MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR OFİS KATININ YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DOĞAL & YAPAY HİBRİD AYDINLATMA KONTROLÜ

FARHAD ABDULLAYEV

(523118991)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik
Anabilim Dalı

Türkçe Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. İsmail Kıyak

İSTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR OFİS KATININ YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DOĞAL & YAPAY HİBRİD AYDINLATMA KONTROLÜ

FARHAD ABDULLAYEV

(523118991)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik
Anabilim Dalı

Türkce Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. İsmail Kıyak

İSTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Farhad Abdullayev'in "**BİR OFİS KATININ YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DOĞAL & YAPAY HİBRİD AYDINLATMA KONTROLÜ**" başlıklı tez çalışması, 24 Mayıs 2011 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Adı SOYADI (Danışman)

Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Doç.Dr. Adı SOYADI (Üye)

Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Adı SOYADI (Üye)

Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 31/05/2011 tarih ve 12345 sayılı kararı ile Farhad Abdullayev'in Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı Türkce Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Adı SOYAD

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki katkılarından ve büyük desteğinden dolayı değerli hocam Sayın Doç. Dr. İsmail KIYAK'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.
Ayrıca çalışmalar sırasında bana gösterdikleri sabır ve desteklerinden dolayı değerli ailem ve arkadaşım Tarık Özek'e özel teşekkürlerimle.

İstanbul, Ocak 2021 Farhad Abdullayev

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
YENİLİK BEYANI vi
SEMBOLLER vii
KISALTMALAR xi
ŞEKİL LİSTESİ xiii
TABLO LİSTESİ xiv
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Konusu 1
1.2. Literatür Çalışması 1
2. AYDINLATMA 4
2.1. Giriş 4
2.2. Aydınlatma Tarihçesi 4
2.3. Aydınlatma Çeşitleri 7
2.3.1. Dâhili Aydınlatma 7
2.3.2. İç Aydınlatma Değerlerinin Hesaplanması 10
2.3.3. Harici Aydınlatma 13
2.3.4. Kontrol Sisteminin Ekonomik Verimliliğinin Hesaplanması 17
2.4. Aydınlatmanın Tasarım Kriterleri 18
2.4.1. Aydınlatmanın Niteliksel Kriterleri 19
2.4.2. Aydınlatmanın Niceliksel Kriterleri 22
2.5. Aydınlatma Etkilerinin Analizi 24
2.5.1. Aydınlatmanın Genel Kullanımı ve Yaşamsal Gerekliliği 28
2.5.2. Aydınlatmanın Performans Üzerine Etkileri 31
3. AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİ 34
3.1. Giriş 34
3.2. Aydınlatma Kontrolu Mantığı 34
3.3. Aydınlatma Kontrol Yöntemleri 35
3.4. Yapay Zekâ 38
3.4.1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network) 38
3.5. Yapay Sinir Ağları ile Yapılmış Uygulamalar 41
4. IŞIK BORULARI 44
4.1. Giriş 44

__4.2. Işık Borusunun Yapısı 45
__4.3. Işık Borusunun Aydınlatma Sistemleri ile Entegrasyonu 46
__4.4. Işık Borusu ile Yapılmış Aydınlatma Örnekleri 47
5. YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ HİBRİD AYDINLATMA SİSTEMİ 48
__5.1. Giriş 48
__5.2. Sistem Bileşenleri 48
__5.3. Kontrol Stratejisi 54
__5.4. Yapay Zekâ Modeli 56
6. AYDINLATMA SİSTEMLERİ SONUÇLARI 58
__6.1. Giriş 58
__6.2. Işık Borusu Çıkış Değerleri 58
__6.3. MIMO Aydınlatma Çıkış Değerleri 60
7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ 63
__7.1. Giriş 63
__7.2. Proje Sonuçları 63
__7.3. Sonuç 68
KAYNAKLAR 70
ÖZGEÇMİŞ 90

ÖZET

BİR OFİS KATININ YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DOĞAL & YAPAY HİBRİD AYDINLATMA KONTROLÜ

İç mekân çevre koşullarının insan sağlığı, memnuniyeti ve performansı üzerindeki etkileri onlarca yıldır araştırmaların odak noktası olmuştur. Mevcut çalışmalar, bilimsel performans ve algı, görme keskinliği ve reaksiyonu, hafıza, muhakeme ve emek üretkenliği üzerine çeşitli performans testleri içermektedir. Aydınlık, parlaklık oranı ve ilişkili renk sıcaklığının performansı farklı şekillerde etkilediği, deneysel tekniklerin, koşulların, kullanılan performans değerlendirme yöntemlerinin ve veri analizi yöntemlerinin etkisini yansıttığı bulunmuştur. Basit davranış ayarlamalarından, kapsamlı ev iyileştirmelerine kadar, evlerin, ofislerin enerji kullanımını azaltmanın birçok farklı yolları vardır. Enerjiyi korumanın iki ana nedeni, elektrik faturalarından tasarruf etmek ve çevreyi korumaktır. Kapalı alanlarda enerji tasarrufu sağlamanın en yaygın yolları: günlük davranışların ayarlanması, ampullerin değişmesi, akıllı güç şeritlerinin kullanılması, enerji açışından verimli cihazların satın alınmasıdır. Enerji tasarrufu birçok nedenden dolayı önemli ve faydalıdır. Basit enerji tasarrufu önlemleri mülk değerinin artmasına ve çevrenin korunmasına yardımçı olmaktadır.

Meteorolojik hava koşulları, mevsimlerden bağımsız olarak bölgesel olarak ani değişiklikler (bulut hareketleri, toz) gösterebilir. Bu çalışmada; ışık borusu & LED hibrid aydınlatma sisteminin kontrolünü sağlamak üzere Yapay Zekâ destekli tasarım gerçekleştirilmiştir. Literatürde yalnızca bina açıklıklarından giren veya yalnızca doğal ışık yönlendiricileri ile ilgili çalışmalar yapılmış olup bu çalışmada bütün doğal ışık girişleri kullanılmıştır. Yapılmış çalışma enerji tasarrufunu artırmak ve bu alanda akademik çalışma yapan kişilere yol göstericisi olmayı amaçlamaktadır.

ABSTRACT

ARTIFICIAL INTELLIGENCE SUPPORTED NATURAL AND ARTIFICIAL HYBRID LIGHTING OF AN OFFICE FLOOR

The effects of indoor environmental conditions on human health, satisfaction and performance have been the focus of research for decades. Current studies included various performance tests on cognitive performance and perception, visual acuity and reaction, memory, reasoning, and labor productivity. It was found that luminance, brightness ratio and associated color temperature affect performance in different ways, reflecting the effect of experimental techniques, conditions, performance evaluation methods and data analysis methods. There ae many different ways to reduce the energy use of homes and offices, from simple behaviour to comprehensive home improvements. The two main reasons for conserving energy are saving the electricity bills and protecting the environment. The most common ways to save energy in confined spaces: adjusting daily behaviour, changing light bulbs, using smart power strips, purchasing energy efficient appliance and so on. Energy saving is important and beneficial for many reasons Simple energy saving measures can help increase value and protect the environment.

Meteorological weather conditions may show sudden changes (cloud movements, dust) regionally, regardless of the seasons. In this study, control outputs are produced because of comparing both perceived sensors and national meteorological data so that temporary (sudden regional change) sky movements do not cause rapid changes in the system. The Artificial Intelligence supported design to control the light pipe (LP) & LED hybrid lighting system real-time application is modeled. The study aims to increase energy savings and to guide academic studies in this field.

YENİLİK BEYANI

1. Literatürde sadece hafif boru veya sadece binanın açılış kuyruğundan giren ışık incelenmiştir. Bu çalışmada tamamen doğal ışık girişlerini birleştirerek bir tasarım yapılacaktır.
2. Bu çalışmada MIMO ANN mimarisini kullanarak ışık tüpleri ve ışık girişleri (pencereler) (Hibrit Aydınlatma Sistemi) için gerçek zamanlı bir aydınlatma sistemi simüle edilecektir.
3. Yıllık gün ışığı verileri ve bölgesel Ulusal Meteoroloji Merkezi'nden elde edilen anlık veriler karşılaştırılmış ve bu çalışmada sistem güvenilirliği artması beklenmektedir.

SEMBOLLER

$\widetilde{E}_{vo}$: Atmosferin dış sınırında güneş ışınlarına dik olan hayali düzlemde düzeltilmiş dünya dışı aydınlatma

γ_s : Derece cinsinden güneş irtifası.

φ : Herhangi bir rastgele konumun derece cinsinden coğrafi enlemidir,

δ : Güneş sapması,

H : Gerçek güneş zamanındaki saat sayısı.

P : Spektral Güç dağılımı

Φ : Spektral Duyarlılık Eğrisi

LLD : Lümen amortismanı

LDD : Armatür yüzeyinde biriken kir

RSDD : Oda yüzeyinde biriken kir

TF : Ortam sıcaklığı.

E_{ideal} : İdeal ışık akısı

E_{aktual} : Aktual ışık akısı

N : Servis aydınlatması sağlamak için gereken lamba veya armatür sayısı.

$\mathbf{E_{av}}$: Ortalama aydınlatma değeri

E_0 : Minimum aydınlatma değeri

U_0 : Ortalama Aydınlatma katsayısı

CV : Varyasyon katsayısı

σ : Standart aydınlatma hatasını

L : Oda boyutları boyunca ölçüm noktaları

W : Oda boyutları boyunca ölçüm noktaları

K_m : Radyasyonun maksimum ışık etkinliği (lm/W),

$\emptyset_{e,\lambda}$: Işık akısı (W),

$\boldsymbol{\lambda}$: Dalga boyu (nm),

$\boldsymbol{V(\lambda)}$: Spektral ışık verimliliği işlevi.

M : Normalleştirme fonksiyonu.

m : Değeri görsel adaptasyon koşullarına bağlı olan faktör

$\boldsymbol{L_{mez}}$: Mezopik parlaklık

$\boldsymbol{V_{mez}\lambda_0}$: Vmez fonksiyonun değeri

$\boldsymbol{K_m}$: Radyasyonun ışıksal etkinliği

$\boldsymbol{L_e(\lambda)}$: Spektral parlaklık

$\boldsymbol{A}$: Skotopik görüş

Φs : Skotopik akı

Φp : Fotopik akı

$\boldsymbol{L_P}$: Fotopik parlaklık

$\boldsymbol{L_S}$: Skotopik parlaklık

$\boldsymbol{\overline{V}(\lambda_0)}$: Skotopik spektral ışık verimliliği fonksiyonunun değeri

$\boldsymbol{n}$: Adım

$\boldsymbol{C_{LED}}$: LED lambanın maliyeti

$\boldsymbol{C_{lamp.repl}}$: Lambanın değiştirme maliyeti

$\boldsymbol{C_{ADCS}}$: Lamba başına hesaplanan ADCS maliyeti

$\boldsymbol{C_{ımpl}}$: ADCS uygulama maliyeti

$\boldsymbol{C_{grid}}$: Şebekeye bağlantı maliyeti

$\boldsymbol{N}$: Sevk kontrol sistemi (ADCS) tarafından kontrol edilen bir dizi değiştirilen LED lamba

G_{LED} : Elektrik tüketimi, kWh

P_{LED} : LED gücü, W

t_{hi} : Aydınlatma sisteminin günlük çalışma saatleri

G_{HPS} : Elektrik tüketimi, kWh

P_{HPS} : LED gücü, W

S_{LED} : LED kullanımı sayesinde elektrik enerjisi tasarrufu,

C_C : kWh maliyeti

S_{ADCS} : ADCS kullanımından ek tasarruf

C_C : kWh maliyeti

G_{LED} : LED elektrik enerjisi tüketimi

S : ADCS uygulaması nedeniyle elektrik enerjisi tasarrufu, %

$S_{m,LED}$: LED'in bakımından elde edilen tasarruf

$C_{m,HPS}$: HPS bakım maliyetleri

$C_{m,LED}$: ADCS bakım maliyetlerine sahip LED

AS_{LED} : Aylık toplam LED tasarrufu

L_{si} : Parlama kaynağının parlaklığı ($^{cd}/_{m^2}$)

ω_{si} : Armatürün konum indeksi

L_b : Arka planın parlaklığı

ω : Pencerenin katı açısı

L_{win} : Pencerenin parlaklığı ($^{cd}/_{m^2}$)

E_ϑ : Hafif ekşiden alınan dikey göz aydınlatması (lux)

P_i : Parlama ekşisine göre konum endeksi

L_{si} : Ekşi parlaklığı ($^{cd}/_{m^2}$)

t : Hedef

o : MİMO çıktısı

q : Boyut

γ : Örnekleme anı

η : Öğrenme oranı

$\overline{\boldsymbol{Y}}_{\boldsymbol{p}}$: n boyutunun ölçülen aydınlatma vektörü

U : n boyutunun armatür güç vektörü

$\boldsymbol{H}_{\boldsymbol{f}}$: Gizli katmanın çıktısı

$\boldsymbol{W}_{\boldsymbol{h}}$: Gizli nöronların ağırlığı

$\boldsymbol{b}_{\boldsymbol{h}}$: Bias

$\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{f}}(\boldsymbol{U})$: aydınlatma sisteminin giriş-çıkış davranışı

E : Yüzeyin aydınlığı

dϕ : Işık akısı

A : Aydınlatılmış alan

C : Gün ışığı faktörü

$\boldsymbol{E}_{\boldsymbol{n}}$: Gökyüzünün dağınık ışığının ürettiği aydınlıktır

$\boldsymbol{E}_{\boldsymbol{w}}$: Gökyüzüne yayılan ışık tarafından üretilen dış mekan aydınlatması

KISALTMALAR

ADCS : Otomatik sevk kontrol sistemi

ADAM : Uyarlanabilir moment tahmini optimizasyonu yöntemi

ANFIS : Uyanık Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi

CFL : Kompakt Flüorasan Lambası

CRF : Kontrast oluşturma faktörü

CSP : Konfor, memnuniyet ve performans endeksi

CRF : Kontrast oluşturma faktörü

CSP : Konfor, memnuniyet ve performans endeksi

CIE : Uluslararası Aydınlatma Komisyonu

CCT : Renk sıcaklığı

DSM : Talep tarafı yönetimi stratejisi

DGF : Engellilik parlama faktörü

ESI : Eşdeğer küre aydınlatması

EML : Eşdeğer melanotik lüks

ELI : Ergonomik Aydınlatma Göstergesi

FL **:** Bulanık mantık

ILES : İç Aydınlatma Değerlendirme Sistemi

IR : Kızılötesi emisyon

IES : Aydınlatıcı Mühendislik Topluluğu

LED : Light Emitting Diod

LCP : Lazer Kesim Paneli

LQI **:** Aydınlatma kalitesi Indexi

MIMO : Multi Input Multi Output

MÖ : Milatdan Önce

MF : Bakım faktörü

MSE : Ortalama kare hata işlevi

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

MD : Mobil cihazlar

OOF : Açma kontrol şeması

ODM : Kapama kontrol şeması

PV : Fotovoltaik Güneş Paneli

PIR : Pasif kızılötesi sensörler

SPD : Spektral güç dağılımı

TAF : Geçici adaptasyon faktörü

TD : Zaman gecikmesi

THD : Toplam Harmonik Bozulması

UF : Kullanım faktörü

UV : Ultraviyole emisyon

VCP : Görsel konfor olasılığı kombinasyonu

VL(M) : Görünürlülük derecesi modeli

YSA : Yapay Sınır Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Spektral duyarlılık eğrisi..... 22
Şekil 2.2. Güneş ve ışık kaynaklarının bağıl spektral güç dağılımları..... 27
Şekil 2.3. Oda Endeksi hesaplamaları için kullanılan oda parametreleri..... 11
Şekil 2.4. LED lambanın ışınlanmasının spektral dağılımı. 16
Şekil 2.5. Gözün hassasiyetini dikkate alarak verilen LED lambanın ışınlamasının spektral dağılımı. 16
Şekil 2.6. Farklı SKK değerlerine sahip beyaz ışık arasındaki görsel fark..... 29
Şekil 2.7. Ofis odaları ve evler için kullanılan LED iç aydınlatma. 30
Şekil 2.8. İç aydınlatma uygulamaları için kullanılan OLED aydınlatma panelleri. 31
Şekil 3.1. Entegre sistem diagramı..... 35
Şekil 3.2. Ticari binalarda kullanılan aydınlatma sistemlerinin kontrol stratejileri ve kategorileri. 36
Şekil 3.3. Aydınlatma sistemi kontrol diagramı. 37
Şekil 3.4. Yapay sinir ağları hücresi. 39
Şekil 3.5. Bulanık Mantık Operatörü yapısı. .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
Şekil 4.1. Işık borusunun çalışma düzeni..... 45
Şekil 4.2. Işık borulrının ayrıntılı yapısı. 46
Şekil 5.1. Doğal ve yapay aydınlatma elemanlarının yerleşimi..... 49
Şekil 5.2. Gerçekleştirilen MIMO ağ yapısı. 50
Şekil 5.4. Akıllı Hibrit Aydınlatma Sistemi Matlab Simulink modeli..... 57
Şekil 6.1. MIMO-ANN modelinin en iyi doğrulama performansı. 61
Şekil 6.2. Regresyon Analizi Sonuçları. 62
Şekil 7.1. Yapay sistem aydınlatma dağılımı..... 63
Şekil 7.2. Bulutlu havalarda iç (hafif borulu) alan için kenar ve orta LED armatür kontrol voltajları, ortam ışık seviyeleri, ışık borusu değerleri..... 64
Şekil 7.3. Yönetmen ve muhasebe odaları (pencereli odalar) için bulutlu havalarda LED ve armatür kontrol voltajları, ortam ışık seviyeleri, ışık borusu değerleri..... 65
Şekil 7.4. Oditoryum (pencereli oda) için açık havadaki kenar ve orta LED armatürün kontrol voltajı, ortam ışık seviyeleri, ışık borusu değerleri. 66
Şekil 7.5. Açıklık indeksine bağlı olarak ortak çalışma alanının (ışık borusu ile) dış yatay aydınlatma seviyesi (lux) ve çalışma düzlemi yatay aydınlatma seviyesi (lux). 67
Şekil 7.6. Açıklık indeksine bağlı olarak pencereli odaların dış yatay aydınlatma seviyesi (lux) ve çalışma düzlemi yatay aydınlatma seviyesi (lux). 67
Şekil 7.7. Ortak çalışma alanının açıklık indeksi ile yatay aydınlatma seviyeleri (lux) ile pencereli odaların çalışma düzlemleri arasındaki ilişki. 69

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Aydınlatma kalitesi yönleri. 22
Tablo 5.1. Eğitim için MIMO ANN girişleri (lux). 51
Tablo 5.2. Hedef (Volt) için MIMO ANN çıkışları. 52
Tablo 5.3. Bulutlu gün (lüx) ışık borulu oda'nın boyut ve ışık seviye değerleri. 53
Tablo 5.4. Bulutlu gün (lüx) pencereli odaların boyut seviyesi ve parlaklık değerleri. 54
Tablo 6.1. Kapalı, bulutlu ve güneşlı günler (lüx) için hafif boru parlaklık değerleri. 58
Tablo 6.2. Güneşlı günlerde pencereden giren parlak değerler (lüx). 59
Tablo 6.3. MIMO-ANN modellerinin sonuçları. 61

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu

Kentleşmenin hızla artması ile geleneksel kent kavramından akıllı kentler kavramına geçiş bir zorunluluk haline gelmiştir. Enerji ihtiyacı en büyük zorluklardan biri olmuştur. Artan nüfusla birlikte küresel enerji talebinin 2035 yılına kadar % 36 artacağı varsayılmaktadır. Üretimde kullanılan enerjinin esas olarak yenilenemeyen kaynaklardan gelmesi ve küresel ısınmaya katkıda bulunan karbondioksit (CO_2) ve benzeri gazlar, dünyanın geleceğini tehdit etmektedir. Aydınlatma maliyetleri binalarda hem gün ışığının etkin kullanımı hem de gereksiz aydınlatmanın ortadan kaldırılmasıyla ofis aydınlatmasını akıllı hale getirerek azaltılabilir. Pencerelerin yan aydınlatması, gün ışığının binalara girmesine izin vermek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Gün ışığı binaya, özellikle sınırlı cepheli binalar için çatı pencereleri veya kale pencereleri gibi üst aydınlatmalardan girebilir. Akıllı ofis aydınlatması da insanların göz sağlığı ve iş verimliliği için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, sürdürülebilir enerji özellikli akıllı bina aydınlatma sistemine sahip bir ofis binası MIMO YSA programı ile modellenmiştir. Çalışma verileri incelendiğinde meteorolojik koşulların YSA sonuçları üzerinde bir etkisi olduğu ve doğal olarak güneşli günlerde daha az yapay aydınlatma kullanılacağı beklenmektedir. Bu modelde yüksek düzeyde gün ışığı kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmış ve sistemin doğru ve hızlı çalıştığı tespit edilmiştir.

1.2. Literatür Çalışması

Aydınlatma akıllı kontrolü konusunda farklı çalışmalar yapılmıştır. Galkin I. ve arkadaşlarının 'LED Dimmerlerin Farklı Modülasyon Tekniklerinde Karşılaştırmalı Verimlilik Tahmini' adlı çalışmasında, verimli enerji kullanımı için ayarlanabilir LED aydınlatmanın karşılaştırması gerçekleştirilmiştir [1].

Wojnicki ve arkadaşlarının "Yapay Zekâ Tabanlı Aydınlatma Kontrol Sistemleri" adlı çalışmasında Yapay Zekâya dayalı kavramsal bir çerçeve tasarlanmıştır [2, 3].

Anupam P. ve arkadaşlarının 'Yapay Zekâ tabanlı Denetleyici kullanarak Elektrikli Lambanın Akıllı Kontrolü' adlı çalışmasında, iki yönlü tristör tarafından çalıştırılan lamba parlaklık devresini kontrol etmek için Yapay Zekâ tabanlı bir kontrol sistemi tasarlanmıştır [4].

Bayram T. 'Gravite Değerlerinin Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları ile Hesaplanması' adlı çalışmasında, bilgi teknolojisini aydınlatma mühendisliği alanına entegre ederek insanların

değişen ihtiyaçlarını otomatik olarak destekleyebilecek bir sistem üzerinde çalışmıştır [5-7]. Ashfaque A. ve arkadaşlarının 'Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri' adlı çalışmasında, sistematik olarak binaların iç mekân aydınlatmasının simülasyonu incelenmiştir [8-10].

Michele Zinzi ve arkadaşlarının 'Elektrik aydınlatma enerjisi kullanımlarında günışığı katkısı: EN standardı ve alternatif yöntem karşılaştırması' adlı çalışmasında EN1519 3: 2007 [12], [13] kullanılarak hesaplanan gün ışığı aydınlatma enerji tasarrufu sonuçları DAYSIM 3 simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [11].

Ciampi G ve arkadaşlarının 'Mevcut Tarihi Bir Kamu Binasının Zarfında Güçlendirme Eylemleri: Enerji ve Ekonomik Analizler' adlı çalışmasında, tarihi binaların duvarlarının, farklı düzenlemelerinin ve tesisat yüksekliklerinin yansıtma değerleri Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi ve ışık bütünlüğü açısından değerlendirilmiştir [14].

S.O. Oyedepo ve arkadaşlarının 'Sözleşmeli üniversitede enerji tasarrufu potansiyellerinin değerlendirilmesi' adlı çalışmasında, Kuzey Orta Nijerya'daki altı şehir ve kasabanın aydınlatma tüketim verilerinden güç kaynağı ve tüketim modeli tasarlanmıştır [15].

Çin Halk Cumhuriyeti İnşaat Bakanlığı 'Binaların Günışığı Aydınlatma Tasarımı' standardında iç mekân ışık ortamındaki ve enerji tüketimindeki değişimi analiz etmiştir [16].

M. Rossi ve arkadaşlarının 'Doluluk ve gün ışığı uyarlamalı kişisel aydınlatma kontrolü' adlı çalışmasında, sensörlerden alınan verilere göre LED aydınlatma sisteminin ışık çıkışını otonom olarak şekillendirebilen bir enerji tasarrufu kontrol yöntemi geliştirilmiştir [17].

M. Despenic ve arkadaşlarının 'Açık ofis ortamındaki kullanıcıların aydınlatma tercih profilleri' adlı çalışmasında, arka planda farklı karartma seviyelerinin kullanılmasını içeren yeni bir konseptin uygulanabilirliği test edilmiştir [18].

R. Sellami ve arkadaşlarının 'PV destekli hava sirkülasyon sistemi ile donatılmış bir PV / Termal toplayıcının deneysel ve sayısal çalışması' adlı çalışmasında, bir binadaki doğal aydınlatma seviyesi kontrol edilmiş, 3DS Max ile parlaklık seviyesi simüle edilmiş ve veriler Matlab yazılımı ile işlenmiştir [19].

Li DHW ve arkadaşlarının 'Fotoelektrik kontroller için anahtarlama frekansı ve enerji analizi' adlı çalışmasında, aydınlatmanın gün ışığına bağlı açma-kapama denetleyicisi, elektrik aydınlatma enerji tasarrufu ve bir atriyum binasının anahtarlama frekansı analiz edilmiştir [20]. M. Jia ve arkadaşlarının 'Doluluktan kullanıcı davranışına: bina enerji verimliliği için veri toplama teknolojileri, modelleme metodolojileri ve simülasyon bağlantı

mekanizmalarının analitik bir incelemesi' adlı çalışmasında Deep sinir ağı ile kurumsal bir binanın kullanılan ve kullanılmayan alanlarının aydınlatması belirlenmiştir [21].

1.3. Tezin Amacı

Tezin amacı, daha yaşanabilir dünya için artan enerji ihtiyacına çözüm sunan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan farkındalığın artırılması ve bu kaynakların en verimli şekilde kullanılması için gerçek veriler ve bilimsel analizler üzerinden sistem tasarımının yapılması ve uygulanmasıdır. Bu çalışmada, ışık borularından ve pençelerden gelen gün ışınımının yıllık verilerini dikkate alarak Matlab Simulink programında ofisin hibrid aydınlatma sistemi tasarlanmıştır. Ofis mimarisi Autocad programıyla çizilmiştir. Tasarlananan ofis mimarisi Dialux Evo programına girilmiş ve aydınlatma değerleri hesaplanmıştır. Yapılmış çalışmanın özelliği, tasarlanan 16 girişli ve 8 çıkışlı aydınlatma sistemi olmuştur. Çok girişli ve çok çıkışlı sistem sayesinde ofisin tüm alanları standartlara uygun şekilde aydınlatılmış ve enerji tasarrufu yapılmıştır.

2. AYDINLATMA

2.1. Giriş

Elektrik aydınlatma endüstrisinin 117 yıllık tarihi, ışık kaynağı performansında Edison'un karbon-filament lambasından watt başına 100 lumenden fazla elektrik deşarj kaynaklarına kadarı artışlara şahit olmuştur [22]. Çarpıcı kazanımlar, gazlardaki elektrik deşarjlarının ışık kaynağı olarak kullanılmasından kaynaklanmıştır. Bu herhangi bir katı nesneden çok daha yüksek bir kaynak sıcaklığına ulaşmanın benzersiz avantajı ve radyasyon spektrumunu bir dizi gaz yayan türle uyarlama becerisi sayesinde gerçekleşmiştir. [23]. 2015, Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO) [1] tarafından Uluslararası Işık ve Işık Temelli Teknolojiler Yılı olarak atanmıştır. 1865'te James Clerk Maxwell tarafından Elektromagnetik Alanın Dinamik Teorisi'nın yayınlanmasından 150 yıl sonra gelse bile, UNESCO Maxwell'in elektromanyetik dalgalar ve ışığın çığır açan çalışması dikkate alınmamıştır. Aslında, Galileo Galilei'den altı asır önce astronomi, matematik ve meteoroloji eğitimi almanın ve bilimsel yöntemi keşfetmenin yanı sıra, El-Haytham, optik ve görme üzerine ufuk açıcı araştırmalar geliştirmiştir [24].

2.2. Aydınlatma Tarihçesi

Aydınlatma hakkında yazan ilk kişi, ışığın düz çizgiler boyunca ilerlediğini onaylayan Çinli bilim adamı ve filozof Mozi (Mo Tzu, yaklaşık MÖ 470 - yaklaşık MÖ 391) olmuştur. Aynı zamanda, MÖ dördüncü yüzyılda, Yunan filozofları Empedokles ve Plato, ışığın doğasını değil, vizyonun doğasını araştırarak ışık üzerine tartışmışlardı [25]. Görmenin gözlerden yayılan ışınlardan fışkırdığını varsayan emisyon teorisini desteklemişlerdi. Bu varsayıma dayanan ışık üzerine ilk sistematik araştırma, MÖ 3. yüzyılda matematikçi Öklid tarafından yapılmıştır [26]. Görüşün göze çarpan ışınlar tarafından üretildiği şeklindeki Karşıt İntromisyon Teorisi, Aristoteles (MÖ 4. yüzyıl) tarafından önerilmiştir ve daha sonra Romalı bilim adamı Lucretius (MÖ 1. yüzyıl) tarafından ispat edilmiştir. 1.5–0.5 milyon yıl önce, Taş Devri'nde, modern insanın eski bir atası olan Homo erectus, ateşi, soğuktan ve yırtıcılardan korunmak ve gecenin karanlığını aydınlatmak için bazı şekillerde kullanabilmiştir. Böylece etrafında toplanan bireyler arasında sosyalleşmeyi teşvik etmiştir [27]. Kandillerin ve mumların ışığı eski ve klasik uygarlıkların konut ve saraylarını aydınlatarak daha zengin bir sosyal yaşama olanak sağlamıştır [28]. Binlerce yıl boyunca, gecenin karanlığını

aydınlatmanın tek kaynağı şenlik ateşleri, mumlar ve zeytinyağı, tohum yağı, balmumu ve hayvansal yağ gibi yakıtlarla beslenen lambalar kalmıştır [29].

1760'da başlayan sanayi devrimi zamanında, koks üretimi sırasında alınan kömür gazı, endüstriyel aydınlatma teknolojisinin gelişmesini sağlamıştır. İlk deneysel gaz-ışık tesis Profesör Jean-Pierre Minkelers (1748-1824) tarafından 1784 yılında Leuven Üniversitesi laboratuvarında kurulmuştur. Bundan sonra, Philippe Lebon (1767-1804) tarafından 1792 ile 1801 yıllar arasında odun gazı ile 2 deney yapılmıştır. Ancak bu gösteriler, daha çok savaş teknolojileriyle ilgilenen devrimci hükümetin dikkatini çekmemiştir. Bunlardan biri, 1792'de Claude Chappe (1763-1805) tarafından icat edilen ve semafor olarak adlandırılan bir sinyal cihazı aracılığıyla mesajı alan ve yeniden ileten kule dizilerinden oluşan optik telgraf olmuştur. Kömür gazını kullanarak ilk ev aydınlatması 1792'de William Murdoch (1754-1839) tarafından olmuştur. On iki yıl sonra, Alman doğumlu bir İngiliz olan Fredrick Winsor (orijinal olarak Winzer, 1763-1830) Londra'daki Lyceum Theatre'da bir kamu binasında ilk gaz aydınlatması kurmuştur [31]. Sistem, 1807 yılında Winsor tarafından Londra'nın merkezindeki Pall Mall'da kurulan tesis ile halka açılmıştır. Aydınlatma ağlarının kurulumunda ilk adımlar atan ve Londra'daki ilk kurulumu yapan, 1814 yılında Winsor ve Clegg şirketi olmuştur. Su temini modeline göre tasarlanan, merkezi büyük ölçekli bir kömür-gaz jeneratör boru hattı, kısa süre sonra 42 km'ye yayılmıştır. Birkaç on yıl içinde, Avrupa'daki (Fransa, Belçika, Almanya, Rusya) ve Amerika'daki birçok şehirde gaz lambalarının, mumlara kıyasla daha düşük maliyeti nedeniyle, ticari ve kamusal gaz aydınlatması satışı artmıştır. Tasarruf % 75 civarında hesaplanmıştır. Lambaların zayıf ışık sağlamasına rağmen, şehrin gece sokak aydınlatması çok daha güvenli hale gelmiş ve gece hayatı ile sosyal ve kültürel etkinliklerin gelişmesine sebep olmuştur. 1853-1855'te petrolden gazyağı elde etmek için işlemlerin icat edilmesi ve 1846-1859 döneminde çeşitli alanlarda erken başarılı sondajların ardından (Azerbaycan'da Bakü, Polonya'da Galiçya, Almanya'da Hannover, Kanada'da Ontario, Fransa, Romanya, Titusville Pennsylvania'da ve b.), ham petrol çıkarma endüstrisi hızla büyümüştür [32]. 1874'e gelindiğinde, yalnızca Pennsylvanian üretimi 10 milyon 360 pound varile ulaşmış, ancak esas dünya üreticisi Bakü bölgesi olmuştur. Senaye devrimi sonrasında temeli koyulan Standard Oil, 1870'de John Davison Rockefeller (1839–1937) ve ortakları tarafından kurulmuştur. Hızla büyüyen sayesinde birkaç yıl içinde dünyanın en zengin adamı olmuştur. Aynı yıllarda Bakü'de sondaj yapan ve Branobel Şirketi ile sürekli gazyağı üreten Nobel kardeşler bir servet biriktirmişlerdi. Bu

gelirin kaynağı, o zamanlar çok tehlikeli ürün olduğuna göre nehirlere salınan balina yağını daha ucuz gazyağıyla değişmesi olmuştur.

