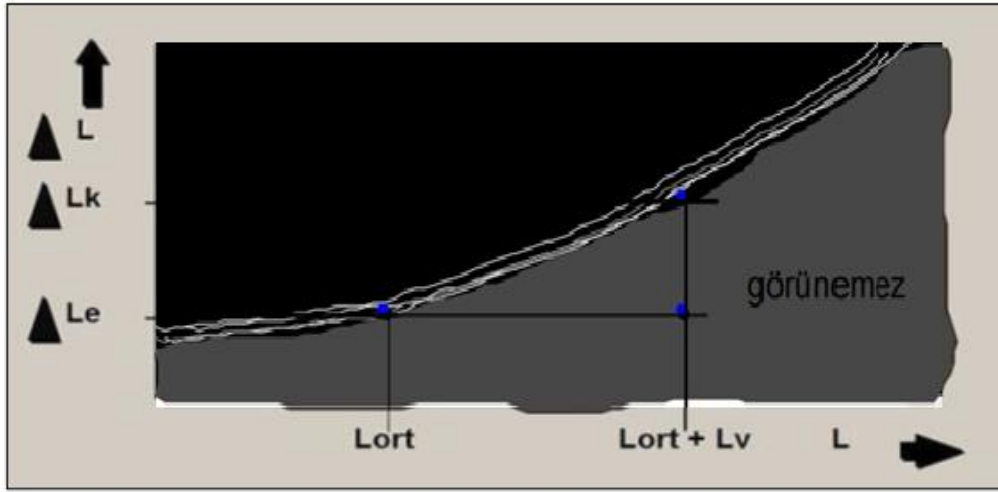
Görsel konforu temel kriterdir ve amacıysa yol yüzeyindeki tekrarlanan yüksek ve düşük parlılık değişimlerini önlemektir. Sadece bölünme yapılmamış düz yollar ile uzun yollarda uygulanmaktadır (Anonim1 2000)



Şekil 2. 26 Yol aydınlatmasında boyuna parlılık düzgünlük faktöründe zebra etkisinin incelenmesi durumu a) UI= 0,4 durumu b) UI= 0,5 durumu c) UI= 0,6 durumu d) 0,7 durumu için boyuna parlılık düzgünlüğünün yol üstündeki görüntüsü.

d) Bağıl eşik artışı (TI)

Bağıl eşik artışı TI ile gösterilmektedir. Sürücülerin görüş alanındaki armatürlerden kaynaklanan mutlak kamaşmanın neden olduğu görme zorluğunun bir ölçüsü olup yol güvenliği ile ilgili bir büyüklüktür. Yol aydınlatma bulunan armatürlerinden göze direk olarak gelen ışıklar kontrastı düşürür ve görmeyi zorlaştırır. Bu etkiye örtü parıltısı da denilmekte olup Şekil 2.27’de görüldüğü gibidir. Kamaştıran ışık kaynaklarının sebep olduğu örtü parıltısı nesnenin görünmesini azaltacaktır. (Onaygil 2006, Özkaya 1992).



Şekil 2. 27 Bağıl eşik artışı olan TI ve örtü parıltısının oluşumunun incelenmesi.

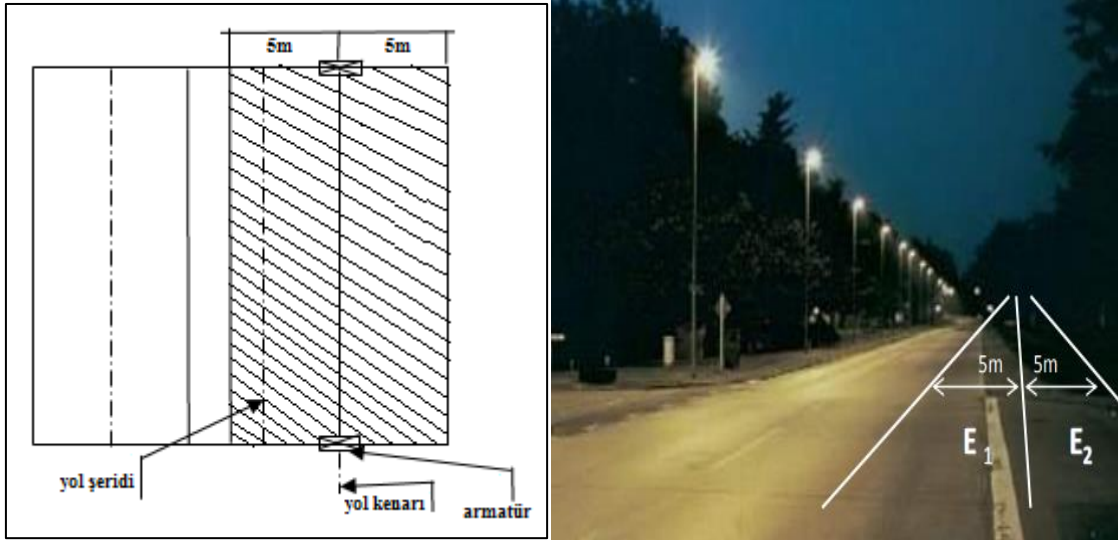
Kasma koşullarındaki parıltı eşiği olan L_K ile kasma olmadıdaki parıltı eşiği olan L_e 'in eşik farkının L_e 'ye oranı olarak ifade edilmektedir. Denklem (2.33) ile hesaplanmaktadır(Onaygil vd. 2005).

$$TI = \frac{\Delta L_K - \Delta L_e}{\Delta L_e} \quad (2.33)$$

Bu formülde kasma yokken görülen bir cismin, kasma olduğunda da görülebilmesi için parıltı farkındaki artış yüzdesini esas almaktadır (Anonim 2007).

e) Çevreleme Oranı (SR)

Çevre aydınlatma oranı SR ile gösterilmektedir. Yol üstündeki ve yol kenarlarında yüksek nesnelerin üst kısımları ancak yol etrafının aydınlık olmasıyla görülebilmektedir. Bu sebeple yol etrafının aydınlık seviyesi sürücünün etrafını iyi algılamasını sağlayarak hızı belirlemesini sağlamaktadır. Yollardaki ışık kaynaklarının, yol yüzeyini aydınlatırken aynı zamanda acil şeridinin ve kaldırımların da aydınlatması istenir. Bunun için tanımlanan parametre çevreleme oranıdır. Çevre aydınlatma oranı, yolun kaldırım tarafında bulunan 5m'lik kısımdaki ortalama aydınlık düzeyinin, yol diğer tarafında olan 5m'lik kısımda meydana gelen ortalama aydınlık düzeyine oranı ile hesap edilmektedir(Anonim 2007).



Şekil 2.28 Çevre aydınlatma oranının hesaplandığı alan.

$$SR = \frac{E_2}{E_1} \quad (2.34)$$

E1:Dışdaki ortalama aydınlık düzeyi,

E2:İçteki ortalama aydınlık düzeyi,

Şekil 2.28' de görülen şekle göre denklem (2.34) ile hesaplanmaktadır. SR>0,5 olması

istenmektedir.Özellikle virajlı yollarda, yolun üstünde, yol kenarlarında yüksek cismin üst kısımları ve yol kenarına yakın cisimlerde yolun yakın çevresidir. Bu yüzden yolun çevreside aydınlatılmalıdır. Yol çevresinin aydınlatılması, yol kenarındaki yayalarla cisimlerin görünme olasılığında arttırmaktadır. Yolun etrafına yönlendirilen ışık cisimlerin görülmesini sağlayacaktır. Çevre çok aydınlıksa bu oran kullanılmaz.(Onaygil 2016).

f) Görsel Kılavuzlama

Yollardaki armatürlerden sürücülerin gözüne direk gelmekte olan ışık, yolun hangi yöne gittiği, yolun katılma ve ayrılma noktaları vasıtasıyla sürücüye bilgi sağlayabilmektedir. Bu olgu görsel kılavuzlamadır.Doğru uygulandığında çok virajlı ve katılımlı olduğu yollarda, sisli havada yol güvenliğinin ve konforunun üstünde olumluda etkisi bulunmaktadır. Aktif görsel kılavuzlamada bölünmüş yol refüjden aydınlatılmalı ve virajlardaysa direklerle virajın dış tarafına yerleştirilmelidir.Bir yol aydınlatması projesi tasarlanırken görsel kılavuzlama önemli bir unsurdur. Etrafı açık olan ve gelişi ve dönüşü ayrı şekilde olan yollarda lambalar orta şeride yerleştirilmektedir. Dönemeçlerde ise direklerle dönemeçin dış tarafına yerleştirilmektedir. Şehirler arası anayollarda ve çıkış yollarında farklı renkte olan lambalar kullanılmalıdır. Görsel kılavuzlama sağlanırsa trafiği rahatlatan yol tasarlanmış olduğundan kazaların sayısının azalmasında fayda sağlanmış olacaktır.

2.6.3 Uluslararası Standartlar ve Yol Aydınlatması Kalite Kriterleri

Dış aydınlatmayla alakalı kurallar, HD 384 serisi, IEC 60364 serisi, EN 13201 ve serisi standartlara ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonu(CIE) yayınlarına göre belirlenmektedir. HD 384 serisi ve IEC 60364 serisi standartlarda dış aydınlatma tesislerinde elektrik güvenlikle ilgili kaideler, EN 13201 serisi standartlarında yol aydınlatma sınıflarıyla performans ve ölçme kaideleri bulunmaktadır. CIE 34, CIE 43, CIE 67, CIE 70 ve CIE 121 nolu yayınlardaysa fotometrik ölçme esaslar bulunmaktadır. CIE 115,CIE 23, CIE 31, CIE 93, CIE 112 ve CIE 140 nolu yayınlardaysa farklı yol aydınlatma ölçütleri belirlenirken uygulanacak kaideler ve esaslar bulunmaktadır. CIE

yayınları öneri meydana getirmek amaçlı bilirkişilerce gerçekleştirilmektedir. CIE yayınlarındaki kaideleri öneri niteliğinde olduğundan, her ülke kurallarını kendi ekonomisiyle, kültürel, iklimsel vb. koşullara göre uyarlaması gerekmektedir(Güler ve Onaygil 2007, Anonim 1995, Anonim1 2000, Anonim1 1996, Anonim2 1996, Anonim 1976, Anonim 1992, Anonim 1994, Anonim1 1979, Anonim 2003, Anonim 1977, Anonim 1986, Anonim 1987, Anonim2 1979, Anonim1 2006).Türkiye’ de yol aydınlatması tasarımında en çok kullanılan standartlar Çizelge 2. 4’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 2. 4 Türkiye’deki yol aydınlatmasında en çok kullanılan standartlar.

Standart No	Standart Adı
TSE CEN/ TR 13201- 1	Yol Aydınlatması Bölüm 1: Aydınlatma Sınıflarının Seçimi
TS EN 13201- 2	Yol Aydınlatması Bölüm 2: Performans özellikleri
TS EN 13201- 3	Yol Aydınlatması Bölüm 3: Performansın hesaplanması
TS EN 13201-4	Yol Aydınlatması Bölüm 4: Aydınlatma Performansını ölçme metotları
TS EN 13201-5	Yol Aydınlatma- Bölüm 5: Enerji performans göstergeleri
CIE 154: 2003	Dış aydınlatma sistemlerinin bakımı
CIE132: 1999	Yolların aydınlatılması için tasarım yöntemleri
CIE 144: 2001	Yol yüzeyi ve yol işaretleme yansıma özellikleri
CIE 140: 2000	Yol aydınlatma hesaplamaları
CIE 115: 2010	Motor ve yaya trafiği için yolların aydınlatılması
CIE 194: 2011	Yol ve tünel aydınlatmasının fotometrik özelliklerinin yerinde ölçümü
CIE 206: 2014	Spektral güç dağılımının kentsel ve kentsel aydınlatmaya etkisi yaya alanları
CIE 150: 2017	Dışarıdan gelen engelleyici ışığın etkilerinin sınırlandırılmasına ilişkin kılavuz aydınlatma tesisatları

İTÜ Enerji Enstitüsüyle Türkiye Elektrik Dağıtım AŞ (TEDAŞ) arasında yapılan bir anlaşmayla CIE önerileri dikkate alınarak, elde edilen ölçümler ve verilerden Türkiye’deki yollar için Çizelge 2. 5’deki yol tanımları ve aydınlatma sınıfları belirlenmiştir(Onaygil ve Önder 2005).

Çizelge 2. 5 Türkiye'deki şehir içi yol aydınlatma tanımları ve aydınlatma sınıfları.

Yol Tanımı	Ayd. Sınıfı
Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil)	
Hız ≥ 90 km/ h,	M ₁
Hız < 90 km/ h,	M ₂
Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler; ring yolları, dağıtıcı yollar)	
-50km/h \leq Hız < 90 km/h; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var;	M ₁
-50km/h \leq Hız < 90 km/h; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M ₂
Hız < 50 km/ h;	M ₃
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları)	
-50km/h \geq Hız; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var;	M ₃
-50km/h \geq Hız; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M ₄
-50km/h $<$ Hız; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var;	M ₄
-50km/h $<$ Hız; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M ₅
Yerleşim (ikametgâh) bölgelerindeki yollar	
-30 \leq Hız < 50 km/ h; suç oranı yüksek,	M ₄
-30 \leq Hız < 50 km/ h; suç oranı normal,	M ₅
-Hız < 30 km/ h; suç oranı yüksek,	M ₅
-Hız < 30 km/h; suç oranı normal,	M ₆

Türkiye'deki yollar için Çizelge 2. 6'daki yol aydınlatma sınıflarında sağlanması gereken aydınlatma kalite büyüklükleri belirlenmiştir(Onaygil ve Önder 2005).

Çizelge 2. 6 Yol aydınlatma sınıflarında sağlanması gereken aydınlatma kalite büyüklükleri.

Aydınlatma Sınıfları	L_m Yol Ortalama Parıltı	U_o Ortalama Düzgünlük (U_o=L_{min}/L_{ort.})	UI Boyuna Düzgünlük U_l=L_{min}/L_{max.}	TI Bağlı eşik Artışı	SR Çevreleme Oranı
M1	≥ 2.0 cd/m ²	≥ 0.40	≥ 0.70	$\leq \%10$	≥ 0.50
M2	≥ 1.5 cd/m ²	≥ 0.40	≥ 0.70	$\leq \%10$	≥ 0.50
M3	≥ 1.0 cd/m ²	≥ 0.40	≥ 0.50	$\leq \%10$	≥ 0.50
M4	0.75cd/m ²	≥ 0.40	≥ 0.50	$\leq \%15$	≥ 0.50
M5	≥ 0.50 cd/m ²	≥ 0.35	≥ 0.40	$\leq \%15$	≥ 0.50
M6	≥ 0.30 cd/m ²	≥ 0.35	≥ 0.40	$\leq \%15$	≥ 0.50

L_{ort} : ortalama Parıltı (cd/m^2)

U_o : ortalama. Düzgünlük

U_j : boyuna düzgünlük

TI: bağıl eşik artışı

SR: çevreleme oranı

Yeni yol aydınlatma tesisatlarında, yol yüzeyinde parıltıyla birlikte aydınlık düzeyi ölçümleride yapılmalıdır. Ölçümlerse, CIE-140:2000 ve TSE EN 13201-3 yayınlarında belirtildiği gibi yol üzerinde işaretlenmiş çok sayıda noktada, konumlandırılmış kalibrasyonu yapılmış lüminansmetre ve lüksmetreyle yapılmaktadır. LED’li tesisatlardaki LED’lerin renk sıcaklıklarıysa 4.000 K ve renksel geriverim endekslerinin (CRI) minimum 70 olması gerekmektedir.

2.6.3.1 Yol Aydınlatma Standartları

Ülkemizde yol aydınlatması tasarımları yapılırken hazırlanan yönetmeliklerin esas alındığı temel kaynak bulunmaktadır.

- CIE tarafından 1995 yılında yayınlanan CIE 115-1995 numaralı ‘Motorlu ve Yaya Trafikli Yolların Aydınlatılması için Öneriler’ isimli teknik rapor
- CIE tarafından 2000 yılında yayınlanan CIE 140-2000 numaralı ‘Yol Aydınlatma Hesapları’ isimli Teknik Rapor
- İngiliz Standardizasyon Kurumu tarafından yayınlanan, Avrupa Birliği Standardizasyon Komitesi (European Committee for Standardization- CEN) tarafından kabul edilen ve beş ayrı bölümden oluşan BS EN 13201 numaralı Yol Aydınlatması Standartı

CIE, Dünya ülkelerindeki birçok bilim adamlarının üyesi bulunduğu yaklaşık 90 yıllık bir komisyondur. Bu komisyon tarafından hazırlanan teknik raporlar birçok ülkenin standartlarına ait referansları oluşturmaktadır.

CIE tarafından yayınlanan CIE 115 numaralı yayın BS EN 13201-1-2 numaralı yayınlara, CIE 140 numaralı yayın ise BS EN 13201-3-4-5 numaralı yayınlara referans olmaktadır. Bu yayınlar temelde aynı ilkelere dayanmakta olup aralarında bulunan çok küçük farklılıklar sebebiyle bazı konularda birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Avrupa da yol aydınlatma hesapları 2003 yılında hazırlanan BS-EN 13201-3; 2003 no'lu standardına göre yapılmaktadır. Söz konusu olan bu Avrupa standardı halen geçerliliğini korumaktadır. Ülkemizde de yol aydınlatma hesapları halen BS-EN 13201-3; 2003 no'lu Avrupa standardına göre yapılmaktadır.

a. CIE 115. 1995 Standardı ve Yol Aydınlatması önerileri

Test yollarında ve de laboratuvar ortamında yapılmış deneysel çalışma sonuçlarında yeterli görüşü sağlayan gerekli yol aydınlatması kriterlerini amaçlamakta olan uluslararası önerilerse zaman içerisinde değişmektedir. Bu değişimlerden dolayı da teknolojik gelişmeler ve enerji tasarrufu bilincinin yerleşmesi gerekmektedir. Yeni çalışmalarda da temel amaç uygun koşulları sağlayan en ekonomik sonuçları bulmaktır. Bundan dolayı yeni öneri yardımcı koşulları da dikkate alındığında sınıflandırmalar detaylı olarak yapılabilmektedir.

2006 yılından itibaren CIE 115-1995 numaralı standardı ile içerik olarak aynı olan BS EN 13201 numaralı standartta dikkate alınarak projeler yapılmaktadır. CIE 115-1995 numaralı standartta giriş yapıldıktan sonra yol aydınlatmasının amacı ve öneminden bahsedilmektedir. Diğer bölümler de sürücünün görüşünü etkileyen genel ve çevresel koşullar, hava koşulları, görsel kılavuzlama, sürücünün yaşı, görevleri ve görsel ihtiyaçları v.b. çeşitli unsurlara değinilmekte ve daha sonraki bölümlerde ise aydınlatma sınıflarına yer verilmektedir (Anonim 1989).

CIE 115-1995 standardında yolların kullanım amaçları, kullanıcı tipleri, trafik yoğunluğu ve kontrolü gibi çeşitli kriterlere göre Çizelge 2.7'deki gibi sınıflandırılmaktadır (Anonim 1995).

Çizelge 2. 7 CIE 115- 1995' e göre yol tanımları ve aydınlatma sınıfları.

Yolun Tanımı	Aydınlatma Sınıfı
Bölünmüş yollar, ekspres yollar, otoyollar, (otoyola giriş ve çıkışlar, bağlantı yolları, kavşaklar, ücret toplama alanları) Trafik yoğunluğu ve yolun karmaşıklık düzeyi (Not :1);	
Yüksek	M1
Orta	M2
Düşük	M3
Devlet yolu ve il yolları (tek yönlü veya iki yönlü; kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri ve çevre yolları dahil) Trafik kontrolü (Not: 2) ve yol kullanıcılarının (Not: 3) tiplerine göre ayrımı (Not: 4);	
Zayıf	M1
İyi	M2
Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler), ring yolları, dağıtıcı yollar Trafik kontrolü (Not: 2) ve yol kullanıcılarının (Not: 3) tiplerine göre ayrımı (Not: 4);	
Zayıf	M2
İyi	M3
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları) Trafik kontrolü (Not: 2) ve yol kullanıcılarının (Not: 3) tiplerine göre ayrımı (Not: 4);	
Zayıf	M4
İyi	M5
Not: 1-) <i>Karmaşıklık yolun geometrik yapısını, trafik hareketlerini ve görsel çevreyi içerir. Göz önünde bulundurulması gereken faktörler; şerit sayısı, yolun eğimi, trafik ışık ve işaretleri.</i>	
Not: 2-) <i>Trafik kontrolü; yatay ve dikey işaretlemeler ve sinyalizasyon ile trafik mevzuatının varlığı anlamında kullanılmıştır. Bunların olmadığı yerlerde trafik kontrolü zayıf olarak adlandırılır.</i>	
Not: 3-) <i>Kullanıcılar; motorlu araçlar (kamyon, otobüs, otomobil vb.), bisiklet, yavaş araçlar ve yayalar.</i>	
Not: 4-) <i>Ayırım, tahsisli yol (her bir trafik cinsinin kullanacağı seridin kesin olarak ayrıldığı yerler, otobüs yolu, bisiklet yolu vb.)</i>	

CIE Pub. 115 standardına göre bu çizelgeyi ülkeler kendi koşullarına uyarlayabilirler. Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.9'da görüldüğü gibidir. TEDAŞ 'de ülke koşullarına göre yukarıdaki çizelgeyi aşağıdaki formata uyarlamıştır (Anonim 2006)

Çizelge 2. 8 CIE'ye göre uyarlanmış Türkiye şehir içi yol tanımları ve yol aydınlatma sınıfları.

Yol Tanımı	Ayd. Sınıfı
Şehir bağlantı ve çevre yolları (tek veya iki yönlü kavşaklar ve bağlantı noktaları ile şehir geçişleri dahil)	
Hız ≥ 90 km/ h,	M ₁
Hız < 90 km/ h,	M ₂
Şehir içi ana güzergahlar (bulvarlar ve caddeler; ring yolları, dağıtıcı yollar)	
-50km/h \leq Hız < 90 km/h; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var;	M ₁
-50km/h \leq Hız < 90 km/h; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M ₂
Hız < 50 km/ h;	M ₃
Şehir içi yollar (yerleşim alanlarına giriş çıkışın yapıldığı ana yollar ve bağlantı yolları)	
-50km/h \geq Hız; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var;	M ₃
-50km/h \geq Hız; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M ₄
-50km/h $<$ Hız; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı var;	M ₄
-50km/h $<$ Hız; 3km'den kısa aralıklarla kavşak, yonca ayrımı yok;	M ₅
Yerleşim (ikametgâh) bölgelerindeki yollar	
-30 \leq Hız < 50 km/ h; suç oranı yüksek,	M ₄
-30 \leq Hız < 50 km/ h; suç oranı normal,	M ₅
-Hız < 30 km/ h; suç oranı yüksek,	M ₅
-Hız < 30 km/h; suç oranı normal,	M ₆

Çizelge 2. 9 CIE 115- 1995' e göre yol aydınlatma sınıflarının kalite büyüklükleri.

Aydınlatma Sınıfları	L_m Yol Ortalama Parıltı	U_o Ortalama Düzgünlük (U_o=L_{min}/L_{ort.})	UI Boyuna Düzgünlük U_I=L_{min}/L_{max.}	TI Bağlı eşik Artışı
M1	≥ 2.0 cd/m ²	≥ 0.40	≥ 0.70	$\leq \%10$
M2	≥ 1.5 cd/m ²	≥ 0.40	≥ 0.70	$\leq \%10$
M3	≥ 1.0 cd/m ²	≥ 0.40	≥ 0.50	$\leq \%10$
M4	0.75cd/m ²	≥ 0.40	-	$\leq \%15$
M5	≥ 0.50 cd/m ²	≥ 0.40	-	$\leq \%15$

b. BS EN 13201 Standardı ve Yol Aydınlatması Önerileri

EN 13201 standardı CEN tarafından aydınlatma ile ilgili teknik komisyonun 2003 yılında hazırlayarak onaylamış olduğu, Mayıs 2004 tarihinden sonra sonra Almanya, Avusturya, Fransa, Belçika, İngiltere, İtalya, İspanya ve Hollanda gibi ülkelerinde yer aldığı toplam 22 üye ülkedeki standartların yerini doldurmuş olan ve birbirini tamamlayan beş bölümden oluşan bir standarttır. Bu standardın temel amacı üye ülkelerdeki çeşitli yol sınıflarını belirleyerek yol aydınlatmalarının kullanımını kolaylaştırmak ve yollarda aydınlatma verimliliğinin artırılabilmesi için bu tekniğin gelişiminin sürdürülmesini sağlamaktır.

Standardın getirmiş olduğu en büyük değişiklik ise çok farklı yol tiplerinde ve hava durumlarında oldukça ayrıntılı standartlar koyması ve bunlara göre yol sınıflarının çeşitliliğini arttırmasıdır. Böylece genel aydınlatma ve yerel aydınlatma ihtiyaçları karşılanabilmiş ve yol aydınlatma tesisatlarının verimi arttırılarak ekonomik kazanç sağlanmış olmaktadır. Çizelge 2.10' da CIE 115 -1995 'e göre yol aydınlatma sınıflarının kalite büyüklüklerinin BS EN 13201'e göre güncellenmiş yol aydınlatma sınıfı büyüklükleri görülmektedir.

Çizelge 2. 10 BS EN 13201'e göre Türkiye'deki yol aydınlatma sınıflarının kalite büyüklükleri.

	L_m	U_o	UI	TI	SR
Aydınlatma Sınıfları	Yol Ortalama Parlıltı	Ortalama Düzgünlük (U_o=L_{min}/L_{ort.})	Boyuna Düzgünlük (U₁=L_{min}/L_{max.})	Bağlı eşik Artışı	Çevreleme Oranı
M1	≥ 2.0 cd/m ²	≥0.40	≥0.70	≤%10	≥0.50
M2	≥1.5cd/m ²	≥0.40	≥0.70	≤%10	≥0.50
M3	≥1.0 cd/m ²	≥0.40	≥0.50	≤%10	≥0.50
M4	0.75cd/m ²	≥0.40	≥0.50	≤%15	≥0.50
M5	≥0.50cd/m ²	≥0.35	≥0.40	≤%15	≥0.50
M6	≥0.30cd/m ²	≥0.35	≥0.40	≤%15	≥0.50

2.7 Yol Aydınlatmasında kullanılan Düzenekleri

Aydınlatmada düzenlemelerin belirlenmesi aydınlatılan yolun şekline bağlıdır. Yolda refüj'ün olması ya da bulunmaması, yolun geniş veya dar olması veya ekspres yol olması

durumlarında kullanılacak aydınlatma düzeninin seçiminde etkilidir. Yol aydınlatması yapılırken belirlenen yol planına göre aydınlatma düzeni, direk yüksekliğiyle direkler arasındaki aralıklar belirlenmektedir. Yol aydınlatmasındaki armatür ve lamba tiplerinin seçiminde de yol çeşidi ve yolun durumuda önemlidir. Armatürlerin ışık dağılım eğrileri yol aydınlatma kalitesinde büyük oranda etkilemektedir(Özkaya 2004).

Yol aydınlatması yapılacak yollarda aydınlatma armatürleri, yolun enine ya da boyuna doğrultular da olmak üzere iki şekilde yerleştirilebilmektedirler.

- Soldan veya sağdan tek taraflı düzen
- Karşılıklı veya kaydırılmış İki taraflı düzen
- Refüjden çift konsollu düzen,
- Refüjden çift konsollu ve İki taraflı karşılıklı veya kaydırılmış düzen
- Enine askı düzeni,

Çift yönlü yollarda genellikle tek taraflı aydınlatma, iki taraflı karşılıklı aydınlatma, iki taraflı kaydırılmış aydınlatma ve enine askılı aydınlatma olarak dört çeşit kullanılmaktadır. Ekpres ve otoyollarda bu dört aydınlatmanın dışında refüjden konsollu aydınlatma ve boyuna askı aydınlatma bulunmaktadır. Ayrıca aydınlatılacak yola uygun aydınlatma düzeninin seçilmesinde maliyet, bakım kolaylığı ve görsel kılavuzlamada etkili olan diğer faktörlerdir.

Yol aydınlatma tesisatlarında uygulamada lamba yükseklikleri ile direkler arası mesafe için 1/3-1/5 aralığında bir orandan bahsedilmektedir. Yani direkler arasına konulacak olan mesafe lambanın yerden yüksekliğinin 3 ila 5 katı olabilir denilmektedir (Özkaya 1994). Genelde aydınlatma kalite büyüklüklerinin sağlanıyor olması da dikkate alınarak direkler arası mesafenin olabildiğince açık olması istenmektedir. Bu durumda tesis maliyeti düşürülmüş olacağından enerji tasarrufunda sağlanmış olacaktır.

Çift yönlü trafik akışının çok olduğu yollarda, armatür yükseklikleri, yol genişliğine eşit ya da daha büyük seçilirse yolun tek taraflı yapılan aydınlatma tesisatı yeterli olacaktır. Eğer yol genişliği armatür yüksekliğinden daha büyükse iki taraflı aydınlatma düzenleri kullanılmalıdır.

Orta refüjlü yollarda refüjden aydınlatma yapılması uygundur. Yolun aydınlatma sınıfına göre kenarlardan ek aydınlatma tesisatları eklenmektedir. Virajlı yollarda ise direk aralıkları normal hesap edilen aralıkların yarısı kadar alınabilmektedir. Viraj keskinliği azaldıkça direkler arası mesafe normal değerinde alınmaktadır. Çizelge 2.11’ de farklı tip yollarda armatürlerle sağlanması gereken direkler arası açıklıklar gösterilmiştir (Anonim 2006).

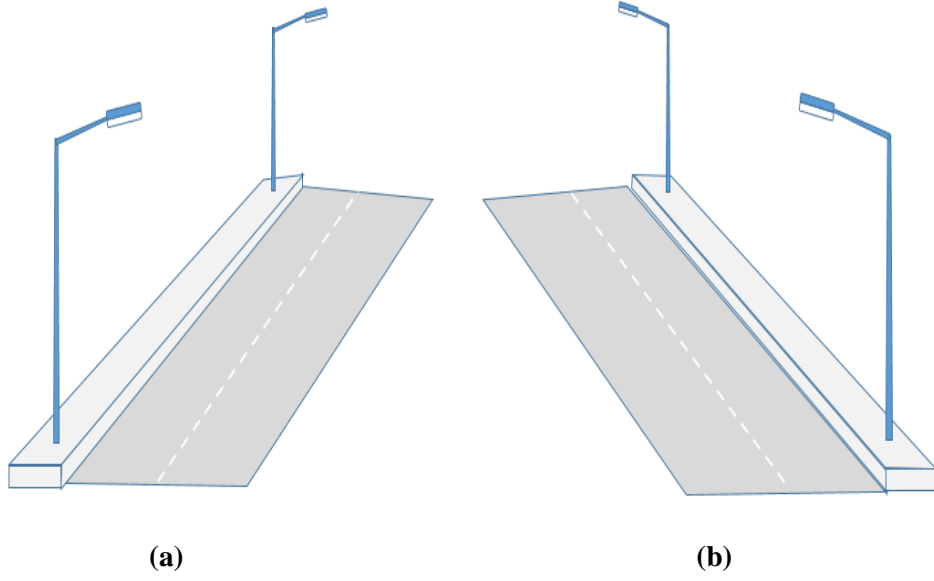
Bu araştırmada şehir içi yollarda çok kullanılan tek taraflı, karşılıklı çift taraflı, refüjde çift konsollu, refüjde çift konsollu karşılıklı, karşılıklı kaydırılmış aydınlatma ile dönemeç düzenekleri ele alınmaktadır.

Çizelge 2. 11 Farklı tip yollarda armatür direkleri arasında sağlanması gereken minimum açıklıklar.

Aydınlatma Düzenekleri	Aydınlatma Sınıfları	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği Min(m)	Refüj Genişliği Min(m)	Direkler arası Açıklık Min(m)
*Soldan tek taraflı *sağdan tek taraflı	M4	2	3,5	-	28
*Soldan tek taraflı *sağdan tek taraflı	M3	2	3,5	-	28
*Refüjden çift konsollu	M3	2x2	3,5	2	30
*Refüjden çift konsollu	M2	2x3	3,5	2	35
*Karşılıklı *Kaydırılmış	M2	4	3,5	-	40
*Refüjden çift konsollu karşılıklı *Refüjden çift konsollu kaydırılmış	M1	2x3	3,5	2	48
*Refüjden çift konsollu karşılıklı *Refüjden çift konsollu kaydırılmış	M1	2x5	3,5	2	55

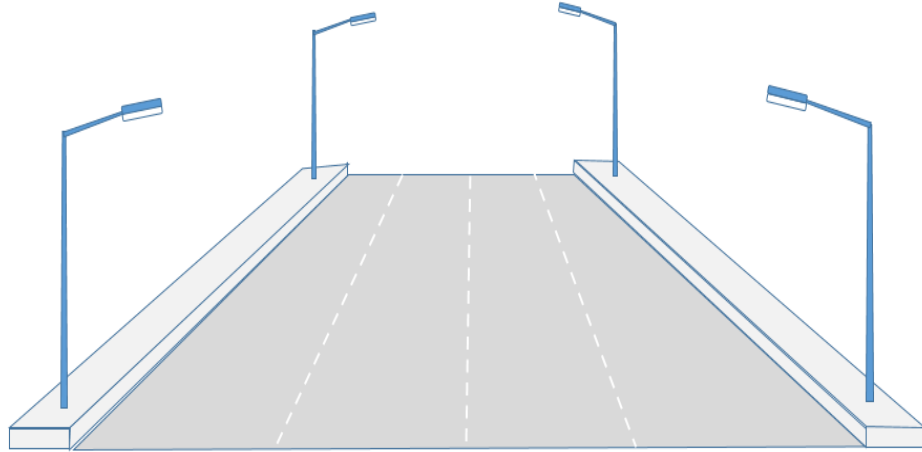
2.7.1 Tek Taraflı Yol Aydınlatması Düzeneği (Soldan/ Sağdan)

Tek taraflı yol aydınlatmasında armatür direği Şekil 2.29’ da görüldüğü gibi yolun sol ya da sağ tarafında monte edilmiş bulunmaktadır. Çift yönlü yollarda yol şerit genişliğinin, armatürün ışık noktasındaki yüksekliğine yakın ya da daha küçük olduğu durumlarda bu aydınlatma düzeneği kullanılmaktadır. Direkler arası minimum mesafe 28 m olmalıdır (Özkaya 2004)



Şekil 2. 29 Tek taraflı a) Soldan aydınlatma b) Sağdan aydınlatma düzeni.

