



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**İNSAN ODAKLI AYDINLATMANIN FARKLI
ORTAMLAR İÇİN İNCELENMESİ, İNSAN
ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE
PSİKOLOJİK ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ÖZGE MEMİŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi NAZMİ EKREN

EŞ-DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi SERTAÇ GÖRGÜLÜ

İSTANBUL, 2019

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Özge MEMİŞ'in "İnsan Odaklı Aydınlatmanın Farklı Ortamlar için İncelenmesi, İnsan Üzerindeki Fizyolojik ve Psikolojik Etkilerinin Araştırılması" başlıklı tez çalışması, 18 Haziran 2019 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

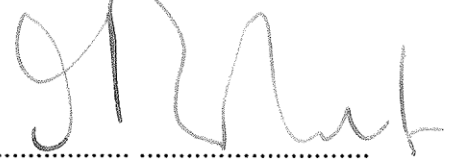
Dr. Öğr. Üyesi Nazmi EKREN (Danışman)

Marmara Üniversitesi



Prof. Dr. Bülent ORAL (Üye)

Marmara Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Süreyya KOCABEY (Üye)

Sağlık Bilimleri Üniversitesi

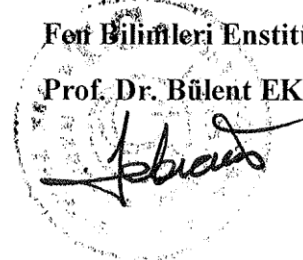


ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/06/2019 tarih ve 2019/3-22 sayılı kararı ile Özge MEMİŞ'in Elektrik Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında beni yönlendiren, her konuda yardımcı olup bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Nazmi EKREN'e sonsuz teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen anneme ve babama yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

HAZİRAN 2019

Özge MEMİŞ



İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Aydınlatmanın Kısa Tarihçesi	1
1.3 Aydınlatmanın Tanımı	3
1.4 Aydınlatmanın Amacı ve Sağladığı Yararlar	3
1.5 Aydınlatma Çeşitleri.....	4
1.5.1 Doğal aydınlatma	5
1.5.2 Yapay aydınlatma	6
1.5.3 İç aydınlatma	6
1.5.4 Dış aydınlatma	8
2.AYDINLATMA GENEL TERİMLERİ VE IŞIK KAYNAKLARI.....	9
2.1 Aydınlatma Genel Terimleri	9
2.1.1 Işık akısı.....	9
2.1.2 Işık şiddeti.....	9
2.1.3 Aydınlik düzeyi.....	9
2.1.4 Renk sıcaklığı	11
2.1.5 Işık rengi.....	12
2.1.6 Parıltı	13
2.1.7 Renksel geriverim	13
2.1.8 Etkinlik faktörü	14
2.1.9 Kamaşma	14
2.2 İç Ortamlarda Kullanılan Işık Kaynakları.....	15
2.2.1 Akkor flamanlı lambalar	17

2.2.2 Halojen lambalar	18
2.2.3 Kompakt floresan lambalar	18
2.2.4 Floresan lambalar	19
2.2.5 LED'ler	20
3.İŞIK VE İNSAN	26
3.1 Işık	26
3.2 Işığın Görsel Etkileri	28
3.2.1 Gözün fizyolojik yapısı	28
3.2.2 Görme ve algılama	31
3.2.3 Görsel konfor	32
3.2.4 Göz adaptasyonu	33
3.3 Işığın Görsel Olmayan Etkileri	33
3.3.1 ipRGC hücrelerinin keşfi.....	35
3.3.2 Işığın fizyolojik etkileri.....	36
3.3.3 Işığın psikolojik etkileri.....	38
3.3.4 Işığın performans üzerindeki etkileri	39
3.4 Sirkadiyen Ritim ve Biyolojik Saat	41
4.İNSAN ODAKLI AYDINLATMA	45
4.1 Işığın İnsanlar Üzerindeki Etkilerini İnceleyen Araştırmalar	48
4.2 İnsan Odaklı Aydınlatmanın Farklı İç Mekân Aydınlatma Uygulamaları için Değerlendirilmesi	55
4.2.1 Eğitim ortamlarında insan odaklı aydınlatma sistemleri	55
4.2.2 Sağlık hizmeti veren kuruluşlarda insan odaklı aydınlatma sistemleri	56
4.2.3 Ofis ortamlarında insan odaklı aydınlatma sistemleri	58
4.2.4 Endüstri kuruluşlarında insan odaklı aydınlatma sistemleri	59
5.SONUÇ	62
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

İNSAN ODAKLI AYDINLATMANIN FARKLI ORTAMLAR İÇİN İNCELENMESİ, İNSAN ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE PSİKOLOJİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Geçmiş zamanlarda insanlar vakitlerinin çoğunu dış ortamlarda ve güneş ışığı altında geçirmekteydi. Günümüzde ise insanlar vakitlerinin çoğunu ev, ofis, hastane, okul gibi kapalı ortamlarda ve yapay aydınlatma kaynaklarının oluşturduğu ışıklar altında geçirmektedir. Gün ışığı, güneşin konumundaki değişime göre gün içerisinde renk sıcaklığı, ışık şiddeti, ışık rengi gibi parametrelerde değişim gösterdiğinden dolayı dinamik yapılıdır. Buna karşın yapay aydınlatma kaynakları ile sağlanan ışık gün boyu sabittir. İnsan sirkadiyen ritmi ve buna bağlı biyolojik saati dünyanın aydınlık-karanlık döngüsü ile senkronizedir. Dolayısıyla kapalı ortamlarda maruz kalınan aydınlatmaya bağlı olarak sirkadiyen ritim bozulmaları oluşabilir.

Sirkadiyen ritim, beynin ön hipotalamusunda bulunan suprakiazmatik çekirdekte dahili bir biyolojik saat tarafından düzenlenir. Işık, biyolojik saati güneş gününe göre senkronize eden ana girdidir. Görme olayının gerçekleşmesini sağlayan ışık, aynı zamanda insan metabolizmasının fizyolojik ve psikolojik faaliyetleri için de son derece önemlidir. İnsan retinasında üçüncü bir fotoreseptör olan ipRGC (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells) hücrelerinin keşfi, ışığın görsel olmayan etkileriyle ilgili bilgiyi önemli ölçüde geliştirmiştir. Işık, biyolojik saat üzerinde hem akut hem de faz değiştiren bir etkiye sahip olabilir. Işık miktarı, ışık kaynağının spektral güç dağılımı, ışığa maruz kalma süresi, zamanlama, mekânsal dağılım, ışığa maruz kalma geçmişi gibi faktörler sirkadiyen ritme etki eden aydınlatma parametreleridir. Işık son yıllarda mühendisler, kronobiologlar ve sinirbilimciler tarafından araştırılan önemli bir konu haline gelmiştir.

İnsanların yaşam ve çalışma alanlarına güneş ışığının dinamik atmosferinin taşınması ve biyolojik saat ile sirkadiyen ritimlerinin bozulmasının önlenmesi amacıyla “**insan odaklı aydınlatma**” fikri doğmuştur. İnsan odaklı aydınlatma, gün ışığının psikolojik ve fizyolojik etkilerini elde etmek için uygulanan teknik yöntemler bütünüdür. Aydınlatma tasarımı ve uygulamalarında kullanılacak ışık parametreleri, ışığın görsel, biyolojik ve duygusal etkilerinin birleşimi şeklinde olmalıdır. İnsan odaklı aydınlatma, sağlık, refah

ve aydınlatma arasındaki bağlantıyı tanımlayan bir kavramdır. Tez çalışmasında bu kavrama ve konuyla ilgili diğer parametrelere yönelik akademik bir literatür taraması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsan Odaklı Aydınlatma, ipRGC Hücreleri, Sirkadiyen Ritim, Biyolojik Saat, Işık, Aydınlatma, Işığın Fizyolojik Etkileri, Işığın Psikolojik Etkileri, Işığın Performans Üzerindeki Etkileri, Farklı Ortamlar için İnsan Odaklı Aydınlatma

HAZİRAN 2019

Özge MEMİŞ



ABSTRACT

EXAMINATION OF HUMAN CENTRIC LIGHTING PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL EFFECTS OF AT DIFFERENT ENVIROMENTS

In the past, people have spent most of their time in an outdoors and in the sunlight. Nowadays, people spend most of their time in an indoors such as home, office, hospital, school and under the lights of artificial lighting sources. Daylight is dynamic due to changes in parameters such as color temperature, light intensity, light color during the day according to the change in the position of the sun. In contrast, the light provided by artificial lighting sources is constant throughout the day. The human circadian rhythm and its associated biological clock are synchronized with the light-dark cycle of the world. Therefore, the circadian rhythm may be deteriorated due to the lighting that is exposed in closed environments.

Circadian rhythm is regulated by an internal biological clock in the suprachiasmatic nucleus in the anterior hypothalamus of the brain. Light is the main input that synchronizes the biological time with the sun day. The light that enables the visual event to take place is also very important for the physiological and psychological activities of human metabolism. The discovery of ipRGC cells (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells), a third photoreceptor in the human retina, has significantly improved the knowledge of the non-visual effects of light. The light may have both an acute and a phase-changing effect on the biological clock. Factors such as the amount of light, spectral power distribution of the light source, light exposure time, timing, spatial distribution, light exposure history are the lighting parameters that affect the circadian rhythm. Light has become an important topic explored in recent years by engineers, chronobiologists and neuroscientists.

The idea of **human centric lighting** emerged in order to create a dynamic atmosphere of sunlight in people's life and working areas and to prevent the deterioration of the biological clock and circadian rhythms. Human centric lighting is a set of technical methods to achieve the psychological and physiological effects of daylight. The light parameters to be used in lighting design and applications should be a combination of visual, biological and emotional effects of light. Human centric lighting is a concept that defines the connection between health, wellbeing and illumination. In the thesis study, an

academic literature review was made for this concept and other related parameters.

Keywords: Human Centric Lighting, ipRGC Cells, Circadian Rhythm, Biological Clock, Light, Lighting, Physiological Effects of Light, Psychological Effects of Light, Effects of Light on Performance, Human Centric Lighting for Different Environments

JUNE 2019

Özge MEMİŞ



KISALTMALAR

AB	: Alçak Basınç
CCT	: Correlated Color Temperature – İlişkili Renk Sıcaklığı
CIE	: Commission Internationale de l’Eclairage - Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
CRI	: Color Rendering Index – Renksel Geriverim İndeksi
EEG	: Elektroensefalografi
EKG	: Elektrokardiyogram – Kalp akım grafiği
IOT	: Internet of Things – Nesnelerin İnterneti
ipRGC	: Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells – Işığa Duyarlı Retina Ganglion Hücreleri
K	: Kelvin
LED	: Light Emitting Diode – Işık Yayan Diyot
MÖ	: Milattan Önce
PWM	: Pulse Width Modulation – Sinyal Genişlik Modülasyonu
SAD	: Seasonal Affective Disorder – Mevsimsel Duygusal Bozukluk
SCN	: SupraChiasmatic Nuclei – Suprakiazmatik Çekirdek
UV	: Ultraviolet - Morötesi
YB	: Yüksek Basınç
WHO	: World Health Organization – Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİL LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 1.1. Aydınlatma türleri şeması.....	5
Şekil 1.2. Doğal aydınlatma örneği	6
Şekil 1.3. Doğal aydınlatma örneği yapay aydınlatma örneği	6
Şekil 1.4. Işık kaynağında üretilen ışığın ortama dağılıma biçimleri.....	8
Şekil 2.1. Farklı renk sıcaklığı değerleri ışık kaynağında görünümü	11
Şekil 2.2. Siyah cisim ışımasının CIE renk uzayındaki yeri	12
Şekil 2.3. Direk ve yansımali parıltının meydana gelmesi.....	13
Şekil 2.4. Farklı renksel geriverim endekslerinde görüntü farkı	14
Şekil 2.5. Işık kaynakları şeması	16
Şekil 2.6. Akkor flamanlı lambanın aydınlatma şekli	18
Şekil 2.7. Floresan çalışma prensibi (a) filamentlerin ısınması, (b) ışık yayması.....	20
Şekil 2.8. LED'in ışık yayma prensibi ve yapısı	20
Şekil 2.9. Örnek bir LED çipi yapısı	21
Şekil 2.10. Farklı yarıiletken malzemeler için baskın dalga boyları ve CIE renk uzayındaki koordinatları.....	22
Şekil 2.11. Kırmızı, yeşil ve mavi renklerin karışımıyla beyaz ışık oluşumu	22
Şekil 2.12. Kısa dalga boyunda ışık saçan bir LED'in fosfor ile kaplanarak beyaz ışık eldesi	23
Şekil 2.13. Farklı sürme akımları için jonksiyon sıcaklığına bağlı ömür tahmini	24
Şekil 2.14. PWM kullanarak LED parlaklığını kontrol edilmesi	24
Şekil 3.1. Işığın insan işleyişi üzerindeki potansiyel etkisi için farklı rotaların şematik genel görünümü	26
Şekil 3.2. Elektromanyetik spektrum ve görünür ışık	27
Şekil 3.3. Gözün yapısı	28
Şekil 3.4. Retina yapısı	30
Şekil 3.5. Görme olayı	30
Şekil 3.6. İnsan gözü için spektral hassasiyet eğrileri	32
Şekil 3.7. Gözün ışıklılık adaptasyonu	33
Şekil 3.8. Işığın, görsel ve görsel olmayan etkileri.....	34
Şekil 3.9. ipRGC hücrelerinin çalışması	35
Şekil 3.10. Gün ışığı koşulları altında ($v(\lambda)$), gece vakti ($v'(\lambda)$) ve sirkadiyen etkiler için ($c(\lambda)$) spektral hassasiyet eğrileri	36
Şekil 3.11. 24 saatlik periyotta melatonin hormonu üretimi.....	37
Şekil 3.12. Mevsimsel depresyona bağlı kişilerde oluşan değişiklikler	39
Şekil 3.13. Aydınlatma şartlarının görme, sirkadiyen ve algısal sistem aracılığıyla performansla olan etkilerini gösteren şema.....	40
Şekil 3.14. Sirkadiyen ritim döngüsü.....	41
Şekil 3.15. Güneş ışığının insan metabolizmasına etkisiyle kortizol ve melatonin düzeylerindeki değişim	42

Şekil 3.16. 2x24 saat boyunca dünyanın aydınlık-karanlık döngüsünde insanlarda uyanıklık, vücut ısısı ve melatonin, kortizol hormonlarının ritimleri	43
Şekil 4.1. Güneşin konumuna bağlı olarak gün boyunca değişen renk sıcaklığını ve parlaklığı gösteren fotoğraf çalışması	45
Şekil 4.2. İnsan odaklı aydınlatma kavramı	46
Şekil 4.3. Günün farklı saatlerinde güneş ışığındaki renk sıcaklığı ve parlaklık değişimi	47
Şekil 4.4. Işığın görsel, görsel olmayan ve psikolojik sisteme olan etkileri	48
Şekil 4.5. (a) EEG grafiklerinde 450 lux ve 1700 lux aydınlatma seviyelerinde Delta aktivitesi, (b) Gece yarısından sonraki çalışma saatlerinde 250 lux ve 2800 lux için uyanıklık ve ruh halini ifade eden uyarılma seviyesi	49
Şekil 4.6. Uyandırma Teorisi'ne göre uyarılma ve performans arasındaki ilişki.....	50
Şekil 4.7. Deneklere uygulanan ışık senaryolarının zamana göre grafiği.....	51
Şekil 4.8. Deneklerin ışık senaryolarına göre belirlenen hareketlilik-zaman grafiği ..	51
Şekil 4.9. Deneklerin ışık senaryolarına göre belirlenen vücut sıcaklığı-zaman grafiği	52
Şekil 4.10. Deneklerin ışık durumlarına göre karmaşık sorulara verdikleri doğru cevap yüzdeleri	52
Şekil 4.11. Sadece yapay ışık altında ve yapay ile gün ışığının kombinasyonu altında çalışan bir grup işçinin stres düzeyleri	53
Şekil 4.12. Geceleri artan ışık seviyelerine bağlı sıçanlarda tümörlerindeki büyüme artışı	54
Şekil 4.13. Eğitim ortamında uygulanmış insan odaklı aydınlatma sisteminin farklı renk sıcaklıklarındaki görünümleri.....	56
Şekil 4.14. Hastane odasında uygulanmış bir insan odaklı aydınlatma çalışmasının günün farklı saatlerindeki görünümleri	57
Şekil 4.15. Ofis ortamında uygulanmış bir insan odaklı aydınlatma çalışmasının günün farklı saatlerindeki görünümleri	59
Şekil 4.16. Gündüz vardiyası ışık döngüsü	60
Şekil 4.17. Gece vardiyası ışık döngüsü	61

TABLO LİSTESİ

	SAYFA
Tablo 1.1 Aydınlatma şeklini belirleyen ışık akısı oranları.....	8
Tablo 2.1. Kullanım ortamına göre gereken en düşük aydınlık seviyeleri.....	10
Tablo 2.2. Farklı ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri	14
Tablo 2.3. Çalışma alanı ve işin niteliğine göre en yüksek kamaşma indeksi değerleri	15
Tablo 2.4. Işık kaynaklarının çeşitli özelliklere göre karşılaştırılması	17
Tablo 3.1. Gün içindeki biyolojik saat etkinlikleri.....	44



1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Aydınlatma tasarımı ve uygulamalarında kullanılacak ışık parametreleri ışığın görsel, biyolojik ve duygusal etkilerinin birleşimi şeklinde olmalıdır. İnsan odaklı aydınlatma, gün ışığının sağladığı psikolojik ve fizyolojik etkileri elde etmek amacıyla uygulanan teknik yöntemler bütünüdür. Çalışmada ışık, ışığın insan fizyolojisi, psikolojisi ve performansına olan etkileri incelenmiştir. Işığın görsel etkilerinin yanı sıra görsel olmayan etkileri ve ışık ile sirkadiyen ritim arasındaki bağlantı araştırılmıştır. İnsan odaklı aydınlatma kavramı ve farklı ortamlarda insan odaklı aydınlatma uygulamalarının kullanılmasının sağlayacağı avantajlar ile insan üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada insan odaklı aydınlatma kavramına ve bu kavrama etki eden ilgili diğer parametrelere yönelik akademik bir literatür taraması yapılmıştır.

1.2 Aydınlatmanın Kısa Tarihçesi

Geçmişten günümüze teknolojiye ki gelişmelere bağlı olarak aydınlatma alanında pek çok önemli gelişme yaşanmıştır. Günümüzde yaşam şartlarının gelişmesi ile aydınlatma zorunlu bir ihtiyaç olmanın yanında insan sağlığına ve psikolojisine olan etkileri ile ön plana çıkmaktadır. Tarih öncesi zamanlarda gün ışığı ve ay ışığı gibi doğal ışık kaynaklarıyla aydınlık sağlayan insanoğlu, milattan önce (MÖ) ateşi keşfetmiştir. Tarihte ki ilk yapay ışık kaynağı olan ateşin, yapay aydınlatma kaynağı olarak kullanılmasıyla doğal ışık kaynaklarının sınırlayıcı etkisi belli ölçüde azalmıştır [1]. Ardından insanlar mağarada barınmaya başlamışlar ve yaktıkları ateşi mağaralarında ısı ve ışık kaynağı olarak kullanmışlardır. Fakat yanan ateşin devamlılığını sağlamak önemli bir sorun olmuştur [2]. Hayvan yağının ateş üzerinde tuttuğunun fark edilmesiyle balçık ve taştan yapılan hazneye sahip yağ lambaları kullanılmaya başlanmıştır. Böylece ateşin başında aydınlanmanın bir adım ötesine geçilerek ateşin taşınabileceği kandil, meşale, gazyağı ve mum gibi aydınlatma araçları yapılmıştır. Bu aydınlatma kaynakları insanların günlük eylemlerine yüzyıllarca ışık tutmuştur [3].

Bunlarla sınırlı kalmayan insanoğlu elektriğin keşfi ile aydınlatma alanında büyük ilerlemeler kaydetmiştir. H. Goebel tarafından 1854 yılında icat edilen akkor flamanlı lamba, o yıllarda yeterli elektrik kaynağı olmaması sebebiyle kullanılamamış ve

unutulmuştur. Sonraki yıllarda W. Siemens'in dinamoyu keşfetmesi ve T.A.Edison'un 1879 yılında karbon tellerin elektrik akımı ile ısınmasının ışık yaydığını göreyerek akkor flamanlı lambayı yeniden icat etmesiyle birlikte aydınlatma için yeni bir dönem başlamıştır. İlk akkor flamanlı lambaların içlerinde bulunan flamanların kısa sürede eskimesinden dolayı kısa ömürleri, ilerleyen süreçler de cam ampullerin vakumlanması ve kararlı gazların eklenmesi ile uzatılmıştır [4].

İlerleyen yıllarda floresan lambanın keşfi ile günümüzdeki aydınlatmanın temelleri oluşmaya başlamıştır. 1937 de ilk defa floresan lamba New York Dünya Fuarı'nda görücüye çıkartılmıştır. Floresan lambalar 20.yüzyılda yaygın olarak kullanılmıştır. Bu süreç içerisinde ışık kaynaklarının yanı sıra reflektörler, besleme devreleri ve duyu gibi malzemelerde geliştirilmiştir. Aydınlatmada "mühendislik tasarımı" kavramı önem kazanmıştır [4].

LED'in ışık yayma prensibi, H.J.Round tarafından 1907 yılında bulunan elektroluminesans kavramına dayanır. Round, yaptığı çalışmada silisyum karbür (SiC) üzerinden akım akıtarak sarı ışık elde etmiştir. 1927 yılında bir radyo teknisyeni olan O. Vladimirovich.Losev, radyo alıcılarında bulunan diyotların ışık yaydığı fark etmiş ve bir Rus gazetesinde LED ile ilgili keşfini yayınlamıştır. 1962 yılında Nick Holonyak tarafından pratik kullanıma uygun LED'ler galyum, arsenik ve fosfor (GaAsP) kullanılarak üretilmiştir [5]. İlerleyen süreçlerde LED'li ışık kaynakları geliştirilmiştir. Genel aydınlatma uygulamalarında beyaz ışık ve yüksek akıllara ihtiyaç olmasından dolayı kullanımları 2000'li yıllarda ancak yaygınlaşmaya başlamış ve gelişimleri hız kazanmıştır. Günümüzde pek çok alanda aydınlatma uygulamalarında LED ışık kaynakları tercih edilmektedir ve sektörde belli bir pazar payına sahiptir [6].

İlk başlarda ışık kaynakları sadece nesnelerin görünmesini sağlamak amacıyla kullanılsa da günümüzde pek çok alanda işlev kazanmıştır [2]. Zaman içerisinde aydınlatma ile ilgili ölçme yöntemleri, hesap yöntemleri geliştirilmiş ve aydınlatmada niceliğin yanında nitelik kavramı da önem kazanmıştır [1]. Günümüzde farklı ortamlar için yapılan aydınlatma uygulamalarında ortam için en uygun ve düşük maliyetli aydınlatma tasarımı gerçekleştirilmenin yanı sıra yapılacak olan aydınlatma tasarımının insan fizyolojisi ve psikolojisine olan etkileri ve sanatsal boyutu da önem kazanmıştır [4].

1.3 Aydınlatma Tanımı

Bir ışık kaynağı aracılığıyla bir ortamın ve ortamdaki nesnelerin görünürlüğünün sağlanması “aydınlatma” olarak tanımlanır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu’nun (CIE) yapmış olduğu tanımda aydınlatma için “nesnelerin ve çevrenin gereği gibi görülmesini sağlamak maksadıyla ışık uygulamak” şeklinde ifade edilmiştir. Bu tanımda bahsedilen nesnelerin ve çevrenin gereği gibi görülmesini sağlamak ifadesi aydınlatmanın nicelik ve nitelik boyutu ile ilişkilidir. Aydınlatmada nicelik ve nitelik kavramları birbirini tamamlamak zorundadır [7].

Gereken aydınlık seviyesinin sayısal olarak hesaplanması aydınlatmanın nicelik kavramının konusudur. Bu sayısal hesaplamalar yapılırken aydınlatma biçimleri, aydınlatma düzenekleri, aydınlatma aygıtları, ortam koşulları, ortamda bulunacak kişilerin özellikleri, çalışma süreleri ve ortamın nasıl bir amaca hizmet edeceği gibi parametreler sorgulanır [8].

Işığın doğrultusu, ışığın rengi, ortamın aydınlık seviyesine göre ortamda oluşan gölgeler ve bu gölgelerin sertliği-yumuşaklığı gibi konular aydınlatmanın niteliği kavramının konusudur. Örnek olarak değişik biçimli, girintilere sahip bir nesnenin algılanması için ortamdaki ışık seviyesinin azlık çokluğundan ziyade ışığın nesneye geliş doğrultusu önemlidir [2]. Aydınlatma bilimi; kişilerin temel seviyede görme ihtiyacını gideren, ışığın üretilmesi alanıyla ilgilenen ve ışığın kaynağından dağılımının kontrolünü sağlayan, görme konforunun ekonomik ve verimli olarak sağlanması ile ilgilidir [4].

1.4 Aydınlatmanın Amacı ve Sağladığı Yararlar

Aydınlatmada temel amaç ışık kaynağının aydınlattığı nesnelerin ve ortamların görünürlüğünü sağlamaktır. Görünürlük, ışık enerjisi kullanılarak sağlanır. Görsel olarak dış dünyayı algılamamızı sağlayan araç ışıktır. Görme olayı, bireylerin günlük yaşantılarında ki faaliyetleri üzerinde önemli rol oynar [8].

Işık olmadan hiçbir ortam, nesne, biçim, renk ve doku görülemez. Işık kaynakları iç mekanların canlılığını sağlayan önemli araçlardır [9]. Aydınlatma uygulamalarında iç mekan aydınlatılarak içindeki nesnelerin görünürlüklerinin sağlanması ilk amaç olsa da ortamı kullanacak olan kişilerin rahatlıkla, ihtiyaç duydukları hızda ve hatasız olarak mekan içindeki işlerini yerine getirmelerinin sağlanması önemlidir [2].

Belirli seviyede aydınlık düzeyi elde etmenin yanında görsel konforun iyileştirilmesi ile

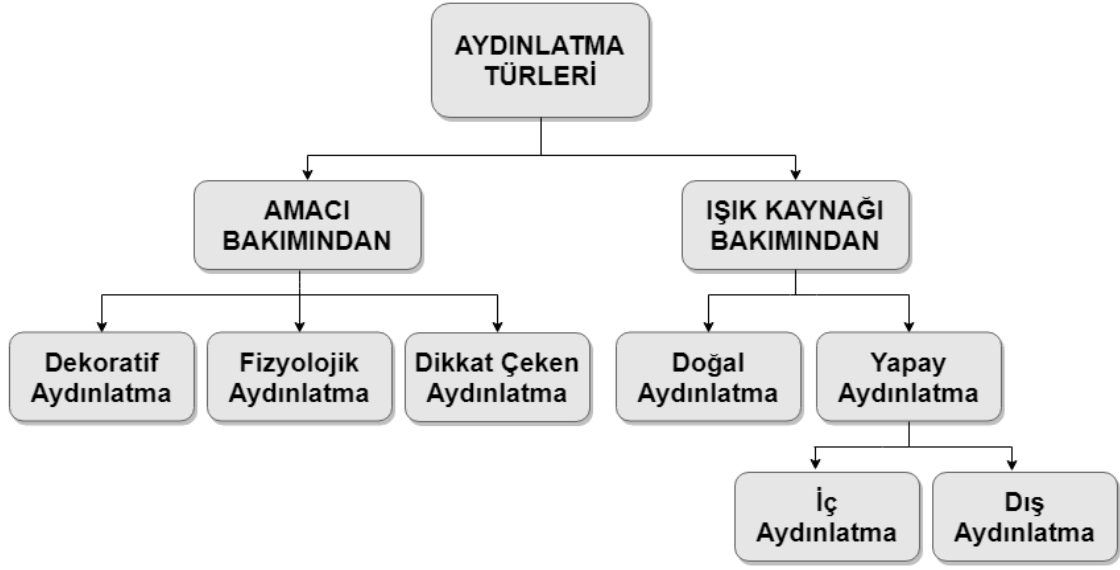
göz, ruh, motivasyon ve estetik gibi parametreler arasındaki uyumun sağlanması iyi bir aydınlatmanın amacı olmalıdır. Sağlık, duyu, algı ve eylemler aydınlatmadan etkilenir. Aydınlatma tasarımına başlanmadan önce ortam iyi analiz edilmeli ve ortamın işlevine göre aydınlatma amacı belirlenmelidir [10].