İlk olarak 19. yüzyılda ortaya çıkan kömür gazı ve gazyağı kimya kaynaklıysa da, yüzyılın üçüncü çeyreğinde bölgelerine saldıran ikinci sanayi devrimini karakterize eden diğer teknoloji ise elektrik olmuştur. Kalıcı bir elektrik arkı ile ışık üretme olasılığı, 1800 yılında İtalyan Alessandro Volta'nın (1745-1827) elektrokimyasal hücreyi icat etmesi sayesinde gerçekleşmiştir [33, 34]. İlk kalıcı galvanik pil, 1802'de, Rus fizikçi Vasilij Vladimirovič Petrov (1761-1834), tarafından oluşturmuştu. 1700 W elektromotor kuvvetine sahip olan bu pil, 4200, yani 2100 çift, bakır ve çinko dairelerinden oluşturulmuştur. Ancak uygulanabilir bir teknoloji geliştirmek birkaç on yıl almıştır. Ark lambası, elektrik akımını oluşturmak için uygun bir mesafede ayrılmış iki karbon elektrottan oluşuyordu. Seçilen bu mesafe, karbon elektrotların aşınmasına neden olmuş ve sonuçta güçlü bir ısı ile birlikte çok yoğun bir ışık elde edilmiştir. Arkın gerilmesini ve söndürülmesini önlemek için boşluk mesafesindeki sonuçta ortaya çıkan artış kademeli olarak telafi edilmiştir. 1845'te İngiliz Thomas Wright, karbonlar arasındaki mesafenin otomatik olarak düzenlenmesi için sağlanan ilk ark lambasının patentini almıştır. 1870'lerde Siemens (Almanya, 1867), Gramme (Fransa, 1869) ve Brush (ABD, 1878) gibi şirketler ucuz elektrik gücü sağlayabilen daha verimli dinamolar üretmeye başlamışlardı. Fransa, Mulhouse'daki (Alsace) bir fabrikanın dört Gramme dinamosu tarafından çalıştırılan dört ark lambasıyla aydınlatılan ve Noisiel-surMarne'deki bir çikolata fabrikasının benzer ekipmanlarla donatılan, ilk ülke olmuştur [35]. Sert ışıkları açık havada (parklar, meydanlar, sokaklar vb.) ve büyük binalarda başarılı olmuş, ancak ofisler ve konutlar için tamamen uygun olmamıştır. Bu tarz kullanımlar için olası bir çözümün 1801'de Humphry Davy tarafından yapılan deneylerden gelmesi beklenmiştir. Bu deney elektrokimyasal hücrenin başka bir erken versiyonu diyebileceğimiz platinyum bir şeritte akan elektrik akımı tarafından üretilen akkor olmuştur. 1841'de ilk akkor lambanın patenti İrlandalı politikacı Frederick De Moleyns (1804-1854) tarafından alınmıştır. Alınan patent sonrası 10 yıl periyodunda, yapılmış olan tüm lamba üretimleri başarısız olmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, iplikler hızla alev almış ve lambaların çok kısa sürmesine neden olmuştur. İyi ampul arayışı yeni bir ivme kazanmış ve 1870'lerin sonunda erken başarılar elde edilmiştir. 1848'den beri akkor aydınlatmayı araştıran İngiliz Joseph Wilson Swan (1828–1914), 1878'de ilk kez birkaç saat çalışma kapasitesine sahip karbon filamanlı uygun bir ampul yapmıştır.

LED teorsinin ilk adımları 1907'ci yılda İngiliz alimi Herny J. Round (1881–1966) tarafından, elektrolüminesans etkisinin incelenmesi zamanında, koyulmuştur. Aynı yılda, elektrolüminesans etkisi dikkate alınarak, bir silisyum-karbür bağlantısı gözlemlenmiştir [36]. İlk teorik yorum 1922'de, üzerine on patent kaydeden Rus Oleg V. Losev (1903–1942) tarafından geliştirilmiştir [37]. Oleg, cihazlarıyla yirmi yıl boyunca katı hal elektroniğini öngören dâhiyane bir alim olmuştur. Ancak çalışmaları Batı dünyasında fark edilmemiş ve Stalingrad Savaşı sırasında meydana gelen ölümünden sonra unutulmuştur. Yıllar sonra, avukat ve politikacı James R. Biard (1931) ve Nick Holonyak (1928), farklı sosyal, politik ve ekonomik koşullar sayesinde çok daha başarılı bir şekilde aynı yönde ilerlemişlerdi. Texas Instruments Inc.'de çalışan araştırmacılar, 1962'de kızılötesi (görünmez) LED geliştirmişlerdi. Lazerin kökeni 1952-3'e kadar uzanmaktadır. ABD'deki Columbia Üniversitesi'nden Charles H. Townes (1915–2015), SSCB'deki Lebedev Fizik Enstitüsü'nden Nikolay G. Basov (1922–2001) ve Alexander M. Prokhorov (1916–2002) adlı üç fizikçi bağımsız olarak gürültüden muaf mikrodalgaları yükseltmek ve yaymak için moleküler aktiviteyi kullanan maserin prensibi ve yapısına katkıda bulunmuşlardı [38]. Yapılmış olan keşf sayesinde, üç fizikçi 1964 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşmışlardı. İlk maşer teklifi 1958'de Townes tarafından yapılmıştır. Ancak bu teklifin ilk ticari uygulaması 1960 yılında Hughes Aircraft Company'nin mühendisi olan Theodore H.Maiman (1927–2007) tarafından yapılımıştır.

2.3. Aydınlatma Çeşitleri

Yapay aydınlatma, iç mekânlarda uyarıcı aydınlatmalı ortam yaratmada birçok fırsat sunmuştur. Işık kaynaklarının, armatürlerin ve aydınlatma kontrol sistemlerinin geliştirilmesiyle varsayılan aydınlatma efektlerine ulaşmak daha kolay hale gelmiştir. Çoğu durumda aydınlatmanın amacı, belirli faaliyetlere göre ayarlanmış uygun aydınlatma koşulları oluşturmak ve kullanıcılar için görsel performans, görsel rahatlık ve güvenlik sağlamaktır. Bu ihtiyaçların gerçekleştirilmesi, aydınlatma koşulları standart gereksinimleri karşıladığında mümkün olmaktadır [39, 40].

2.3.1. Dâhili Aydınlatma

İç aydınlatma tasarımında genel olarak tavana monte armatürler kullanılmaktadır. Bu tür aydınlatma üstün enerji verimliliği ve ekonomik aydınlatma çözümleri sunduğundan kullanıcıların ilgisini çekmektedir [41]. Bu tür çözümler, gereksinimleri asgari düzeyde karşılamaktadır. Genellikle tavan ve duvarlarda çok düşük aydınlatma seviyesi, boşlukta çok

düşük dikey aydınlatma ve çok güçlü modellemenin etkisi vardır. Bunlardan dolayı iç mekân kullanıcıları bu çözümleri yetersiz olarak değerlendirmektedirler [42-45]. İç kısımdaki aydınlık dağılımı birçok faktöre bağlıdır [46]. Bunlardan biri iç mekân kaplamasıdır. İç mekân kaplaması aydınlatma tasarımcısından bağımsız olan bir faktördür. Aydınlık ortamın yaratılmasında duvarların, tavanın, zeminin ve ekipman unsurunun yansımaları ve renkleri önemlidir [47]. Tasarımcılar, kullanıcının görüş alanında hangi oda yüzeylerinin ve iç unsurların olduğuna karar veren odanın boyutu ve oranları üzerinde bir etkiye sahip olmamaktadır. Aydınlatma tasarımcılarının, iç mekânda nihai parlaklık dağılımını oluşturan uygun şekilde düzenlenmiş aydınlatma ekipmanının uygulanmasında etkisi vardır. Armatürlerin güç ve ışık dağılımının seçimi ve bunların yerleşimi büyük ölçüde duvar ve tavan aydınlatmasını etkiler. Armatürlerin parlaklığı hariç iç mekandaki aydınlık dağılımı, görev alanlarının, yakın çevrenin ve arka plan alanlarının aydınlatması, tavan ve duvarların aydınlatılması ile belirlenir. Tavan aydınlatmasının yolu, alt ve üst kısımlarda farklı ışık akısı oranlarına sahip olan ve asma yüksekliğinin en önemli faktör olduğu uygun yerleşim düzenine sahip armatürlerin seçimi ile ilişkilidir. Duvar aydınlatmasının etkisi, çevre aydınlatma armatürleri ile duvarlar arasındaki mesafeye bağlıdır. Tipik tavana monte aydınlatma armatürü yerleşimleri için, duvarlarda yüksek bir aydınlatma seviyesi ve tekdüzelik elde etmek zordur [48]. Tek tip duvar aydınlatması elde etmek ve yüksek parlaklık değerleri sağlamak için pratikte nadiren kullanılan, tavana monte armatürler tarafından uygulanan asimetrik aydınlatma uygulaması kullanılmaktadır [49].

Aydınlatma tasarım teknikleri genellikle görsel görev ile aydınlatma kaynağı arasındaki uzamsal bir ilişkiyi açıkça tanımlamamaktadır. Bu nedenle, görev ve kaynak arasındaki mekânsal ilişkiye büyük ölçüde bağlı olan görünürlük, iç tasarım ve kullanım özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösteremektedir. Aydınlatma tasarım teknikleri tipik olarak, modern ofis uygulamalarında nadiren var olan engelsiz oda boşluklarıyla sınırlıdır. Görev istasyonları ve mobilyalar gibi oda boşluğu engelleri, gerçek koşullar altında görev aydınlatması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [50-52]. Kontrast ve aydınlıktaki bu potansiyel varyasyonlar, görsel bir görev ile bir kaynak konfigürasyonu arasında önceden tanımlama ve etkili mekânsal ilişkilerin kurulması gibi alternatif tasarım yöntemlerine ve prosedürlerine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Kontrastı en üst düzeye çıkaran ve engel kayıplarını en aza indiren özel görev-kaynak ilişkilerinin geliştirilmesi, aydınlatma tasarımı ve şartname sürecinde önemli fayda sağlamaktadır [53]. Görünürlük, belirli bir ışıklı ortam tarafından üretilen hem aydınlatma hem de kontrast tarafından belirlenmektedir [54-56]. Bu miktarların her ikisi de, görsel görev

ile kaynak arasındaki belirli bir uzamsal ilişkiye büyük ölçüde bağlıdır. Görev ve kaynak arasındaki mekansal ilişki, tipik ofis koşullarında değişmektedir. İlişki, iç tasarım öğeleri ve kaynağın geometrisi ve konumu tarafından belirlenir veya değiştirilir. Bu elemanlar, mimari ve iç tasarım süreci içinde doğrudan kontrol edilebilir ve bu nedenle, görev ve kaynak arasındaki uzamsal ilişkinin bir fonksiyonu olarak etkili konfigürasyonlar elde etmek için tasarlanabilmektedir [57].

Güneş ışığının ve çatı penceresinin mevcudiyetinin belirlenmesi ve kullanımı sadece doğal gün ışığı kaynakları olan güneş ve gökyüzünün özelliklerine dayanmaktadır. Birincil ışık kaynağı olarak güneş, farklı coğrafi konumlarda ve çeşitli zaman dilimlerinde gökyüzündeki güneşin konumu hakkında giderek artan bilgilerle, yüzyıllardır incelenmiştir [58]. Dünya atmosferine doğru dünya dışı güneş enerjisi akışı, zaman, güneş yüksekliği ve atmosfer koşullarındaki çeşitli değişiklikler altında Güneş Sabiti ve Yatay Güneş Işığı Aydınlatması şeklinde belirlenmiştir. Tüm gökyüzünden gelen aydınlık, bina içlerinde en geniş gün ışığı kaynağıdır. Güneş ışığının ve çatı penceresinin mevcudiyetinin belirlenmesi ve kullanımı sadece doğal gün ışığı kaynakları olan güneş ve gökyüzünün özelliklerine dayanamaktadır. Yer yüzeyine ulaşan birincil ışık kaynağı olarak güneş, aşağıdakilerle ilgili kademeli bir bilgi birikimi ile yüzyıllardır incelenmiştir:

- Farklı yerlerde ve çeşitli zaman aralıklarında, yani günler, mevsimler ve yıllar boyunca gökyüzündeki güneşin konumu;
- Dünya dışı güneş enerjisi, Aydınlık Güneş Sabiti biçiminde görünür spektrumda Dünya atmosferine doğru akması;
- Doğada - zaman, güneş irtifası ve atmosferik koşullarda (bulanıklık ve bulutluluk) çeşitli yerel değişiklikler altında yatay güneş ışığı aydınlatması [59, 60].
- Dünya dışı normal aydınlatma Işıklı Güneş Sabiti $\tilde{E}_{vo}$ olarak adlandırıldığında, geliş açısı i ile herhangi bir eğimli veya yönlendirilmiş düzlemde zemin seviyesindeki güneş ışığı aydınlatması E_{vSi} olarak tanımlanmıştır:

$$E_{vSi} = \tilde{E}_{vo} exp(-a_v m T_v) cosi \quad (2.1)$$

Tabii ki, herhangi bir yerde ve yukarıda tanımlanan parametreler, güneş ışınlarının neden olduğu karakteristik yatay aydınlık seviyelerini hesaplamak için uygulanmalıdır, ancak yatay yüzeyde, $cosi = sin\gamma_s$ olduğu halde [61, 62]:

$$E_{vS} = \tilde{E}_{vo} exp(-a_v m T_v) sin\gamma_s$$

(2.2)

$$\gamma_s = arcsin[sin\varphi sin\delta - cos\varphi cos\delta cos(15^0 H)]$$

(2.3)

Enerji tasarruflu aydınlatma tasarımı fikrinin amacı, verimli aydınlatma armatürü, oda yansıması, montaj yüksekliği ve en az aydınlatma güç tüketimini kullanarak çalışma düzleminde en yüksek aydınlatma verimini sağlamaktır.

2.3.2. İç Aydınlatma Değerlerinin Hesaplanması

Işık çıkışındaki azalma, tasarım sürecinde Kullanım faktörü (UF) ve Bakım faktörü (MF) dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Bu faktörler, hesaplamalar ile gerçek durumlar arasındaki farkı kapatmaktadır.

$$Kullanım\ Faktörü\ (UF) = \frac{\Phi_{çalışma\ düzlemine\ ulaşmış}}{\Phi_{lambalardan\ yayılan}}$$

(2.4)

$$Bakım\ Faktörü\ (MF) = LLD * LDD * TF * RSDD$$

(2.5)

Bir aydınlatma tesisatı ömrü boyunca kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak kadar yeterli miktarda ışık akısı kurarak yeterli servis aydınlatması sağlamak önemlidir. Tüm aydınlatma tesisatları, kurulu ışık çıkışında zamanla azalan lümen amortismanı (LLD), armatür yüzeyinde (LDD) ve oda yüzeyinde (RSDD) biriken kir, aydınlatma armatüründen çalışma düzlemine ulaşan ışık çıkışını azaltır.

Temelde, UF ve MF, bir aydınlatma sisteminin ilk özelliklerine bağlı olarak, kurulumun ömrü sonunda korunan aydınlatmayı tahmin etmek için kullanılır. İdeal koşullar altında, kurulu olan tüm ışık akısı, burada UF = 1.0 ve MF = 1.0 denklem (2.6) ile ifade edildiği gibi çalışma düzlemine ulaşılmaktadır. Kullanım ve Bakım faktörlerinin değerleri 1.0'dan daha düşük olduğu halde, aydınlatma seviyesi hedef değerin üzerinde olacaktır. Zaman geçtikçe, ışık akısı verilen kritere göre azalacaktır. Bu denklem (2.7) 'da ifade edilmektedir.

$$E_{ideal} = \frac{\Phi_{kurulmuş}}{Alan}$$

(2.6)

$$E_{aktual} = \frac{(N*\Phi_{armatür})}{A} * UF * MF$$

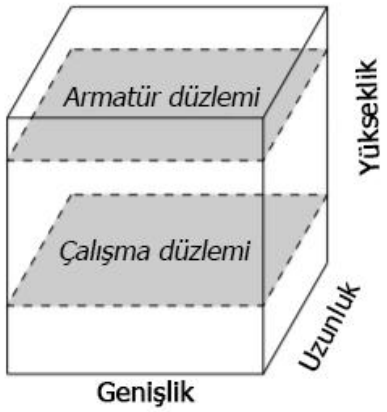
(2.7)

Odanın yatay ve dikey alanları, denklem (2.8) ile verilen Oda İndeksi (RI) olarak bilinen bir terim kullanılarak belirlenmektedir. UF ve RI oda yüzeyi yansımasına bağlıdır. Daha yüksek RI ve daha yüksek oda yüzeyi yansıması ile daha fazla UF olmaktadır.

$$Oda\ indeksi\ (Room\ Index) = \frac{Yatay\ alanlar}{Dikey\ alanlar} = \frac{Uzunluk*Genişlik}{H_m*(Uzunluk+Genişlik)}$$

(2.8)

Enerji verimliliği, yalnızca enerji tasarruflu lambaları seçerek gerçekleştirilemez. Armatürün optik verimliliğini ve onun iç mekanın köşe kısımlarını aydınlatmadan çalışma düzlemine ışık çıkışını ne kadar iyi ilettiği dikkate alınmalıdır. Şekil 2.1.'de farklı oda boyutları ve çalışma alanına karşılık gelen iki düzlem görülmektedir [63]. Armatürün montaj yüksekliği (H_m) armatür düzlemi (LP) ile çalışma düzlemi (WP) arasındaki mesafe oluşturmaktadır. Optik verimliliklerine göre farklı armatürler vardır. Bu farklılıklar, ışık yoğunluğu dağılımı, toplam lümen çıkışı gibi faktörler içermektedir.



Şekil 2.1. Oda parametreleri [63].

Günümüzde insanlar, özellikle gelişmiş ülkelerde, günlük zamanlarının çoğunu kapalı alanlarda geçirmektedir. Bu nedenle, bina sakinlerine konforlu bir iç mekân iklimi sağlamak için binalar, küresel enerji tüketiminin önemli bir kısmından sorumlu olmaktadırlar. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) yakın tarihli bir teknik raporun da, küresel elektrik enerjisinin yaklaşık 3000 TWh'ının aydınlatma amaçlı olduğu belirtilmiştir [64]. Dikkatini Avrupa bölgesindeki aydınlatma tüketimine odaklayan Avrupa Çevre Ajansı tarafından 2014

yılında toplanan resmi veriler, aydınlatmanın halkın elektrik tüketiminin yaklaşık % 10'unu (7.0 Mtoe'ye karşılık gelen 81.4 TWh) oluşturduğunu bildirmişlerdi [65]. İnşaat sektöründe, istenen bir iç ortamı kururken aydınlatma performansının optimizasyonu, genel enerji verimliliğini artırmak için büyük önem taşımaktadır [66-68]. Dünya çapındaki uluslararası kuruluşların küresel ısınma sorunlarını kontrol etme konusundaki mevcut temel endişesini karşılamak için, elektrik enerjisine olan talebin azaltılması, karbon emisyonunu ve çevre kirliliğini azaltabilmektedir [67, 68].

Yapay aydınlatma tarafından tüketilen enerji, bir binanın büyük miktarda toplam enerji tüketimini temsil eder. LED armatürler birçok avantajı bir araya getirmiş ve önde gelen aydınlatma teknolojisi olarak kabul edilmektedir. Aydınlatma kontrolünde çeşitli optimizasyon yöntemlerinin kullanılması, aydınlatmayı gerekli seviyelerde sürdürürken enerji tasarrufu gibi çeşitli faydalar sağlamıştır. Ancak, EN 12464'e göre dikkate alınması gereken önemli bir faktör olan aydınlatmanın tekdüzeliğini hesaba katan yöntem eksikliği vardır. EN 12464, aşağıda (2.10) gösterildiği gibi minimum aydınlatma değerinin ortalama aydınlatmaya bölünmesiyle hesaplanan ortalama aydınlatma ve tekdüzelik açısından iç aydınlatma için özel gereklilikler belirlemektedir [69]:

$$E_{av} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij} d_j}{n}$$

(2.9)

$$U_0 = \frac{E_0}{E_{av}}$$

(2.10)

Değişim katsayısının en aza indirilmesi, kare hatanın tekdüzelik maksimizasyonuna yol açtığı anlamına gelir. Varyasyon katsayısı aşağıdaki ifade ile verilir:

$$CV = \frac{\sigma}{E_{av}}$$

(2.11)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{W}(E_{ij} - E_{av})^2}{L * W}}$$

(2.12)

Standart hatayı armatürlerin DIM seviyeleriyle ilişkilendirmek için, denklem (2.13) aşağıda gösterildiği gibi (2.14) denklemi ile entegre edilerek formüle edilmelidir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{W}(E_{ij}-E_{av})^2}{L*W}} = \sqrt{\frac{1}{L*W}} * \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\sum_{j=1}^{m} c_{ij}d_j - \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}d_j}{n})^2}$$

(2.13)

Varyasyon katsayısı artık şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$CV = \frac{n}{\sqrt{L*W}} * \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\sum_{j=1}^{m} c_{ij}d_j - \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}d_j}{n})^2}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}d_j}$$

(2.14)

Aydınlatmanın ortalama karekök hatası ve ortalama aydınlık varyasyon katsayısı, armatürlerin DIM seviyelerinin fonksiyonları matematiksel olarak formüle edilmiştir [70, 71].

2.3.3. Harici Aydınlatma

Insanların ve araçların hareket etmesine yardımcı olan, kazaları önleyen, güvenlik ve görsellik sağlayan sokak aydınlatması, şehirlerimizin en önemli bileşenlerinden biridir [69, 70]. Operasyonun çok maliyetli olduğu ve bir şehrin elektrik tüketiminin yaklaşık yüzde 40'ının aydınlatma amacıyla tüketildiği sokak aydınlatmasında yıllarca tasarruf sağlamak için çalışmalar yapılmaktadır [71]. Aydınlatma tarafından tüketilen elektrik, dünya elektrik tüketiminin yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır ve bunun % 5'i sokak, otopark, yaya alanı ve park gibi kamusal alanlarda kullanılmaktadır [72]. Sokak lambalarının sayısı tam olarak bilinmemektedir, ama her birinin ortalama 20W tükettiği söylenmektedir [73]. Genellikle, normal sokak lambaları saat 19.00 civarında yanacak ve ertesi gün sabah 7.00 civarında sönecek şekilde ayarlanmıştır. Bu sokak lambaları, yerleşik bir parlaklık sensörü tarafından kontrol edilmektedir. Çevre karanlık olduğunda otomatik olarak açılır ve çevre aydınlandığında otomatik olarak kapanır. Avrupa Birliği'nde (AB) Yol / sokak aydınlatma sistemleri tasarımı ve işletimi, sokak aydınlatma rehabilitasyonu (UMS) ve / veya yol için "yeşil" kamu ihalesi kriterlerini belirleyen AB GPPC RLTS ile 245/2009 sayılı yönetmeliğe tabi olmaktadır [74]. Sokak aydınlatma sistemlerinin rehabilitasyonu ihtiyacı, üç temel kritere dayanan bir tekno-ekonomik analiz raporu ile doğrulanmaktadır:

- Enerji tüketimi,
- Işık kirliliği,
- Kurulumların ömür boyu işletme maliyetleri.

Belediyelerin kamusal aydınlatma operasyonu ve kontrol görevlerine katılımının en aza indirilmesine, bu faaliyetleri uzman üçüncü şahıs şirketlere yaptırarak özel dikkat gösterilmektedir. Kamu / sokak aydınlatma tesisatlarının rehabilitasyonu için teknik çözümlerin seçimi, belirli bir caddenin / yolun ne kadar ve nasıl aydınlatılacağını değerlendiren ulusal düzenleyici belgelere (BDS EN 13201-1 ila 5) göre yapılmaktadır [75].

Son yıllarda aydınlatma endüstrisinde, bir kez daha sadece aydınlatma kalitesine değil, aynı zamanda ışık izlenimlerinin öznel yorumlanmasına ve ışığın insan sirkadiyen ritmine göre ayarlanmasına da ağırlık verilmiştir. Aydınlatma tasarımındaki genel eğilim, aydınlatma parametrelerinin fotopik koşullarda ayarlanmasını önermektedir, ancak dış aydınlatma için önerilen parlaklık değerlerinin çoğunun mezopik görüş modunun sınırını belirleyen 5 cd / m^2 eşiğinin altında olduğunu belirtmek gerekir [76].

- Görsel reseptörler, çubuklar ve koniler, özel retina nöronlardır. 390 nm ila 790 nm aralığındaki elektromanyetik dalganın etkisi altında, fotokimyasal hücreler, sırasıyla çubuk ve konilerde ışığa duyarlı pigment, rodopsin (görsel mor) ve iodopsin (görsel mor) fotokimyasal olarak dönüştürülür. Tek tek hücrelerin aktivitesi, çevrenin parlaklığı ile belirlenmektedir ve bu, üç tür görüşün ayırt edilmesini sağlamaktadır: skotopik, mezopik ve fotopik. Gözün bir zamanlar daha düşük olan ışık yoğunluğuna adaptasyonu olgusu, rahatsız edici renk algısı ile ilişkilidir. Çubukların artan rolü nedeniyle, kırmızı renk daha koyu bir ton alırken, mavi rengin gözlemlenmesi ters bir eğilim göstermektedir [77].

- Görmenin matematiksel açıklaması: Retina tarafından alınan enerji miktarını doğru bir şekilde belirlemek için, insan gözü hassasiyeti standart miktarlara dayalı olarak dikkate alınmaktadır.

$$\emptyset = K_m \int_{380}^{780} \emptyset_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \qquad (2.15)$$

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu mezopik bölgedeki spektral ışık verimliliği ilkelerine göre, fotopik spektral ışık verimliliği fonksiyonu V (λ) ve skotopik spektral ışık verimliliği fonksiyonu V '(λ) [78] kombinasyonu kullanılarak belirlemektedir. Mezopik görüş için gözün

duyarlılık eğrisinin sabit bir şekli olmamaktadır, ancak V (λ) ve V '(λ) fonksiyonları arasına uyan farklı parlaklık seviyeleri için değişiklik göstermektedir. Doğrusal gradyan aşagıda ki yöntemlerle belirlenebilmektedir:

$$M_m V_{mez} = m * V(\lambda) + (1 - m) * \bar{V}(\lambda) \quad m \in [0,1] \tag{2.16}$$

$$L_{mez} = \frac{K_m}{V_{mez}\lambda_0} \int_{380}^{780} V_{mez}\lambda L_e(\lambda) d\lambda \tag{2.17}$$

- Skotopik görüşün matematiksel açıklaması. Göz hücrelerinin az ışığa uyum göstermesi sonucunda gerçekleşen görme (gece karanlığında görme) skotopik görüş adlandırılır. Aydınlatma durumunun çoğu insan gözü fotopik görmesi için gerekli koşulları yaratır ve bu da ölçüm cihazlarının kalibrasyonu ile sonuçlanır. Ancak bazı durumlarda, aydınlatma koşulları, gözü geçiş modu olan mezopik görüşe zorlayarak, diğer göz hassasiyeti için elde edilen sonuçların yanlış olmasına neden olur [79]. Alınan ışık akısının değerinin hatalı tespitini düzeltmek için, sözde S / P oranı kullanılmaktadır [80]. S / P oranı, denklem 2.18'de gösterildiği gibi, skotopik akının ϕs fotopik akı ϕp'ye oranı olarak tanımlanmaktadır:

$$A = S/P = \emptyset_s/\emptyset_P \tag{2.18}$$

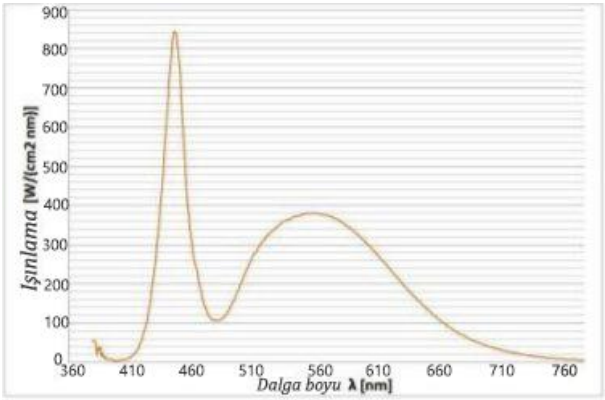
- Dış mekan aydınlatmasında mezopik görüş. Dış aydınlatma için normatif gereksinimler, mezopik koşulları görüntüleme anlamına gelen 0.3-2 cd / m^2 aralığında gerekli minimum parlaklık değerlerini karşılamaktır [81]. Parlaklık kavramının kullanılması, mezopik koşullarda boyutun matematiksel olarak belirlenmesini kolaylaştırmıştır. Yöntemlerden biri, m katsayısının başlangıç değerinin 0,5'e eşit olduğu, 5 ile ilişkili olarak gösterilen yinelemeli yöntemdir:

$$L_{mez} = \frac{m_{n-1} * L_P + (1 - m_{n-1}) L_S * \overline{V}(\lambda_0)}{m_{n-1} + (1 - m_{n-1}) * \overline{V}(\lambda_0)}$$

(2.19)

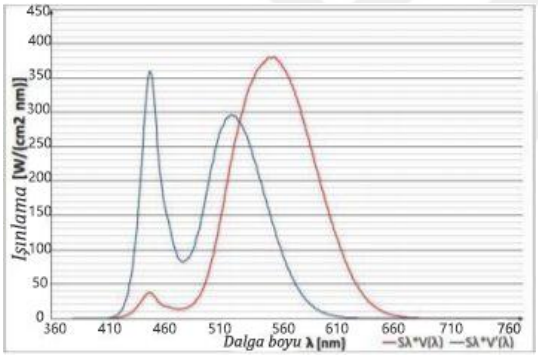
Aydınlatma yoğunluğunun algılanmasını etkileyen aydınlatma koşullarını hesaba katmak, yalnızca S / P oranını kontrol etmek için yeterli değildir. Fotopik görüşe uyarlanmış bir nokta ızgarası, yani en yoğun görüşün dar bir aralığı için kullanılmasının uygun olup olmadığı da dikkate alınmalıdır [82].

$$S/_P = \frac{\overline{K}_m \int_{380}^{780} S_\lambda(\lambda) * \overline{V}(\lambda) d\lambda}{K_m \int_{380}^{780} S_\lambda(\lambda) * V(\lambda) d\lambda} \quad (2.20)$$



Şekil 2.2. LED lambanın ışınlanmasının spektral dağılımı [83].

Şekil 2.2 ve 2.3, elde edilen fotopik ve skotopik görüş koşullarında gözün duyarlılığını hesaba katmadan ve hesaba katarak lambanın spektral ışınlamasının dağılımını göstermektedir [83].



Şekil 2.3. Gözün hassasiyetini dikkate alarak verilen LED lambanın ışınlamasının spektral dağılımı [83].

Esnek yinelemeli yapıya sahip olan ve sokak aydınlatmasının parlaklığını sorunsuz bir şekilde ayarlayabilen otomatik kontrol sisteminin uygulanmasının amacı, merkezi otomatik ve gerçek zamanlı dağıtıcı kontrolü sayesinde sokak aydınlatmasının enerji verimliliğini, güvenilirliğini ve kalitesini artırmaktır: orta derecede soğuk iklimlerde bulunan cadde, tesis, şehir ve kasabaların aydınlatması için tasarlanmış LED lambaların çalışma modu, çalışmayı analiz etmek ve gerekçelendirmek için, otomatik dağıtıcı kontrol sisteminin uygulanması ve mevcut lambaların daha verimli LEDlerle değiştirilmesi dahil olmak üzere sokak aydınlatma sistemi modernizasyonunun ekonomik verimliliğini tahmin etmek gerekmektedir [83].