2.7.2 Karşılıklı Çift Taraflı Yol Aydınlatması

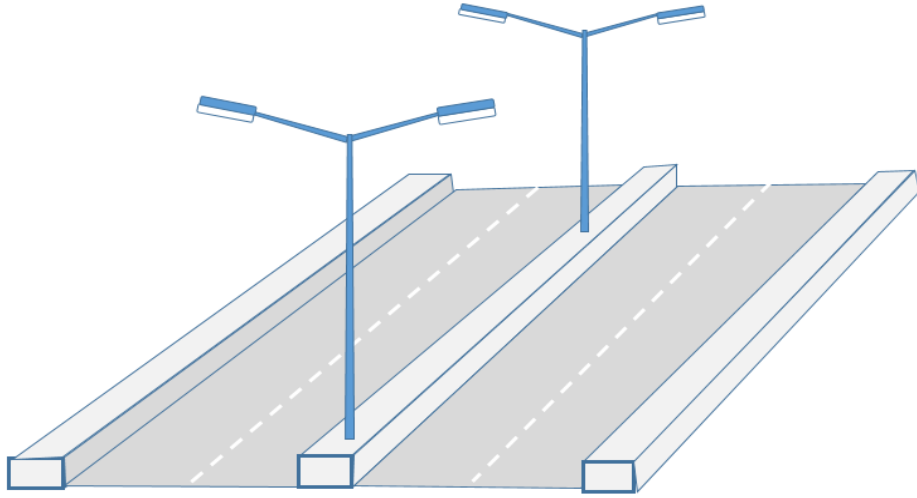


Şekil 2. 30 Karşılıklı çift taraflı aydınlatma.

Karşılıklı çift taraflı yol aydınlatmasında Şekil 2. 30' da görüldüğü gibi armatür direkleri yolun iki tarafında ve karşılıklı olacak şekilde monte edilmiştir. Yol genişliği, armatür ışık noktası yüksekliğinin 1, 5 katından daha yüksek olduğu yollarda kullanılmaktadır. Daha geniş yollarda iki taraflı karşılıklı aydınlatma düzeni tercih edilmektedir.

2.7.3 Refüjden Çift Konsollu Aydınlatma

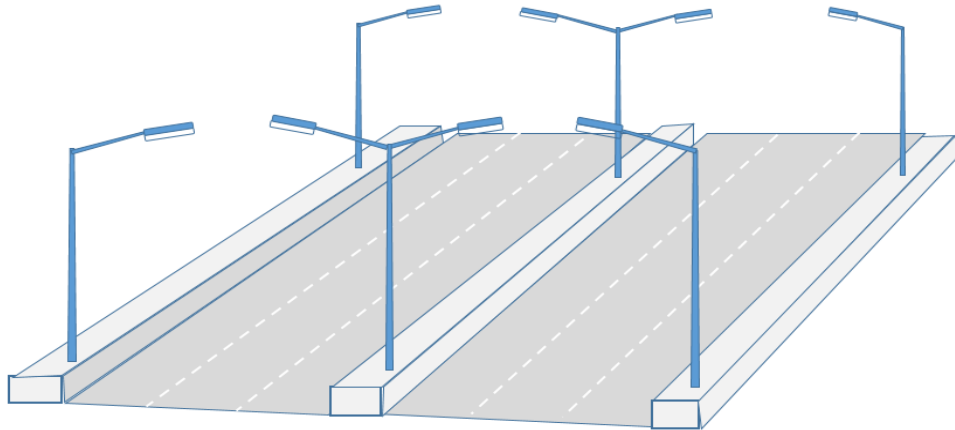
Refüjlü yollarda refüjden aydınlatma yapılması uygundur. Refüjden çift konsollu yol aydınlatma düzeneğinde Şekil 2.31’ de görüldüğü gibi her yön için tek taraflı düzen söz konusu olmaktadır. Başkaca, armatür ışık noktasının yüksekliği, refüj genişliği ve armatürlerin ışık dağılım eğrileriyle bağlantılı olarak karşı yönde bulunan yol aydınlatmasında katkıda bulunmaktadır (Özkaya 2004).



Şekil 2. 31 Refüjden çift konsollu aydınlatma düzeneği.

Refüjden çift konsollu aydınlatma genellikle ekspres ve oto yollarda kullanılmaktadır.

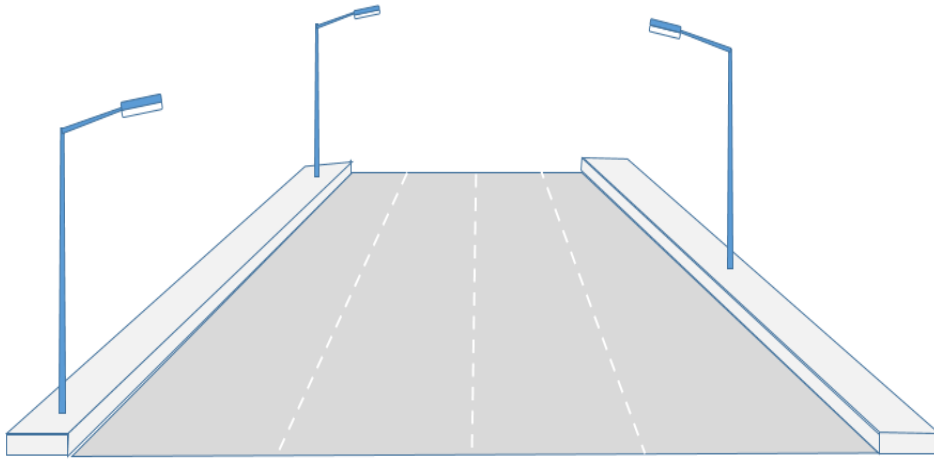
2.7.4 Refüjden Çift Konsollu Karşılıklı Aydınlatma



Şekil 2. 32 Refüjden çift konsollu karşılıklı aydınlatma.

Refüjden aydınlatma düzeneğinde Şekil 2.32’de görüldüğü gibi refüjden konsollu aydınlatmadaki düzeneğine ilaveten yolun iki tarafında refüjdeki armatür direkleri ile karşılıklı olarak armatür direği bulunmaktadır (Özkaya 2004).

2.7.5 Karşılıklı kaydırılmış tek konsollu Aydınlatma

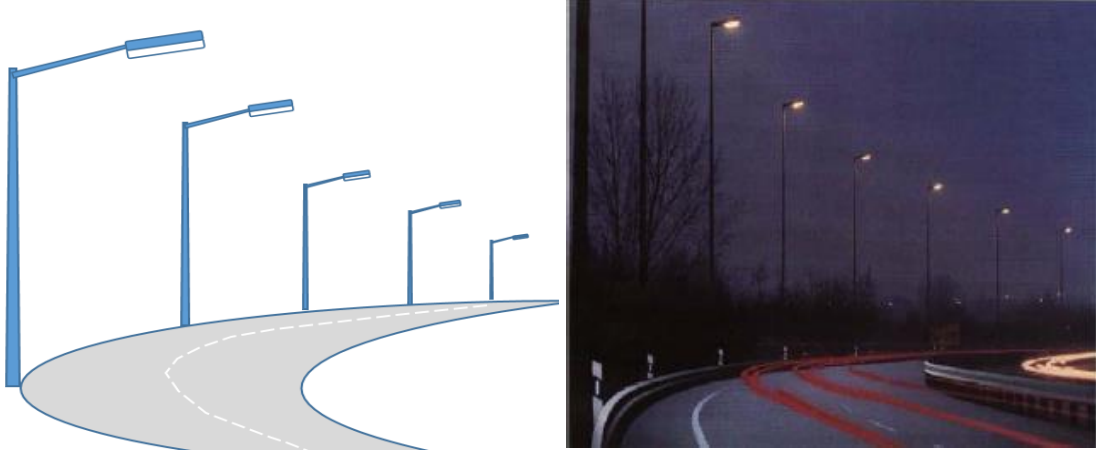


Şekil 2. 33 Karşılıklı kaydırılmış tek konsollu aydınlatma.

Karşılıklı kaydırılmış tek konsollu aydınlatmada Şekil 2. 33’ de görüldüğü gibi armatür direkleri karşılıklı olarak kaydırılmış olarak monte edilmiştir. Genellikle M2 sınıfı 4 şeritli yollarda bu düzenekler kullanılmaktadır. Armatür direkleri arası mesafe minimum 40 m alınmaktadır. İki taraflı kaydırılmış aydınlatma düzeneği görsel kılavuzlama sağlanamayacağı için genellikle tercih edilmemektedir.

2.7.6 Dönemeçler de Aydınlatma Düzeneği

Uzunluğu 300 m’den büyük yarıçaplı olan dönemeçler düz yol gibi aydınlatılmaktadır. Daha küçük yarıçaplı dönemeçlerde ise lambalar arasındaki açıklık, düz yollardakinden daha küçük tutulmaktadır. Şekil 2.34’de görüldüğü gibi yol genişliği lamba yüksekliğinin 1,5 katından daha küçük olduğunda lambalar tek taraflı olarak dönemeçin dış tarafına yerleştirilirler (Onaygil 2005, Özkaya 1990).



Şekil 2. 34 Dönemeçlerde aydınlatma düzeneği.

Böylece yolda iyi bir görsel kılavuzlama sağlanmış olur. Genel olarak dönemeçlerde lambalar arası açıklık düz yollardaki açıklığın 0,5-0,75 katı alınır (Özkaya 1990).

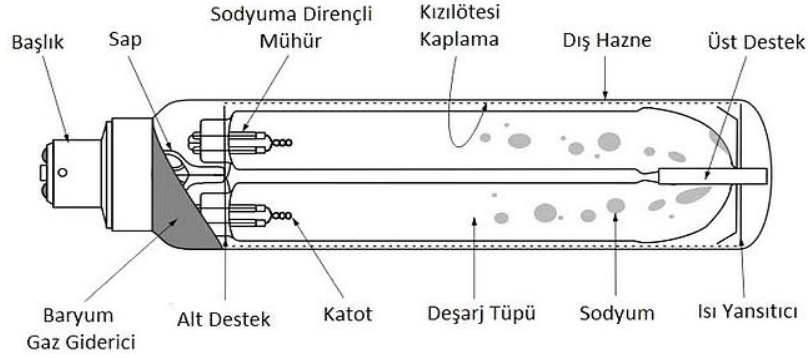
2.8 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Lambalar

Yol aydınlatmasında teknolojiye çok kullanılan dört tip lamba kullanılmaktadır. Bunlar:

- Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar
- Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar
- Metal Halojen Lambalar
- LED Lambalar

Yol aydınlatmalarında genelde kızgın elektrotlu deşarj lambaları tercih edilmektedir. Deşarj lambaları alçak basınçlı veya yüksek basınçlı lambalar olmak üzere iki çeşittir. Deşarj lambalarda ışık, iki elektrot arasındaki gazın çarpma suretiyle iyonizasyonu ile oluşmaktadır. Deşarj lambaları, deşarj tüpünün içinde bulunan gazın tipine ve basıncına bağlı olarak değişmektedirler. Direkt olarak gözün görebileceği ışık oluşabilir ya da UV radyasyonu oluşup tüp içindeki kimyasal bir madde vasıtasıyla gözün görebileceği ışığa çevrilebilirler. Deşarj lambalar, akkor telli yada karma ışık lambaları gibi doğrudan şebekeye bağlanmamaktadırlar. Bunlar akım sınırlayıcısı olan endüktif yada kapasitif balastla ve lambayı ateşleyecek aletlere gerek duymaktadırlar. (Kocabay 1999).

2.8.1 Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar



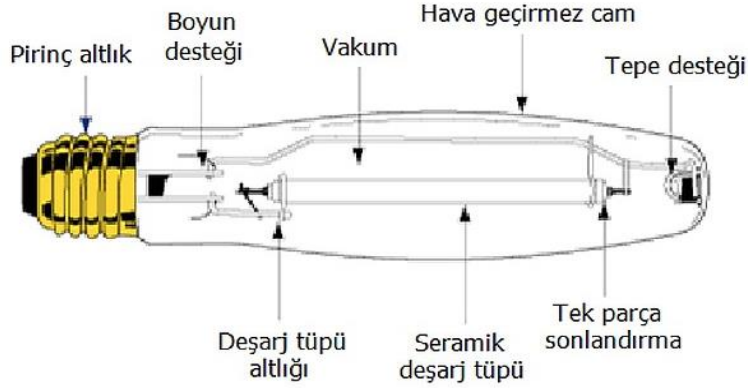
Şekil 2. 35 Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı lambanın iç yapısı.

Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı (ABSB) lambalar, vakumlu şeffaf, U şeklinde bükülmüş deşarj tüpünden oluşmaktadır. Şekil 2. 35’de görüldüğü gibi basıncı düşük olduğundan tüpün boyutu büyüktür. Tüpün içerisinde oda sıcaklığında katı durumda olan sodyum madeniyle birlikte aküçük oranda asal gaz (neon veya argon) mevcuttur. Çalışma sıcaklıkları 250°C-300°C arasındadır. Ateşleyici ve balansa gereksinimleri duyarlar. Etkinlik faktörleri ise kayıplar hariç 130-180 lm/W olarak değişebilmektedir. Ayrıca 200 lm/W üzerindeki modelide bulunmaktadır. Güçleri ise 18-180 W arasındadır. Ekonomik ömürleri ise 13500 saattir (İnt. Kyn. 26).

ABSB lambalar ilk yandığında pembemsi sonra altın sarısı renginde tek renkli ışık yaymaktadırlar. Bundan dolayı renksel geri verimlerinden söz edilemez (Özkaya 1990, Erkin 2004). Bu lambalar renk özellikleri bakımından yerleşim trafiği ve yaya trafiği olan kent içi yollarda kullanılması uygun değildir. Işınları tek bir filtre ile süzölebildiğinden, ışık kirliliğinin önlenmesi istenen doğal çevre etrafındaki yol, sokak, meydan, alan aydınlatmalarında kullanılmaları zorunlu olan tek lamba grubudur.

Etkinlik faktörü yüksek bu lambalar, rengin önemsenmediği tüm yol aydınlatmalarında kullanılabilir. Bu lambalarla yapılan aydınlatmalarda şekil duyarlığı ve keskinlik çok iyi, kamaşma ise minimaldir (Onaygil 2005).

2.8.2 Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar

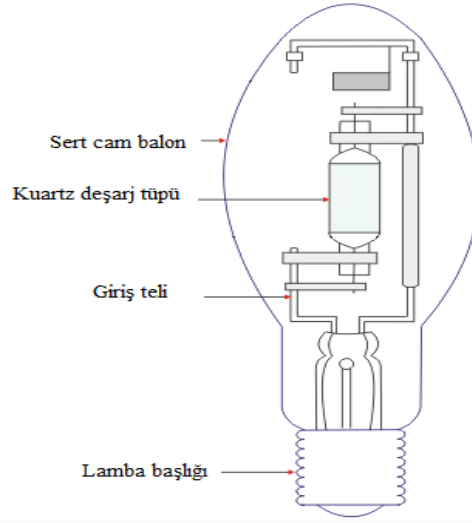


Şekil 2. 36 Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı lambanın iç yapısı.

Yüksek basınçlı Sodyum Buharlı (YBSB) lambalar Şekil 2. 36' da görüldüğü gibi deşarj tüpü, vakumlu şeffaf tüp ya da elips şeklinde cam balon içine konulmuştur (İnt. Kyn.27). YBSB lambalar, sodyumun haricinde ateşlemeyi kolaylaştırmak için civa ve asal gaz da içerirler. Çalışma sıcaklıkları 700°C civarında olup deşarj tüpünün sıcaklıklarına dayanması için çok dayanıklı malzeme olan indiyum oksit malzemelerden üretilmektedir. YBSB lambalar, ateşleyici ve balastla çalışmaktadır. ABSB lambalara göre verimleri yüksek değildir. Ancak kullandıkları yardımcı elemanların kayıplarına bakıldığında etkinlik faktörleri çok daha yüksektir. Balans kayıpları dâhil etkinlik faktörleri 70 ile 150 lm/W arasında değişmektedir. Işıklarının tayfi geniştir. Altın sarısı renkte ışık üretmektedirler. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların güçleri 50-1000 W arasındadır (Onaygil 2006, Özkaya 2004).

2.8.3 Metal Halojen Lambalar

Metal hâlde lambalar Şekil 2.37 'de görüldüğü gibi kuvars tüpünden oluşmaktadır. Kuvars deşarj tüpü çift veya tek uçlu olabilir. Bu tüpün içinde talyum ve sodyumun yanı sıra kalay iyodür halojenleri bulunmaktadır. Bu ampuller çift zarflı yapıdadır. Çift uçlu olan lambalar dış zarfın havası alınarak silindirik ve saydam bir kuvars tüpün içine yerleştirilmiştir. Lambanın yanabilmesi için için bir balansa ve bir de ateşleyiciye ihtiyaç vardır. Metal halide lambalar 70-3500 watt arasında değişen güce sahiptirler. Şeffaf camlı



Şekil 2. 37 Metal Halojen lambanın iç yapısı.

olan Metal halide lambalar çok güçlü ışık verme özelliğine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı büyük alanların, spor sahalarının aydınlatılmasında kullanılırlar (Coaton 1997, Kale 2010).

Metal Halojen lambalar, günümüzde kompakt yapısından ve iyi renksel geriverim özelliğinden dolayı iç ve dış aydınlatmada çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Günümüzde, elektronik ünitelerde çalıştırılmakta olan yeni tip metal halojen lambalarla ömür ve etkinlik faktörleri bakımından çok iyidirler (Özkaya 1990, Kılıç 2013).

2.8.4 LED Lambalar



Resim 2. 6 Philips Led 70/nm armatür görüntüsü.

LED (Light Emitting Diode) ışık yayan diyot anlamındadır. Resim 2. 6' da görüldüğü gibidir. Uyarılan elektronlar, uyarıldıktan sonra normal durumlarına geçerken enerji açığa çıkmaktadır. LED'ler, günümüzdeki gelişmelerle yerleşim alanlarında, yaya yollarında, bisiklet yollarında, parklarda ve bahçeler gibi trafiğin düşük hızlarla sınırlı olduğu bölgelerde kullanılmaya başlanmıştır. LED'ler tek renkli ışık üretmekte olup beyaz ışık yada diğer ara renklerde üç renk karışımı kullanılmaktadır. Fakat tam istenen beyaz renk elde edilemeyip, fotolüminesan ile geliştirilmiş olan hibrit LED'ler denenmiştir (İnt. Kyn.28).

Loslastırmada yapılabilen LED'ler ışık kirliliği yaratmazlar. Ayrıca uzun ömürlü olup bakım giderleride azdır. Bu özellikleriyle tercih edilen ışık kaynakları olmuştur (Özkaya 2004, İnt. Kyn. 29).

2.9 Armatür Bakımı

Yol aydınlatması yapıldıktan sonra kullanılan armatürlerin bakımlarının yapılması gerekmektedir. Yol aydınlatması yapılırken, aydınlatma elemanlarının etkinliğinde zamanla meydana gelen düşüşler göz önünde bulundurulmalıdır. Yol aydınlatma sistemlerine yapılan düzenli bakımlar sayesinde tasarım aşamasındaki değerler sabit tutulabilmekte ve hem kaliteli hem de enerji tasarruflu bir yol aydınlatma sistemi elde edilmiş olmaktadır.

2.10 Armatür koruma sınıfları

Her türlü hava durumları ve kirliliğin çok olduğu dış ortamlarda gerçekleştirilen yol aydınlatmalarında, kullanılmakta olan yol aydınlatması armatürlerinin koruma sınıfları yüksek olmalıdır. Armatürlere ait koruma sınıfları IP XX şeklinde ifade edilmektedir. Burada koruma sınıfının ilk rakamı olan X armatürün toza karşı korunmasının derecesini, koruma sınıfının ikinci rakamı olan X armatürün suya karşı korunmasının derecesini belirtmektedir. Armatürlerin koruma sınıfları (I P-International Protection) Çizelge 2. 12' ye göre belirlenmektedir (Anonim 1999, Özkaya 1990).

Çizelge 2. 12 Armatür koruma sınıfları.

Birinci Rakam	Katı cisimlere karşı koruma	İkinci Rakam	Sıvı maddelere karşı koruma
0	Koruma yok	0	Koruma yok
1	50mm' den büyük katı cisimlere karşı koruma	1	Dik düşen su damlalarına karşı koruma
2	12mm' den büyük katı cisimlere karşı koruma	2	15° lik açığa kadar eğik damlayan suya karşı koruma
3	2,5mm' den büyük katı cisimlere karşı koruma	3	60° 'lik açığa kadar eğik damlaya suya karşı koruma
4	1mm' den büyük katı cisimlere karşı koruma	4	Her yönden gelen su damlalarına karşı koruma
5	Toza karşı koruma	5	Su püskürtmesine karşı koruma
	Toza karşı koruma	6	Şiddetli deniz dalgalarına karşı koruma
	-	7	Suya batırılmalara karşı koruma
	-	8	Basınç altında uzun süre suda kalmaya karşı koruma

2.11 Armatürlerin Bakım Faktörü

Armatür bakım faktörü, lambanın eskimesi ya da kirlenmesinden dolayı ortaya çıkan ışıkdaki görüntü azalmasını belirten çarpandır. Bu faktör, zamanla ortaya çıkmakta olan ışık kayıplarını belirtmekte olup kayıp faktörü olarak da bilinmektedir. Işık kaynaklarındaki kullanım süresince ışık çıkışında ümen değerinde bir miktar azalma görülebilmektedir. Ayrıca ışık kaynaklarındaki kirlenmede ışık çıkışının bir azalmasına sebep olmaktadır. Bu iç ortam ve dış ortam tüm aydınlatmalarda geçerlidir.

Aydınlatma seviyesiyle ilgili hesaplamalarda eskimeden ve kirlenmeden kaynaklanan bu düşüşlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Armatür bakım faktörü, lamba tipi, balast türü, armatür tipi, bakım aralıkları, çalışma süresi, odanın yansım oranları ve çevresel etkilere göre hesaplanmaktadır. Armatür bakım faktörü denklem (2.35)' daki gibi hesaplanmaktadır (İnt. Kyn. 29).

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \quad (2. 35)$$

MF: Bakım faktörü (Maintenance Factor)

LLMF: Lamba lümen faktörü (Lamp Lumen Maintenance Factor), lambanın ışık akısında zamana bağlı düşüşü belirtmektedir. Işık kaynağı üreticisi tarafından belirtilmektedir.

LSF: Lamba Canlılık Faktörü (Lamp Survival Factor), ışık kaynağında bulunan arızayı ifade etmektedir. Arıza durumunda lamba değişimi anında yapılıyorsa bu değer 1 alınarak, etkisi göz ardı edilebilmektedir.

LMF: Armatür Bakım Faktörü (Luminaire Maintenance Factor), armatürün çevresel etkilerden kirlenmesinden ortaya çıkan ışık kayıplarını belirtmektedir. İç mekânlarda temiz ortamlarda 0,93-0,98 aralığındaki veriler alınmaktadır (İnt. Kyn. 30).

Aydınlatma uygulamalarında, bakım faktörü dikkate alınmalı ve başlangıçta standartta belirtilen minimum aydınlatma seviyelerinin üstünde değerler yakalanmalıdır. Zaman içerisinde oluşan ışık kaybı, aydınlatma koşullarının belirtilen kriterlerin altına düşmesine sebep olmamalıdır.

Tesisatlarda kullanılan armatürlerin IP koruma sınıfına, çizelge 2.13'den tesisat bölgesinin kirlenme kategorisine ve bakım sıklığına bağlı olarak Bakım Faktörü belirlenmektedir. Belirlenen değer hesaplarda kullanılmakta ve bakım işlerinin düzenli yapılmasıyla istenen aydınlatma kriterlerinin sürekliliğini sağlamaktadır (Anonim 2003).

Çizelge 2. 13 CIE'ye göre armatürlerin bakım faktörleri.

Armatür Koruma Sınıfı Derecesi									
Temizleme Periyodu (Ay)	IP2X			IP5X			IP6X		
	Kirlenme Kategorisi			Kirlenme Kategorisi			Kirlenme Kategorisi		
	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük
12	0,53	0,62	0,82	0,89	0,9	0,92	0,91	0,92	0,93
18	0,48	0,58	0,80	0,87	0,88	0,91	0,90	0,91	0,92
24	0,45	0,56	0,79	0,84	0,86	0,90	0,88	0,89	0,91
30	0,43	0,54	0,78	0,80	0,84	0,89	0,85	0,88	0,90
36	0,42	0,53	0,78	0,76	0,82	0,88	0,83	0,87	0,90

2.12 Yol Aydınlatmasında Kullanılan Direkler

Sokaklar, yollar ve kaldırımında doğru aydınlatmada armatür seçimi kadar armatürün konumuda gereklidir. Aydınlatma armatürüyle doğru yerleştirilmezse istenilen performans elde edilemeyecektir. Kullanılan aydınlatma direğinin yüksekliği, aydınlatılacak alanın genişliği ile ilgilidir. Kaldırım ve bisiklet yollarında 4-5-6 metre yüksekliğinde aydınlatma direkleri kullanılmaktadır. Dar sokak ve ara yollarda ise 8-10 metrelik aydınlatma direkleri tercih edilmelidir. Bulvarlarla, ticari ve endüstriyel alanlarda ise 10-12metre yüksekliğindeki aydınlatma direkleri tercih edilmelidir. Direk yüksekliği uygun değilse ya çok parlak yada çok karanlık noktalar oluşacaktır. Direklerarası mesafe fazlaysa daha az direk ve aydınlatma armatürü kullanmış olunacaktır. Bu da maliyeti düşürecektir. Direkler arası mesafe kullanılacak direğin yüksekliği ile ilgilidir. Aydınlatma direğinin yüksekliği yüksek ise direkler arasındaki mesafe de yüksek olacaktır. Aydınlatma armatürünün aydınlattığı alanın genişliği yaklaşık olarak aydınlatma direğinin yüksekliğine eşittir. Dar sokaklarda yolun bir tarafının aydınlatılması yeterlidir. Daha geniş caddelerde aydınlatma direklerini yolun her iki tarafına yerleştirmek gerekmektedir (İnter. Kyn. 31, Özkaya 2004)

Aydınlatma direkleri sadece geceyi aydınlatmakla kalmaz aynı zamanda sokak ve caddeleri yaşayan bir şehre çevirirler. Farklı model direkler ile kullanım alanlarında üst düzey faydalar elde edilebilmektedir. Özellikle dekoratif aydınlatma direği tasarımları şehre marka imajı kazandıracaktır. Farklı ortam alanları için tasarlanan direk modelleride bulunmaktadır. Bunlar poligon, dekoratif ve solar aydınlatma direkleridir (İnt. Kyn.32).

a. Galvanizli Çelik Poligon Aydınlatma Direkleri

Son zamanlarda aydınlatma tesisatlarında poligon aydınlatma direkleri çok daha fazla kullanılmaktadır. Resim 2. 7'de görüldüğü gibi 3 m' den 16 m' ye kadar yol aydınlatma direkleri üretilmektedirler. Galvenizli çelik poligon direkler, boru ve konik olarak tasarlanmaktadır. Sıcak daldırma galvaniz üzerine elektrostatik toz boyama işlemi ile hazırlanan modelleri dayanıklı olmalarının yanında görsel açıdan da tasarımları zenginleştirerek sunulmaktadır. Bu Poligon aydınlatma direği modelleri şu alanlarda kullanımı uygundur (İnt. Kyn. 32, İnt. Kyn. 33);

- Cadde ve sokak aydınlatmalarında
- Stadyum ve projektör aydınlatmalarında
- Kamera ve başüstü aydınlatmalarında



Resim 2. 7 Galvanizli çelik poligon aydınlatma direkleri; a) Çift köşeli konsollu aydınlatma b) Kendinden bükme konsollu aydınlatma direği c) Tek köşeli konsollu aydınlatma direği.

Yapılan bu sistemler sayesinde kaza oranları düşmekte ve güvenlik açısından daha güvenilir ortamlar oluşturulmaktadır. Aydınlatma Direği Kodlaması ADX-H/L şeklindedir.

AD: Aydınlatma Direği

X: Konsol Adedi

H: Direk Yüksekliği (dm)

L: Konsol Boyu (mm)

B: Bükme konsollu

Örneğin, AD2 120/14 direğinin yüksekliği 12m, konsol boyu 1,4 m olan çift konsollu bir aydınlatma direğidir (Ongun 2007).

b. Dekoratif Aydınlatma ve Solar Aydınlatma Direkleri

Aydınlatma direkleri çeşitleri içerisinde tasarımları ile ön plana çıkan modeller arasında Resim 2.8'deki gibi dekoratif modellerde yer almaktadır. Müşteri isteğine göre taleplerine

göre armatür, led gibi aydınlatma sistemleri ile cadde, sokak ve yol aydınlatmaları için çözümler üretmektedir. Yaşam alanlarımıza estetik katan bu modellerle, LED teknoloji ile farklı tasarımlarda hazırlanmaktadır.



Resim 2. 8 Dekoratif direkli aydınlatma görüntüsü.

Çevreye katkılarından dolayı tercih edilen aydınlatma direkleri daha çok şehir içi alanlarda ve yol kenarlarında tercih edilmektedir (İnt. Kyn. 34).



Resim 2. 9 Solar direkli aydınlatma görüntüsü.

Resim 2.9’da görülen solar aydınlatma direk modelleride güneş enerjili sistemler olarak oldukça ucuz kullanımlar oluşturmaktadırlar. Güneş enerjisinin pek çok alanda kullanılan

solar aydınlatma direği modelleri elektrik hattına uzak bölgelerde kendi enerjisini kendi temin eden sistemler olarak tercih edilmektedirler. Ekonomik açıdan çok büyük faydaları blunmakta olup, elektriğe gerek olmadan çalışmaktadırlar (İnt. Kyn34, İnt. Kyn.35, İnt. Kyn. 36).

c. Beton Aydınlatma Direkleri



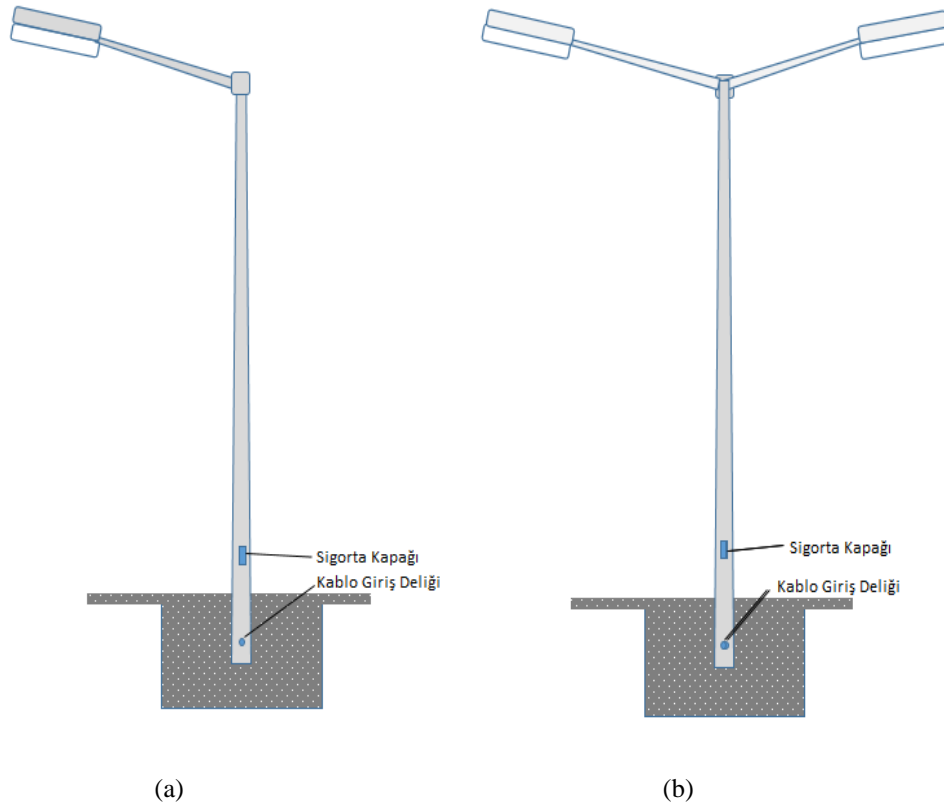
Resim 2. 10 Beton direk ile yol aydınlatması görüntüsü

Beton beton aydınlatma direkleri günümüzde galvanizli poligon aydınlatma direkleri kadar yaygın kullanılmamaktadır. Beton aydınlatma direkleri yeraltı kablosu ile besleneceği düşünülerek imal edilmektedirler. Farklı durumlarda ise havai hat direkleri, Resim 2. 10'daki gibi üzerlerinde aydınlatma konsolu takılacak şekilde imal edilerek hem aydınlatma direği hem de dağıtım direği olarak kullanılabilirler. Boyları 5-18 metre arasında direk üretimi yapılmaktadır (İnt. Kyn. 37, Anonim2 2000).

Beton direkler genel olarak tepeden tabana doğru 1 metrede 10 mm kalınlaşmaktadır. Direk eğimi ise 1/10 m/mm olarak tanımlanmaktadır. Eğimi 1/10 m/mm olan direklerde 130 mm'den başlayıp artarak 160, 190 mm tepe çaplarında ve 1/15 m/mm eğimli

direklerde ise 135 mm'den başlayıp 45 mm artarak 135 ve 180 mm olan tepe çaplarında üretim yapılmaktadır (Anonim2 2000).

Direkli aydınlatma direkleri üstten monte edilecek şekilde imal edilmektedirler. Şekil 2.38'de görüldüğü gibi tek konsollu olan AKN/T, iki konsollu olan AKN/Ç, üç konsollu olan AKN/3 ve dört konsollu olan AKN/4 olarak üretilmektedirler.



Şekil 2. 38 Beton aydınlatma direği tipleri a)AKN/ T tipi aydınlatma direği tipi b)AKN/Ç tipi aydınlatma direği tipi.

Direklerin tepesinde konsolların monte edilebilmesi için galvanizli tespit civataları yerleştirilmektedir. Ayrıca direklerin tabanına yeraltı kablosu ile giriş ve çıkış delikleri oluşturulmaktadır. Direğin içine ise sigorta tespit sacı yerleştirilmektedir (Anonim2 2000, İnt. Kyn. 37).