Ortamların amacına uygun olarak aydınlatılması; görsel performansı, iş performansını ve insanlar arasındaki ilişkileri destekler. Yetersiz ve uygun olmayan aydınlatmanın bulunduğu ortamlar ise görsel performansın ve iş performansının düşmesine, ışık kirliliğine, sağlık problemlerinin ortaya çıkmasına ve konforsuzluğa neden olur [2]. Bu tarz olumsuzlukların olmaması için aydınlatma tekniği ilkelerine uygun tasarımlar yapılmalıdır. Bu nedenle aydınlatmanın amacına uygun yapılması son derece önemlidir. Enerji tüketimi ve maliyet yönünden verimliliğin sağlanması, görsel performansın artırılması ve görme koşullarının iyileştirilmesi gibi örnekler aydınlatmanın amaçlarından sadece birkaçıdır [9].

İyi bir aydınlatma tasarımı; göz sağlığının korunması, gözün görme yeteneğinin artması, yapılan iş veriminin artması ve iş kazalarının azalması, güvenliğin sağlanması, ticaretle işlem kapasitesinin artması, sanayide verimliliğin artması, estetik ve konfor gereksinimlerinin sağlanması gibi yararlar sağlar [10].

1.5 Aydınlatma Çeşitleri

Aydınlatma amacına göre; dekoratif aydınlatma, fizyolojik aydınlatma, dikkat çeken aydınlatma olarak üçe, ışık kaynağına göre; yapay ve doğal aydınlatma olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Yapay aydınlatmada kendi içinde iç ve dış aydınlatma olmak üzere iki grupta incelenir. Şekil 1’de aydınlatma türleri hiyerarşik düzende gösterilmiştir [11].



Şekil 1.1. Aydınlatma türleri şeması [3]

1.5.1 Doğal aydınlatma

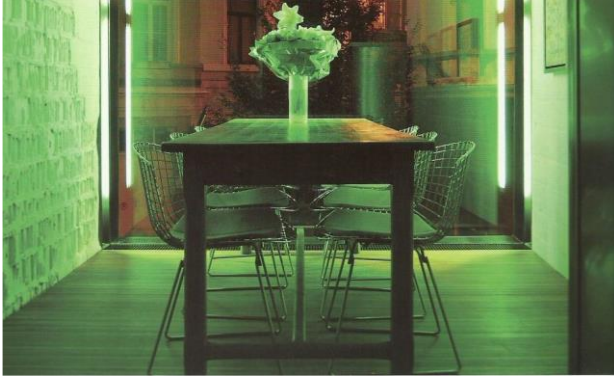
Gün ışığı ile yapılan aydınlatma doğal aydınlatma olarak adlandırılır. Doğal aydınlatmanın temeli güneşten gelen ışığa dayanır. Bu sebeple doğal aydınlatma mevsim, iklim, gökyüzü şartları ve güneşe göre devamlı değişkenlik gösterir. Örneğin tan vaktinde 500 lx olan aydınlık düzeyi öğle vaktinde 100.000 lx civarı ölçülür [11]. Yapay ışıktan farklı olarak gün ışığı; dinamik yapısı, yoğunluğu ve ortaya çıkardığı renkler ile sınırsız bir ışık çeşitliliği oluşturur. Dinamik yapıya sahip gün ışığı bu özelliği ile insan doğası ile çok uyumludur [2]. Gün ışığı kullanılarak yapılan doğal aydınlatma binalardaki dış cephe, kapı ve pencere gibi boşluklar aracılığıyla yapılır. Gün ışığının bina içine en uygun biçimde dağıtılmasını hedefler [1]. Yapay aydınlatma sistemleriyle birlikte gün ışığından faydalanılması aydınlatma tasarımı yapılan ortam için ekonomik fayda sağlamanın yanında ortamda bulunacak insanların ruh ve beden sağlığı açısından da oldukça faydalıdır [9].



Şekil 1.2. Doğal aydınlatma örneği [2]

1.5.2 Yapay aydınlatma

Doğal aydınlatmanın yetersiz olduğu veya istenmediği durumlarda, insanların aydınlatma ihtiyaçlarını gidermek için yaptıkları yapay ışık kaynakları kullanılarak ve enerji tüketilerek yapılan aydınlatma, yapay aydınlatma olarak tanımlanır [1]. Akkor flamanlı lamba, floresan lamba, LED'li ışık kaynakları ve buna benzer aydınlatma aygıtları kullanılarak yapay aydınlatma tasarımları yapılabilir [11]. Yapay aydınlatma, doğal aydınlatmanın tam tersine istenilen yerde ve zamanda, istenilen düzeyde, istenilen nitelikte kullanılabilir [2].



Şekil 1.3. Yapay aydınlatma örneği [2]

1.5.3 İç aydınlatma

Kapalı mekan aydınlatması olarak tanımlanabilir. Bu tür aydınlatma uygulamalarında çalışma düzlemine, duvarlar ve tavan yansıtma yolu ile ışık gönderir. Böylece çalışma

düzlemi aydınlatılır [8]. Ofis, okul, hastane, ev, gösteri merkezi, endüstriyel kurumlar vb. yerlerin aydınlatılması iç aydınlatma sınıfına girer [9].

Işığın yönlendirilmesine göre iç aydınlatma; dolaysız, yarı dolaysız, karma, yarı dolaylı ve dolaylı aydınlatma olarak beş grupta incelenir [7].

Işık kaynağından çıkan ışık akısının %90-%100 arası bir oranda aydınlatılmak istenen yüzeye yollanması **dolaysız aydınlatma sistemi** olarak tanımlanır. Spot aydınlatması bu aydınlatma sistemine örnek olarak verilebilir. Bekleme salonları, açık ofis düzeninde kamu hizmeti veren yerler, hastane koridorları gibi insan kalabalığının fazla olduğu ortamların aydınlatılmasında dolaysız aydınlatma tercih edilir. Bunun nedeni en az maliyet ile istenilen aydınlık düzeyinin sağlanmasıdır.

Işık kaynağından çıkan ışık akısının %60-%90 arası bir oranda aydınlatılmak istenen yüzeye yollanması **yarı-dolaysız aydınlatma sistemi** olarak tanımlanır. Tavan aydınlatması bu aydınlatma sistemine örnek olarak verilebilir.

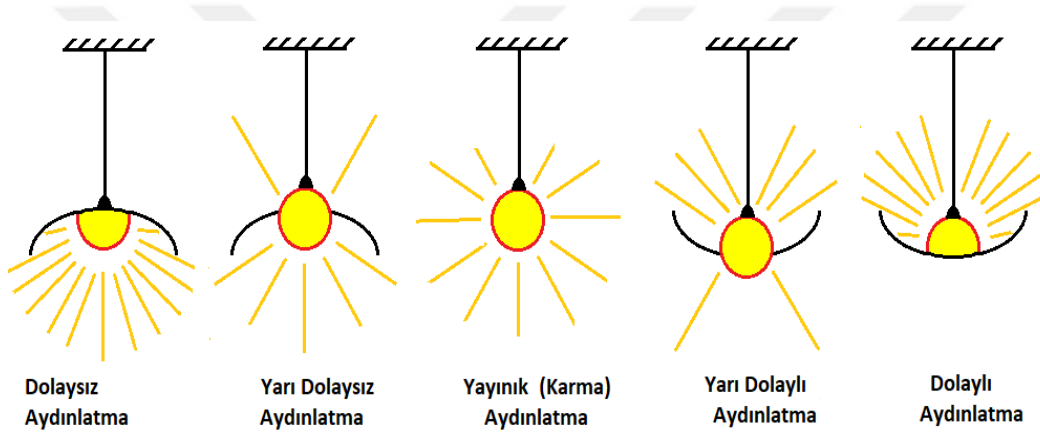
Işık kaynağından çıkan ışık akısının %40-%60 arası bir oranda aydınlatılmak istenen yüzeye yollanması **karma aydınlatma sistemi** olarak tanımlanır. Duvar ve tavan yansıtıcıları ile yapılan uygulamalar bu aydınlatma sistemine örnek olarak verilebilir.

Işık kaynağından çıkan ışık akısının %10-%40 arası bir oranda aydınlatılmak istenen yüzeye yollanması **yarı-dolaylı aydınlatma sistemi** olarak tanımlanır. Ortamın loş olması isteniyorsa bu aydınlatma sistemleri kullanılabilir.

Işık kaynağından çıkan ışık akısının %0-%10 arası bir oranda aydınlatılmak istenen yüzeye yollanması **dolaylı aydınlatma sistemi** olarak tanımlanır. Bu aydınlatma sisteminin kullanılacağı ortamlar duvar ve tavan renkleri önemlidir. Genellikle yansıtma faktörünün yüksek olduğu mekanlar da kullanılması tercih edilir [9].

Tablo 1.1. Aydınlatma şeklini belirleyen ışık akısı oranları [12]

Aydınlatma Biçimleri	Dağılım Oranları (%)	
	Tavana Doğru	Çalışma Alanına Doğru
Dolaysız Aydınlatma	0-10	100-90
Yarı Dolaysız Aydınlatma	10-40	90-60
Karma Aydınlatma	40-60	60-40
Yarı Dolaylı Aydınlatma	60-90	40-10
Dolaylı Aydınlatma	90-100	10-0



Şekil 1.4. Işık kaynağında üretilen ışığın ortama dağılıma biçimleri [3]

1.5.4 Dış aydınlatma

Açık alanların aydınlatılması dış aydınlatma olarak tanımlanabilir. Aydınlatma aygıtlarından gelen dolaysız ışık tarafından aydınlatılmak istenen yüzey aydınlatılır. Tünel, yol, rıhtım, spor sahaları, şehir meydanları, bina yüzeyleri vb. yerlerin aydınlatılması dış aydınlatma sınıfına girer [8].

2. AYDINLATMA GENEL TERİMLERİ VE IŞIK KAYNAKLARI

2.1 Aydınlatma İle İlgili Terimler

Aydınlatma tasarımında hesaplama, ölçme ve değerlendirmelerde kullanılmak üzere aşağıda açıklanan terimler kabul edilmiştir [8].

2.1.1 Işık akısı (Φ)

Işık akısı, ışık kaynağından bir saniye boyunca etrafa yayılan ışın akısı enerjisi olarak tanımlanır [13]. Kısaca birim yüzeye dik düşen ışık miktarı da denilebilir. Işık akısı sembolü Φ şeklinde gösterilir [10]. Işık akısı birimi “lümen(lm)” dir [7]. Işık şiddeti ve ışık akısı arasında bağıntı $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \times 1 \text{ steradyan}$ şeklinde formüle edilmiştir [14].

2.1.2 Işık şiddeti (I)

Işık şiddeti, ışık kaynağının belirli yönde bir uzay açıda(steradyan) yaydığı ışık akısı yoğunluğu olarak tanımlanır [13]. Işık şiddeti sembolü “I” ile gösterilir [7]. Işık şiddeti birimi “Candela (cd)” dir [10]. 1 mum 1,02cd olarak belirlenmiştir. Bir uzay açıda yayılan ışık akısı, ışık şiddetini verir. W katı açısının birimi olan steradyanı gösterir [14].

$$I \text{ (cd)} = \Phi \text{ (lm)} / W \text{ (sr)} \quad [13]$$

2.1.3 Aydınlık düzeyi (E)

Birim yüzeye düşen ışık akısı miktarı aydınlık düzeyi olarak tanımlanır [7]. Işık kaynağından çıkan ışık akısının, düştüğü yüzeyin alanına bölünmesi ile aydınlık düzeyi bulunur [9]. Aydınlik düzeyinin sembolü “E” ile gösterilir [10]. Aydınlik düzeyi birimi “lüks”tür [14].

$$\text{Aydınlik düzeyi (lüks)} = \text{Işık akısı(lm)} / \text{alan(m}^2\text{)} \quad [13]$$

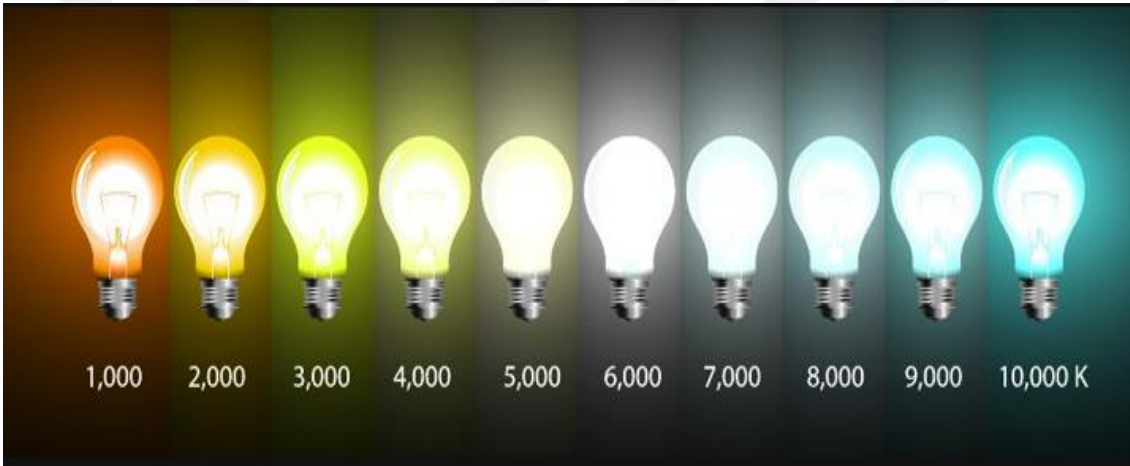
Ortamdaki aydınlık düzeyine bağlı olarak gözün görme kabiliyeti değişim gösterir. Bir nesnenin çeşitli noktalarının ayırt edilebilmesi, önemli görme kabiliyetlerinden biri olan görüş keskinliğine bağlıdır. Görüş keskinliği, görülebilecek nesnelerin parlıtlarına yani aydınlık düzeylerine bağlı olarak değişir. Aydınlik düzeyi ile görüş keskinliği doğrudan ilişkilidir. Kişilerin yaptıkları işlerin süreleri, görme hızıyla ilişkilidir. Dolayısıyla aydınlık seviyesi yükseltılarak görme için harcanan zaman kısaltılabilir. Tablo 2.1.’de kullanım ortamına göre gereken en düşük aydınlık seviyeleri gösterilmiştir [9].

Tablo 2.1. Kullanım ortamına göre gereken en düşük aydınlık seviyeleri [11]

OFİSLER	AYDINLIK DÜZEYİ
Genel Ofis Alanları	500 lx
Açık Ofisler	750 lx
Çizim Yapılan Ofisler	1000 lx
Bekleme Salonları	200 lx
Bilgi İşlem Merkezleri	300 lx
ALIŞVERİŞ MERKEZLERİ	AYDINLIK DÜZEYİ
Self servis mağazaları ve showroamlar	500 lx
Mağazalar (Genel)	300 lx
Süpermarketler	750 lx
KONSER, SİNEMA, TİYATRO SALONLARI	AYDINLIK DÜZEYİ
Genel	100 lx
Fuaye	200 lx
MÜZELER VE SANAT GALERİLERİ	AYDINLIK DÜZEYİ
Işığa duyarlı olmayan nesnelerin sergilenmesi	300 lx
Işığa duyarlı nesnelerin teşhiri	150 lx
EĞİTİM	AYDINLIK DÜZEYİ
Sınıflar	500 lx
Konferans Salonları	300 lx
Laboratuvarlar	500 lx
Kütüphaneler	500 lx
KONUT, HOTEL VE RESTORANLAR	AYDINLIK DÜZEYİ
Yatak odaları (Genel)	50 lx
Yatak başı	200 lx
Banyolar (Genel)	100 lx
Banyolar (Ayna Önü)	500 lx
Oturma odaları (Genel)	100 lx
Oturma odaları (Okuma)	500 lx
Merdivenler	100 lx
Mutfaklar (Genel)	300 lx
Mutfaklar (Tezgah üstü)	500 lx
HASTANELER	AYDINLIK DÜZEYİ
Gece	50 lx
Gündüz	200 lx
Muayene odaları	500 lx
Laboratuvarlar	500 lx
Personel odaları	100 lx
ENDÜSTRİYEL ALANLAR	AYDINLIK DÜZEYİ
Tekstil atölyeleri	750 lx
Dikiş atölyeleri	750 lx
Test ve kontrol noktaları	750 lx
Deri atölyeleri	500 lx
Mobilya atölyeleri	300 lx

2.1.4 Renk sıcaklığı

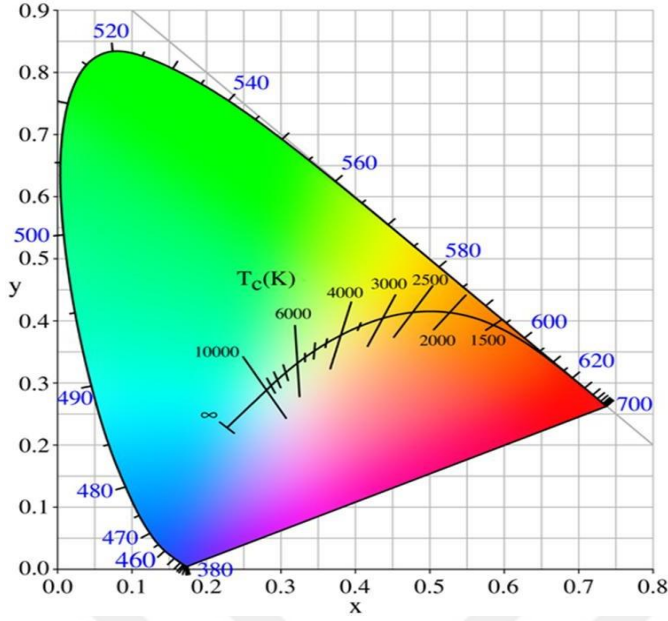
Renk sıcaklığı kavramı, siyah bir cismin ısıtıldığında oluşan rengin sıcaklık değerinin kelvin cinsinden ifade edilmesi olarak tanımlanır [14]. Renk sıcaklığı birimi “Kelvin”dir. Renk sıcaklığı değeri düşük ise sıcak renkleri, renk sıcaklığı değeri yüksek ise soğuk renkleri ifade eder [8]. İnsan fizyolojisi ve psikolojisi ile renk sıcaklığı arasında bir ilişki vardır. Renk sıcaklığı düştükçe ışığın renk tonu turuncu, sarı tonlarına ve renk sıcaklığı yükseldikçe soğuk beyaza doğru değişir. Aydınlatma tasarımının yapılacağı ortam ve kullanım amaçları iyi analiz edilmeli ve renk sıcaklığı değerleri uygun olarak seçilmelidir. Çeşitli renk sıcaklığı değerleri aşağıda şekilde gösterilmiştir [13].



Şekil 2.1. Farklı renk sıcaklığı değerleri ışık kaynağında görünümü [15]

Şekil 2.2.’de siyah cisim ışımasının CIE renk uzayındaki yeri gösterilmiştir. Bütün ışık kaynaklarının renkleri Şekil 2.2.’te gösterilen siyah cisim çizgisi üzerinde düşmesi mümkün değildir. Bundan dolayı korele edilmiş renk sıcaklığı kavramı (CCT) kullanılmaktadır.

CCT kavramı, ışık kaynaklarının renk koordinatlarının ideal siyah cisim çizgisinin dışına düştüğü durumlarda ideal siyah cisim ile eşleştirmek için kullanılır. Şekil 2.2.’te 1500K-10000K aralığında görülen ekstra çizgiler, ideal siyah cisim ile ışık kaynaklarının renklerini korele etmek ve renk sıcaklıklarını tespit etmek için kullanılır [5].



Şekil 2.2. Siyah cisim ışımasının CIE renk uzayındaki yeri [5]

2.1.5 Işık rengi

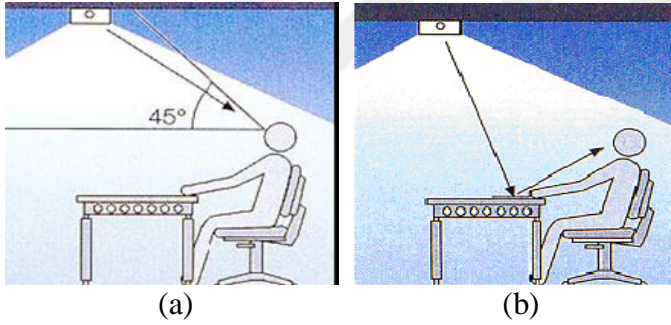
Nesneler, görsel konforun oluşması açısından sahip oldukları özgün renklerinde görülmek istenir. Nesnelerin görülmesi, yansıtıkları ışık ile sağlandığından dolayı gelen ışığın spektral özelliklerine bağlı olmanın yanı sıra çeşitli dalga boylarındaki ışınları yansıtma becerilerine göre farklılık gösterir [9].

Nesnelerin veya ortamın renklerinin hassas ve doğru algılanması için aydınlatmada kullanılacak ışık kaynağı seçimi yapılırken ışığın tayfsal özellikler dikkate alınmalıdır. Renksel bozunumların az olduğu durumda görünen renk, gerçek renge daha yakın olacaktır. Burada gerçek renk olarak bahsedilen cisimlerin kuramsal beyaz ışık altında görüldükleri renktir. Gerçek ortamda yapay ve doğal tüm ışıklar altında gördüğümüz renk görünen renktir [13].

Işığın cisimlerden yansması sonucu göze ulaşması, görsel algı olarak tanımlanır. Kuramsal beyaz ışık altında renksel bozunum olmaz ve nesnelerin gerçek renkleri görülür. Bunun dışındaki diğer tüm ışıklar tayfsal özelliklerine bağlı olarak renksel bozunuma sebep olur. Görsel algı, aydınlık miktarı ve ışığın tayfsal özellikleri ile ilişkilidir. Işığın tayfsal yapısı ve rengi farklı kavramlardır. Aynı ışık rengine sahip iki farklı ışık kaynağı, farklı tayfsal özelliklere sahip olabilir. Fakat aynı tayfsal özelliklere sahip iki farklı ışık kaynağı aynı renkte görülür[9].

2.1.6 Parıltı

Parıltı, ışık kaynağının ışıklılık düzeyinin çok yüksek olması ya da ışığın kaynağından çıkıp doğrudan gözü rahatsız edecek seviyede algılanmasıdır. Parıltı birimi “cd/m²” dir. Parıltı “L” harfi ile gösterilir [7]. Etrafımızdaki nesnelere, parıltıları sayesinde görülür. Nesnelere göre olan uzaklıkları ne kadar fazla ise görülebilmeleri için o kadar fazla parıltıya sahip olmaları gerekir. Işık kaynağının göze olan yakınlığı ve büyüklüğünün fazla olması kamaşma tehlikesini ortaya çıkartır. Parıltı, istenmeyen bir durum olan kamaşmaya neden olur. Parıltı oluşumuna yanlış aydınlatma aracı seçimi, olması gerekenden yüksek güçte ve fazla sayıda armatür kullanılması gibi faktörler neden olabilir. Aydınlatma tasarımlarında gözün görüş alanındaki parıltı dağılımı önemli bir parametredir [13]. Parıltıyı, tavsiye edilen aydınlık düzeyini aşmayarak ve parıltıyı azaltacak şekilde tasarlanmış aydınlatma araçlarını kullanarak azaltabiliriz [9]. Yansımali ve direk parıltı olmak üzere iki farklı biçimde incelenir. Aydınlatma kaynağından çıkıp doğrudan göze gelen parıltı direk, farklı yüzeylerden yansıyarak göze gelen yansımali parıltı olarak tanımlanır [14].



Şekil 2.3. Direk(a) ve yansımali(b) parıltının meydana gelmesi [13]

2.1.7 Renksel geriverim (CRI)

Işık, renkleri gerçek renklerine yakın gösterme özelliği ışık renksel geriverimi olarak nitelendirilir. Renksel geriverim ölçü birimi “Ra” dır. Renksel geriverim skalası 0 ile 100 arasında değişir. 100’e doğru gidildikçe ışık kaynağının renksel geriverimi yükselir. Gümüşü için Ra değeri 100 olarak kabul edilir [13].



Şekil 2.4. Farklı renksel geriverim endekslerinde görüntü farkı [16]

2.1.8 Etkinlik faktörü

Işık kaynağından çıkan ışığın gücünün, tükettiği elektrik gücüne oranı etkinlik faktörü ya da ışıksal verimlilik olarak tanımlanır. Etkinlik faktörü birimi “lm/W” birimiyle ifade edilir. Farklı ışık kaynakları için değişiklik gösteren etkinlik faktörü, ışık kaynaklarının performansı ile ilgili önemli bir parametredir [14].

Tablo 2.2. Farklı ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri [14]

Işık Kaynağı	Etkinlik Faktörü (lm/W)
Akkor Lamba	8-16 lm/W
Halojen Lamba	12-26 lm/W
Floresan Lamba	45-100 lm/W
YB Civa Buharlı Lamba	36-70 lm/W
Metal Halide Lamba	71-98 lm/W
YB Sodyum Buharlı Lamba	66-142 lm/W
AB Sodyum Buharlı Lamba	100-198 lm/W

2.1.9 Kamaşma

Işık kaynaklarında olması istenmeyen bir durum olan kamaşma, parıltının gözü rahatsız edecek seviyeye ulaşmasının bir sonucudur [7]. Işık kaynağının yarattığı bu konforsuzluk sonucu insan gözü geçici olarak göremez duruma gelebilir [8]. Bir aydınlatma tesisindeki tüm aydınlatma parametreleri isteğe uygun olarak tasarlanırsa dahi kamaşma sorunu var ise yapılan aydınlatma uygun değildir [9]. Ortamda ciddi bir kamaşma sorunu varsa yetersiz aydınlık düzeyi etkisi gösterir ve gözü yorar. Parıltı değeri yüksek olan ışık kaynakları, kamaşma olmaması için çıplak olarak kullanılmamalıdır. Tablo 2.4’de çalışma alanı ve işin niteliğine göre en yüksek kamaşma indeksi değerleri gösterilmiştir [14].