2.3.4. Kontrol Sisteminin Ekonomik Verimliliğinin Hesaplanması

Kontrol sisteminin uygulanmasının ve işletilmesinin ekonomik verimliliği aşağıdaki ana faktörlerden kaynaklanmaktadır [83, 85]:

- Gün ışığının gerçek seviyesine, saatlerine ve hava faktörlerine göre ışıkları açma / kapama;
- Güç kaynağı için bireysel faz kontrolüne veya LED lambalarının kapasitesinin yumuşak bir şekilde azaltılmasına dayalı olarak gece saatlerinde kısmi aydınlatmada yatan verimli çalışma modu;
- Lambaların açık kalma süresinin azalması nedeniyle, lambaların kullanım ömrünün artmasından dolayı tasarruf;
- Ayarlanan kapasiteye göre değil, ölçüm istasyonu ölçümlerine ve gerçek tüketime dayalı ödeme;
- Elektrik sayaçlarının okumalarına dayalı olarak yasadışı bağlanmayı kontrol etme yeteneği, kullanıcının gerçek güç tüketimindeki, akımlardaki ve faz bazlı voltajdaki değişiklikleri izlemesini sağlama;
- Kaza önleyici tedbirlerden kaynaklanan tasarruflar: acil durum önleme, bakım tasarrufları, nakliye maliyetleri, cihazların (lambalar, kablolar) artan çalışma süresi [86].

Tahmini maliyeti hesaplamak için, otomatik sevk kontrol sistemi (ADCS) ile donatılmamış ve standartlara göre gece saatlerinde kısmi aydınlatma modunda çalışan otomatik kontrol sistemi ile donatılmış sokak aydınlatma sisteminin aylık işletim parametrelerini bilmek gerekir.

Tahmini maliyet, uygulanan LED lambaların potansiyel güvenilirlik iyileştirmesi ve otomatik dağıtıcı kontrol sisteminde lambaların açılma süresinin kısalması nedeniyle, çalışma ömürlerinin 10 ila 12 yıl arasında arttığı varsayımına dayanmaktadır. Bir HPS lambasının LED lambayla değiştirilmesinin geri ödeme süresini, hem sabit oran hem de artan elektrik oranını dikkate alarak hesaplayabiliriz. Mevcut aydınlatma armatürünün ADCS ile MSI devresiyle değiştirilmesinin maliyeti (kurulum dahil) [87-89]:

$$C_{repl} = C_{LED} + C_{lamp.repl} + C_{ADCS}$$

(2.21)

1 lamba başına hesaplanan belirli ADCS maliyeti (yazılım, donanım ve iletişim):

$$C_{ADCS} = \left(C_{ımpl} + C_{grid}\right) * \frac{1}{N} \quad (2.22)$$

Yılda bir LED lamba ile elektrik enerjisi tüketimi:

$$G_{LED} = \sum_1^{365} P_{LED} t_{hi} \quad (2.23)$$

Mevcut HPS lambalarının yıllık elektrik enerjisi tüketimi:

$$G_{HPS} = \sum_1^{365} P_{LED} t_{hi} \quad (2.24)$$

Bir HPS lambasının LED lambayla değiştirilmesinden kaynaklanan elektrik enerjisi tasarrufu, aşağıdaki formülü kullanarak hesaplıyoruz:

$$S_{LED} = (G_{HPS} - G_{LED}) * C_C \quad (2.25)$$

HPS aydınlatma armatürünün ayarlanabilir bir LED lamba ile değiştirilmesi nedeniyle tasarruf edilen nakit fon miktarını aşağıdaki formülü kullanarak hesaplıyoruz:

$$S_{ADCS} = C_C * G_{LED} * S * \frac{1}{100} \quad (2.26)$$

Bir HPS lambaya kıyasla bir LED lambanın bakımından elde edilen tasarrufları şu şekilde hesaplıyoruz:

$$S_{m,LED} = C_{m,HPS} - C_{m,LED} \quad (2.27)$$

Bir aydınlatma armatürünün LED lambalı bir HPS lambayla değiştirilmesinden elde edilen birikmiş tasarruf aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$AS_{LED} = S_{LED} + S_{ADCS} + S_{m,LED} \quad (2.28)$$

2.4. Aydınlatmanın Tasarım Kriterleri

Aydınlatma, modern ofis ortamında konforu artırabilecek önemli bir gerekliliktir. Ofislerdeki maliyetlerin çoğunluğunu temsil eden ışık, ısı, hava ve sesin kalitesini iyileştirerek kullanıcı konforunu artırmak, maliyetleri sınırlandırmak için daha etkili bir stratejidir [90-92]. Performans ve konfora ek olarak aydınlatma, uyanıklığı, sağlığı ve uyku kalitesini de etkilemektedir [93, 94].

2.4.1. Aydınlatmanın Niteliksel Kriterleri

Görüntü oluşturma etkileri, göz içindeki çubuklar ve koniler ile ilgili olmaktadır ve görüş sağlamaktadır. Ek olarak 2000'lerin başında, insan sağlığını ve refahını etkileyen görüntü oluşturmayan yeni bir fotoreseptör [95] bulunmuş ve bu yeni bir araştırma alanı açmıştır. Işığın görüntü oluşturan etkileriyle ilgili bir terim olan aydınlatma kalitesi, bina aydınlatma alanında en az anlaşılan yönlerden biridir [96]. Çok geniş ve belirsiz bir kavram olduğu için aydınlatma kalitesinin tam olarak neyi içerdiği konusunda fikir birliği olmamaktadır [97]. İlk aşamada, bir aydınlatma kurulumundaki tüm faktörleri tanımlamak için kullanılan bir terim olmuştur (Stein ve diğerleri, Ref. [98] 'da alıntılanmıştır). İlerdeki zamanlarda "kaliteli aydınlatma, görmeniz gerekenleri hızlı ve kolay bir şekilde görmenizi sağlayan ve görsel rahatsızlığa neden olmayıp insan ruhunu yükselten aydınlatmadır" gibi bir tanım önerilmiştir [94]. Bahs edilen terimler, aydınlatma kalitesinin nasıl ölçülebileceğini anlatmkatadır. Aydınlatma kalitesini belirlemek için nesnel bir metodoloji üzerinde fikir birliğine varmak, aydınlatma kalitesinin daha iyi anlaşılmasının ilk adımı olmakla birlik, gelecekteki çalışmaların aydınlatma kalitesinin fotometrik ölçümlerini öznel yanıtlarla ilişkilendirmesine olanak tanımaktadır [99]. İç mekan aydınlatmasını iyileştirmek için farklı kontrol yöntemleri araştırılmıştır. Her yöntem farklı özelliklere ve seviyelere sahip olmuşlardı [100]. Bahs edilen yöntemlerden yaygın olarak kullanılan, gün ışığı hasadı [101] veya doluluk temelli algılama [102], enerji kullanımının azaltılmasını amaçlamaktadır. Görsel konforu, görsel performansı [103] ve eger görüntü oluşturmayan etkiler de dikkate alınırsa [104] muhtemelen refahı ve sağlığı iyileştirmeyi amaçlayan kontrol algoritmaları mevcuttur. Bu tür optimizasyonlar, gün ışığı, zaman ve doluluk gibi çeşitli yönlere bağlı olan kontrol algoritmalarını gerektirmektedir [92]. Aydınlatma verimliliğinin azalmaması için bir yöntemin iyileştirmesi yetersiz olmaktadır. Sonuç olarak, bu kontrol algoritmaları yüksek konfor ve görsel performans sağlamamaktadır [100]. Aydınlatmayı optimize etmek için, aydınlatma kalitesini oluşturması ile ilgili tüm hususların dikkate alınması gerekmektedir. Bu araştırma kapsamlı olduğundan, tüm yönleri belirlemek kolay değildir. Tüm yönlerin belirlenmemesi sebebi ile, bu tür araştırmalar sınırlı olmaktadır. Aydınlatma kalitesini iyileştirmesinin ilk aşaması, tüm ilgili fotometrik yönlerin ölçülmesi ile başlamaktadır. Farklı aydınlatma yönlerini ölçmek için bol miktarda bilgiler mevcuttur [105]. Bina iyileştirmelerinin genel performansını değerlendirmek amacıyla aydınlatma kalitesini değerlendirmek için bir ölçüm protokolü geliştirilmiştir. Yapılmış olan değerlendirme, optimize öncesi ve sonrası benzer günlerde yapılan iki ani

ölçümün karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Aydınlatma kalitesinin ölçüm aralığı ile alakalı bir protokol olmamaktadır. Bu nedenle, kontrol algoritmaları kullanılarak aydınlatma kalitesini iyileştirmek için uygun bir girdi üretilemez. Kontrol yöntemlerinin uygulamaya uygun bir ölçüm protokolünde, cihazlar otonom yönetilmeli ve ekonomik, sağlam olmalıdır. Aydınlatma kalitesinin değerlendirilmesi ve tanımlanması için araştırılan farklı yöntemler bulunmuştur: Görünürlük Seviyesi Modeli, Aydınlatma Kalitesi İndeksi, Konfor, Memnuniyet ve performans indeksi, İç Aydınlatma Değerlendirme Sistemi ve Ergonomik Aydınlatma Göstergesi [96, 97].

- Görünürlük Düzeyi Modeli: Görsel performansın etkinliğini ölçen Görünürlük Düzeyi Modeli (VL), başlangıçta Blackwell tarafından önerilmiştir. Yıllar sonar önerilen yöntem CIE tarafından benimsenmiş ve geliştirilmiştir [100]. Bu yöntemde görünürlük, nesnelerin algılanması ve ilgili görsel detaylarla ilişkilendirilir. Yöntem, hem aydınlatmanın kalitesini, hem de niceliğini dikkate almaktadır. Görsel performans yaklaşımının gözlemcinin fotometrik ve fizyolojik yönlerinden, zihinsel koşullarından oluşması gerektiğini belirtmiştir. Görünürlük seviyesi dört yönle tanımlanır: referans görünürlük seviyesi (VL), kontrast oluşturma faktörü (CRF), engellilik parlama faktörü (DGF) ve geçici adaptasyon faktörü (TAF). Bu faktörler ölçülmesi hususi laboratuvarlarda yapılmaktadır [106].

- Aydınlatma Kalite İndeksi: Bahs edilen yöntemlere bir alternatif olarak ünlü alimler, Herst ve Ngais tarafından, Aydınlatma Kalitesinin İndeksi (LQI) yöntemi önerilmiştir. LQI, eşdeğer küre aydınlatması (ESI) ve görsel konfor olasılığı (VCP) kombinasyonuna dayanmaktadır. LQI, hem ESI hem de VCP için tasarımcı tarafından belirlenen alan yüzdesinin kriterleri karşılaması olarak tanımlanır. ESI, "belirli bir aydınlatma ortamı tarafından üretilen eşdeğer görev görünürlüğünü sağlayacak olan küre aydınlatma seviyesi" ile ilgilidir (Ref. [96] 'den alıntılanmıştır) ve VCP, rahatsızlık veren parlama ile ilgilidir. Bu model, eşdeğer görev görünürlülüğünü sağlamadığına göre geniş çapta kullanılmamaktadır [96].

- Konfor, Memnuniyet ve performans (CSP) indeksi: Görünürlük Düzeyi Modeli ve Aydınlatma Kalitesinin İndeksi yöntemine benzer şekilde, Konfor, Memnuniyet ve performans (CSP) indeksi, CSP indeksi ile subjektif yanıt

arasındaki maksimum korelasyonun sadece 0.54 olduğu düşünüldüğünde, uygulanabilirlikte bazı sınırlamalara sahip olmaktadır [107]. Perry ve diğerleri tarafından CSP indeksinin [108] daha da düşük korelasyonlu bir replikasyonu bulunmuştur. Verimliliği belirleyen üç görsel kalite unsurun konfor, memnuniyet ve performans seviyesi olduğunu varsaydığımızda, Csp bir aydınlatma tesisatının onu kullanan işçiler tarafından algılanan verimliliğini ifade eden bir gösterge üretme çabasıdır. Konfor, Memnuniyet ve performans indeksi, parlama indeksini [109] içeren doğrusal bir denklem olarak tanımlamaktadır. Silindirik ve yatay aydınlatma arasındaki olan oran memnuniyet olarak, performans ise aydınlatma, tekdüzelik ve renksel geriverimin bir kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır. Her bölüm, aynı puanla benzer şekilde değerlendirilmektedir [107].

- İç Aydınlatma Değerlendirme Sistemi: Yukarıda bahs edilen yöntemlerin aksine, İç Aydınlatma Değerlendirme Sistemi (ILES) [110] aydınlatma kalitesini, sırasıyla ölçümlere ve anketlere dayalı olarak doğrudan ve dolaylı olarak değerlendirmek için çok yönlü bir yöntem kullanmaktadır. Fotometrik parametrelere ek olarak, ekonomik parametreleri ve insan davranışını da içermektedir. Bu yöntemde, Aydınlatma kalitesinin değerlerinin hesaplanması için maliyet fonksiyonları kullanılmaktadır. Maliyet fonksiyonları, parametrenin önemini belirten bir tartım faktöründen ve parametrenin önerilen optimum değerine kıyasla parametrenin etkin değerini temsil eden ölçeklendirme faktöründen oluşmaktadır. Spesifik duruma bağlı olarak değişen ağırlıklandırma faktörleri yapılmış olan anketlere dayanmaktadır [110, 111]. İç Aydınlatma Değerlendirme Sistemin'de, aydınlatma kalitesini doğrudan değerlendiren öznel bir bileşenden oluşmaktadır. Yapılacak olan değerlendirme ve kullanımın kolaylaştırılması için, iki veya beş puanla derecelendirilen 11 sorudan oluşan bir anket tasarlanmaktadır.
- Ergonomik Aydınlatma Göstergesi**:** ILES'e benzer şekilde, Ergonomik Aydınlatma Göstergesi (ELI) nesnel ve öznel bileşenlerin bir kombinasyonuna dayanmaktadır [112]. Ergonomik Aydınlatma Göstergesi, aydınlatma kalitesinin değerlendirilmesi için önemli kriterler kullanılmaktadır. Bu kriterilere, görsel performans, görünüm, görsel konfor, canlılık ve kontrol gibi özellikler ait edilmektedir. Her bir kriter 1-5 ölçeğinde derecelendirilmektedir.

Yapılan araştırmalara göre bahs edilen yöntem özellikle aydınlatma tasarımı sırasında iletişim için kullanışlıdır. Bu model, nesnel veya öznel karaktere sahip 38 sorudan oluşan bir anketden gelen verilere dayanmaktadır. Yapılmış anket sonuçlarında yöntemin % 70 tarafsızlık düzeyine sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak, performansı tam şekilde doğrulamak için büyük ölçekli saha testleri gerekmektedir [113].

- Yönlülük: Yönlülük, otuz uygun çalışmanın on ikisini açıklayan bir aydınlatma kalitesi yönüdür. Bir ışık sahnesinin yönlülüğü, ışık akışı ile tanımlanabilmektedir. Işık akışı kavramı iki faktör, ışık akışının yönü ve ışık akışının gücünden oluşmaktadır. Aydınlatılmış ortamın değınık ve yönlü bileşenleri arasındaki fark, ışık akısının gücü olarak tanımlanabilmektedir [114]. Yeterli yönlülük, bir görevin ayrıntılarını, yüzey dokularını ve yüzler dahil üç boyutlu nesneleri ayırt etmeye yardımcı olmaktadır [105, 114]. Sonuç olarak, iletişimi, görünümü ve çevreni etkilemektedir [115]. Ayrıca, gözdeki görüntü oluşturmayan hücrelerin homojen olmayan dağılımı nedeniyle ışığın yönlülüğü sağlığı ve refahı etkileyebilmektedir [116]. Işığın yönlülüğü, nesneler üzerinde üç farklı sebepten, aydınlatma düzeni, gölge deseni ve vurgu deseni, olabilmektedir [115].
- Gerilim dalgalarının bozulması**:** Elektrik gücü kalitesindeki ana parametrelerden biri, gerilim dalgalarının ve elektrik akımının tamamen idealize edilmiş sinüzoidal formlardan bozulmasıdır. Bu, gerilim ve akım indekslerinin Toplam Harmonik Bozulması (THD) olarak ifade edilir. THD, temel dalganın harmonik bileşenleri dikkate alınarak ölçülen bozulmuş dalganın sapmasıdır (IEEE, 2014) [116].

2.4.2. Aydınlatmanın Niceliksel Kriterleri

Aydınlatma kalitesinin doğrudan ölçümlerinin önemli sınırlamaları vardır. Bu nedenle, aydınlık kalitesinin dolaylı ölçümü araştırılmaktadır. Tablo 2.1'de 11 farklı aydınlatma kalitesi yönleri listesi göşterilmiştir.

Tablo 2.1. Aydınlatma kalitesi yönleri. [117].

Yönler	Bileşenler	Çalışmaların yüzdesi	Değişkenler

Işık miktarı	Aydınlık, Parlaklık	100	EVET
Işık dağılımı	Tekdüzelik, Parlaklık dağılımı	90	EVET
Parlama	Engellilik parlaması, Rahatsızlık parlaması, Örtünme yansımaları	77	EVET
Işığın spektral güc dağılımı	Görünüm, Renk kalitesi	58	EVET
Gün ışığı	Günışığı penetrasyonu, Dış görünüm	45	EVET
Armatür Özellikleri	Işık yoğunluğu dağılımı, Titreme	42	HAYIR
Işık yönlülüğü	Yön, Modelleme	39	EVET
Kontrol	Otomatik, Bireysel	29	HAYIR
Işık dinamiği	Değişkenlik, Ritim	19	EVET
Oda özellikleri	Nesneler, Yansımalar	19	HAYIR
Ekonomy	Enerji verimliliği, Yatırım	16	KISMEN

Tablo 2.1.'de, yönlerin değişken olup olmadığı gösterilmektedir. Aydınlık miktarı, tüm uygun çalışmalarda dikkate alınan bir aydınlatma kalitesi yönüdür ve bir mekânın yüzeylerine düşen yapay ışık veya gün ışığı miktarını göstermektedir.

Aydınlık miktarı, büyük ölçüde, görsel görev için aydınlatmanın kabul edilebilirliğinden sorumlu olmaktadır [117]. Genellikle artan aydınlık miktarı ile memnuniyet ve performans artar. Aydınlatma lambalarının miktarı arttıkça, belli bir sınıra kadar aydınlatma daha sıcak ve daha tekdüze hale gelmektedir [118]. Ancak, çok yüksek miktarlar için, performans sabit kalırken memnuniyet azalmaktadır [119]. Bu, aydınlatma kalitesinin önemli bir yönüdür, çünkü ışık sayısı memnuniyeti ve görsel performansı etkiler. Aydınlık ve parlaklık ışık miktarının fotometrik göstergeleri olarak kabul edilmektedir [117]. Ek olarak, gün ışığı miktarı için, bulutlu gökyüzü koşulları için iç ve dış yatay aydınlatma arasındaki oran olarak tanımlanan gün ışığı faktörü sıklıkla kullanılmaktadır [120].

- Aydınlık**:** Işık akısının alansal yoğunluğu olan aydınlık, kosinüs düzeltmesini içeren kalibre edilmiş aydınlık ölçerlerle ölçülür [121]. Yatay aydınlatma, çalışma düzleminin yatay çalışma ortamları için yeterli bir kriter olmaktadır

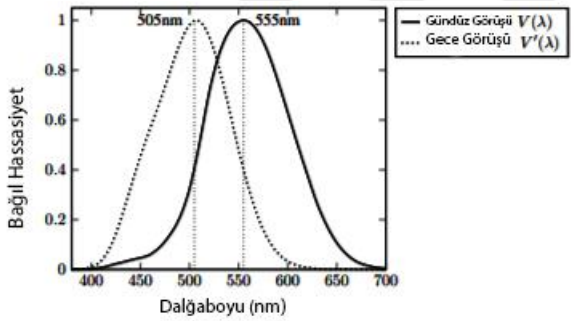
[122]. Bilgisayarların yaygın olarak kullanıldığı mevcut çalışma pratiğinde artık durum böyle değildir. Bu nedenle, ister yatay, ister dikey olsun, genel çalışma düzlemi aydınlatması kullanılır [123]. Çalışma düzlemi aydınlatması, çok sayıda çalışmada kolaylıkla ölçüldüğü ve kullanıldığı için aydınlatma miktarı için en çok kullanılan göstergedir ve bu konuda öneriler de mevcuttur. Ani ölçümler sırasında, aydınlık bir anda bir noktada ölçülür; bu nedenle, genellikle alanın genel aydınlatmasını kapsayacak şekilde bir ölçüm yapılır [124,125]. Basitleştirilmiş durumda, aydınlatma yalnızca ilgili görev pozisyonları için ölçülmektedir [119]. Bir ölçüm prosedürü, sürekli ölçümler için uygun olmamaktadır. Sürekli ölçümler için alan, gün ışığı bölgelerine bölünmeli ve bu bölgelerde, pencereye olan mesafeye ve aktivilik belirlenmelidir. Gün ışığı alanı her bölgede, kritik olan veya o bölgenin tipik aydınlatmasını temsil eden bir konuma bir ölçüm noktası yerleştirilmektedir. Ofislerde, her iş istasyonunun çalışma düzlemi düzeyinde en az bir ölçüm noktası olmaktadır [126].

- Parlaklık: Parlaklık, retinadaki aydınlık ile doğrudan ilişkili olan ve dolayısıyla insanın parlaklığın görsel algısıyla en yakından ilgili olan tek fotometrik ölçüdür [127, 128]. Parlaklık, giderek artan bir şekilde görsel rahatlık için önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir [127]. Bu sebeple, aydınlık miktarını belirlenmesi için parlaklığın dikkate alınması tavsiye edilmektedir. Mevcut Yüksek Dinamik Aralık (HDR) teknolojisi [129] ile parlaklığı piksel değerlerine göre belirlemek mümkün olmaktadır. Parlaklık, oturma pozisyonundan izleyiciye ulaşan ışığı vurgulamaktadır [130].

2.5. Aydınlatma Etkilerinin Analizi

Boş alanların aydınlatılması çalışma bölmeleri kadar kritik sayılmaktadır. Arka planın göz adaptasyonuna, güvenliğe ve dolaşıma yardımcı olacak yeterli parlaklık dağılımının olması gerekmektedir. Enerji tasarruflu iç aydınlatma, talep tarafı yönetimi için en iyi teknoloji seçeneği olmaktadır. Bu nedenle, kullanıcıya, enerji maliyetlerini düşürme ve aydınlatma kalitesini artırma yöntemlerinin aktarılması öncelik oluşturmaktadır. Endüstrilerde aydınlatma, evsel ve ticari kurulumlarda yaklaşık % 50 veya daha fazlasına kıyasla enerji tüketiminin %10'undan biraz fazlasını oluşturur. Bu nedenle aydınlatma tasarrufu için iyi

fırsatlar sunan DSM stratejilerinin uygulanması çok uygundur. Çalışmalar, aydınlatmanın insanın sirkadiyen ritmini etkilediğini, ışığın yoğunluğunu ve sirkadiyen ritmi etkinleştirmek için gereken spektrumun görsel süreç için gerekli olanlardan farklı olduğunu kanıtlamıştır. Gündüzleri parlak ışığa maruz kalmamak, sirkadiyen sisteminin bozulması, depresyon, kötü uyku kalitesi, uyuşukluk ve hatta hastalıklara neden olmaktadır [131]. Gün ışığı eksikliği ile karşılaşan kapalı ofis çalışanları, gün ışığı ile iyi aydınlatılan pencereli ofislerdeki çalışanlara göre daha passif olmaktadırlar. İnsanların iyi aydınlatılan pencereli ofislerde daha verimli çalışmaları ve kapalı ofislere göre enerji tasarrufuna yardımcı daha çok oldukları da tespit edilmiştir. İnsanın aldığı bilginin yaklaşık %80'inden gözler sorumlu olmaktadır. Bu sebeple görme, tüm duyusal organlarından en mühim olanıdır. İnsan gözünün spektral duyarlılık eğrisi Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Çevredeki parlaklık seviyeleri > 3cd / m^2 olduğunda, insan gözünün en yüksek duyarlılığı olan Fotopik görüş çalışmaktadır. 555 nm'de görünür spektrumun sarı-yeşil bölgesinde olmaktadır. Parlaklık seviyelerinin <0.003cd / m^2 olduğu geceleri, gece görüşü (Scotopic görüş) çubuk foto reseptörleri çalışmaktadır.



Şekil 2.4. Spektral duyarlılık eğrisi [132].

Bu durumda renk algısı olmamaktadır, sadece şekiller ve hareket algılanabilmektedir. Gece görüşünde insan gözünün en yüksek spektral hassasiyeti 505 nm'de mavi alanda olmaktadır. Gündüz ve gece arasındaki geçiş görme durumu mezopik görmedir. Spektral duyarlılıktaki bu fark Purkinje Kayması olarak adlandırılmaktadır. Gece vakti dış mekân ve yol aydınlatma sistemleri, mezopik görüş aralığı için tasarlanmıştır [132].

$$P = \int_{\gamma} P(\gamma) d\gamma$$

(2.29)

$$\Phi = 683 \int_{\gamma} V(\gamma) P(\gamma) d\gamma$$

(2.30)

$$\Phi = 1700 \int_{\gamma} \tilde{V}(\gamma) P(\gamma) d\gamma$$

(2.31)

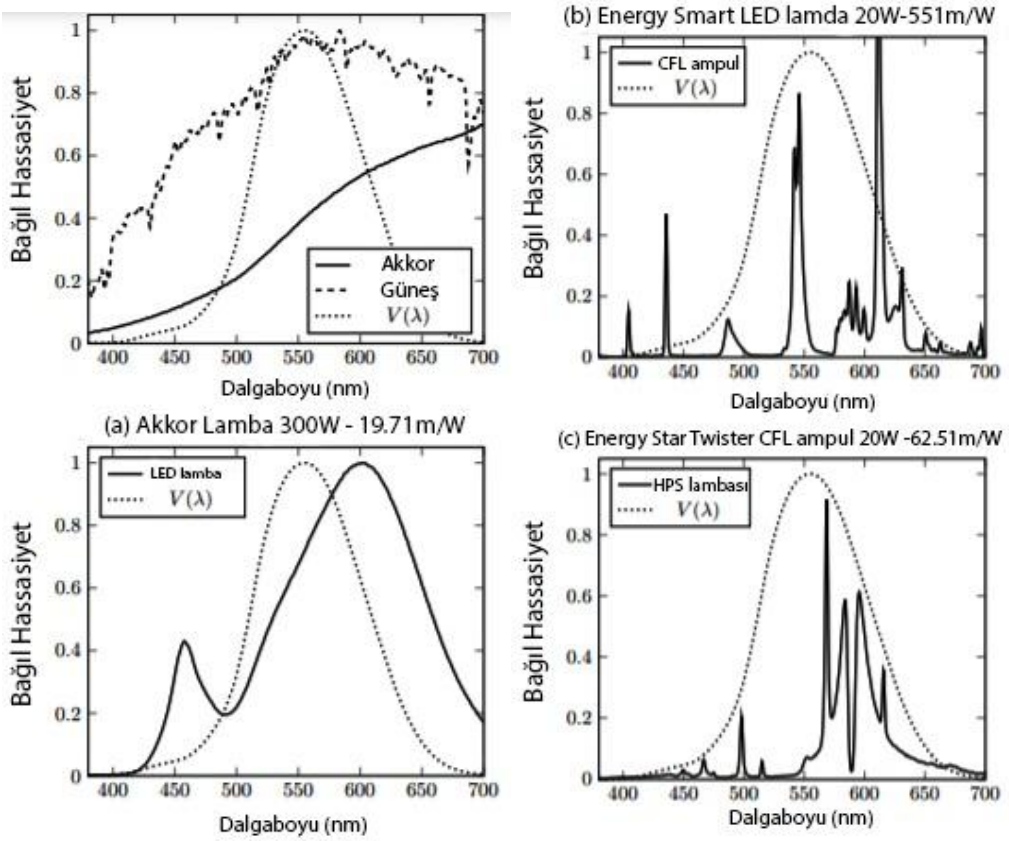
$$Aydınlatma\ verimi = \frac{\Phi}{P} = \frac{683 \int_{\gamma} V(\gamma) P(\gamma) d\gamma}{\int_{\gamma} P(\gamma) d\gamma}$$

(2.32)

$$Aydınlatma\ verimi = \frac{\Phi}{Elektrik\ g\text{ücü}}$$

(2.33)

Denklem (2.29) ile ifade edilen spektral güç dağılımı (SPD), bir ışık kaynağının renk özelliklerini, görünür spektrum üzerindeki dalga boyunun bir fonksiyonu olarak açıklamaktadır. SPD, ışık kaynağı ile ilgili tüm fiziksel bilgileri içerir ve renk analizi için başlangıç nokta olmaktadır. SPD, ışık kaynağı tarafından aydınlatılan nesnelerin insan tarafından algılanmasını sağlamamaktadır. Bunu yapmak için ışık kaynağının SPD'si, denklem (2.30) ve denklem (2.31) 'da ifade edildiği gibi verilen ışık koşulları altında insan gözünün spektral duyarlılık eğrisi ile ağırlıklandırılmalıdır [133]. Güneş ve bazı yaygın ışık kaynaklarının bağıl spektral güç dağılımı Şekil 2.2'de gösterilmektedir [134]. Aydınlatma topluluğunda spektral güç, optik güç veya ışıma gücü olarak bilinmektedir. Fotopik koşullar altında tepe dalga boyunda ışıksal etkinlik (2.32) 683 lümen / W'a ve bu değerin görünür spektrumun her iki tarafındaki dalga boylarında bir kısmına karşılık gelmektedir. Benzer şekilde, skotopik koşullar altında tepe dalga boyunda optik güç yayan bir kaynak 1700 lümen / W'lık bir ışık etkinliğine karşılık gelmektedir.



Şekil 2.5. Yapay ve Doğal aydınlatma kaynaklarının SPD'si [134].

Diğer dalga boyu ise spektral duyarlılık eğrisine dayalı olarak bu değerin bir kısmını oluşturmaktadır. Bir ışık kaynağının aydınlatma verimi (2.33), lm / W cinsinden ölçülmektedir ve ışık akısının elektriksel güç girişine olan oranı ile hesaplanmaktadır. SPD'yi anlamak, enerji verimliliğine katkıda bulunarak doğru uygulama türü için ışık kaynaklarını seçmenin anahtarı olmaktadır. LED lambalar, CFL ve güneş ışığı gibi en geniş SPD'ye sahip kaynaklar, Şekil 2.5.'deki Sodyum buharlı lambalar gibi dar SPD'li kaynaklara kıyasla en yüksek görsel konfor seviyeleri sunulmuştur. En geniş SPD'ye sahip bir ışık kaynağı, spektral göz hassasiyeti eğrisi ile ağırlıklandırıldığında daha düşük ışık etkinliği sunmaktadır. LED lambalar, CFL ve flüoresan lambalar gibi daha geniş SPD'li kaynaklar, sınıflar, süpermarketler ve ofisler gibi renk ve görsel açıdan kritik uygulamalar için, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar gibi dar SPD kaynaklarına kıyasla çok önemlidir. Spektral açıdan verimli ışık kaynakları, enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra uygulama alanı için renk, parlaklık kontrolü ve diğer gereksinimlerle tutarlı aydınlatma sağlamaktadır.

2.5.1. Aydınlatmanın Genel Kullanımı ve Yaşamsal Gerekliliği

19. yüzyılın sonlarında ortaya çıkmasıyla birlikte, akkor lambalar küresel kentleşmede önemli ilerlemeler ile ana aydınlatma kaynağı haline gelmişlerdi. Teknolojideki gelişmelerle birlikte, yeni üretilen ışık kaynakları öncekilerin yerini anında etkilemişlerdi. Güneş ışığından başlayarak, insanoğlu farklı zaman dilimlerinde farklı ışık kaynaklarını kullanmış ve her bir ışık kaynağı, geliştirildiği döneme hâkim olmuştur. Akkor lambalar daha sonra, daha belirgin bir katı hal aydınlatması (SSL) için yolu döşeyen kompakt flüoresan lambalarla (CFL'ler) değiştirilmiştir. Son zamanlarda, SSL tabanlı araştırmaya olan ilgi, küresel pazardaki yoğun talep nedeniyle artmaktadır. Önemli miktarda yeni malzeme tasarımına yoğunlaşarak cihaz paketleme ve imalatını üstlenmek için çaba harcanmaktadır. Son 5 yılda, araştırmacılar tarafından modernize edilen WLED'lerin üretimine başlanmıştır. LED'ler, her biri sırasıyla 1000 ve 10.000 saatlik akkor ampuller ve CFL'ler gibi önceki ışık kaynaklarına kıyasla yaklaşık 50.000 ila 100.000 saatlik uzun bir ömre sahip olmaktadırlar. Buna ek olarak, LED'lerin diğer avantajları arasında küçük boyutları, özgül dalga boyları, düşük termal çıktıları, ayarlanabilir ışık yoğunluğu ve kalitelerinin yanı sıra yüksek fotoelektrik dönüşüm verimliliği bulunmaktadır [135-137].