3.MATERYAL VE METOD

Aydınlatma sistemlerinde kullanılan lambaların aydınlatma üzerindeki etkisini gözlemlemek için sadece bir lambayı incelemek yeterli olmamaktadır. Çok sayıda lamba kullanılmak koşuluyla etkinlik faktörünün aydınlatma üzerindeki etkilerinin incelemek daha iyi bir sonuç almamıza olanak sağlayacaktır. Ayrıca bu hesaplamalar yapılırken sayısal yöntemler kullanılması daha doğru verileri ve çözüm yöntemlerine ulaşmamızı sağlamaktadır. Hem ekonomik yönden hem de zaman kullanım açısından sayısal ve deneysel çalışmalarda YSA ile çalışmak daha uygun olmaktadır. Yapılan çalışmada makine öğrenme yöntemi kullanılarak lambalara ait etkinlik faktörü tahmini yapılmıştır. Modellemenin yapılmasında MATLAB (Neural Network Toolbox) yazılımındaki YSA modeli kullanılmıştır.

3.1 Etkinlik Faktörü (Işıksal Verim) Değerlerinin Tanımlanması

Etkinlik faktörü eşitlik (3.1)'de belirtildiği gibi, bir lambadan yayılan ışık akısı değerinin, ışık kaynağının şebekeden çektiği güç değerine bölünmesiyle bulunan değer olarak tanımlanmaktadır.

$$e = \frac{\Phi}{P} \quad (3.1)$$

Denklemden;

e: Etkinlik faktörü (lm/ W),

Φ : Işık akısı (lümen),

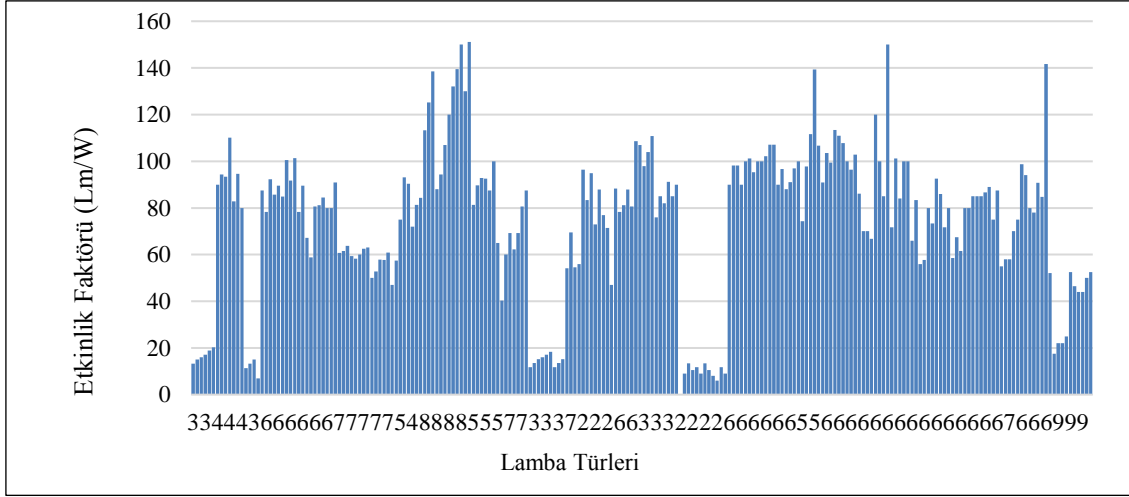
P: Lamba gücü (W) göstermektedir.

Lambanın ışıksal verimliliğini lm/ W cinsinden ifade eden bu ifade rantabilite konusunda göz önünde bulundurulması gereken en önemli kriterlerden biridir. Etkinlik faktör değeri, bir ışık kaynağından yayılan görünür ışık değerinin ne oranda istenilen değerde olduğunu belirleyen fiziksel bir niceliktir. Dış ortam ısısının değişimi, lambanın yanma şeklindeki farklılıklar, şebeke geriliminin de değişim oluşması, kullanım zamanı gibi faktörler lamba verimini etkilemektedir. Etkinlik faktörü, bir lambayı diğerlerinden ayıran ayırt edici

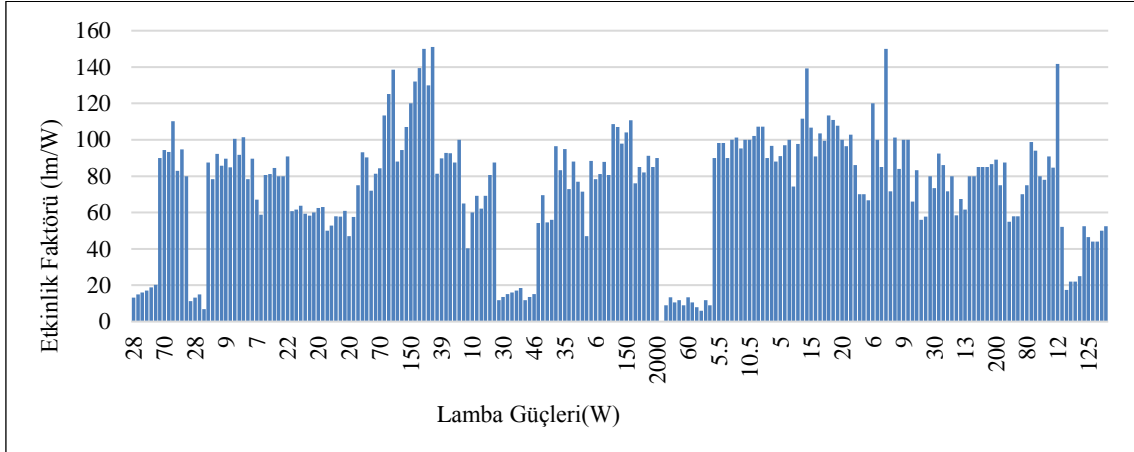
kriterlerden birisidir. Etkinlik faktörünün değeri oldukça büyük olursa, eşik ışık enerjisi elde etmek için daha az elektrik enerjisi harcanmaktadır. Teorikte en büyük etkinlik faktörünün dalga boyu $\lambda_0=555$ nm tek dalga boylu bir ışınım durumunda erişilmektedir. Işımanın tamamı içinse $V_{\lambda}=1$ ve $e=683$ lm/ W olmaktadır. Ancak uygulamada ise ancak 200 lm/W seviyesine ulaşılmıştır. Nedeniyse lambada ısı kayıplarının ve ışınımın dalga boyunun 589 nm olmasından kaynaklanmaktadır (589 nm durumunda $V_{\lambda}=0,76$ dir.). Aydınlatma da etkinlik faktörü (lümen/ Watt) yüksek olan lambalar tercih edilmelidir. Çünkü etkinlik faktörü ne kadar büyükse, eşit ışık enerjisi elde etmede daha az elektrik kullanılacak demektir. Etkinlik değeri küçük olan lambalar şebekeden daha fazla elektrik kullanacaktır. Bu da demek oluyor ki aydınlatmada etkinlik faktörü yüksek armatürlerle enerji tasarrufu yapılabilmektedir (Ünal vd. 2004, Özkaya 2000, Ganslandt vd.1992).

Armatürün içerisinde bulunan lamba çeşidi tüketilecek olan elektriksel güçle birlikte ışık akısının etkileyeceğinden verimde değişecektir. Her armatürün içerisinde bulunan lamba çeşidinin, tükettiği elektriksel güçle birlikte ışığın akı değeride farklı olduğundan etkinlik faktörü de farklı olacaktır. Bu yüzden floresan, akkor flamanlı, halojen, yüksek basınçlı sodyum buharlı ve LED çeşitlerindeki lambaların özellikleri farklı olduğundan etkinlik faktörü doğrudan etkilenecektir. Aynı zamanda armatürlerde kullanılmakta olan lensin, reflektörün ya da difüzör ek malzemelerde ışık değerini değiştirdiğinden etkinlik faktörünü etkilemektedir (Şahin 2010, Dursun vd. 2021). Tüm ışık kaynaklarının ışınım şekline ve yapısı bakımından değişik etkinlik faktörüne sahiptir. Dışarının ısı değeri, balast özelliklerinden, şebekeden çekilen gerilimdeki değişimler ve kullanma zamanı parametreleride etkinlik faktöründe farklılaşmalara neden olmaktadır.

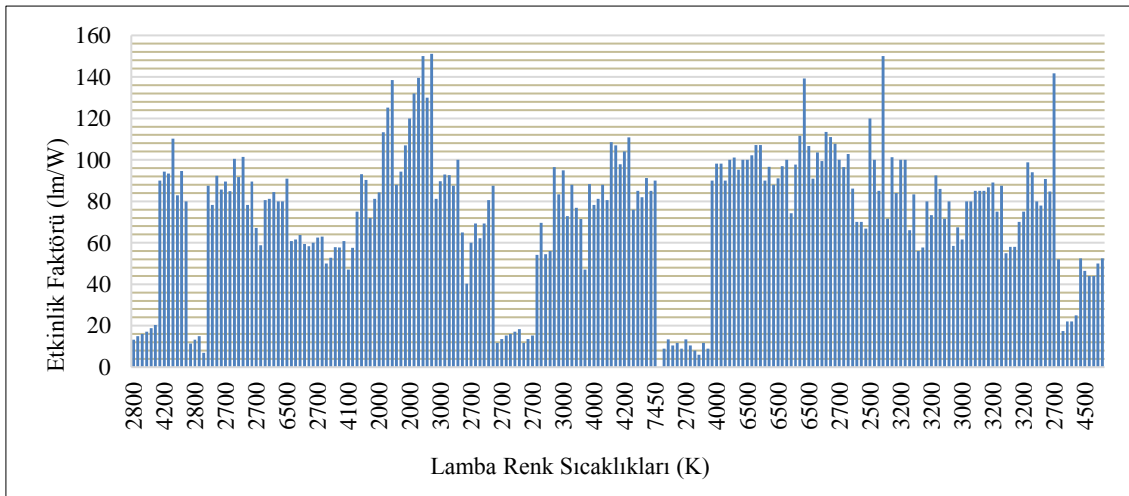
Bu çalışmada, farklı markalardaki lambalara ait lamba türleri, lamba güçleri, lamba Renk sıcaklıkları ve bunlara ait olan etkinlik faktörü verileri kullanılmıştır. Kullanılmakta olan veriler, farklı tipte lambalara ait etiket değerleri için piyasa araştırılması yapılmış ve kataloglardan veriler temin edilmiştir. Etkinlik faktörü değerini, incelenecek olan lambaların katalog değerleri üzerinden eşitlik (3.1) ile hesaplayarak oluşturulmuştur. Şekil.3.1- Şekil 3.3'de YSA eğitiminde kullanılan Etkinlik faktörünün; lambanın türlerine, lamba güçlerine ve lamba Renk Sıcaklıklarına göre değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Etkinlik faktörünün lamba türlerine göre değişim grafiği.



Şekil 3. 2 Etkinlik faktörünün lamba güçlerine göre değişim grafiği.



Şekil 3. 3 Etkinlik faktörünün lamba Renk sıcaklıklarına göre değişim grafiği.

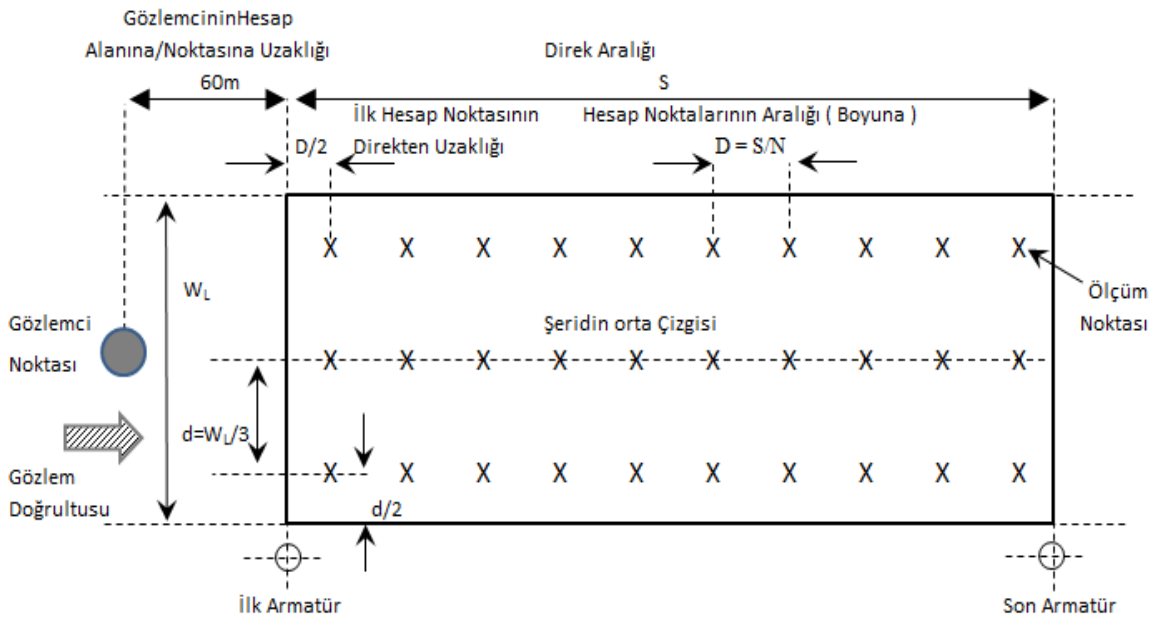
3.2 Parıltı Düzgünlüğünün Ölçümü için Hesap Alanının ve Hesap Noktalarının Belirlenmesi

Yol aydınlatmasında parıltı esasına kalite kriterlerinin hesaplanabilmesi için referans bir alan belirlemek gerekmektedir. Yol aydınlatması hesapları, simetri koşulları da dikkate alıp yolun tümünü simgeleyecek ufak bir alanda gerçekleştirilmelidir. Hesaplama alanıysa iki armatür arasında bulunan alanı seçmek daha uygun olacaktır. Şekil 3. 4’de iki armatür arasındaki hesap alanıyla birlikte bu alanda bulunan büyüklüklerde görülmektedir.

Hesap nokta sayısı olan N armatürler arası mesafeye göre belirlenmektedir:

$S \leq 30$ m için $N=10$

$S \geq 30$ m için $D \leq 3$ m ise N değeri bu koşulu sağlayan en küçük tam sayı alınmaktadır (Nahar vd. 2011).



Şekil 3. 4 İki armatür arasında kalan hesap alanı ve bu alandaki büyüklükler.

Boyuna doğrultudaki iki armatür arasındaki mesafenin hesap nokta sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır (Anonim1 2000, Onaygil ve Güler 2005).

$$D = \frac{N}{S} \quad (3.1)$$

D: noktalar arası boyuna doğrultudaki aralık (m)

S: iki armatür arasındaki mesafe (m)

N: Ölçüm yapılacak hesap nokta sayısı

İlk hesap noktası başlangıçtan $D/2$ mesafede belirlenir. Enine mesafeyse aşağıdaki formülle belirlenmektedir.

$$D = \frac{W_L}{3} \quad (3.2)$$

d: enine doğrultudaki noktalar arasındaki mesafe(m)

W_L : şerit genişliği(m)

Yol kaldırıma yakın yerdeki hesaplama noktalarıysa şerit kenarından $d/2$ uzaklıkta olmalıdır. Gözlemci konumuysa her şeridin orta noktasında ilk armatürden 60 m geride olmalıdır. Ölçümler her şeridin orta noktasından yapılmaktadır. Gözlemcinin yola göre konumu Şekil 3. 5' de görüldüğü gibidir (Anonim1 2000).



Şekil 3. 5 Gözlemcinin yola göre konumu.

3.3 Yapay Sinir Ağları ve Yapısı

Yapay Sinir Ağları (YSA), insanın beynindeki nöronlara benzeyen özelliğe sahip olup yapay nöronlar farklı bağlantılı geometrisiyle birbirlerine bağlanmalarıyla oluşmuş kompleksli sistemlerden oluşmaktadırlar. Buradaki kompleksli sistemler ile standart metodlarla çözümlenemeyen problemler çözülmeye çalışılmaktadır (Şahin 2010, Sözen vd. 2004). YSA'ı kompleksli problemlerle beraber fena şartlanan problem çözümlenmesinde çok kullanılan bir metoddur. Kullanılmakta olan algoritma karmakarışık diferansiyel denklemlerin çözümlenmesine dayandığından gerekli çözümün elde edilebilmesinde kuvvetli bilgisayar sistemlerine ve süreye ihtiyaç vardır (Arslan vd. 1996). Karma karmaşık matematikle ilgili metodlar ve algoritmayla uğraşmaktansa YSA'ı ön bilginin örnek yöntemlerini çok boyutlu olan verinin tabanıyla öğrenebilmektedirler (Şahin 2013). Ayrıca YSA bozulmuş ve eksik verileride işlediklerinden hata tolerans değerleri yüksektir.

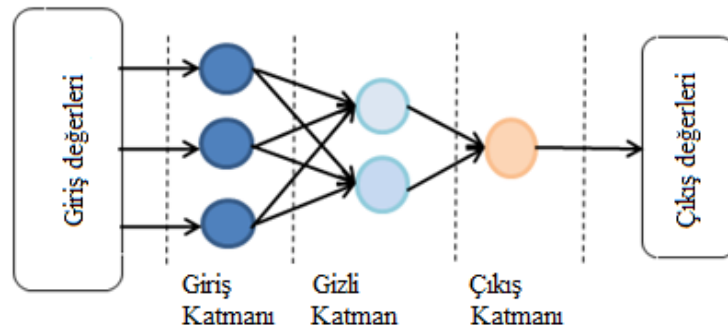
YSA, bilgisayar ortamında insanların beyinlerinde yaptığı tüm işlemleri yapabilen, sürekli veri girişini alabilen ve uygun olmayan veri olduğunda mevcut olan bilgileri kullanarak istenen sonuçlara ulaşabilen algoritmalarıdır. YSA' lar insan beyninde bulunan nöronlar gibi yapay olan nöronların değişik bağlantıyla geometrik olarak birbirlerine bağlanmış karmaşık sistemlerdir. Karma Karmaşık olan bu sistemler standart metodlarla çözümlenemeyen sorunları insan beyni gibi benzer çalışma sistemiyle çözümlenmektedir. YSA'ları karmaşık olan ve çözümlenemeyen problemlere çözümü üretme bakımından gelişmiş olan yöntemlerdir (Şahin 2010, Öztemel 2003, Koyuncu vd. 2019).

Günümüzde kullanılmakta olan varsayım yöntemleri olarak çözümlenmeli olan bilgisayar şifreleri kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan algoritmalarda karmaşık diferansiyel eşitsizlerin çözümlenmesiyle olmakta olup doğru verileri elde etmek içinse yeni çağa uygun bilgisayarlara ve süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Çözümlenemeyen matematiksel problemler ve denklemler yerine YSA'ların anahtar örneklemeleriyle çok boyutlu olan veri tabanından öğrenebilmektedirler. Ek olarak, YSA'ları gürültülü ve eksik olan verileri işleyebilecek yapıda olduklarından hata tolerans değerleri çok yüksektir (Kalogirou 1999).

YSA'ı birbirleriyle bağlantısı olan işlemci elemanlardan (neurons) oluşmaktadırlar. Her sinir hücresinin arasında bulunan bağlantı ağ yapısı belirlemektedir. İstenilen değerlere ulaşmada bağıntının ne şekilde değiştirilmesi gerektiğiyle öğrenme algoritmasıyla belirlenebilmektedir. Kullanılmış olan öğrenme kurallarına ve hata değerini sıfırlamak için kullanılan ağ öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılmaktadırlar. (Alçın 2017, Şahin 2010, Elmas 2003). Bağlantı şekline göre YSA'ları yapılarına ileri beslemeli yapay sinir ağı ve geri beslemeli yapay siniri ağı olmak üzere iki temel sınıfta incelenmektedirler

a) İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli olan YSA'lar giriş katmanından gelen girdi değerleri gizli katmanlarında işlenmekte ve çıkışta bulunan katmana ulaştırılmaktadır. Çıkış katmanda değerlerin işlenmesiyle net çıktılara ulaşılmaktadır. Yani Şekil 3.6' da görüldüğü gibi işlemler girişten çıkış yönüne doğru tek yönde olmaktadır. Katmanlar arasında bağıntı kurulurken, aynı olan katmanlar içinde bağıntıları bulunmamaktadır (Rojas 1996). Gizli katmanın sayısı ve nöron sayısı belirlenmiş olan problemlere göre farklılıklar gösterebilmektedir. Nöronundaki artış hesaplamalarda oluşan karmaşaya ve sonucun üretilme süresinde uzamasına neden olmaktadır (Öztemel 2003, Lee vd. 1998, Elmas 2003).

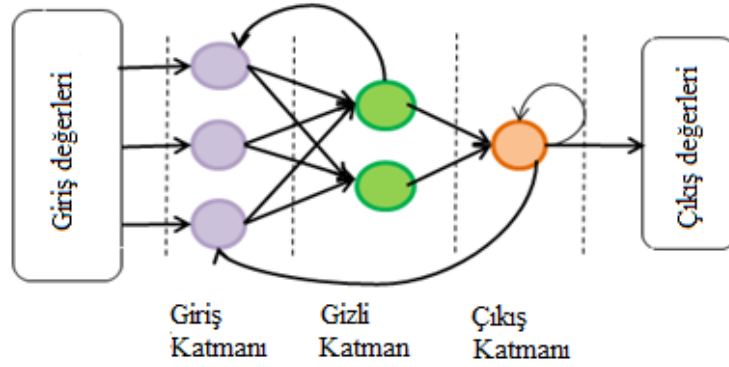


Şekil 3. 6 İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağının yapısı.

İleri beslemeli YSA' lara örnek olarak Çok Katmanlı YSA (Multilayered Perceptrons-MLP) ve Öğrenme Vektör Nicelendirmesi (Learning Vector Quantization-LVQ) ağları verilebilmektedir (Sağıroğlu 2003).

b) Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli YSA'ları, çıkışın ve aradaki katlarda bulunan çıkış değerlerinin, giriş birimleri olan bir öncede bulunan ara katmana geri beslemenin yapıldığı bir ağ yapısı mevcuttur. Bu şekilde, girişlerdeki veriler hem ileri doğru hem de geri doğru iletilmektedir. Geri beslemeli YSA yapısını ileri beslemeli YSA yapısından ayırt eden özelliği ise geri besleme döngüsünün bulunmasıdır. Bu özellik geri beslemeli YSA yapısındaki nöron çıkışlarını ağın içinde girdi yerine verildiğinden ağın geri dönebilmesinde sağlanabilmektedir. Geri beslemeli YSA'larda ileri yönde çıkış katman kısmına bir iletinin yanında nöronlarla ya da kendisinden önce bulunan katmandaki nöron yapıyla da geri yönde bağlantısı vardır. Bu YSA'nın genel yapısı Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir (Wasilewska vd. 2013, Bayraktar vd. 2009, Alçın 2017).



Şekil 3. 7 Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağının yapısı.

Geri beslemeli YSA'lar çoğunlukla danışmansız olan öğrenme kuralının uygulanmakta olduğu ağlarda tercih edilmektedir. Bu tarz ağ yapılarında çok az sayıdaki hücrenin çıkışı kendine ya da diğer mevcut olan hücre girişlerine verilebilmektedir. Buda genellikle geri beslemede bir gecikme elemanı ile yapılabilmektedir. Geri besleme işlemi katmanlarda bulunan hücrelerin arasında olabileceği gibi katmanlar arasında bulunan hücreler ortasında da olmaktadır. Yapılarıyla geri beslemeli YSA'ları, doğrusal olmayacak dinamik olan bir davranışlar göstermektedir. Geri beslemeli ağa örnek verilecek olursa Hopfield, Elman ve Jordan ağları söylenebilir (Şahin 2010, Elmas 2003). Uygulama alanına göre beş çeşit YSA bulunmaktadır:

a. Tahmin (prediction) yapabilen yapay sinir ağıları

Tahmin yapmak için tasarlanmış olan YSA'ların girişlerine uygulanan veriler ve bu verilere karşılık gelmekte olan hedef değerleri arasında bir örüntü kurarak tahmin işlemini gerçekleştirmektedirler. PV modüllerinde güç tahmininin yapılması, sıcaklık tahminlerinin yapılması ve coğrafik alanlarda yapılan tahminler bu türe örnek olarak gösterilebilmektedir (Öztemel 2003, Mellit vd. 2013, Chavoshi vd. 2013, kişi vd. 2013).

b. Tanıma (recognition) yapabilen yapay sinir ağıları

Farklı özellikte şekillerin ve tanımlanan örüntülerin tanınmasını, eksik olan verilerin ve belirsiz verilerin işlenerek eşlenmesini ve tanıma fonksiyonlarını gerçekleştiren YSA çeşididir. Mevcut görüntüyü tanıma, darbe ile oluşan görüntüyü tanıma ve göz içindeki irisi tanıma gibi uygulamalar bu çeşit YSA'ına örnek verilebilmektedir (Cios vd. 1995, Ibai vd. 2011, Xu vd. 2009).

c. Sınıflandırma (classification) yapabilen yapay sinir ağıları

Giriş olarak verilen bilgileri sınıflandırmak amacıyla tasarlanmış olan YSA' ları kendisine verilmekte olan bilgileri istenilen düzeyde sıralama işlevini gerçekleştirirler. Tıp alanında, Makine alanında, fabrikalar vb. gibi alanlarda farklı uygulamaları bulunmaktadır (Cedeno vd. 2011, Palme vd. 2011, Şahin 2010).

d. Teşhis (diagnostic) yapabilen yapay sinir ağıları

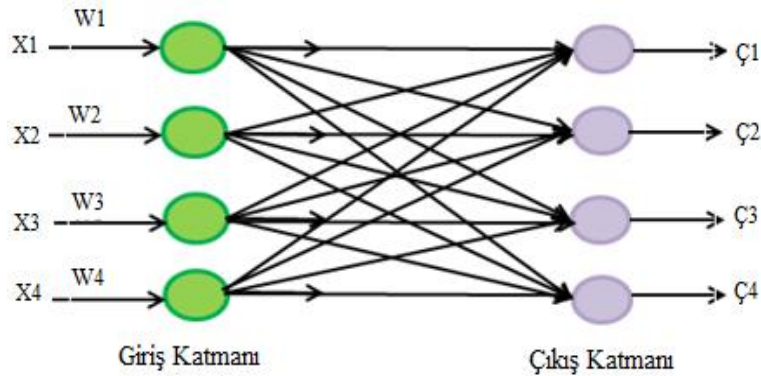
Teshis yapmak amacıyla geliştirilmiş olan YSA'lar bir modelde bulunmakta olan eksik yönleri ortaya koymanın yanında çözüm bulunması istenen problemlerdeki eksikliklerinde teşhis edilmesine yardımcı olmaktadır. Genellikle tıp alanında ve Makine alanındaki uygulamalarda bu tip YSA'lar yaygın olarak kullanılmaktadır (Yeh vd. 2008, Joly vd.2004).

e. Yorumlama (interpreting) yapabilen yapay sinir ağı

Oluşturulan modellerin birbirleriyle karşılaştırılması ve bir model üzerinde bulunan giriş-çıkış değerlerinin birbiriyle ilişkilendirilip yorumlanması bu tip uygulamalarda istenen özelliklerdendir. Mevcut durumla ilgili konuda toplanan verilerle eğitim sonrası oluşan bilgilerin kullanılıp yeni oluşan durumlar hakkında yorumlar yapılabilmektedir (Elmas 2003, Intrator 2001, Öztemel 2003). Yapılarına göre YSA'ları yapılarına göre tek katmanlı YSA'ları ve çok katmanlı YSA'ları olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür.

a. Tek Katmanlı olan Yapay Sinir Ağları

Tek bir katmandan oluşan bir YSA'ları çoğunlukla doğrusal fonksiyonları tahmin etmekte kullanılmaktadırlar. Tek katmanlı YSA'ları sadece girdi değeri olan X , çıkış değeri olan \hat{C} katmanları oluşturmaktadır. Çıkış katmanları tüm giriş katmanlarına bağlanmakta olup her bağlantının bir ağırlık değeri olan W bulunmaktadır. Dört giriş ve dört çıkıştan oluşmakta olan tek katmanlı olan YSA'ı Şekil 3.8'de gösterilmiştir (Alpaydın 2004).



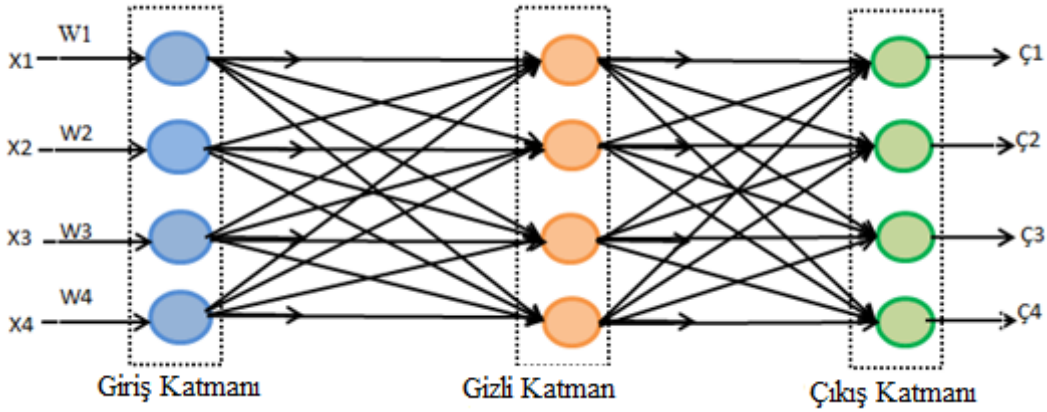
Şekil 3. 8 4 Giriş ve 4 Çıkıştan oluşan tek katmanlı Yapay Sinir Ağının Bağlantı yapısı.

Bu tek katmanlı YSA'larda girdilerin değerinin ve ağ çıkışının sıfır yapmayı engelleyen eşik verisi mevcut olup sayı değeriye sürekli birdir. Bu YSA'nın çıktısı ağırlık değerlerini almış olan girdi değerleriyle eşik değerinin toplamının neticesi elde edilmektedir. Girişler AF'den geçirilmek suretiyle ağ çıkışı hesaplanabilmektedir. Tek katmanlı olan YSA'da çıkış fonksiyonuysa doğrusal olan bir fonksiyon olup çıkış '1' ya

da '-1' değerindedir. Çıkış değeri '1' olursa birinci sınıfına, '-1' olursa ikinci sınıfına kabul edilebilmektedir. Eğer YSA'ları tarafından çözülmesi istenen problemi doğrusal değilse ilk olarak tasarımı yapılmış YSA ile modelleme olasılığı mümkün değildir. Böyle problemlerde çok fazla gelişmiş bir YSA modeli gerekmektedir (Wasilewska vd. 2013, Öztemel 2003, Vural 2007).

b. Çok Katmanlı olan Yapay Sinir Ağları

Tek katmanlı olan YSA'ların doğrusal olmayan problem çözümlerinin başarısızlıkla sonuçlanmasından sonra geliştirilmiş YSA'lardır. Çok katmanlı olan YSA'ları çoğunlukla bir adet girdi katmanı, en az bir gizli katmanla birlikte birde çıkış katmanlarından oluşmaktadır. Çok katmanlı YSA'ları bir veya birden daha çok gizli katmanı bulunan ileri beslemesi olan YSA'lardır. Şekil 3.9' da görüldüğü gibidir. Çok katmanlı YSA'larda gizli katmanlara gerek olmasının nedeni ise girdi katmanlarından gelmekte olan işlenmemiş olan sinyallerin özelliklerini belirleyerek onları ağırlıklandırarak ve sonuçları çıktı katmanına iletmektir (Öztemel 2003, Şahin 2010).



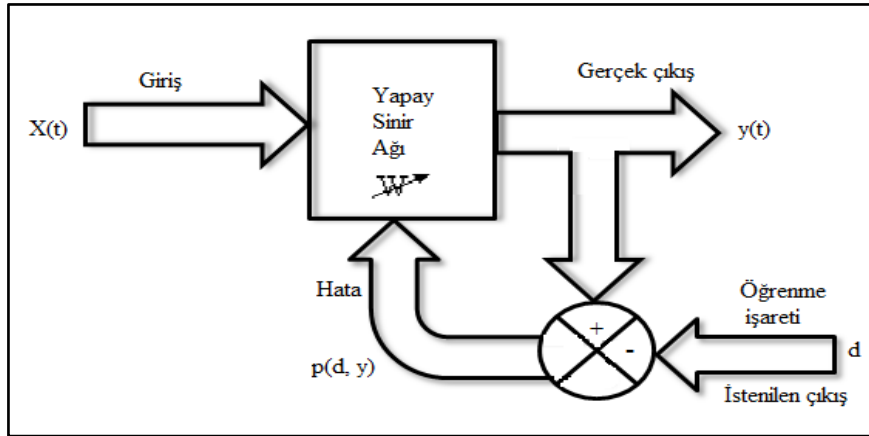
Şekil 3. 9 4 Girişli ve 4 Çıkışlı tek gizli katmanlı Yapay Sinir Ağının yapısı.

Ayrıca çok katmanlı YSA'larda katmanlarının arasında ileri yönde ve geri yönde beslemeli olan geçişler bulunmaktadır. İleri besleme aşamasında, ağ çıkışı ve hata oranı birlikte hesaplanmaktadır. Geri besleme aşamasında ise hesaplanmış hata oranının en aza indirilmesi için katmanların arasındaki bağlantı giriş verileri güncellenmektedir. Çok

katmanlı perseptron (MLP), YSA uygulamalarında kabul görmüş bir YSA türü olarak örnek verilebilmektedir. Genellikle optimizasyon alanında çok fazla kullanılmaktadır (Khan 2009, Elmas 2003). Öğrenme şekline göre YSA üç çeşittir bunlar:

a. Danışmanlı öğrenme (supervised learning):

YSA'na bir giriş değeri örnek olarak verilirken onunla birlikte birde çıkış değeri girilmektedir. Ağ verilen girdi değerler için istenen çıkışları oluşturmak için kendi ağırlık değerlerini güncelleyecektir. Ağdan istenilmekte olan değerlerle gerçek çıktı arasındaki farkla elde edilen hatalar hesaplanmakta ağa ait yenilenecek ağırlık değerleri hata değeriyle düzenlenmektedir. Hata oranı hesap edilirken ağa ait tüm çıktılarla istenmekte olan çıkış değerleri arasındaki farklar alınarak her nöron başına düşmekte olan hata değeri bulunmaktadır. Buna göre tüm nöronlar kendine gelmiş olan ağırlık değerlerini güncelleyecektir. Danışmanlı öğrenme algoritmasında danışman gerekmektedir. Danışmanlı öğrenmeye ait örnek yapı Şekil 3.10'da görülmektedir. Widrow-Hoff' un geliştirdiği delta kuralıyla ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen geri beslemeli (back propagation) algoritmasında danışmanlı öğrenmeye örnektir (Şahin 2010).