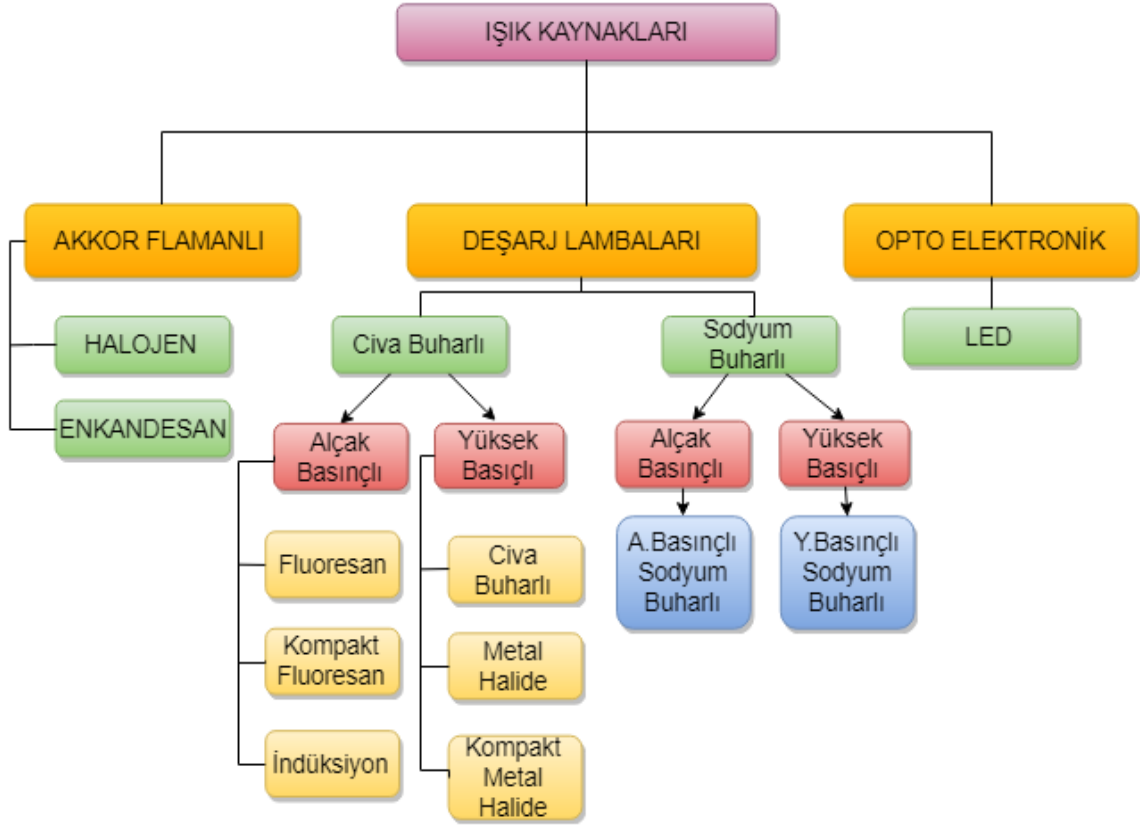
Tablo 2.3. Çalışma alanı ve işin niteliğine göre en yüksek kamaşma indeksi değerleri [11]

Mekan Türü	Kamaşma İndeksi
Genel ofis alanları	19
Açık ofisler	19
Çizim Yapılan ofisler	16
Konser salonu, sinema ve tiyatrolar	19
Sınıflar	19
Konferans Salonları	19
Laboratuvarlar	19
Kütüphaneler	19
Tekstil Atölyeleri	19
Test ve kontrol noktaları	16
Dikiş atölyeleri	19
Deri atölyeleri	22
Mobilya atölyeleri	22
Metal işleme atölyeleri	28

2.2 İç Ortamlarda Kullanılan Işık Kaynakları

Tasarımı yapılacak aydınlatma sistemi için belirtilen parametrelerin etkileri iyi analiz edildikten sonra ortama en uygun ışık kaynağı seçilmelidir [1].

Aydınlatma sistemi tasarımı yapılmadan önce; mekan ve kullanıcıların özel ihtiyaçları ile ilgili bilgi alınmalı ve alınan bilgiler değerlendirilmelidir. Tasarımda kullanılacak ışık kaynakları seçilirken; uzun ömürlü, yüksek verimli, kamaşma yaratmayan, montaj kolaylığı sağlayan, az bakım gerektiren veya hiç gerektirmeyen, mekan mimarisine uygun, istenilen ışık dağılımı özelliklerine sahip ve kullanım amacına göre en uygun renksel özellikleri olan aydınlatma kaynakları seçilmelidir [12]. Yapay ışık kaynakları çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılır. Genel olarak ışık kaynakları şekil 2.5.'de gösterilen şemada ki gibi sınıflandırılmıştır [17].



Şekil 2.5. Işık kaynakları şeması [17]

Elektrik enerjisinden ışık elde etmek için temelde 3 metot vardır. Bunlar ısıtma, yüksek ve düşük basınçlı metal buharlı ortamda deşarj ve lüminesans yöntemleridir.

Isıtma ile elektrik enerjisinden ışık elde etme yönteminde, elektrik akımı bir flaman üzerinden geçirilerek flamanın ısınması sağlanır. Flaman akkor hale gelir ve ışık yayar. Akkor flamanlı lambalar bu gruba örnek verilebilir [17].

Gaz deşarjı ile elektrik enerjisinden ışık elde etme yönteminde, havası alınmış ve metal buharı eklenmiş bir tüp içinde bulunan elektrotlar aracılığıyla gerilim uygulandığında metal buharı üzerinden akan akım ark oluşturur. Bu oluşan ark ışık yayar. Civa buharlı ve sodyum buharlı lambalar bu gruba örnek verilebilir [12].

Lüminesans ile elektrik enerjisinden ışık elde etme yönteminde, bir fosfor tabakası UV ışık veya elektronlar ile uyarılarak ışık yayar. Floresan lambalar, kompakt floresan lambalar ve LED lambalar bu gruba örnek olarak gösterilebilir. Tablo 2.5.'de ışık kaynaklarının çeşitli özelliklere göre karşılaştırılması gösterilmiştir [17].

Tablo 2.4. Işık kaynaklarının çeşitli özelliklere göre karşılaştırılması [18]

Işık Kaynağı Özellikler	AKKOR FLAMANLI LAMBALAR	HALOJEN LAMBALAR	KOMPAKT FLORESAN LAMBALAR	FLORESAN LAMBALAR	LED
Etkinlik Faktörü (lm/W)	6-16	16-25	46-80	70-104	80-160
Renksel Geri Verim (Ra)	100	100	75-90	70-95	65-99
Ömür (Saat)	1000	1000-4000	6000-15000	10000-40000	50000
Renk Sıcaklığı (K)	2700	2700-3500	2700-7000	2700-12000	2700-8000
Elektronik Balast	Gerekli değil	Genel Olarak Yok	Gerekli veya Dahili	Gerekli	Gerekli
Kullanım Alanları	İç mekan Dış mekan	İç mekan Dış mekan	İç mekan	İç mekan	İç mekan Dış mekan
Stroboskopik Etki	Yok	Yok	Var*	Var*	Var*

*Elektronik balastlı kullanımda bu etki görünmez.

2.2.1 Akkor flamanlı lambalar

Akkor flamanlı lambalar, elektrik akımı aracılığıyla ısıtılıp akkor hale getirilen bir tungsten flamanın ısı ve ışık yayması prensibi ile çalışır [7]. Yayılan ışığın çok büyük bir kısmı görünür ışık olmamakla birlikte yaklaşık %10 oranında görünür ışık yayar. Bu durum verimli bir ışık kaynağı olmadığını göstergesidir [8]. Akkor flamanlı lambalarda sıcaklık ne kadar fazla ise renk sıcaklığı ile ışık o kadar verimli ve güçlü olur [12]. Bu durum tel malzemesinin yüksek sıcaklık değerinde hızlı buharlaşmasına yol açar ve sonunda incelişip erimesine sebep olarak lamba ömrünü kısaltır [19]. Akkor flamanlı lambaların etkinlik faktörü çok düşüktür. Renksel geriverim indeksi yüksek 1A sınıfında yer alır. Tayfları düzgün ve sürekli [20]. Noktasal ışık kaynaklarıdır. Işık rengi sarımsıdır ve renk sıcaklığı 2400K-2900K arasındadır. Bundan dolayı sıcak renklerin

istenildiği ortamlarda kullanılmaya uygundur. Flamanın üretildiği maden çeşidine göre adlandırılırlar. Kömür ve tungsten flamanlı gibi akkor flamanlı lamba tipleri vardır [21]. Çok uzun yıllardan beri en yaygın kullanılan yapay ışık kaynağı akkor flamanlı lambalar olmuştur. Elektromanyetik girişimden etkilenmemeleri, her yönde ışık yaymaları, maliyetlerinin düşük olması gibi avantajları vardır. Fakat kısa ömürlü olmaları, darbe ve titreşimlere dayanıksız olmalarının yanı sıra verimsiz oluşları dezavantaj olarak görülür. Günümüzde yapay ışık kaynağı olarak tercih edilmemektedir ve mevcut kullanılanlar daha yüksek verimli, yeni nesil ışık kaynakları ile değiştirilmelidir [22].



Şekil 2.6. Akkor flamanlı lambanın aydınlatma şekli [19]

2.2.2 Halojen lambalar

Standart akkor flamanlı lambanın gaz karışımına halojen eklenmesi ile akkor halojen lamba oluşturulmuştur [12]. Halojen gazı, tungsten telinden kopan parçaların tekrar tele yapışmasını sağlar. Akkor flamanlı lambalara kıyasla akkor halojen lambalar daha fazla ışıksal yetkinliğe sahip ve renksel geriverimliliği daha yüksek olan lambalardır [19]. Renk sıcaklıkları 2800K ile 3200K arasında değişir. Akkor flamanlı lambalara göre daha soğuk renklidir. Halojen lambalarda cam ampulün dolum gazı halojen olduğu için cam ampul daima şeffaftır. Halojen lambalar parlaklık ve renk etkilerini parıltılı bir şekilde ortaya çıkartır [22]. Geleneksel akkor flamanlı lambalara göre ömür süreleri daha fazladır. Aynı ışık miktarını geleneksel akkor flamanlıya göre daha az elektrik tüketerek verebilirler. Örneğin geleneksel akkor flamanlı lamba 960 lümenlik bir ışıksal akıda 75W tüketirken halojen lamba aynı ışık akısını oluşturmak için 50W tüketir [14].

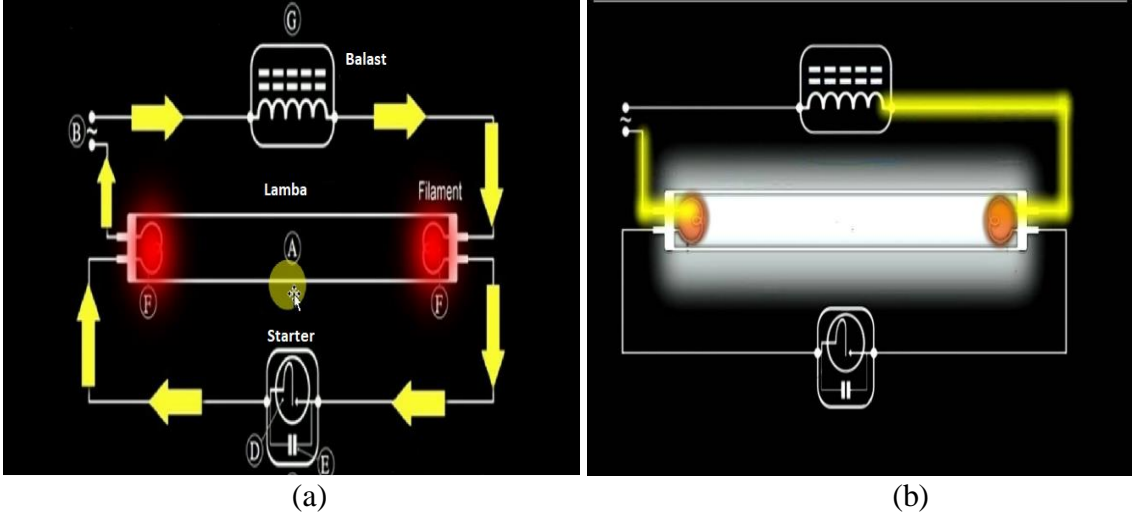
2.2.3 Kompakt floresan lambalar

Fonksiyonları floresan lambalarla benzerlik gösteren kompakt floresan lambalar, UV ışınları ile uyarıldığında floresan maddenin ışığı görünür hale getirmesi sonucu ışık yayar

[7]. Lambaların içerisinde kullanılan farklı renklerdeki floresan maddeler, farklı renklerde ışık oluşmasını sağlar. Kompakt floresan lambalar, geleneksel akkor flamanlı ve halojen lambalara kıyasla daha az elektrik enerjisi harcar [12]. Akkor flamanlı lambalara göre ömürleri de daha uzundur. Etkinlik faktörleri, akkor flamanlı lambalara göre daha yüksektir. Kompakt floresan lambaların çalışma karakteristikleri ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu duruma tasarım yapılırken dikkat edilmelidir [21]. Kompakt floresan lambalar ofis ve konut gibi alanlar için uygundur [14]. Aynı ışık akısına sahip 75W akkor flamanlı lamba yerine 15W kompakt floresan lamba kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanır. Akkor flamanlı lambaların kompakt floresan lambalarla değişimi oldukça kolay yapılabilir [23].

2.2.4 Floresan lambalar

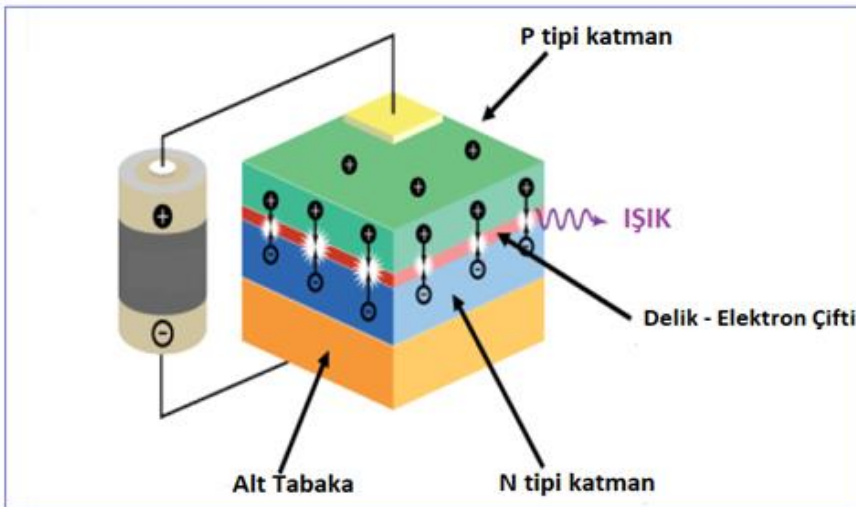
Floresan lamba içerisinde bulunan elektrotlar vasıtasıyla akıtılan elektrik akımının ısıttığı flamanlar, lamba içinde bulunan civa gazını iyonize hale getirir [7]. Uyarılmış durumdaki civa atomlarındaki elektronlar, normal seviyelerine dönerken UV ışınları yayarlar. Bu yayılan UV ışınları camın içinde bulunan floresan madde aracılığıyla görünür ışığa dönüşür. Bu genel olarak alçak basınçlı civa buharlı deşarj lambaların çalışma prensibidir [13]. Floresan lambalarda elektrotların uyarılması için ilk ateşleme anında fazla güç çekilir. Bu işlemler için manyetik balast ve starter gibi yardımcı elemanlar kullanılır [12]. Elektronik balastlar bu işlemler için sıklıkla kullanılır ve starterin yapacağı ilk ateşleme geriliminide üstlenir. Kullanılan maddenin cinsine bağlı olarak farklı ışık renkleri oluşur. 2700K-6500K aralığında soğuk beyaz, sıcak beyaz ve gün ışığı gibi farklı renk sıcaklıklarında ve farklı renksel geri verim değerine sahip floresan lambalar bulunur [19]. Floresan lambalar, geleneksel akkor flamanlı lambalara kıyasla sekiz ile onbeş kat daha uzun ömürlüdür ve daha az elektrik tüketirler. Dolayısıyla daha verimlidirler. Daha az ısı üretmelerinden dolayı akkor flamanlı lambalara kıyasla etkinlikleri fazladır. Floresan lambaların çalışma karakteristikleri ortam sıcaklığından etkilenmemektedir. Tayfları düzgün değildir ancak sürekli. Sıklıkla açılıp kapatılmaya uygun değildirler. Bu durum ömürlerinin kısılmasına sebep olur [14]. Floresan lambaların bakımları iyi yapılmadığı takdirde gürütü kirliliği oluşur, bunun için iyi etüt edilmelidir. Floresan lambalar birçok ortamın aydınlatma tasarımında ışık kaynağı olarak sıklıkla tercih edilmektedir [23].



Şekil 2.7. Floresan çalışma prensibi (a) Filamentlerin ısınması, (b) Işık yayması [24]

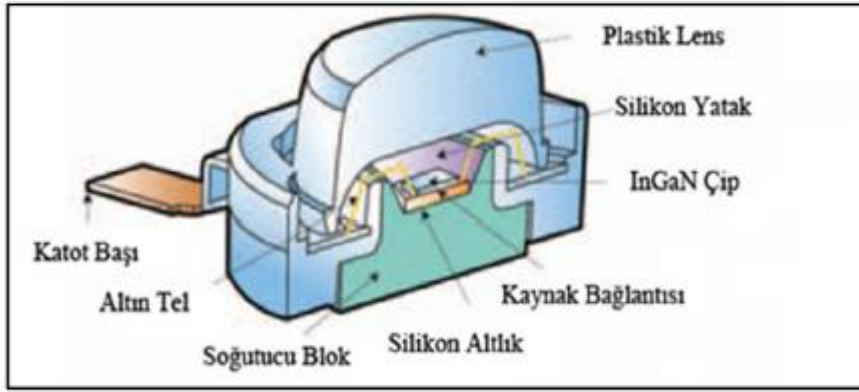
2.2.5 LED'ler

LED kelimesi İngilizce "Light Emitting Diode" kelimelerinin baş harflerinin kısaltmasından oluşur. LED, elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken tabanlı opto elektronik devre elemanıdır [12]. N tipi ve P tipi iki yarı iletken tabakadan oluşur. N tipi tabaka negatif yüklü iyonlar ile P tipi tabaka pozitif yüklü iyonlar ile katkılanmıştır. Bu katmanlara elektrik akımı uygulandığında, yarı iletken malzeme içinde negatif yüklü elektron ve pozitif yüklü delikler birleşir ve delik - elektron çiftini oluşturur. Bu olayın sonucunda ortaya çıkan enerji ışık (foton) olarak yayılır [23]. Elektroluminesans olarak adlandırılan bu olay LED'in çalışma prensibinin temelidir. Oluşan delik-elektron çifti sayısı, P-N jonksiyonundan akan akımın değeriyle bağlantılıdır. Şekil 2.8.'de LED'in ışık yayma prensibi ve yapısı gösterilmiştir [25].



Şekil 2.8. LED'in ışık yayma prensibi ve yapısı [25]

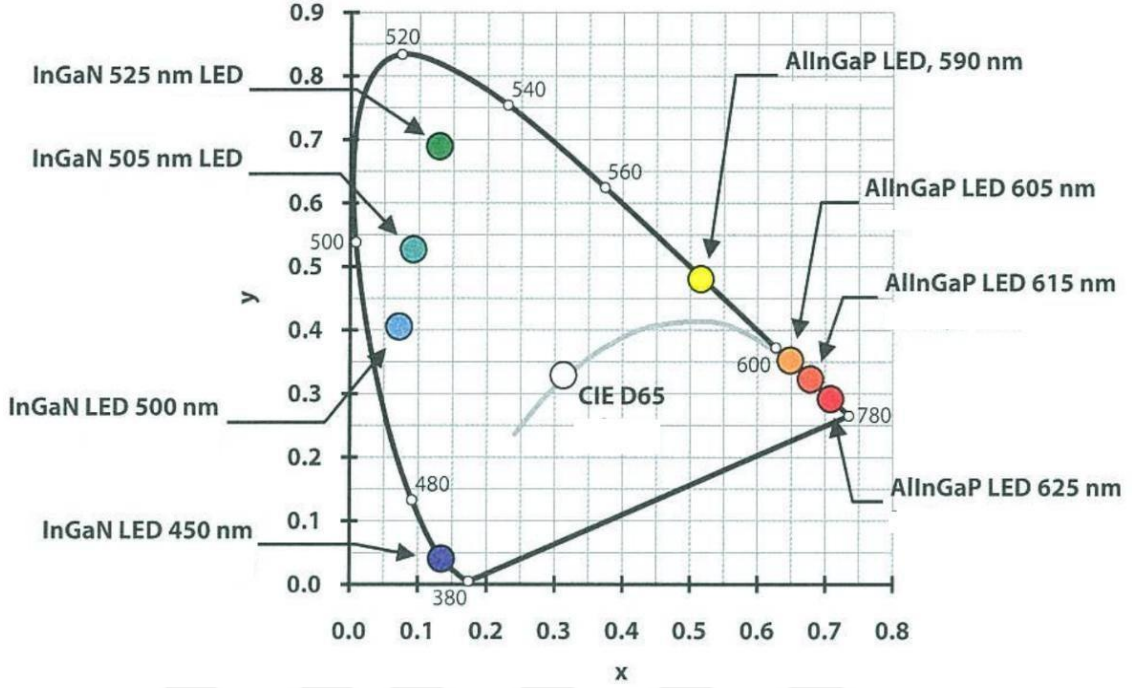
LED içerisinde bulunan yarıiletken tabakaya eklenen (galyum, fosfat, arsenit, alüminyum vb.) kimyasal maddeler ile farklı renkte ışık elde etmek oldukça basittir. Örneğin; yeşil LED'ler alüminyum, galyum ve fosfat (AlGaP), kırmızı LED'ler alüminyum, galyum ve arsenit (AlGaAs) ve mavi LED'ler ise indiyum, galyum ve nitrür (InGaN) yapısından oluşmaktadır [19]. Farklı renkte ışık saçan LED ışık kaynaklarının çektiği akım ve çalışma gerilimi farklılık gösterir. LED ışık kaynaklarından binlerce renk üretmelerinin yanı sıra farklı renk sıcaklıklarında beyaz ışık elde edilir [17]. LED ışık kaynakları, lambaya yerleştirilmiş yüzey montajlı bir modül içerisinde bulunan yarıiletken bir yongadan oluşur. Şekil 2.9.'da örnek bir LED çipinin yapısı gösterilmiştir [5].



Şekil 2.9. Örnek bir LED çipi yapısı [5]

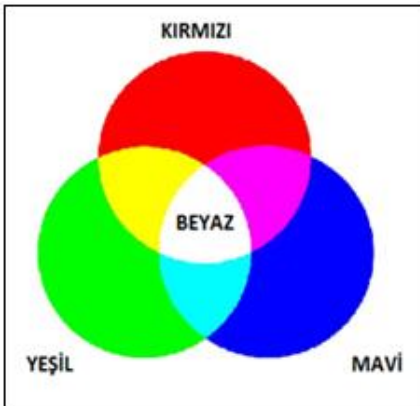
LED paketlerinde yarıiletken tabaka silikon bir yatak içerisinde durur. LED çipine elektrik akımı altın bir tel vasıtasıyla iletilir. Işıma esnasında ortaya çıkan ısının dağıtılması için paketin alt kısmında soğutucu blok bulunur. Soğutucu blok oluşan ısıyı LED 'in bağlı olduğu baskı devreye iletilerek dağıtılmasını sağlar. Çipin dış etmenlerden korunması için üzerinde plastik bir lens bulunur. Birincil lens olarak da adlandırılan bu yapı aynı zamanda ışığın dağıtılmasını da sağlar. LED paketi ve baskı devre arasındaki bağlantı katot ve anot uçları aracılığıyla sağlanır [5].

Tek renk ışık saçan (monokromatik) ışık kaynakları olan LED'ler ışık spektrumundaki görülebilir bölgedeki tüm dalga boylarında ışık üretebilir. Tek renk ışığın gerekli olduğu uygulamalarda (elektronik gösterge, trafik ışığı, yol işaretleri vb.) verimli oldukları görülür. Farklı malzemeler kullanılarak üretilen LED çiplerinin CIE renk uzayındaki koordinatları şekil 2.10.'da gösterilmiştir [5].

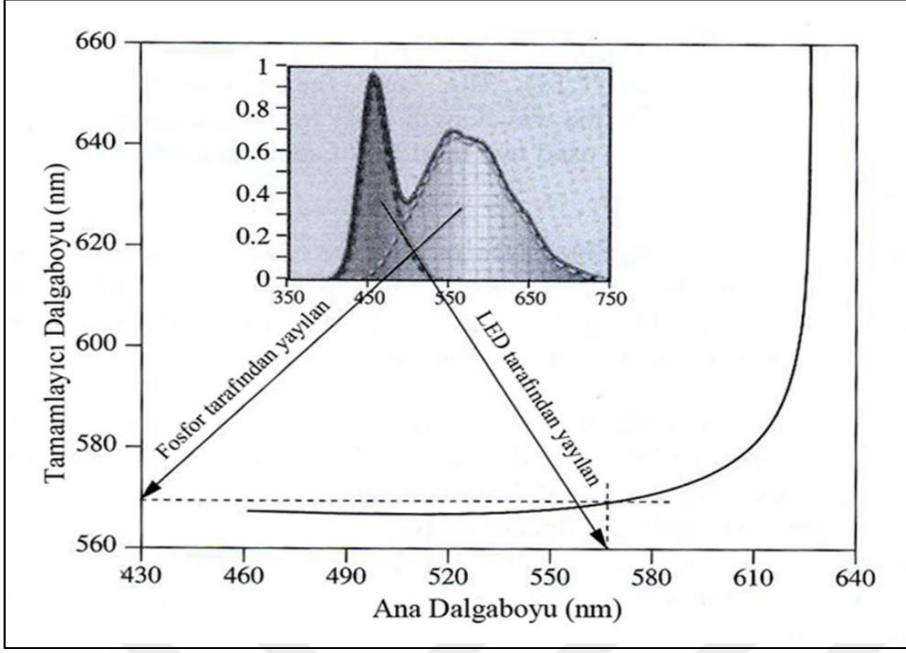


Şekil 2.10. Farklı yarıiletken malzemeler için baskın dalga boyları ve CIE renk uzayındaki koordinatları [5]

Çoğu konvansiyonel ışık kaynağının aksine LED'ler beyaz ışığı doğrudan üretemezler [5]. Temelde LED'lerden beyaz ışık eldesi; mavi, kırmızı ve yeşil LED'lerin birleşiminden ya da mavi ışık üreten LED'in üzerinin sarı fosfor ile kaplanmasıyla iki farklı şekilde elde edilebilir [19]. Mavi ışığın uyardığı fosforun oluşturduğu beyaz ışık, genellikle kolay ve ekonomik olması sebebiyle LED'lerle beyaz ışık eldesin de tercih edilir [17].

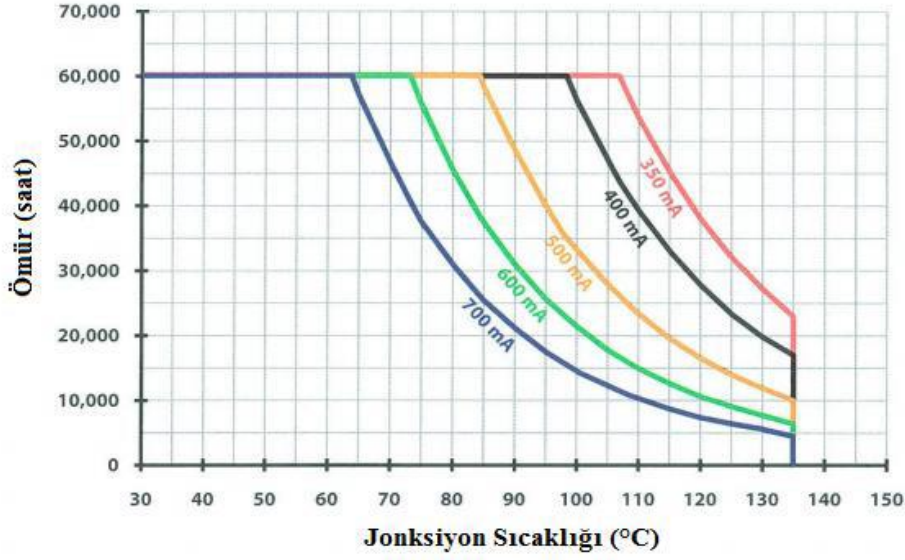


Şekil 2.11. Kırmızı, yeşil ve mavi renklerin karışımıyla beyaz ışık oluşumu [17]



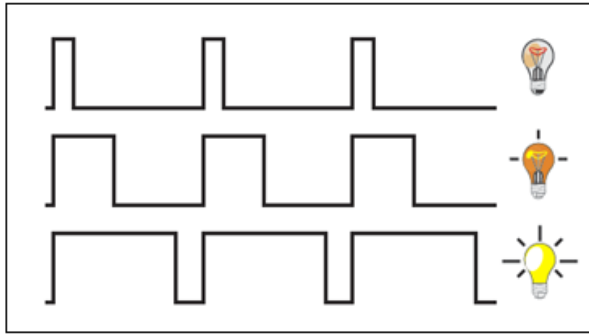
Şekil 2.12. Kısa dalga boyunda ışık saçan bir LED'in fosfor ile kaplanarak beyaz ışık eldesi [5]

Deneyler ve teorik hesaplamaların sonuçları LED ışık kaynaklarının 100.000 saat civarı ömrü olduğunu gösterirken, ısıl kondisyon, sürücü özellikleri, kılıfın malzeme yapısı, açılıp kapanma sayıları gibi çevresel etkiler dikkate alındığında bu sürenin 50.000 saat ve üzeri olduğu kabul edilir [12]. Bir adet akkor flamanlı lambanın hizmet ömrü 1500 saat iken, bir adet floresan lambanın hizmet ömrü 30.000 saattir. LED ışık kaynakları bunlarla kıyaslandığında hizmet ömrü bakımından diğer ışık kaynaklarına göre üstünlük gösterir [21]. Soğutucunun yetersiz kaldığı durumlarda yüksek sıcaklıkta kullanılan LED ışık kaynaklarının ömrü kısalmaktadır ve düşük ışık çıkışı görülür [23]. LED'lerde P-N eklem bölgesinin sıcaklığını; ortam sıcaklığı, termal yapı ve akım değeri belirler. Yüksek akımlarla sağlanan yüksek lümen değerlerine karşın eklem bölgesindeki sıcaklığın artması LED ömrünü azaltır [19]. Isıyı dağıtmak ve eklem bölgesi sıcaklığını düşürmek için LED ışık kaynaklarında üstün soğutucular kullanılmalıdır [17]. Şekil 2.13.'de farklı sürme akımlarında jonksiyon (eklem bölgesi) sıcaklığına bağlı ömür tahmini gösterilmiştir [14].