SSL, iç aydınlatma, sokak aydınlatması ve renk değiştiren mimari aydınlatma uygulamalarında kullanılmaktadır [138]. İç aydınlatma için LED tabanlı katı hal aydınlatması, toplam elektrik tüketiminin % 17'sini oluşturmaktadır [139]. Katı hal aydınlatması teknolojisinin üç büyük avantajı olmaktadır:

1) Olağanüstü enerji tasarrufu sağlayan yüksek verimlilikle ışık üretme özelliği;
2) Katı hal yayıcıların dayanıklılığı ve verimliliği (potansiyel olarak çok büyük çevresel faydalar sağlar);
3) Emisyon özelliklerini çok daha hassas bir şekilde kontrol etme esnekliği (belirli uygulamalar için emisyon özelliklerinin özelleştirilmesine ve uyarlanmasına izin verir).

İç aydınlatmada kullanılan beyaz ışık, renk sıcaklıklarına bağlı olarak üç tipte olabilir:

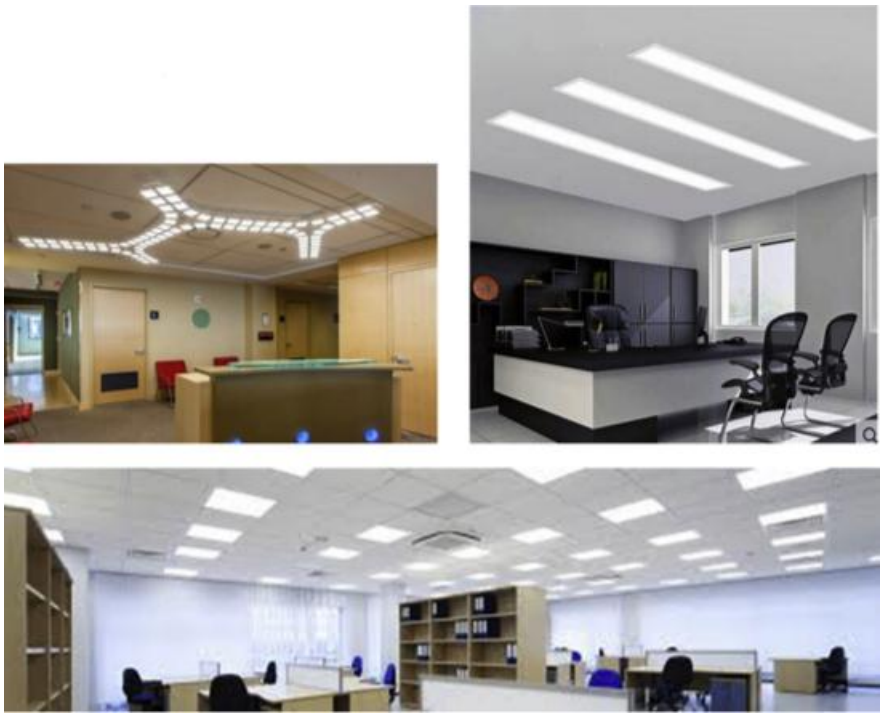
1) Sıcak;
2) Nötr;
3) Soğuk.

Renk sıcaklığı 2800 ila 3800 K aralığında değişebilmektedir. Sıcak beyaz ışık genellikle rahatlamaya daha yüksek öncelik verilen, genel kullanım alanlarında kullanılmaktadır. Soğuk beyaz ışık mavimsi bir renkle parlar ve 6000 K sıcaklığın aşmaktadır. Gelişmiş, daha parlak ve konsantre aydınlatmanın gerekli olduğu alanlarda soğuk beyaz ışık tercih edilmektedir.



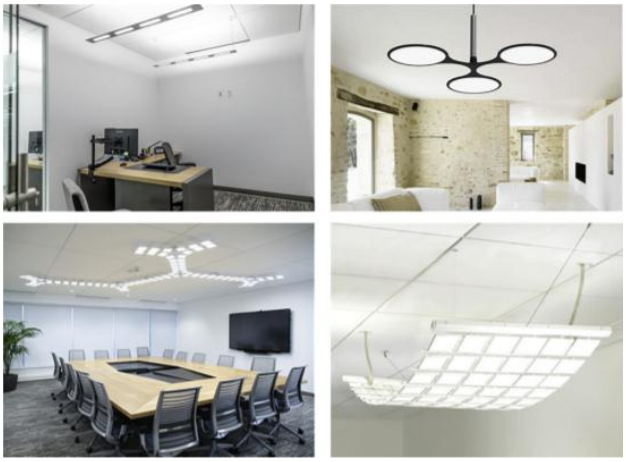
Şekil 2.6. Farklı renk sıcaklığına sahip beyaz ışık aydınlatması arasındaki görsel fark [143].

Bu tür ışık kaynakları, ışığın bir odanın köşelerine ulaşması gereken ofislerde, hastanelerde, çalışma alanlarında vb. kullanılmaktadır. CCT ve ışığın yönlü doğası gibi diğer aydınlatma faktörlerinin eşlik ettiği mavi ile zenginleştirilmiş beyaz ışık, işteki performanslarını artırmak için insanlarda gerekli uyarılmayı uyandırmada önemli bir rol oynamaktadır [140-142]. Nötr beyaz ışık, 3800 ila 6000 K arasındaki orta sıcaklık aralığında yer alır ve genellikle önceki iki türün bir bileşimini oluşturmaktadır [143]. Farklı renk sıcaklığı değerlerine sahip beyaz ışık arasındaki görsel fark Şekil 2.6'da gösteilmektedir. Daire alanları için en çok tercih edilen CCT değeri 2700 ile 3000 K arasında olmaktadır.



Şekil 2.7. Kapalı alanlarda kullanılan LED aydınlatması [144].

Kapalı alanlar için kullanılan LEDler, odanın her köşesinde uygun aydınlatmaya ulaşılmasını sağlamak için geniş bir ışık açısı üretecek şekilde tasarlanmaktadır. Alışveriş merkezlerinin ve marketlerin aydınlatması sırasında farklı aydınlatma kaynkaları tercih edilmektedir. Marketlerde gıda ürünlerinin doğal görünümünü vurgulayabilecek nötr-beyaz görünüm elde etmek için renk sıcaklığı'nın 4000 K'ye yakın tutulması uyğun olmaktadır. Perakende mağazalarında dar projektör veya spot ışıklarla aydınlatılan ürünler, müşterilerin renklerini ayırt etmelerini sağlayacak şekilde sergilenmektedir. Müşterilerin dikkatini ürüne çekmek için doğru aydınlatma son derece önemli olmaktadır. CRI değeri yüksek ışıklarla aydınlatılan mağaza ve manavlar, ürünleri müşterilerin önünde gerçek renk kimlikleri ile sergilenirken daha başarılı bulunmuştur. Restoranlarda, akşam yemeğine rahat ve sıcak bir ambiyans sağlamak için ışıkların DİM seviyesi düşük tutulmaktadır. Kuyumcu dükkanlarında nötr beyaz emisyonlu LED'lerin kullanılması mücevherlerin ve ziynet eşyalarının müşteriye ışıltılı görünmesini sağlayabilmektedir. Bu nedenle, kuyumcular aydınlatmalarını yaklaşık 4000 K CCT ile korumayı tercih ederler. Çalışma alanları, okul ve universiteler için, öğrenciler ve elemanlar arasında bir çalışma duygusu ve çalışmanın gelişmesi için 4500 K'dan daha yüksek CCT'lerle soğuk beyaz ışık yerleştirmek önemli önemli olmaktadır. Şekil 2.7, kapalı alanlar için kullanılan LED iç aydınlatması göstermektedir [144-146].



Şekil 2.8. Kapalı alanlar için tercih edilen OLED türleri [149].

İç aydınlatma alanındaki en son yenilik, genel aydınlatma için organik LED'lerin kullanılması olmaktadır. OLED'ler, alanı daha verimli bir şekilde aydınlatırken, ek avantajlarından biri bükülebilir olmasıdır [147]. Yeni geliştirilmiş aydınlatma teknolojisi olan OLED'ler, canlı tasarımlar ve daha iyi ışık kalitesi sunmaktadır. OLED teknolojisi, verimli, çekici ve sağlıklı aydınlatma yaratabilmektedir. OLED'ler, inorganik LED'lerin yerlerini almaları için iyi ayarlanmıştır [148]. OLED teknolojisi, ekran endüstrisinin temellerinden biri olarak kendisini kanıtlaya bilmiştir [149-151]. Şekil 2.8'de kapalı alanlar için tercih edilen OLED türleri gösterilmektedir. LED'lerin küçük bir paketten yoğun ışık atmasıyla bilinirken, OLED'lerin minimum miktarda mavi dalga boyuna sahip dağınık ışık ışınları ürettiği bilinmektedir. OLED'ler, mavi yönünden zengin ışıktan kaçınılması gereken odalar ve yerler için mükemmel olmaktadır. OLED'ler ayrıca armatürden gelen kızılötesi (IR) ve ultraviyole (UV) emisyon riskini de azaltır ve bu nedenle sergi aydınlatması, mağaza veya süpermarketlerdeki gıda ürünlerinin aydınlatılması, sanat eserlerinin aydınlatılması gibi uygulamalar için tercih edilmektedirler. Ek olarak, OLED'lerin bir armatüre dönüşmesi için daha az aksesuar gerekir. LED'lere kıyasla, sürücüler, difüzörler, optikler, ısı emiciler, dalga kılavuzları vb. açısından OLED'lerde daha az bileşen vardır. Yapılmış olan bu uygulamar sonucunda, OLED teknolojisinin maliyetini düşürebilir ve genel fiyatlandırmalarını geleneksel LED'lerle karşılaştırılabilir hale getirebilmektedir.

2.5.2. Aydınlatmanın Performans Üzerine Etkileri

Çeşitli iç ve dış uygulamalar için ihtiyaç duyulan ışık miktarı, geleneksel olarak, görsel verimlilik fonksiyonu V (k) ile tanımlandığı gibi, insan görüşünün elektromanyetik

spektrumun dalga boylarına göreceli parlaklık hassasiyetini açıklayan ışık akısı cinsinden ifade edilmiştir [152]. Çeşitli iç ve dış uygulamalar için ihtiyaç duyulan ışık miktarı geleneksel olarak ışık akısı olarak ifade edilmiştir. Işık akısı, görsel verimlilik fonksiyonu V (k) ile tanımlandığı gibi, insan görüşünün elektromanyetik spektrumun dalga boylarına göreceli parlaklık hassasiyetini açıklamaktadır. Tıbbi araştırma topluluğundan ortaya çıkan kanıtlar, aydınlatmayı, sirkadiyen senkronizasyon ve akut uyarı etkileri gibi görsel performansın ötesine geçen fizyolojik yanıtlarla ilişkilendirmektedir. Son 20 yılda yapılan araştırmalar, bu tepkilerin ışık akısını tanımlamak için kullanılanlardan farklı spektral hassasiyetlere sahip olduğunu göstermiştir. Işık akısı ve bundan türetilen metrikler, görsel görevler için gereken ışık miktarını belirlemek için yararlı olsa da, görüntü oluşturmayan insan tepkiler için yeterli değildir. Son yıllarda ışığın insan sirkadiyen sistemi üzerindeki potansiyel etkisini ölçmek için eşdeğer melanotik lüks (EML, m-lüks birimleri) ve sirkadiyen uyaran (CS, birimsiz) dâhil olmak üzere yeni sirkadiyen ölçümler önerilmiştir. Hem EML hem de CS, ölçekleme faktörü olarak ışık yoğunluğuyla, kabul edilen görsel yanıt (V (k)) ağırlıklandırma işlevinden farklı ağırlıklandırma işlevlerini kullanarak ışık spektrumunu tartarlar [153, 154]. EML, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) [155] tarafından SI birimi gereksinimlerine uyum sağlamak için biraz değiştirilmiş bir biçimde benimsenirken, CS henüz CIE veya Aydınlatıcı Mühendislik Topluluğu (IES) tarafından benimsenmemiştir. Yapılı ortamda EML ve CS'yi tahmin etmek, oda yüzeylerinin spektral yansıma dağılımını (SRD) ve tüm ışık kaynaklarının spektral güç dağılımını (SPD) hesaba katan, görünüme bağlı aydınlatma simülasyonlarını gerektirmektedir. Ölçümler, potansiyel bir kullanıcının gözüne ulaşan ışığın yoğunluğunu ve spektrumunu karakterize etmeyi amaçlamaktadır [156, 157]. Hesaplama noktasının doğrudan görünümündeki ışık kaynaklarının SPD'si, her iki ölçütü de etkiler, ancak EML ve CS'nin tam spektral duyarlılıkları, her bir metriğin temel varsayımlarına göre değişiklik gösterir.

Uygun miktarda doğal ışığa maruz kalma, yolcuların ruh halini, uyanıklığını [158, 159] ve genel sağlığını yükseltir ve sirkadiyen ritimlerimizin gündüz ve gece ile senkronizasyonunu güçlendirmektedir [160, 161]. Enerji tasarrufu ve görsel konfor sağlanması doğrudan güneş ışığından kaçınma ile mümkündür. Buna karşılık, yolcu sağlığı, refahına daha fazla odaklanan ve doğal ışığa minimum miktarda maruz kalma süresini dikkate alan yeni standartlar, yani WELL Bina Standardı [162] ve yeni Avrupa standardı (EN 17037) [163], oluşturulmuştur. Gün ışığı alan işyerlerinde parlama, örtülü yansımalar, gölgeler veya oluşturulan görsel alanda çok fazla homojen olmama nedeniyle görsel rahatsızlık oluşabilir [164]. Gün ışığı

kullanılabilirliği ve açık gökyüzü olan ofis binalarındaki görsel rahatsızlığın giderilmesinde parlamadan kaçınmak temel özelliklerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu fenomen, yüksek parlaklık kontrastı veya uygun olmayan parlaklık aralığı veya dağılımı nedeniyle ortaya çıkabilir ve bu durum, görmeyi bozmadan gözlerin içinde veya çevresinde rahatsızlık hissine yol açmaktadır [165, 166]. Hopkinson [166], daha sonra Chauvel [167] tarafından değiştirilen ve Daylight Glare Index (DGI) olarak tanıtılan Cornell denklemi aşagıdaki gibidir:

$$DGI = 10 * \log_{10}\left[0{,}487 \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{L_{si}^{1.6} * \omega_{si}^{0.8}}{L_b + 0.07 * \omega^{0.5} L_{win} * P_i^{1.6}}\right)\right]$$

(2.34)

Bu endeks, doğrudan güneş ışığı veya iç yansıma ile pek ilgili değildir. Buna ek olarak, parlama kaynağı neredeyse tüm görüş alanını doldurduğunda veya arka plan parlaklığının bir parçası olarak pencere parlaklığına odaklanılması nedeniyle arka plan parlaklığı kaynak parlaklığına eşit olduğunda iyi performans gösteremez. DGI sınırlamalarını hesaba katmak için, [168] denklemlerine adaptasyon seviyesi olarak dikey göz aydınlatmasını (Ev) ve Gün Işığı Parlama Olasılığı (DGP) endeksini eklemek gerekiyor:

$$DGP = 5.87 * 10^{-5} E_{\vartheta} + 9.18 * 10^{-2} \log_{10}\left[1 + \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{L_{si}^{2} * \omega_{si}}{E_{\vartheta}^{1.87} * P_i^{2}}\right)\right] + 0.16$$

(2.35)

0.3 ile 0.45 arasında değişen DGP değerleri, kamaşma değerlendirmelerinin sırasıyla algılanamayan kamaşmadan dayanılmaz parlamaya doğru ilerlemesini göstermektedir. Ek olarak, bir aydınlatma durumunda [168] rahatsızlığı algılayan insanların yüzdesi olarak yorumlanabilir. Parlama ve görsel rahatsızlık üzerine yapılan sayısız çalışmaya [169-174] rağmen, görsel rahatsızlığın nicelleştirilmesi, aydınlatma araştırması [169,175] alanında çok tartışmalı bir konu olarak kabul edilmiştir. Yani, tüm mevcut modellerde, ışıklı çevrenin fiziksel büyüklükleri, öznel derecelendirme ölçekleri gibi psikofiziksel prosedürler aracılığıyla rahatsızlık hissine atfedilmektedir [176, 177]. Öznel değerlendirmeler, konuyla ilgili araştırma anlayışını genişletmeyi kolaylaştırsa da, her zaman bu öznel ölçümlerle ilişkili bir dereceye kadar belirsizlik olmaktadır [178]. Aydınlatma ortamının öznel algısının, öznenin tercihleri, geçmişi, kültürü ve fizyolojik farklılıklarıyla ayrılmaz bir şekilde iç içe geçtiği ileri sürülmüştür. [164, 179].

3. AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİ

3.1. Giriş

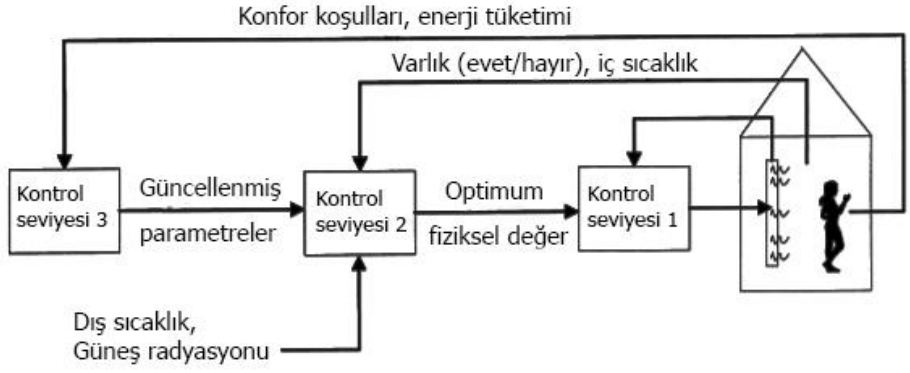
Yapay aydınlatma, ticari binalardaki en büyük elektrik tüketiminden biridir ve toplam elektrik enerjisinin yaklaşık % 17'sini tüketmektedir. Bu nedenle, sensör teknolojilerinin entegrasyonu, gelişmiş mimariler (kablosuz ve ağ tabanlı mimariler) ve akıllı kontrol teknikleri (yapay zeka) gibi akıllı aydınlatma kontrol sistemleri uygulayarak enerji tüketimini azaltmak için büyük bir potansiyel olmaktadır. Akıllı kontrol sistemi, bina sakinlerinin görsel konforunu artıra ve elektrik tüketimini ve sera gazı emisyonunu azaltabilmektedirr [180].

3.2. Aydınlatma Kontrolu Mantığı

Aydınlatma kontrol sistemi genel olarak üç ana teknikte kategorize edilebilir:

1. Kontrolör,
2. Optimizasyon tabanlı kontrol,
3. Hibrid kontrol.

Optimizasyona dayalı kontrol tekniğinin, bina sakinlerinin görsel konforunu sağlarken daha yüksek enerji tasarrufu elde etmek için üstün performansa sahip olması nedeniyle diğer tekniklere göre %51 oranında yaygın olarak kullanıldığı ve aynı zamanda tekniğin çok amaçlı çözüldüğü tespit edilmiştir [181].



Şekil 3.1. Entegre sistem diagramı [182].

Yapay aydınlatma kontrolörü, sistem tarafından kullanıcının istekleri doğrultusunda öğrenilen kullanıcının istediği seviyeye kadar odadaki aydınlatmayı tamamlamak için kullanılır. Kontrol için cihaz kategorileri: ısıtma / soğutma sistemi, havalandırma, panjurlar (gölgeleme cihazları) ve yapay aydınlatma vb. kullanılabilir. Entegre sistem, iç içe geçmiş üç kontrol döngüsü seviyesi ilkesine dayanmaktadır (Şekil 3.1.).

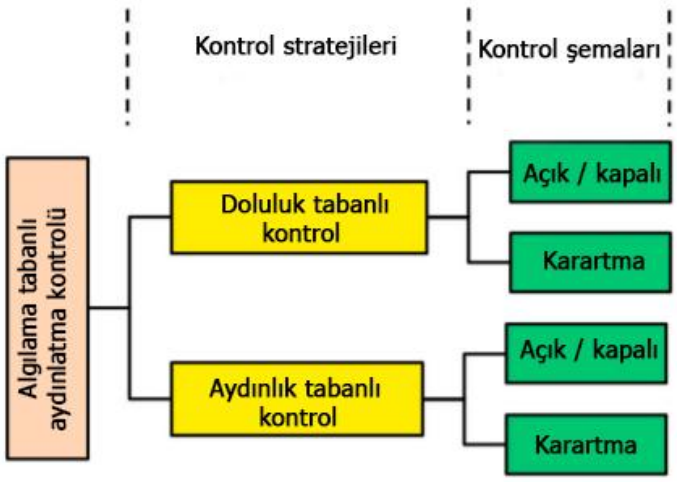
- Seviye 1, fiziksel değerlerden (ısıtma gücü, perde pozisyonu, vb.) ilgili cihazın uygun komutlarına (ısıtma sistemi vana pozisyonunun değiştirilmesi, panjurun kaldırılması veya indirilmesi vb.) çevrilmesini gerçekleştirmektedir.
- Seviye 2, kontrol döngüsü, alan bilgisini içermektedir. Uzman bulanık kuralına dayanır ve akıllı bir küresel kontrol stratejisi oluşturmak için termal, aydınlatma ve hava kalitesi için uyarlanabilir modeller kullanmaktadır. Bu seviyenin çıktıları, seviye 1 kontrol döngüsünün girdileri olan fiziksel değerlerdir.
- Son olarak, seviye 3, seviye 2 algoritmalarının uzun vadeli adaptasyonunu sağlamaktadır. Adaptasyon, bina ve cihaz özelliklerindeki tüm uzun vadeli değişiklikleri hesaba katmak için sürekli bir şekilde yapılmaktadır [182-184].

Denetleyicinin amacı, doğal iç aydınlatma seviyesi çok düşük olduğunda yapay ışığı aydınlatmanın bir tamamlayıcısı olarak kullanmaktır. Toplam aydınlatmanın tam yapay kısmını (ve bu arada aynı zamanda doğal kısmını) kalıcı olarak bilmek için, yapay aydınlatma sistemine uygulanan mevcut elektrik gücü ile ikincisi tarafından sağlanan aydınlığın bilinmesi gerekmektedir. Yapay aydınlatma, kullanıcı odayı terk ettiğinde veya doğal iç aydınlatma kullanıcı ayar noktasından daha yüksek olduğunda kapatılır [185].

3.3. Aydınlatma Kontrol Yöntemleri

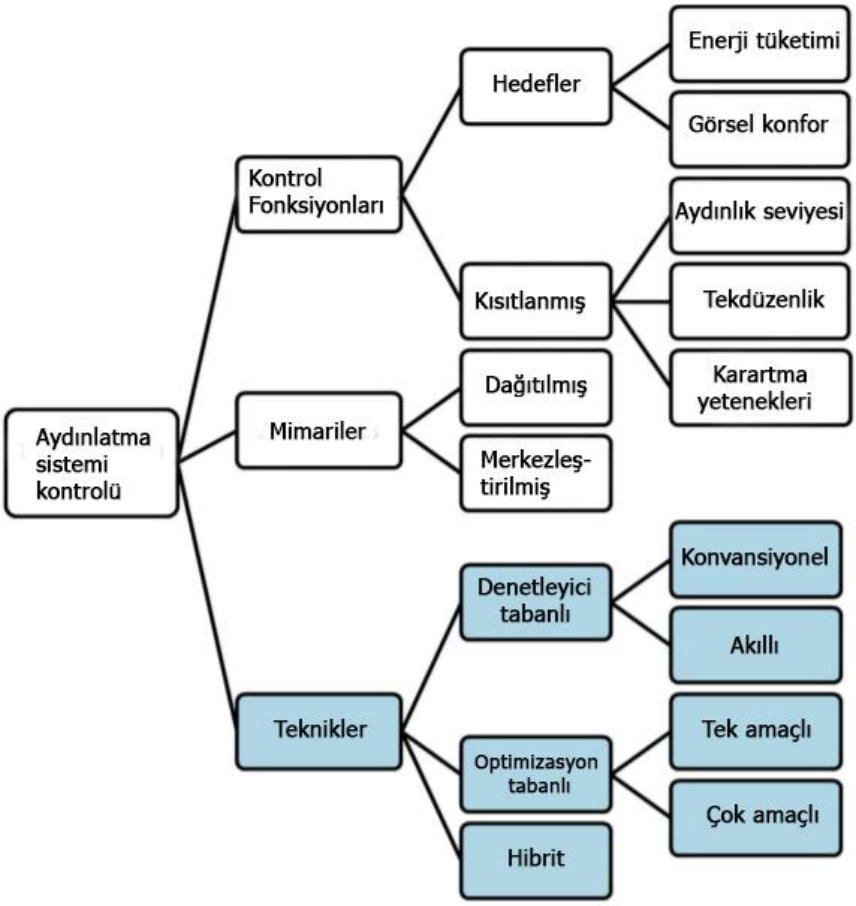
Algılama teknolojilerinin hızlı büyümesi nedeniyle, son aydınlatma sistemi kontrolü, aydınlatma sistemlerinin performansını enerji ve bina sakinlerinin görsel konforu açısından iyileştirmek için önemli girdiler olarak algılama temelli stratejileri benimsemiştir. Algılama tabanlı aydınlatma sistemi kontrol stratejileri, girdi türlerine göre kategorize edilebilir:

- Doluluk temelli,
- Aydınlatma temelli.



Şekil 3.2. Ticari binalarda kullanılan aydınlatma sistemlerinin kontrol stratejileri ve kategorileri [186].

Şekil 3.2, ticari binalarda kullanılan aydınlatma sistemlerinin kontrol stratejileri ve şemalarının kategorilerini göstermektedir. Şekle göre, sarı renk kontrol stratejilerini ve yeşil renk kontrol şemalarını temsil eder [186, 187]. Doluluk temelli kontrol stratejilerinde, pasif kızılötesi (PIR) sensörler, basitliği ve uygun maliyetli olması nedeniyle, yolcuların tespiti için yaygın olarak kullanılmaktadır [188]. PIR sensörlerinden ayrı olarak, WiFi ortamında [189] radyo frekansı tanımlama (RFID) etiketleri [190] ve mobil cihazlar (MD'ler) gibi modern doluluk algılama teknolojileri kullanılmaktadır. PIR sensörünün çıkışı bir ikilidir, yani 0 (boş) veya 1 (dolu) ve bu değer, kontrol şemalarına göre yapay aydınlatmayı kontrol etmek için kontrolöre gönderilir. OOF olarak adlandırılan açma / kapama ve ODM olarak belirtilen DIM kontrolü olmak üzere iki tür kontrol şeması vardır. Bu şema, "0" sinyalini aldığında aydınlatmayı açar ve belirtilen zaman gecikmesi (TD) ayarına göre "1" sinyalini aldığında aydınlatmayı kapatır. En yaygın TD ayarları 5–20 dakika aralığında olmaktadır [191, 192]. Bu şema, kullanılmayan koşullar için olan EN12464-1 standardı ile uyumludur. Aydınlık temelli kontrol stratejilerinde, bir odadaki / alandaki aydınlatma değerlerini yakalamak için ışık sensörleri (giriş cihazları) kullanılır ve değerler kontrolöre gönderilir. Değerlerin giriş parametresi yapay aydınlatma veya gün ışığından veya bunların bir birleşiminden (yani, yapay aydınlatma ve gün ışığı) oluşabilmektedir. Yapay aydınlatma ve gün ışığı birleşiminden elde edilen aydınlatma değerleri, araştırmacıların çoğu tarafından denetleyiciye girdi olarak kabul edilmektedir. Kontrolör, yapay aydınlatmanın kontrol edilmesine karar vermektedir.



Şekil 3.3. Aydınlatma sistemi kontrol diagramı [195].

Bu stratejiler iki şema halinde gruplanabilir: IOF olarak adlandırılan açma / kapama ve IDM olarak belirtilen DIM kontrolü. IOF, ışık sensörü tarafından aydınlatma değeri ayar noktasına ulaşıldığında yapay aydınlatma kapatılmaktadır. Sensörlerin yakaladığı değerler, aydınlatma değeri ayar noktasına ulaşmadığında aydınlatma açık kalmaktadır. IDM, aydınlatma armatürlerinin karartma seviyeleri, ışık sensörlerinden yakalanan aydınlatma değerlerine göre kontrolör tarafından hesaplanmaktadır. Karartma seviyeleri % 0 -% 100 arasında değişir ve bu seviyeler, bir odadaki / alandaki ortalama aydınlık seviyesi ayar noktası değerini karşıladığında belirlenmektedir. Yapılan incelemeye dayanarak, aydınlatma sistemi kontrolü çalışması üç ana konuya ayrılabilir. Şekil 3.3'de gösterildiği gibi, sistem kontrolü, kontrol fonksiyonları, kontrol mimarileri ve kontrol tekniklerine ayrılmaktadır [195].

3.4.Yapay Zekâ

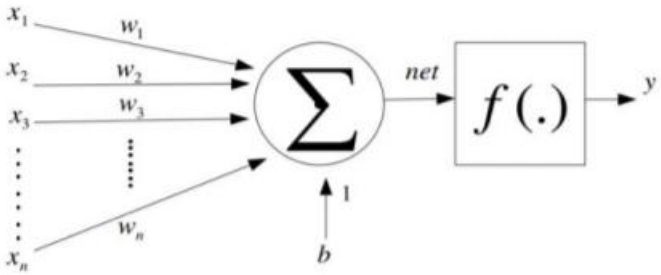
Yapay Zekâ, bilgisayar ve teknoloji bilimlerinde gelişen ve önemli bir araştırma yönü olan kapsamlı ve son teknoloji bir disiplin olmaktadır. Bilgisayar biliminin bir dalı olan Yapay Zekâ, birçok uygulama alanına ve araştırma konusuna sahip olmaktadır. Araştırma konularının ve araştırma tekniklerinin çoğu, beden eğitimi tekniğinde kullanılabilen ve beden eğitimi alanında karşılaştığımız birçok pragmatik sorunu çözebilen bilgisayar teknolojisi alanının gelişimini temsil etmektedir. Bilgi teknolojisi, bilgisayar ağı ve İnternet teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, fiziksel eğitim teknolojisi, Yapay Zekâ için daha spesifik araştırma hedefleri ve araştırma konuları yapan bilgi toplumu ağ ekonomisi çağına girmektedir. Yapay Zekâ, insan zekâsını, akıllı davranışı ve akıllı davranış yasasını anlama ve taklit etme konusunda araştırma yapmaktadır. Ana görevi, akıllı bilgi işleme teorisi oluşturmak ve ardından insan zekâsının benzer eylemlerinden bazılarını gösterebilecek bazı bilgisayar sistemleri tasarlamaktır. Yapay Zekâ yeteneği, genellikle yargılama, muhakeme, ispat, tanımlama, algılama, anlama, iletişim, tasarım, düşünme, öğrenme ve problem çözme ve diğer düşünme etkinlikleri gibi akıllı makineler tarafından gerçekleştirilen davranışlardır. Genel olarak Yapay Zekânın amacı, bilgisayar makinesinin bir insan gibi düşünmesini sağlamaktır. Yapay zekâ ile ilgili araştırma, uzman sistemler, makine öğrenimi, görüntü tanıma, doğal dil anlama, otomatik teorem kanıtlama, otomatik programlama, robotik, oyun teorisi, akıllı karar destek sistemleri ve Yapay Sinir Ağlarını içeren belirli alanlarla ilişkili olmaktadır. Yapay Zekânın gelişmesiyle birlikte insanlar tarafından eğitim ve öğretim alanında kullanılmaktadır [196-198]. Yapay Zekâ tabanlı farklı teknikler vardır:

1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network),
2. Bulanık mantık,
3. Uyanık Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) [199].

3.4.1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)

Geleceği tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan bir zaman serisinde iyi bir tahmin aracı olmaktadır [200-202]. Aydınlatma programları, ortamın aydınlatma aşamasında büyük ölçüde kolaylık sağlar, ancak mevcut bir aydınlatma sisteminin mevcut olduğu yerlerde yeterli olmamaktadır. Yapay Sinir Ağları, iç ortamlardaki parlaklığı ölçmek ve ortamdaki aydınlatma seviyesini kontrol etmek için çok kullanışlıdır. Tasarımda istenilen koordinatlar girildiğinde o noktadaki parlaklık seviyesi tahmin edilebilir [202-205].