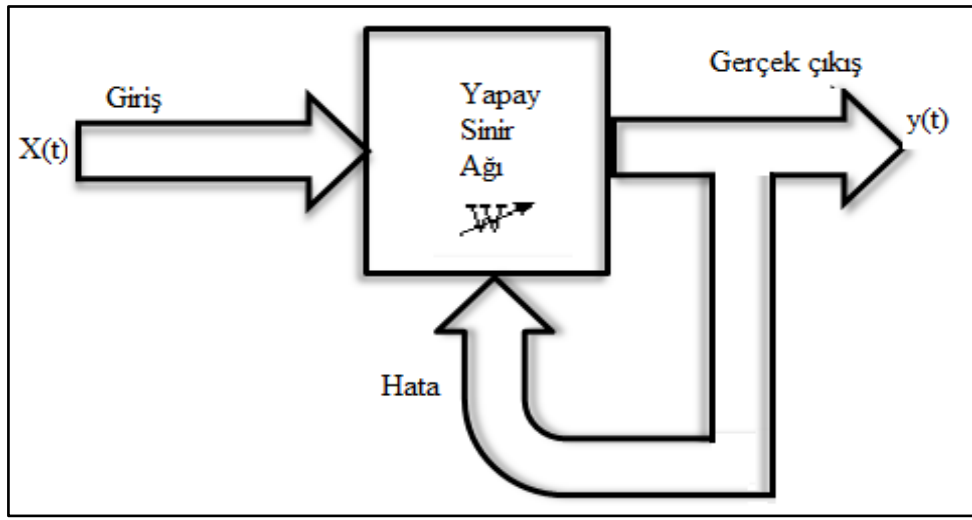


Şekil 3. 10 Danışmanlı Öğrenmenin (Supervised learning) yapısı.

b. Danışmasız öğrenme (unsupervised learning)

Danışmansız öğrenme olayında ağa örnek girdiler öğrenme sırasında verilmektedir.

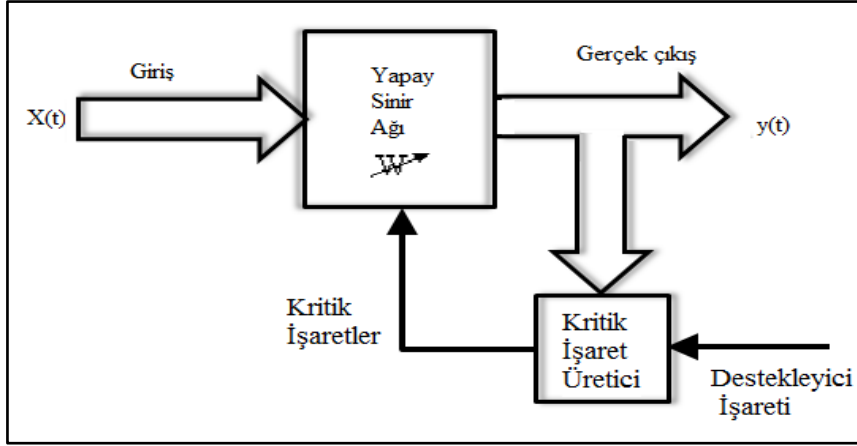
Beklenen bir çıkış değeri verilmemektedir (İnt. Kyn. 26). Öğrenme boyunca sadece giriş değerleri verilmektedir. Ağ girişte verilen değerlere göre kendi kurallarını oluşturarak her bir örneği kendi arasında sınıflandıracaktır. Ağın tekrardan bağlantı ağırlıkları değeriyle aynı nitelikler göstermekte olan desenler oluşturmasını sağlamak için ayarlayacaktır. Şekil 3.11’de danışmansız öğrenmeye örnek yapı görülmektedir. Grossberg’in geliştirdiği ART (Adaptive Resonance Theory) modeli ya da Kohonen’ in aracılığıyla geliştirilmiş SOM (Self Organizing Map) modeli öğrenmede kurallı danışmansız öğrenmeye emsal gösterilebilmektedir (İnt. Kyn. 38, İnt. Kyn.39).



Şekil 3. 11 Danışmansız öğrenmenin (Unsupervised learning) yapısı.

c. Destekleyici öğrenme (reinforcement learning)

Destekleyici öğrenme Şekil 3.12’ de görüldüğü gibi olup danışmanlı öğrenmeye benzer bir öğrenmedir. Bu öğrenme türünde, ağ tekrarlanan iterasyona ait sonucun uygun veya uygun olmadığı hakkında bilgilendirme vermektedir. Verilen bilgilendirmeyle ağ kendisini tekrardan düzenlemektedir. Ağ rastgele giriş verisiyle öğrenmekte hemde sonuçlar çıkararak öğrenmeye devam etmektedir. Satranç oynayan YSA örnek olarak incelediğimizde yapmış olduğu hamleyi iyi ya da kötü diye ayırmadan hamle yapacaktır. Oyunun sonucunda kazandıysa yaptığı hamleleri iyi kabul edecektir. Bundan sonraki oyunlarda benzer hamleleri iyi olarak değerlendirecek ve ona göre oynayacaktır. Optimasyonla ilgili problemleri çözmek için Hinton ve Sejnowski tarafından geliştirilmiş olan Boltzman kuralı bu öğrenmeye örnektir (İnt. Kyn. 39, Şahin 2010).



Şekil 3. 12 Destekleyici öğrenme (Reinforcement learning) yapısı.

Öğrenme zamanına göre YSA iki çeşittir bunlar: YSA' lar öğrenmede zamana bakarak Statik öğrenme ve dinamik öğrenme olmak üzere iki kısımda incelenmektedir.

a. Statik Öğrenmeye göre Yapay Sinir Ağları

Statik öğrenmeye göre çalışan YSA'lar kullanılmadan önce eğitilmelidirler. Eğitimler tamamlanmasıyla ağ istendiği gibi kullanılabilirler. Kullanımlar da ağ üzerinde bulunan girişlerde değişiklik olmamaktadır.

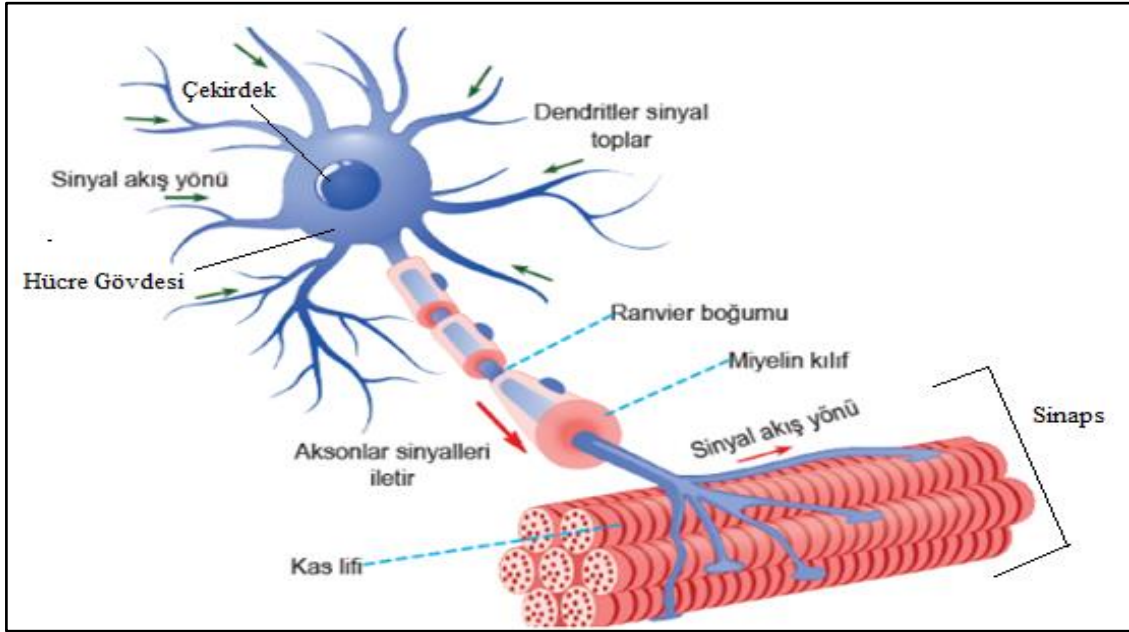
b. Dinamik öğrenmeye göre Yapay Sinir Ağları

Dinamik öğrenmeye göre çalışan YSA'lar çalıştıkları süre boyunca öğrenmek için tasarlanmışlardır. YSA'lar eğitimleri bittikten sonrada çıkışlarının onaylanmasına bağlı olarak ağırlıklarını değiştirerek çalışma devam etmektedirler.

3.3.1 YSA Nöron Modeli

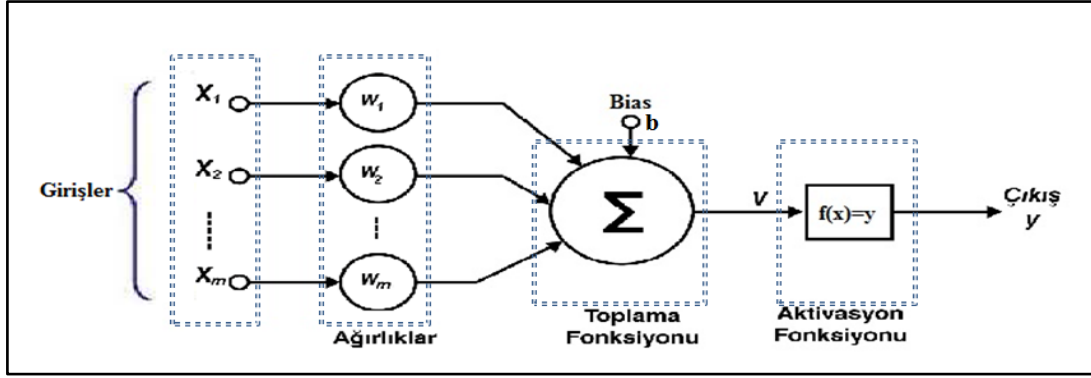
Şekil 3.13' deki biyolojik olan sinir hücresinde bulunmakta olan gövde kısmı, akson kısmı, çok sayıdaki sinir ucu olan dentrit ve aksonla birlikte diğer sinir hücresinin sinir ucu arasında kalmakta olan ince uzantıları olan sinapsla birlikte dört kısım bulunmaktadır. Dentritler gelmiş olan sinyalleri çekirdeğe iletmektedirler. Çekirdekse dentritten gelmiş

olan sinyalleri bir araya toplayarakve aksona iletmektedir. Toplanmış olan bu sinyaller, akson kısmı tarafından işlendikten sonra sinapslara gönderilmektedir. Biyolojik sinir hücresinde bulunan sinir hücresi, hücre gövdesi, sinapsların, dendritlerin, ve aksonların yerini YSA'da sırasıyla ağırlık değerleri, işlem elemanı, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve eleman çıkışı değerleri gelmektedir. YSA'nın yapısında bulunan her bir girdi değeri kendinin ağırlığıyla çarpıldıktan sonra toplam fonksiyonuna eşik değerinde eklenmesiyle toplama işlemi yapılmaktadır. Bu şekilde elde edilen değer aktivasyon fonksiyonuna girerek işlenmekte ve çıkış değeri elde edilmektedir. Bu yapıdaki YSA nöronu Şekil 3.13'de görüldüğü gibidir (İnt. Kyn.40, İnt. Kyn.41, Şahin 2010, Alçın 2017).



Şekil 3. 13 Biyolojik sinir hücrelerinin iç yapısı.

Şekil 3.13'de görülen yapay sinir hücresi biyolojik sinir hücresine yapı olarak benzemektedirler. Yapay sinir hücresi kısımları, gerçek olan sinir hücresindeki aşağıdaki kısımlara denk gelmektedir. Dendrit – Girdilere, Nöron- İşlemci elemanına Hücre Gövdesi- Transfer Fonksiyonuna ve Aksonlar- Yapay nöron çıkışlarına karşılık gelmektedir (İnt. Kyn.40- İnt.Kyn.44, Jin 2007).



Şekil 3. 14 Yapay siniri hücre yapısı.

Şekil 3.14’ deki girdi değeri yapay bir sinir hücresine dışarıdan gelmiş olan verilerdir. Girdiler, ağ öğrenmesi istenilen örneklerle belirlenmektedir. Ağırlık değerleri, yapay sinir hücresine gelmiş olan bilginin değerini ve hücrenin üzerinde yaptığı etkiyi göstermektedir. Ağırlık değerinin eksi ya da artı olması etkisinin negatif ya da pozitif olduğunu göstermektedir. Toplama fonksiyonuyla yapay siniri hücre girişine gelmiş olan net girdi hesaplanmaktadır. Gelen her bir girdi değeri kendi ağırlığıyla ile çarpıldıktan sonra toplanmaktadır Bu şekilde ağa gelmiş olan net girdi değeri belirlenmektedir. Bias yani eşik değerinin pozitif olmasıyla net girdi yükseltme, negatif olduğundaysa azaltma özelliği göstermektedir. Bias değerinin kullanılması zorunlu değildir (Öztemel 2003). Giriş sinyali X_j olup j değerinin 1 ve m tamsayı arasında değiştiği görülmektedir. Bu sinyal ile W_j ağırlık sinyali de denklem (3.1)’daki gibi çarpılmaktadır. Ağırlık sinyali W_j ifadesi ilk alt indis ile ilgili olan nöronu, ikinci alt indisi ise ağırlığın belirtmiş olduğu sinapsın girişindeki ucuda belirlemektedir. Net girdinin $f(x)=y$ ifadesiyle elde edilmekte olan aktivasyon fonksiyonuyla işlenmesiyle çıkış sinyali olan ‘ y ’ elde edilmektedir. Denklem (3.2) ile hesaplanmaktadır.

$$v = \sum_{j=1}^m X_j W_j \quad (3.1)$$

$$y=f(x)+b \quad (3.2)$$

3.3.2 Aktivasyon (Transfer) Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu (AF), yapay sinir ağı hücresi gelen net girdi değerini işleyerek hücre tarafından bu girdi değerine üretilecek çıktı değerini belirlemektedir. YSA sinir

hücresi kullanılan AF'nuna bağlı olarak problemi çözmeye çalışmaktadır. YSA sinir hücresinden beklenmekte olan gerçek çıkışa ait değer kullanılmakta olan AF'nuna bağlı olarak farklılaşabilmektedir (Öztemel 2003, Alçın 2017). Problem çözümünde kullanılmakta olan AF'nun belirlenmesi çok önemlidir. Seçilmiş olan AF'nuyla çıkış sinyal değeri istenilen sonlu aralıklarda kısıtlandırılmaktadır. Problemden kullanılacak en faydalı aktivasyon fonksiyonuysa kullanıcının deneme yanılmayla elde edilen sonuca göre belirlenecek olanıdır. YSA sistemlerinde kullanılmakta olan AF'ları doğrusal (linear) aktivasyon fonksiyonu ve doğrusal olmayan (nonlinear) aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır (Şahin 2010). Aktivasyon fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri Çizelge 3.1 de görüldüğü gibidir.

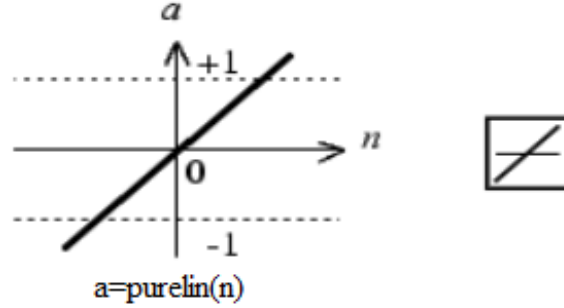
Çizelge 3. 1 Aktivasyon fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri.

Aktivasyon Fonksiyonu	Denklem	Aralık
Doğrusal Fonksiyon	$f(x) = x$	$(-\infty, \infty)$
Basamak Fonksiyonu	$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{için } x < 0 \\ 1 & \text{için } x \geq 0 \end{cases}$	$\{0,1\}$
Sigmoid Fonksiyon	$f(x) = p(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$	$(0,1)$
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu	$f(x) = \text{Tanh}(x) = \frac{(e^x - e^{-x})}{(e^x + e^{-x})}$	$(-1,1)$
ReLU	$f(x) = \begin{cases} x & \text{için } x \geq 0 \\ 0 & \text{için } x < 0 \end{cases}$	$[0, \infty)$
Leaky (Sızıntı) ReLU	$f(x) = \begin{cases} x & \text{için } x \geq 0 \\ 0,01x & \text{için } x < 0 \end{cases}$	$(-\infty, \infty)$
Swish Fonksiyonu	$f(x) = 2xp(\beta x) = \begin{cases} \beta=0 & \text{için } f(x) = x \\ \beta \rightarrow \infty & \text{için } f(x) = 2\max(0,x) \end{cases}$	$(-\infty, \infty)$

3.3.3 Doğrusal (Linear) Aktivasyon Fonksiyonları

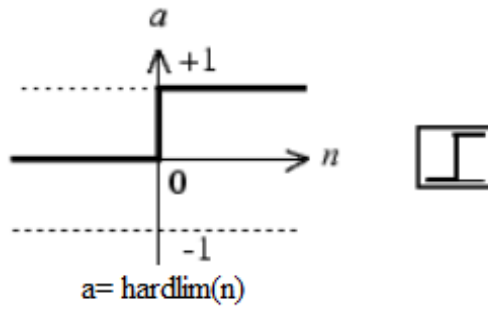
Kompleks olmayan problem çözümlerinde genellikle doğrusal olan AF'ları tercih edilmektedir. Doğrusal (linear) transfer fonksiyonunun grafiği Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Şekil 3.15'de görülen girişin değeri herhangi bir farklılığa uğramamış olduğu gibi

çıkıştır(a=n). Genel olarak yapılarla doğrusal süzgeçli problemlerde daha çok karşılaşılmaktadır (Elmas 2003).



Şekil 3. 15 Doğrusal Aktivasyon fonksiyon grafiği.

a) *Hard-limit transfer fonksiyonu*



Şekil 3. 16 Hard- limit transfer fonksiyon grafiği.

$$Hardlim = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & \text{eğer } n \geq 0 \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

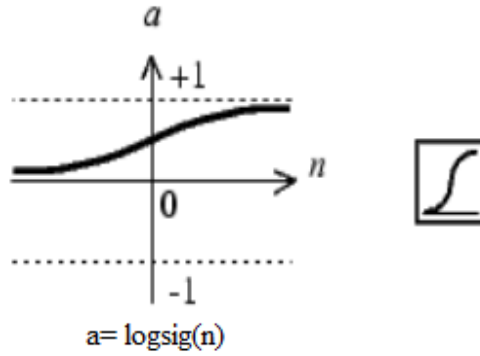
Hard-limit aktivasyon fonksiyonunu Şekil 3.16’de görüldüğü gibidir. Grafikteki n değeri aktivasyon fonksiyonunun girişi, a değeri ise çıkışını ifade etmektedir. Bu aktivasyon fonksiyonunda, denklem (3.3)’ de görüldüğü gibi giriş değeri 0’dan büyük ya da eşit olursa çıkış değerimiz 1, giriş değerimiz 0 değerinden küçük olması durumunda çıkışın değeriye 0 ‘dır. Çoğunlukla gruplandırma problemlerinde ve uygulamasında tercih edilmektedir (Şahin 2010, Öztemel 2003).

3.3.4 Doğrusal Olmayan (nonlinear) Aktivasyon Fonksiyonu

Karmaşık olan problemlerin çözümlenmesinde doğrusal olmayan AF'nu daha sık tercih edilerek iyi sonuçlar elde edilmektedir. Doğrusal olmayan AF'larından çok fazla tercih edilen sigmoid fonksiyonlarıdır. Sigmoid fonksiyonunda en önemli özelliği türev alma işleminin yapılabilmesidir. Buradaki özelliğinden dolayı karmaşık olan problemlerin çözümlenmesinde çok fazla kullanılmaktadır (Haykin 2005, Demuth vd. 2014).

a) Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Sigmoid AF' nu, doğrusal olmayan logaritmik yapıdaki fonksiyondur. Girişe ait değerler hangi aralık arasında olursa farketmez, çıkışın değeriye her zaman 0 ve 1 aralığında bulunmaktadır. Türevlenebilmesinden dolayı geriye doğru yayılım algoritması olarak kullanılabilirler. En çokta doğrusal olmayan problem çözümlenmelerinde tercih edilmektedir. Sigmoid fonksiyonunu aşağıdaki Şekil 3.17'deki grafikte görüldüğü gibidir.



Şekil 3. 17 Sigmoid Aktivasyon fonksiyon grafiği.

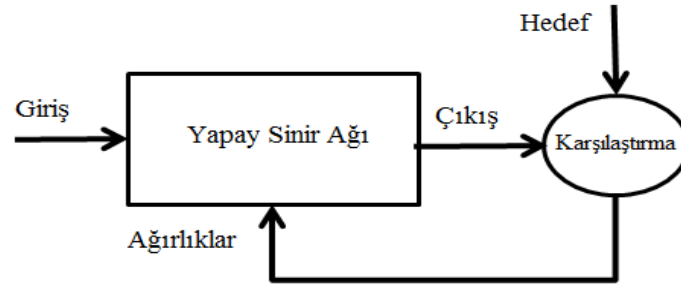
Günümüzde en çok kullanılan sigmoid AF'nu denklem (3.4) matematiksel olarak ifade edilebilmektedir.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3.4)$$

3.4 Yapay Sinir Ağları ve Matlab Programı

Matlab, matrix laboratory kelimelerinin ilk üç harflerinin kullanılmasıyla türetilmiştir. Sayısal hesaplamalar ve karmaşık matematiksel işlemleri yapabilen programlama dilidir. Matlab, mühendislik alanı, bilim ve ekonomi vb. gibi çeşitli akademik ve araştırma kurumlarının yanında endüstriyel işletmelerde de çok kullanılmaktadır. Matlab programının ara yüzü olan Neural Network bölümüyle bilgisayarın ortamlarında YSA denemeleri gerçekleştirilerek, simüle yapıldığı kısımdır. YSA' lar biyolojik sinir sistemi gibi öğrenebilmekte ve deneyi kazanarak gelecek olaylarla ilgili tahmin yapabilirler (Demuth vd. 2000, İnt. Kyn. 43).

YSA'ları birbirine paralel olarak çalışan ağırlıklardan oluşmaktadır. Belli olan fonksiyonun gerçekleştirilmesinde bir sinir ağının girişlerinin arasında bulunan bağlantıların verileri ayarlanmak suretiyle önemli görevin yapmasında eğitilebilmektedir. YSA'lar eğitilerek özel bir girişten, özel bir hedef çıktısı elde edilebilmektedir. YSA'nın çıkışı istenilen hedef değere ulaşmaya kadar çıkış ve hedef değerleri karşılaştırılarak ağırlık değerleri ayarlanmaktadır. Şekil 3.18'de görüldüğü gibidir (Öztemel 2003).



Şekil 3. 18 Yapay Sinir Ağının Matlab işlem yapısı

3.5 Yapay Sinir Ağlarında Normalizasyon İşlemleri

YSA'ında ağırlık değerleri ve hedef değerleri normal değerden çok yüksek veya çok ufak değerler olabilmektedirler. Değerler eğitildiğinde net girişler hesaplandığında bu veriler

çok yüksek ya da çok ufak değerler oluşturarak ağı yanıtlanabilmektedirler. Bütün eğitim verileri 0 ve 1 arasında olması gerekmektedir. Bu durumda değişik ortamdan gelmiş olan bilgiler benzer ölçeklendirme üzerinde indirgenemediği gibi hatalı girilen çok yüksek değerler ve ufak verilerin tesiride azaltılabilmektedir. YSA' nın ağırlık ve hedefine ait değerlerini giriş öğrenme kısmından önceki ilk işlemlerden geçirilerek YSA' nın eğitim başarısı artırılabilir. Buna normalizasyon işlemi denilmekte olup ilk kullanılacak eğitim verilerine uygulanmaktadır. Çünkü bu eğitim verileri doğrudan YSA eğitiminde kullanılamamaktadır (Beale vd. 2012).

Ayrıca YSA katmanları arasındaki geçmelerde değerler eşik fonksiyonundan geçmektedirler. Eşik fonksiyonun çıkış aralıkları (-1, 1) ya da (0, 1) aralığındadır. YSA'da ilk kullanılacak verilerin bu aralıklara çekilmesi gerekmektedir. Kısacası enformasyon bölgesinin gerçek değerinin 0 ve 1 aralığında normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon işlemi temel ön işleme yöntemlerindedir. Ön işlemleri gerçekleştirmiş YSA' nın eğitim ve öğrenme performansı artmaktadır (Saranya vd. 2013). Normalizasyon işlemi aynı anda bütün girişlere uygulanabilmektedir. İlk olarak giriş değerlerinin ve çıkış değerinin minimum ve maksimum değerleri belirlenmelidir. Sebebi ise eldeki mevcut verilerin bu aralık içinde bulunmasıdır. YSA bu aralıkların dışında doğru tahminde bulunmamaktadır. Birçok normalizasyon yöntemi bulunmaktadır. Ancak burada en çok kullanılanları incelenecektir (Öztemel 2003, Şahin 2010).

3.5.1 İstatiksel Normalizasyon (z-score normalizasyonu) Yöntemi

Benzer bilgi değerlerinden kimi verilerin 0'dan ufak olması, bazılarıysa çok büyük değerlerde olduğundan verilerin arasında bulunan farklar uç değerlerin netice üstünde etkili olabileceğini belirtmektedir. Veriler normalleştirildiğinde eğitimin girişindeki her farklı değişkenin, modellenin tahmininde katkısı aynı oranda olacaktır. Her değişkene ait sütun değerlerinin aritmetik ortalama ve standart sapma değeri bulunmaktadır. Denklem (3.5) ile verilere ait değerleri normalleştirilmek suretiyle veri değerleri arasında bulunan

mesafeler ortadan kaldırıldığı gibi veri değerlerindeki uç noktalar azaltılmaktadır (Beale vd. 2012, Saranya vd. 2013).

$$X' = \frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i} \quad (3.5)$$

Yukarıdaki formülde;

X' : Normalizasyonu yapılmış veri değeri

X_i : Giriş değerleri

μ_i : Giriş değerleri ortalaması

σ_i : Giriş seti standart sapmasını tanımlamaktadır.

3.5.2 Min-Max Normalizasyon Yöntemi

Min- Max normalizasyon yönteminde, veri değerleri doğrusal olarak normalize edilmektedir. Minimum değeri; bir veri değerinin aldığı en az olan değerkken, maksimum değeri; veri değerinin aldığı en fazla olan değerdir. Verinin Min-Max yöntemiyle normalizasyon yapmak demek onu 0 ile 1 aralığına indirgemek demektir. Denklem (3.6) kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmaktadır.

$$X' = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki formülde;

X' : Normalizasyon veri değeri

X_i : Giriş değerleri

X_{max} : En fazla olan giriş değeri

X_{min} : En az olan giriş değerini tanımlamaktadır.

3.5.3 Desimalskala Normalizasyonu Yöntemi

Bu yöntemde girdi değerlerinin ondalık kısımları hareket ettirilerek normalizasyon işlemi yapılmaktadır. Denklem (3.7) ile normalizasyon işlemi yapılmaktadır.

$$X' = \frac{X_i}{10^m} \quad (3.7)$$

Yukarıdaki formülde;

X': Normalizasyonu yapılmış veri değeri

X_i: Giriş değerleri

m: En küçük tamsayı değeridir.

3.5.4 D_Min_Max Normalizasyo Yöntemi

Bu

yöntemde model uygulanmada denklem (3.8)'le bütün değerler 0,1 ve 0,9 değerleri aralığında normalize edilmektedir. Normalizasyonu yapılmış veri değerleri boyutu kısaltılmış olmaktadır (Beale vd. 2012, Saranya vd. 2013).

$$X' = 0,8 \cdot \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3.8)$$

Denklemden;

X' : Normalizasyonu yapılmış veri

X_i : Girdi değerleri

X_{max} : En büyük girdi değeri

X_{min} : En küçük girdi değerini ifade etmektedir.

Tahmin sonuçlarının doğruluğunun ölçümünde ise (Çulhadar 2005),

Hata Kareleri Ortalaması (MSE: Mean squared error),

$$MSE = \sum \frac{(y_1 - y_2)^2}{n} \quad (3.9)$$

Hata Karelerin Ortalamasının Karekökü (RMSE: Root Mean Square Error)

$$RMSE = \sqrt{\sum \left(\frac{(y_1 - y_2)^2}{n} \right)} \quad (3.10)$$

Mutlak Hata Oranları Ortalaması (MAPE: Mean Absolute Percentage Error)

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{(y_1 - y_2)^2}{y_1} \right|}{n} A = \pi r^2 \quad (3.11)$$

Burada formüllerde;

y_1 = gerçek değerler

y_2 = tahmin edilen değerler

n = tahmin sayısıdır (bağımlı değişken) şeklinde tanımlanmaktadır.

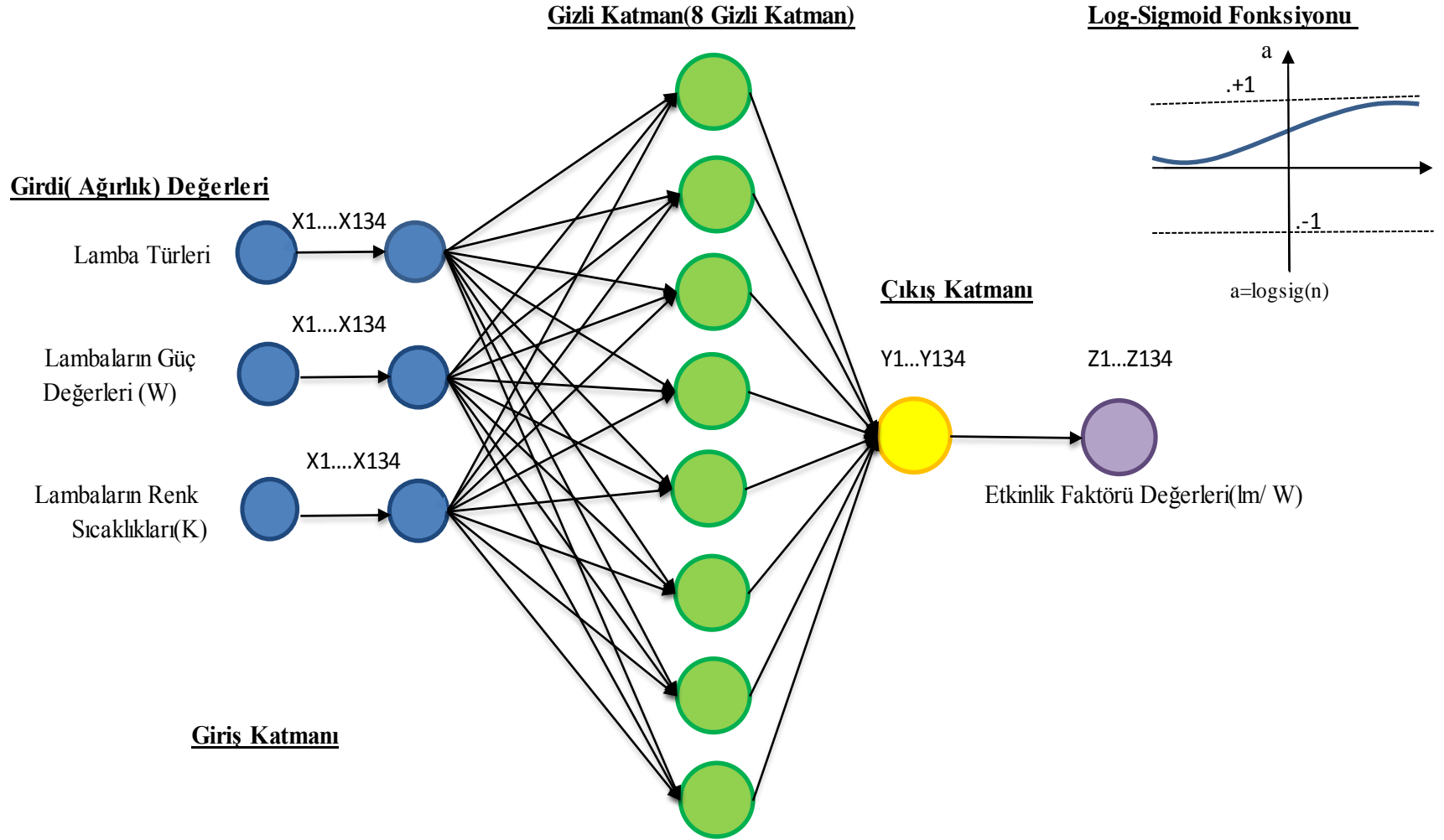
Bugüne kadar yapılan çalışmalarda tahmin performans ölçümlerinde sırasıyla en çok kullanılan RMSE, sonra MAPE ve sonrada MSE değerlerine bakılmıştır. Oluşturulan ağlarda değerlendirme yapılırken tahmin performans ölçüm değeri en az olan ağlar seçilmektedir. Tahminde elde edilen performansın ölçütlerine göre MAPE değeri %10 değerinin altındaki tahminlenen modellerin “en fazla doğruluk” derece değerine sahip, %10 ve %20 arasındaki olan modellerse “hatasız tahminler” olarak sınıflandırmaktadır. MAPE değerleri %10 değerinin altındaki modellerini çokiyi, %10 ve %20 arasındaki modellerini iyi, %20 ve %50 arasındaki modellerini kabuledilebilen ve %50 altındaki modelleri yanlış ve hatalı olarak diye tanımlamıştır (Visalakshi vd. 2009, Çulhadar vd. 2005).