Şekil 2.13. Farklı sürme akımları için jonksiyon sıcaklığına bağlı ömür tahmini [5]

Elektronik kontrol sistemleri ile uyumlulukları sayesinde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan LED’li ışık kaynaklarının dim edilebilme (ışığın kısılıp açılabilmesi) özelliği oldukça önemli ve faydalıdır. Işığın dim edilebilmesi ve renk değişikliğinin sağlanabilmesi LED’lerin sağladığı en önemli avantajlardandır. Çoğu LED sürücüsü darbe genişlik modülasyonu (PWM) yöntemiyle güç miktarını kontrol eder. Böylelikle LED’den geçen sürme akımı değiştirilerek ışık çıkışı değiştirilir [17].



Şekil 2.14. PWM Kullanarak LED parlaklığını kontrol edilmesi [17]

Yarı iletken teknolojisinin ilerlemesi ve gelişmesine bağlı olarak LED’lerin maliyeti düşürülerek verimliliğinin artması sağlanmıştır [12]. Bu durum kullanım alanlarının genişlemesinin önünü açmıştır [23]. Aşağıda LED’li ışık kaynaklarının avantajları sıralanmıştır [14].

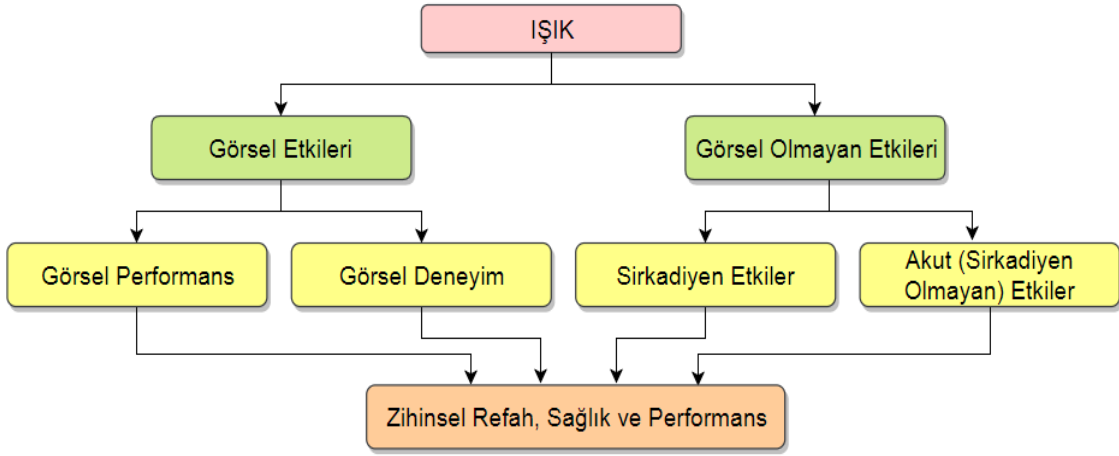
- LED'ler düşük güç tüketimi ile enerji tasarrufu sağlar.
- LED'ler doğal ışık üretir.
- Etkinlik faktörü (lm/w) yüksektir.
- Renksel geriverim yüksektir, %95'e kadar ulaşabilir.
- Düşük güç tüketimi özelliği sayesinde düşük ısı dağıtır ve ısınma süresi uzundur.
- Şoka ve titreşime karşı dayanıklıdır.
- LED'ler 50.000-100.000 saat/ömür değerleri ile uzun ömürlüdür.
- Diğer ışık kaynaklarına kıyasla küçük boyutludur ve parlak ışık yayarlar.
- Renk sıcaklığı ve ışık şiddeti kontrol edilebilir.
- LED'ler, geleneksel ışık kaynaklarına göre daha dayanıklı, daha uzun ömürlü ve yüksek enerji verimliliğine sahiptir.
- Işık çıkışlarındaki azalma miktarının hızı düşüktür.
- LED'li ışık kaynaklarında bakıma ve lamba değişimine ihtiyaç duyulmaz.
- Halojen, civa gibi zehirli gazlar bulundurmadığı için çevre dostudur.
- Flaman, cam gibi kırılğan parçaları yoktur.
- Renk spektrumundaki bütün renkler elde edilebilir.
- Boyutlarının küçük olması ve kompakt yapıları ile çok küçük armatürlerin tasarlanmasına olanak sağlar.
- Hızlı açma kapama yapabilirler.
- Kısa sürede ışık oluşturur.
- Geleneksel ışık kaynaklarının aksine CCT değerleri kontrol edilebilir.
- Işığında ısı taşımaması ve UV ışınları yaymadıklarından dolayı sağlığa herhangi bir zararı bulunmaması gibi avantajlara sahiptirler [17,19,21].

Dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Soğutma (ısıl kondisyon) gereksinimi
- Elektrostatik boşalmalara karşı duyarlı olmaları
- Yüksek kurulum maliyeti gibi dezavantajlara sahiptir [12].

3. IŞIK VE İNSAN

Işık ve insan arasındaki ilişki ertafımızdaki cisimleri görme ve tanıma gibi basit süreçlerden çok daha ötesini içerir [26]. Işığın, insanlara olan etkisi görsel ve görsel olmayan etkiler olarak iki farklı grupta incelenebilir [19]. Sinir sisteminin oluşturduğu emirlerin ve bununla birlikte salgılanan hormonların etkilediği organ ve dokuların oluşturduğu biyolojik sistem, hormon ve sinir sisteminin ışık ile tepkimesinden etkilenir. Sirkadiyen ritim, fizyolojik ve psikolojik durumlar, göze gelen ışığın nicelik ve niteliğine bağlı olarak değişir. Aydınlatmanın, biyolojik saat, biyolojik sistem, algı mekanizması ve psikolojik durum üzerinde etkili olduğu bilinmektedir [17]. Işığın psikolojik ve fizyolojik etkilerinin anlaşılması amacıyla ışığın tanımı, gözün fizyolojik yapısı ve işleyişi, görme gibi kavramlar bu bölümde detaylı olarak açıklanacaktır [26]. Şekil 3.1.'de ışığın insan metabolizması üzerindeki potansiyel etkisi için farklı rotaların şematik genel görünümü gösterilmiştir [27].

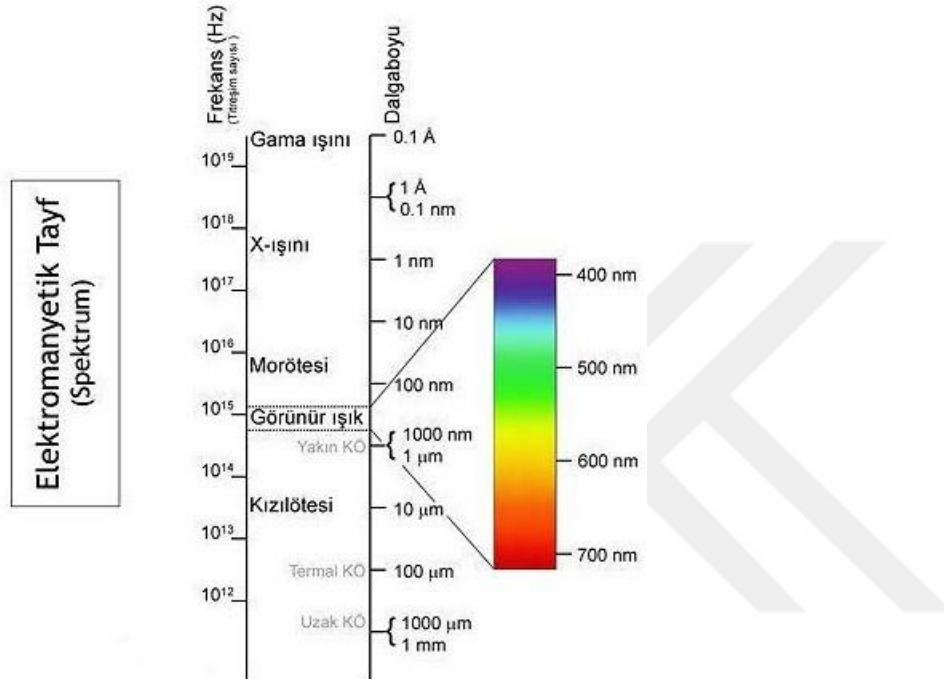


Şekil 3.1. Işığın insan işleyişi üzerindeki potansiyel etkisi için farklı rotaların şematik genel görünümü [27]

3.1 Işık

Görme olayının anlaşılabilmesi için ışığın tanımının kavranması ve elektromanyetik spektrumdaki yerinin bilinmesi gerekir [3]. Işık, doğrusal dalga biçiminde yayılan elektromanyetik dalga olarak ifade edilir [12]. CIE ışığı; “görme organını uyarabilen ışınım” şeklinde tanımlamıştır [10]. Görünür ışık, elektromanyetik spektrumda 380-760

nanometre aralığında yer alır. Şekil 3.2.'de ışığın elektromanyetik spektrumu ve görünür ışık bölgesi gösterilmiştir. Frekans ve dalga boyu bakımından elektromanyetik dalgalar geniş bir bölgeyi kapsamaktadır [3]. Elektromanyetik spektrumda görüldüğü gibi ışığın nitelikleri, radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar değişen elektromanyetik dalga boyuna göre farklılık gösterir. Elektromanyetik spektrumda görünür bölgedeki dizilimde frekans arttıkça, renkler kırmızıdan mora doğru değişir ve dalgalı boyu küçülür [26].



Şekil 3.2. Elektromanyetik spektrum ve görünür ışık bölgesi [26]

Işığın frekans, şiddet ve polarite olmak üzere 3 temel önemli özelliği vardır [12].

- **Şiddet:** İnsan gözü parlaklık olarak algılar ve bazı kaynaklarda genlik olarak da belirtilir.
- **Frekans:** İnsan gözü tarafından renk olarak algılan frekans değeri dalgalı boyu ile ters orantılı olarak değişir. Birimi “Hertz(Hz)” ile belirtilir. Işığın frekansı, referans bir noktadan geçen saniyede ölçülen dalga tepesi sayısıdır.
- **Polarite:** İnsan gözünün algılayamadığı polarite kavramı titreşim açısı olarak tanımlanabilir. Görsel algılamanın, tayfsal dağılım dalgalanmasından kaynaklı durağanlığını kaybetmesi sonucu ışık titremesi meydana gelir. Bu durum görsel konforsuzluk olarak yansır [12].

Frekans ve dalga boyunun çarpımı ($c = f \cdot \lambda$) ışık hızını verir. Işık hızı, boşlukta yaklaşık olarak 300,000 km/sn'dir. Boşluk dışındaki diğer ortamlardaki ışık hızı boşluktaki hızından daha küçüktür [26].

Işık ölçüm tekniğine göre hem parçacık hem dalga özelliği gösterir. Aşağıdaki formülde C ışık hızı, f frekans, h Planck sabiti, λ dalga boyu ve E fotonun enerjisini gösterir [26].

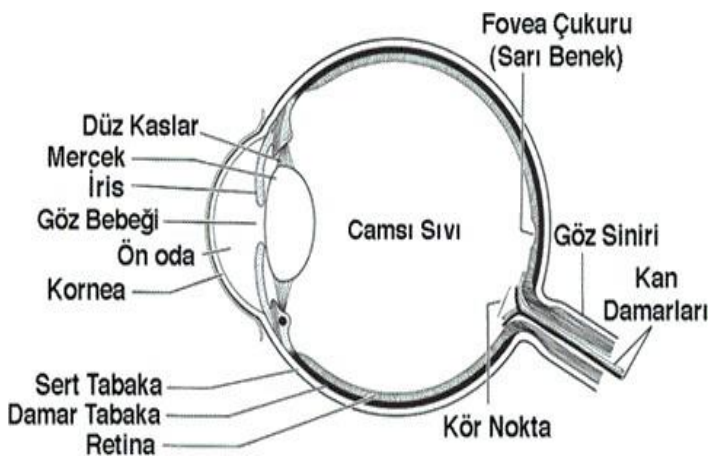
$$E_f = \frac{hc}{\lambda} = hf \quad [12]$$

3.2 Işığın Görsel Etkileri

Etrafımızdaki objelerin görünür olmaları, doğal veya yapay ışık kaynaklarından yeterli ışığı almalarına bağlıdır. İnsan gözü elektromanyetik spektrumda sadece görünür bölgedeki ışığı görebilir. Farklı dalga boylarına sahip ışıkların, insan beyindeki çağrışımları renk olarak adlandırılır. Işık ve renk bütünleşik kavramlardır. Göz, ışık ve nesnelere görsel algının ana unsurlarıdır [10]. Işığın görsel etkilerinin anlaşılması için gözün fizyolojik yapısı, işleyişi, görme ve algılama, görsel konfor, göz adaptasyonu gibi kavramlar bilinmelidir [26].

3.2.1 Gözün fizyolojik yapısı

Işık, göz ve görme doğrudan ilişkilidir. Görmenin nasıl sağlandığını anlamak için gözün fiziksel yapısı incelenmelidir [11]. Göz, insanın sahip olduğu organlar arasında en gelişmiş olanlardan bir tanesidir. Hareketini sağlayan 6 adet kasla göz boşluğuna bağlı olan göz küresi, etrafındaki yağ dokuyla desteklenmiştir [12]. Göz, yapısal olarak sert tabaka (kornea), damar tabaka (koroit) ve ağ tabaka (retina) olarak adlandırılan üç farklı tabakadan oluşur. Şekil 3.3.'te gözün yapısı gösterilmiştir [2].



Şekil 3.3. Gözün Yapısı [17]

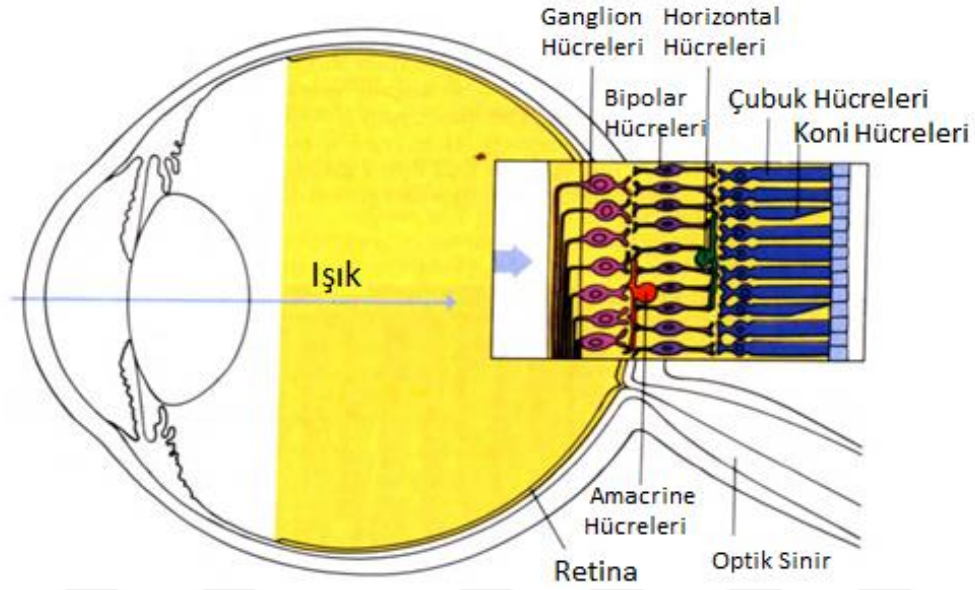
Sert Tabaka: Göze sağlamlık ve şekil veren, sert yapıda olan, beyaz renkli tabaka, göz küresinin en dışında yer alır [19]. Sert tabaka, gözün ön kısmında saydamlaşır ve bu kısım kornea olarak adlandırılır [2].

Damar Tabaka: Kan damarları bu tabakada bulunur. Renkli tabaka gözün ön kısmında farklılaşır ve bu kısım iris olarak adlandırılır [12]. İris, kahverengi, yeşil ve mavi gibi renklere sahip olabilir. İrisin ortasında kalan açıklık göz bebeğidir. İrisi kontrol eden kaslar, yeterli ışık miktarını ayarlamak için göz bebeğinin küçülüp büyümesini sağlar [1]. Göz bebeğinin arka kısmında, göz merceği vardır. İris ve göz bebeği kornea tabakasının arkasında bulunur [26]. Göz merceği, gözde bulunan kaslar vasıtasıyla cisimlerin net görülebilmesi için odak uzaklığını ayarlar [19]. Göz boşluğunda bulunan camsı sıvının rengi yaşlılığa bağlı olarak koyulaşır. Bu durum yaşlıların gençlere göre daha fazla aydınlığa ihtiyacı olduğunu gösterir [2].

Ağ Tabaka: Gözün en iç tabakası olan retinada çubuk ve koni hücreleri bulunur. Koni hücreleri, rengin algılanması ve gündüz görmeyi sağlar. Mavi, sarı, kırmızı olarak isimlendirilen 3 farklı koni hücresi tipi, ışığın çeşitli renklerine tepki gösterir [12]. Bu hücrelerin farklı miktarlarda ışıkla uyarılması sonucu milyonlarca renk tonu algılanabilir. Koni hücreleri, ışıkla gelen renk verisini sahip olduğu pigmentler ile elektrik sinyaline dönüştürerek renklerin algılanmasını sağlar [26].

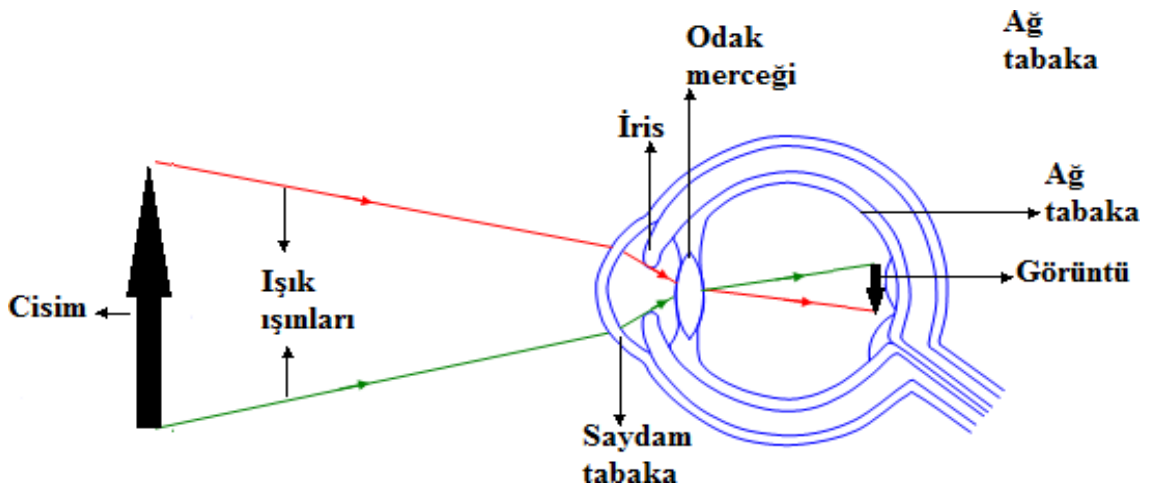
Çubuk hücreleri, yetersiz ışığın bulunduğu koşullarda (gece görüşü gibi) devreye girer. Çubuk hücreleri aracılığıyla gece ay ışığı altında görme sağlanabilir fakat renklerin görülmesi mümkün değildir [19]. Ortamdaki ışık miktarının yükselmesi ile koni hücreleri devreye girer ve renklerin algılanması sağlanır. Çubuk ve koni hücreleri retinada eşit aralıklı olarak dağılmamıştır. Koni hücreleri gözün fovea (sarı benek) bölgesinde daha çok bulunurken çubuk hücreleri retinanın her yerinde bulunur [2].

Son yıllarda yapılan araştırmalarda memeli sınıftaki canlıların retinalarında görmeyi sağlayan çomak ve koni hücreleri olarak bilinen fotoreseptörlerin dışında ipRGC hücreleri (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells - ışığa duyarlı retina ganglion hücreleri) keşfedilmiştir. Şekil 3.4.'te retina yapısı ve retinada bulunan hücre çeşitleri gösterilmiştir [19].



Şekil 3.4. Retina yapısı [28]

Dışarıdan göze gelen ışık, kornea tabakasından içeri girer. Korneadan içeri giren ışık, mercekte kırılır ve retinaya düşer [11]. Retinada cismin her noktasından gelen ışık noktaları oluşturulur. Oluşan bu ışık noktaları ters ve gerçeğe oranla küçüktür. Işık, retinada elektrik sinyallerine dönüşür ve görme sinirleri vasıtasıyla beyindeki görme ile ilgili merkeze iletilir [17]. Beyin gelen uyarıları değerlendirip bir yargıya varır. Böylece görme olayı gerçekleşir. Sonuç olarak cisim algılanmış olur. Şekil 3.5.'te görme olayı gösterilmiştir [2].



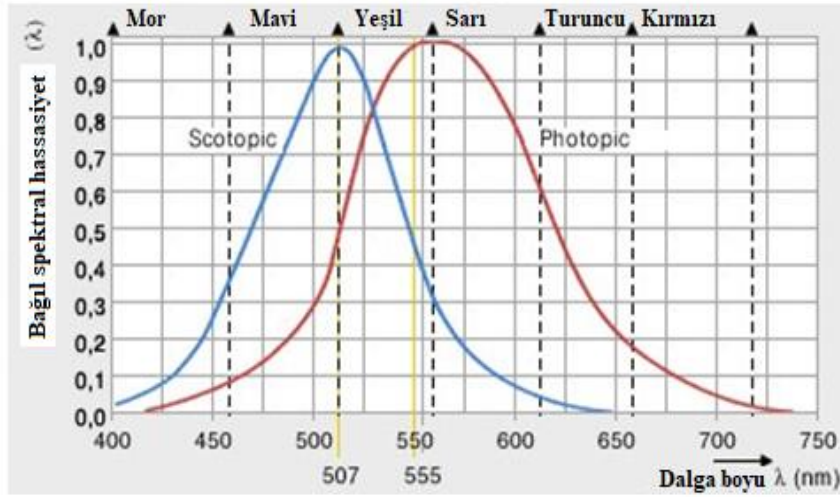
Şekil 3.5. Görme olayı [3]

3.2.2 Görme ve algılama

Göz, görme sinirleri ve beyin dışarıdan göze gelen ışık uyarısını görsel algıya dönüştüren görme sisteminin temel elemanlarıdır [2]. Beyinde bulunan iletim yollarının yaklaşık %40'ı ve insan davranışlarını kontrol eden beyin korteksinin üçte biri görme sistemi ile ilişkilidir. Göz, beyin görme merkezi dışında hormon bezlerinin kontrolü ve hormon salgılamakla görevli olan hipofiz beziyle de bağlantılıdır [19]. Görme olayı yalnızca renk ve ışık algılamaktan ibaret olmayıp bunların yanı sıra üç boyutlu uzay ve farklı uzaklıkların da algılanmasıyla ilgilidir. Göz, mavi, yeşil ve kırmızı olmak üzere üç temel ışık rengine tepki gösterir. Beyin ise bu üç renk dışındaki diğer tüm renkleri bu üç rengin çeşitli kombinasyonları şeklinde algılamaktadır. Beyin tarafından gerçekleşen bu renk algısı farklı ortam koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin mum ışığı ile gün ışığı altında aynı renk, farklı algılanır. Buna karşın sahip olduğumuz görme duyusu ışık kaynağına uyum sağlar ve ikisinde aynı renk olduğunu algılamamıza yardımcı olur. Subjektif kavranan bir özellik olan rengin algılanmasında, ışık kaynağının türü, bakış açısı, kişisel renk algılama gibi çeşitli faktörler etkilidir. Güneşten gelen ışınlar içerisinde renkli görmemizi sağlayan dalga boyu aralığı 0.4-0,7 mikrondur. Bunun sebebi gözde renkli görmeyi sağlayan koni hücrelerinin bu dalga boyu aralığında ışın geldiğinde harekete geçmesidir [11]. Güneşten göze gelen bu ışınlar “foton” denilen dalga hareketiyle yayılan parçacıklardan meydana gelir. Fotonlar, hareketleri sırasında ortamdaki maddelerin elektronlarına çarpıp özel dalga boylarına dönüşerek renklerin yansımını sağlar. Bu olay fotonun çarptığı elektronun, tepki olarak dışarıya foton yayması ile gerçekleşir. Sonuçta yayılan bu fotonlar aracılığıyla oluşan renk göze ulaşır. Görsel uyarım belirli işlemlerden geçer ve gözden beyine aktarılarak görme olayı gerçekleşir [2].

Şekil 3.6.'da insan gözü için spektral hassasiyet eğrileri gösterilmiştir. Görme, görüş alanındaki parlıltıya bağlı olmak üzere üç farklı grupta incelenebilir. Bu grafik de kırmızı renkli eğri koni hücrelerinin, mavi renkli eğri ise çubuk hücrelerinin sistemlerini göstermektedir. Kırmızı renkli eğri incelendiğinde görüleceği üzere aşırı kırmızı ve mavi renklerde, göz hassas değildir. Hassasiyetin en fazla olduğu dalga boyu 555nm'dir. Fotopik görüş olarak adlandırılan bu sistemde parlıltı değeri görüş alanında 10 cd/ m^2 'nin üstüne çıktığında, görme tamamıyla koni hücreleri ile gerçekleşir. Fotopik sistemde görme renklidir. Mavi renkli eğri incelendiğinde ışığı algılamamızı sağlayan çubuk

hücrelerinin en fazla hassasiyet gösterdiği dalgaboyu 507 nm olduğu görülür. Skotopik görüş olarak adlandırılan bu sistemde parlaltının $10^{-\infty}$ ile 10^{-2} cd/m² değerleri arasında olduğu durumda görme olayı gerçekleşir. Bu sistemde görme olayını çubuk hücreleri üstlenir. Skotopik sistemde görme olayında renk algısı yoktur. Bu sistemlerin yanında parlaltı değerinin görme alanında 10^{-2} cd/m² üzerine çıktığı durumlarda ki görme sistemi mezopik görüş olarak adlandırılır. Aydınlik seviyesinin artmasıyla görme iyileşir ve renk duyumu başlar [20].