Yapay Sinir Ağları çevrelerine uyum sağlayabilir, eksik bilgilerle çalışa ve belirsizlikler altında kararlar verebilir. Bilgi, giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşan Yapay Sinir Ağına gelir ve ara katmanlarda işlendikten sonra çıkış katmanına ulaşılır. Doğru bir ağ sonucu için, ağın doğru bir şekilde eğitilmesi gerekmektedir. Yapay Sinir Ağları, eğitim sonrası ağın ağırlık değerlerinin belirlenmesi bilinmediği için kara kutu olarak kabul edilmektedir. Ağ modeli, ağın topolojisi, kullanılan toplama işlevi, kullanılan etkinleştirme işlevi, öğrenme stratejisi ve öğrenme kuralı ile karakterize edilmektedir [206]. Şekil 3.4, Yapay Sinir Ağı hücresini göstermektedir [207].



Şekil 3.4. Yapay sinir ağları hücresi [207].

Yapay sinir ağları üç katmandan oluşur:

- Giriş Katmanı,
- Gizli Katman,
- Çıkış Katmanı.

Giriş katmanında bilgi alınmaktadır. Bu katmandaki bilgiler işlenmez. Bilgiler gizli katmanda işlenmektedir. Ağın öğrenmesi gereken girdi / çıktı arasındaki ilişki doğrusal değilse, birden fazla gizli katman kullanılabilir. Çıktı katmanında, gizli katmandan gelen bilgiler işlenir ve ağın girdi için ürettiği çıktılar bulunur. Yapay sinir ağlarında öğrenme; örneklerin seçimi, giriş / çıkışların ağa sunulması, durdurma kriterinin belirlenmesi, ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması, öğrenme ve momentum katsayılarının belirlenmesi, giriş / çıkışların sayısal gösterimi, ağa sunulması, ölçeklendirilmesi ağırlıklar, giriş / çıkışları ölçeklendirme ve ağları genişletme şeklindedir. Yapay sinir ağlarında, sistemin toplamsal işlevinin yapısal ve paralelliği söz konusudur. Kompleks fonksiyonları yerine getirirken aynı anda çalışabilir [208].

YSA nöronları tıpkı yaşayan bir nöron gibi, girdileri çekirdeğe bağlayan sinapslardan oluşmaktadır. Her sinaps, durumundan karşılık gelen nöron girdisinin ne kadar sorumlu olduğunu belirleyen bir ağırlığa sahiptir. Nöronun durumu aşağıdaki formülle belirlenir.

$$S = \sum_{i=1}^{n} x_i \omega_i$$

(3.1)

Aksonun değeri aşağıdaki formülle belirlenir.

$$Y = f(S)$$

(3.2)

Sigmoid fonksiyonu olan f, aşağıdaki gibi yazıla biliri.

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

(3.3)

Bu fonksiyonun temel avantajı, tüm apsis ekseninde türevlenebilir olması ve çok basit bir türevi olmasıdır.

$$\acute{f}(x) = \alpha f(x)(1 - f(x))$$

(3.4)

α parametresi azaldıkça, sigmoid daha düz hale gelir ve $\alpha = 0$ olunca yatay bir çizgiye dönüşür.

Geri Yayılım sinir ağları, kalıpları bulmak, tahmin etmek ve nitel analiz yapmak için güçlü bir araçtır. Bu sinir ağları, hatanın çıktı katmanından giriş katmanına, yani normal ağ işlemi sırasında sinyal yayılma yönünün tersi yönünde yayıldığı için Geri Yayılım ağları olarak adlandırılmıştır. Bu sinir ağları birkaç nöron katmanından oluşmaktadır. ‘ı’ katmanın’daki nöron, ‘ı+1’ katmanın’daki her nörona bağlıdır. Sinir ağlarının eğitme görevi, x – girdi, y – çıktı verktörü olduğu halde, y=F(x) bağımlılığını bulmaktır. Egitim sırasında arama alanını sınırlandırmak için, en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır:

$$E(\omega) = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{p}(y_i - d_i)^2$$

(3.5)

Sinir ağı, gradyan iniş yöntemi kullanarak eğitilir, yani her yinelemede ağırlık aşağıdaki formüle göre değiştirilir:

$$\Delta\omega_{ij} = -h * \frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}}$$

(3.6)

$$\frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_i}\frac{dy_i}{dS_j}\frac{\partial S_j}{\partial \omega_{ij}}$$

(3.7)

$$x_i = \frac{\partial S_j}{\partial \omega_{ij}}$$

(3.8)

3.5. Yapay Sinir Ağları ile Yapılmış Uygulamalar

Muhammad Ferdian Akbar ve arkadaşları 'Yapay Sinir Ağı Algoritmasını Kullanan Akıllı Işık Öneri Sistemi' başlıklı makalesinde, Yapay Sinir Ağı (YSA) algoritmasını kullanarak uyku izleme verilerine dayanan akıllı bir ışık öneri sistemi önermişlerdi. Bu fikri gerçekleştirmek için, kalp atış hızının belirli sensörler tarafından tespit edilmesinden elde edilebilecek uykunun tespit edilmesi gerekmektedir. İhtiyaç duyulan sensörler, insan vücudundaki çeşitli koşulları algılayabilen bilezik şeklindeki bir cihaz olan Fitbit'te gömülmüştür. Bu makale, özellikle uyku başlangıç zamanı ve uyku bitiş zamanı olmak üzere kullanıcıların uyku düzenlerini öğrenmek için YSA geri yayılımını uygulamıştır. Kullanıcı uyku verilerinden yapılan dokuz YSA modeli 60 günlük teste uygulanmaktadır [212].

Paul Anthony Haigh ve arkadaşları 'Görünür Işık İletişimi: Yapay Sinir Ağı 170 Mb / sn-lik Ekolayzeri Kullanarak Düşük Bant Genişlikli Beyaz Işık Yapılandırması', makalesinde deneysel olarak ilk kez bir açma kapama anahtarlama modülasyonlu görünür ışık iletişim sisteminin başarıldığını göstermektedirler. Uyarlanabilir karar geribildirimi ve doğrusal eşitleyiciler de uygulanmış ve sistem performansları, eşitleyicilerin hem gerçek zamanlı hem de çevrimdışı uygulaması kullanılarak ölçülmüştür. Her bir ekolayzerin performansı, verici olarak düşük bant genişliğine sahip bir LED ve alıcı olarak büyük bir bant genişliğine sahip PIN fotodedektörü kullanılarak bu makalede analiz edilmiştir [213].

Abdullah Cavdar ve arkadaşları 'Görünür Işık İletişim Sistemlerinde Yapay Sinir Ağı Tabanlı İç Mekân Konumlandırma' adlı araştırmasında yapay sinir ağı (YSA) tabanlı görünür ışık konumlandırma sistemi önermişlerdi. İletişim kanalı, çok yollu yansımaları hesaba katan görünür bir ışık kanalı olarak modellenmiştir. Bu bağlamda Kombine Deterministik ve Modifiye Monte Carlo yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra literatürde önerilen sistem ve RSS tabanlı sistem iç ortamdaki konumlandırma performansları açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. RSS tabanlı iç mekan konumlandırma sistemi, odaya dahili yansımalar nedeniyle yüksek konumlandırma hatalarına sahip olmuştur [214].

Chun Lin ve arkadaşları 'Yapay Sinir Ağını Kullanan İç Mekan Görünür Işık Konumlandırma Sistemi' adlı çalışmalarında, yapay sinir ağına (YSA) ve optik kamera iletişimine dayalı görünür bir ışık konumlandırma sistemi önerimişlerdi. Alıcının konumu, sırasıyla kodu çözülmüş blok koordinatına ve tipik bir geri yayılımlı YSA'ya dayalı olarak yaklaşık ve kesin olarak tahmin edilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen şemanın, yüksek doğruluğun gerekli olduğu birçok iç mekân konumlandırma senaryosunda gerekli olan 1,49 cm'lik bir ortalama konumlandırma hatası sunduğunu göstermiştir [215].

Paul Anthony Haigh ve arkadaşları 'OLED tabanlı bir vericiye sahip görünür bir ışık iletişim sistemi için çevrimiçi yapay sinir ağı eşitleme' başlıklı makalesinde, bir yapay sinir ağı (YSA) ekolayzerini uygulamak için bir dijital sinyal işlemcisinin kullanımını sunmuşlardı. YSA, iletim hızı sistem modülasyon bant genişliğini aştığında yaşanan semboller arası girişime karşı koymak için kullanılmıştır. Bağlantı, alıcı olarak bir silikon fotodetektör ile verici olarak bir OLED'den oluşmaktadır. OLED'in bant genişliği 93 kHz'dir ve sistemde düşük geçişli bir aktarım işlevi uygulanmıştır [216].

Zabih Ghassemlooy ve arkadaşları '2.7 Mb / s 93 kHz Beyaz OLED ve Gerçek Zamanlı YSA Ekolayzer-i' çalışmasında, 2.7 Mb / s OLED tabanlı görünür ışık iletişim sistemi üzerinde yeni deneysel sonuçlar sunmuşlardı. Çevrimiçi filtreleme, DSP panosu kullanılarak uygulanmış ve çevrimdışı sonuçlarla karşılaştırılmıştır [217].

Guillermo Fuertes ve arkadaşları 'Görünür bir ışık iletişim sistemi için yapay sinir ağlarını kullanarak uyarlanabilir eşitleme' çalışmalarında, iletişim teknolojisi olarak alternatif bir kullanım önermişlerdi. Beyaz ışıklı bir LED spot ışığı kullanan görünür ışık kullanan bir iletişim sisteminin montajı sunulmaktadır. İletişimde, kararları besleyen ekolayzer, alınan sinyalin semboller arası girişimini en aza indirmek için birçok uygulamada kullanılmıştır. Amaç, bir iletişim sisteminde, iç ortamda ışık kaynağı ile bir ekolayzerin eğitimi için yapay

sinir ağlarını test etmek, kanalın getirdiği olumsuz etkilerle mücadele etmek ve VLC aracılığıyla daha büyük iletim mesafeleri elde etmek için Bit Hata Oranını en aza indirmektir [218].

Alberto Garces-Jımenez ve arkadaşları 'Enerji Tasarrufu için Akıllı Aydınlatma Sistemlerinin Modellenmesine Yönelik Yapay Sinir Ağı Mimarilerinin Analizi' başlıklı makalesinde, bu tür optimize ediciler için farklı yapay sinir ağı mimarilerinin simüle etme yeteneğini analiz ederek bir veri modeli geliştirmişlerdi. YSA'ların eğitimi için veriler, tanınmış bir açık yazılım platformu olan DIALux ile oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçları belirlemek için deneyler tekrarlanmış ve analiz edilmiştir. Bu şekilde, gerekli olan en uygun yineleme sayısını belirlemek mümkün olmuştur [219].

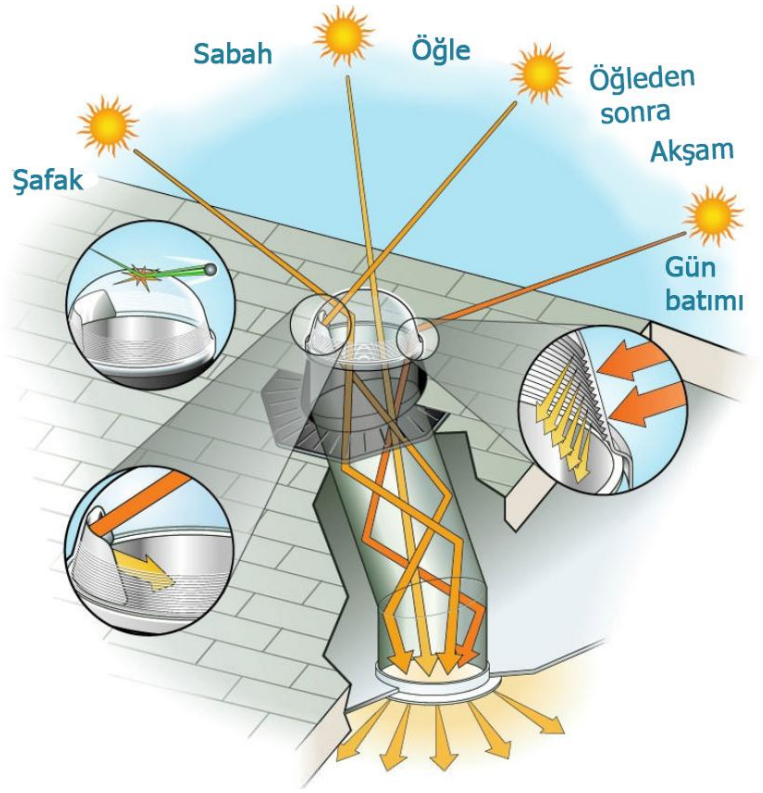
Abdulrahman A Mahmoud ve arkadaşları 'Otonom Araç Uygulaması için Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Dış Mekânda Görünür Işık Konumlandırma' başlıklı makalesinde, doğrusal bir sokak lambaları ve yapay sinir ağı dizisi kullanan yeni bir dış mekân 2 boyutlu araç görünür ışık konumlandırması teklif etmişledi. Çoğunlukla üçgenlemeye dayanan klasik konum yöntemleri, sokak lambasının doğrusal dizisi ile çalışmamaktadır. Bu nedenle, doğrusallık koşulunun üstesinden gelmek için YSA ile bir uzaysal çeşitlilik alıcısı önerilmiştir. Önerilen sistem gerçekçi bir dış mekân koşulu için simüle edilmiş ve ortalama 0,53 m'lik bir RMS hatasıyla doğru bir konumlandırma sağlanmıştır [220].

M.M. Thomas, 'İnsan gözbebeği ışık refleksindeki karmaşık salınımlara yapay sinir ağlarının uygulanması' adlı makalesinde Yapay sinir ağları (YSA'lar), periyodik olmayan zaman serisi tahminlerini daha doğru bir şekilde yapmak için eğitilmişlerdi. Bu refleksin fiziksel bir modeli geliştirilmiştir. Ancak öğrenci alanı salınımlarındaki periyodikliği doğru bir şekilde tahmin etmek için çok düzenlidir. Yapay sinir ağları, bu periyodsuzluğun zaman serisi tahminlerini daha doğru bir şekilde yapmak için eğitilmiştir [221].

4. IŞIK BORULARI

4.1. Giriş

Işık Borusu, çoklu yansıtıcı konveyörlerin bir parçasıdır. Isı iletimini sınırlarken, gün ışığının geleneksel açıklıklardan uzak karanlık odalarda taşınmasına ve dağıtılmasına izin verirler. Çatıya yerleştirilmiş bir kubbe kullanarak güneş ışığını toplama, yoğunlaştırma ve dağıtma işlemlerini yapmaktadır. Daha sonra, güneş ışığı, yüksek derecede yansıtıcı bir tüp aracılığıyla iletilir ve bir difüzör kullanılarak bir binanın odasına yayılır. 1990'dan 2019'a kadar son teknoloji deneysel ve sayısal testler gerçekleştirilmiştir. Işık Borusunun davranışının büyük ölçüde kapalı (aydınlatılacak alan) ve dış (meteoroloji) ortama bağlı olduğunu ortaya çıkarılmıştır. Şekil 4.1-da Işık Borusunun çalışma düzeni gösterilmiştir [222, 223].



Şekil 4.1. Işık Borusunun çalışma düzeni [223].

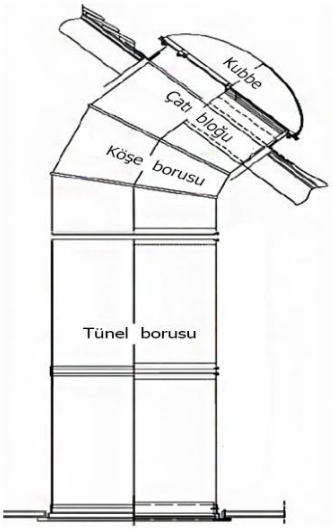
Ofis binaları, stadyumlar, umumi lavabolar, çöp imha tesisleri, bodrum, garaj, madenler, karanlık taraftaki odalar ve diğer kamu tesisleri veya endüstriyel gibi binalarında güneş Işığı Borularına ihtiyaç vardır. Bu tekniğin geliştirilmesinin ulusal politikalarla şiddetle desteklenmesi ve prototip projelerin oluşturulması yapılmaktadır. Güneş Işığı Boruları konusunda araştırma çabalarının artırılması ve enerji tasarrufu konusunda insanların farkındalığının geliştirilmesi gerekmektedir [224].

4.2. Işık Borusunun Yapısı

Farklı üreticilerin Işık Borularındaki bazı tasarım elementleri farklılık gösterebilir, ancak genellikle aşağıdakilerden oluşmaktadır:

- Dış eleman- çatı yüzeyinde bulunur ve gün ışınlarını toplar. Dış eleman, kurulu Frinell lensleri kullanarak ışık ışınlarını toplayan yarım küre veya küresel bir kubbedir. 0.25 m, 0.35 m ve 0.53 m çapında üst yuvarlak şekilli elemanın boyutları, tüm dış kısım genellikle 0.47 × 0.47 m ve daha büyük bir boyuta sahiptir. Yukarıdaki yuvarlak dış elemanlar, sırasıyla 14, 24 ve 40 m^2'lik ve 2,4 m yüksekliğinde bir oda alanını aydınlatabilir;

- İç eleman - güneş ışınlarını odaya eşit olarak dağıtır. Dış ve iç elemanlar, rijit veya elastik olan tünel borularla bağlanır (genellikle 0,35 m çapında, 2 m uzunluğa kadar, ilave bağlantı elemanları kullanılarak 6 m'ye kadar uzatılabilir).



Şekil 4.2. Işık borulrının ayrıntılı yapısı [227].

Boruların iç yüzeyi bir alüminyum katmanla kaplanmaktadır ve ayrıca 400 kat özel bir yansıtıcı filmden oluşur (yansıtma -% 99,7). Böyle bir yüzey, yalnızca bulutlu havalarda değil, aynı zamanda geceleri bile ayın radyasyonundan ve şehir aydınlatmasından büyük miktarda ışın toplayabilir [225-227]. Şekil 4.2. Işık Borulrının ayrıntılı yapısını göstermektedir [227].

Güneş Işığı Borularının iki tipi vardır:

- Aktif tip,
- Pasif tip.

Aktif tip, ışınımı toplamak için güneşi takip edebilir. Bu tip güneş Işığı Boruları güneş ışığını verimli bir şekilde toplayabilir, ancak maliyeti yüksek olduğu için inşaatta nadiren kullanılır. Şu anda, aydınlatmanın en büyük kullanımı, dış ışık toplayıcısını boru ile sabitleyen ve yüzeyinde ortaya çıkan bir üçgene sahip olan pasif tipte güneş ışığı borularıdır. Bu tip güneş Işığı Borusu, ışık toplama maskesi, yağmur tahtaları, ayarlanabilir Işık Borusu, uzatılmış ışık borusu, hava geçirmez çubuk, destek halkası ve astigmatizma panosundan oluşur [228-230].

4.3. Işık Borusunun Aydınlatma Sistemleri ile Entegrasyonu

Günümüzde, aydınlatma enerjisi tasarrufunun yanı sıra sağlık, esenlik ve verimlilik gibi somut olmayan diğer faydalarını dikkate alarak aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesinde bir artış gözlemlenmektedir. Işık borusu, doğal ışığın bir binanın çevre alanından uzakta bulunan ve dolayısıyla pencereler veya diğer günışığı cihazları ile aydınlatılamayan alanlara girmesini sağlayan bir aydınlatma sistemi olmaktadır. Işık borusu iç mekânları aydınlatırken aynı zamanda UV ışınlarını da engelleyerek bir odanın ısı kazanımına katkı sağlamaktadır [231, 232].

4.4. Işık Borusu ile Yapılmış Aydınlatma Örnekleri

Işık Boruların performansı üzerine çalışma, 1980'lerde, gün ışığı yönlendirme sistemlerinin yenilikçi olduğu düşünüldüğünde başlamıştır. O zamandan beri birçok bilim insanı, sistemin çeşitli bileşenlerini denemiş ve hatta havalandırma gibi diğer işlevleri entegre etmişlerdi.

"Binalarda en iyi aydınlatma yöntemi olan Işık Borusunun performans değerlendirmesi ve enerji tasarrufu potansiyelinin tahmin edilmesi" çalışmasında borudan daha fazla ışık elde etmeye yönelik geleneksel Işık Borusu tasarımındaki modifikasyonun tasarımı, optimizasyonu, simülasyonu ve deneysel değerlendirmesine odaklanılmıştır. Işık borusunda çeşitli yapısal tasarım modifikasyonlarının modellenmesi ve bunların TracePro'daki ilgili ışın izleme simülasyonları yapılmıştır [233].

"Tropikal iklimde derin planlı yüksek katlı ofisi günışığı ile aydınlatılması için yatay Işık Borusu" çalışmasında tropikal bir bölgede, yüksek katlı ofiste bilgisayar simülasyonu yardımıyla verimli bir yatay günışığı aydınlatma sistemi önerilmiştir [234].

"Ölçekli, çok açıklıklı, Işık Borulu, gün ışığı sisteminin deneysel analizi" çalışmasında derin planlı bir binanın birden çok seviyeye hizmet eden yan açıklıkları içeren yeni bir dikey Işık Borusu ile aydınlatılmasının deneysel bir analizi sunulmuştur. Zemin katın geleneksel tavana monte bir Işık Borusu ile birinci ve ikinci katların ise yan duvarlarda gün ışığı çıkışları ile üçüncü katın ise bir Işık Borusu ile aydınlatılmasının sistemi geliştirilmiştir [235].

"Yatay Işık Boruları ve ışığı yönlendiren paneller kullanılarak yüksek enlemlerde binalarda gün ışığı otonomisinin iyileştirilmesi" çalışmasında Işık Borularının geçirgenliğini artırmak ve donatılmış alanlarda gün ışığı otonomisini iyileştirmek için yatay boruların girişinde ışık toplayıcı olarak uygulanan farklı akrilik lazer kesim panel (LCP) konfigürasyonları üzerine bir araştırma çalışması sunulmuştur. Çalışma, çeşitli LCP konfigürasyonlarına sahip Işık

Borularının ışık geçirgenlik verimliliğini (standart gün ışığı kılavuz özelliği) belirlemek için modelin deneysel bir laboratuvar testi gerçekleştirilmiştir [236].

"Bir Işık Borusu sisteminin izlenmesi" çalışmasında Yaklaşık 9 m^2'lik penceresiz bir laboratuvarda bulunan bir Işık Borusunun izlenme sonuçları sunulmuştur. Sistem, aydınlığın çalışma düzleminde Ocak 2015'ten Haziran 2016'ya kadar dağılımını değerlendirmek için lüksmetre ile izlenmiştir [237].

"Işık Borularının deneysel performansının analizi" çalışmasında deneysel bir test hücresine entegre edilmiş bir Işık Borusunun deneysel performansı ve spesifik verimlilik özellikleri sunulmuş ve analiz edilmiştir. Açık, bulutlu ve ara gökyüzü koşullarında kesintisiz sekiz ay boyunca kapsamlı ölçümler yapılmıştır [238].

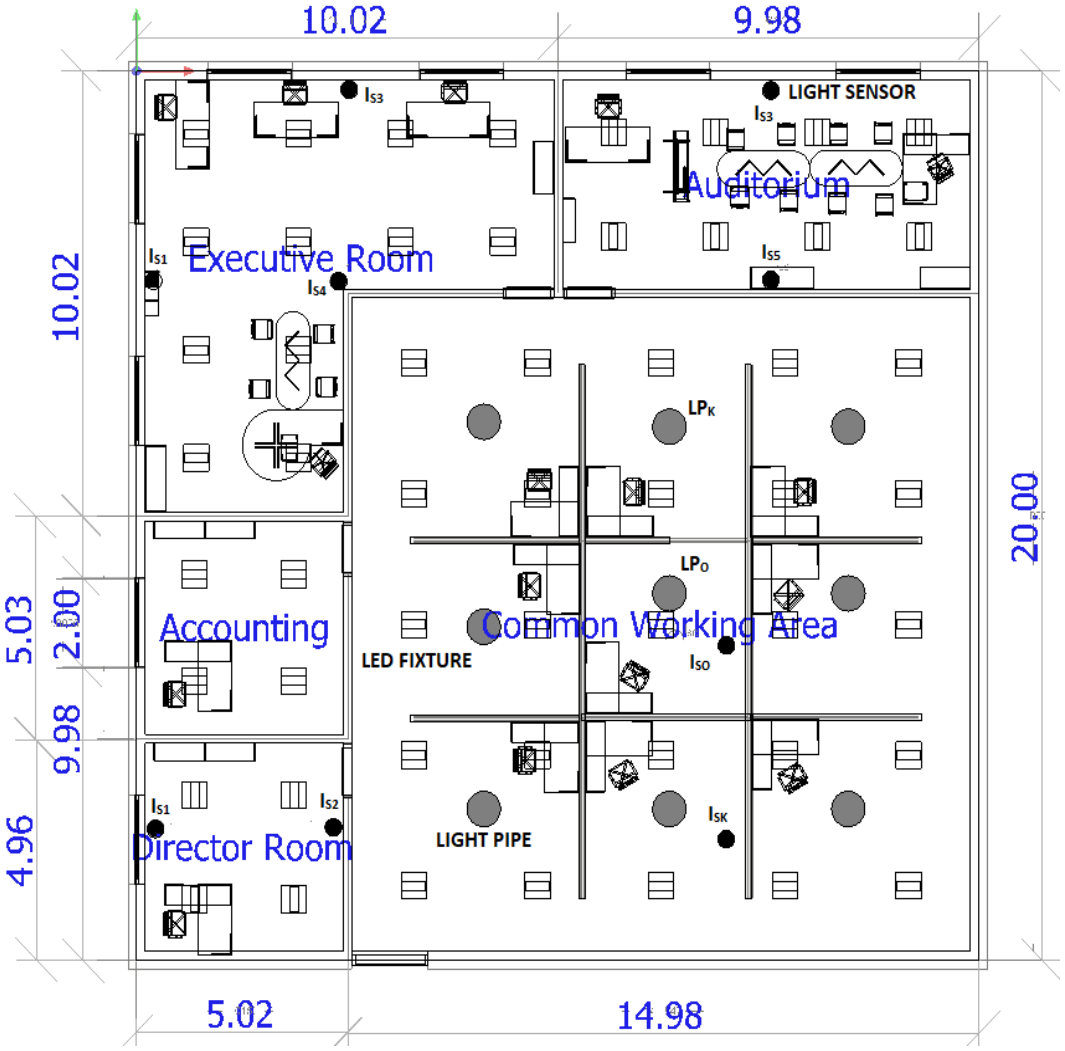
5. YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ HİBRİD AYDINLATMA SİSTEMİ

5.1. Giriş

Tasarlanan akıllı aydınlatma sisteminde doğal ışığın taşınması için yüksek yansıtıcı ışık boruları kullanılmıştır. İhtiyaç duyulan yapay aydınlatma için gün ışığı renk sıcaklığına (6500 0K) sahip LED retrofit armatürler kullanılmıştır.

5.2. Sistem Bileşenleri

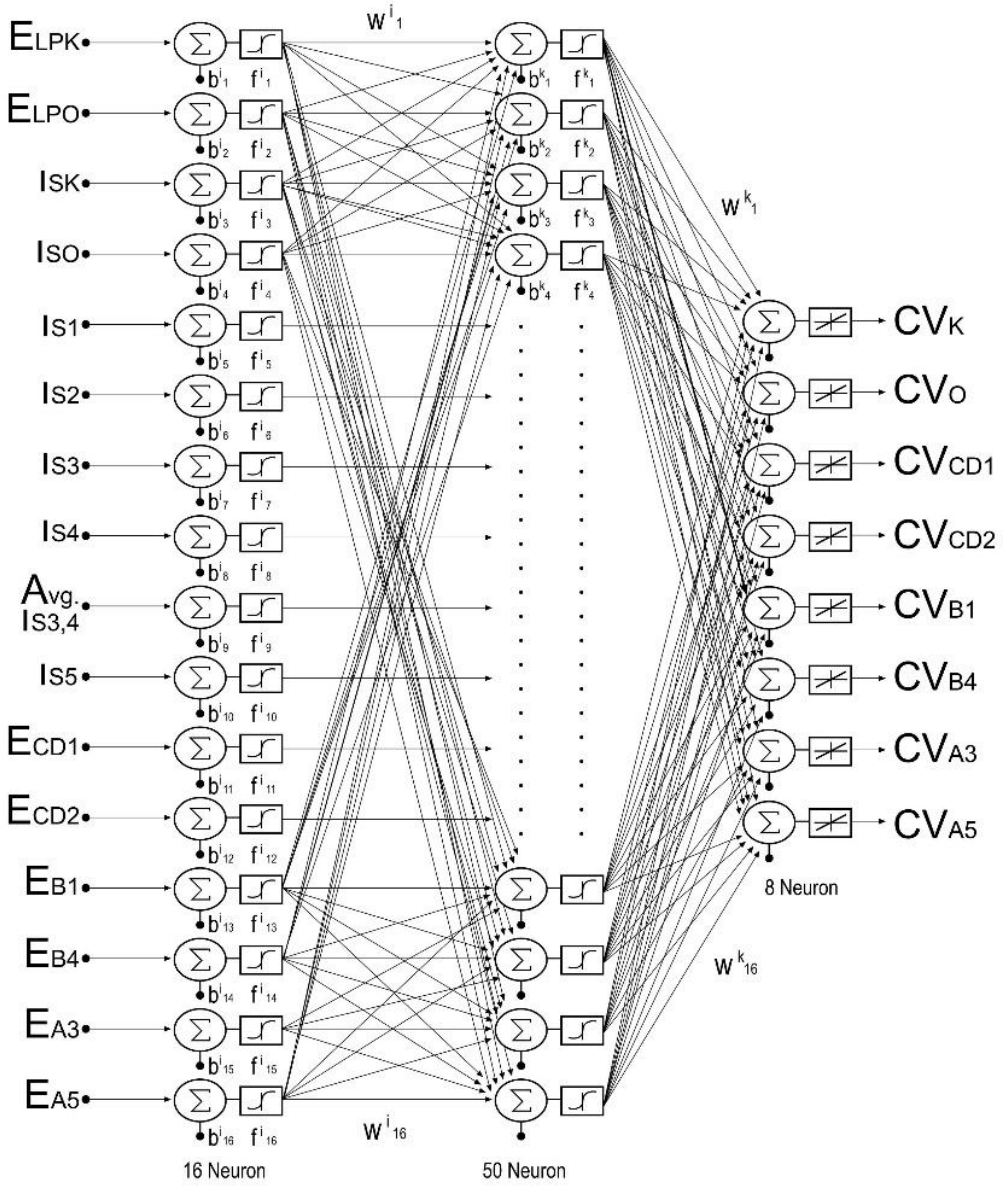
Uygulama alanı 20 X 20 X 4 m ölçülerinde ve yönetici odası, oditoryum, muhasebe odası, yönetici odası ve ortak çalışma alanı olmak üzere 5 ayrı bölümden oluşmaktadır. Bir yıllık güneşlenme ve aydınlanma verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) elde edilmiştir [31]. Bu verilerden bulutlu, kısmen bulutlu ve bulutsuz hava günlerinin ağırlıklı ortalama değerleri alınmış ve yılın tüm günleri için 24 saatlik ortalama bir aydınlanma veritabanı oluşturulmuştur.



Şekil 5.1. Doğal ve yapay aydınlatma elemanlarının yerleşimi.

Mekânın ışık borusundan ışık alınmadığı varsayılmış ve yapay aydınlatma tasarımında aydınlatma elemanı olarak 60 * 60 Retrofit LED armatür kullanılmıştır. Ofis aydınlatma standartlarına göre çalışma düzleminin aydınlatma seviyesi ortalama 300 lx olarak belirlenmiştir. Doğal ve yapay aydınlatma elemanlarının yerleşimi Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

Referans aydınlatma değerleri kenar bölümleri için 304 lux ve orta bölümler için 318 lux idi. İç odada ışık borusu destekli 25 sıra, yönetici ve muhasebe odalarında 4 sıra, yönetici odasında 12 sıra ve oditoryum odasında 8 adet led armatür bulunmaktadır. LED armatür grupları, 0 ile 10V arasında değişen kontrol gerilimleriyle karartılmıştır. MIMO ANN'nin çıktıları; iç oda için CVK ve CVO, yönetici ve muhasebe odaları için CVCD1 ve CVCD2, yönetici odası için CVB1 ve CVB4 ve oditoryum için CVA3 ve CVA5'tir. Gerçekleştirilen MIMO ağ yapısı Şekil 5.2'da gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Gerçekleştirilen MIMO ağ yapısı.