4.BULGULAR

4.1 Yol Aydınlatma Sistemlerine ait Etkinlik Faktörlerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini

Eklenen her giriş değeri ile hep ayarlanması gereken ağırlık değerleri öğrenme olayının gerçekleştiğinin belirleyicisidir. Ağırlık değerleri, her giriş değerini temsile çalışmakta ve her giriş değerlerinin uzaklıkları toplamı değeri minimum olduğunda regresyona ait eğrinin temsili ettiği geometrik şekilde en belirgin noktayı oluşturacaktır. Bununla birlikte girilmiş olan değere en net cevap verilmektedir (Öztemel 2003). YSA'da öğrenmenin üzerinde etkin rol oynayan faktörlerden biri de YSA üzerinde kullanılan katman sayısıdır. Modelden modele katman sayısı değişse de, üç katmanlı olan YSA modeli en karmakarmaşık problemlere bile kâfi gelmektedir. Üç katmanın altında katman sayısına sahip veya çok katmanlı olan YSA modellerinin problemleri çözemeyeceği anlamına gelmemelidir. Üç katmanlı YSA' da giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı bulunmaktadır. Bu dört katmanlı olan yapı olsaydı 1. Olan katmanı giriş katmanı, 4. katmanı çıkış katmanı, arasında bulunan diğer iki katman ise gizli katman ismiyle adlandırılır. YSA' da iterasyon sayısının değeri her probleme göre kendi içerisindeki hassasiyetine göre değişmektedir. Döngü sayısının çok olması ağ performansını azaltacak sonucu bulmayı geçiktireceğinden, döngü sayısının az olması ise sonucu elde etmeyi önleyecek seviyede yüzeysel neticeler üretmeye başlayacaktır. Bundan dolayı YSA'ı her bir problem için kullanılırken iterasyon sayısının değeri denenerek bulunmaya çalışılmaktadır (Fausett 1994).

YSA'ları ile bir tahmin yapılabilmesi için ilk olarak oluşturulacak YSA'nın eğitilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, YSA eğitimi için kullanılan değişkenler girdi (ağırlık) değerleri ve Çıktı (hedef) değerleridir. Lambalara ait lamba markası, lambaların gerilim değerleri, lambaların güç değerleri, lambaların toplam ışık akısı değerleri YSA giriş değerleri olarak kullanılmıştır. Farklı lambalara ait etkinlik faktörü değerleri (lümen/ Watt) YSA çıkış değeri olarak atanmıştır. Etkinlik faktörünün YSA ile tahmininde kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerinin minimum ve maksimum değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 Etkinlik faktörünün tahmini için kullanılan giriş ve çıkış değerleri.

Çizelge 4. 1 YSA eğitimi ağırlık ve hedef değerlerinin Mak.-Min aralığı.

Girişler	Ağırlık ve Hedef Değerleri	Mak.	Min.
X1	Lambaların Türleri	9	2
X2	Lambaların Güç değerleri(W)	2000	3
X3	Lambaların Renk Sıcaklıkları(K)	7450	1800
Y1	Lambalara ait etkinlik faktör değerleri	151.11	11.75

Şekil 4.1’ de etkinlik faktörünü tahmin etmek oluşturulmuş YSA modeli giriş ve çıkış verileri gösterilmiştir.YSA’nda, sözel verileri sayısal veriye dönüştürmemiz gerekmektedir. Dönüşüm yapmazsak YSA’na bu değerleri tanıtmamız mümkün olmayacaktır.

YSA ‘0’ ve ‘1’ değerleri arasında işlem yapılmaktadır. O yüzden lamba türlerine ‘0’ ve ‘1’ değerlerinin dışında değer vererek tanımlama yapılmıştır. Lamba türlerine verilen değerler Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4. 2 YSA' da kullanılan lamba türlerine verilen değerler .

Marka	Verilen Değerler
Akkor Lamba (Enkandesan)	2
Halojen Lamba (Tungsten)	3
Metal Halide Lamba	4
Floresan Lamba	5
LED Lamba	6
Tasarruflu Lamba	7
YB Sodyum Buharlı Lamba	8
YB Civa buharlı Lamba	9

YSA’ında ağırlık ve hedef verileri normal değerden çok daha büyük veya çok daha küçük değerlerde görülebilmektedirler. Bu değerler farkedilmeden eğitimde kullanıldığında net giriş değerleri hesaplanırken kullanılmış olan veriler olması gerekenden çok büyük veya çok küçük değerler buldurarak oluşturulan ağ yanılabilirler. Tüm eğitim verileri belli aralıkta yani ‘0’ ve ‘1’ aralığının da

ölçeklenmesi değişik ortamdan gelmiş bilgiler aynı ölçeğe indirgenmiş olacak hemde yanlış girilmiş olan aşırı büyük ve aşırı küçük değerler etkisi azaltılmasına yardımcı olacaktır. Bu yüzden YSA'yı eğitime aşamasına geçilmeden bazı ön işlemlerle gerçekleştirilmek istenen YSA öğrenmedeki başarısı arttırılabilmektedir.

Ağı eğitmede kullanılan giriş ve çıkış değerleride belli işlem aşamalarından geçirilerek YSA'nın eğitimide çok daha iyi duruma getirilebilmektedir. Bu işleme normalizasyon yapma denilmektedir. Normalizasyon işlemi kullanılmamış ilk uygulanacak eğitim değerlerine uygulanmaktadır. Bunun sebebiyse hiç kullanılmamış eğitim değerleri direk olarak YSA'yı eğitmede kullanılamamaktadır. (Beale vd. 2012). Çalışmamızda Min- Max normalizasyonu işlemi kullanılarak eğitim değerleri '0' ve '1' aralığı'na indirgenmektedir. Eğitim verilerimizi bu aralığa indirmek için (3.2) nolu denklem kullanılmaktadır.

$$X' = \frac{(X_i - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (3.2)$$

Denklemdede;

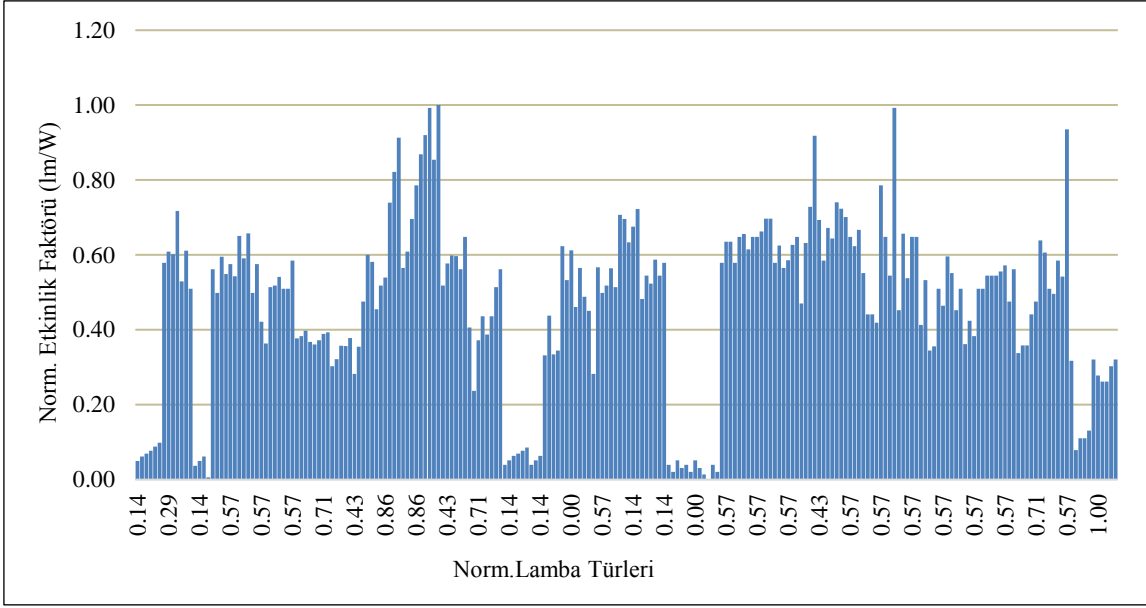
X' : Normalize edilmiş değer,

X_i : YSA girdi değeri,

X_{\min} : Giriş değerinin en küçük değeri,

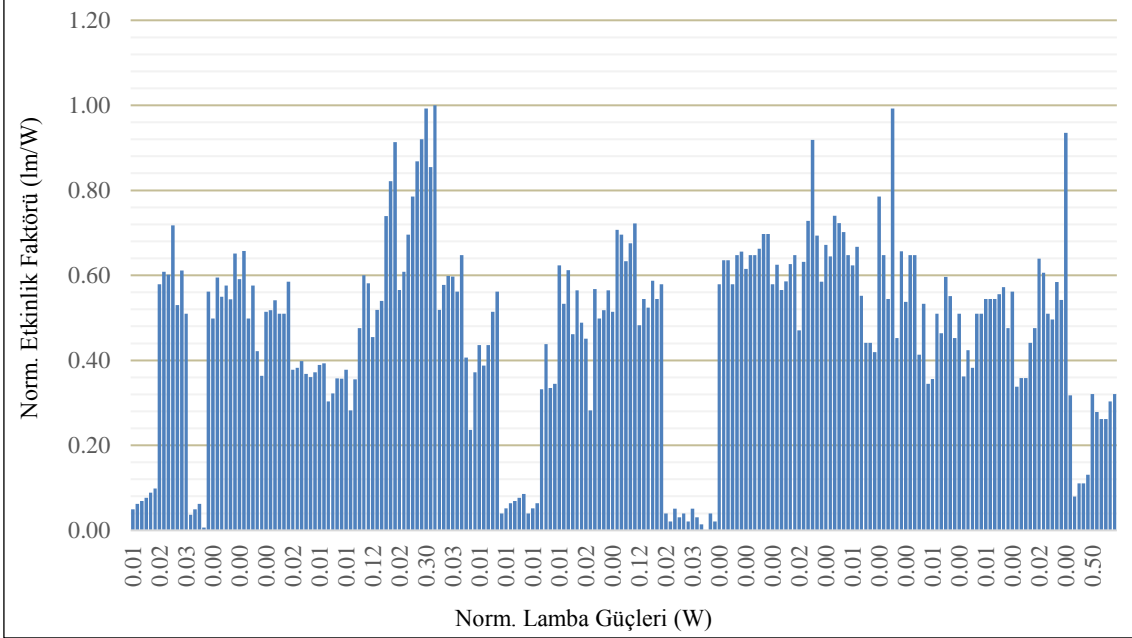
X_{\max} : Giriş değerinin en büyük değeri kullanılmıştır (Medsker 1997, Villaverde vd. 2011).

Bu çalışmada YSA'nın eğitimi için kullanılan verilerin normalizasyon işlemi sonrasında ters dönüşüm yapılarak gerçek değerler bulunmuştur. YSA eğitiminde kullanılan değerlerin normalizasyonu yapılmış olan girdi ve Çıktı değerlerinin grafiksel değişim grafikleri aşağıdaki gösterilmiştir. Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörü değerinin, normalizasyonu alınmış lambda türlerine göre değişim grafiği Şekil 4.2' da görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 2 Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörünün, Normalizasyonu alınmış lamba türlerine göre değişim grafiği.

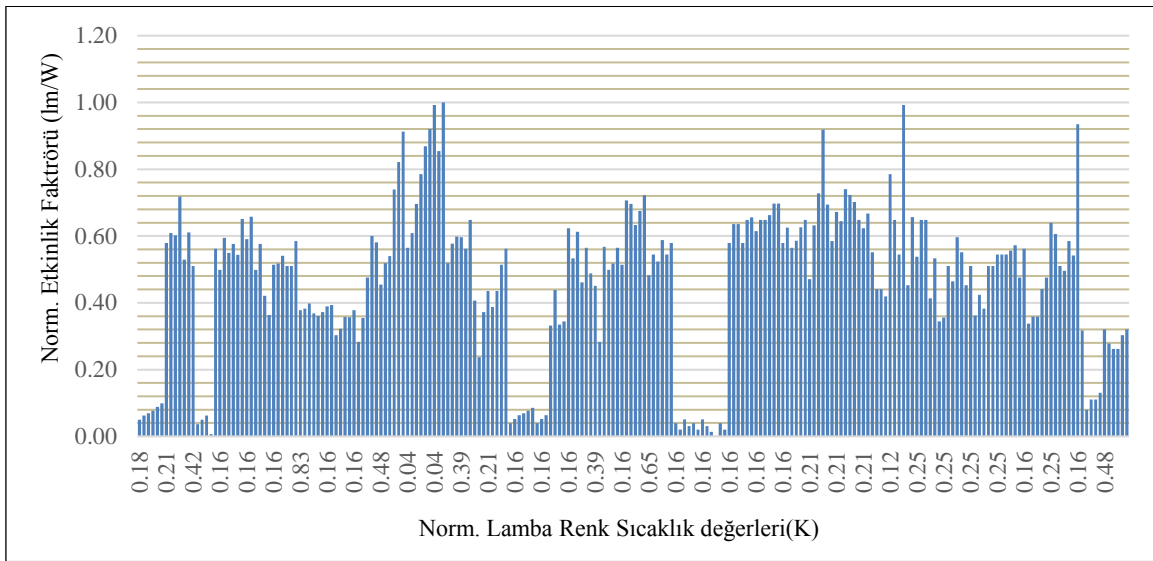
Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörü değerinin, normalizasyonu alınmış lamba gücü değerine göre değişim grafiği Şekil. 4.3' da görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 3 Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörünün, Normalizasyonu alınmış lamba güçlerine göre değişim grafiği.

Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörü değerinin, normalizasyonu alınmış lamba

Renk Sıcaklık değerlerine göre değişim grafiği Şekil 4.4' de görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 4 Normalizasyonu alınmış etkinlik faktörünün, Normalizasyonu alınmış lamba Renk Sıcaklık Değerlerine göre değişim grafiği.

YSA'da kullanılmış normalizasyonlu değerlerin minimum-maksimum değerleri Çizelge.4. 3' de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4. 3 YSA eğitiminde kullanılan normalizasyonu yapılmış verilerin Mak.-Min. değerleri

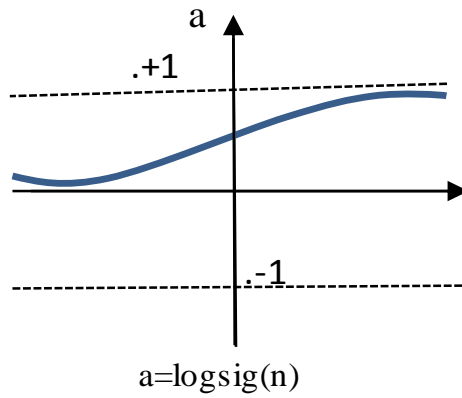
Girişler	Ağırlık ve Hedef	Mak.	Min.
X1	Lambalara ait gerilim marka değerleri	1	0
X2	Lambalara ait güç değerleri	1	0
X3	Lamba Renk Sıcaklık Değerleri(K)	1	0
Y1	Lambalara ait etkinlik faktör değerleri	1	0

Tanımlanan modelde etkinlik faktörü tahmini için ileri Beslemeli Geri Sayılımlı YSA Modeli olarak Feed-forward backpropagation seçilmiştir. Ağ oluşturma ekranında Training function TRAINLM, Adaption learning function'u yani LEARNGDM tercih edilmiştir. Performans fonksiyonu olarak ise MSE (Mean squared error)

Kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak da Şekil 4.5.' de görülen LOGSIG (Log-Sigmoid Tranfer Function) fonksiyon kullanılmıştır.

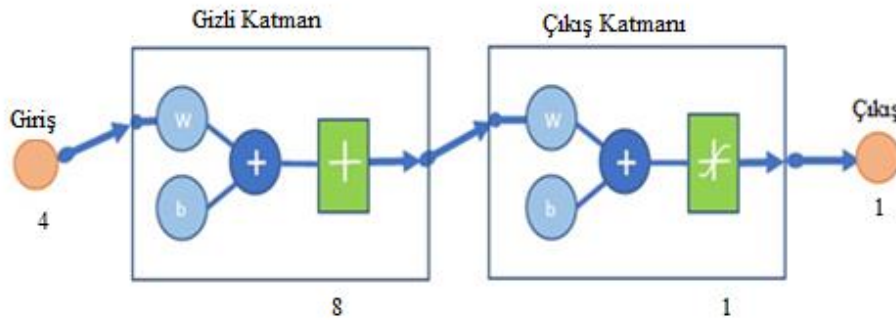
Çizelge 4. 4 YSA eğitiminde kullanılmakta olan fonksiyon ve datalar

Ağ Özellikleri	
Network Type	: Feed-Forward backpropagation
Training function	: TRAINLM
Adaption learning function	: LEARNINGDM
Performance function	: MSE
Number of layers	: 2
Properties for	: Layer 1
Tranfer Function	: LOGSIG



Şekil 4. 5 Log-Sigmoid fonksiyon.

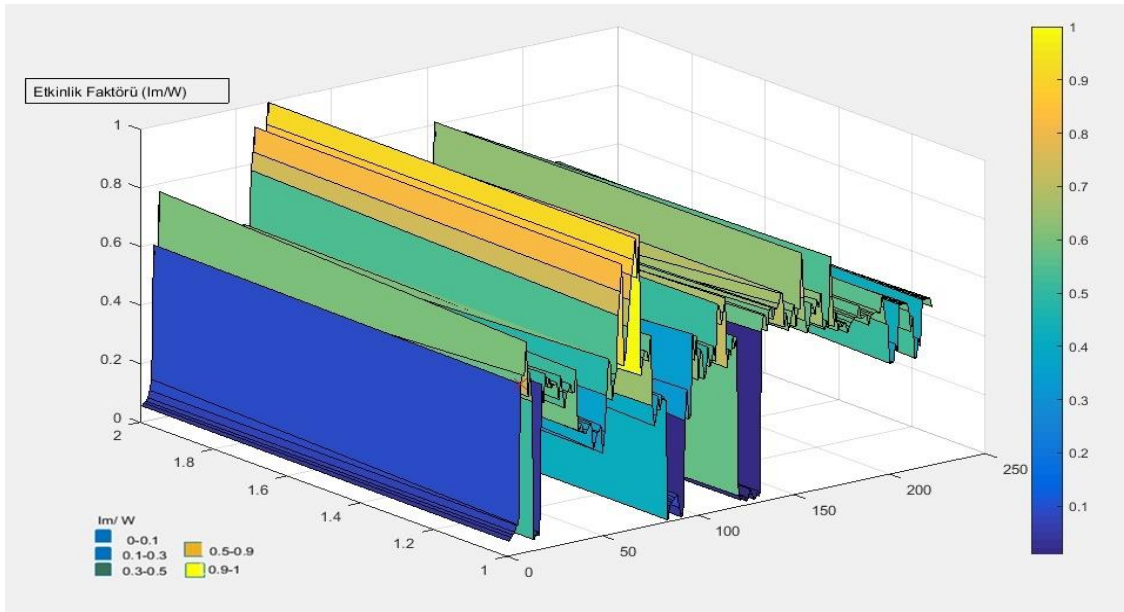
YSA eğitimin de kullanılan fonksiyon ve datalar Çizelge 4.4 'de görülmektedir. Tanımlanan YSA modeline ait sinir ağı görünümü Şekil 4.6'da verilmiştir. YSA ağında 4 girdi değeri ve 1 çıktı değeri bulunmaktadır.



Şekil 4. 6 Tanımlanan Yapay Sinir Ağının şematik gösterimi.

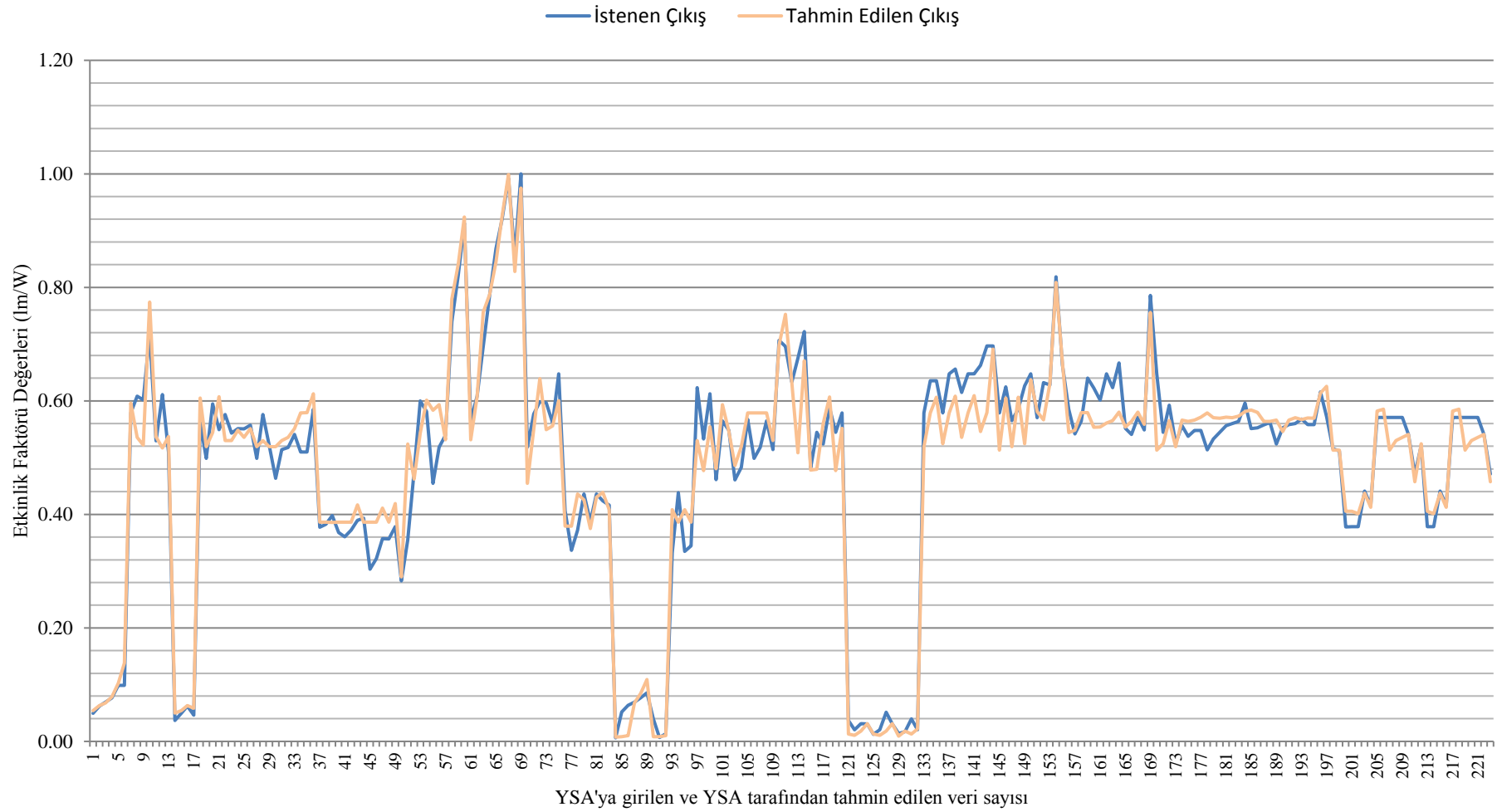
Yapılan tahminde girdi değerlerine ait YSA eğitim değeri 0,91142 regression ile gerçekleştirilmiştir. Kurulan 4x1 YSA tahminini doğrulama değeri 0,98186 ile gerçekleştirmiştir. Hedefe ait olarak tanımlanan değerlerin testinin regression değeri 0,90856 olup yüksekce bir geçerlilikle gerçekleşmiştir. Bütün girişin regression değeri ise 0,92077 olarak bulunmuştur. Training' deki eğitim değerlerinin %91,142 oranında, ALL değeri ise %92,077 oranında doğru çıktığını gözlemlenmiştir. Korelasyon değeri ise bire eşit olduğu için ağ çıkışı ile hedef çıkışı arasında mükemmel bir benzerlik olduğunu anlaşılmaktadır.

Tahmin 100. İterasyonda gerçekleşmiştir. Geliştirilen modelde en iyi performans değeri 0.0075628 olarak tespit edilmiştir. Burada lamba etkinlik faktörünün, lambalara ait belirli giriş değişkenleri kullanılarak geliştirilmiş olan YSA modeliyle tahmin etmek amacıyla yapılmaktadır. Şekil 4.7'de YSA'na verilen Etkinlik Faktörü ile tahmin edilen Etkinlik faktörünün %91,142 oranında örtüştüğünü gösteren 3D grafiği görülmektedir.



Şekil 4. 7 Etkinlik faktörü değerlerinin tahmin edilen Etkinlik Faktörü değeriyle örtüştüğünü gösteren grafik.

YSA'na ağırlık ve hedef değerleri girdikten sonra YSA tarafından tahmin edilen etkinlik faktörü değerleri ile mevcut bilinen lamba etkinlik faktörlerinin %91, 142 örtüştüğünü gösteren grafik Şekil 4.8.' de görülmektedir.



Şekil 4. 8 Mevcut olan ve tahmin edilen etkinlik faktörü değerleri grafiği.

4.2 Yol Aydınlatma Sistemlerine ait Parıltı Düzgünlüğünün Yapay Sinir Ağları ile Tahmini

İlk olarak ölçüm yapılacak yol belirlenmiştir. Ölçüm yapmak için Kırıkkale ilinin Tuna Caddesinde bulunan yol tercih edilmiştir.

4.2.1 Kırıkkale ili Tuna Caddesinde Bulunan Yolda Parıltı Ölçümü



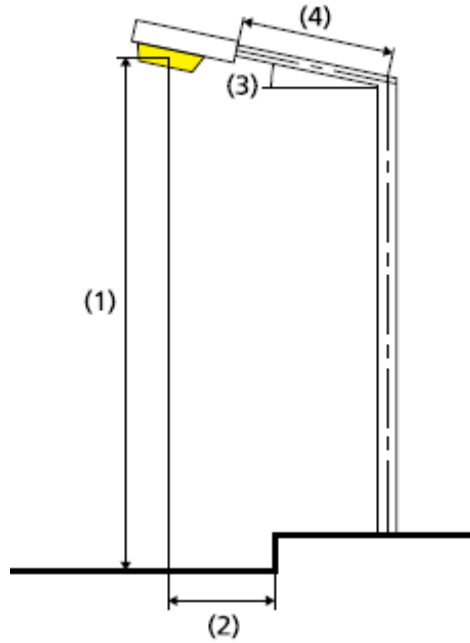
Resim 4. 1 Ölçüm yapılan yolun görüntüsü

Resim 4.1’de görülen yolun genişliği 7 metre olup 2 şeritten oluşmaktadır. Yolun iki direk arası uzunluğu ise 32 metredir.

M4 Yol sınıfına ait yolun q_0 faktörü 0,070 ve bakım faktörü ise 0,90 ‘dır. İki direk arası 224 m^2 ’dir. Ölçüm yapılan yolun genişliği 7 metre olup şeritlerin her biri 3,50 metre genişliğindedir. Yola ait asfalt kaplama sınıfı ise CIE R3 kaplama sınıfıdır. Mevcut yolda kullanılan tesisatın bilgileri ise Çizelge 4. 5 de gösterildiği gibidir. Yol aydınlatma direğinde Çizelgede numaralandırılan kısımlara denk gelen kısımlar ise Şekil 4.9’da görüldüğü gibidir.

Çizelge 4. 5 Ölçüm yapılan yola ve kullanılan lambaya ait teknik bilgiler

Şerit Sayısı	2
Şerit genişliği	3,50 m
Asfalt	R3
Yol aydınlatma sınıfı	M4
Aydınlatma Düzenleme tipi	Tek taraflı aydınlatma
Direk Açıklığı	32m
Taşıyıcı Kol uzunluğu (4)	0,250 m
Aydınlatma noktası yüksekliği (1)	8m
Taşıyıcı Konsol boyu (2)	1m
Taşıyıcı Konsol eğimi (3)	5°
Aydınlatmada kullanılan armatür	1xStreetlight 128 W
Lambanın ışık akısı değeri	14800lm
q0 değeri:	0,07
Bakım çarpanı	0,90



1xSTREETLİGH 128W

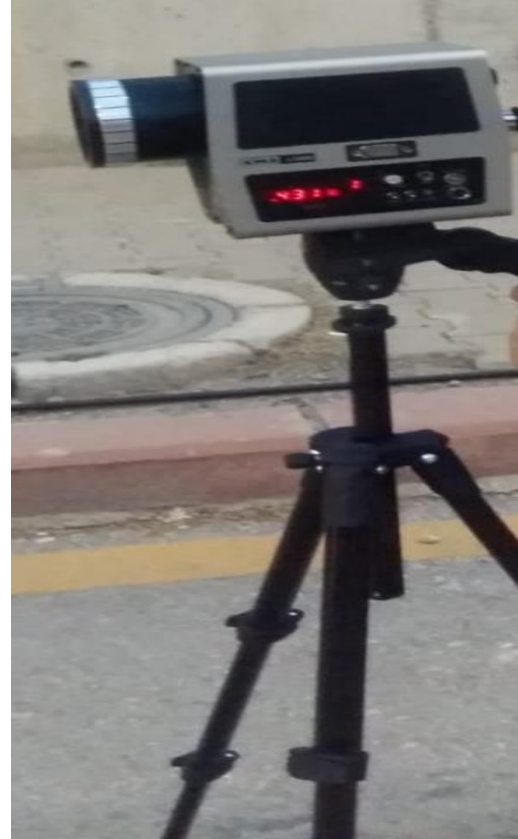
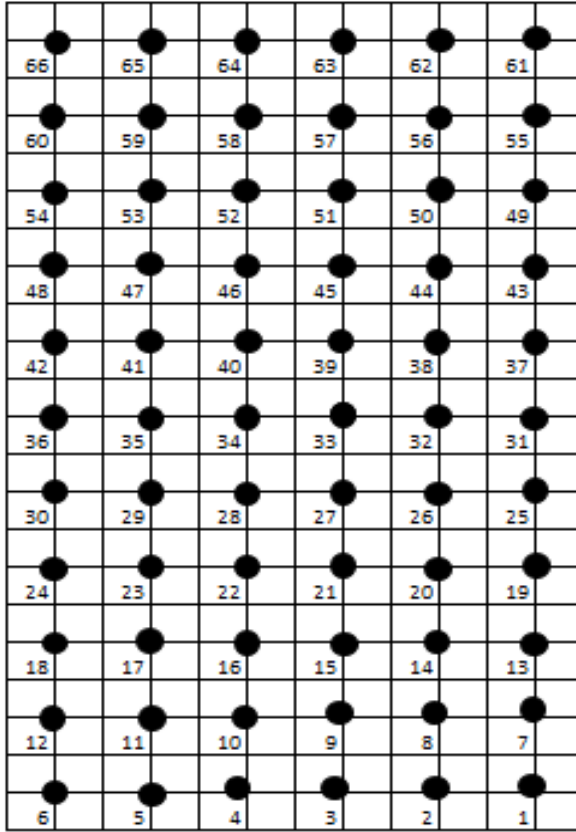
Şekil 4. 9 Yol aydınlatma direğinde çizelgede numaralandırılan kısımlara denk gelen kısımlar

Yolda direkler arası açıklık 32 metre olup lamba taşıyıcı konsolu 8 metre yüksekliğinde olup

kullanılan lamba modeli Streetlight olup 128W gücündedir. Lambanın ışık akısı değeri 14800 lümen dir.

a. Yolda Parıltı Değerlerinin Ölçülmesi

Yolda parıltı değerinin ölçülebilmesi için yolda ölçüm yapılacak noktaların belirlenmesi gerekmektedir. Ölçümler . Şekil 4.10.a’da bu noktalar belirlendikten sonra yapılmaktadır



(a)

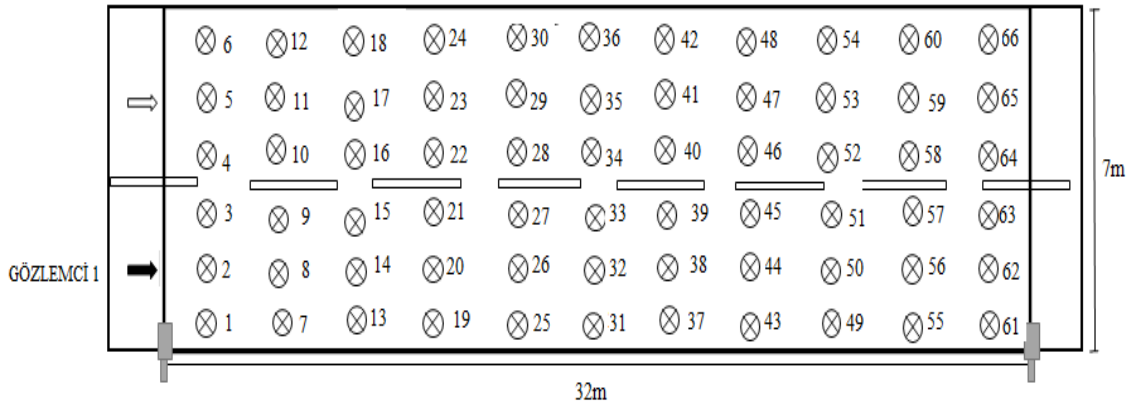
(b)

Şekil 4. 10 Yolun **a)** Kağıt üzerinde ve yolda çizilen ölçüm noktaları **b)** Ölçümde kullanılan lüminans metre düzeneği

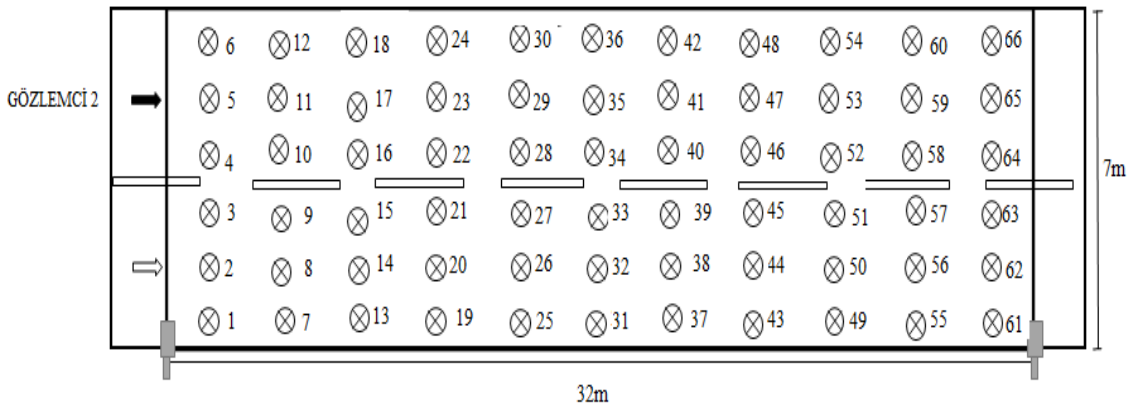
Ölçüm yapılacak noktalar işaretlenmektedir. Ölçüm yapılan noktaların yol üzerindeki dağılımı Şekil 4.10 a’daki gibidir. Şekil 4. 10’de görüldüğü ölçümler 66 noktada, yerden yüksekliği 1,5m olan Şekil 4. 10.b’ de görülen Lüminans metre düzeneği ile gerçekleştirilmektedir. Ölçümler gece yapılmakta fakat ölçüm düzeneğinin net görüntüsü için cihazın resmi gündüz çekilmiştir. Yüksekliğin 1,5 m olmasının sebebi, sürücülerin

araç koltuğunda oturur pozisyonda yerden 1,5 m yükseklikte olmalarıdır. Yani ölçümler sürücü araç sürüş yüksekliğinde ölçüm yapılmaktadır. Böylece yol yüzeyindeki gerçek parlıltı düzeyi daha net ölçülebilmektedir. Ölçümler LMT GmbH-LN3 kalibrasyon sertifikasına sahip lüminans metre ile gerçekleştirilmiştir.