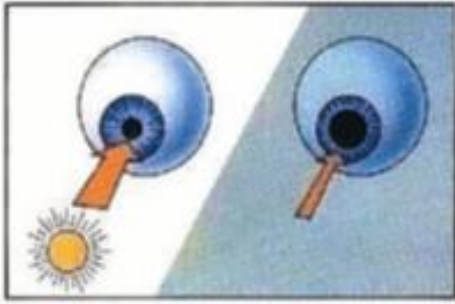
Şekil 3.6. İnsan gözü için spektral hassasiyet eğrileri [17]

3.2.3 Görsel konfor

Gözün görmeyi verimli ve uzun süreli olarak devam ettirebilmesi için bulunulan ortamın görsel konfor koşullarını desteklemesi gerekir. Ortamın görsel konforu sağlaması sadece görmek için yeterli şartları yerine getirmekle sınırlı kalmayıp ortamdaki kişileri yormadan, verimli ve uzun süreli görmelerini sağlamaktır. Görme olayı, kişiden kişiye farklılık gösterdiği için görsel konfor ile ilgili yapılan çalışmalar mekanın niteliği, yapılan iş, ortamda bulunacak kişilerin yaşları gibi çeşitli faktörlere bağlanmıştır. Bununla ilgili Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun belirlediği uluslararası standartlar vardır. Görülen yüzey veya nesnenin ortamdaki hareketi, büyüklüğü ve şekli gibi özellikleri gözün optik özelliklerini ve fizyolojik yapısını etkilediğinden dolayı görsel konfor için önemlidir. Aydınlatma tasarımı yapılırken gözün adaptasyon özellikleri dikkate alınmalıdır [1].

3.2.4 Göz adaptasyonu

Göz adaptasyonu; görme alanında farklı aydınlık seviyeleri ve parlıltı değerlerine karşı gözün uyum sağlama yeteneğini gösterir. Göz bebeği küçülüp büyüyerek göze giren ışık miktarını ayarlar ve gözün ortama uyumunu sağlar. Aydınlık adaptasyonu ve karanlık adaptasyonu olarak iki farklı türde incenebilir [29]. Aydınlık bir ortamdan karanlık bir ortama geçişte yaşanan karanlık adaptasyonu olarak adlandırılır. Tam tersi olan karanlık bir ortamdan aydınlık bir ortama geçişte yaşanan aydınlık adaptasyonu olarak adlandırılır. Parlıltı değerinde olan değişimlere göz yavaş yavaş uyum sağlayabileceğinden dolayı karanlık adaptasyonu yavaş olur. Aydınlık adaptasyonu daha hızlı gerçekleşir. Bunun nedeni gözün yapısı gereği aydınlığa daha çabuk adapte olmasıdır [9]. Işık uyarımlarının zamana göre çok hızlı ve çok yavaş değiştiği durumlarda göz bunu ayırt edemez. Örneğin doğal aydınlatmada ışık uyarımları çok yavaş, alternatif akımla çalıştırılan lambalarda ışık uyarımları çok hızlı değiştiğinden dolayı göz bu değişimleri ayırt edemez. Yüksek aydınlık değerlerine sahip uygulamalarda aydınlatma olabildiğince titreşimsiz olmalıdır. Aydınlık seviyesinin düzgün olması adaptasyon güçlüklerinin ortadan kalkmasına yardımcı olur. Şekil 3.7.'de gözün ışıklılık adaptasyonu gösterilmiştir [2].



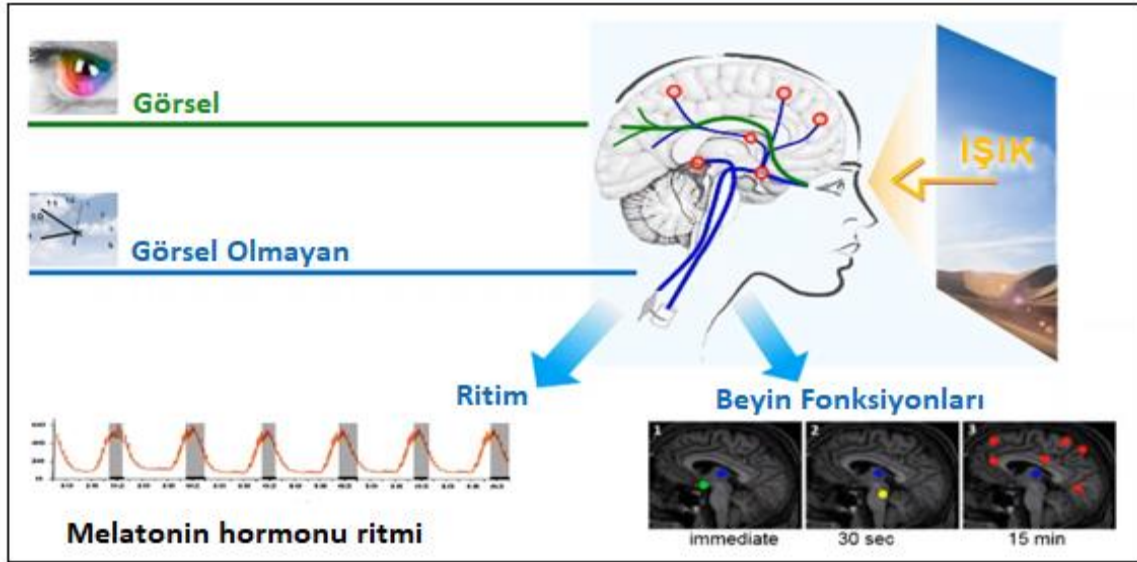
Şekil 3.7. Gözün ışıklılık adaptasyonu [2]

3.3 Işığın Görsel Olmayan Etkileri

Işık, biyolojik saati güneş günü ile senkronize eden birincil uyarıcıdır. Gün ışığı, insan metabolizmasının doğası gereği bir ihtiyaçtır. Işık, görmeyi gerçekleştirmenin yanı sıra insanın fizyolojik ve psikolojik sağlığı için önemli bir etmendir. Işık, uyku-uyanıklık döngüsü, ruh hali ve sirkadiyen ritim gibi sistemler üzerinde etkilidir. Işığın bu işlevlerine görsel olmayan etkileri denir [30]. Hormon salgıları üzerindeki etkisi, biyolojik fonksiyonların tetiklemesindeki etkisi ve insanların kendilerini iyi hissetmeleriyle olan

ilişkisi, ışığın görsel olmayan etkilerine örnek gösterilebilir. Işık, insan sağlığı ve refahında rol oynayan önemli bir çevresel faktördür. Renk sıcaklığı, ışık rengi, gölge etkisi, ışık seviyesi gibi faktörler görsel algıyı etkilediğinden dolayı insanların yaşam ritimleri üzerinde etkili olur [21].

Işık, dünyada ki insan yaşamının da buna dahil olduğu çoğu yaşam ritmini belirler. Dünyanın 24 saatlik süreçte kendi etrafında dönmesi ve 365 günlük süreçte güneşin etrafında dönmesi doğadaki ritmik süreçlere örnek gösterilebilir. Bu süreçler gündüz-gece ve mevsim oluşumlarında etkilidir [4]. İnsanlar bu ritimlerden zaman içinde etkilenmiş ve kendi biyoritimlerini oluşturma kabiliyeti göstermişlerdir. İnsan biyolojik saati ve bazı hormon salgılarının kontrolünün ışığa bağlı olarak gerçekleştiği bilimsel araştırmalarla desteklenmektedir [31]. Gece gündüz döngüsünün yanında mevsimsel döngüde insan psikolojisi ve sağlığını etkilemekte ve yetersiz gün ışığına bağlı olarak bazı hormonların salgılarında düzensizlikler görülmektedir. Yanlış veya yetersiz ışığa maruz kalma gibi durumların biyolojik saati etkileyerek uyku bozukluğu, yüksek stres, düşük verimlilik, mevsimsel duygusal bozukluk (SAD), kardiyovasküler bozukluklar ve meme kanseri gibi hastalıklara neden olduğu düşünülmektedir. Tüm bunlarda ışığın insan sağlığı için çok önemli bir noktada olduğunu gösterir niteliktedir. Şekil 3.8. 'da ışığın görsel ve görsel olmayan etkileri gösterilmiştir [32].



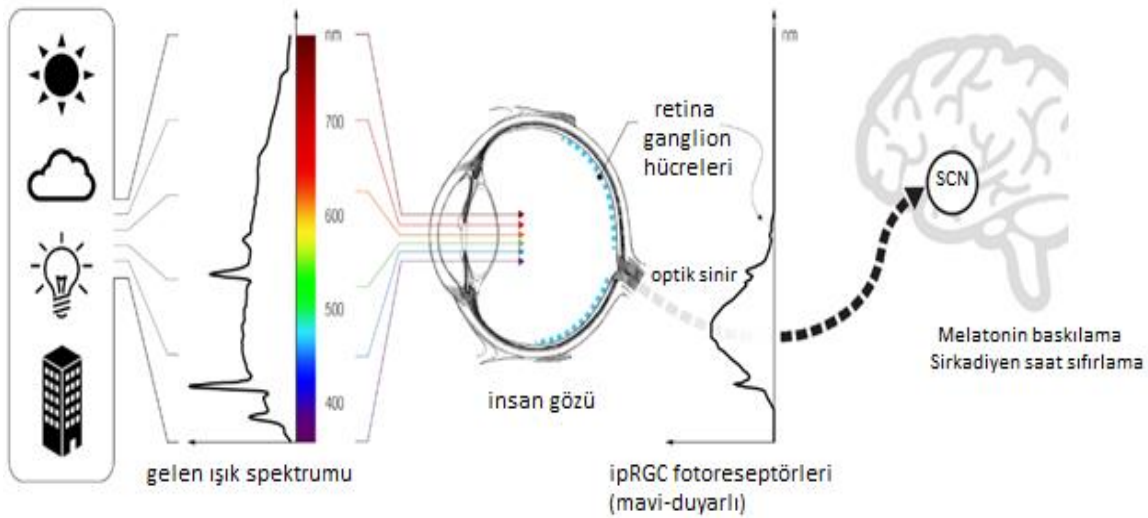
Şekil 3.8. Işığın, görsel ve görsel olmayan etkileri [33]

İç ortamlarda kullanılan geleneksel yapay ışık kaynakları, ışık seviyesi ve renk sıcaklığı açısından dinamik gün ışığı yapısı ile uyumlu olmadıkları için insan metabolizmasının

ihtiyaçlarına cevap veremez [4]. Bu nedenle insanlar, sirkadiyen ritim bozuklukları ve buna bağlı çeşitli olumsuzluklarla karşılaşabilir [31]. Bu olumsuzlukların giderilmesi için gün ışığının insana olan etkileri ile farklı dalga boylarına sahip ışığın insanlar üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkileri incelenerek aydınlatma sistemi tasarımları geliştirilebilir [32].

3.3.1 ipRGC hücrelerinin keşfi

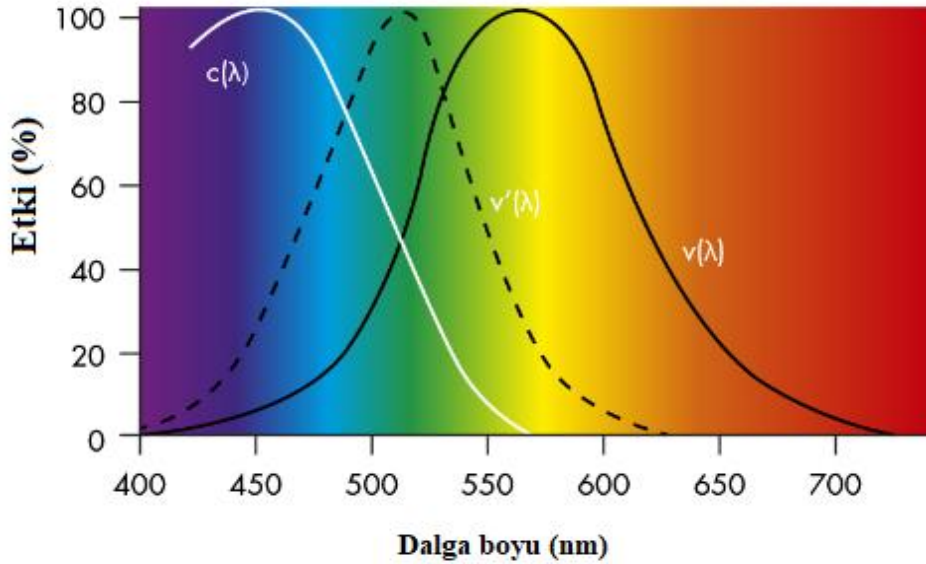
Gz retinasında bulunan görmeyi sağlayan omak ve koni hücreleri olarak bilinen fotoreseptörlerin dışında ipRGC olarak adlandırılan yeni bir hücre tipi keşfedilmiştir. Bu hücrelerin keşfi ışığın görsel olmayan etkilerinin anlaşılması için önemli bir adımdır. ipRGC hücresine ait bir fotopigment olan melanopsin, öğlen bulutsuz gökyüzünün sağladığı mavi ışığın dalga boyunda maksimum soğurma seviyesine ulaşır. Doğrudan görme sürecine etkisi olmayan ipRGC hücreleri, mavi zengini ışığa verdikleri tepkilerden dolayı sirkadiyen ritim ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 3.9.'da ipRGC hücrelerinin çalışması gösterilmiştir [34].



Şekil 3.9. ipRGC hücrelerinin çalışması [35]

ipRGC hücrelerine gelen ışık, nöral sinyallere çevrilir. Sinyallerin beyinde bulunan suprakiazmatik çekirdeğe (SCN) iletilmesiyle sirkadiyen uyarı gerçekleşir. SCN bölgesine gelen sinyallere göre epifiz bezi hormon salgılarını düzenler. Melatonin, kortizol ve serotonin olmak üzere 3 önemli hormon salgısı sirkadiyen ritim için önemlidir [36]. ipRGC hücreleri, gün boyunca beynimize hormon ve nörotransmitterleri üretmesi

veya inhibe etmesi için sinyaller yollar [37]. Şekil 3.10.'da gün ışığı koşulları altında, gece ve sirkadiyen etkiler için spektral hassasiyet eğrileri gösterilmiştir. Biyolojik olarak etkili bölgeyi $c(\lambda)$ eğrisi ifade eder. Biyolojik olarak etkili bölge, spektrumundaki mavi ışığın dalga boyunun (460nm - 480nm) bulunduğu aralıktır. Ganglion hücreleri 480 nm'de ışığa en duyarlıdır [38].



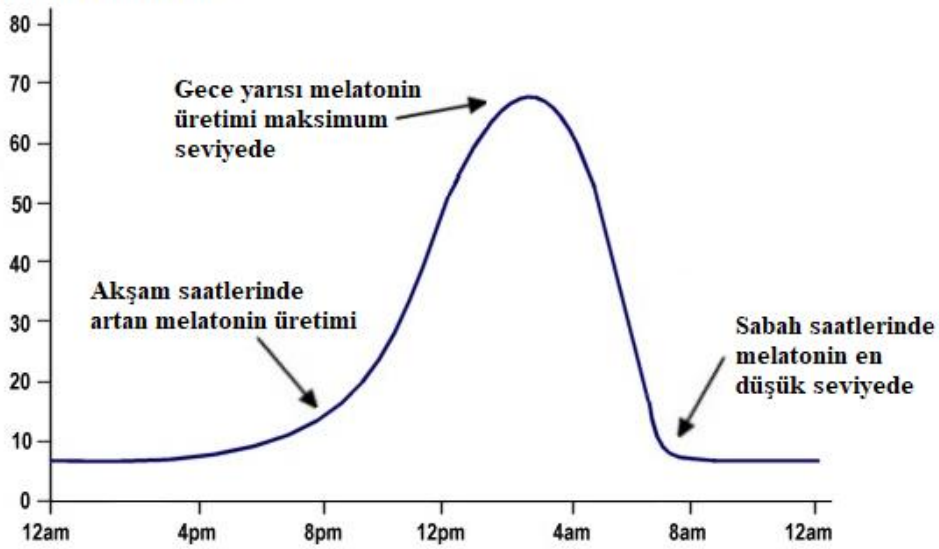
Şekil 3.10. Gün ışığı koşulları altında ($v(\lambda)$), gece vakti ($v'(\lambda)$) ve sirkadiyen etkiler için ($c(\lambda)$) spektral hassasiyet eğrileri [38]

3.3.2 Işığın fizyolojik etkileri

Işık, göz ve ten aracılığıyla insan vücuduna temas ederek endokrin ve merkezi sinir sistemine etki eder. Işıktan etkilenen endokrin ve merkezi sinir sistemi, insan vücudunun kimyasının kontrolünün sağlanmasında etkili olan iki önemli sistemdir [21]. Işığın insan metabolizması üzerindeki en önemli fizyolojik etkilerinden biri hormon salgılarında ki değişimlerdir. Fiziksel beceriler, uyku, üreme gibi metabolik faaliyetlerin düzenlenmesini sağlayan epifiz bezinde ki melatonin hormonu üretimi ışıktan etkilenir [4]. Melatonin hormonu üretimi gün boyunca ışığın etkisiyle baskılanır, geceleri ve karanlık ortamda salgı miktarı artar. Gece ışığa maruz kaldığı durumlarda vücutta ki melatonin üretimi baskılanır, bu durum sirkadiyen ritim bozukluklarına neden olur. 2007 yılında, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı, vardiyalı çalışanların gece ışığa maruz kalmalarından dolayı oluşabilecek sirkadiyen ritim bozukluklarına dikkat çekerek, bu durumu özellikle kadınlarda meme kanseri olmak üzere olası bir

kanserojen riski olarak tanımladı. WHO, bu bulguyu geceleri melatonin seviyelerinin azaltılmasının tümörlerin büyümesini arttırdığını gösteren deneysel çalışmalara dayandırdı [39]. Aydınlatmaya bağlı vücudun melatonin hormonu salgısındaki dengesizlikleri melatonin ilaçlarıyla sağlamak yerine daha maliyetli olan aydınlatma sistemleriyle çözülmek istenmesinin nedeni, insan metabolizmasının biyodinamik dengesinin, dışardan ilaçlarla kontrol edilemeyecek kadar karmaşık yapıda oluşudur. Şekil 3.11.'de 24 saatlik periyotta melatonin hormonu üretimi seviyeleri gösterilmiştir [40].

Melatonin üretimi (pg/ml)



Şekil 3.11. 24 saatlik periyotta melatonin hormonu üretimi [40]

Işığın bir başka önemli fizyolojik etkisi de insanların farklı dalga boylarına sahip kızılötesi, morötesi ve görünür ışık gibi çeşitli ışınlara maruz kalmalarının sonuçlarıdır. İnsan vücuduna güneşten gelen ışınların kronik ve akut(ani) etkileri vardır. D vitamini sentezi, bronzlaşma, güneş yanığı, hiperplazi gibi etkiler mor ötesi ışığın akut etkisine örnek olarak gösterilebilir. Özellikle güneş yanığı, ışığın insan cildi üzerindeki ciddi tepkilerindedir. Mor ötesi ışığın kronik etkilerine örnek olarak uzun yıllar mor ötesi ışığa maruz kalmaktan kaynaklanan deri yaşlanması ve cilt kanseri verilebilir. Güneş altında uzun süreli kalmak ve mor ötesi ışığa maruz kalmak bu riskleri artırır. Güneşten dünyaya gelen en etkin ışın UV-A'dır. UV-A pencerelerden geçebilir. İnsan cildi ile teması sonucu ciltte renk değişimlerine sebep olur. UV-B radyasyonunun büyük bir kısmı ozon tabakasında emilir ve bu ışın pencerelerden geçemez [4].

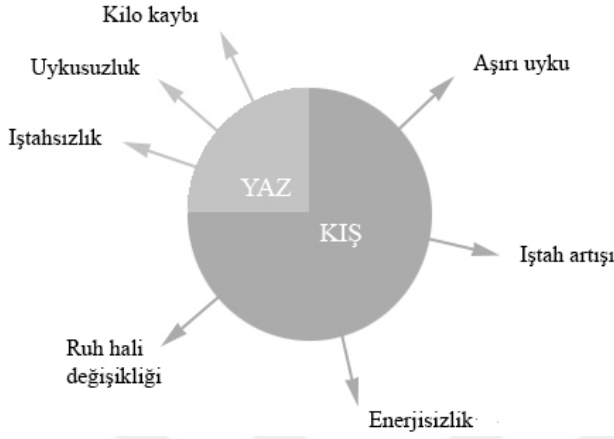
Işığın başka bir fizyolojik etkisi de görsel sisteme olan etkileridir. Yanlış aydınlatma uygulamalarından dolayı maruz kalınan ışık görsel sisteme zarar verebilir. Göz yorgunluğu, gözde tahriş ve iltihaplanma gibi rahatsızlıkları ortaya çıkabilir. Bu durum stres, baş ağrısı ve mide rahatsızlıklarını tetikleyebilir [4].

3.3.3 Işığın psikolojik etkileri

Işık ve insan psikolojisi arasındaki bağlantı karmaşık ve bilimsel olarak ölçülmesi oldukça zordur. Araştırmalar güneş ışığının insan psikolojisini olumlu etkilediğini, bakış açısı geliştirme, duyguları düzenleme ve aktif olma gibi eylemler için gerekli olduğunu göstermiştir. Özellikle gün ışığının kişilere mutluluk hissi verme ve stresten kurtulmalarına yardımcı olma gibi özellikleri vardır [4]. Beyinsel faaliyetlerde ışığın etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, ışıksız ve ışıklı ortamda tutulan iki grup kullanılarak deneyler yapılmış ve ışığın anti depresif etkisi olduğu ispatlanmıştır. Psikoterapötik ilaçların yaptığı gibi ışığında beyni uyardığı anlaşılmıştır. Bu durumda beyin işlevlerini daha hızlı ve verimli gerçekleştirebilir. Işık, serotonin seviyesini de etkiler. Serotonin seviyesinin düşmesi kişilerde depresyona sebep olur. Bu durumun tedavisinde ışık terapisi yapılarak serotonin seviyesi ayarlanabilir [26].

İnsan vücudundaki biyolojik ritimler mevsimlerden etkilenir. Yaz mevsiminde uzun süren gündüzler daha çok güneş ışığı alabilmeye olanak sağlar ve bu duruma bağlı kandaki melatonin hormonu seviyesi azalır. Kış mevsiminde gecelerin uzun olmasından kaynaklı melatonin hormonu seviyesi artar. Kış mevsiminde insanlar kendilerini daha gergin, mutsuz, konsantrasyonu azalmış ve tepkileri yavaşlamış hissedebilir. Bu durum kış mevsiminin psikolojik etkisidir. Bazı insanlar bu durumdan fazlaca etkilenerek klinik depresyon halini yaşayabilir. Bu durum Mevsimsel Duygu Durum Bozukluğu (SAD) olarak isimlendirilmiştir. 1981 yılında Dr. Norman E. Rosenthal, güneş ışığının eksikliğine bağlı depresyonu tanımlamak için ilk defa bu terimi kullanmıştır. SAD sendromuna kuzey enleminde yaşayan insanlarda yaygın olarak rastlanır. Erkeklerle göre kadınların ışığa daha fazla duyarlı olmalarından kaynaklı bu sendroma daha sık yakalandıkları bilinmektedir. Çocuklarda yorgunluk, asabiyet, mutsuzluk ve okulda dikkat dağınılığı gibi belirtiler gösterir. Şekil 3.12.'de mevsimsel depresyona bağlı kişilerde oluşan değişiklikler gösterilmiştir [4]. Bu durumun giderilmesi için kişilere değişen periyotlar da yüksek aydınlık seviyelerinde uygulanan literatürde 'ışık terapisi'

diye belirtilen tedaviler uygulanır. Sabah erken vakitlerde yapılan ışık terapisi 2-3 hafta gibi bir zamanda, mevsimsel değişimlere ve gün ışığı eksikliğine bağlı ortaya çıkan depresyon belirtilerinin atlatılmasında etkili olur [41].

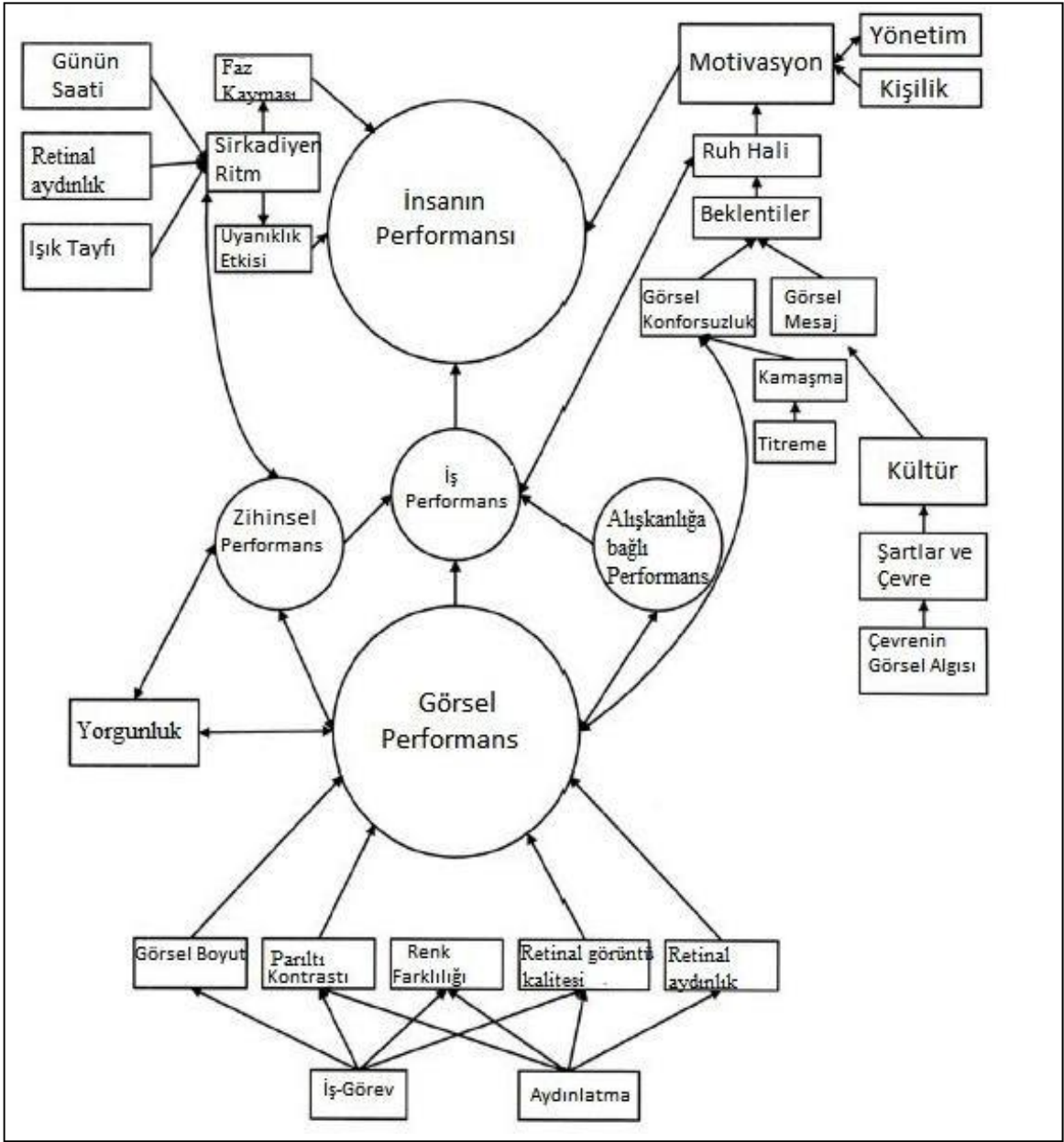


Şekil 3.12. Mevsimsel depresyona bağlı kişilerde oluşan değişiklikler [4]

Renk sıcaklığı ve ışık renklerinin insan psikolojisi üzerinde çeşitli etkileri vardır. Sıcak renkler insanlar üzerinde rahatlama gibi bir etki gösterirken, soğuk renkler ferahlık hissi yaratabilir. Aydınlatma tasarımları yapılırken ortamın niteliği ve ışığın insanlar üzerindeki psikolojik etkileri göz önünde bulundurulmalıdır [21].

3.3.4 Işığın performans üzerindeki etkileri

İş performansı, kişilerin yapılan işin niteliğine göre görevlerinin gerektirdiği problem çözmeye, iş arkadaşları ile iletişim, takım çalışması performansı ve üretkenlik seviyesi gibi parametreleri karşılama becerileri olarak tanımlanabilir. İş performansı, çalışanın motivasyonu, iyi hissetmesi gibi bireysel parametrelerin yanı sıra aydınlatma, havalandırma gibi iç ve dış çevre koşullarına bağlıdır [21]. Ortamın aydınlatma koşulları kişinin görme sistemi, algısal sistemi ve sirkadiyen sistemini etkileyerek kişisel performansı üzerinde etki gösterir. Şekil 3.13.'de aydınlatma şartlarına bağlı olarak algısal sistem, sirkadiyen sistem ve görme yoluyla insan performansı üzerindeki etkisi gösterilmiştir [4].