Tasarlanan MIMO YSA modelinde giriş katmanında 16, gizli katmanda 50, çıkış katmanında ise 8 nöron kullanılmıştır. Hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu, tüm katmanlar için bir

aktivasyon fonksiyonu olarak seçilmiştir. Tüm odalar için sırasıyla MIMO YSA modelleri eğitilmiş ve Levenberg-Marquardt (geri yayılım) yöntemi tercih edilmiştir. Eğitim için 143 numune (toplam numunelerin% 70'i), doğrulama için 30 numune ve test için son 30 numune kullanılmıştır. MIMO ANN eğitimi için ölçülen E_{LPK}, I_{SK}, E_{LPO}, I_{SO}, E_{CD2}, I_{S2}, E_{CD1}, I_{S1}, E_{B4}, I_{S4}, E_{B2}, I_{S1} ve I_{S3}, E_{A5}, I_{S5}, E_{A3} ve I_{S3} değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Eğitim için MIMO ANN girişleri (lux).

Num.	E_{LPK}	I_{SK}	E_{LPO}	I_{SO}	E_{CD2}	I_{S2}	E_{CD1}	I_{S1}	E_{B4}	I_{S4}	E_{B1}	I_{S1}& I_{S3} avg.	E_{A5}	I_{S5}	E_{A3}	I_{S3}
1	96,167	198,4	103,17	218,6	226,15	80,06	213,529	105,3	227,83	78,382	219,85	98,985	234,96	71,26	226,16	92,67
2	97,145	197,5	104,27	217,5	226,55	79,67	214,052	104,780	228,226	77,991	220,339	98,493	235,32	70,9	226,63	92,21
3	98,123	196,5	105,36	216,4	226,95	79,27	214,576	104,256	228,618	77,599	220,832	98,001	235,67	70,54	227,09	91,75
4	99,101	195,5	106,46	215,3	227,35	78,87	215,100	103,732	229,010	77,208	221,324	97,508	236,03	70,19	227,55	91,28
5	100,000	194,5	107,56	214,2	227,75	78,47	215,624	103,208	229,401	76,816	221,817	97,016	236,38	69,83	228,01	90,82
6	101,057	193,5	108,65	213,1	228,14	78,07	216,148	102,685	229,793	76,425	222,309	96,523	236,74	69,48	228,47	90,36
7	102,035	192,6	109,75	212	228,54	77,68	216,672	102,161	230,185	76,033	222,802	96,031	237,1	69,12	228,93	89,9
8	103,013	191,6	110,85	210,9	228,94	77,28	217,196	101,637	230,576	75,641	223,294	95,538	237,45	68,76	229,39	89,44
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
195	285,9	8,705	315,99	5,796	303,37	2,852	315,165	3,6674	303,81	2,408	315,39	3,44736	304,03	2,189	315,61	3,227
196	286,88	7,727	317,08	4,699	303,76	2,454	315,689	3,1435	304,2	2,0164	315,88	2,95489	304,38	1,833	316,07	2,766
197	287,85	6,749	318,18	3,602	304,16	2,056	316,213	2,6196	304,59	1,6247	316,37	2,46242	304,74	1,477	316,53	2,305

198	288,83	5,771	319,28	2,505	304,56	1,658	316,737	2,0957	304,98	1,2331	316,86	1,96996	305,1	1,121	316,99	1,844
199	289,81	4,793	320,38	1,408	304,96	1,26	317,261	1,5718	305,38	0,8415	317,36	1,47749	305,45	0,765	317,45	1,383
200	290,79	3,815	321,47	0,311	305,36	0,862	317,785	1,0479	305,77	0,4499	317,85	0,98503	305,81	0,409	317,91	0,922
201	291,77	2,837	321,57	0,21	305,75	0,464	318,309	0,524	305,84	0,3751	318,34	0,49256	305,88	0,341	318,37	0,461
202	292,74	1,859	321,68	0,1	306,01	0,211	318,586	0,247	305,99	0,2244	318,6	0,23218	306,01	0,204	318,62	0,217
203	294,6	0	321,78	0	306,22	0	318,832	0,0001	306,22	0	318,83	0	306,22	0	318,83	0

MIMO YSA hedefi için ölçülen CV_K, CV_O, CV_{CD1}, CV_{CD2}, CV_{B1}, CV_{B4}, CV_{A3} ve CV_{A5} değerleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Hedef (Volt) için MIMO ANN çıkışları.

Num.	CV_K	CV_O	CV_{CD2}	CV_{CD1}	CV_{B4}	CV_{B1}	CV_{EA5}	CV_{EA3}
1	3,490	3,437438	7,478553	6,735013	7,530106	6,92775	7,749	7,12075
2	3,521	3,471074	7,490754	6,750985	7,542119	6,942784	7,760	7,135
3	3,552	3,504666	7,502956	6,766959	7,554133	6,957819	7,771	7,149
4	3,582	3,538215	7,51516	6,782934	7,56615	6,972855	7,782	7,163
5	3,612	3,571722	7,527366	6,798912	7,578168	6,987893	7,793	7,177
6	3,643	3,605187	7,539574	6,81489	7,590189	7,002933	7,804	7,191
7	3,673	3,63861	7,551784	6,830871	7,602211	7,017975	7,815	7,205
8	3,703	3,671993	7,563995	6,846853	7,614235	7,033018	7,826	7,219
.	.	.	.	.	.	.	.	.
195	9,6395612	9,811376	9,906872	9,883738	9,92135	9,890707	9,92849	9,89768
196	9,6794255	9,846939	9,91985	9,900332	9,934126	9,906308	9,94011	9,91228
197	9,7194468	9,882566	9,932833	9,916932	9,946908	9,921913	9,95173	9,92689
198	9,7596264	9,918257	9,945823	9,933536	9,959696	9,937522	9,96336	9,94151

199	9,7999653	9,954013	9,958819	9,950145	9,972491	9,953135	9,97499	9,95613
200	9,8404647	9,989835	9,971821	9,966759	9,985291	9,968753	9,98663	9,97075
201	9,8811257	9,993137	9,984829	9,983378	9,987736	9,984375	9,98885	9,98537
202	9,9219494	9,996733	9,993101	9,992166	9,992663	9,992637	9,99333	9,99311
203	10	10	10	10	10	10	10	10

Sonuçlar, önerilen MIMO ANN Modellerinin başarıyla eğitildiğini açıkça göstermektedir. MSE, iç oda için 1.21673x10-2 ve pencereli oda için 1.09264x10-2'dir. MIMO ANN modelleri CV_K, CV_O, CV_{CD1}, CV_{CD2}, CV_{B1}, CV_{B4}, CV_{A3}, CV_{A5} değerlerini başarıyla tahmin etmiştir. Genel olarak R, iç (ışık borulu) oda için% 99,76 ve pencereli odalar için% 99,12'dir. Işık borusu ve yapay aydınlatmanın bir arada kullanıldığı mekan için LED armatürlerin DIM seviyesine ve ışık seviyelerine ait üç farklı hava şartına göre ölçüm ve ışık değişim grafikleri oluşturulmuştur. Tablo 5.3'de bulutlu gün için dim edilebilen LED armatürün parlaklık seviyeleri verilmiştir.

Tablo 5.3. Bulutlu gün (lüx) ışık borulu oda'nın boyut ve ışık seviye değerleri.

DIM(VDC)	Illumination(lux)
1	27,6
2	54,8
3	91,66
4	125,08
5	159,17
6	187,69
7	217,54
8	256,21
9	291,03
10	322,165

Doğal ve yapay aydınlatmanın pencerelerden girdiği mekânlar için LED armatürlerin DIM seviyesi ve parlaklık seviyelerine göre üç farklı hava şartlarına göre ölçüm ve parlaklık

değişim grafikleri yapılmıştır. Tablo 5.4.'de bulutlu günler için LED armatür DIM'in parlaklık seviyeleri verilmiştir. MIMO ANN'nin iç ışık tüpü girişleri, kenarlar için LP_K, orta bölümler için LP_O ve referans değer ile ışık borusu arasındaki fark (hata) E_{LPK}, E_{LPO}'dur. Yönetici ve muhasebe odaları için pencere ışık girişi L_{S1}, orta bölüm L_{S2} ve referans değer ile pencere ışıkları arasındaki fark (hata) E_{CD1}, E_{CD2}'dir.

Tablo 5.4. Bulutlu gün (lüx) pencereli odaların boyut seviyesi ve parlaklık değerleri.

Dim(VDC)	Illumination(lux)
1	27,6
2	54,8
3	91,66
4	125,08
5	159,17
6	187,69
7	217,54
8	256,21
9	291,03
10	316,42

Yönetici odasının pencere ışık girişi ortalaması L_{S1} ve L_{S3}'tür, orta bölüm L_{S4}'tür ve referans değer ile pencere ışıkları arasındaki fark (hata) E_{B1}, E_{B4}'tür. Oditoryum için pencere ışık girişi IS3, orta bölüm IS5 ve referans değer ile pencere ışıkları arasındaki fark (hata) E_{A3}, E_{A5}'tir.

5.3. Kontrol Stratejisi

Öğrenme tipik olarak eğitim yoluyla gerçekleşir. Eğitim algoritması bağlantı ağırlıklarını (sinapsları) yinelemeli olarak ayarlar. Tipik bir MLP ağı, bir katmandaki her bir nöronun girişlerinin $\mathbf{i} = [x\ y\ h\ v]^T$ toplamını hesapladığı ve bu toplamı bir aktivasyon fonksiyonundan

(f) geçirdiği nöron katmanları halinde düzenlenir. Ağın çıktısı (**o**) bir matris formu olarak tanımlanır;

$$o = f^2(W^2 f^1(W^1 x + b^1) + b^2) \quad (5.1)$$

Şekil 5.2, bu iş için gerçekleştirilmiş bir gizli katmanlı MLP ağını göstermektedir. MLP ağları, geri yayılım yaklaşımını [19] kullanarak ağırlıkları ayarlayan herhangi bir girdi-çıktı ilişkisini öğrenir. Bu algoritma, ortalama kare hatasını en aza indirmek için ağırlıkları aşağıdaki gibi ayarlamıştır;

$$e = \frac{1}{2}\sum_{\gamma=1}^{p}(t^{\gamma} - o^{\gamma})^2 \quad (5.2)$$

En dik iniş algoritması, aşağıda verildiği gibi, her çağda öğrenme aşaması sırasında ağ hatasını yinelemeli olarak azaltır;

$$w_{i.j}^{m}(k+l) = w_{i.j}(k) - \eta \frac{\partial e}{\partial w_{i.j}} \quad (5.3)$$

$$b_i^{m}(k+l) = b_i(k) - \eta \frac{\partial e}{\partial b_i} \quad (5.4)$$

Bir giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından (ileri beslemeli ağ) oluşan YSA tabanlı bir uygulama modeli, n ışık ve n görev tablosu ile herhangi bir n × n aydınlatma sisteminin davranışını modellemek için kullanılabilir. Aydınlatma sisteminin YSA modelini yöneten denklemler şu şekilde verilmiştir:

$$H_f = Sig(W_h * U + b_h)$$

(5.5)

$$\bar{Y}_p = Lin\left(W_0 + H_f + b_0\right) \quad (5.6)$$

Bu iki denklem şu şekilde birlikte gösterilebilir:

$$\bar{Y}_p(t) = M_f(U)$$

(5.7)

Yüzeyin aydınlığı aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

(5.8)

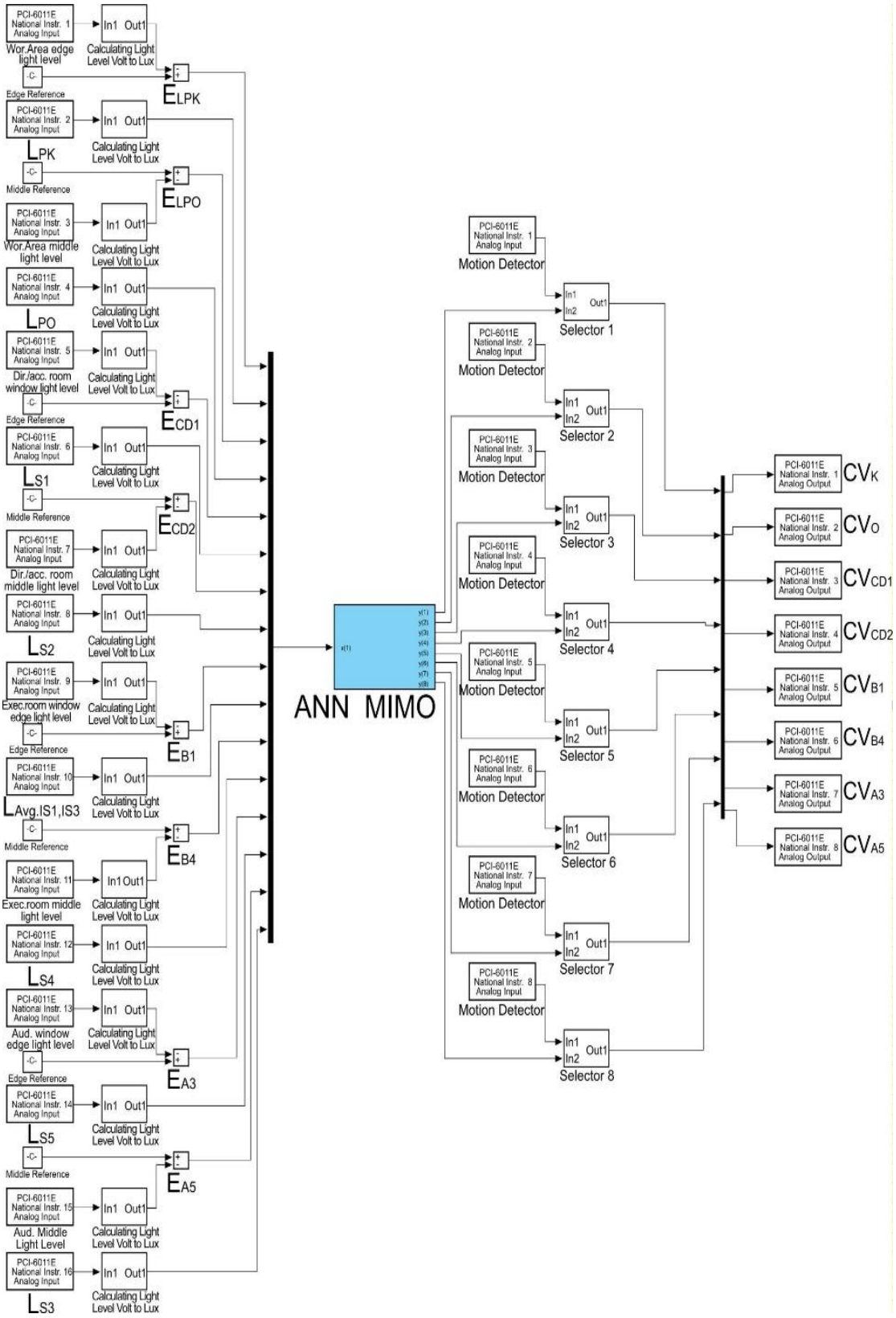
Yaygın aydınlatma oranı aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$C = \frac{E_n}{E_w} * 100\%$$

(5.9)

5.4. Yapay Zekâ Modeli

Mekân, doğal ışık girdilerine göre doğal ve yapay aydınlatma gruplarına ayrılmıştır. Ortak çalışma alanı, ışığın yoğun olduğu orta ve kenar alanlar olarak gruplandırılmıştır. Doğal ışık alan odalar pencere kenarı ve iç mekânlar olarak gruplandırılmıştır. Ofis aydınlatma stratejisine göre bu alanlara yerleştirilen ışık ve hareket sensörlerinden gelen bilgilerle MİMO



Şekil 5.4. Akıllı Hibrit Aydınlatma Sistemi Matlab Simulink modeli.

ANN, her alan için ayrı çıkışlar üretir ve tüm mekânı dinamik olarak aydınlatmaktadır. Akıllı bir hibrit aydınlatma sisteminin Matlab Simulink modeli Şekil 5.4'de gösterilmektedir.

6. AYDINLATMA SİSTEMLERİ SONUÇLARI

6.1. Giriş

Bu bölümde tasarlanmış aydınlatma sisteminin sonuçları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

6.2. Işık Borusu Çıkış Değerleri

Ofis içi aydınlatma, ışık borusu ile aydınlatılan alan kenar ve orta bölüm olarak gruplandırılmıştır. Üç hava koşulunda (kapalı, bulutlu ve güneşli) ışık boruları ile mekâna giren orta ve kenarların parlaklık değerleri Tablo 6.1'da verilmiştir.

Tablo 6.1. Kapalı, bulutlu ve güneşlı günler (lüx) için ışık boru parlaklık değerleri.

Merkez				Köşeler			
zaman& interval	avg. Overcast value(lux)	avg. cloudy value(lux)	avg. sunny value(lux)	zaman& interval	avg. Overcast value(lux)	avg. cloudy value(lux)	avg. sunny value(lux)
03:40	0	0	0	03:40	0	0	0
03:45	0	0	0,391	03:45	0	0	0,306
03:50	0	0	1,6675	03:50	0	0	1,305
03:55	0	0	2,944	03:55	0	0	2,304
04:00	0	0	5,6005	04:00	0	0	4,383
04:05	0	0	7,5785	04:05	0	0	5,931
.	.	.	.	.	.	.	.
12:00	25,828	54,648	102,143	12:00	21,132	44,712	79,938
12:05	25,861	54,692	102,166	12:05	21,159	44,748	79,956
12:10	25,949	54,769	102,189	12:10	21,231	44,811	79,974
12:15	26,048	54,791	102,2235	12:15	21,312	44,829	80,001
12:20	26,114	54,857	102,2465	12:20	21,366	44,883	80,019
12:25	26,246	54,912	102,2695	12:25	21,474	44,928	80,037
12:30	26,312	54,967	102,304	12:30	21,528	44,973	80,064
12:35	26,257	54,923	102,281	12:35	21,483	44,937	80,046
12:40	26,147	54,868	102,258	12:40	21,393	44,892	80,028
12:45	26,059	54,813	102,212	12:45	21,321	44,847	79,992

12:50	25,938	54,769	102,189	12:50	21,222	44,811	79,974
12:55	25,861	54,692	102,166	12:55	21,159	44,748	79,956
13:00	25,839	54,648	102,143	13:00	21,141	44,712	79,938
.	.	.	.	.	.	.	.
20:05	0	0	15,7205	20:05	0	0	12,303
20:10	0	0	13,6505	20:10	0	0	10,683
20:15	0	0	11,4195	20:15	0	0	8,937
20:20	0	0	8,2915	20:20	0	0	6,489
20:25	0	0	6,279	20:25	0	0	4,914
20:30	0	0	3,8295	20:30	0	0	2,997
20:35	0	0	1,472	20:35	0	0	1,152
20:40	0	0	0,782	20:40	0	0	0,612
20:45	0	0	0,138	20:45	0	0	0,108
20:50	0	0	0	20:50	0	0	0

Pencereli odalar pencere kenarları ve orta kısım olarak gruplanmıştır. Üç hava koşulunda alınan aşırı veriler nedeniyle güneşli günün ortalama parlaklık değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Güneşlı günlerde pencereden giren parlak değerler (lüx).

Zaman& interval	IS_K	IS_O	IS_2	IS_1	IS_4	IS_1& IS_3 avg.	IS_5	IS_3
03:40	198,437	218,614	80,064	105,304	78,38266	98,98576	71,25696	92,66752
03:45	197,459	217,517	79,666	104,780	77,991	98,493	70,90094	92,20649
03:50	196,481	216,42	79,268	104,256	77,599	98,001	70,54492	91,74546
03:55	195,503	215,323	78,87	103,732	77,208	97,508	70,1889	91,28442
04:00	194,525	214,226	78,472	103,208	76,816	97,016	69,83288	90,82339
04:05	193,547	213,129	78,074	102,685	76,425	96,523	69,47686	90,36236
.	.	.	.	.	.	.	.	.

12:00	103,571	112,205	41,458	54,486	40,395	51,217	36,72302	47,94742
12:05	102,593	111,108	41,06	53,962	40,004	50,724	36,367	47,48638
12:10	101,615	110,011	40,662	53,438	39,612	50,232	36,01098	47,02535
12:15	100,637	108,914	40,264	52,914	39,220	49,739	35,65496	46,56432
12:20	99,659	107,817	39,866	52,390	38,829	49,247	35,29894	46,10329
12:25	98,681	106,72	39,468	51,866	38,437	48,754	34,94292	45,64226
12:30	97,703	105,623	39,07	51,342	38,046	48,262	34,5869	45,18122
12:35	96,725	104,526	38,672	50,818	37,654	47,769	34,23088	44,72019
12:40	95,747	103,429	38,274	50,295	37,262	47,277	33,87486	44,25916
12:45	94,769	102,332	37,876	49,771	36,871	46,784	33,51884	43,79813
12:50	93,791	101,235	37,478	49,247	36,479	46,292	33,16282	43,3371
12:55	92,813	100,138	37,08	48,723	36,087	45,799	32,8068	42,87606
13:00	91,835	99,041	36,682	48,199	35,696	45,307	32,45078	42,41503
.	.	.	.	.	.	.	.	.
20:05	9,683	6,893	3,25	4,1913	2,79961	3,939822	2,5451	3,688344
20:10	8,705	5,796	2,852	3,6674	2,407988	3,447356	2,18908	3,227312
20:15	7,727	4,699	2,454	3,1435	2,016366	2,95489	1,83306	2,76628
20:20	6,749	3,602	2,056	2,6196	1,624744	2,462424	1,47704	2,305248
20:25	5,771	2,505	1,658	2,0957	1,233122	1,969958	1,12102	1,844216
20:30	4,793	1,408	1,26	1,5718	0,8415	1,477492	0,765	1,383184
20:35	3,815	0,311	0,862	1,0479	0,449878	0,985026	0,40898	0,922152
20:40	2,837	0,21	0,464	0,524	0,3751	0,49256	0,341	0,46112
20:45	1,859	0,1	0,211	0,247	0,2244	0,23218	0,204	0,21736
20:50	0	0	0	0	0	0	0	0

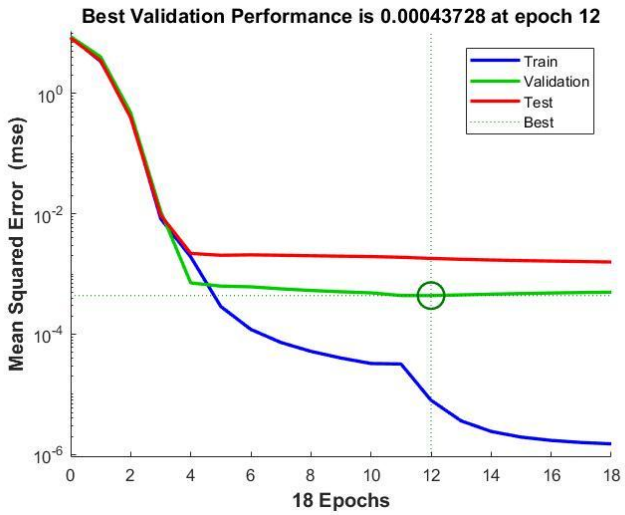
6.3. MIMO Aydınlatma Çıkış Değerleri

TABLO 6.3. önerilen MIMO-ANN modellerinin başarıyla eğitildiğini açıkça göstermektedir. Ofis odaları için MSE 2.48903x10-6'dır. Ofis odaları için genel eğitim R 1, genel doğrulama R% 99,97 ve genel test R% 99,95'tir.

Tablo 6.3. MIMO-ANN modellerinin sonuçları.

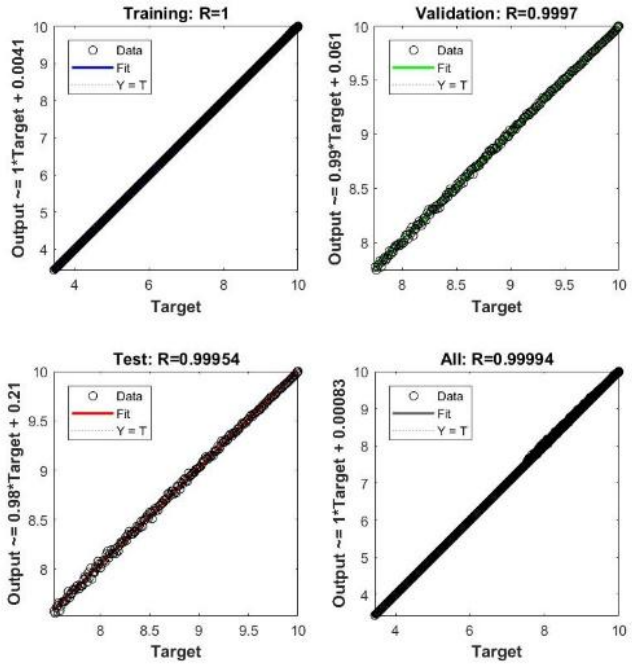
	Ofis Odaları			
	Samples	MSE	RMSE	R
Training	136	2.48903	0.0228403	1
Validation	28	5.15475	0.0525455	0.9997
Testing	28	4.39383	0.0489363	0.99955

MIMO-ANN modelinin en iyi doğrulama performans eğrileri Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. MIMO-ANN modelinin en iyi doğrulama performansı.

Regresyon analizi sonuçları Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Regresyon Analizi Sonuçları.

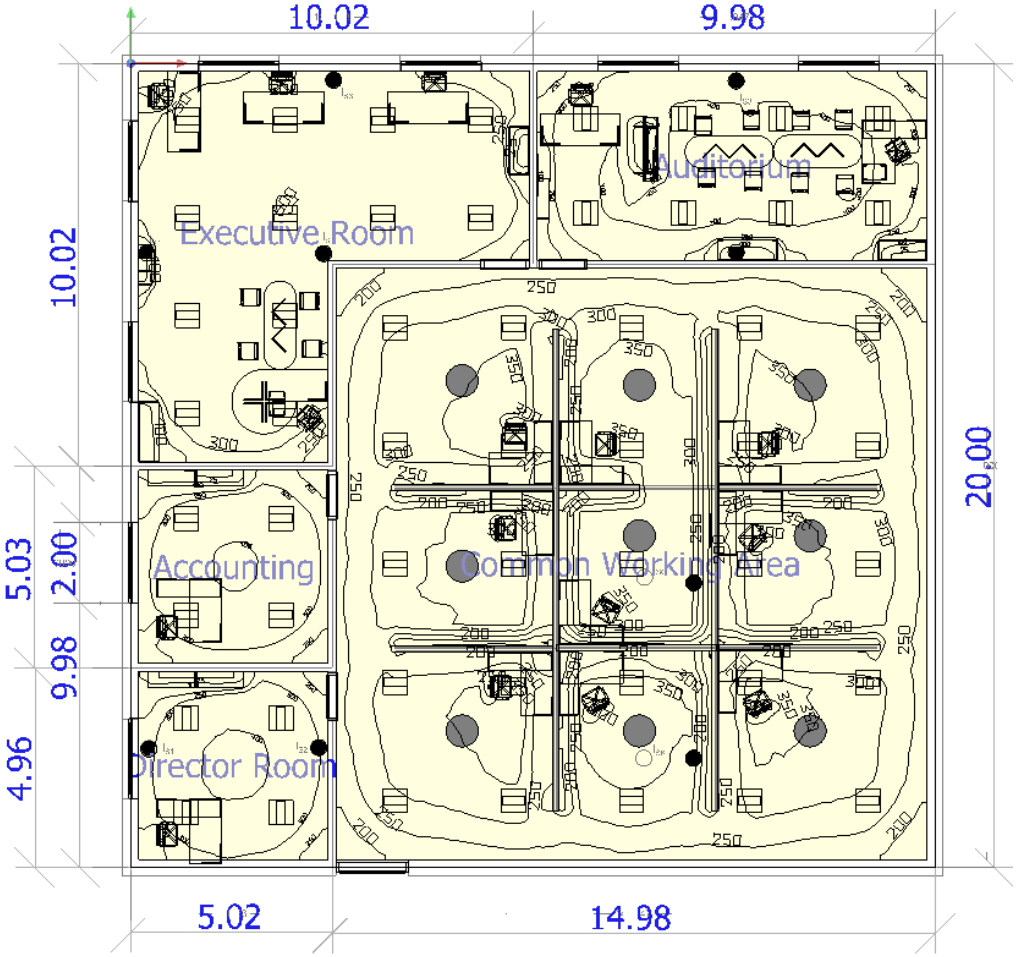
7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

7.1. Giriş

Ofis alanı, penceresiz odalar ve pencere bölümleri için orta ve kenar bölümleri, pencereli oda için iç bölümler olarak 10 farklı aydınlatma bölümüne ayrılmıştır. Bir sonraki adım, tasarlanan YSA modellerini kullanarak her iki odanın da parlaklık seviyelerini kontrol etmektir. Tüm mekân için MIMO ANN ile elde edilen kontrol voltajları ve ortamın ışık seviyesi, havanın kapalı, bulutlu ve güneşli olduğu üç koşula göre analiz edilmiştir.

7.2. Proje Sonuçları

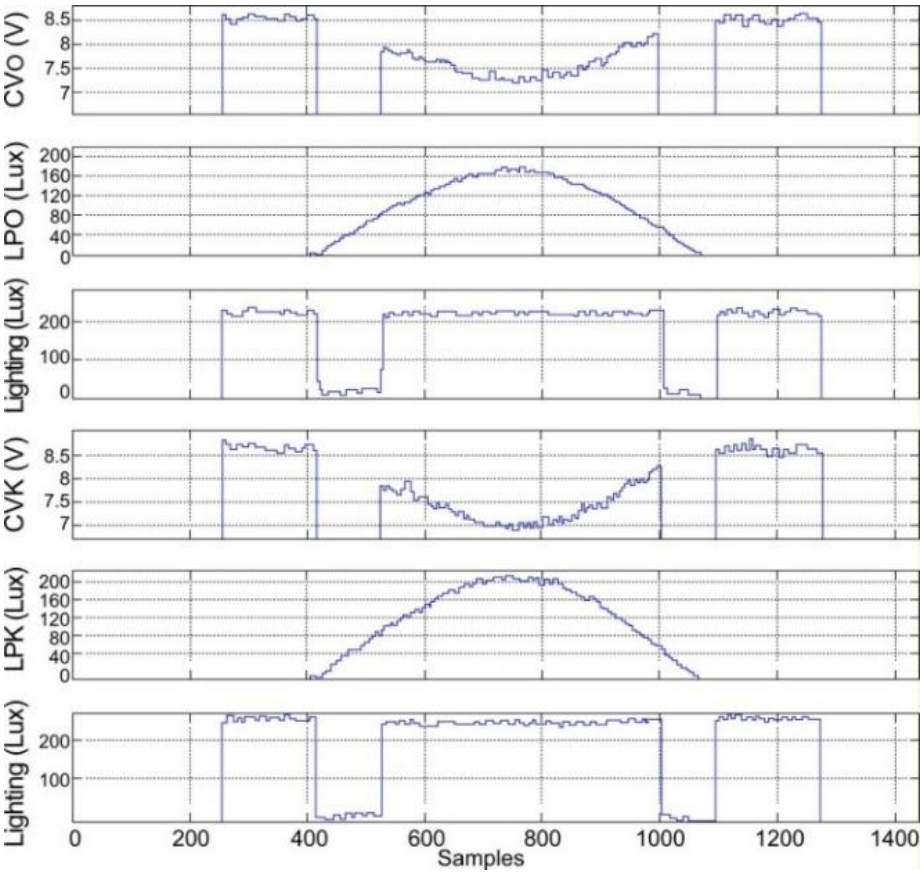
Yapay bir aydınlatma sistemi geliştirilerek ve Dialux Evo programı kullanılarak ışık dağılımı hesaplanmıştır.



Şekil 7.1. Yapay sistem aydınlatma dağılımı.