Araç yolu iki şeritten oluştuğu için herbir şerit için gözlemci belirlenmiştir. CIE 140 Standardına göre 60 metre uzaktaki sabit gözlemci ile yapılan ölçümde, ölçüm noktaları ve ölçüm noktalarında ölçülen parlıltı değerleri gözlemci 1 için yol üzerindeki işaretlenen noktalar Şekil.4.11.a'daki gibidir. Gözlemci 2 için yol üzerinde işaretlenen noktalar Şekil 4.11.b'deki gibidir.



(a)



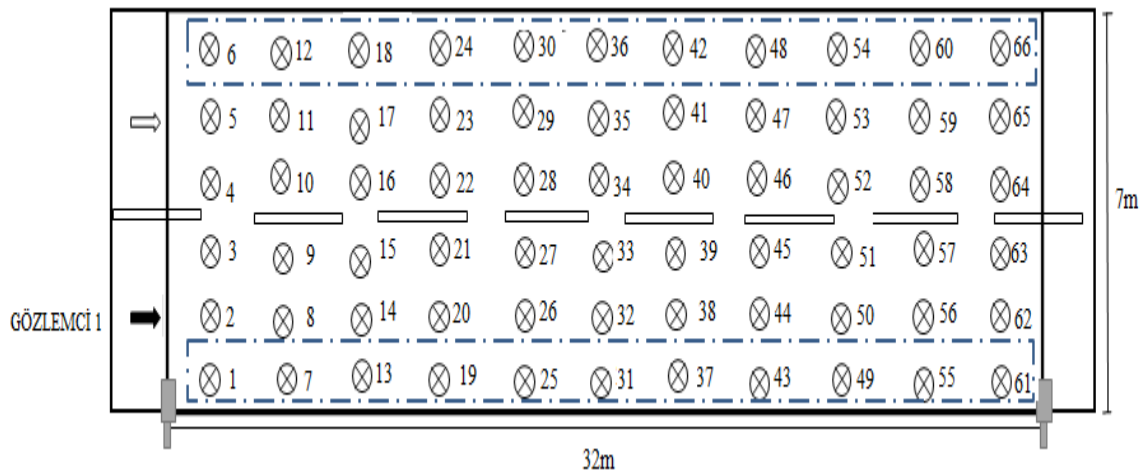
(b)

Şekil 4. 11 Çıkış verileri için yol üzerinde a) Gözlemci 1 b) Gözlemci 2 için işaretlenen ölçüm noktaları

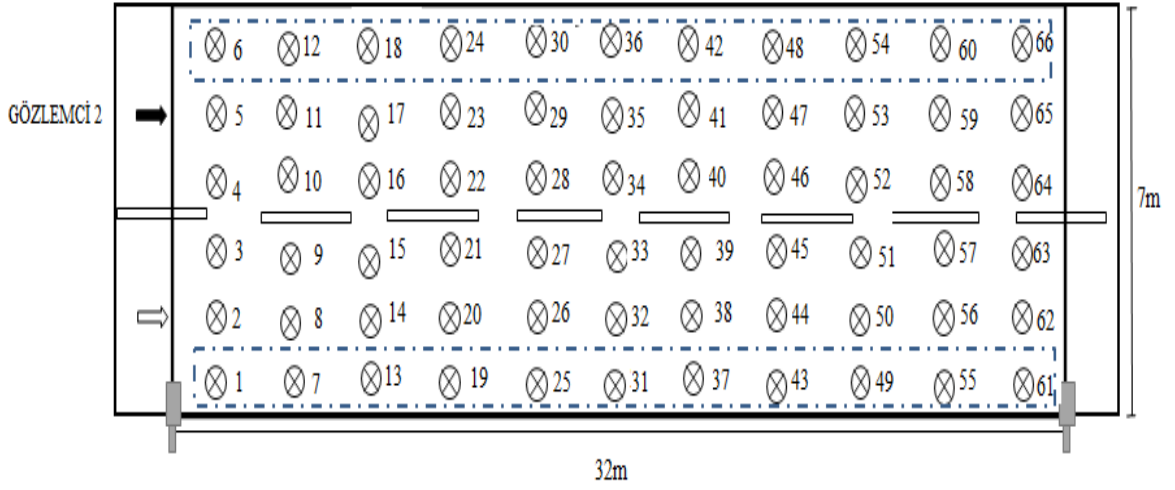
Yol iki şeritten oluştuğu için her bir şerit için bir gözlemci belirlenmiştir. Bu işaretleme işlemleri tamamlandıktan sonra gözlemcinin konumuysa her bir şeridin orta noktasında ilk armatürden 60 m geridedir. İlk aydınlatma direğinden 60 m geride olacak şekilde yerden ölçme yüksekliği 1,5 m olacak şekilde ayarlanan Lüminans metre ile ölçümler yapılmaktadır. Her bir gözlemci için her iki şeritteki noktalarda parlıtlı değeri ölçülmektedir. Gözlemci konumuysa, parlıtlısı hesaplanan noktaya göre değişmediği için sabittir. Ölçüm, tek taraflı aydınlatmanın olduğu yol yüzeyinde $6 \times 11 = 66$ (Enine 6 nokta x Boyuna 11 nokta =66) gözlemci 1 ve gözlemci 2 için olmak üzere iki ölçüm yapıldığından toplam $2 \times 66 = 123$ adet ölçüm yapılmıştır.

b. Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi ve Tahminin yapılması

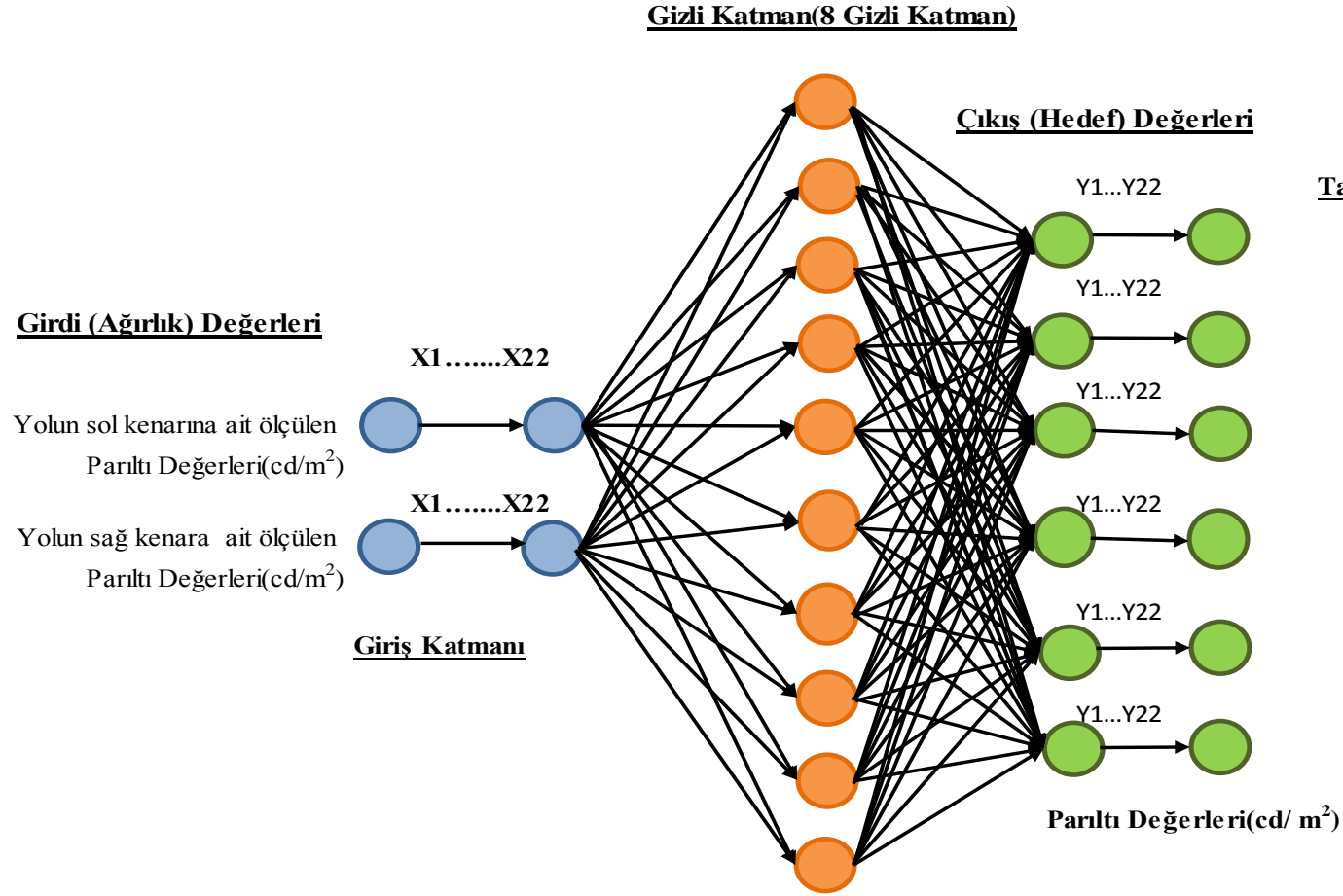
Yapay sinir ağlarıyla bir tahmin yapılabilmesi için ilk olarak oluşturulacak YSA'nın eğitilmesi gerekmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen verilerin %80'i eğitim için, %20'si ise test amaçlı kullanılmıştır. YSA eğitimi için kullanılan değişkenler girdi (ağırlık) değerleri ve Çıktı (hedef) değerleridir. Yolda trafiği aksatmamak ve yolun kapanmasına gerek kalmaması için belirlenen yolun sağ ve sol kenarında belirlenen noktalarda ölçüm yapılarak bu değerler Yapay Sinir ağında giriş değerleri olarak kullanılmıştır. Şekil 4.12'de görülen kısımlarda ölçüm yapılmıştır. Yolun tamamında ölçülen parlıtlı değerleri ise Yapay Sinir ağına hedef yani çıkış değerleri olarak atanmıştır.



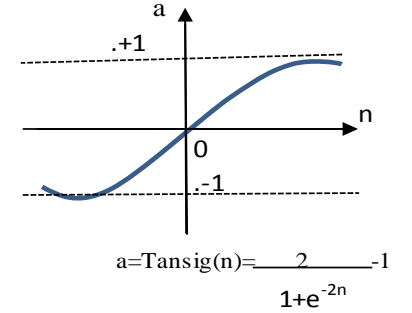
(a)



Şekil 4. 12 Giriş verileri için Gözlemci 1 (a) ve Gözlemci 2 (b) 'ye göre yolda belirli noktalarda yapılan ölçüm noktalarının yol üstündeki işaretlenmiş görüntüsü



Tan-Sigmoid Fonksiyonu



Şekil 4. 13 Parıltı (cd/m²) değeri tahmini için YSA'ya verilen ağırlık ve hedef değerleri.

Şekil 4.13' de parıltı değeri tahmini için oluşturulan YSA modelinde ağırlık(girdi) ve hedef(çıkıtı) değerleri görülmektedir. Çizelge 4.6'de YSA eğitiminde kullanılan ağırlık (girdi), çıktı (hedef) verilerinin Mak. ve Min.değişim aralığı görülmektedir.

Çizelge 4. 6 YSA eğitiminde kullanılan ağırlık (girdi), çıktı (hedef) verilerinin Mak. ve Min. değişim aralığı.

Girişler Ağırlık ve Hedef Değerleri		Mak.	Min.
X1	Yolun en sağ noktasından ölçülen Parıltı değerleri	3,00	2,34
X2	Yolun en sol noktasından ölçülen Parıltı değerleri	1,08	0,86
Y1	Yolun Tamamına ait Parıltı (cd/ m ²) değerleri	3,38	0,86

Bu çalışmada normalizasyon işlemi olarak Min-Max normalizasyonu kullanılmıştır. YSA'nın eğitiminde normalize edilmiş olan giriş değerleri ve çıkış değerleri kullanılmaktadır. Çizelge 4.7' de normalize edilmiş bu değerlerin minimum (min.) ve maksimum (max.) değerleri görülmektedir.

Çizelge 4. 7 Normalizasyon yapılmış ağırlık ve hedef değerlerinin Mak.-Min. Değerleri.

Girişler Ağırlık ve Hedef Değerleri		Mak.	Min.
X1	Yolun sol kenarına ait ölçülen Parıltı değerleri (cd/m ²)	1	0
X2	Yolun dağ kenarına ait ölçülen Parıltı değerleri (cd/m ²)	1	0
Y1	Lambalara ait etkinlik faktör değerleri	1	0

YSA eğitiminde Levenberg- Marquardt (LM) algoritması kullanılmıştır. Sebebiyse, sağladığı hız ve kararlılık özelliğidir. Çizelge 4.8'de çalışma için eğitilen YSA'na ait parametreler verilmiştir.

Tahmin için ağ tipi olarak ileri Beslemeli Geri Sayılımlı YSA Modeli olan feed-forward backpropagation neural network seçilmiştir. Bu ağ tipinin temel avantajı, öğrenme performansının tanımlanan gizli katman tarafından geliştirilmesidir.

Çizelge 4. 8 YSA eğitiminde kullanılan fonksiyon ve datalar.

Ağ Tipi	Feed-Forward backpropagation
Eğitim Algoritması	Levenberg-Marquardt (trainlm)
Performans Fonksiyonu	MSE
Nöron Sayısı	1 ile 20 arasında
Aktivasyon Fonksiyonu	Tansig

Performans fonksiyonu olarak ise MSE (Mean squared error) Kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak Tansig (Tanjant- Sigmoid Tranfer Function) fonksiyon kullanılmıştır.

Ağ oluşturma ekranında Training function TRAINLM, Adaption learning function' u yani LEARNGDM seçilmiştir. Oluşturulan YSA ağı MATLAB yardımıyla, minimal hata oranına ulaşınca kadar eğitilmiştir. Minimal hata oranı için birçok denemelerden sonra 15. iterasyonda istenen sonuç elde edilerek Matlab ortamında kaydedilmiştir.

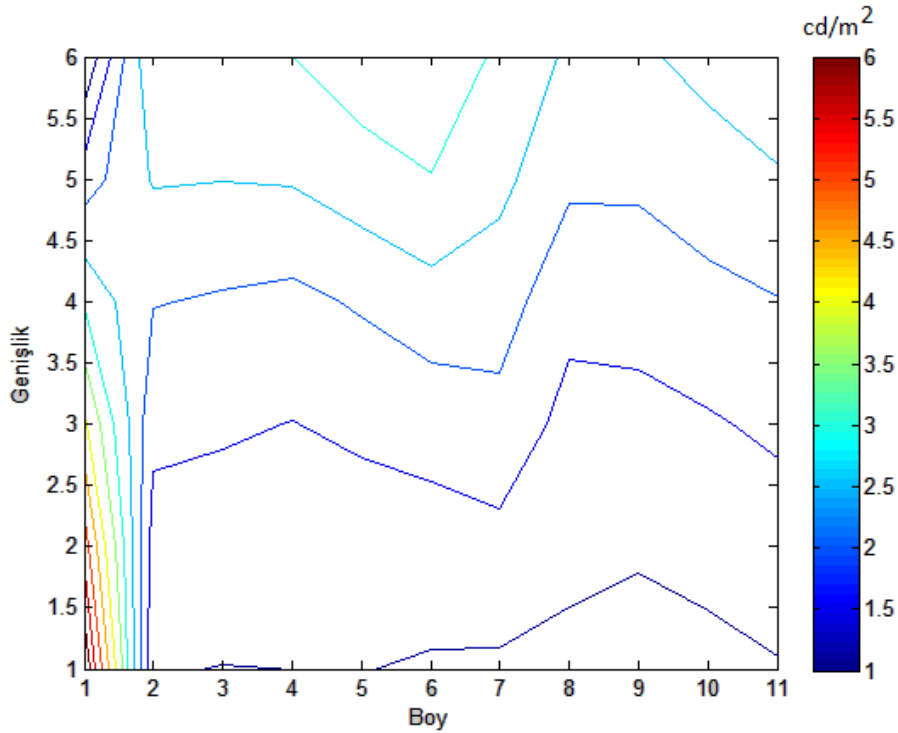
1. Birinci Gözlemciye Göre Gerçek ve Tahmini Parıltı Değerleri

Yol iki şeritten oluştuğu için herbir şerit için bir gözlemci belirlenmiştir. Bu işaretleme işlemleri tamamlandıktan sonra gözlemci 1'in konumu birinci şeridin orta noktasında ilk armatürden 60 m geridedir. İlk aydınlatma direğinden 60 m geride olacak şekilde yerden ölçme yüksekliği 1,5 m olacak şekilde ayarlanan Lüminans metre ile ölçümler yapılmaktadır.

Çizelge 4. 9 Gözlemci 1'e göre ölçülen parlıltı değerleri (cd/ m²).

6,41	1,02	0,99	1,00	1,01	0,95	0,93	0,90	0,86	0,97
5,25	1,29	1,26	1,20	1,27	1,27	1,35	1,10	1,04	1,26
4,08	1,63	1,56	1,49	1,59	1,70	1,84	1,34	1,35	1,59
2,91	2,02	1,95	1,87	2,06	2,30	2,22	1,64	1,69	1,98
1,75	2,54	2,51	2,54	2,79	2,98	2,63	2,09	2,08	2,45
0,58	3,00	2,95	2,99	3,27	3,42	2,90	2,41	2,42	2,89

Gözlemci1 konumu, parlıltısı hesaplanan noktaya göre değişmediği için sabittir. Ölçüm Gözlemci 1, tek taraflı aydınlatmanın olduğu yol yüzeyinde 6x11=66 (Enine 6 nokta x Boyuna 11 nokta =66) ölçüm yapılmıştır. İşaretlenen noktalarda Gözlemci 1 tarafından yapılan ölçümler sonucunda elde edilen parlıltı değerlerinin matris hali Çizelge 4.9' da görüldüğü gibidir. Gözlemci 1'e göre gerçek parlıltı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.14'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 14 Gözlemci 1'e göre ölçüm yapılan değerleri gösteren grafik

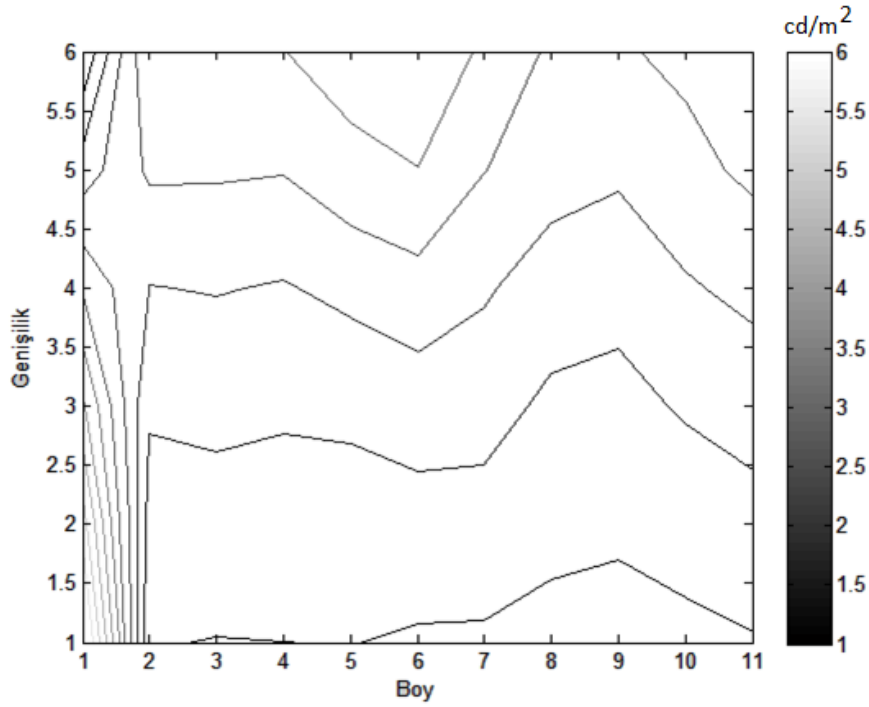
Gözlemci 1 tarafından ölçülen değerler normalizasyon yapıldıktan sonra elde edilen normalizasyonlu değerler YSA ile giriş verisi olarak girilerek MATLAB programına giriş

değeri olarak verilerek eğitilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen tahmini parlıtlı değerlerinin matris haline getirilmiş şekli çizelge 4.10'da görüldüğü gibidir.

Çizelge 4. 10 Gözlemci 1'e göre tahmin edilen parlıtlı değerleri (cd/m^2)

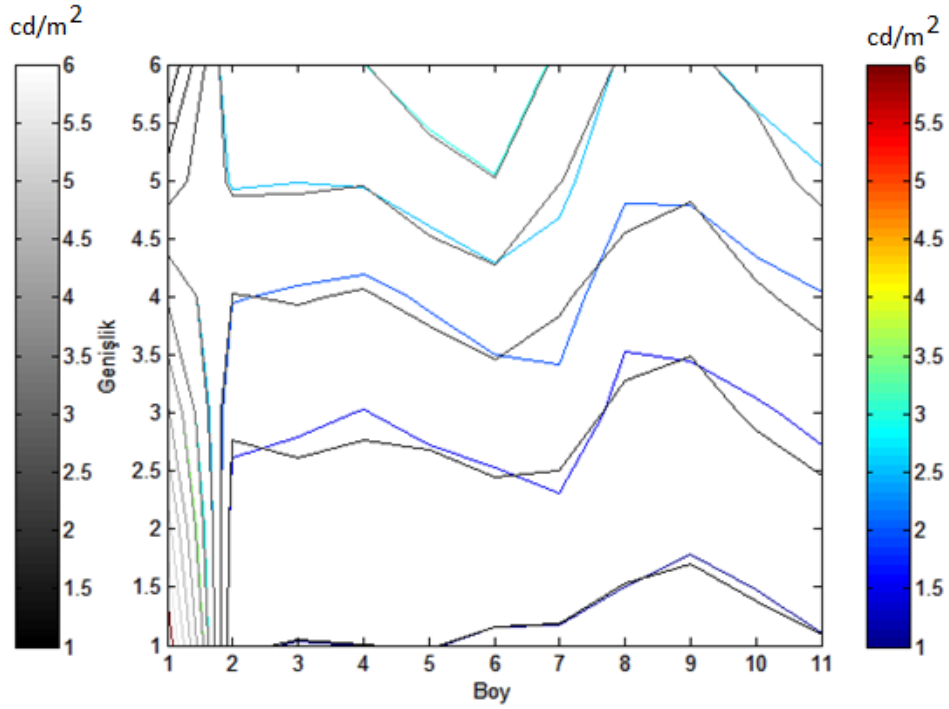
6,416588	1,017384	0,986474	0,996704	1,007711	0,944081	0,931555	0,895731	0,864639	0,967016
5,249738	1,256607	1,276644	1,250819	1,262577	1,29989	1,289946	1,093555	1,057641	1,310551
4,082836	1,572928	1,636673	1,577939	1,607068	1,742651	1,70703	1,393494	1,338171	1,719401
2,913774	1,984188	2,027319	1,961073	2,128701	2,308566	2,057419	1,768684	1,67178	2,123358
1,748102	2,579335	2,563959	2,529603	2,827477	2,989784	2,511482	2,187882	2,073061	2,610981
0,582811	2,993939	2,952435	2,986298	3,263299	3,421529	2,911063	2,414816	2,434542	2,899187

Çizelge 4.10'daki Gözlemci 1'e göre yapılan tahmin edilen parlıtlı değerleri Şekil 4.15'de grafik olarak görülmektedir.



Şekil 4. 15 Gözlemci 1'e göre tahmin edilen parlıtlı değerlerini gösteren grafik

Gözlemci 1'e göre ölçülen gerçek değerler ile Gözlemci 1'e göre tahmin edilen parlıtlı değerlerinin karşılaştırması yapıldığında hemen hemen birbirine çok yakın olduklarını görmek mümkündür.



Şekil 4.16 Gözlemci 1'e göre ölçülen ve tahmin edilen parıltı değerlerinin karşılaştırılmasına ait grafik

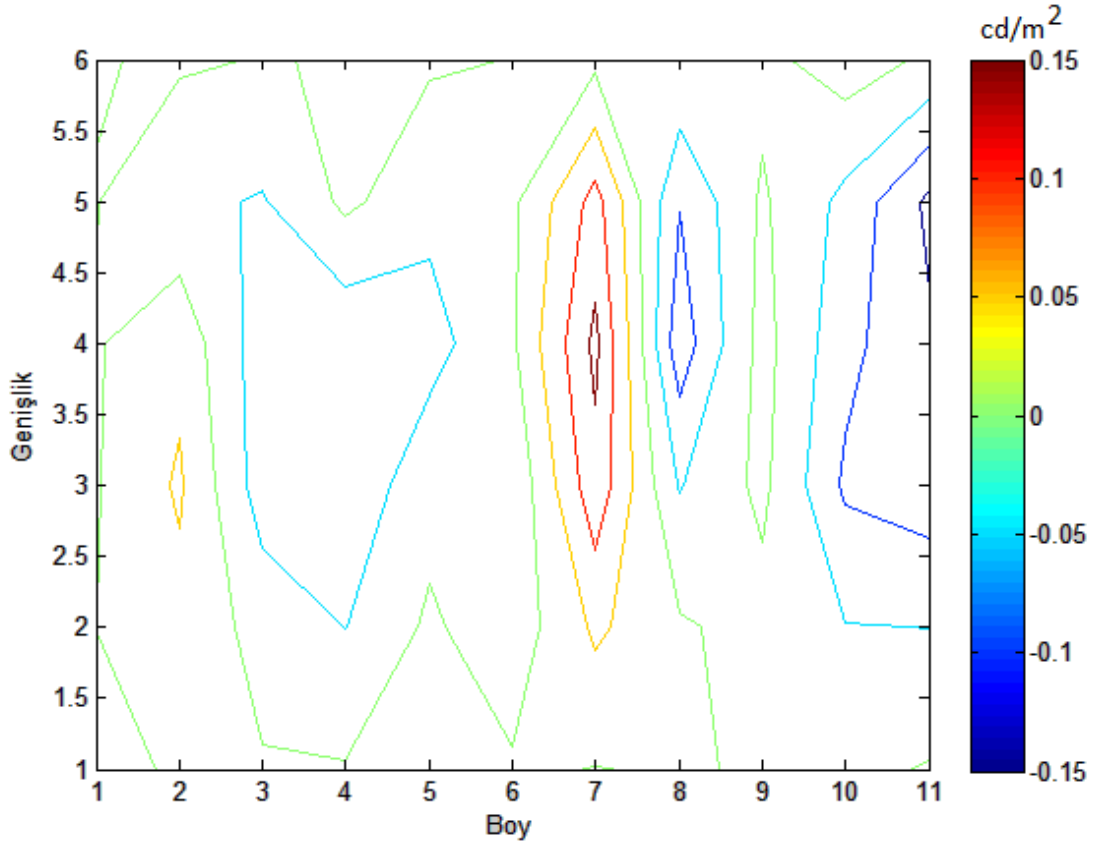
Şekil 4.16' e baktığımızda bu iki değer karşılaştırma grafiği görülmektedir. Ayrıca bu iki değer arasındaki hata oranının matris haline getirilmiş şekli Çizelge 4.11' de görülmektedir. Bu hata oranına ait grafik ise Şekil 4.17' de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.11 Gözlemci 1'e göre yapılan tahminlerin hata değerleri.

-0,00659	0,002616	0,003526	0,003296	0,002289	0,005919	-0,00155	0,004269	-0,00464	0,002984
0,000262	0,033393	-0,01664	-0,05082	0,007423	-0,02989	0,060054	0,006445	-0,01764	-0,05055
-0,00284	0,057072	-0,07667	-0,08794	-0,01707	-0,04265	0,13297	-0,05349	0,011829	-0,12940
-0,00377	0,035812	-0,07732	-0,09107	-0,0687	-0,00857	0,162581	-0,12868	0,01822	-0,14336
0,001898	-0,03933	-0,05396	0,010397	-0,03748	-0,00978	0,118518	-0,09788	0,006939	-0,16098
-0,00281	0,006061	-0,00244	0,003702	0,006701	-0,00153	-0,01106	-0,00482	-0,01454	-0,00919

Gözlemci 1 tarafından ölçülen parıltı değerlerinin YSA eğitimden sonra elde edilen tahmin

değerleri arasındaki hata değerlerinin grafiği Şekil 4.17 'da görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 17 Gözlemci 1 için yapılan tahmin edilen değerlere ait hata grafiği.

Çizelge 4.11'de görüldüğü gibi Gözlemci 1'e göre yapılan tahminlerin hata değerleri oldukça küçük değerler olduğu görülmektedir. Buda bize yapılan YSA tahminin doğruluk oranının çok yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 4.17'e baktığımızda bu çok net görülmektedir.

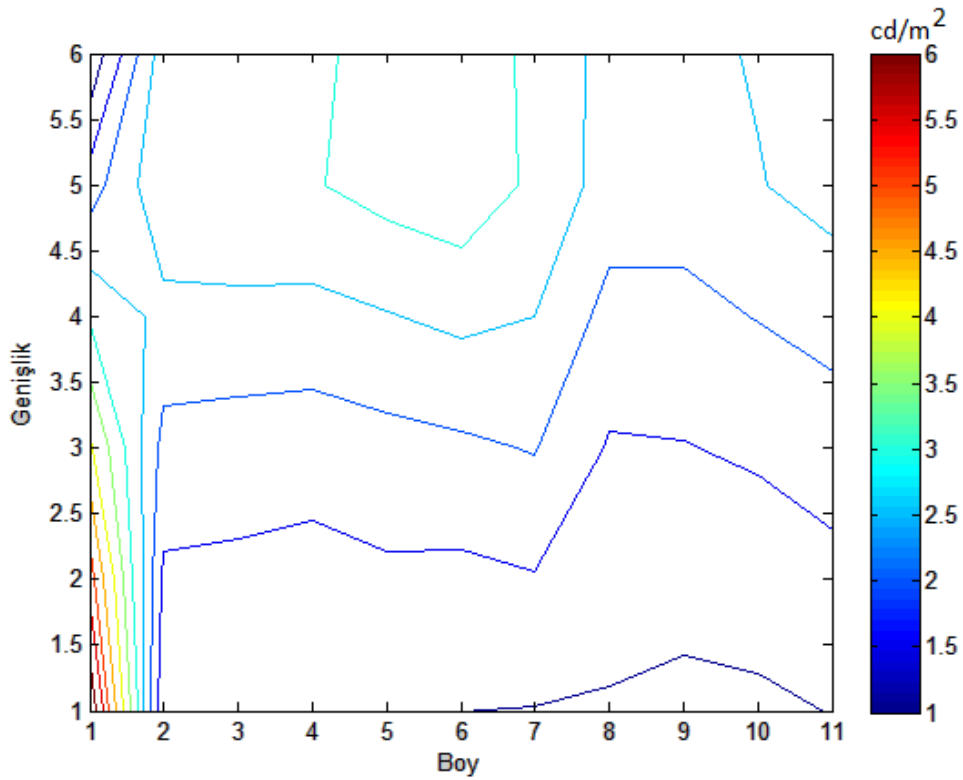
2.İkinci Gözlemciye göre Gerçek ve Tahmini Parıltı Değerleri

Yol Yüzeyindeki parıltı değerleri Gözlemci 2'ye göre ölçüldüğünde elde edilen değerlerin matris haline getirilmiş şekli Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 12 Gözlemci 2'ye göre ölçülen parlıltı değęerleri (cd/m²)

6,417	1,08	1,07	1,06	1,08	1	0,98	0,96	0,91	1,01
5,25	1,41	1,38	1,32	1,41	1,38	1,47	1,18	1,12	1,34
4,083	1,84	1,76	1,72	1,83	1,91	2,03	1,45	1,48	1,76
2,917	2,35	2,37	2,35	2,47	2,62	2,5	1,83	1,86	2,17
1,75	2,9	2,92	2,96	3,19	3,34	2,9	2,29	2,24	2,71
0,583	2,78	2,79	2,89	3,22	3,38	2,85	2,34	2,34	2,82

Çizelge 4.12'de Gözlemci 2'ye göre ölçülen ve matris haline getirilen verilerin grafiği Şekil 4.20'de görüldüğü gibidir. Elde edilen parlıltı değęerlerinin yol aydınlatması için uygunluğu grafikte görüldüğü gibidir.



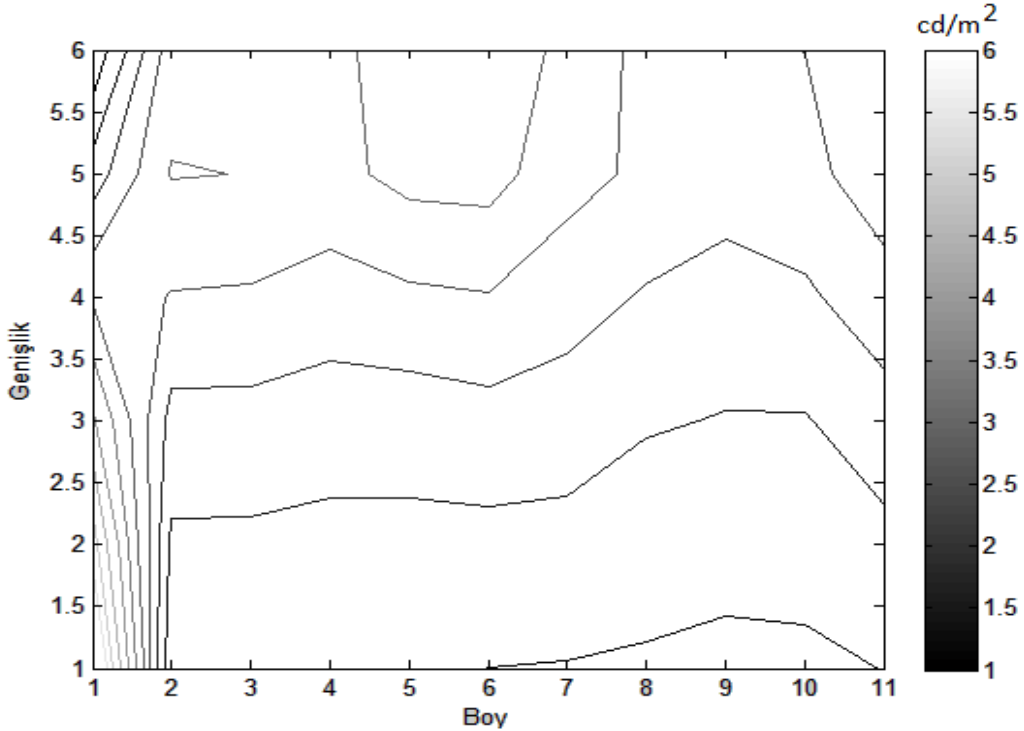
Şekil 4. 18 Gözlemci 2'ye göre ölçülen parlıltı değęerlerine ait grafik

Gözlemci 2 için YSA tarafından tahmin edilen değęerlerin matris şekli ise Çizelge 4.13'de görülmektedir.