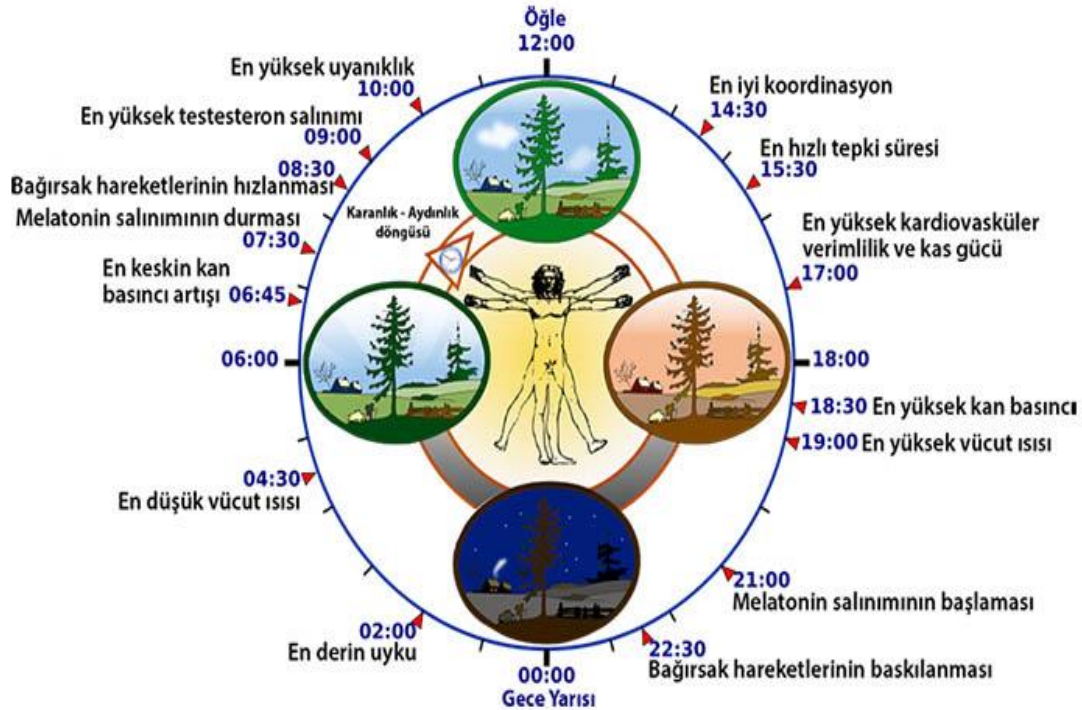
Şekil 3.13. Aydınlatma şartlarının görme, sirkadiyen ve algısal sistem aracılığıyla performansa olan etkilerini gösteren şema [21]

Glickman ve Brainard isimli bilim adamlarının yaptığı araştırmaya göre kişilerin çalışma saatlerinin sık değişmesi biyoretim dengesizliğine yol açmaktadır. Bu da kişilerde kalp hastalıkları, sindirim sorunları, mide rahatsızlıkları, hafızada bulanıklık, adaptasyon zorluğu ve psikolojik rahatsızlıklar gibi çeşitli olumsuzluklara yol açmaktadır [21]. Işık kalitesi, kişilerin performansına direkt etki eden bir parametredir. Aydınlatma tasarımının, ışığın insan üzerindeki etkileri göz önüne alınarak yapılması durumunda iş

performansının iyileşmesi, üretkenliğin artması, başarısızlık oranının düşmesi, çalışanların kendilerini iyi hissetmeleri gibi olumlu katkıları olur. Aydınlatma tasarımında ortamda kullanılacak ışığın renk sıcaklığı, ışık şiddeti, geliş açısı ve ışık rengi gibi faktörler iyi analiz edilmelidir. Bütün bunlara dikkat edilmeden yapılan kötü aydınlatma uygulamaları moral bozukluğu, yorgunluk hissi, dikkat dağınıklığı ve göz sinirlerinin yıpranması, erken yorulma gibi olumsuzluklara neden olarak iş performansını kötü etkiler [4].

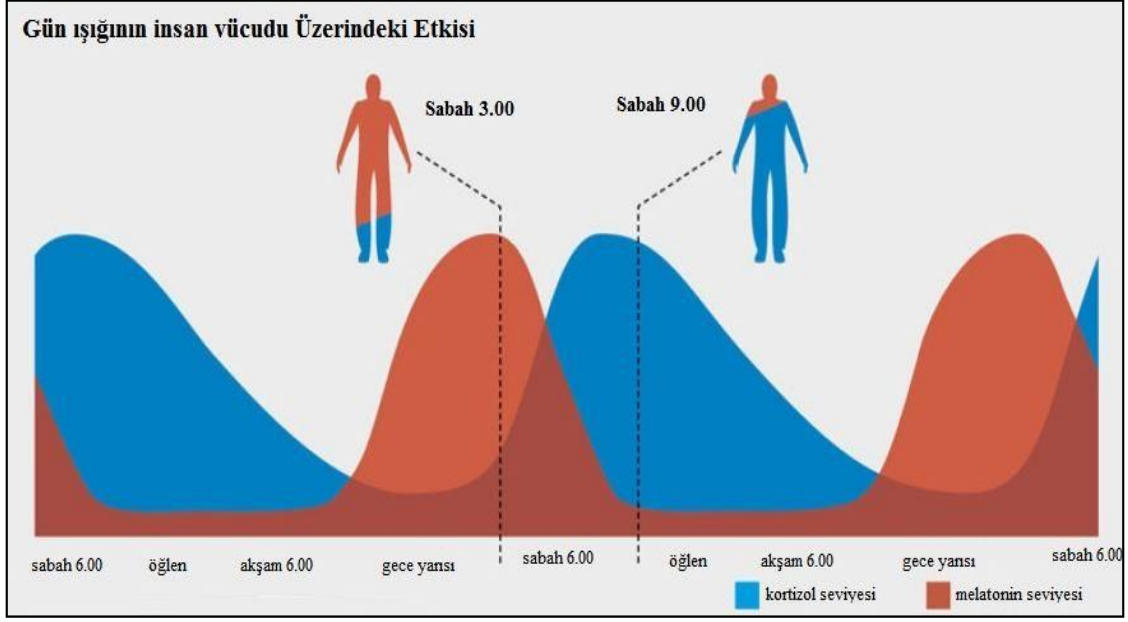
3.4 Sirkadiyen Ritim ve Biyolojik Saat

Sirkadiyen ritim, kabaca 24 saatlik bir döngüde tekrarlanan sindirim, uyku ve vücut ısısı gibi kendini tekrar eden biyolojik olayların temel döngüsüdür [21]. Sirkadiyen kelimesi Latince’de “yaklaşık 1 gün” anlamına gelmektedir. Sirkadiyen ritim kişinin bulunduğu çevreye ile ilişkilidir [32]. Işık, göz retinasına düştükten sonra hipotalamusa iletilir ve vücudun iç saatine etki eden sirkadiyen ritmin düzenlenmesine etkiler. Böylece insan vücudundaki melatonin salgısı, kortizol salgısı, korteks çalışması, vücut ısısı gibi metabolik faaliyetlerin belli periyotlar da olması sağlanır [12].Güneş ışığı, dinamik yapısı sayesinde sirkadiyen ritmin düzenlenmesinde geleneksel yapay ışık kaynaklarına göre daha etkilidir [4]. Şekil 3.14.’te sirkadiyen ritim döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Sirkadiyen ritim döngüsü [42]

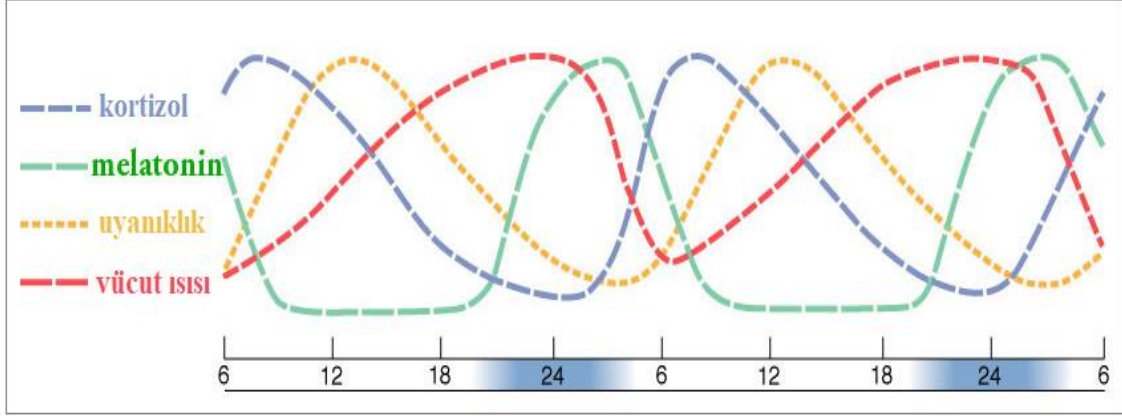
Gün ışığının etkisi ile insan vücudundaki melatonin ve kortizol hormon seviyeleri şekil 3.15.'te gösterilmiştir. Kortizol hormonu seviyesi mavi renkte gösterilmiş olup sabah saatlerinde maksimum seviyede, gece saatlerinde ise minimum seviyededir. Gece saatlerinde melatonin hormonu salgısı başlar ve gece yarısından sonra maksimum değere ulaşır [21].



Şekil 3.15. Güneş ışığının insan metabolizmasına etkisiyle kortizol ve melatonin düzeylerindeki değişim [21]

Sabah saatlerinde ki ışık biyolojik saati tetikler. Tetiklenen vücut bu uyarana kortizol, adrenalın ve serotonin gibi hormonlar salgılayarak cevap verir. Artan kortizol miktarı, zihni ve vücudu gün içinde yapacağı aktivitelere hazırlar. Kortizol, kan şekerini artırır. Böylece vücuda enerji verilmesi sağlanır. Hormon salgılamamanın yanı sıra metabolizma hızı ve vücut sıcaklığı da yükselir. Buna karşın sabah saatleri itibariyle melatonin seviyesi düşer ve uykululuk hali ortadan kalkar. Öğle saatlerinden sonra metabolizma hızı en üst seviyeye ulaşır. Akşam saatlerinde güneşin batıp gün ışığının azalması ile birlikte melatonin hormonu salgısı artar ve vücut sıcaklığını düşürülür. Sabah saatlerinde tekrardan melatonin hormonu salgısı biyolojik saat tarafından düşürülür ve bu döngü 24 saatlik düzende bu şekilde devam eder [21].

Şekil 3.16.'da vücut sıcaklığı, melatonin, kortizol, uyanıklık gibi insandaki tipik ritimlerin 2x24 saatlik bir süredeki davranışı gösterilmiştir. Melatonin ve kortizol hormonları uyku ve uyanıklık durumlarının yönetimlerinde öneme sahiptir. İnsan vücudunun sağlığı için bu hormonal ritimlerin aksamaması gerekir [21].



Şekil 3.16. 2x24 saat boyunca dünyanın aydınlık-karanlık döngüsünde insanlarda uyanıklık, vücut ısısı ve melatonin, kortizol hormonlarının ritimleri [21]

Günlük yapılan faaliyetlerin sirkadiyen ritim ile uygun olmasına dikkat edilmelidir. Gece vardiyasında çalışanlarda, uyku yetersizliğinden kaynaklı sirkadiyen ritim bozulabilir [21]. 8 saat mesai süresini gün ışığı görmeyen penceresiz ortamlarda veya aydınlatmanın yetersiz olduğu ortamlarda geçiren çalışanlarında sirkadiyen ritmi bozulabilir. Vardiyalı çalışan kişilerde sabah erken saatlerde ve gece geç saatlerde odaklanma ve dikkat eksikliği, aşırı uyku hali, kaza riski gibi istenmeyen durumlar ile karşılaşılır. Bunun nedeni biyolojik saatin gece uyku durumunda olmayı istemesine karşın kişinin kendini gündüz ritminde tutmaya çalışmasından kaynaklanır [21]. Tablo 3.1'de gün içinde belli saatlerde insan sirkadiyen ritmine bağlı işlevselliği artan faaliyetler gösterilmiştir [4].

Tablo 3.1. Gün içindeki biyolojik saat etkinlikleri [4]

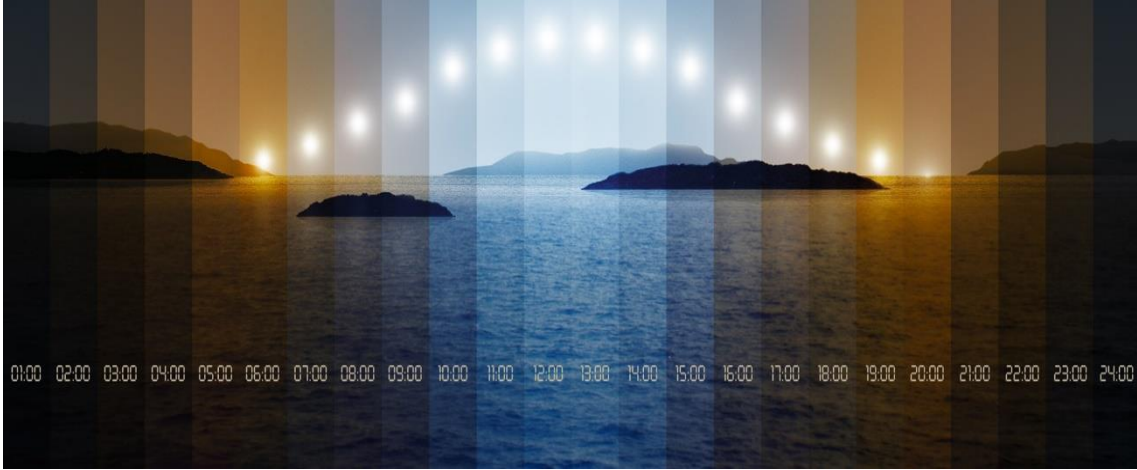
SAAT	FAALİYET	SAAT	FAALİYET
24.00	Uykunun ilk başlangıç evresi	11.00	Beyin aktif çalışıyor.
01.00	Uyku hazırlığı, dikkat azalması.	12.00	Dikkat azalması başlangıcı
02.00	Derin uyku, melatonin salgısı en yüksek düzeyde.	13.00	Verimlilik azalıyor. Beden formdan düşüyor.
03.00	Melatonin azalıyor, kararsızlık ve melankoli artıyor.	13.30	Kan basıncı düşüyor, bitkinlik hissinde artış başlıyor.
04.30	En düşük vücut sıcaklığı.	14.30	Çevresel etkenlere yüksek uyum
05.00	Testesteron salgısı en yüksek düzeyde, stres ve enerji artışı.	15.00	Enerji ve verimlilik artışı.
06.00	Kortizon salgısı artıyor. Vücut enerji ve protein hazırlıyor.	15.30	En hızlı tepki evresi, reslekte artış.
06.45	Kan basıncında ani yükselme.	16.00	Kas gücü en üst seviyede.
07.00	Sindirim çalışmaya başlıyor.	17.00	Organ faaliyeti ve kuvvet artışı.
07.45	Melatonin salgısı duruyor.	18.30	Kan basıncı en yüksek seviyede.
08.00	Nikotin zararı en üst düzeyde.	19.00	Vücut sıcaklığı en üst seviyede.
08.30	Bağırsak hareketleri başlıyor.	21.00	Melatonin salgısı başlıyor.
09.00	Fiziksel güç artıyor.	22.30	Bağırsak faaliyetleri azalıyor.
10.00	Enerji ve verimlilik en üst seviyede.	23.00	Kan basıncı ve vücut sıcaklığı düşüyor, stres azalıyor.

2017 yılında Nobel Tıp Ödülü, sirkadiyen ritmi kontrol eden moleküler mekanizmalar ile ilgili çalışmalar yapan Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash ve Michael W. Young isimli üç bilim adamına verildi. Sirkadiyen ritmi kontrol eden geni bulan bilim adamları, bu genin gün içinde azalan ve gece artan bir protein ürettiğini de buldu [43].

4. İNSAN ODAKLI AYDINLATMA

İnsan metabolizması üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkileri olan gün ışığı, güneşin konumundaki değişime göre gün içerisinde renk sıcaklığı, ışık şiddeti, ışık rengi gibi parametrelerde değişim gösterdiğinden dolayı dinamik yapılıdır. Gün ışığındaki bu değişimler, sirkadiyen ritim üzerinde etkilidir. Bu nedenle gün ışığı insan yaşamı için oldukça önemlidir [26].

Geçmiş zamanlarda insanlar vakitlerinin çoğunu dış ortamlarda ve güneş ışığı altında geçirmekteydi. Günümüzde ise insanlar vakitlerinin çoğunu ev, ofis, hastane, okul gibi kapalı ortamlarda ve yapay aydınlatma kaynaklarının oluşturduğu ışıklar altında geçirmektedir [21]. İnsan sirkadiyen ritmi ve buna bağlı biyolojik saati dünyanın aydınlık-karanlık döngüsü ile senkronizedir. Dolayısıyla kapalı ortamlarda bulunan insanların maruz kaldıkları ışığa bağlı olarak sirkadiyen ritimlerinde düzensizlikler oluşabilir. İnsanların yaşam ve çalışma alanlarına güneş ışığının dinamik atmosferinin taşınması ve biyolojik saat ile sirkadiyen ritimlerinin bozulmasının önlenmesi amacıyla “insan odaklı aydınlatma” fikri doğmuştur [44]. İnsan odaklı aydınlatma; yapay bir aydınlatma ortamında gün ışığının biyolojik etkilerini elde etmek için kullanılan teknik yöntemler bütünüdür[44]. Şekil 4.1.’de güneşin konumuna bağlı olarak gün boyunca değişen renk sıcaklığını ve parlaklığı gösteren fotoğraf çalışması gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Güneşin konumuna bağlı olarak gün boyunca değişen renk sıcaklığını ve parlaklığı gösteren fotoğraf çalışması [46]

Gün doğumu ve batımında yaklaşık 2000K-3000K aralığında ve sarı, turuncu, amber gibi renk tonlarında olan güneş ışığı, öğle saatlerinde 5500K-6500K aralığında ve parlak mavi, beyaz tonlarına sahiptir [45].

İnsan odaklı aydınlatma sistemleriyle, doğal ışık kalitesinde yapay ışık elde ederek insan metabolizmasının gün ışığına verdiği reaksiyonların sağlanması hedeflenir. İnsan odaklı aydınlatma konsepti, estetik bir perspektiften ziyade refah, ruh hali ve sağlığı teşvik eden aydınlatma sistemleri geliştirmeyi ve kullanılmasını hedeflemektedir [44].

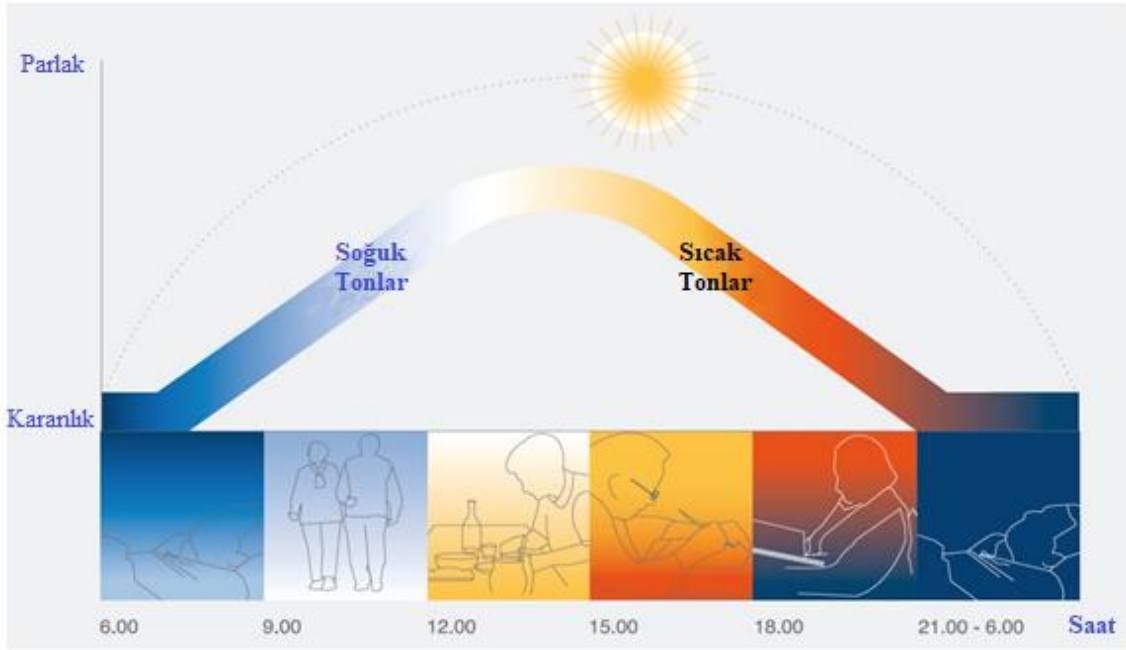
İnsan odaklı aydınlatma sistemleri, özellikle gün ışığının etkilerinin görülemediği alanlarda kullanılmalıdır. Bu sistemler ile günün farklı saatleri için gün ışığındaki ışık şiddeti, aydınlık seviyesi ve renk sıcaklığı gibi parametrelerdeki değişimler modellenip senaryolaştırılarak dinamik ışığın etkin olduğu aydınlatma tasarımları yapılabilir. Bu tasarımlar yapılırken akıllı aydınlatma sistemleri, sensör teknolojileri, gelişmiş ışık yönetim sistemleri, yapay zeka uygulamaları, kablosuz kontrol sistemleri ve IOT gibi teknolojilerden faydalanılabilir [44]. Şekil 4.2.'de venn diyagramında da gösterildiği gibi insan odaklı aydınlatma, görsel performansın ötesinde insan fizyolojisi ve performansını etkileyen birçok unsurun merkezindedir [33].



Şekil 4.2. İnsan odaklı aydınlatma kavramı [47]

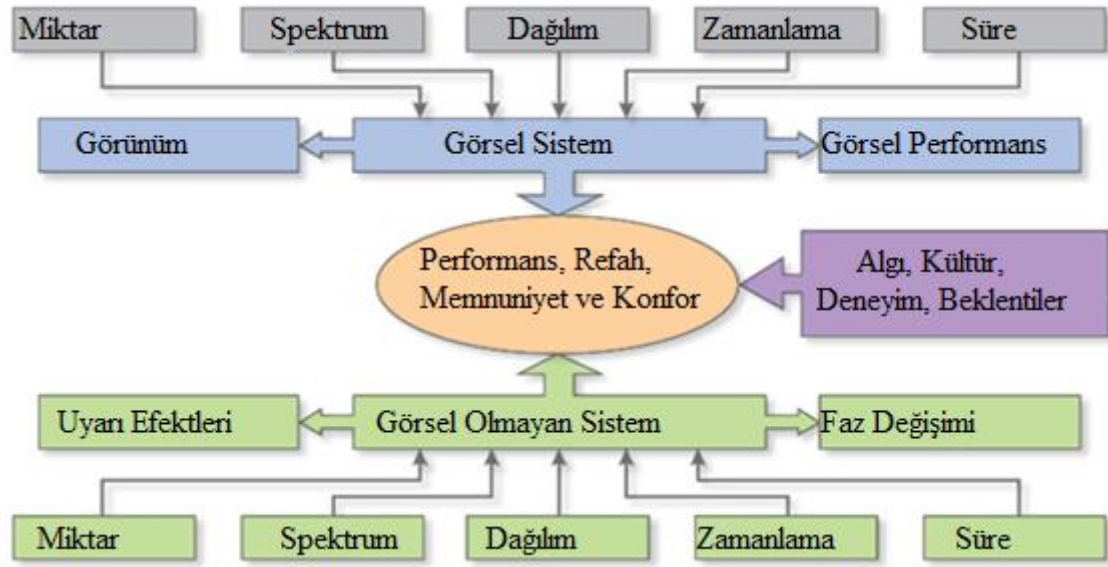
İnsan odaklı aydınlatma kavramı, ışığın hayatımızdaki yeri ve insan üzerindeki etkilerinin sorgulanması ile ortaya çıkmıştır [48]. Gündüz enerjimizin yüksek olmasında ışığın etkisi nedir, neden gece uykumuz gelir, biyolojik ritmimiz ile dünyanın aydınlık-karanlık ritmi arasındaki ilişki nedir gibi soruların cevapları araştırılmıştır [26]. Son yıllarda aydınlatma firmaları ve bu alanda çalışan araştırmacılar tarafından ışığın görsel olmayan etkilerinin araştırılması, deneyler yapılması, elde edilen bulgular ve gözlemler sonucu bu alanda makaleler yayınlanması insan odaklı aydınlatma yönteminin geliştirilmesine katkı sağlamıştır. İnsan odaklı aydınlatma uygulamalarıyla, ışığın insanlar için görsel, duygusal

ve biyolojik faydalarının dengelemesi amaçlanır. Bu dengenin sağlanması ve sürdürülmesinde ışık önemli bir çevresel faktördür [44]. Gün boyunca şafaktan alacakaranlığa kadar ışık yoğunluğu ve spektral kompozisyon değişir [17]. Şekil 4.3.'te günün farklı saatlerinde güneş ışığındaki renk sıcaklığı ve parlaklık değişimi gösterilmiştir. Gün ışığı, iyi ışık kalitesinin referansıdır ve insan odaklı aydınlatma için temel teşkil eder [21].



Şekil 4.3. Günün farklı saatlerinde güneş ışığındaki renk sıcaklığı ve parlaklık değişimi [49]

İnsan odaklı aydınlatma, ışığın insan metabolizması üzerindeki görsel olmayan etkileri ve sirkadiyen ritme olan etkileri ile ilişkilidir. Işık görsel, görsel olmayan ve psikolojik sisteme etki eder [48]. Şekil 4.4.'te ki şemada maruz kalınan ışığın miktar, spektrum, dağılım, zamanlama, süre gibi parametrelerinin görsel ve görsel olmayan sistemlere dolayısıyla psikolojik sisteme olan etkisi gösterilmiştir.



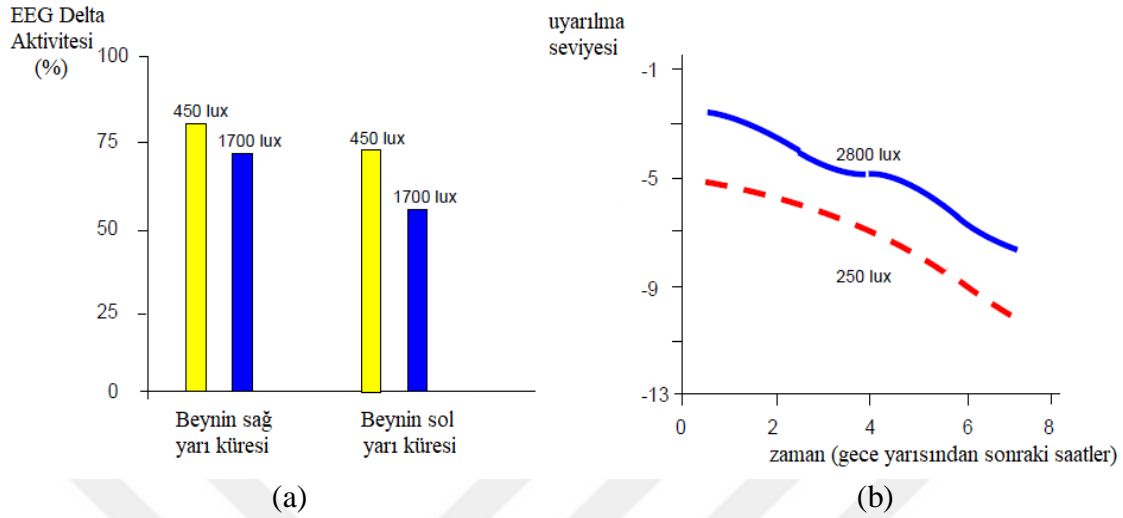
Şekil 4.4. Işığın görsel, görsel olmayan ve psikolojik sisteme olan etkileri [48]

4.1 Işığın İnsanlar Üzerindeki Etkilerini İnceleyen Araştırmalar

Farklı aydınlatma koşulları için sağlık, refah ve uyanıklığın etkilerini karşılaştıran çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır. Bu konuyla ilgili bilimsel deneylerden biri Küller ve Wetterberg tarafından ofis ortamına benzetilen bir laboratuvarındaki çalışanlar üzerinde yapılmıştır. Deneyde yüksek aydınlık düzeyinden daha düşük aydınlık düzeyine geçilmesi sonucunda insan beyninin EEG grafikleri çekilmiş ve karşılaştırılmıştır. EEG grafiği insan beyninin dalga grafiği olarak açıklanabilir. Deneyde yüksek aydınlık düzeyi olarak 1700 lux, düşük aydınlık düzeyi olarak ise 450 lux seviyeleri kullanılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda yüksek aydınlık düzeyinde daha az delta dalgası yayıldığı gözlemlenmiştir. EEG grafiğindeki delta dalgasının aktivitesi uyuklu olma durumunu gösterir. Bu durum parlak ışığın merkezi sinir sisteminde uyandırıcı etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Şekil 4.5. (a) 450 lux ve 1700 lux aydınlatma seviyelerinde EEG grafiklerindeki delta aktivitelerini gösterir.