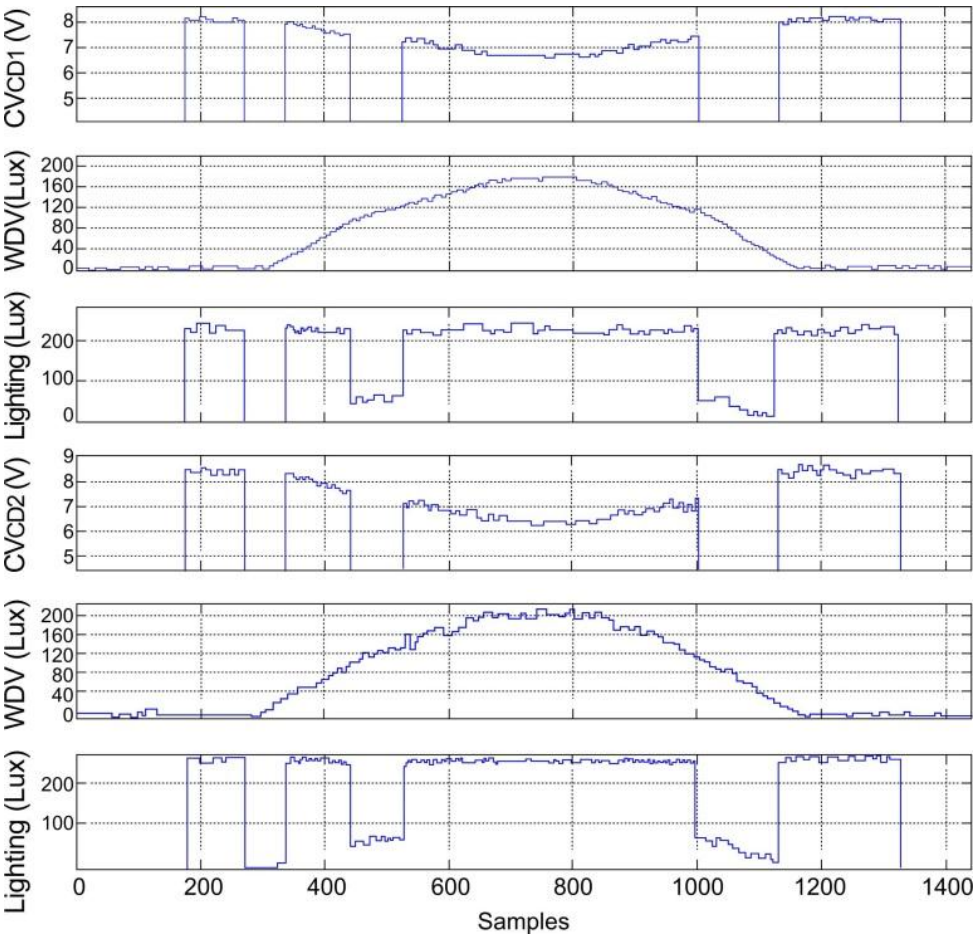
Yapay aydınlatma için 3700 lümen ışık akısı ve 36 watt LED güçlendirme armatürü kullanılmıştır. Tüm mekânın ışık dağılım eğrileri şekil 7.1. Dialux Evo programı ile yapılan yapay aydınlatma sonuçlarına göre ofisteki en düşük ışık değeri 301,45 lux ve en yüksek aydınlatma değeri 318,86 lux olmuştur.

Değerler her beş dakikada bir alınmıştır ve toplam veri sayısı 1380 olmaktadır. Hareket sensörü hareket algılamadığında kontrol voltajları sıfıra düşürülür ve LED armatürler devre dışı bırakılır. Bu durumda ortamın parlaklığı yalnızca ışık tüpü ve pencerelerden geçen ışık miktarına bağlıdır. Işık borusu ile ortak çalışma alanındaki bulutlu hava için kenar armatürlerinin kontrol voltajları min 7.72 V iken, orta armatürler yaklaşık 7.37 V'dir. Işık tüpü değerleri arasındaki fark küçük olduğu için kontrol voltajı değerleri çok yüksektir. Yönetici ve muhasebe odalarında bulutlu havalarda kenar aydınlatma armatürleri için maksimum kontrol voltajı yaklaşık 7,24 V ve orta armatürler için yaklaşık 5,93 V'dir. Şekil 7.2., bulutlu havalarda iç (hafif borulu) alan için kenar ve orta LED armatür kontrol voltajlarını, ortam ışık seviyelerini, ışık borusu değerlerini göstermektedir.



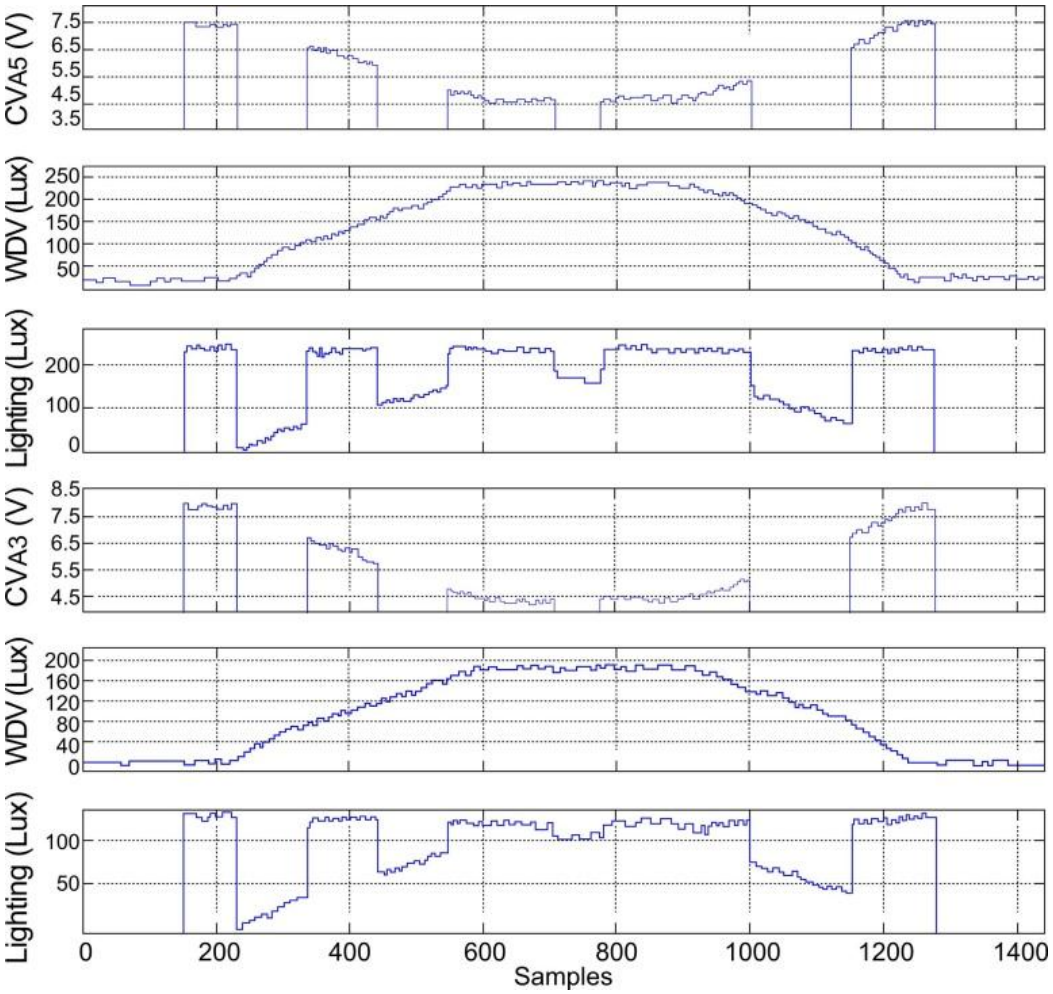
Şekil 7.2. Bulutlu havalarda iç (hafif borulu) alan için kenar ve orta LED armatür kontrol voltajları, ortam ışık seviyeleri, ışık borusu değerleri.

Şekil 7.3., yönetici ve muhasebe odaları (pencereli odalar) için bulutlu hava için kenar ve orta LED armatür kontrol voltajlarını, ortam ışık seviyelerini, ışık borusu değerlerini göstermektedir. En önemli fark güneşli havalarda görülür.



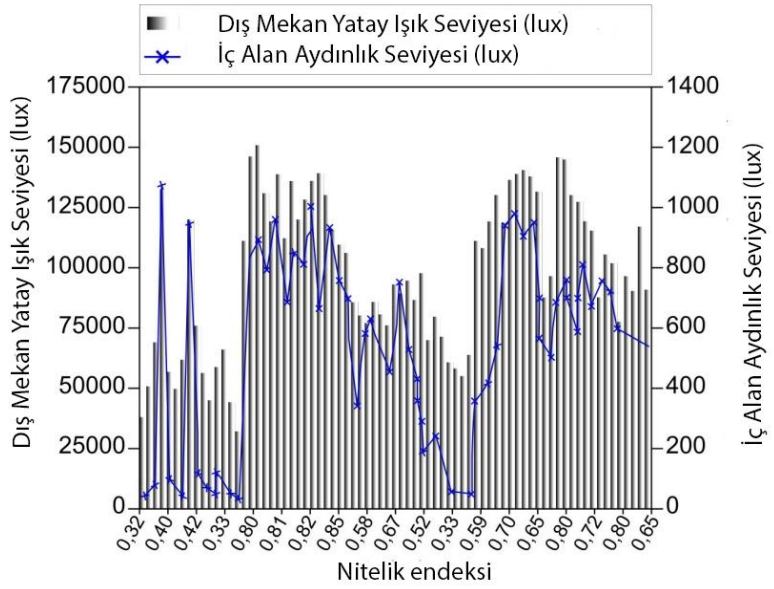
Şekil 7.3. Yönetmen ve muhasebe odaları (pencereli odalar) için bulutlu havalarda LED ve armatür kontrol voltajları, ortam ışık seviyeleri, ışık borusu değerleri.

Oditoryum için güneşli havalarda en yüksek kontrol voltajı kenar armatürleri için 4,69 V iken, orta aydınlatma armatürleri için bu yaklaşık 3,84 V'tur. Bulutlu bir gün için ortalama değer alınırken grafiklerden de görülebileceği gibi aydınlatma, ortak çalışma alanında ışık borularından kenar bölümleri için 114.6 lux olup, istenilen aydınlatma seviyesini sağlamak için 186.4 lux LED lambalardan 7.72 V ayarlanabilir voltajla beslenmektedir. Ancak ışık tüplerinin orta bölümleri için 148.6 lüks aydınlatma ölçülmüştür. Tasarım senaryosuna göre gerekli 169,4 lüks değeri, LED retrofit armatürlerden 7,37 V dim voltajı ile sağlanır. Bulutlu bir günün ortalama değeri alındığında, yönetmen ve oditoryum odaları için pencere ve kenar bölümleri için 172,3 lüks aydınlatma ölçülür ve istenen aydınlatma seviyesini sağlamak için 145,7 lüks LED lambadan 5,93 V DIM voltajı uygulanmaktadır.



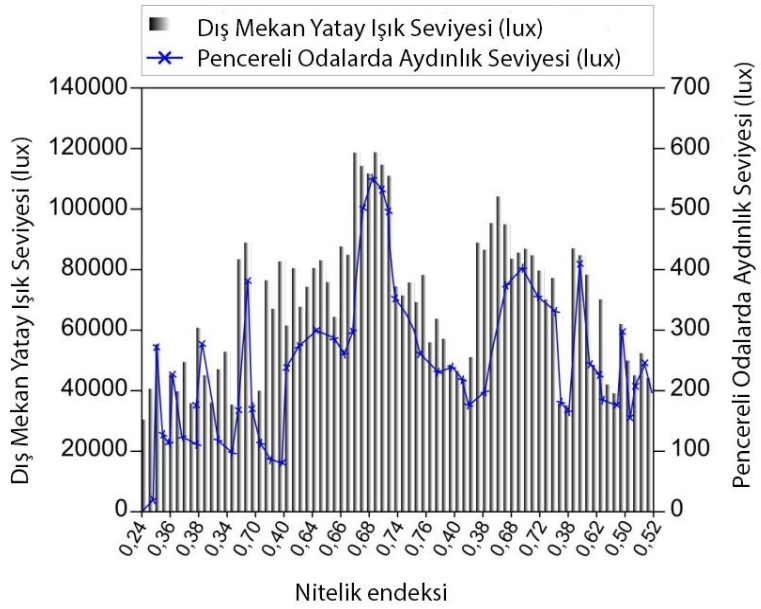
Şekil 7.4. Oditoryum (pencereli oda) için açık havadaki kenar ve orta LED armatürün kontrol voltajı, ortam ışık seviyeleri, ışık borusu değerleri.

Ancak pencereden orta bölümler için 98,7 lux aydınlatma ölçülmüş ve istenilen aydınlatma seviyesini sağlamak için 219,3 lux LED ile armatürlerden 7,24 V dim voltajı sağlanmıştır. Şekil 7.4, bir oditoryum (pencereli oda) için açık havadaki kenar ve orta LED armatürün kontrol voltajını, ortam ışık seviyelerini, ışık borusu değerlerini göstermektedir. Ortalama bir gün alındığında, oditoryum kenarındaki pencerelerden ortalama 208,68 lüks ölçülerek, istenilen aydınlatma seviyesini sağlamak için 92,3 lüks LED'li armatürlerden 3,84 V dimleme voltajı elde edilmiştir. Ancak orta bölüm için pencereden 163,7 lüks aydınlatma ölçülerek, istenilen aydınlatma seviyesini sağlamak için 154,3 lüks LED'li armatürlerden 4,69 V dim voltajı sağlanmıştır.



Şekil 7.5. Açıklık indeksine bağlı olarak ortak çalışma alanının (ışık borusu ile) dış yatay aydınlatma seviyesi (lux) ve çalışma düzlemi yatay aydınlatma seviyesi (lux).

Ortak çalışma alanı (ışık borusu ile) açılış indeksine bağlı olarak dış yatay aydınlatma seviyesi (lux) ve çalışma yatay aydınlatma seviyesi (lux) Şekil 7.5'de, pencereli odalar için ise Şekil 7.6'de verilmiştir.



Şekil 7.6. Açıklık indeksine bağlı olarak pencereli odaların dış yatay aydınlatma seviyesi (lux) ve çalışma düzlemi yatay aydınlatma seviyesi (lux).

Aydınlık gün ışığı koşullarında, 12: 30-14: 00 saat boyunca, iç mekân çalışma düzleminin aydınlatma seviyesi, ışık borusu desteği ile ortak çalışma alanı için ortalama 218,61 lux ve pencere destekli odalar için ortalama 105,34 lux değerine ulaşabilmiştir.

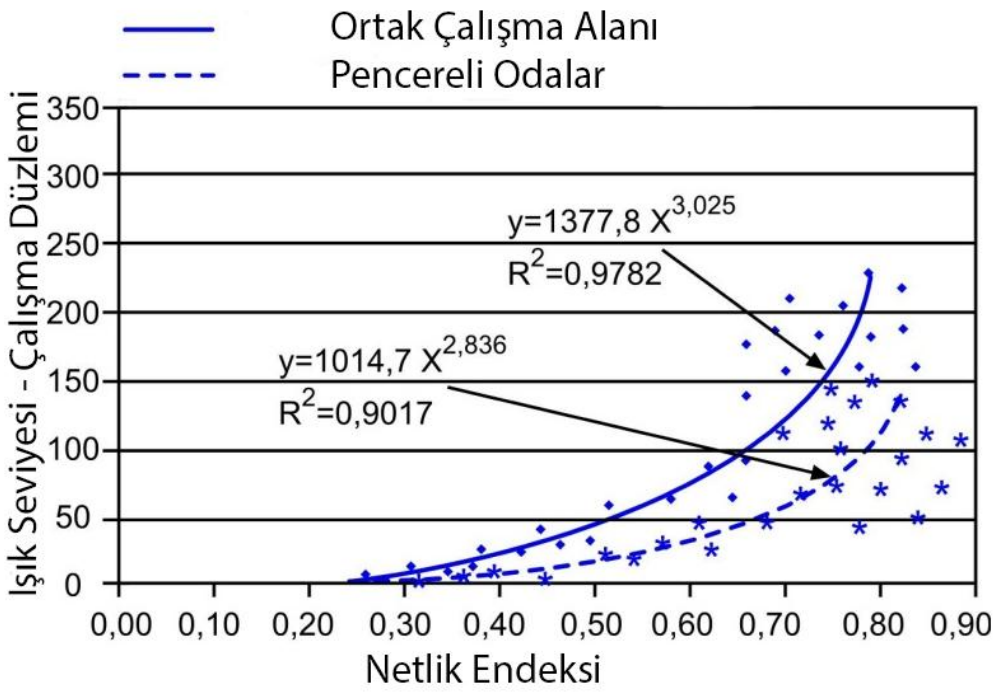
7.3. Sonuç

MIMO ANN ile yapılan çalışmanın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

I. Çalışma verileri incelendiğinde, meteorolojik koşulların YSA sonuçlarını etkilediği ve doğal olarak güneşli günlerde daha az yapay aydınlatma kullanıldığı görülmüştür. Tüm ortak çalışma alanının ortalama aydınlatma seviyesi, kapalı havalarda 301-308 lux, bulutlu havalarda 302-314 lux ve güneşli havalarda 305-319 lux arasında sabit tutulurken, odalı tüm pencerelerin ortalama ışık seviyeleri 292 kapalı havada 302 lüks ve bulutlu havalarda 299 lüks, güneşli havalarda 307 lüks ve 302-312 lüks.
Hareket sensörleri kullanılarak MIMO ANN modelleri ortamdaki harekete göre devreye girip çıkarak LED armatürlerin gereksiz çalışmasını engellemektedir.

II. Günışığı sisteminin tüm bileşenleri dikkate alınarak ve CIE renk koordinatları (x, y) belirlenerek, sistemin farklı standart gün ışığı spektrumlarında (D55, D65, D75) temel gün ışığı spektral karakterini değiştirmediği görülmüştür.

III. Şekil 7.7., ortak çalışma alanı ve pencereli çalışma odalarının açıklık indeksi ile yatay aydınlatma seviyeleri (lüks) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Çalışma düzlemi ışınlama değerlerine benzer şekilde, açıklık indeksi ile ortak çalışma alanının çalışma düzlemi aydınlatma seviyesi, R2 = 0.9782 afinitesi ve ayrıca çalışma düzlemlerinin aydınlatma seviyeleri arasında üstel bir eğilim ilişkisi olduğu gösterilmiştir. Pencereli odalar ve açıklık indeksi R2 = 0.9017. Açıklık indeksi arttıkça, çalışma düzleminin yatay düzlem seviyesi değerleri artar. Açıklık indeksi arttıkça sistemin ışık verimi de artar. Açıklık endeksindeki artış, belirli bir anda harici yatay toplam radyasyon değerinin artması anlamına gelir ve sistemin ışık verimliliği, fiber optik kablo demetinin görünür bölge radyasyonunun iletilmesine bağlı olarak artar.



Şekil 7.7. Ortak çalışma alanının açıklık indeksi ile yatay aydınlatma seviyeleri (lux) ile pencereli odaların çalışma düzlemleri arasındaki ilişki.

KAYNAKLAR

1. İ.Kiyak, B.Oral, V. Topuz, (2017). Smart indoor LED lighting design powered by hybrid renewable energy systems. Energy and Buildings, 148, 342-347., Doi: 10.1016/j.enbuild.2017.05.016
2. G.Gökmen, İ.Kiyak, (2018). The System Design of Photovoltaic Supported Light Pipe LED Hybrid Illumination. 6. Europan Conference on Renewable Energy Systems ECRES 2018, 1079-1088.
3. T.Boyekin, I.Kiyak, (2018). Rooftop Solar Power Plant Based Electric Vehicle Charging Station. 6. Europan Conference on Renewable Energy Systems ECRES 2018, 959-966.
4. World on the edge – Energy Data Efficiency 2010, website (online), Avaliable: www.earth-policy.org/datacenter/xls/book_pb4_ch4-5_4.xls, 2018.
5. M.Francesco, İ.Fabio, P.Stefano, (2017), "Adaptive street lighting predictive control", Energy Procedia vol. 111, pp. 790 – 799, İtaly.
6. Christel de B., Myriam A., Helianthe K., Alexander R., (2016), "Occupancy-based lighting control in open-plan office spaces: A state-of-the-art review", Building and Environment, Vol. 112, pp. 308-321.
7. Mustafa Ş., Fuat B., Yüksel O., (2013), "Yapay Sinir Ağları ile Aydınlık Kalitesi Kontrolü", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 13, Pp. 1-10.
8. Türkiye İstatistik Kurumu Yayın Kataloğu, Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK), Ankara. http://www.tuik.gov.tr/Start.do Access time: 04.12.2019.
9. Michele Zinzi, Alessandro Mangione, (2015), "The daylighting contribution in the electric lighting energy uses: EN standard and alternative method comparison", Energy Procedia 78, 2663-2668.
10. Burçin A., (2013), "Yapay Sinir Ağları İle Öngörü Modellemesi", Vol. 39, pp. 101-115.
11. Nandha K., Giridharan K., Costas S., King J., Boon-H., (2018), "Smart lighting system using ANN-IMC for personalized lighting control and daylight harvesting", Building and Environment, Vol. 139 Pp.170-180.
12. Juan F., Javier B., Sara R., Gabriel V., Juan M., (2016), "Intelligent system for lighting control in smart cities", Information Sciences, Vol. 372, Pp. 241-255.
13. I.Kiyak, V.Topuz, B.Oral, (2011). Modeling of Dimmable High Power LED Illumination Distribution Using ANFIS on the Isolated Area. Expert System with Application, 38(38), 11843-11848.

14. İ.Galkin, İ.Milashevski, O.Teteryonok, (2011), "Comparative Estimation of Efficiency of LED Dimmers at Different Modulation Techniques", Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference, 2011.
15. Wojnicki et. al, (2015), Towards AI-based Lighting Control Systems, pp. 115-115.
16. T.Boyekin, I.Kiyak, F.Abdullayev, (2019). Artificial intelligence based Light Pipe LED hybrid tunnel lighting design. 10th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education (10th ICoSReSSE), pp. 39-47.
17. Anupam P., Divya J., (2017), "Mani S, Smart Control of Electric Lamp using Artificial Intelligence based Controller", IEEE INDICON (2015) 157017.
18. Bayram T., (2016), "Gravite Değerlerinin Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları ile Hesaplanması", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol.16, Pp. 660-664.
19. Eveliina J., Esa-M., Juho E., Henrika P., Toni Ö., (2018), "Smart and dynamic route lighting control based on movement tracking", Building and Environment, Vol. 142, Pp. 472-483.
20. I.Kiyak (2012). A Study on the Working Performance of Dimming Methods for Single and Multi Chip Power LEDs. International Journal of Photoenergy, 6(1), pp. 1-8.
21. Ashfaque A., Pervez H., Faheemullah S., Zohaib H., Nayyar H., Muhammad A., (2018), "Renewable and Sustainable Energy Reviews", Vol. 82, pp. 3007-3026.
22. I.Kiyak, G.Gökmen, (2013). Increase Energy Savings with Lighting Automation using Light Pipes and Power LEDs. ICCAE 2013: International Conference on Civil and Architectural Engineering, World Academy of Science and technology, Sweden, 55-62.
23. Ciampi G; Rosato A; Scorpio M, Sibilio S., (2014), Retrofit Actions on the Envelope of an Existing Historical Public Building: Energy and Economic Analyses. In proceedings of 12th International Forum of Studies -The Paths of the Merchants. Book series Fabbrica della Conoscenza; 46:510-518. ISBN:978-88-6542-347-9.
24. A. M. Smith, (2014) "From Sight to Light. The Passage from Ancient to Modern Optics", Chicago & London:The University of Chicago Press.
25. M. Guarnieri, (Mar. 2014) "The Conquest of the Atlantic", IEEE Ind. Elect. Magazine, vol. 8, no. 1, pp. 53-55/67.
26. B. C. Black, (2012) "Crude Reality: Petroleum in World History", Lanham, MD: Rowman & Littlefield.

27. J. Dredge, (2014) "Electric Illumination" in , Cambridge UK:Cambridge University Press, vol. 1.
28. M. Guarnieri, (Dec. 2014) "The Big Jump from the Legs of a Frog", IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 8, no. 4, pp. 59-61, 69.
29. M. Guarnieri, (Mar. 2011) "When Cars Went Electric Part 1", IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 5, no. 1, pp. 61-62.
30. M. Guarnieri, (Dec. 2013) "Who Invented the Transformer?", IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 7, no. 4, pp. 56-59.
31. M. Guarnieri, (Mar. 2013) "The beginning of electric energy transmission: Part One", IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 7, no. 1, pp. 50-52.
32. M. Guarnieri, (June 2013) "The beginning of electric energy transmission: Part Two", IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 7, no. 2, pp. 52-59.
33. Maxime F. Gendre, (2011) Two Centuries of Electric Light Source Innovations Eindhoven Institute for Lighting Technology Eindhoven Univ. of Technology Eindhoven Netherlands, pp. 2015-08.
34. M. Guarnieri, (Dec. 2014) "The Big Jump from the Legs of a Frog", IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 8, no. 4, pp. 59-61, 69.
35. M. Guarnieri, (Dec. 2010) "The Television: From Mechanics to Electronics", IEEE Ind. Electron. Mag, vol. 4, no. 4, pp. 43-45.
36. H. H. Peek, (Jan. 2010) "The emergence of the compact disc", IEEE Commun. Mag., vol. 48, no. 1, pp. 10-17.
37. APS News, (April 2019) "April 25 1954: Bell Labs Demonstrates the First Practical Silicon Solar Cell", vol. 18, no. 4.
38. S. F. Johnston, (2006) "Holographic Visions: A History of New Science" in , Oxford:Oxford University Press.
39. European Standard EN 12464–1:2011, (2011) "Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places".
40. ISO 8995–1:2002(E)/CIE S 008/E:2001, (2011) "Joint ISO/CIE Standard: Lighting of Work Places - Part 1: Indoor".
41. P. Pracki, (2014) "Rozklad luminancji i modelowanie przy oświetleniu elektrycznym i dziennym wnętrz", Conference Proceedings 5th Lighting Conference of the Visegrad Countries, pp. 143-148.

42. J.E Flynn, C. Hendrick, T. Spencer and O. Martyniuk, (1979) "A guide to methodology procedures for measuring subjective impressions in lighting", Journal of the illuminating Engineering Society, vol. 8, no. 2, pp. 95-110.
43. R.J. Hawkes, D.L. Loe and E. Rowlands, (1979) "A note towards the understanding of lighting quality", Journal of the Illuminating Engineering Society, vol. 8, no. 2, pp. 111-120.
44. K.W. Houser and D.K. Tiller, (2003) "Measuring the subjective response to interior lighting: paired comparisons and semantic differential scaling", Lighting Research & Technology, vol. 35, no. 3, pp. 183-195.
45. J.B. Protzman and K.W. Houser, (2005) "On the relationship between object modeling and the subjective response", The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, vol. 2, pp. 13-28.
46. P.R. Boyce, (2014) "Human factors in lighting" in , Boca Ranton:CRC Press.
47. P. Tregenza and D. Loe, (2014) "The design of lighting" in , London:Spoon Press.
48. P.Pracki, (2010) "Rozmieszczenie świetlówkowych opraw oświetlenia bezpośredniego wg kryterium wytworzonego rozkladu luminancji w otoczeniu".
49. M. Dziedzicki and P. Pracki, (2015) "Analiza możliwości ksztaltowania rozkladu luminancji w otoczeniu przy oświetlcniu elektrycznym wybranych wnętrz", Conference Proceedings XXIV Krajowa Konferencja Oświetleniowa Technika Świetlna, pp. 53-62.
50. M. Siminovitch and W. Place, (2016), "An Energy Based Analysis of Interior Illumination Systems for Commercial Buildings".
51. M. Navvab and M. Siminovitch, (1987) "The Effect of Room Cavity Obstructions on the Distribution of Daylight within Office Spaces", annual Illuminating Engineering Society Conference, pp 46-73.
52. M. Siminovitch and M. Navvab, (1987-October) "The Effects of Interior Room Cavity Obstructions on the Illuminance Distribution Characteristics in Task Station Applications", annual IEEE Industry Applications Society Conference, pp. 35-59.
53. M. Siminovitch and M. Navvab, (1987) "The Energy and Visual Quality Implication Associated with the Lighting Retrofit of Study Carrels in a university library", annual IEEE Conference, pp. 79-91.
54. A CIE - Technical Report. (19, 1972) A Unified Framework of Methods for Evaluating Visual Performance Aspects of Lighting.

55. K. Chorlton and H. Davidson, (1959) "The Effect of Specular Reflection on Visibility", Illuminating Engineering, vol. 54, pp. 482-488.
56. H. R. Blackwell and Helms, (April 1973) "Application Procedures for Evaluation of Veiling Reflections in Terms of ESI", Journal of Illuminating Engineering Society, vol. 2.
57. D. Finch, (August 1959) "The Effect of Specular Reflection on Visibility Part 1 Physical Measurements for the Determining of Brightness and Contrast", Illuminating Engineering, vol. LIV.
58. R. Kittler and S. Darula, (2013) "The importance of a right angled triplet geometry for the theory of proportion in architecture: the golden ratio and its application. (In Slovak). "Vyznam geometrie pravouhlého trojuholníka pre teoriu proporcie v architecture: zlatý rez a jeho uplatnenia", Architektúra a urbanizmus, vol. 47, no. 1–2, pp. 123-133.
59. R. Kittler and S. Darula, (2008) "The historical importance of solar geometry in time space and architecture. (In Slovak) "Historická dôležitost' solárnej geometrie pre orientáciu v čase priestore a v architecture", Architektúra a urbanizmus, vol. 42, no. 3–4, pp. 1559-165.
60. R. Kittler, M. Kocifaj and S. Darula, (2012) "Daylight science and daylighting technology" in , New York:Springer.
61. M. Matusiak, Sun beam diagrams, 2014, [online] Available: http://solarbeam.sourceforge.net.
62. R. Kittler and S. Darula, (2014) "The research search for the least beneficial overcast sky and progress in defining its luminance gradation function", Build. Res. Journ., vol. 61, no. 3, pp. 151-166.
63. J. Roby, M. Aub, A. Morin-Paulhus, W. Beauchesne and L.O. Cyr, Lspdd: Lamp spectral power distribution database, 2016, [online] Available: http://galileo.graphycs.cegepsherbrooke.qc.ca/app/en/home.
64. M. Royer, (Sep. 2013) "Lumen maintenance and light loss factors: Consequences of current design practices for leds", Report US DOE.
65. Pren 15193, (2016): Energy performance of buildings energy requirements for lighting, European Standard.
66. M. Manganelli and R. Consalvi, (June 2015) "Design and energy performance assessment of high-efficiency lighting systems", International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 1035-1040.

67. European Environmental Agency, (01/02/2017) http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/final-household-electricity-consumption-by-use#tab-used-in-indicators.
68. International Energy Agency. A literature review (2016). Daylighting and lighting retrofit to reduce energy use in non-residential buildings. Accessed 01/12/2020 http://task50.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Technical_Report_T50_D2_final.pdf.
69. European Environmental Agency. A literature review (2019). Accessed.01/10/2020. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/final-household-electricity-consumption-by-use#tab-used-in-indicators.
70. L Xu, Y Pan, Y Yao, D Cai, Z Huang, N Linder, (2017) "Lighting energy efficiency in offices under different control strategies", Energy Build, vol.138, pp. 127-139.
71. F Salata, I Golasi, M di Salvatore, A de Lieto Vollaro, (2016) "Energy and reliability optimization of a system that combines daylighting and artificial sources, A case study carried out in academic buildings", Applied Energy, vol.169, pp. 250-266.
72. RA Mangkuto, M Rohmah, D Asri, (2016) "Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics", Applied Energy, vol.164, pp. 211-219.
73. H. Rocha, I.S. Peretta, G.F.M. Lima, L.G. Marques, K. Yamanaka, (2016) "Exterior lighting computer-automated design based on multi-criteria parallel evolutionary algorithm: optimized designs for illumination quality and energy efficiency",Expert Systems with Applied, vol 45, pp. 208-222.
74. J. Fan, K.C. Yung, M. Pecht, (2015) "Predicting long-term lumen maintenance life of LED light sources using a particle filter-based prognostic approach", Expert Systems with Applied, vol. 42, no.5, pp. 2411-2420.
75. A. Peruffo, D. Pandharipande, (2015) "Lighting control with distributed wireless sensing and actuation for daylight and occupancy adaptation", Energy and Buildings, vol. 97, pp. 13-20.
76. J Milford Michael, Ian Turner and Peter Corke, (2013) "Long exposure localization in darkness using consumer cameras", Robotics and Automation (ICRA) 2013 IEEE International Conference on, pp. 3755-3761.
77. Winston Churchill and Paul Newman, (2013) "Experience-based navigation for long-term localisation", The International Journal of Robotics Research, vol. 32, no. 14, pp. 1645-1661.