Çizelge 4. 13 Gözlemci 2'ye göre tahmin edilen parlıltı değerleri

6,416588	1,078552	1,067533	1,05863	1,089202	0,997709	0,975985	0,952334	0,907879	1,004687
5,249738	1,412489	1,404034	1,358067	1,361491	1,360957	1,334623	1,175407	1,122739	1,359549
4,082836	1,834316	1,825989	1,739291	1,73431	1,818043	1,760474	1,552858	1,473212	1,787561
2,913774	2,466486	2,436031	2,272319	2,404705	2,475692	2,203436	1,949243	1,805587	2,289393
1,748102	3,027113	2,98892	2,853874	3,153596	3,189022	2,685128	2,391418	2,222523	2,790239
0,582811	2,763244	2,777572	2,890418	3,215301	3,385814	2,858208	2,348936	2,372041	2,82199

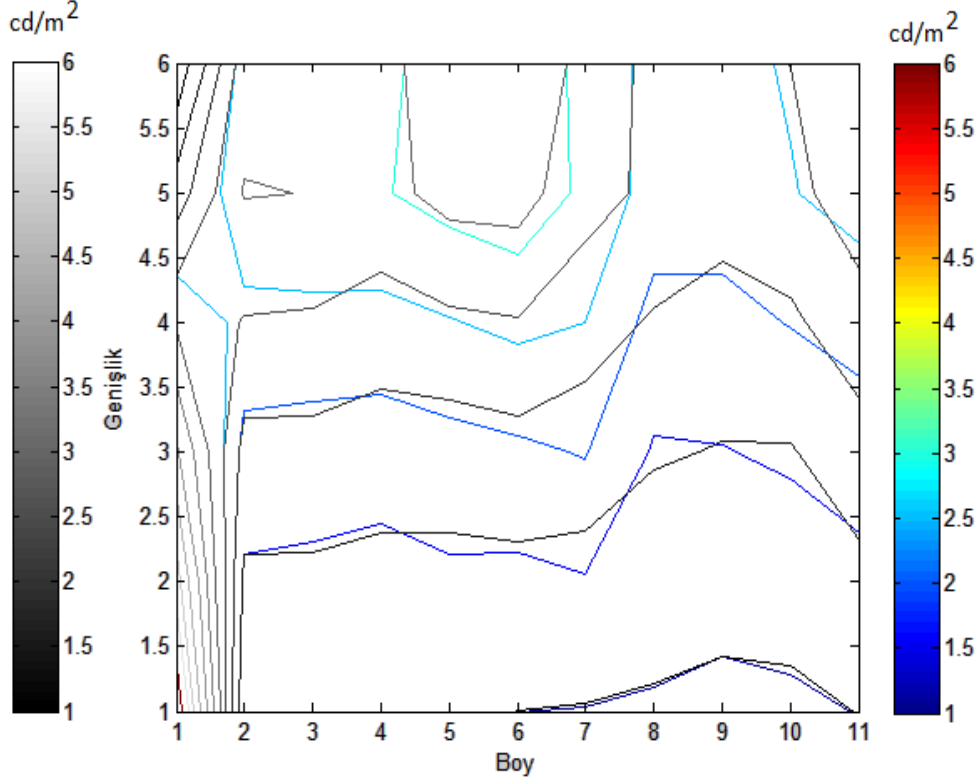
Gözlemci 2 tarafından ölçülen parlıltı değerleri normalizasyon işlemine tabi tutulduktan sonra YSA'ya giriş verisi olarak verilerek eğitilmiştir. Eğitim sonucunda YSA'da eğitim sonrasında elde edilen tahmini değerlerinin matris şekli Çizelge 4.13'de gösterilen verilerin grafiği ise Şekil 4.19'da görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 19 Gözlemci 2'ye göre tahmini parlıltı değerlerine ait grafik

Gözlemci 2'e göre elde edilen gerçek parlıltı değerleri ve tahmini parlıltı değerlerinin

karşılaştırılmasının grafiği Şekil 4.20'deki gibidir. Ölçülen değerlerle tahmin edilen değerlere bakıldığında birine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Buda bize yapılan tahminin doğruluk oranının çok yüksek olduğunu göstermektedir.



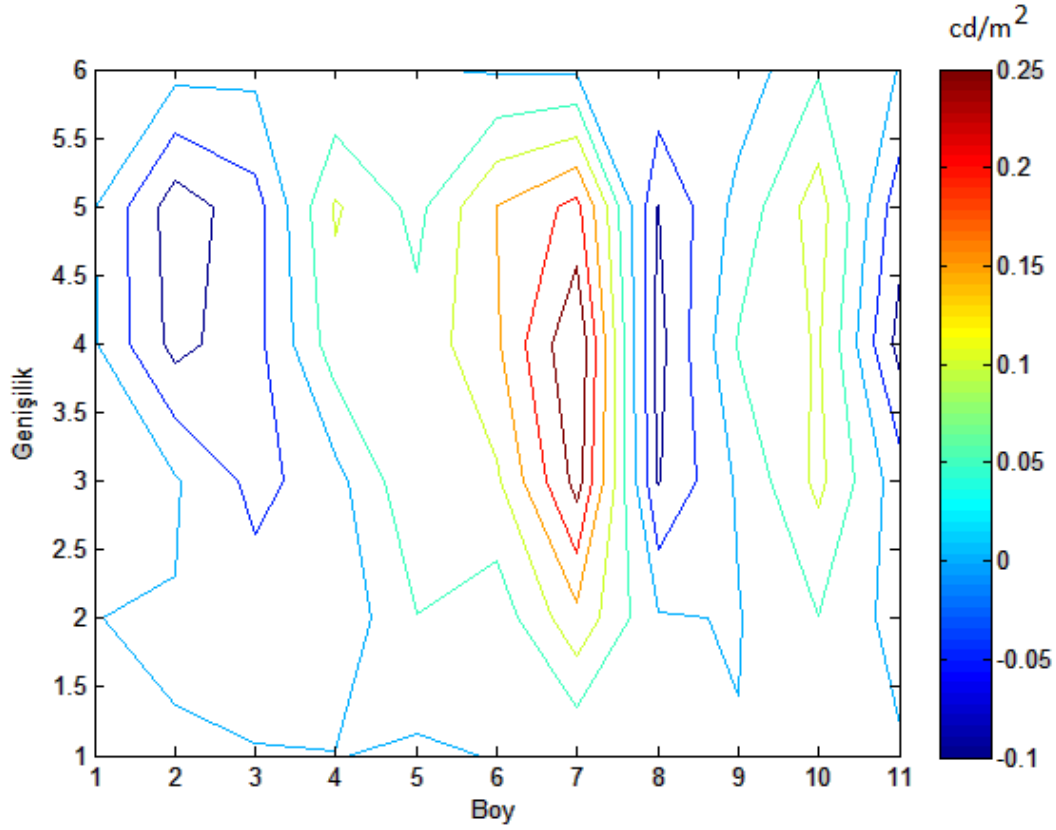
Şekil 4. 20 Gözlemci 2'ye göre ölçülen ve tahmin edilen parlaklık değerlerinin karşılaştırılması

Ayrıca yapılan ölçümle elde edilen tahmini değeri arasındaki hata oranı değerlerinin matris hali Çizelge 4.14'de görülmektedir. Bu çizelgede Gözlemci 2'ye göre yapılan tahmini değerlere ait hata değerleri görülmektedir.

Çizelge 4. 14 Gözlemci 2' ye göre yapılan tahmin edilen parlaklık değerlerinin hata değerleri

0,000412	0,001448	0,002467	0,00137	-0,0092	0,002291	0,004015	0,007666	0,002121	0,005313
0,000262	-0,00249	-0,02403	-0,03807	0,048509	0,019043	0,135377	0,004593	-0,00274	-0,01955
0,000164	0,005684	-0,06599	-0,01929	0,09569	0,091957	0,269526	-0,10286	0,006788	-0,02756
0,003226	-0,11649	-0,06603	0,077681	0,065295	0,144308	0,296564	-0,11924	0,054413	-0,11939
0,001898	-0,12711	-0,06892	0,106126	0,036404	0,150978	0,214872	-0,10142	0,017477	-0,08024
0,000189	0,016756	0,012428	-0,00042	0,004699	-0,00581	-0,00821	-0,00894	-0,03204	-0,00199

Gözlemci 2'ye göre ölçümle elde edilen parıltı değerleri ve YSA eğitimi sonucunda elde edilen tahmini parıltı değerlerine ait grafiği ise Şekil 4.21'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 21 Gözlemci 2 için yapılan parıltı tahmin değerlerine ait hata grafiği

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen parıltı değerlerinin YSA' ı ile eğitiminden elde edilen tahmin edilen parıltı değerlerine bakıldığında pek fazla bir hata olmadığı ve tahminin doğruluk oranının çok yüksek olduğu Şekil 4.21'e bakıldığında görülmektedir. Yapılan hata değerlerinin ortalaması alındığında ise toplam ortalama hata değerinin 0,046352 cd/m² olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buda yapılan uygulanan çok yüksek doğrulukla gerçekleştğini göstermiştir.

5.TARTIŞMA ve SONUÇ

Aydınlatmada temel amaç, mümkün olan en iyi görme düzeyini elde etmektir. Gelişmiş güzel bir lamba seçerek ve rastgele yerleştirilerek iyi bir aydınlatmanın sağlanması mümkün olmayacaktır. Lamba seçimi, aydınlatılacak yerin ne için kullanıldığına ve aydınlatma yapılacak yerin yapısına da bağlıdır. Bu gibi faktörleri dikkate alarak rahatsızlık verecek ve istenmeyen durumların tasarım aşamasında yok edilmelidir. Işık görmemizi sağlamanın yanı sıra aynı zamanda sağlığımız, biyolojik hayat ritmimiz, ruh halimize etki ederek kendimizi iyi hissetmemizi sağlayarak iş performansımızın artmasında da etkilidir. Ayrıca aydınlatmada kullanılacak lambaların gerekli aydınlatmayı sağlamanın yanında enerji tasarrufu açısından uygun olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, lambalara ait belirli girdi değişkenleri kullanılarak geliştirilen YSA modeli ile lambaların etkinlik faktörünün tahmin edilmesi amaçlanmıştır. YSA modelinin geliştirilmesi sırasında 3 farklı girdi değişkenine göre 666 adet veri (3 farklı özellik) değerlendirilmiştir. Geliştirilen YSA modelinin değerlendirilmesinde giriş değerleri olarak lambaların türleri, lamba güçleri ve lamba Renk sıcaklık değerleri kullanılmıştır. YSA çıkış değerleri olarak farklı lambaların etkinlik faktörü değerleri belirlenmiştir. Kurulan 3x1 ANN tahmini doğrulama değeri 0,98544 ile gerçekleştirildi. Yaklaşık olarak 1'e eşittir. Hedefe ait verilerin test regresyonu değerleri 0,90856 gibi yüksekçe bir geçerlikle gerçekleştirilmiştir. Bütün giriş regresyonu değeri ise 0,92077 olarak bulunmuştur. Geliştirilen modelde en iyi performans değeri 0,0075628 olarak belirlenmiştir. YSA tarafından yapılan analiz sonuçlarına göre ışık etkinliğinin belirlenmesinde değerler girdi değişkenlerine göre %91,142 oranında doğru tahmin edilmiştir. Bu şekilde etkinlik faktörü hesabında tek tek hesap yapmak yerine belli değerleri girerek YSA ile tahmin yapılmaktadır. Kullanılan lambanın etkinlik faktörü tahmin edilebilecek ve ona göre daha uygun lamba kullanılması sağlanacaktır. Aynı zamanda daha fazla güce sahip olan lamba kullanılmadan yeterli güçteki lamba kullanıldığından hem maddi açıdan hem de enerjiden de tasarruf edilmiş olacaktır. Etkinlik faktörü ne kadar büyük olursa harcanan enerjide o kadar az olacaktır. Çalışmada gerçek değerler ile tahmin

yapılarak elde edilen değerler birbirine çok yakın olduğu ve hemen hemen yaklaşık olarak 1' e eşit olduğu görülmüştür. Bu durumun ileride benzer çalışmalara örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

Ayrıca çalışmamızda yol aydınlatmasında parıltı düzgünlüğünün YSA ile tahmininde yapılmıştır. Bu çalışmada incelenmek üzere tek taraflı aydınlatmanın yapıldığı bir yol seçilmiştir. Seçilen yolda yolun belirli noktalarında ölçümün yapılabilmesi için gerekli tüm hesaplamalar ve ölçüm yapılacak noktalar belirlenerek yol yüzeyindeki Parıltı (cd/m^2) değerleri ölçümleri yapılmıştır. Yolun en sağ ve en sol kenarlarının belirlenen kısımlarında ölçümler yapılmış ve yapılan bu ölçümler sonucunda Gözlemci 1 ve Gözlemci 2 tarafından ölçülen parıltı değerleri (cd/m^2) verileri giriş (ağırlık) değerleri olarak kullanılmıştır. Çıkış (hedef) değerleri olarak ise istenen parıltı değerleri çıkış değerleri olarak kullanılmıştır. YSA ile gerçekleştirilen eğitim sonucunda Training' deki eğitim değerleri regresyon değeri 0,99708 oranında doğru çıktığı görülmüştür. Validation değeri ise 0,99954 olduğu gözlemlenmiştir. Test verilerinin regresyon değeri 0,99494 bulunmuştur. All regrassiyon değeri ise tüm ağ için 0,99761 olduğu görülmüştür. Korelasyon değeri bire eşit olduğu için ağ çıkışı ile hedef çıkışı arasında mükemmel bir benzerlik olduğunu görülmektedir. En iyi sonuca 15. iterasyon da ulaşılmıştır. İstenen çıkış ile tahmin edilen değerlerle bir grafik oluşturulmuştur. Elde edilen grafikte sonuçların hemen hemen örtüştüğü görülmüştür. YSA ile eğitim sonucunda elde edilen veriler ile ölçülen değerlerin birbiriyle örtüşmesi iyi bir tahmin yapıldığını göstermektedir. Ayrıca Gözlemci 1 ve Gözlemci 2 tarafından ölçülen parıltı değerleri (cd/m^2) ve tahminlerin hata oranlarına ait grafikler çizdirilerek hata oranları karşılaştırılmıştır. Toplam ortalama hata oranı $0,046352cd/m^2$ bulunmuştur.

Sonuç olarak çalışmamız, az sayıda noktada ölçümden yola çıkılarak tüm yol yüzeyindeki parıltı değerlerinin tahmin edilmesine olanak sağlamıştır. Böylece yol üzerinde bulunan belirli noktaların parıltı (cd/m^2) değerleri kısa zaman diliminde ve minimum hata ile tahmin etmek mümkün olmuştur. Aynı zamanda yol aydınlatma sistemlerinin karmaşık olan trafik yoğunluğundan dolayı yapılamayan ve uzun zaman alan ölçüm sonuçlarına daha az sürede ve daha güvenilir olarak yapılması mümkün olacaktır. Her nokta da ölçüm yapılmasına gerek kalmadığından yol aydınlatmasında kullanılan lambaların bakım

zamanlarının gelip gelmediğinin belirlenmesi daha kolay olacaktır. Yoldaki trafik akışına engel olmadan belirlenen noktalarda ölçüm yapılarak yolun tamamının parlıtlı değeri (cd/m²) Yapay Sinir Ağları ile tahmini yapılabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmadi M, 2015, Verimli Led' li Sokak Aydınlatma Sistemi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 25 s., İstanbul.
- Alçın M, 2017, FPGA üzerinde YSA tabanlı gerçek rasgele sayı üreticinin tasarımı ve gerçekleşmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya.
- Alpaydın E, 2004, Introduction To Machine Learning. England: The MIT Press Cambridge.
- Akın S, 2000, Flüoresan lambaların gelişim süreci ve mimaride kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- Anonim, 2008, Fördergemeinschaft Gutes Licht, Lighting with Artificial Booklet 1.
- Anonim, 2014, IEA Policies for Energy-Efficiency lighting, Energy Efficiency Policy Profiles, International Energy Agency.
- Anonim1, 2015, Türk Philips Aydınlatma 2015 fiyat listesi, Ocak 2015.
- Anonim2, 2015, Osram Aydınlatma Tic.A.Ş. 2015 fiyat listesi, Ocak 2015.
- Arslan A, İnce R, The neural network approximation to the size effect in fracture of cementitious materials, Engineering Fracture Mechanics, 54(2): 249-261,1996.
- Ayaz R, Kaymaz A, Akca H, Ejder A, Unal A, Tanrıoven M, 2015, Comparison of Road Lighting Luminaires for M2 Road Lighting Class Considering Energy Efficiency, Computing, Electronics and Communication- ACEC 2015.
- Ayaz R, Özcanlı A K, Nakir İ, Bhusal P, Ünal A, 2019, Life Cycle Cost Analysis On M1 And M2 Road Class Luminaires Installed In Turkey, Light & Engineering, pp., 61–70.
- Ayaz R, Özcanlı A K, Nakir İ, Bhusal P, Ünal A, 2019, Life Cycle Cost Analysis On M1 And M2 Road Class Luminaires Installed In Turkey, Light & Engineering, pp., 61–70.

- Ayaz R, Kaymaz A, Akca H, Ejder A, Unal A, Tanrıoven M, 2015, Comparison of Road Lighting Luminaires for M2 Road Lighting Class Considering Energy Efficiency, Computing, Electronics and Communication- ACEC 2015.
- Bayraktar H, 2009, Yapay Sinir Ağlarıyla Uydu Görüntüleri Spektral Bant Aralıklarının Mavi Bant Örneğinde Modellenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye.
- Baloch A A, Shaikh P H, Shaikh F, Leghari Z H, Mirjat N H, Uqaili M, 2018, Simulation tools application for artificial lighting in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 3007-3026.
- Barbur J L, Stockman A Photopic, 2010, Mesopic and Scotopic Vision and Changes in Visual Performance. In: Darlene A. Dartt, editor. Encyclopedia of the Eye, Vol 3. Oxford: Academic Press; pp. 323-331.
- Bayır F, 2006, Yapay Sinir Ağı Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Beale H M, Hagan T M, Demuth B H, 2012, Neural Network Toolbox User's Guide. Revised for Version 8. 0, Release 2012b.
- Bektaş Y, Dursun M, Dindar T, Karaca H, 2018, Yol Aydınlatması Tesisatlarında Klasik Yöntem ile Bilgisayar Destekli Yöntemin Karşılaştırılması, 2nd International Vocational Science Symposium, IVSS 2018.
- Bernatt J, Gawron S, Glinka T, Energy-Saving Electric Drives, In 2018 International Symposium on Electrical Machines (SME),1-5, IEEE, İzmir.
- Bhattacharya S, Chakraborty S, Ray S, 2021, An Approach To Comparative simulation Of Road Lighting And Estimation Of Associated Quality Parameters, Light& Engineering, pp. 77–87.
- Budak S, Akbal B, 2020, Görüntü İşleme Ve Yapay Sinir Ağları İle İletim Hatlarında Arıza Yeri Belirleme, Konya Journal of Engineering Sciences, ISSN: 2667-8055, 678-692.

- Büyükkinacı B, Onaygil S, Güler Ö, Yurtseven M B, Dursun Y, 2017, Akıllı Yol Aydınlatması Uygulamaları: Cendere Caddesi Örneği, 11. Ulusal Aydınlatma Kongresi Eylül 2017.
- Büyükkinacı B, Onaygil S, Güler Ö, Yurtseven M B, 2016, comparison of road lighting calculations with measurements using conventional and camera luminance meters, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Light & Engineering Svetotekhnika, pp. 56-63, İstanbul.
- Bommel W V, 2011, Abdo Rouhana Theory of Light and Lighting, Koninklijke Philips Electronics N.V, 29-31.
- Büyükkinacı B, 2008, Yol Aydınlatması Otomasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Syf.124, İstanbul.
- Büyükkinacı B, Onaygil S, Güler Ö, Yurtseven M B, 2016, comparison of road lighting calculations with measurements using conventional and camera luminance meters, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Light & Engineering Svetotekhnika, pp. 56-63, İstanbul.
- Capeluto I G, 2003, The influence of the urban environment on the availability of daylighting in Office buildings in Israel. Building and Environment, 744-751.
- Cengiz M S, 2019, Effects of Luminaire Angle on Illumination Performance in Tunnel Lighting, Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering.
- Cedeno M A, Domínguez J Q, Andina D, 2011, WBCD Breast Cancer Database Classification Applying Artificial Metaplasticity Neural Network, Expert, Systems with Applications, Elsevier, 38(8), 9573–9579.
- Cihan O, 2020, Distributed Solution of Road Lighting Problem Over Multi-Agent Networks, Sakarya University Journal Of Computer And Information Sciences, August 2020.
- Cinel E A, Yolcu U, 2021, Impacts Of Tourism Revenues On The Current Account Balance: Projections On The Case Of Turkey With Artificial Neural Networks, International Journal of Economic & Administrative Studies, Issue 31, p247-264. 18p.

- Cios K J, Shin I, 1995, Image Recognition Neural Network: IRNN, Neurocomputing, Elsevier, 7(2), 159–185.
- Chavoshi S, Sulaiman W N A, Saghafian B, Sulaiman M N B, Manaf L A, 2013, Flood prediction in southern strip of Caspian Sea watershed. Water Resources, 40(6),593-605.
- Çetin F D, Gümüş B, Özbudak Y B, 2003, Aydınlatma Özelliklerinin Ergonomik Açıdan Değerlendirilmesi, II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri, 08-10 Mayıs, Diyarbakır, Türkiye.
- Çetinkaya N, 2019, Yol Aydınlatması Problemleri ve Ekonomik Çözü Önerileri, X. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 16-17 Ekim, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Çırak G, 2012, Yükseköğretimde Öğrenci Başarılarının Sınıflandırılmasında Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon Yöntemlerinin Kullanılması, Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Ölçme ve Değerlendirme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Çuhadar M, Kayacan C, 2005, Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Konaklama İşletmelerinde Doluluk Oranı Tahmini. AnatoliaTurizm Araştırmaları Dergisi, 16(1), 24-30.
- Çura T, 2004, Karar Verme Aracı Olarak Yapay Sinir Ağları ve Yapay Sinir Ağları Yaklaşımıyla Portföy Optimizasyonu, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Çolak N, 1999, Ofis Aydınlatma Kontrol Sistemlerinde Kullanılacak Verilerin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi', Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- David M B, 2003, Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors, Trends in Neurosciences.
- Demirci H, 2008, Bina Tasarımında Aydınlatma ve Renk Olgusunun Biyoharmoloji ve Biosüreç Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 23s.
- Demircioğlu M, 2019, Yapay Sinir Ağları Kullanarak Enerji Tasarruflu Atölye Tipi Çizelgeleme, Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 28, Sayı 3, Sayfa 143-154.

- Demirtaş M, Çelik K, 2017, PV Beslemeli LED Sokak Armatürünün Çoklu Modlu Çalışmasının Panel Gücü ve Akü Ömrü Üzerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, GU J Sci, Part C, 5(2): 257-270.
- De Graaf D T, Dessouky M, Müller F O H, 2014, Sustainable lighting of museum buildings, Renewable Energy, 67, 30–34.
- Demuth H, Beale M, 2000, Neural Network Toolbox For Use With Matlab. Sixth printing, User's Guide, Version 4.
- Dursun S, Umut M, Akar O, et al. Comparative Analysis of Lighting Elements' Effects on Electric System, European Journal of Technique, 2021.
- Elmas Ç, 2003, Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Ertik A, 2012, Demiryolu Sistemlerinin Enerji Verimliliğine Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, 128 s., İstanbul.
- Erçetin R, 1999, Optimal Yol Aydınlatması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 104s., İstanbul.
- Erdoğan E, Özyürek H, 2012, Yapay Sinir Ağları ile Fiyat Tahminlemesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, Cilt 4, 2012 ISSN: 1309-8012.
- Eser O, 2013, Aydınlatma Sistemlerinde Verimliliğin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fausett L, 1994, Fundamentals of Neural Network, Architectures, Algorithms, And Applications.
- Fei J, Ding H, 2012, Adaptive sliding mode control of dynamic system using RBF neural network, Nonlinear Dynamics, 70, 1563-1573.
- Ganslandt R, Hofmann H, 1992, Handbook of Lighting Design, Erco Edition, Germany.
- Gençoğlu M T, Özbay E, 2007, Aydınlatmada Enerji Verimliliği Yöntemleri, Fırat Üniversitesi, mühendislik Fakültesi, syf.1-5.
- Güler Ö, Onaygil Ş, 2015, Yol Aydınlatması Tesisatlarında Armatür Fotometrik Değerlerinin Önemi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Syf. 1-11, İstanbul.

- Güler Ö, Onaygil S, 2006, Yol Aydınlatması Tesisatlarında Armatür Fotometrik Değerlerinin Önemi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Güler Ö, Onaygil S, 2005, Şehiriçi Yol Aydınlatma Tesisatlarının İyileştirilmesi, Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul.
- Güler Ö, Onaygil S, 2002, Evaluation Of Visibility Level Formula In Road Lighting With Field Measurements, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Gün S Ç, Öztürk L D, 2015, Yapı Yüzü Aydınlatma Teknikleri ve Uygulama Örnekleri, VIII. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Syf.142- 158, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, İzmir.
- Gordon G, 2003, Interior Lighting for Designers. Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Göçmen E, 2014, Aydınlatma Aygıtlarının Enerji Verimliliği ve Güç Kalitesine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Görgülü S, Kocabey S, Yüksek İ, Dursun B, 2010, Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılarda Doğal Aydınlatma Yöntemleri: Kırklareli Örneği, II. Trakya Bölgesi Kalkınma-Girişimcilik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 97- 111.
- Hasan K M M, Rahman M S, Rafiq M A, 2017, Experimental Analysis of Harmonic and Power Factor for Various Lighting Loads, 2017 3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 7-9 Aralık 2017, Khulna.
- Haykin S, Neural networks: a comprehensive foundation (2nd edn). London: Prentice Hall, 1999.
- Kalogirou S A, 1999, Applications of Artificial Neural Networks in Energy Systems a Review. Energy Conversion and Management, 40, 1073-1087.
- Küçük Z K, N. Eren, 2021, Light Pollution and Smart Outdoor Lighting, Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering, April 2021.
- Kaya E, 2011, Aydınlatma Kontrolünün Enerji Verimliliğine Katkısı, VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri, 24-25 Kasım, İzmir, Türkiye.

- Kaya A, 2018, Şanlıurfa Sokak Aydınlatmalarında LED Dönüşümü ve Güneş Enerjisinden beslenmenin Analizi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 153 s., Trabzon.
- Kayakuş M, 2010, Yol Aydınlatmasının Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Fotometrik Ölçüm ve Analizi, Süleyman Demiral Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Kayakuş M, 2018, Yapay Zekâ Temelli Fotometrik Ölçüm Yazılımı geliştirilmesi ve Yeni Bir Yol Aydınlatması Uygulaması, Süleyman Demiral Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Kayakuş M, Üncü İ S, 2020, Kapalı Basketbol Salonunun Parıltısının Geliştirilen Yapay Sinir Ağları Temelli Yazılım ile Ölçülmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı: 19, ISSN: 2148-2683 / 2148-2683, Sayfa Aralığı: 770 – 777.
- Kisi O, Kim S, Shiri J, 2013, Estimation of dew point temperature using neuro-fuzzy and neural network techniques. Theoretical and Applied Climatology, 114(3 4), 365-373.
- Koninklijke Philips Electronics N V, 2012, The LED Lighting Revolution, A Summary Of The Global Savings Potential, 2012.
- Kocabey S, 1999, Dâhili ortamlarda aydınlık seviyesinin kontrolü ile enerji tasarrufunun sağlanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kocabey S, 2008, İç Hacimlerde Aydınlik Düzeyi Dağılımının Bulunması ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koyuncu I, Erdogmus P, Tuna M, Alçın M, 2019, FPGA üzerinde YSA-RİNG tabanlı yeni bir gerçek rasgele sayı üretici tasarımı, I. International Science and Innovation Congress, 463-468.
- Küçükdoğu M Ş, 2019, Aydınlatmada Etkin Enerji Kullanımı, İTÜ Mimarlık Fakültesi, Syf.1-5, İstanbul.
- Küçükdoğu M S, 2005, Temel Aydınlatma Bilgileri-2, Best Dergi, İstanbul.

- Kürkçü E A, Çakar İ, Zeyrek S, 2013, İşyerinde Aydınlatma, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü (İSGÜM), Bilgi Dokümanları, Ankara, Türkiye.
- Khan I M, Frayman Y, Nahavandi S, 2009, Mixed Transfer Function Neural Networks for Knowledge Acquisition. Industrial Technology, IEEE International Conference on, Date of Conference: 10-13 Feb. Gippsland, VIC.
- Kralikova R, Andrejiova M, Wessely E, 2015, Energy Saving Techniques and Strategies for Illumination in Industry, Procedia Engineering, 100, 187-195.
- Leslie R P, 2003, Capturing the daylight dividend in buildings: why and how? , Building and Environment, 381-385.
- Li F, Chen D, Song X, Chen Y, 2009, LEDs: a Promising Energy-Saving Light Source for Road Lighting, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 27-31 Mar. 2009, Wuhan.
- Lin C J, Tsai H M, 2008, FPGA implementation of a wavelet neural network with particle swarm optimization learning, Mathematical and Computer Modelling, 47, 982-996.
- Lee T T, Jeng J T, 1998, The Chebyshev-Polynomials-Based Unified Model Neural Networks for Function Approximation Systems, Man, and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions, 28(6), 925-935.
- Malman D, 2005, Lighting for Librarie's, Architectural Lighting Desing and Provided Through the Libris Desing Project, San Francisco.
- Markvica K, Richter G, Lenz G, 2019, Impact of urban street lighting on road users' perception of public space and mobility behavior, Elsevier In Building and Environment, pages32-43.
- Medsker L R, 1997, The future of artificial neural networks could be bright, Computers/Control engineering 10, 28-9.
- Mellit A, Sağlam S, Kalogirou S A, 2013, Artificial neural network-based model for estimating the produced power of a photovoltaic module. Renewable Energy, Elsevier, 60, 71-78.

- Oğuz Y, Şahin M, Güven Y, 2015, Importance of Solar Lighting systems in Terms of Environmental Pollution, Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering, 208- 212.
- Olgun O, Nakir İ, 2019, Türkiye’deki Pasif Kızılötesi Sensörlü Aydınlatma Armatürlerinin Işıksal ve Elektriksel Performanslarının Değerlendirilmesi, Araştırma Makalesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 16, S. 765-775, Ağustos 2019.
- Onaygil S, Güler Ö, Erkin E, 2009, Yol Aydınlatmalarında Led Kullanımı, V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi.
- Onaygil S, Güler Ö, Erkin E, 2009, Yol Aydınlatmalarında Led Kullanımı, V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi.
- Onaygil S, 2006, İTÜ Elektrik Mühendisliği Lisans Programı Dış Aydınlatma Dersi Notları, (<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~onaygil>).
- Onaygil S, 2016, Aydınlatma Tekniği, verimlilik, Planlama ve Yönetim. Aydınlatmada Planlama ve Yönetimin Önemi Semineri, Gaziantep, Türkiye.
- Onaygil S, 2008, Aydınlatma Aygıt Tasarımı Temel İlkeleri Ders, İTÜ Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, İstanbul.
- Ongun A, 2007, Yol Aydınlatma Tesisatlarında Optimum Çözüm Kriterlerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Onuk T N, 2008, Kentsel Dış Mekanların Aydınlatılması Kapsamında Işık Kirliliğinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özlu K, 2008, Konut Yasama Mekânlarında Yapay Aydınlatma, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye
- Özkaya M, 2004, Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özkaya M, 2000, Aydınlatma Tekniği, Birsen yayınevi, İstanbul.
- Özkızılkaya Ö, 2008, Yol Aydınlatmasında Enerji Maliyet Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 153 s., İstanbul.
- Öztemel E, 2003, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayınevi, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 21.

- Öztürk K, Şahin M E, 2018, Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekâ'ya Genel Bir Bakış, Takvim-i Vekayi ISSN: 2148-0087, 23 Rebiülahir 1440, Sayfa: 25-36.
- Palme T, Fast M, Thern M, 2011, Gas Turbine Sensor Validation Through Classification With Artificial Neural Networks'. Applied Energy, 88(11), 3898–3904.
- Patnaik A, Choudhury B, Pradhan P, Mishra R K, Christodoulou C, 2007, An ANN Application for Fault Finding in Antenna Arrays, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 55, 775-777.
- Perdahçı C, 2018, Metal İşleme Tesis Aydınlatmasında Led Lamba ve Floresan Lamba Karşılaştırılması, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi Science and Eng. J of Fırat Univ. 30(3), 105-113.
- Perdahçı C, Hanlı U, 2009, Verimli Aydınlatma Yöntemleri, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Syf.1-5.
- Pracki P, A proposal to classify road lighting energy efficiency, Lighting Research &Technology, Sep2011, p271-280. 10p. 8 Charts, 1 Graph.
- Rezazad H, İngin S, Palavar M, 2019, Yol Aydınlatmasında Yol Sınıfı Kriterlerine göre Akıllı Sistem Tasarımı,6 s, İstanbul.
- Rojas R,1996, Neural Networks-A Systematic Introduction. Berlin: Springer-Verlag.
- Sağiroğlu Ş, Beşdok E, Erler M, 2003, Mühendislikte Yapay Zekâ Uygulamaları I: Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kıratsiye-Yayıncılık, Kayseri.
- Sahin I, Koyuncu I, 2012, Design and Implementation of Neural Networks Neurons with RadBas, LogSig, and TanSig Activation Functions on FPGA, Elektronika Ir Elektrotechnika, 120, 51-54.
- Sahin I, 2010, A 32-bit floating-point module design for 3D graphic transformations SRE, 5, 3070-3081.
- Saranya C, Manikandan G, 2013, A Study on Normalization Techniques for Privacy Preserving Data Mining. International Journal of Engineering and Technologyn 5(3), 2701-2704.