Işığın uyanıklık ve ruh hali üzerindeki etkileri hakkında yapılan deneylerin çoğu beklenen etkilerinin güçlü olacağı düşünüldüğü için gece vardiyasında yapılmıştır. Şekil 4.5. (b)'deki grafik, vardiyalı işte çalışanlar için zamanın bir fonksiyonu olarak iki aydınlatma seviyesinin (250 lux ve 2800 lux) uyarılma üzerindeki etkisini göstermektedir. Uyarılma seviyesi, uyanıklık ve ruh halini ifade eder. Her iki aydınlatma seviyesinde gece boyunca uyarılmada bir düşüş meydana gelir, ancak yüksek ışık seviyesi önemli ölçüde artırılmış

bir uyarılma seviyesi dolayısıyla daha iyi uyanıklık ve ruh hali ile sonuçlanmıştır [50].



Şekil 4.5. (a) EEG grafiklerinde 450 lux ve 1700 lux aydınlatma seviyelerinde Delta aktivitesi, (b) Gece yarısından sonraki çalışma saatlerinde 250 lux ve 2800 lux için uyanıklık ve ruh halini ifade eden uyarılma seviyesi [50]

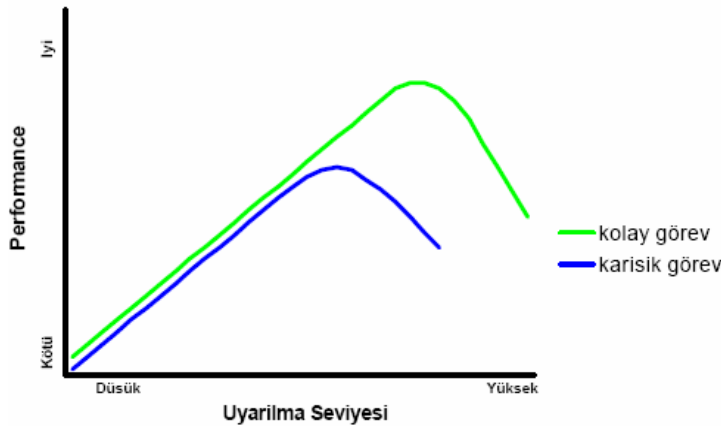
Başka bir araştırma çalışması Güney Kore İleri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü'nde ışığın rengi ve bilişsel performans üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla Kyungah Choi ve Hyeon Jeong Suk tarafından yürütüldü. Araştırmada yapılan deney laboratuvar ortamında ve yetişkin gönüllülerin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyin yapıldığı ortamın aydınlatmasında CCT değeri kontrol edilebildiği için LED ışık kaynağı kullanılmıştır. Deneyde, farklı renk sıcaklığı değerlerinin (3500K, 5000K, 6500K) fizyolojik uyanıklık düzeyi üzerindeki etkisini incelemek için gönüllülerin el ve ayak bileklerine yerleştirilen elektrotlar ile EKG değerleri ölçülmüştür. Deney sonucunda 6500K en yüksek fizyolojik uyanıklığı sağlarken, en rahatlatıcı koşulu 3500K değeri sağlamıştır [51].

Bu çalışmanın ardından Choi ve Suk, aydınlatma koşullarının öğrencilerin akademik performansına etkisini araştırmak amacıyla başka bir deney çalışması daha yapmıştır. Çalışmada ilk deneyde laboratuvar ortamında kullanılan aydınlatma koşulları bir sınıfa uygulanarak, dördüncü sınıf öğrencilerinin akademik performans ve teneffüs faaliyetlerine olan etkisi test edildi. Akademik performansı test etmek için öğrencilere zaman sınırlı aritmetik sınavlar uygulandı. Deney sonucunda uyarıcı etkisi bilinen 6500K renk sıcaklığına sahip ışığın, akademik performansta önemli bir değişiklik sağlamadığı

görüldü. Bunun üzerine Suk, laboratuvarında anlamlı bir sonuç bulunmamasının nedeni olarak test deneklerinin yapay bir ortama yerleştirilip aydınlatmaya kısa bir süre maruz kalmaları olduğunu söyledi [51].

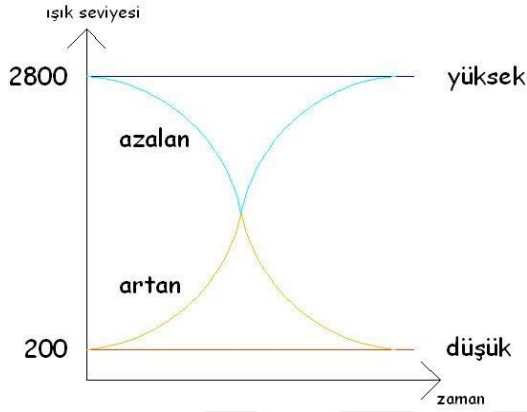
Suk ve Choi, gerçek sınıf ortamında aydınlatma koşullarına uzun süre maruz kalmanın farklı bir sonuç getirip getirmeyeceğini görmek için başka bir deney çalışması daha yaptı. Yapılan deneyde, iki farklı grup dördüncü sınıf öğrencisinden ilk grup 3500K, 5000K ve 6500K olarak CCT değeri ayarlanabilen LED ışığın kullanıldığı sınıfta, diğer kontrol grubu standart floresan lambaların olduğu sınıfta uzun süreli akademik testlere tabi tutuldu. 6500K altındaki öğrenciler akademik testlerde en iyi performansı, 3500K altındaki öğrenciler ise teneffüs faaliyetlerinde (oyun) en iyi performansı gösterdi. Deney sonucunda, 6500K değerinde yüksek uyarıcı etkinin olduğu ve akademik performansın artmasının Yerkes-Dodson yasası tahminlerini takip ettiğini görülmüştür. İnsanlar belirli zihinsel uyarılma seviyelerinde (bu deneyde 6500K koşulunda) en iyi performansı gösterme eğilimindedir ve bu seviyeler çok düşük veya çok yüksek olduğunda performans daha kötüdür [51].

Yerkes-Dodson kanunu olarak bilinen uyandırma teorisine göre insan performansı ve uyandırma ilişkisi, ters U fonksiyonunun sistematik olarak çeşitlendiğini gösterir. Uyandırma etkisi performansı etkiler. Fakat belli bir değerden sonra performans üzerinde ters etki gösterir. Bu durum Şekil 4.6.'da ki grafikte gösterilmiştir. Aydınlatma insan performansını arttırmak için, uyanıklığın düşük seviyeden orta seviyeye yükseldiği ve görevin çok zor olmadığı durumlarda etkilidir [26].



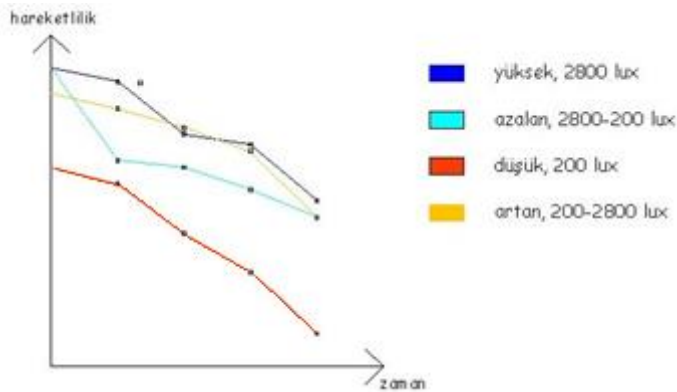
Şekil 4.6. Uyandırma Teorisi'ne göre uyarılma ve performans arasındaki ilişki [26]

Başka bir araştırma çalışması Rensselaer Politeknik Enstitüsü aydınlatma araştırma merkezi tarafından yapılmıştır. Çalışmada dört farklı ışık senaryosu uygulanan denekler testlere tabi tutulmuştur. Şekil 4.7.'de uygulanan ışık senaryolarının grafiği gösterilmiştir [26].



Şekil 4.7. Deneklere uygulanan ışık senaryolarının zamana göre grafiği [26]

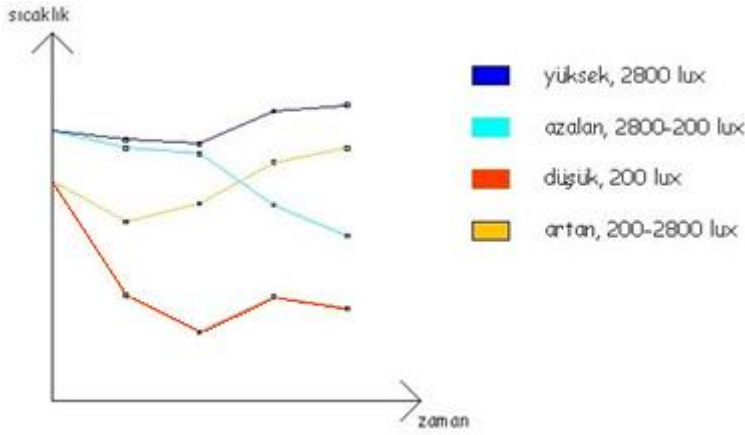
Grafikte gösterilen uygulanan ışık senaryoları; sabit düşük 200 lux ışık, sabit yüksek 2800 lux ışık, 200 lux ile 2800 lux arası artarak değişen ışık ve 2800 lux ile 200 lux arası azalarak değişen ışık olacak şekilde ayarlanmıştır. Uygulanan testlerin sonuçlarına göre şekil 4.8.'de ki grafik dört farklı ışık senaryosu için deneklerin canlılık ve hareketlilik durumlarını gösterir [26].



Şekil 4.8. Deneklerin ışık senaryolarına göre belirlenen hareketlilik-zaman grafiği [26]

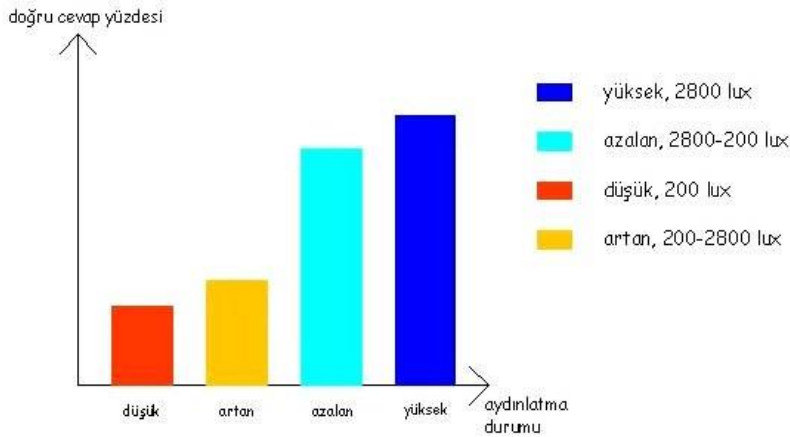
Yapılan deneyden çıkarılan hareketlilik zaman grafiğinde yüksek ve artan ışık seviyelerinin, düşük ve azalan ışık seviyelerine göre canlılık ve hareketlilik seviyesini daha yüksek tuttuğu görülmektedir.

Uygulanan testlerin sonuçlarına göre şekil 4.9.'da ki grafik dört farklı ışık senaryona göre deneklerin vücut sıcaklıklarındaki değişimi gösterir [26].



Şekil 4.9. Deneklerin ışık senaryolarına göre belirlenen vücut sıcaklığı-zaman grafiği [26]

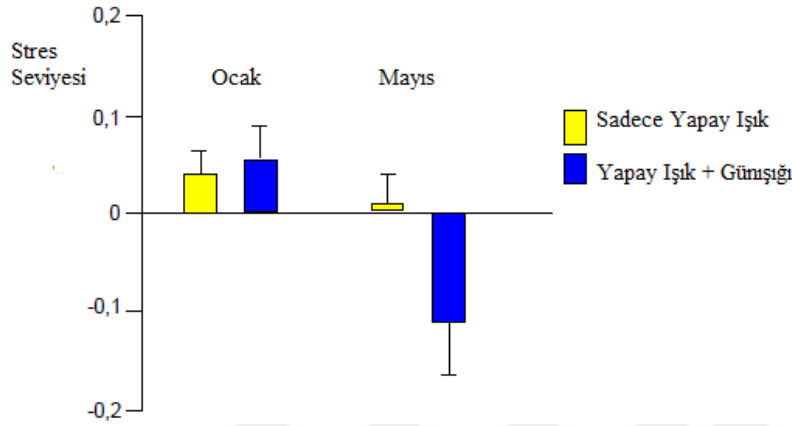
Yapılan deneyden çıkarılan sıcaklık zaman grafiğinde yüksek ve artan ışık seviyelerinin, düşük ve azalan ışık seviyelerine göre vücut sıcaklık seviyesinde artışa neden olduğu görülmektedir. Uygulanan testlerin sonuçlarına göre şekil 4.10. dört farklı ışık senaryona göre deneklerin karmaşık idrak etme aktivitelerindeki değişimi gösterir [26].



Şekil 4.10. Deneklerin ışık durumlarına göre karmaşık sorulara verdikleri doğru cevap yüzdeleri [26]

Yapılan deneyden çıkarılan doğru cevap yüzdesi aydınlatma durumu grafiğinden yüksek ve azalan ışık seviyelerindeki doğru cevap yüzdelerinin, düşük ve artan ışık seviyelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu deney çalışmasından çıkartılan grafikler, farklı ışık şiddeti seviyelerinin insanlar üzerinde farklı etkiler yarattığı göstermektedir [26].

Başka bir araştırma çalışması da kapalı iç mekânlarda çalışan insanların stres düzeylerinin ve şikâyetlerinin aydınlatma ile ilişkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada sadece yapay ışık altında çalışan bir grup insanla, yapay ışık ve gün ışığı kombinasyonu altında çalışan bir grup insanın stres seviyelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4.11.'de sadece yapay ışık altında ve yapay ile gün ışığının kombinasyonu altında çalışan bir grup işçinin stres düzeyleri gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Sadece yapay ışık altında ve yapay ile gün ışığının kombinasyonu altında çalışan bir grup işçinin stres düzeyleri [26]

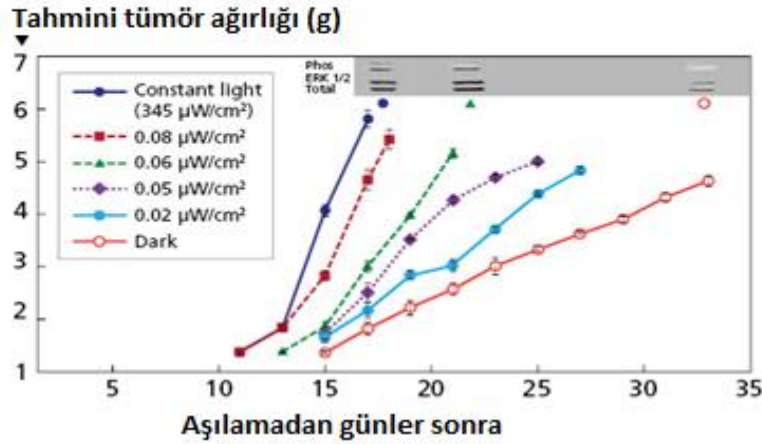
Şekil 4.11.'de ki grafikte görüleceği üzere ocak ayında gün ışığının mevsime bağlı olarak aydınlatma seviyesine katkısının az oluşundan dolayı iki grubun stres düzeyleri arasındaki fark çok düşüktür. Mayıs ayına bakılacak olursa gün ışığının aydınlatmaya katkısının fazla oluşundan dolayı iki grup arasındaki stres düzeyi farkı fazladır. Mayıs ayında kombine aydınlatma altında bulunan denek grubunun stres seviyesi daha düşüktür. Bu durum parlak ışığın stres seviyesi üzerindeki etkisini gösterir [26].

Başka bir araştırma çalışması da Radnot tarafından ortamın aydınlık düzeyi ile kandaki eozonofil hücrelerinin yoğunluğu arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada kandaki eozonofil hücrelerinin yoğunluğunun, nöroendokrin sisteme bağlı olarak ortamın aydınlık düzeyine göre değiştiği görülmüştür. Yapılan deneylerde, aydınlık seviyesi yükseldikçe eozonofil hücrelerinin yoğunluğunun azaldığı gözlemlenmiştir. Yoğunluğun azalmasıyla insan metabolizması canlanır ve verimlilik oranı artar. Bu durum insanın gündüz saatlerindeki ışık altında optimum koşullara

erişebildiğinin göstergesidir [26].

Başka bir araştırma çalışması da Tulane Üniversitesi Tıp Fakültesi'nden David Blask tarafından yapılmıştır. Blask, ışığın sirkadiyen sistemi değiştirebildiği ve bu değişimlerle kanser hastalığı arasındaki ilişkiyi araştırdı. Araştırma, gece farklı seviyelerde polikromatik beyaz ışığa maruz bırakılan fareler üzerinde yapılan çeşitli testlere dayanır. Kontrol grubu 12 saat aydınlık, 12 saat karanlıkta bırakılmıştır. Yapılan çalışmada farelere implante edilmiş insan meme kanserinin ksenograftlarının büyüme hızı takip edilmiştir. Normal koşullarda tümör hücrelerinin gün boyunca daha hızlı, geceleri daha yavaş büyüdüğü ve melatoninin varlığında bu büyümenin daha yavaş olduğu görüldü. Şekil 4.12.'de ki grafikte geceleri artan ışık seviyesine bağlı olarak tümörlerin büyüme oranlarının önemli ölçüde arttığı görülmektedir [48].

İnsan meme kanseri ksenograftlarının ışık yoğunluğuna karşı büyüme oranı



Şekil 4.12. Geceleri artan ışık seviyelerine bağlı sıçanlarda tümörlerindeki büyüme artışı [48]

Blask araştırma sonucunda, biyokütlenin veya tümörün büyümesinin yağ asitleri ve glikoz tarafından beslendiğini, melatoninin ise bu kitleler üzerinde bloke edici etkisi olduğu çıkarımında bulunmuştur. Aynı zamanda Blask, farelerin insanlara kıyasla ışığa karşı daha duyarlı olduğunu, bu gibi ışığa maruz kalmanın insanlar üzerinde aynı etkiye sahip olmayacağını belirtti. Sonraki süreçlerde Blask'ın ekibi, Thomas Jefferson Üniversitesi'nden George Brainard'ın başkanlığındaki bir ekiple araştırmaları insanlarla ilişkilendirmek için çalışmalar yaptı. Yapılan araştırmalar, gündüz saatlerinde melatonin hormonu baskılanması, tümör büyümesi, gece büyümenin gecikmesi ve bu süreçlere ışığın etkileri ile ilgiliydi. Bu araştırmalar sonucunda Blask, melatonin hormonunun,

insanları klinik kanser gelişimindeki ilerlemeden koruyacak sirkadiyen bir anti-kanser hormon olduğunu belirtti [48].

Başka bir araştırma çalışması da Kopenhag Üniversitesi ve Chromaviso isimli aydınlatma şirketinin iş birliği ile sirkadiyen aydınlatmanın hastaların sağlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Araştırmada gün boyunca güneş ışığını taklit eden, ışık değişimleri ve karanlık kombinasyonları oluşturarak sirkadiyen ritmi korumak üzere tasarlanmış bir aydınlatma sistemi kullanılmıştır. Çalışmada inme geçirmesi sonrasında rehabilitasyon sürecinde olan hastalar bu aydınlatma sistemine maruz bırakılmış ve standart aydınlatmaya maruz kalan bir kontrol grubu kullanılmıştır. Uygulanan aydınlatma sisteminin uyku, sirkadiyen ritim belirteçleri, bilişsel yetenekler, anksiyete ve depresyon gibi bir dizi parametreye olan etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda sirkadiyen ışığa maruz bırakılan hastaların kontrol grubundaki hastalara kıyasla taburcu olduklarında depresyon semptomlarının önemli ölçüde daha az olduğu belirtildi. Bu ölçüm için Hamilton derecelendirme ölçeği ve majör depresyon envanteri ölçeği kullanılmıştır [52].

Başka bir araştırma çalışması da Harvard Medical School araştırmacıları tarafından mavi ışığın sirkadiyen ritme olan etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Çalışmada 6,5 saat boyunca mavi ışığa maruz kalmanın etkileriyle, karşılaştırılabilir parlaklıkta yeşil ışığa maruz kalmanın etkilerinin karşılaştırılmasıyla ilgili bir deney yapılmıştır. Deney sonucunda mavi ışığın, yeşil ışığa kıyasla yaklaşık iki katı kadar melatonin baskılamasına neden olduğu ve sirkadiyen ritim üzerinde daha fazla faz kaymasına yol açtığı görülmüştür [53].

4.2 İnsan Odaklı Aydınlatmanın Farklı İç Mekân Aydınlatma Uygulamaları için Değerlendirilmesi

4.2.1 Eğitim Ortamlarında İnsan Odaklı Aydınlatma Sistemleri

Eğitim ortamlarında insan odaklı aydınlatma sistemlerinin kullanılması öğrenciler ve görevli personelin sirkadiyen ritimlerinin dengelemesinin yanı sıra derslerde, sınavlarda ve diğer konsantrasyon gerektiren görevlerde uyanıklığı arttırmak için kullanılabilir. İnsan odaklı aydınlatma sistemleriyle öğrencilerin öğrenme performanslarının artırılması, sabah saatlerinde ve derslerde uyanıklığın sağlanması, uyku düzenlerinin

iyileştirilmesi, derse katılım oranlarının artırılması, konsantrasyon ve motivasyonlarının yükseltilmesi gibi avantajlar sağlanabilir. Yapılan araştırmalar, dersliklerin uygun şekilde aydınlatılması durumunda hataların görülme sıklığının %30'a kadar azaltılabileceğini göstermiştir. Bir alan araştırması, sabah saatlerinde mavi yönünden zenginleştirilmiş ışıkla yapılmış sınıf aydınlatmasının, bilişsel işlemlerin hızını ve öğrencilerin konsantrasyonunu olumlu yönde etkilediğini göstermiştir [54]. Eğitim ortamlarında biyolojik olarak optimize edilmiş aydınlatma sistemleriyle, doğal aydınlatma koşulları daha etkin bir şekilde sağlanabilir [33]. Şekil 4.13.'te bir eğitim ortamında uygulanmış insan odaklı aydınlatma çalışmasının günün farklı saatlerindeki görünüşleri gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Eğitim ortamında uygulanmış insan odaklı aydınlatma sisteminin farklı renk sıcaklıklarındaki görünüşleri [33]

Şekil 4.13. 'te eğitim ortamında yapılan bir uygulamada günün değişik saatlerinde farklı renk sıcaklığı ve parlaklık değerlerinin olduğu 2 durumu gösteren fotoğraf çalışmaları mevcuttur. Uygulamada gerçek bir eğitim ortamı kullanılmıştır. Uygulama gün ışığının dinamik yapısının eğitim yapılan ortamlara taşınması ve o ortamda bulunan insanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesine yöneliktir. [33]

4.2.2 Sağlık Hizmeti Veren Kuruluşlarda İnsan Odaklı Aydınlatma Sistemleri

Hastanede yatan hastalar, gece vardiyasında çalışan hastane personeli ve yaşlı bakım evi sakinleri genellikle vakitlerini iç mekânlarda geçirdikleri ve gün ışığından faydalanamadıkları için sirkadiyen ritim bozukluğuna sahiptir. Doğal bir sirkadiyen ritim sağlık, uyku düzeni, bağışıklık sistemi, refah ve zindelik için önemlidir. Çeşitli nedenlerden dolayı tedavi için hastaneye yatırılan hastalar, çoğu zaman hareketsizdir. Bu hastalar dışarı çıkamadıklarından dolayı istikrarlı bir sirkadiyen ritmi elde etmek için ihtiyaç duyulan gün ışığını alamazlar. Özellikle demans ve diğer bilişsel hastalıkları olan

hastalar gün ışığı eksikliğinden daha fazla etkilenir. Son yıllarda demografi eğilimlerine bağlı demans hastalarının sayısında artış olmuştur. Özellikle kış aylarında maruz kalman gün ışığının azlığı birçok yaşlı insanda sirkadiyen ritmin kontrolü için yetersiz kalmaktadır. Bu durum sadece hastaların bilişi için olumsuz sonuçlar doğurmakla kalmaz, aynı zamanda uyanık-uyku ritimlerini de etkiler. Bu durumda doğal bir sirkadiyen ritmi sürdürmek büyük zorluk olabilir. Yapay aydınlatma sistemleri ile yetersiz gün ışığına maruz kalmanın biyolojik etkileri telafi edebilir ve uyku uyanıklık ritimleri düzenlenebilir. Sağlık hizmeti veren kuruluşlar ve yaşlı bakım evleri gün doğumu, gün batımı ve gün ışığı simülasyonları içeren aydınlatma sistemleri uygulamak için çok uygundur. Bu ortamlarda insan odaklı aydınlatma sistemleri kullanılarak oluşabilecek sirkadiyen ritim bozuklukları ve buna bağlı oluşacak diğer sıkıntılar önlenir. Aydınlatma aynı zamanda ajitasyon, yeme alışkanlıkları ve iletişimi de olumlu yönde etkileyebilir. Şekil 4.14.' te hasta odasında uygulanmış bir insan odaklı aydınlatma çalışmasının günün farklı saatlerindeki görüntüleri vardır [52].



Şekil 4.14. Hastane odasında uygulanmış bir insan odaklı aydınlatma çalışmasının günün farklı saatlerindeki görünüşleri [52]

Şekil 4.14. 'te hastane odasında yapılan bir aydınlatma uygulamasından günün farklı saatlerinde alınan 6 farklı aydınlık düzeyini gösteren fotoğraf çalışması gösterilmiştir. Uygulama gün ışığının dinamik yapısının hasta odasında modellenmesine dayalıdır. Gün boyunca renk sıcaklığı ve ışık şiddeti değişim gösterir [52].

Sağlık hizmeti veren kuruluşlarda insan odaklı aydınlatma sistemlerinin uygulanmasıyla hastalarda daha düşük depresyon oranları, daha kısa tedavi süreleri, algılanan acı ve streste azalma, daha iyi uyku-uyanıklık döngüleri, uyku düzeni için kullanılan ilaçlarının azaltılması, iyileştirilmiş ruh hali, yüksek refah seviyesi ve sirkadiyen ritimlerinin

dengelenmesi gibi avantajlar sağlanabilir. Sağlık kuruluşlarında çalışan personel üzerinde ise görev performansının iyileşmesi, iş kalitesinin artması, görüş keskinliğinin iyileşmesi, yüksek refah seviyesi, motivasyon artışı ve işle ilgili stres seviyesinin azalması gibi avantajlar sağlanabilir [54].