78. Michael Warren, David McKinnon and Ben Upcroft, (2013) "Online calibration of stereo rigs for long-term autonomy", International Conference on Robotics and Automation (ICRA).
79. Barfoot Timothy, R. Forbes James and T. Furgale Paul, (2011) "Pose estimation using linearized rotations and quaternion algebra", Acta Astronautica, vol. 68, pp. 1-2.
80. Ronan O'Malley, Edward Jones and Martin Glavin, (2010) "Rear-lamp vehicle detection and tracking in low-exposure color video for night conditions", Intelligent Transportation Systems IEEE Transactions on, vol. 11, no. 2, pp. 453-462.
81. D. Gasparovsky and A. Smola, (2011) "Problematika mezopického videnia pri osvetl'ovani vonkajších priestorov kedy a prečo je biele svetlo účinnejšic", Proc. 35. konferencia elektrotechnikov Slovenska ‘11, pp. 58-68.
82. L. Halonen and M. Puolakka, (2011) "CIE AND MESOPIC PHOTOMETRY", Proc. THE 27TH SESSION OF THE CIE 02.
83. W. Sawicki, 2005 "Histologia", Warsaw Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
84. P. Francuz, , 2013 "IMAGIA. W kierunku neurokognitywnej teorii obrazu", Lublin Wydawnictwo KUL.
85. L. Zan, D. Lin, P. Zhong and G. He, (April 2016) "Optimal spectra of white LED integrated with quantum dots for mesopic vision", OPTICS EXPRESS, vol. 24, no. 7.
86. S. Raphael and D. I. MacLeod, (July 2015) "Mesopic luminance assessed with minimally distinct border perception", Journal of Vision, vol. 15, no. 12.
87. O. U. Preciado Olvera and E. R. Manzano, (July 2017) "Spectral characteristics of road surfaces and eye transmittance: Effects on energy efficiency of road lighting at mesopic levels", Lighting Research & Technology.
88. Martirano L., (2011) "A smart lighting control to save energy." Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS'2011; 6072726:132-138.
89. Kazarinov LS, BarbasovaTA. (2011)."Development of energy efficient systems of street lighting based upon innovative technical-and-economic mechanism of the budget financing reflexive-target increase". The Bulletin of the South-Ural State University. Series «Computer Technology, Control, Electronics»: 14 (23): 92-98.
90. Simhas D., (2013) "A smart grid application - Street lighting management system" UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering; 75:309-324.

91. Iversen A, Svendsen S, Nielsen T.R., (2012) "The effect of different weather data sets and their resolution on climate-based daylight modelling." Lighting Research and Technolgy; 0: 1-12.
92. Nefedov E, Maksimainen M, Sierla S, Flikkema P, Yang CW, Kosonen I, Luttinen T. (2014) "Energy efficient traffic-based street lighting automation." IEEE International Symposium on Industrial Electronics; 6864874:1718-1723.
93. Popa M, Cepişcă C. (2011) "Energy consumption saving solutions based on intelligent street lighting control system." UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering; 73(4):297-308.
94. ABNT NBR 14671, (2001). "Tungsten filament lamps for domestic and similargeneral lighting purposes - Performance requirements", Associação Brasileirade Normas Técnicas. Rio de Janeiro, pp. 1–26.
95. Aman, M.M., et al., (2013). "Analysis of the performance of domestic lighting lamps." Energy Policy.
96. Archer,S.A.,Murphy,R.J.,Steinberger-Wilckens,R., (2018). "Methodological analysis of palm oil biodiesel life cycle studies" Renew. Sustain. Energy Rev. 94,694–704. http://dx.doi.org/10.1016/J.RSER.2018.05.066, Pergamon.
97. Braga, M.F., et al., (2014). "60w incandescent lamp alternatives found inbrazilian market" 2014 11th IEEE/IAS International Conference on In-dustry Applications. IEEE, pp. 1–8.
98. Chen, H.-T., Tan, S.-C., Hui, S.Y.R., (2015). "Nonlinear dimming and correlated colortemperature control of bicolor white led systems." IEEE Trans. Power Electron.30 (12), 6934–6947.
99. Dai, Q., et al., (2018). "Spatial and spectral illumination design for energy-efficient circadian lighting." Build. Environ. 146, 216–225. http://dx.doi.org/10.1016/J.BUILDENV. 2018.10.04, Pergamon.
100. De Almeida, A., et al., (2014). "Solid state lighting review - Potential and challenges in Europe." Renew. Sustain. Energy Rev. 34, 30–48. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.029, Elsevier.
101. Elijošiute, E., Balciukevičiūte, J., Denafas, G., (2012). "Life cycle assessment ofcompact fluorescent and incandescent lamps: Comparative analysis. " Environ. Res. Eng. Manag. 61 (3), 65–72.
102. EPE - Empresa de Pesquisa Energética, (2014). Ten-Year Energy ExpansionPlan 2026 (Brazil), Epe. Gov. Br. Rio de Janeiro.

103. Fernandes Mourão, R., Satoshi, E., Seo, M., (2012). LOGÍSTICA REVERSA DELÂMPADAS FLUORESCENTE.

104. Golasi, I., et al., (2019). "Influence of lighting colour temperature on indoor thermalperception: A strategy to save energy from the HVAC installations." En-ergy Build. 185, 112–122.

105. Hu, Y., Cheng, H., (2012). "Mercury risk from fluorescent lamps in china: Currentstatus and future perspective." Environ. Int. 44, 141–150.

106. Hunt, J.D., Stilpen, D., de Freitas, M.A.V., (2018). A review of the causes, impactsand solutions for electricity supply crises in Brazil. Renew. Sustain. EnergyRev. 88, 208–222. http://dx.doi.org/10.1016/J.RSER.2018.02.030, Pergamon.

107. IEEE, IEEE Std 519-2014, (2014). 'IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Con-trol in Electric Power Systems', (Revision of IEEE Std519-1992).

108. Li, X.P., Chen, L., Chen, M., (2011). An approach of led lamp system lifetimeprediction. In: 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability.IEEE, pp. 110–114.

109. Lobão, J.A., Devezas, T., Catalão, J.P.S., (2015). Energy efficiency of lighting in-stallations: software application and experimental validation. Energy Rep. 1,110–115. http://dx.doi.org/10.1016/J.EGYR.2015.04.001, Elsevier.

110. Mendes, N.C., et al., (2015). Avaliação de impacto do ciclo de vida: revisão dosprincipais métodos' production. Assoc. Brasil. Eng. Prod. 26 (1), 160–175.

111. Molina, J., Sainz, L., (2014). Model of electronic ballast compact fluorescent lamps. IEEE Trans. Power Deliv. 29 (3), 1363–1371.

112. Monteiro, R.V.A., et al., (2014). LED Tubular lamps and tubular fluorescent: Power quality. In: 2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP). IEEE, pp. 400–404.

113. Principi, P., Fioretti, R., (2014). A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office – compact fluorescent (cfl) vs light emitting diode (led) – a case study. J. Cleaner Prod. 83, 96–107. http://dx.doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.07.031, Elsevier.

114. Renouf, M.A., et al., (2015). Best Practice Guide for Life Cycle Impact Assessment(LCIA) in Australia ALCAS Impact Assessment Committee Version 2. Available at: https://www.surveymonkey.com/s/XHDGM3B (Accessed: 30.01.19).

115. Ryckaert, W.R., et al., (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. Energy Build. 49, 429–436. http://dx.doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2012.02.042, Elsevier.

116. Sangwan, K.S., et al., (2014). Life cycle assessment of incandescent, fluorescent, compact fluorescent and light-emitting diode lamps in an Indian scenario.Procedia CIRP 15, 467–472. http://dx.doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.06.017,Elsevier.

117. Schlichting, M.W., et al., (2016). Analysis of reactive power flow in the lighting system of a consumer unit. In: 2016 17th International Conference onHarmonics and Quality of Power (ICHQP). IEEE, pp. 1014–1019.

118. Tawfik, M., Tonnellier, X., Sansom, C., (2018). Light source selection for a solar simulator for thermal applications: A review. Renew. Sustain. Energy Rev.90, 802–813. http://dx.doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.059, Pergamon.

119. U.S. Department of Energy, (2012). Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products, Part 2: LED Manufacturing andPerformance. Available at: www.yole.fr (Accessed: 30.01.19)

120. Welz, T., Hischier, R., Hilty, L.M., (2011). Environmental impacts of lighting technologies — Life cycle assessment and sensitivity analysis. Environ. ImpactAssess. Rev. 31 (3), 334–343. http://dx.doi.org/10.1016/J.EIAR.2010.08.004,Elsevier.

121. P. Khademagha, M. B. C. Aries, A.L.P. Rosemann, E.J. van Loenen, (2016) Implementing non-image-forming effects of light in the built environment: a review on what we need, Build. Environ. 108 pp. 263–272.

122. P. Boyce, (2013), Lighting quality for all, CISBE SLL Int. Light. Conf., Dublin, pp. 1–5.

123. Z. Nagy, F.Y. Yong, A. Schlueter, (2016) Occupant centered lighting control: a user studyon balancing comfort, acceptance, and energy consumption, Energy Build. 126 310–322.

124. M. P. J. Aarts, M. B. C. Aries, J. Straathof, J. v. Hoof, (2015) Dynamic lighting systems in psychogeriatric care facilities in The Netherlands: a quantitative and qualitative analysis of stakeholders' responses and applied technology, Indoor Built Environ.24 617–630.

125. N. Gentile, M.-C. Dubois, W. Osterhaus, S. Stoffer, C. Naves David Amorim, D. Geisler-Moroder, R. Jakobiak, C.N.D. Amorim, D. Geisler-Moroder, R. Jakobiak, (2016)

A toolbox to evaluate non-residential lighting and daylighting retrofit in practice, Energy Build. 123 151–161.

126. D.H. Kim, K.P. Mansfield, (2016) A cross-cultural study on perceived lighting quality and occupants' well-being between UK and South Korea, Energy Build. 119 211–217.

127. F. Cantin, M.-C. Dubois, (2011) Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity, Light. Res. Technol. 43 291–307.

128. S. Carlucci, F. Causone, F. De Rosa, L. Pagliano, (2015) A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design, Renew. Sustain. Energy Rev.

129. P.J. Aarts, J. van Duijnhoven, M.B.C. Aries, A.L.P. Rosemann, (2017) Performance of personally worn dosimeters to study non-image forming effects of light: Assessment methods, Build. Environ. 117 60–72.

130. E. E. Richman, (2012) Standard Measurement and Verification Plan for Lighting Retrofit Projects for Buildings and Building Sites, Richland.

131. S. Chraibi, L. Crommentuijn, E. Van Loenen, A. Rosemann, (2017) Influence of wall luminance and uniformity on preferred task illuminance, Build. Environ, pp. 33-67.

132. T. Kruisselbrink, M. Aries, A. Rosemann, (2017) A practical device for measuring the luminance distribution, Int. J. Sustain. Light 36, pp. 75–90.

133. K. Van Den Wymelenberg, M. Inanici, (2014) A critical investigation of common lighting design metrics for predicting human visual comfort in offices with daylight, Leukos 10, pp. 145–164.

134. R.J. Lucas, S.N. Peirson, D.M. Berson, T.M. Brown, H.M. Cooper, C.A. Czeisler,M.G. Figueiro, P.D. Gamlin, S.W. Lockley, J.B. O'Hagan, L.L.A. Price, I. Provencio,D.J. Skene, G.C. Brainard, (2014) Measuring and using light in the melanops in age,Trends Neurosci. 3 pp. 1–9.

135. S. Tang, V. Kalavally, K. Y. Ng and J. Parkkinen, (2017), "Development of a prototype smart home intelligent lighting control architecture using sensors onboard a mobile computing system", Energy Build, vol. 138, pp. 368-376.

136. C. Jarboe, J. Snyder, M.G. Figueiro, (2020) “The effectiveness of light-emitting diode lighting for providing circadian stimulus in office spaces while minimizing energy use”,Light. Res. Technol., vol. 52, no.2, pp. 167-188.

137. K. Konis, (2018) “Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylit and non-daylit spaces in dementia care facilities”, Build. Environ., vol. 135, pp. 112-123.

138. L. Bellia, A. Pedace, G. Barbato, (2014) “Indoor artificial lighting: Prediction of the circadian effects of different spectral power distributions”, Light. Res. Technol., vol. 46, no.6, pp. 650-660.

139. M.S. Rea, M.G. Figueiro, (2018) “Light as a circadian stimulus for architectural lighting”, Light. Res. Technol., vol. 50, no.4, pp. 497-510.

140. M.G. Figueiro, B. Steverson, J. Heerwagen, K. Kampschroer, C.M. Hunter, K. Gonzal es, B. Plitnick, M.S. Rea, (2017) “The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers”, Sleep Health, vol. 3, no.3, pp. 204-215.

141. S.F. Safranek, R.G. Davis, A.C. Irvin, (2018) “Evaluating Tunable Lighting in Classrooms: Trial LED lighting systems in three classrooms in the Folsom Cordova Unified School District”, PNNL-27806, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA.

142. Davis, R.G. and A. Wilkerson (2017). Tuning the Light in Classrooms: Evaluating Trial LED Lighting Systems in Three Classrooms at the Carrollton-Farmers Branch Independent School District in Carrollton, TX. PNNL-26812, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA.

143. Cai, W. J., J. G. Yue, Q. Dai, L. X. Hao, Y. Lin, W. Shi, Y. Y. Huang and M. C. Wei, (2018) “The impact of room surface reflectance on corneal illuminance and rule-of-thumb equations for circadian lighting design.” Building and Environment, vol 141, pp 288-297.

144. USGBC – U.S. Green Building Council (2019). LEED v4 for Building Design and Construction. https://www.usgbc.org/.

145. CHPS - Collaborative for High Performance Schools (2019). Core Criteria. https://chps.net/chps-criteria.

146. UL (2019). DG 24480. Design Guideline for Promoting Circadian Entrainment with Light for Day-Active People. Edition 1. Northbrook, IL.

147. J. Mardaljevic, M. Andersen, N. Roy, J. Christoffersen, (2014) “A framework for predicting the non-visual effects of daylight - Part 2: The simulation model”, Light. Res. Technol., vol. 46, pp. 388-406.

148. Q. Dai, W. Cai, L. Hao, W. Shi, (2018) “WangSpectral optimisation and a novel lighting-design space based on circadian stimulus”, Light. Res. Technol., vol.50, no.8, pp. 1198-1211.

149. D. Dilaura, K. Houser, R. Mistrick, G. Stetty, (2011) “The Lighting Handbook Reference and Application (10th ed.)”, The Illuminating Engineering Society, New York, NY.

150. R.J. Lucas, S.N. Peirson, D.M. Berson, T.M. Brown, H.M. Cooper, C.A. Czeisler, M.G. Figueiro, P.D. Gamlin, S.W. Lockley, J.B. O’Hagan, L.L.A. Price, I. Provencio, D.J. Skene, G.C. Brainard, (2014) “Measuring and using light in the melanopsin age”,Trends Neurosci, vol.37, no. 1, pp. 1-9.

151. CIE, S 026/E: (2018) “CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses toLight”, Commision, Vienna, Austria (2018), 10.25039/S026.2018.

152. Fitwel (2020). Fitwel v2.1 Scorecard for Workplace. https://www.fitwel.org/resources.

153. Y. Tyukhova, C. Waters, (2019) “Subjective and pupil responses to discomfort glare from small, high-luminance light sources”, Light. Res. Technol., vol.51, no. 4, pp. 592-611.

154. Z. Hamedani, E. Solgi, H. Skates, T. Hine, G. Isoardi, (August 13-14 2018) “Physiological Responses in Relation to Glare: A Case Study in Office Setting," Presented at the CIE Expert Tutorial and Workshops on Research Methods for Human Factors in Lighting, Copenhagen, Denmark.

155. M. Blanca, R. Alarcón, J. Arnau, R. Bono, R. Bendayan, (2017) “Non-normal data: is ANOVA still a valid option, Psicothema, vol. 29, no. 4, pp. 552-557.

156. M.S. Rea, (2018) “Lighting simply made better: providing a full range of benefits without much fuss”,Build. Environ., vol.144, pp. 57-65.

157. R. Hershman, A. Henik, N. Cohen, (2018) “A novel blink detection method based on pupillometry noise”, J. Behav. Res. Methods, vol.50, no. 1, pp. 107-114.

158. M.E. Kret, E.E. Sjak-Shie, (2019) “Preprocessing pupil size data: guidelines and code”,J. Behav. Res. Methods, vol. 51, no. 3, pp. 1336-1342.

159. A. Pandharipande, D. Caicedo, (April 2011) “Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing”, Energy & Buildings, 43, pp. 944-950.

160. D. Caicedo, A. Pandharipande, (March 2013), “Distributed illumination control with local sensing and actuation in networked lighting systems”, IEEE Sensors Journal, 13 pp. 1092-1104

161. Energy Information Administration, (2013) ‘Commercial Buildings Energy Consumption Survey’.

162. B. Roisin, M. Bodart, A. Deneyer, P.D. Herdt, (2018) “Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption”, Energy & Buildings, vol.40, no.4, pp. 514-523.

163. S. Tanaka, M. Miki, A. Amamiya, T. Hiroyasu, (2009) “An evolutional optimization algorithm to provide individual illuminance in workplaces”, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 941-947.

164. J.A. Veitch, G.R. Newsham, P.R. Boyce, C.C. Jones, (2018) “Lighting appraisal well-being and performance in open-plan offices: a linked mechanisms approach”, Lighting Research and Technology, vol.40, no.2, pp. 133-151.

165. EN 12464-1, European Committee for Standardization, (2011, June), “Light and lighting – lighting of work places – part 1: indoor work places”.

166. A. Pandharipande, D. Caicedo, (April 2011) “Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing”, Energy & Buildings, 43, pp. 944-950.

167. D. Caicedo, A. Pandharipande, G. Leus, (2010) “Occupancy based illumination control of LED lighting systems”, Lighting Research and Technology, 38 (4), pp. 358-376.

168. Y.-J. Wen, A.M. Agogino, (2011) “Personalized dynamic design of networked lighting for energy-efficiency in open-plan offices”,Energy & Buildings, vol. 43, no. 8, pp. 1919-1924.

169. L.-W. Yeh, C.-Y. Lu, C.-W. Kou, Y.-C. Tseng, C.-W. Yi, (2010) “Autonomous light control by wireless sensor and actuator networks”, IEEE Sensors Journal, 10, pp. 1029-1041.

170. Y.-W. Bai, Y.-T. Ku, (2018) “Automatic room light intensity detection and control using a microprocessor and light sensors”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 54, pp. 1173-1176.

171. M. Miki, A. Amamiya, T. Hiroyasu, (2007) “Distributed optimal control of lighting based on stochastic hill climbing method with variable neighborhood”, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 1676-1680.

172. N. K. Kandasamy, G. Karunagaran, C. Spanos, K. J. Tseng and B. H. Soong, (2018), "Smart lighting system using ANN-IMC for personalized lighting control and daylight harvesting", Build. Environ, vol. 139, pp. 170-180.

173. J. Williams and D. Cook, (2016), "Using time series techniques to forecast and analyze wake and sleep behavior".

174. J. Sun, Y. Ye, L. Chang, J. Jiang and X. Ji, (2017), "Sleep Monitoring Approach based on Belief Rule-Based Systems with Pulse Oxygen Saturation and Heart Rate", pp. 5-10.

175. P. A. Haigh, Z. Ghassemlooy, H. L. Minh, S. Rajbhandari, F. Arca, S. F. Tedde, et al., (Oct. 2012), "Exploiting equalization techniques for improving data rates in organic optoelectronic devices for visible light communications", J. Lightw. Technol., vol. 30, no. 19, pp. 3081-3088.

176. J. Vucic, C. Kottke, S. Nerreter, K. Habel, A. Buttner, K. D. Langer, et al., (2010), "230 Mbit/s via a wireless visible-light link based on OOK modulation of phosphorescent white LEDs", Proc. Opt. Fiber Commun./Nat. Fiber Opt. Eng. Conf., pp. 1-3.

177. M. Bahoura and P. Chan-Wang, (2011), "FPGA-implementation of high-speed MLP neural network", Proc. IEEE 18th Int. Conf. Electron. Circuits Syst., pp. 426-429.

178. Mohamed Er Rida et al., (2015), "Indoor Location Position Based on Bluetooth Signal Strength", International Conference on Information Science and Control Engineering IEEE, pp. 769-773.

179. Chouchang Yang and H. R. Shao, (2015), "WiFi-based indoor positioning", Communications Magazine IEEE, vol. 53, no. 3, pp. 150-157.

180. C. Yin et al., (2017). Energy-saving control strategy for lighting system based on multivariate extremum seeking with Newton algorithm. Energy Convers. Manag, pp. 96-115.

181. C. Yin et al., (2018), Design of optimal lighting control strategy based on multi-variable fractional-order extremum seeking method Inf. Sci, pp. 127-135.

182. Z. Ghassemlooy, L. N. Alves, S. Zvanovec and M-A. Khalighi, (June 2017), Visible Light Communications: Theory and Applications, CRC.

183. Naveed Ul Hassan et al., (2015), "Indoor Positioning Using Visible LED Lights:A Survey", Acm Computing Surveys, vol. 48, no. 2, pp. 1-32.

184. Huynh Phat and Y. Myungsik, (2016), "VLC-Based Positioning System for an Indoor Environment Using an Image Sensor and an Accelerometer Sensor", Sensors, vol. 16, no. 6.

185. Bangjiang Lin et al., (2017), "An Indoor Visible Light Positioning System Based on Optical Camera Communications", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 29, no. 7, pp. 579-582.

186. C. Yin et al., (2017), Energy-saving control strategy for lighting system based on multivariate extremum seeking with Newton algorithm Energy Convers. Manag, pp. 147-164.

187. C. Yin et al., (2018), Design of optimal lighting control strategy based on multi-variable fractional-order extremum seeking method Inf. Sci.

188. H. Rocha et al., (2016), Exterior lighting computer-automated design based on multi-criteria parallel evolutionary algorithm: optimized designs for illumination quality and energy efficiency. Expert Syst. Appl.

189. Y. Cui et al., (2017), Review: multi-objective optimization methods and application in energy saving, Energy, pp 89-111.

190. L.A. Mendes et al., (2017), Minimizing computational cost and energy demand of building lighting systems: a real time experiment using a modified competition over resources algorithm, Energy Build, pp. 156-183.

191. S. Papantoniou et al., (2015), Building optimization and control algorithms implemented in existing BEMS using a web based energy management and control system, Energy Build, pp. 178-181.

192. N. Delgarm et al., (2016), Multi-objective optimization of the building energy performance: a simulation-based approach by means of particle swarm optimization (PSO) Appl. Energy, pp 46-78.

193. F. N. Khan et al., (2017), "Joint OSNR monitoring and modulation format identification in digital coherent receivers using deep neural networks", Optics Express, vol. 25, no. 15, pp. 57-67.

194. Danshi Wang et al., (2015), "Nonlinear decision boundary created by a machine learning-based classifier to mitigate nonlinear phase noise", European Conference on Optical Communication IEEE, pp. 1-3.

195. Christian G. Schäeffer et al., (2016), "Machine Learning Techniques in Optical Communication", Journal of Lightwave Technology, vol. 34, no. 6, pp. 1442-1452.

196. Zhou Xing Yu, Wang Fu Cun, Cao Hong, (2010), Research and application of Multimedia CAI in Physical Education [J]. Beijing Sport University, (2): 246.

197. Wen Lan, (1999), Prospects for artificial intelligence in sports utility [J]. Physical Science and Technology of China, (7): 45-47.

198. Lin Ping. Yang Yun, Liu Hui, (2014), Analysis of applications of Modern educational technology in school sports in [J]. Capital Institute of Physical Education, (3) :61-62.

199. M.K Hassan, R Z Abdul Rahman, A.CHESOH, (31st December 2011) "Lightning Strike Mapping for Peninsular Malaysia using Artificial Intelligence Techniques," Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Vol. 34 No.2.

200. T. Baskan, (15-16 March 2018) "Philips Lighting for Healthcare", Philips Lighting, pp. 46-79.

201. G. Terekli, O. Özkan and G. Bayın, (2013) "Çevre Dostu Hastaneler: Hastaneden Yeşil Hastaneye", Ankara Sağlık Hizmetleri, vol. 12, no. 2, pp. 40-48.

202. T. Baskan, (March 2018), Designing People-Centric Hospitals Using Philips Lighting Solutions, İstanbul, Turkey.

203. M. Şahin, F. Bütüktümtürk and Y. Oğuz, (2013) Yapay Sinir Ağları İle Aydınlık Kalitesi Kontrolü, Afyon Kocatepe University Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, pp. 3-4.

204. N. K. Alang-Rashid and A. S. Heger, (1991) "Design of A Nuclear Reactor Cooperative Controller", Trans. 1991 ANS Winter Meeting, pp. 179-180.

205. J. Bernard, (1988) "Use of a Rule-Based System for Process Control", IEEE Control Systems Magazine, pp. 3-13.

206. B. Kosko, (1991), Neural Networks and Fuzzy Systems: ADynamical Systems Approach to Machine Intelligence, New Jersey: Prentice Hall.

207. W. H. Press, (1988), Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Cambridge: Cambridge University Press.

208. B. Kaur and R. K. Owusu, (2015), Inverse Problems and Data Fusion for Crop Production Applications Targeting Optimal Growth-Fertilization.

209. M. A. Abu and M. Y. Yacob, (2013), "Development and Simulation of an Agriculture Control System Using Fuzzy Logic Method and Visual Basic Environment", International Conference on Robotics Biomimetics Intelligent Computational Systems (Robıonetıcs), pp. 135-142.

210. A. Shastry, A, S. H. and A. M. Hegde, (2015), "A Parameter based ANFIS Model for crop yield prediction", IEEE International Advance Computing Conference (IACC), pp. 253-257.

211. F. Jawad, T. U. Choudhury, S. M. Sazed, S. Yasmin, K. I. Rishva, F. Tamanna, et al., (2016), "Analysis of Optimum Crop Cultivation Using Fuzzy System", ICIS. Okayama: IEEE.

212. N. K. Kandasamy, G. Karunagaran, C. Spanos, K. J. Tseng and B. H. Soong, (2018), "Smart lighting system using ANN-IMC for personalized lighting control and daylight harvesting", Build. Environ, vol. 139, pp. 170-180.

213. J. Armstrong, R. J. Green and M. D. Higgins, (May 2012), "Comparison of three receiver designs for optical wireless communications using white LEDs", IEEE Commun. Lett., vol. 16, no. 5, pp. 748-751.

214. A. Cavdar, (28-30 Sept. 2018), Artificial Neural Network Based Indoor Positioning in Visible Light Communication Systems 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey

215. Bangjiang Lin et al., (2017) "An Indoor Visible Light Positioning System Based on Optical Camera Communications", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 29, no. 7, pp. 579-582.

216. P. A. Haigh, Z. Ghassemlooy, and I. Papakonstantinou, (2013), "1. 4 Mb/s White Organic LED Transmission System using Discrete Multi-tone Modulation, " IEEE Photonics Technology Letters, vol. PP, pp. 1-1.

217. P. A. Haigh, Z. Ghassemlooy and I. Papakonstantinou, (Mar. 2013), "1.4-Mb/s white organic LED transmission system using discrete multitone modulation", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 25, pp. 615-618.

218. Guillermo Fuertes et al., (17-19 Oct. 2018), Adaptive equalization using artificial neural networks for a visible light communication system 2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA).

219. DL-Light, (May 29, 2018), Consultancy and Research for Natural and Artificial Lighting.

220. S. Bauer, Y. Alkhorshid and G. Wanielik, (2016), "Using high-definition maps for precise urban vehicle localization", IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Proceedings ITSC, pp. 492-497.

221. R. D. Jones, Y. C. Lee, C. W. Barnes, G. W. Flake, K. Lee, P. S. Lewis, et al., (1990-June-17-21), "Function Approximation and Time Series Prediction with Neural

Networks", Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, vol. 1, pp. 649-665.

222. P. A. Haigh, Z. Ghassemlooy, H. L. Minh, S. Rajbhandari, F. Arca, S. F. Tedde, O. Hayden, and I. Papakonstantinou, (Oct 1 2012), "Exploiting Equalization Techniques for Improving Data Rates in Organic Optoelectronic Devices for Visible Light Communications, " Journal of Lightwave Technology, vol. 30, pp. 3081-3088.

223. Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, (2012), Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling: CRC PressINC.

224. P. A. Haigh, Z. Ghassemlooy, and I. Papakonstantinou, (2013), "1. 4 Mb/s White Organic LED Transmission System using Discrete Multi-tone Modulation, " IEEE Photonics Technology Letters, vol. PP, pp. 1-1.

225. G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini and E. Ciaramella, (Dec. 2012), "3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED", Opt. Express, vol. 20, no. 26, pp. B501-B506.

226. P. A. Haigh, (Oct. 2012), "Exploiting equalization techniques for improving data rates in organic optoelectronic devices for visible light communications", J. Lightw. Technol., vol. 30, no. 19, pp. 3081-3088.

227. P. A. Haigh, Z. Ghassemlooy and I. Papakonstantinou, (Mar. 2013), "1.4-Mb/s white organic LED transmission system using discrete multitone modulation", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 25, pp. 615-618.

228. P. A. Haigh, Z. Ghassemlooy, S. Rajbhandari and I. Papakonstantinou, (2013), "Visible light communications using organic light emitting diodes", IEEE Commun. Mag, pp. 176-185.

229. F. Viani, A. Polo, F. Robol, E. Giarola, and A. Ferro, (Sep. 2016), ‘‘Experimental validation of a wireless distributed system for smart public lighting management,’’ in Proc. IEEE 2nd Int. Smart Cities Conf. (ISC2), pp. 1–6.

230. R. Matos, P. S. Paulo, R. Ribeiro, J. O. Nunes, and P. Valverde, (2016), ‘‘Smart led lighting systems implementation in Lisbon metropolitan area,’’ in Proc. CIRED Workshop.

231. E. R. Sanseverino, G. Scaccianoce, V. Vaccaro, G. Zizzo, and S. Pennisi, (Jun. 2015), ‘‘Smart city and public lighting,’’ in Proc. IEEE 15th Int. Conf. Environ. Elect. Eng. (EEEIC), pp. 665–670.

232. A. Del Corte-Valiente, J. L. Castillo-Sequera, A. Castillo-Martinez, J. M. Gómez-Pulido, and J.-M. Gutierrez-Martinez, (2017), ‘‘An artificial neural network for analyzing overall uniformity in outdoor lighting systems,’’ Energies, vol. 10, no. 2, p. 175.

233. A. Mosa, K. Kyamakya, M. Ali, and F. Al Machot, (2016), ‘‘Online self-adaptive cellular neural network architecture for robust time-series forecast’’.

234. B. W. Kim and S. Y. Jung, (2016), "Vehicle positioning scheme using V2V and V2I visible light communications", IEEE Vehicular Technology Conference.

235. M. Z. Afgani, H. Haas, H. Elgala and D. Knipp, (2016), "Visible light communication using OFDM", 2nd International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities Trıdentcom 2006, vol. 2006, pp. 129-134.

236. H. H. Heqing Huang, A. Y. Aiying Yang, L. F. Lihui Feng, G. N. Guoqiang Ni, P. Guo and P. Guo, (2017), "Artificial neural-network-based visible light positioning algorithm with a diffuse optical channel", Chinese Optics Letters, vol. 15, no. 5, pp. 050 601-50 605.

237. K. S. Narendra and K. Parthasarathy, (2010), "Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks", IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 1, no. 1, pp. 4-27.

238. J. G. Milton, A. Longtin, T. H. Kirkham and G. S. Francis, (2018), "Irregular Pupil Cycling as a Characteristic Abnormality in Patients with Demyelinative Optic Neuropathy", American Journal of Ophthalmology, vol. 105, pp. 402-407.

ÖZGEÇMİŞ

Ad : Farhad

Soyad : Abdullayev

Eğitim Bilgileri

2018, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı, İstanbul.

2012, Azerbaycan Devlet Petrol Akademisi, Otomosyon Mühendisliği Bölümü, Bakü.

Akademik Yayınlar

Abdullayev F., Kiyak İ., "Analysıs of Power Systems Used in Electric Vehicles", 10th İnternational Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education (ICOSRESSE), Roma, İtalya, 2019.

Abdullayev F., Kiyak İ., “Analysıs of Power Systems Used in Electric Vehicles”, Current Academic Research in Science and Engineering (Kitap Bölümü), Roma, İtalya, 2019.

Abdullayev F., Kiyak İ., “MIMO ANN to Daylight Harvested Hybrid Lighting Control for an Office Building”, İnternational Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES), Lviv, Ukrayna, 2020.