- Semiz S B, 2006, Kontrol Sistemlerinin Kullanıldığı Yol Aydınlatması Tesisat Kriterlerinin Görülebilirlik Esasına Göre incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 153 s, İstanbul.
- Serway R, Beichner R J, 2000, Physics for Scientists and Engineers, 5th Edition, Saunders College Publishing, ISBN:978- 0030226540.
- Shahzad G, Yang H, Ahmad A W, Lee C, 2016, Energy-Efficient Intelligent Street Lighting System Using Traffic-Adaptive Control, IEEE Sensors Journal.
- Simanjuntak R, Dupuis P, Canale L, Sinisuka N I, Zissis G, 2014, Power quality of energy saving lamps under wide voltage variations, 2014 IEEE Industry Application Society Annual Meeting, pp. 1-7.
- Sirel Ş, 1996, Aydınlatma Tasarımında Temel Kurallar, YFU Yayınları, İstanbul, 3-5.
- Sirel O, 2004, Fotometrik Ölçmeler. Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü, Semineri, Türkiye.
- Sirel Ş, 1991, Aydınlatma Tekniği Nedir? , Yapı Fiziği Uzmanlık Uygulamaları, İstanbul.
- Sönmezocak T, 2014, Fotometrik Ölçmeler ve Yeni Modern Yaklaşımlar, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Sözen A, Akçayol M A, Modelling (Using Artificial Neural-Networks) the Performance Parameters of a Solar-Driven Ejector-Absorption Cycle”, Applied Energy, 79(3): 309-325, 2004.2704.
- Steffy G, 2002, Architectural Lighting Design,2nd Edition, John Wiley & Sons, ABD, 2.
- Şahin M, 2010, Yapay Sinir Ağları ile Dahili OrtamdakiAydınlık Düzeyinin Analizi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri EnstitüsüYüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Şahin M, Büyüktümtürk F, Oğuz Y, Paşa Y, 2014, Aydınlatma Elemanlarındaki Işık Akısı Azalmalarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, EÜFBED- Fen Bilimleri Enstitüsü DergisiCilt-Sayı:7-1.
- Şahin M, Büyüktümtürk F, Oğuz Y, 2013, Yapay Sinir Ağları ile Aydınlık Kalitesi Kontrolü, Afyon Kocatepe University Journal of Science & Engineering, Akü Femübid 13 (2013) 025201 (1-10) Aku J. Sci. Eng. 13 (2013) 025201 (1-10).
- Şahin M, Akaltun Y, Yüksel O, 2017, Investigation of the Environmental Effects of Light Pollution which External Lighting Systems Caused, Araştırma Makalesi, Erzincan

- Üniversitesi Erzincan University, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Journal of Science and Technology, 10(2), 278-286.
- Şahin M, 2010, Yapay Sinir Ağları ile Dahili Ortamlardaki Aydınlik Düzeyinin Analizi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Şahin M, 2019, İç Mekân Aydınlatma Sistemlerinde Ortalama Aydınlik Düzeyinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, AKU J. Sci. Eng.19 (2019) 025201 (348-360).
- Şahin M, 2019, İç Mekân Aydınlatma Sistemlerinde Ortalama Aydınlik Düzeyinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, AKU J. Sci. Eng.19, Cilt 19, Sayı 2, 348- 360, 17.09.2019.
- Şahin M, Oğuz Y, Büyüktümtürk F, 2015, Yarı Direkt ve Karma Aydınlatma Türlerinin Teknik Yönden Karşılaştırılması, C.B.Ü Fen Bilimleri Dergisi, 11(1), 25-35.
- Taş Y, 2013, Aydınlatma Sistemlerinde Eneji Verimliliği ve Dış Aydınlatma Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 44.
- Taşkan B, 2016, Flicker Etkisi Esaslı Yol Aydınlatmasında Optimum Direk Açıklığının Belirlenmesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Syf. 1-79.
- Taylor Alma E F, 2000, Illumination Fundamentals, Light Research Center, Troy, New York, 5, pp.24-35.
- Teng F, Aunedi M, Strbac G, 2016, Benefits of flexibility from smart electrified transportation and heating in the future UK electricity system, Applied Energy, 167, 420–431.
- Tekbıyık G, 2018, Sürdürülebilir mimarlıkta yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, kamu binalarında uygulama yöntemleri ve örneklerinin incelenmesi, Master's thesis, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toy Ö F, 2015, Led Tabanlı Yol Aydınlatma Armatürleri için optik Tasarım, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110 s., Ankara.
- Tuna M, Alçın M, Koyuncu I, Fidan C M, Pehlivan I, 2019, High speed FPGA-based chaotic oscillator design, Microprocessors and Microsystems, 66, 72-80.

- Ibai N F, Hosani H I M, Naqbi R M, Dhanhani S, Shehhi, S, 2011 Iris Recognition Using Artificial Neural Networks. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, 38(5), 5940–5946.
- Intrator O, Intrator N, 2001, Interpreting Neural-Network Results: A Simulation Study. *Computational Statistics and Data Analysis*, Elsevier, 37(3), 373–393.
- Ünal A, 2009, Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları, Birsen yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- Ünal A, Özenç S, Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul 2004
- Van Bommel W, 2015, Road lighting fundamentals, technology and application, Cham (Switzerland): Springer. 334 p.
- Villaverde I, Granna M, 2011, Neuro-evolutionary mobile robot egomotion estimation with a 3D ToF camera, *Neural Computing and Applications*, 20, 345- 354.
- Visalakshi K N, Thangavel K, 2009, Impact of Normalization in Distributed KMeans Clustering, *International Journal of Soft Computing*, 4(4), 168-172.
- Vural B B, 2007, Yapay Sinir Ağları ile Finansal Tahmin, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Xu L, Meng Q H, Wang K, Lu W, Li N, 2009, Pulse Images Recognition Using Fuzzy Neural Network *Expert Systems with Applications*, Elsevier, 36(2), 23805–3811.
- Yaman Y, 2007, Uygulamalı Aydınlatma Tekniği, Birsen yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- Yapar T, 2007, Aydınlatma Otomasyonu ile Enerji Tasarrufu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Yavuz E, 2018, Yapay Sinir Ağı Kullanarak Kontrol Alan Ağları İçin Çevrim İçi Mesaj Zamanlaması Optimizasyonu, Süleyman Dmirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Isparta.
- Yeğin E M, Bilgin M Z, 2016, Kocaeli Bölgesi Sokak Aydınlatmalarında Led Armatür Kullanımının Enerji Verimliliği ve Maliyetine Etkisi, Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, İzmit/Kocaeli.

- Yeh C, Liang Lin C, Wu T M, Yen C W, 2008, A Neural Network-Based Diagnostic Method For Solitary Pulmonary Nodules. *Neurocomputing*, Elsevier, 72(1–3), 612–624.
- Yılmaz E, Erden O, Kocadağ Y, 2019, Sokak Aydınlatması Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi Üzerine Bir Mühendislik Ekonomisi Çalışması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Araştırma makalesi, 5(3): 280-289, Ankara.
- Yılmaz E, Erden O, Kocadağ Y, 2019, Sokak Aydınlatması Dönüşümü Fayda Maliyet Analizi Üzerine Bir Mühendislik Ekonomisi Çalışması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Araştırma makalesi, 5(3): 280-28, Ankara.
- Yoomak S, Jettanasen C, Ngaopitakkul A, Bunjongjit S, Leelajindakrairek M, 2018, Comparative study of lighting quality and power quality for LED and HPS luminaires in a roadway lighting system, Elsevier Energy and Buildings Volume 159, 15 January 2018, Pages 542-557.
- Yoomak S, Ngaopitakkul A, 2018, Optimisation of lighting quality and energy efficiency of led luminaires in roadway lighting systems on different road surfaces, *Sustainable Cities and Society*, 38, 333–347.
- Winterbottom M, Wilkins A, 2009, Lighting and discomfort in the classroom, *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 63-75.
- Wasilewska A, Vaidya A, Anjali A, Durgadas D, Natarajan J, 2013, Neural Networks Course Notes. State University of New York at Stony Brook, U.S.A
- Jin L V, 2007, Summary of Artificial Neuron Model Research. Industrial Electronics Society, 33rd Annual Conference of the IEEE, 5-8 Nov.
- Jin H, Jin S, Chen L, et.al. Research on the Lighting Performance of LED Street Lights With Different Color Temperatures, *IEEE Photonics Journal*, pp. 1- 9.
- Joly R B, Ogaji S O T, Singh R, Prober, S D, 2004, Gas-turbine diagnostics using artificial neural-networks for a high bypass ratio military turbofan engine, *Applied Energy*, Elsevier, 78(4), Pages 397–418.

İnternet Kaynakları

- 1-<https://cubukled.com/etkinlik-faktoru-isiksal-verim-nedir/>, 16.06.2021
- 2-<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/wavebasics/>, 25.10.2020
- 3-<https://elektrikinfo.com/frekans-periyot-saykil-genlik-dalga-boyu-nedir/>
- 4-<https://www.acikbilim.com/2013/11/dosyalar/elektromanyetik-spektrum-bize-ne-anlatiyor.html>, 25.10.2020
- 5-<https://www.ceyrekmuhendis.com/elektromanyetik-spektrum>, 25.10.2020
- 6-<http://guide.ceit.metu.edu.tr/thinkquest/tapndx5.htm>, 25.10.2020
- 7-https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_spektrum#cite_note-ucdavis-25.10.2020
- 8-<https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/24-3-the-electromagnetic-spectrum/>, kyn.
27.10.2020
- 9- <https://www.fenokulu.net>, 27.10.2020
- 10- <http://mathworld.wolfram.com/Radian.html>,27.10.2020
- 11- <http://www.intl-lighttech.com/>, 28.10.2020
- 12- <https://www.aydinlatma.org/aydinlatma-seviyesi-luks.html>,15.11.2020.
- 13-<https://tanaydinlatma.com/parilti-ve-aydinlik-arasindaki-fark-nedir/>, 25.11.2020
- 14- <http://www.yfu.com/yazilar/Fotometrik-Olcmeler.pdf>, 04.12.2020
- 15- http://www.technoteam.de/index_eng.html, 11.12.2020
- 16-<http://www.multimeterwarehouse.com/index.htm>, 11.12.2020
- 17-<https://semihcankavakli.com/fotometrik-olcum-metotlari-ve-raporlama-teknigi/>,14.11.2020
- 18-<http://www.optronik.de/>,%20Optronik%20Berlin%20GmbH, 21.12.2020
- 19-<https://www.aydinlatma.org/ledli-aydinlatma-armaturleri-lambalarinin-fotometrik-testleri.html>, 17.12.2020

- 20- <https://www.aydinlatma.org/parilti-cd-m2.html>, 10.01.2021
- 21-<https://www.sektorumdergisi.com/aydinlatma/>,20.02.2021
- 22http://smartsystems.su/files/modules/items/428/ru/smart_systems_lmt_lichtmesstechnik_gmbh_luminance_meters_11003.pdf
- 23-<https://www.doguelektrik.com/tr/haberler/Aydinlatma-Nedir-Aydinlatmanin-Tarihi-Aydinlatma-Teknigi-ve-Turleri>, 24.02.2021
- 24- [https://www.3kopru.com/fotogaleri#prettyPhoto\[gallery3\]/5/](https://www.3kopru.com/fotogaleri#prettyPhoto[gallery3]/5/), 14.03.2021
- 25- <http://www.fotonelektrotechnik.com.tr/aydinlatma-ve-turleri/> .14.03.2021.
- 26- <http://www.intl-lighttech.com>, 14.04.2021.
- 27- <https://diyot.net/yuksek-basincli-sodyum-buharli-lambalar/>, 20.05.2021.
- 28- <http://www.lighting.philips.com>, 25.05.2021.
- 29-<https://www.aydinlatma.org/bakim-faktoru.html>, 25.05.2021.
- 30- <http://deparenergy.com/sokak-aydinlatmasinda-direk-yuksekligi> 10.07.2021.
- 31- <https://www.emci.com.tr/tr/blog/detay/106/aydinlatma-diregi-cesitleri>, 30.05.2021.
- 32- <https://www.aydinlatma.org/sokak-aydinlatmasinda-direk-yuksekligi-ve-direkler-arasi-mesafe-kac-olmalidir.html>, 30.05.2021.
- 33- <https://www.basgulgrup.com.tr/186/24-waat-gunes-solar-aydinlatma-diregi>, 10.06.2021.
- 34- <https://www.palmiyeaydinlatma.com.tr/uygulamalar/yuksek-yol-aydinlatma-direkleri/>, 10.06.2021.
- 35- <https://www.akdenizsolarenerji.com/>, 16.06.2021.
- 36- <https://www.emci.com.tr/tr/urun/detay/14/Solar-Aydinlatma-Diregi>, 16.06.2021.
- 37-<http://www.alpmet.com.tr/tr/resim-galerisi/category/17-beton-travers.html>, 26.06.2021.
- 38- <https://teknosektor.com/2015/06/03/yapay-sinir-aglari-beyin-simulasyonu/>, 26.06.2021.
- 39- <http://www.psych.utoronto.ca/users/reingold/courses/ai/cache/neural2.html>, 26.06.2021.

- 40- <https://prezi.com/dbalwm11j0p3/yapay-sinir-aglar-turleri/>, 10.07.2021.
- 41- https://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay_sinir_a%C4%9Flar%C4%B1, 10.07.2021.
- 42- <http://www.mathworks.com/>, 10.07.2021.
- 43- https://mmo.org.tr/sites/default/files/1e0e9686a06655f_ek.pdf, 10.7.2021.
- 44- <https://medium.com/@laleaslan/yapay-sinir-aglari-85d6688f7fd5>, 21.07.2021.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Züleyha OK DAVARCI
Doğum Yeri ve Tarihi : LÜBECK-ALMANYA-22.09.1975
Yabancı Dili : Almanca-İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) : 0 505 437 99 40 / okmuhendislik@hotmail.com
zlyhokdavarci@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kırıkkale Lisesi (1991– 1994)
Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, Eelektrik Elektronik Mühendisliği
Bölümü (1999– 2002)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (2019-
2022)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: Şimşek Proje Mühendislik Bürosu (1999 – 2004)
: Ok Mühendislik Bürosu (2004 – Devam Ediyor)

Yayımları (SCI ve diğer) :

Z Ok Davarcı, M Şahin, O Akar, 2022, Estimation by ANN of Luminous Efficacy of Lamps Used for Lighting, Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering, (Accepted February 15, 2022).

EKLER

EK 1. Etkinlik Fakt. YSA ile Eğitiminde kullanılan Girdi (ağırlık) ve Çıktı (Hedef) değerleri

Veri No	Lamba Türü	Lamba Gücü(W)	Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Etkinlik Faktörü(lm/W)
1	3	28	2800	13,21
2	3	42	2800	15,00
3	3	53	2800	16,04
4	3	70	2800	17,14
5	3	105	2800	18,86
6	3	140	2800	20,29
7	4	35	3000	90,00
8	4	70	4200	94,29
9	4	150	3000	93,33
10	4	250	3000	110,16
11	4	70	4200	82,86
12	4	150	4200	94,67
13	4	70	4200	80,00
14	3	18	2800	11,33
15	3	28	2800	13,21
16	3	42	2800	15,00
17	3	70	2800	6,93
18	6	4	6500	87,50
19	6	6	2700	78,33
20	6	6,5	3000	92,31
21	6	7	6500	85,71
22	6	9	2700	89,56
23	6	9,5	2700	84,84
24	6	10,5	3000	100,48
25	6	11,5	2700	91,74
26	6	15	2700	101,40
27	6	6	2700	78,33
28	6	9	2700	89,56
29	6	7	2700	67,14
30	6	8	2700	58,75
31	6	10	2700	80,60
32	6	13	2700	81,15
33	6	18	2700	84,50
34	6	10	4000	80,00
35	6	20	4000	80,00
36	6	22	6500	90,91
37	7	45	6500	60,78
38	7	65	6500	61,54
39	7	80	6500	63,75
40	7	8	6500	59,38

EK 1 (Devam). Etkinlik Fakt.YSA Eğitiminde kullanılan Girdi (ağırlık) ve Çıktı (Hedef) değerleri

Veri No	Lamba Türü	Lamba Gücü(W)	Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Etkinlik Faktörü(lm/W)
41	7	12	6500	58,33
42	7	15	6500	60,00
43	7	20	2700	62,50
44	7	23	6500	63,04
45	7	8	6500	50,00
46	7	11	6500	52,73
47	7	14	2700	57,86
48	7	18	6500	57,78
49	7	23	2700	60,87
50	5	20	4100	47,00
51	5	40	4100	57,50
52	5	18	2700	75,00
53	5	36	4000	93,06
54	5	58	2700	90,34
55	4	250	4500	72,00
56	4	400	4500	81,25
57	8	70	2000	84,29
58	8	150	2000	113,33
59	8	250	2000	125,20
60	8	400	2000	138,50
61	8	50	2000	88,00
62	8	70	2000	94,29
63	8	100	2000	107,00
64	8	150	2000	120,00
65	8	250	2000	132,00
66	8	400	2000	139,50
67	8	600	2000	150,00
68	8	35	1800	130,00
69	8	90	1800	151,11
70	5	24	3000	81,25
71	5	39	3000	89,74
72	5	49	6500	92,86
73	5	54	4000	92,59
74	5	80	4000	87,50
75	5	80	3000	100,00
76	5	36	5300	65,00
77	5	58	5300	40,34
78	7	10	2700	60,00
79	7	13	3000	69,23
80	7	18	6500	62,22
81	7	26	4000	69,23

EK 1 (Devam). Etkinlik Fakt.YSA Eğitiminde kullanılan Girdi (ağırlık) ve Çıktı (Hedef) değerleri

Veri No	Lamba Türü	Lamba Gücü(W)	Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Etkinlik Faktörü(lm/W)
82	7	36	2700	80,56
83	7	40	3000	87,50
84	3	20	2700	11,75
85	3	30	2700	13,50
86	3	46	2700	15,22
87	3	57	2800	16,05
88	3	77	2800	17,14
89	3	116	2800	18,41
90	3	20	2700	11,75
91	3	30	2700	13,50
92	3	46	2700	15,22
93	7	12	2700	54,17
94	7	23	6500	69,57
95	7	11	2700	54,55
96	7	20	6500	56,00
97	2	14	2700	96,43
98	2	21	6500	83,33
99	2	35	3000	94,86
100	2	24	4000	72,92
101	2	49	3000	87,96
102	2	80	2700	76,88
103	2	49	4000	71,43
104	6	10	2700	47,00
105	6	12	4000	88,33
106	6	6	4000	78,33
107	6	13	4000	81,15
108	6	12	4000	87,92
109	6	10	2700	80,60
110	3	35	3000	108,57
111	3	50	3000	107,00
112	3	70	4200	97,89
113	3	150	4200	104,00
114	3	250	3000	110,80
115	3	250	5500	76,00
116	3	400	5500	85,00
117	3	250	3800	82,00
118	3	400	3900	91,25
119	3	1000	7250	85,00
120	3	2000	7450	90,00
121	2	40	2700	11,75
122	2	40	2700	9,00

EK 1 (Devam). Etkinlik Fakt.YSA Eğitiminde kullanılan Girdi (ağırlık) ve Çıktı (Hedef) değerleri

Veri No	Lamba Türü	Lamba Gücü(W)	Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Etkinlik Faktörü(lm/W)
123	2	60	2700	13,43
124	2	60	2000	10,50
125	2	40	2700	11,75
126	2	40	2700	9,00
127	2	60	2700	13,43
128	2	60	2000	10,50
129	2	25	2700	8,00
130	2	25	2000	6,00
131	2	40	2700	11,75
132	2	40	2000	9,00
133	6	5,5	2700	90,00
134	6	5,5	4000	98,18
135	6	5,5	6500	98,18
136	6	8,5	2700	90,00
137	6	8,5	4000	100,00
138	6	8,5	6500	101,18
139	6	10,5	2700	95,24
140	6	10,5	4000	100,00
141	6	10,5	6500	100,00
142	6	14	2700	102,14
143	6	14	4000	107,14
144	6	14	6500	107,14
145	6	3	2700	90,00
146	6	3	6500	96,67
147	6	5	2700	88,00
148	6	5	6500	91,00
149	6	6,5	2700	96,92
150	6	6,5	6500	100,00
151	5	38	3000	74,28
152	5	74	4000	97,71
153	5	112	5700	111,66
154	5	137	6500	139,31
155	5	15	6500	106,67
156	6	8	3000	90,88
157	6	10	3000	103,50
158	6	15	4000	99,47
159	6	19	4000	113,42
160	6	22	5700	110,91
161	6	27	5700	107,78
162	6	20	2700	100,00

EK 1 (Devam). Etkinlik Fakt.YSA Eğitiminde kullanılan Girdi (ağırlık) ve Çıktı (Hedef) değerleri

Veri No	Lamba Türü	Lamba Gücü(W)	Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Etkinlik Faktörü(lm/W)
163	6	28	3000	96,43
164	6	36	4000	102,78
165	6	18	3000	86,06
166	6	36	3000	70,00
167	6	54	4000	70,00
168	6	80	5700	66,79
169	6	6	2500	120,00
170	6	4	2700	100,00
171	6	8	2700	85,00
172	6	4	3200	150,00
173	6	6	2700	71,67
174	6	8	3200	101,25
175	6	5	3200	84,00
176	6	9	3200	100,00
177	6	18	3200	100,00
178	6	15	4000	66,00
179	6	18	3200	83,33
180	6	25	3200	56,00
181	6	30	3200	57,67
182	6	20	3200	80,00
183	6	30	3200	73,33
184	6	40	3200	92,50
185	6	50	3200	86,00
186	6	60	6400	71,67
187	6	6	3200	80,00
188	6	10	3200	58,50
189	6	12	3200	67,50
190	6	13	3000	61,54
191	6	10	3200	80,00
192	6	20	3200	80,00
193	6	30	3200	85,00
194	6	50	6400	85,00
195	6	100	3200	85,00
196	6	150	3200	86,67
197	6	200	3200	89,00
198	6	4	2700	75,00
199	6	4	2700	87,50
200	7	8	2700	55,00
201	7	10	2700	58,00
202	7	20	3200	58,00
203	7	50	3200	70,00

EK 1 (Devam). Etkinlik Fakt.YSA Eğitiminde kullanılan Girdi (ağırlık) ve Çıktı (Hedef) değerleri

Veri No	Lamba Türü	Lamba Gücü(W)	Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Etkinlik Faktörü(lm/W)
204	7	80	3200	75,00
205	6	40	3200	98,75
206	6	50	3200	94,00
207	6	3	2700	80,00
208	6	10	2700	78,00
209	6	12	2700	90,83
210	6	15	2700	84,67
211	6	12	2700	141,67
212	6	14.4	2700	52,08
213	9	160	4500	17,50
214	9	250	4500	22,00
215	9	250	4500	22,00
216	9	500	4500	25,00
217	9	1000	4500	52,50
218	9	125	4500	46,40
219	9	175	4500	44,00
220	9	250	4500	44,00
221	9	400	4500	50,00
222	9	1000	4500	52,50

EK 2. Etkinlik Fakt. YSA Eğitiminde kullanılan değerlerin Normalize yapılmış halleri

Veri No	Norm.Lamba Türü	Norm.Lamba Gücü(W)	Norm.Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Norm.Etkinlik Faktörü(lm/W)
1	0,143	0,013	0,177	0,050
2	0,143	0,020	0,177	0,062
3	0,143	0,025	0,177	0,069
4	0,143	0,034	0,177	0,077
5	0,143	0,051	0,177	0,089
6	0,143	0,069	0,177	0,098
7	0,286	0,016	0,212	0,579
8	0,286	0,034	0,425	0,608
9	0,286	0,074	0,212	0,602
10	0,286	0,124	0,212	0,718
11	0,286	0,034	0,425	0,530
12	0,286	0,074	0,425	0,611
13	0,286	0,034	0,425	0,510
14	0,143	0,008	0,177	0,037
15	0,143	0,013	0,177	0,050
16	0,143	0,020	0,177	0,062
17	0,143	0,034	0,177	0,006
18	0,571	0,001	0,832	0,562
19	0,571	0,002	0,159	0,498
20	0,571	0,002	0,212	0,595
21	0,571	0,002	0,832	0,549
22	0,571	0,003	0,159	0,576
23	0,571	0,003	0,159	0,543
24	0,571	0,004	0,212	0,651
25	0,571	0,004	0,159	0,591
26	0,571	0,006	0,159	0,657
27	0,571	0,002	0,159	0,498
28	0,571	0,003	0,159	0,576
29	0,571	0,002	0,159	0,421
30	0,571	0,003	0,159	0,364
31	0,571	0,004	0,159	0,514
32	0,571	0,005	0,159	0,518
33	0,571	0,008	0,159	0,541
34	0,571	0,004	0,389	0,510
35	0,571	0,009	0,389	0,510
36	0,571	0,010	0,832	0,585
37	0,714	0,021	0,832	0,378
38	0,714	0,031	0,832	0,383
39	0,714	0,039	0,832	0,398
40	0,714	0,003	0,832	0,368

EK 2 (Devam). Etkinlik Fakt. YSA Eğitiminde kullanılan değerlerin Normalize yapılmış halleri

Veri No	Norm.Lamba Türü	Norm.Lamba Gücü(W)	Norm.Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Norm.Etkinlik Faktörü(lm/W)
41	0,714	0,005	0,832	0,361
42	0,714	0,006	0,832	0,372
43	0,714	0,009	0,159	0,389
44	0,714	0,010	0,832	0,393
45	0,714	0,003	0,832	0,303
46	0,714	0,004	0,832	0,322
47	0,714	0,006	0,159	0,357
48	0,714	0,008	0,832	0,357
49	0,714	0,010	0,159	0,378
50	0,429	0,009	0,407	0,283
51	0,429	0,019	0,407	0,355
52	0,429	0,008	0,159	0,476
53	0,429	0,017	0,389	0,600
54	0,429	0,028	0,159	0,581
55	0,286	0,124	0,478	0,455
56	0,286	0,199	0,478	0,519
57	0,857	0,034	0,035	0,540
58	0,857	0,074	0,035	0,740
59	0,857	0,124	0,035	0,821
60	0,857	0,199	0,035	0,913
61	0,857	0,024	0,035	0,565
62	0,857	0,034	0,035	0,608
63	0,857	0,049	0,035	0,696
64	0,857	0,074	0,035	0,786
65	0,857	0,124	0,035	0,868
66	0,857	0,199	0,035	0,920
67	0,857	0,299	0,035	0,992
68	0,857	0,016	0,000	0,855
69	0,857	0,044	0,000	1,000
70	0,429	0,011	0,212	0,519
71	0,429	0,018	0,212	0,577
72	0,429	0,023	0,832	0,599
73	0,429	0,026	0,389	0,597
74	0,429	0,039	0,389	0,562
75	0,429	0,039	0,212	0,648
76	0,429	0,017	0,619	0,407
77	0,429	0,028	0,619	0,237
78	0,714	0,004	0,159	0,372
79	0,714	0,005	0,212	0,436
80	0,714	0,008	0,832	0,387
81	0,714	0,012	0,389	0,436

EK 2 (Devam). Etkinlik Fakt. YSA Eğitiminde kullanılan değerlerin Normalize yapılmış halleri

Veri No	Norm.Lamba Türü	Norm.Lamba Gücü(W)	Norm.Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Norm.Etkinlik Faktörü(lm/W)
82	0,714	0,017	0,159	0,514
83	0,714	0,019	0,212	0,562
84	0,143	0,009	0,159	0,040
85	0,143	0,014	0,159	0,052
86	0,143	0,022	0,159	0,064
87	0,143	0,027	0,177	0,069
88	0,143	0,037	0,177	0,077
89	0,143	0,057	0,177	0,086
90	0,143	0,009	0,159	0,040
91	0,143	0,014	0,159	0,052
92	0,143	0,022	0,159	0,064
93	0,714	0,005	0,159	0,332
94	0,714	0,010	0,832	0,438
95	0,714	0,004	0,159	0,335
96	0,714	0,009	0,832	0,345
97	0,000	0,006	0,159	0,623
98	0,000	0,009	0,832	0,533
99	0,000	0,016	0,212	0,612
100	0,000	0,011	0,389	0,461
101	0,000	0,023	0,212	0,565
102	0,000	0,039	0,159	0,488
103	0,000	0,023	0,389	0,451
104	0,571	0,004	0,159	0,283
105	0,571	0,005	0,389	0,567
106	0,571	0,002	0,389	0,498
107	0,571	0,005	0,389	0,518
108	0,571	0,005	0,389	0,565
109	0,571	0,004	0,159	0,514
110	0,143	0,016	0,212	0,707
111	0,143	0,024	0,212	0,696
112	0,143	0,034	0,425	0,633
113	0,143	0,074	0,425	0,675
114	0,143	0,124	0,212	0,722
115	0,143	0,124	0,655	0,482
116	0,143	0,199	0,655	0,544
117	0,143	0,124	0,354	0,524
118	0,143	0,199	0,372	0,587
119	0,143	0,499	0,965	0,544
120	0,143	1,000	1,000	0,579
121	0,000	0,019	0,159	0,040
122	0,000	0,019	0,159	0,021

EK 2 (Devam). Etkinlik Fakt. YSA Eğitiminde kullanılan değerlerin Normalize yapılmış halleri

Veri No	Norm.Lamba Türü	Norm.Lamba Gücü(W)	Norm.Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Norm.Etkinlik Faktörü(lm/W)
123	0,000	0,029	0,159	0,051
124	0,000	0,029	0,035	0,031
125	0,000	0,019	0,159	0,040
126	0,000	0,019	0,159	0,021
127	0,000	0,029	0,159	0,051
128	0,000	0,029	0,035	0,031
129	0,000	0,011	0,159	0,014
130	0,000	0,011	0,035	0,000
131	0,000	0,019	0,159	0,040
132	0,000	0,019	0,035	0,021
133	0,571	0,001	0,159	0,579
134	0,571	0,001	0,389	0,635
135	0,571	0,001	0,832	0,635
136	0,571	0,003	0,159	0,579
137	0,571	0,003	0,389	0,648
138	0,571	0,003	0,832	0,656
139	0,571	0,004	0,159	0,615
140	0,571	0,004	0,389	0,648
141	0,571	0,004	0,832	0,648
142	0,571	0,006	0,159	0,663
143	0,571	0,006	0,389	0,697
144	0,571	0,006	0,832	0,697
145	0,571	0,000	0,159	0,579
146	0,571	0,000	0,832	0,625
147	0,571	0,001	0,159	0,565
148	0,571	0,001	0,832	0,586
149	0,571	0,002	0,159	0,627
150	0,571	0,002	0,832	0,648
151	0,429	0,018	0,212	0,471
152	0,429	0,036	0,389	0,632
153	0,429	0,055	0,690	0,728
154	0,429	0,067	0,832	0,919
155	0,429	0,006	0,832	0,694
156	0,571	0,003	0,212	0,585
157	0,571	0,004	0,212	0,672
158	0,571	0,006	0,389	0,644
159	0,571	0,008	0,389	0,740
160	0,571	0,010	0,690	0,723
161	0,571	0,012	0,690	0,701
162	0,571	0,009	0,159	0,648

EK 2 (Devam). Etkinlik Fakt. YSA Eğitiminde kullanılan değerlerin Normalize yapılmış halleri

Veri No	Norm.Lamba Türü	Norm.Lamba Gücü(W)	Norm.Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Norm.Etkinlik Faktörü(lm/W)
163	0,571	0,013	0,212	0,623
164	0,571	0,017	0,389	0,667
165	0,571	0,008	0,212	0,552
166	0,571	0,017	0,212	0,441
167	0,571	0,026	0,389	0,441
168	0,571	0,039	0,690	0,419
169	0,571	0,002	0,124	0,786
170	0,571	0,001	0,159	0,648
171	0,571	0,003	0,159	0,544
172	0,571	0,001	0,248	0,992
173	0,571	0,002	0,159	0,453
174	0,571	0,003	0,248	0,656
175	0,571	0,001	0,248	0,538
176	0,571	0,003	0,248	0,648
177	0,571	0,008	0,248	0,648
178	0,571	0,006	0,389	0,413
179	0,571	0,008	0,248	0,533
180	0,571	0,011	0,248	0,345
181	0,571	0,014	0,248	0,356
182	0,571	0,009	0,248	0,510
183	0,571	0,014	0,248	0,464
184	0,571	0,019	0,248	0,596
185	0,571	0,024	0,248	0,551
186	0,571	0,029	0,814	0,453
187	0,571	0,002	0,248	0,510
188	0,571	0,004	0,248	0,362
189	0,571	0,005	0,248	0,424
190	0,571	0,005	0,212	0,383
191	0,571	0,004	0,248	0,510
192	0,571	0,009	0,248	0,510
193	0,571	0,014	0,248	0,544
194	0,571	0,024	0,814	0,544
195	0,571	0,049	0,248	0,544
196	0,571	0,074	0,248	0,556
197	0,571	0,099	0,248	0,572
198	0,571	0,001	0,159	0,476
199	0,571	0,001	0,159	0,562
200	0,714	0,003	0,159	0,338
201	0,714	0,004	0,159	0,358
202	0,714	0,009	0,248	0,358
203	0,714	0,024	0,248	0,441

EK 2 (Devam). Etkinlik Fakt. YSA Eğitiminde kullanılan değerlerin Normalize yapılmış halleri

Veri No	Norm.Lamba Türü	Norm.Lamba Gücü(W)	Norm.Lamba Renk Sıcaklığı(K)	Norm.Etkinlik Faktörü(lm/W)
204	0,714	0,039	0,248	0,476
205	0,571	0,019	0,248	0,639
206	0,571	0,024	0,248	0,606
207	0,571	0,000	0,159	0,510
208	0,571	0,004	0,159	0,496
209	0,571	0,005	0,159	0,585
210	0,571	0,006	0,159	0,542
211	0,571	0,005	0,159	0,935
212	0,571	0,006	0,159	0,318
213	1,000	0,079	0,478	0,079
214	1,000	0,124	0,478	0,110
215	1,000	0,124	0,478	0,110
216	1,000	0,249	0,478	0,131
217	1,000	0,499	0,478	0,320
218	1,000	0,061	0,478	0,278
219	1,000	0,086	0,478	0,262
220	1,000	0,124	0,478	0,262
221	1,000	0,199	0,478	0,303
222	1,000	0,499	0,478	0,320