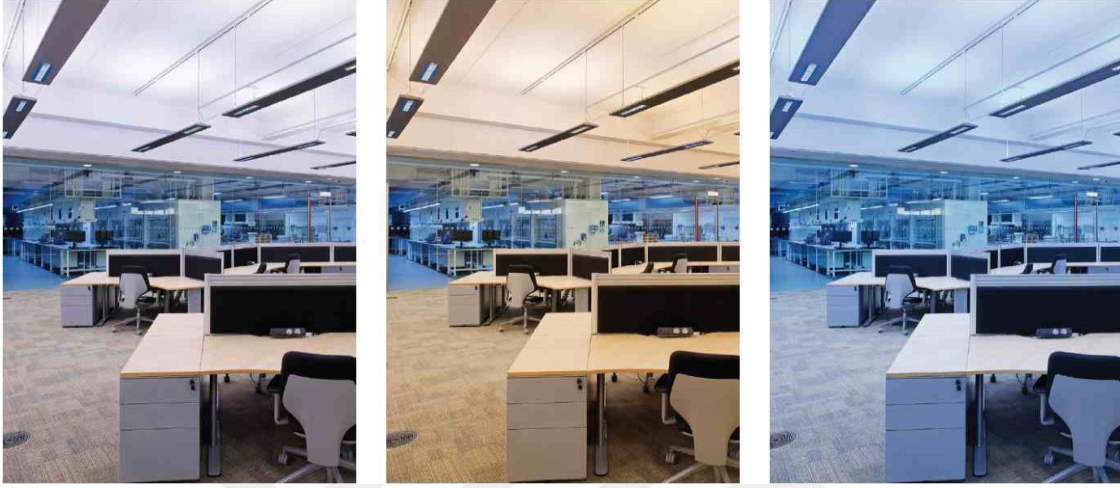
4.2.3 Ofis Ortamlarında İnsan Odaklı Aydınlatma Sistemleri

Ofis ortamlarında kullanılan insan odaklı aydınlatma sistemleri sadece görsel performansı desteklemekle kalmaz. Aynı zamanda iş saatleri boyunca çalışanlara uyanıklık, canlılık, enerji, performans, motivasyon, konsantrasyon, stres seviyesinde azalma, iş tatmininin artması, göz yorgunluğunun azalması, zihinsel olarak zorlayıcı işlerde odaklanma ve dikkat becerilerine olumlu yönde katkı gibi avantajlar sağlayabilir [27]. Görsel olmayan bu etkiler üzerinde ışığa maruz kalma süresi, ışığın zamanlaması ve spektral dağılımı etkilidir. Ayrıca bu etkiler çevresel koşullara, faaliyet türüne, kişi özelliklerine ve çalışanların anlık yorgunluk seviyelerine bağlı olabilir. Gün ışığının ofis çalışanlarının performanslarına etkisini araştırmak için yapılan zihinsel işlev testleri, ofiste konumu gün ışığını en iyi alan çalışanların performanslarının, gün ışığını almayan ya da az alan konumlarda bulunan diğer çalışanlara göre daha iyi olduğunu göstermektedir [46]. Yüksek CCT değerine sahip ışık, çalışanın refahı, iş performansı ve bilişsel performansı üzerinde olumlu etkiye sahiptir. İnsan odaklı aydınlatma sistemleri kullanılarak, işyerlerinde özellikle gün ışığının yetersiz olduğu ofislerde ve ayrıca biyolojik saatin gün ışığına zorlukla senkronize edildiği kış aylarında çalışanlara rahatlık sağlanabilir [54].

Ofis ortamını paylaşan bireylerin tercih ettiği ışık ayarları farklılık gösterebilir. Uygulanan aydınlatma sisteminde bireysel kontrol özelliği ile otomatik kontrol arasında bir denge bulunmalıdır. Gün boyunca, kullanıcı kendi tercihlerine göre renk sıcaklığı ve parlaklık seviyelerini ayarlayabilmelidir. Bireysel aydınlatma kontrolü iş tatminini olumlu yönde etkileyecektir. Ofis çalışanlarının gündüz sirkadiyen etkin ışığa maruz kalması, bir sonraki gece uykusu üzerinde olumlu etki sağlayabilir. Bu durum işveren açısından da yapılan işlerde düşük hata oranları, azalan işe gelmeme oranı, artan enerji tasarrufu, artan motivasyon, artan iş tatmini, işle ilgili stres seviyesinin azalması, daha güvenli çalışma ortamı gibi avantajlar elde edilmesine olanak sunar [54].

İnsan psikolojisi ve fizyolojisi üzerinde önemli bir olgu olarak nitelendirilen ışık ve aydınlatma sistemleri çalışma hayatında büyük öneme sahiptir. Günümüzde iş hayatı

yönetimlerince ışık ve aydınlatmanın önemsemesi gerektiği ve yapıcı etkilerinden faydalanılması gereken bir araç olduğu dikkate alınmalıdır [26]. Şekil 4.15. 'te ofis ortamında uygulanmış bir insan odaklı aydınlatma çalışmasının günün farklı saatlerindeki görünümü vardır.



Şekil 4.15. Ofis ortamında uygulanmış bir insan odaklı aydınlatma çalışmasının günün farklı saatlerindeki görünümleri [55]

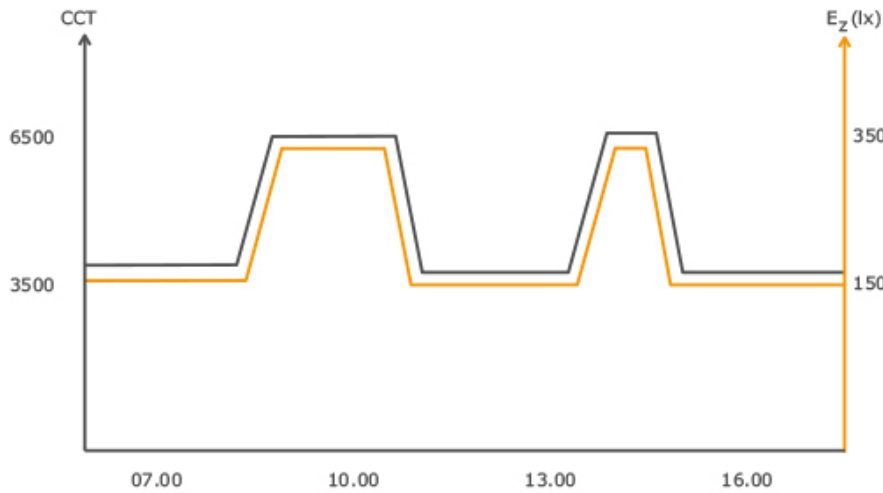
Şekil 4.15. 'te örnek bir ofis ortamında yapılan aydınlatma uygulamasından günün farklı saatlerinde alınan 3 farklı aydınlık düzeyini gösteren fotoğraf çalışması mevcuttur. Uygulama gün ışığının dinamik yapısının ofis ortamında modellenmesine dayalıdır. Gün boyunca renk sıcaklığı ve ışık şiddeti değişim gösterir [55].

4.2.4 Endüstri Kuruluşlarında İnsan Odaklı Aydınlatma Sistemleri

İnsan odaklı aydınlatma sistemlerinin önemli uygulama alanlarından biri de 24 saat üretim yapılan ve vardiyalı çalışma düzeni uygulayan endüstri kuruluşlarıdır [56]. Vardiyalı çalışma, tipik “dokuz - beş” iş gününün ötesine geçen çalışma programlarını içerir. Programlarda genellikle erken saatlerde çalışma başlangıcı, 12 saatlik vardiyalarla sıkıştırılmış çalışma haftaları ve gece çalışması bulunur. Amerika ve Avrupa’da yapılan son anketlere göre, yetişkin işçilerin %15 - %30’u vardiyalı çalışma yapmaktadır [57]. Gece vardiyası çalışması uyku yoksunluğu, uykululuk, bilişsel performansın azalması, artan insan hataları ve yorgunluk gibi birçok sorunla ilişkilidir [58]. Azalmış

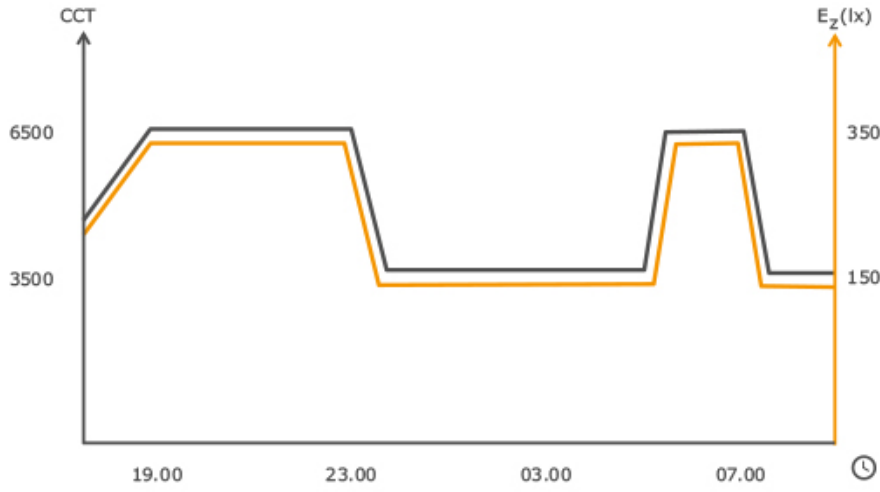
dikkat ve performans düşüşü, uykululuk halinin arttığı zamanlarda ortaya çıkar. Bu durum çalışanların sağlık ve güvenliğini ciddi şekilde tehlikeye atabilir [57].

Endüstriyel tesislerde insan odaklı aydınlatma sistemleriyle çeşitli ışık senaryoları kullanılarak iş kazalarının önlenmesi, üretimde verimliliğin artırılması, işçilerin performanslarının artırılması, uyanıklığın sağlanması, dikkat ve konsantrasyonun artırılması, insan kaynaklı hata oranlarının azaltılması, üretim kayıplarının azaltılması gibi avantajlar sağlanabilir. Şekil 4.16.'da gündüz vardiyası için örnek bir ışık senaryosu grafiği gösterilmiştir. Canlandırıcı etkiye sahip soğuk beyaz ışık, vardiya başladıktan 2 saat sonra sabah 9'da açılır. Çok erken saatte soğuk beyaz ışığa maruz kalma faz gecikmesine neden olabilir. Öğleden sonra uygulanan soğuk beyaz ışık, öğle yemeğinden sonra vücut performansında yaşanan düşüşü azaltır [56].



Şekil 4.16. Gündüz vardiyası ışık döngüsü [56]

Şekil 4.17.'de gece vardiyası için örnek bir ışık senaryosu grafiği gösterilmiştir. Canlandırıcı etkiye sahip soğuk beyaz ışık saat 20.00'de açılır ve gece yarısına kadar sürer. Gece vardiyasının sonlarına doğru uykululuk hali maksimum seviyelere ulaşır. Uyanıklığı artırmak ve hata risklerini azaltmak için, işçiler gece vardiyasının son saatlerinde soğuk beyaz ışığa maruz bırakılabilir [56].



Şekil 4.17. Gece vardiyası ışık döngüsü [56]

Gece vardiyası döngüsü üst üste 3-4 geceden fazla devam ederse, geçici bir sirkadiyen ritim değişimi yaşanır. Bu yaklaşık 8 saatlik bir faz gecikmesi anlamına gelir. Çalışan gece uyanır, gece vardiyasından sonra uyur ve öğleden sonra tekrar uyanır [56].

5. SONUÇ

İnsan odaklı aydınlatma sistemleri, sağlık hizmeti veren kuruluşlar, yaşlı bakım evleri, eğitim öğretim yapılan kurumlar, ofis ortamları, vardiya sistemi ile çalışan endüstri kuruluşları gibi ortamlarda uygulanmasıyla kullanıcılara pek çok fayda ve avantaj sağlayabilir. Bu sistemler aracılığıyla görsel gerekliliklerin yanı sıra insanların sirkadiyen ritimleri ve biyolojik saatleri dengelenerek fizyolojik ve psikolojik sağlıkları desteklenebilir. Son yıllarda aydınlatma sektörünün önde gelen firmaları insan odaklı aydınlatma alanında araştırma çalışmaları yaparak bu teknolojiyi destekleyen yeni ürünler ve sistemler geliştirmektedir. Yapay aydınlatma kaynaklarından elde edilen ışığın, çeşitli uygulama alanlarında sirkadiyen ritmi destekleyici şekilde kullanılması, sektörel bazda oluşan farkındalık ile kısa sürede yaygınlaşacaktır. İnsan odaklı aydınlatma metoduna yönelik yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli kullanım alanlarında sağlayacağı bazı faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Eğitim;

- Öğrencilerin ve görevli personelin sirkadiyen ritimlerinin ve biyolojik saatlerinin dengelenmesi,
- Öğrencilerin dikkat ve konsantrasyon seviyelerinin yükseltilmesi,
- Öğrencilerin sabah saatlerinde, ders saatlerinde, sınavlarda ve konsantrasyon gerektiren diğer görevlerde uyanıklıklarının arttırılması,
- Öğrencilerin motivasyonlarının, derse katılım oranlarının ve öğrenme performanslarının iyileştirilmesi,

Sağlık;

- Hastanede yatan hastalar, yaşlı bakım evi sakinleri ve vardiyalı çalışan sağlık personelinin sirkadiyen ritimlerinin ve biyolojik saatlerinin dengelenmesi,
- Hastaların iyileşme sürelerinin kısaltılması,
- Uzun süreli hastanede yatan hastaların depresyon seviyelerinin düşürülmesi,
- Hastaların uyku-uyanıklık döngülerinin iyileştirilmesi,
- Hastaların refah seviyelerinin arttırılması,

- Görevli sađlık personelinin performanslarının iyileřtirilmesi ve stres seviyelerinin dūřürülmesi,
- Yaşlılıkta canlılık, duygusal stabilite, uyku kalitesi ve bunama semptomlarının iyileştirilmesi

Ofisler;

- Ofis alışanların sirkadiyen ritimlerinin ve biyolojik saatlerinin dengelenmesi,
- Çalışanların uyanıklık ve enerji seviyelerinin arttırılması,
- Çalışanların motivasyon ve iş performanslarının arttırılması,
- Çalışanların dikkat ve konsantrasyon seviyelerinin arttırılması,
- Çalışanların depresyon ve stres seviyelerinin azaltılması,
- Çalışanların verimliliklerinin arttırılması,
- Hata oranlarının azaltılması,
- İşe gelmeme oranlarının azaltılması,

Endüstri;

- Vardiyalı sistemde çalışan işçilerin sirkadiyen ritimlerinin ve biyolojik saatlerinin dengelenmesi,
- İşçilerin uyanıklıklarının arttırılması ve iş kazalarının önlenmesi
- İşçilerin performanslarının arttırılması,
- Üretimde verimliliğin artırılması,
- İnsan kaynaklı hataların azaltılması,
- Üretim kayıplarının azaltılması,

Diğer;

- Farklı saat dilimleri arasında uçak yolculuğuyla seyahat edenlerde de görülen Jet-lag durumunun yol açtığı olumsuz etkilerinin azaltılması,
- Denizaltı araçlarında günlerce gün ışığı görmeden çalışan personelin sirkadiyen ritimlerinin ve biyolojik saatlerinin dengelenmesi,
- Metro gibi yer altı ulaşımı sağlayan araçları kullanan görevli personelin uyanıklıklarının arttırılması ve ulaşım güvenliğinin iyileştirilmesi,

Bireysel seviyedeki faydaların ötesinde, gelişmiş aydınlatma sistemleri işletme sahiplerine, yatırımcılara ve toplumlara değer katar. Bu avantajlar işgücü maliyet tasarrufu, verimlilik artışları ve kamu maliyet tasarruflarını içerir. Yakın gelecekte insan odaklı aydınlatma çözümleriyle günün saatine, çevresel içeriğe, etkinlik türüne ve bireylerin durumuna (örneğin uykulu, stresli) bağlı olarak optimize edilmiş ışık ayarları sunan akıllı sistemlerin kullanımının yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

İnsan odaklı aydınlatma üzerine birçok saha çalışması olmasına rağmen, her bireyin aydınlatma tercihi konusunda farklı talepleri olabilir. Bu noktada kullanıldığı alanda beklenen faaliyetleri desteklemenin yanı sıra her birimizi bireysel olarak destekleyen, uyanıklık veya hormon seviyelerimizdeki değişikliklere dinamik olarak cevap veren aydınlatma sistemleri tasarlanabilir. Kişiselleştirilmiş dinamik bir aydınlatma sisteminin gerektirdikleri nesnelere interneti (IoT) teknolojisi ile mümkün olabilir. IoT teknolojisi aracılığıyla, aydınlatma gerçek zamanlı olarak kontrol edilebilir ve özelleştirilebilir. Örneğin ofislerde aydınlatma armatürleri bir binanın BT ağına bağlanabilir ve çalışanlar akıllı telefonlar ve dijital uygulamaları kullanarak kendi ışık seviyelerini ve renk sıcaklıklarını kontrol edebilir. LED'li dönüşüm devam ederken akıllı aydınlatma sistemlerinin kullanımı ivme kazanmaya devam etmekte ve son olarak insan odaklı aydınlatma sistemlerinin aydınlatma piyasasında yaygınlaşması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Altuncu, D. (2008) Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Hastane Örneğinde Kullanımı ve Yatan Hasta Kat Koridorları için Bir Aydınlatma Sistemi Önerisi, Sanatta Yeterlilik Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [2] Özkum, E. (2011) Doğal ve Yapay Aydınlatmanın İnsan Psikolojisi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [3] Şahin, M. (2014) Farklı Teknik ve Fiziksel Özelliklerdeki Ortamların Bakım Katsayılarının Belirlenmesi ve Aydınlik Düzeylerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [4] Yenidoğan, C. (2017) Gelişmiş Doğal Aydınlatma Sistemlerinin İç Mekânda Kullanımı Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [5] Yurtseven M.B. (2017) LED Işık Kaynaklı Armatür Isıl Modellenmesi ve Isıl Tasarımı Etkileyen Faktörlerin İstatistiksel Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [6] Çalkın Y., Türkoğlu A.K. (2011) Aydınlatmanın Tarihi Gelişimi, Bilim Teknik Dergisi, Sayı 526, 80-83.
- [7] Yavuz, C. (2004) Şehir Aydınlatmacılığı, Işık Kirliliği ve Aydınlatmada Enerji Verimliliği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- [8] Dursun, B. (2005) Dahili Ortamlarda Aydınlatma Hesaplama Tekniklerinin Analizi ve Bir Uygulama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [9] Görgülü, S. (2011) Işık Borusuyla Aydınlatılan Odanın Şebeke Destekli Yapay Aydınlatma ile Kontrolü ve Görüntülenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [10] Onur, B. (2012) İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Açısından Aydınlatma, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- [11] Işık, U. (2009) Aydınlatma Programlarının Gelişmiş Işık Simülatörleri ile Olan İlişkinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [12] Demirci, H. (2008) Bina Tasarımında Aydınlatma ve Renk Olgusunun Biyoharmoloji ve Biyosüreç Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.

[13] Erdem, S. (2007) Aydınlatma Mühendisliğinde İleri Yöntemlerle Çözüm Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

[14] Sönmezocak, T. (2015) Aydınlatma LED Kaynaklarının Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[15] <https://www.atlantalightbulbs.com/color-temperature-scale/>, Erişim Tarihi: 10 Mart 2019

[16] <https://www.inlineelectric.com/CRI>, Erişim Tarihi: 15 Ocak 2019

[17] Aktaş, İ. (2012) Dinamik Aydınlatmanın İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, Türkiye.

[18] <http://www.pelsan.com.tr/tr-TR/isik-kaynaklari/26128>, Erişim Tarihi: 20 Aralık 2018

[19] Tuncel, A. (2009) Lokanta, Yeme İçme ve Eğlence Mekânlarında Aydınlatma Tasarımı Işık ve Rengin Atmosfer Oluşumuna Etkisi, Sanatta Yeterlilik Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[20] Apaydın, S. (2012) Ofislerde Aydınlatma Tasarımının Sürdürülebilirlik Açısından Mekân Tasarımına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[21] Şahin, D. (2012) Aydınlatma Tasarımının Kullanıcı Üzerindeki Fizyolojik ve Psikolojik Etkileri Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[22] Kocaoğlu, R. (2015) Işığın Renk Sıcaklığının Eğitim Ortamlarında Üniversite Öğrencilerinin Dikkat Ve Duygu Durumu Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

[23] Ertem, F. (2016) Aydınlanmanın Niceliği – Niteliği Üzerine: Bilişim Çağında Yeni Çalışma Mekanları Haline Gelen Kafelerde Aydınlatma Kalitesi, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[24] www.EdisonTechCenter.org/Fluorescent.html, Erişim Tarihi: 10 Aralık 2018

[25] Memiş, Ö. (2017). Aydınlatma Enerji Verimliliğinde “Led Teknolojisi”, Teknik Makale, Erişim Adresi: <https://aktif.net/tr/Aktif-Blog/Teknik-Makaleler/Aydinlatma-Enerji-Verimliliğinde-Led-Teknolojisi>, Erişim Tarihi: 10 Ocak 2019

[26] Giray, E. (2009), Dinamik Aydınlatma ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[27] Smolders, K. C. H. J. (2013). Daytime light exposure: effects and preferences Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven DOI: 10.6100/IR762825

[28] Papamichael, K. (2017). Invited Paper: Adaptive Lighting for Energy-Efficient Comfort and Wellbeing, In SID Symposium Digest of Technical Papers (Vol. 48, No. 1, pp. 306-309).

[29] Kocabey, S. (2008) İç Hacimlerde Aydınlik Düzeyi Dağılımının Bulunması ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

[30] Vick, A. (2014). Lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications and smart cities, Erişim Adresi: <http://lightingforpeople.eu/2016/wp-content/uploads/2016/03/SSLerate-3.2-3.4-v4.pdf> Erişim Tarihi: 10 Şubat 2019

[31] Doğan Yusuf, F. (2017). Hasta Odalarında Aydınlatma Koşullarının Araştırılması: İzmir’de Örnek İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.

[32] Hanifin, J. P., & Brainard, G. C. (2007). Photoreception for circadian, neuroendocrine, and neurobehavioral regulation. *Journal of physiological anthropology*, 26(2), 87-94.

[33] Walerczyk, S., HCLPC, C., & WIZARDS, L. L. (2012). Human centric lighting. *Architectural SSI*, 20-26.

[34] Pickard, G. E., Sollars, P. J. (2011). Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology* 162, 59–90.doi:10.1007/112_2011_4

[35] <http://solemma.com/Alfa.html>, Erişim Tarihi: 21 Ocak 2019

[36] Lazzarini Ospri, L., Prusky, G., Hattar, S. (2017). Mood, the Circadian System, and Melanopsin Retinal Ganglion Cells. *Annual Review of Neuroscience*, 40(1), 539–556. doi:10.1146/annurev-neuro-072116-031324

[37] Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bierman, A., Bullough, J. D. (2010). Circadian light. *Journal of circadian rhythms*, 8(1), 2.

[38] Bailes, H. J., & Lucas, R. J. (2013). Human melanopsin forms a pigment maximally sensitive to blue light ($\lambda_{max} \approx 479$ nm) supporting activation of Gq/11 and Gi/o signalling cascades. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1759), 20122987.

[39] Stevens, R. G., Hansen, J., Costa, G., Haus, E., Kauppinen, T., Aronson, K. J., Kogevinas, M. (2011). Considerations of circadian impact for defining ‘shift work’ in cancer studies: IARC Working Group Report. Occupational and environmental

medicine, 68(2), 154-162.

[40] <http://luxreview.com/article/2016/04/the-lux-two-minute-explainer-melanopic-lighting> Erişim Tarihi: 24 Ocak 2019

[41] Manav B. (2007) “Işık Ve Sağlık: Işığın Biyolojik Sistem Üzerindeki Etkisi”, 4. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 34-37, İzmir

[42] Dinçarslan, H. (2018). Sirkadiyen Ritim (CRH) Vücut Saati, Erişim Adresi: <https://saglikliolalim.com/sirkadyenritim/>, Erişim Tarihi: 15 Mart 2019

[43] Kavaklı, H. 2017 Nobel Tıp Ödülü: İçimizdeki biyolojik saatin işleyişi, Erişim Adresi: <https://sarkac.org/2017/10/2017-nobel-tip-odulu-icimizdeki-biyolojik-saatin-isleyisi/>, Erişim Tarihi: 03 Ekim 2018

[44] Şahin L., (2016). Tünelin ucundaki sirkadiyen ışık, PLD Türkiye Dergisi, Erişim Adresi: <https://pldturkiye.com/tunelin-ucundaki-sirkadiyen-istik/> Erişim Tarihi: 25 Kasım 2018

[45] Figueiro, M. G., Sahin L., Wood, B., Plitnick B., 2015. “Light at Night and Measures of Alertness and Performance: Implications for Shift Workers.” Biological research for nursing 18(1):90–100. Retrieved

[46] <https://www.zumtobel.com/it-it/active-light.html>, Erişim Tarihi: Ocak 2019

[47] <https://humancentriclighting.org> Erişim Tarihi: 18 Kasım 2018

[48] Wright, M. (2018). Lighting for Health and Wellbeing Conference

[49] <http://lightinghealth.dns-systems.net/biodynamic-lighting-2/what-is-it/> , Erişim Tarihi: 17 Şubat 2019

[50] Van Bommel, W., & van den Beld, G. (2004). Lighting for work: a review of visual and biological effects. Lighting Research & Technology, 36(4), 255–266. doi:10.1191/1365782804li122oa

[51] Kyungah C., Hyeon-Jeong S., (2016). Dynamic lighting system for the learning environment: performance of elementary students Opt. Express 24, A907-A916. DOI: 10.1364/OE.24.00A907

[52] <https://chromaviso.com/en/circadian-lighting/research-in-circadian-lighting/circadian-lighting-reduces-depression-symptoms/> Erişim Tarihi: 17 Ocak 2019

[53] Brainard G., Glickman G. (2003) The Biological Potency of Light in Humans: Significance to Health and Behavior, 25th Session of CIE Proceedings, San Diego, Vol 1, pp I22- I33.

[54] Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bierman, A., & Hamner, R. (2012). Modelling the

spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research & Technology*, 44(4), 386-396.

[55] Body clock wise – lighting design for the circadian cycle. (2016). Erişim Adresi: <https://www.cibsejournal.com/technical/body-clock-wise-lighting-design-for-the-circadian-cycle/> Erişim Tarihi: 22 şubat 2019

[56] Gibbs, M., Hampton, S., Morgan, L., Arendt, J. (2002). Adaptation of the circadian rhythm of 6-sulphatoxymelatonin to a shift schedule of seven nights followed by seven days in offshore oil installation workers. *Neuroscience letters*, 325(2), 91-94.

[57] Boivin, D. B., Boudreau, P. (2014). Impacts of shift work on sleep and circadian rhythms. *Pathologie Biologie*, 62(5), 292–301. doi:10.1016/j.patbio.2014.08.001

[58] Kazemi R., Motamedzade M., Golmohamadi R., Hamidreza M., Hemmatjo R., Haidarimoghadam R., (2017). A field study of the effects of night shifts on cognitive performance, salivary melatonin and sleep, *Safety and Health at Work*. doi: 10.1016/j.shaw.2017.07.007.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Bolu'da doğdu. İlk, orta öğrenimini Bolu'da tamamladı. 2007 yılında Bolu'da İzzet Baysal Anadolu Lisesi'nde başladığı lise öğrenimini 2011 yılında bitirdi. 2012 yılında Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2016 yılında bitirdi. 2017 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans eğitimine başladı ve son sınıf olarak mezun olma aşamasındadır.

2016 yılında Aktif Mühendislik Dış Tic. A.Ş. şirketinde Ar-Ge Mühendisi olarak işe başladı. 2018 yılında aynı şirkette Üretim Planlama & Satın Alma Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı pozisyonda çalışmaya devam etmektedir.

İletişim Adresi:

e-posta: ozgememis1@gmail.com