

AKÜ FEMÜBİD 19 (2019) 025201 (348-360)

AKU J. Sci.Eng.19 (2019) 025201 (348-360)

DOI: 10.35414/akufemubid.522086

Araştırma Makalesi / Research Article

# İç Mekân Aydınlatma Sistemlerinde Ortalama Aydınlik Düzeyinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini

**Mustafa ŞAHİN**

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

e-posta: [mustafasahin@aku.edu.tr](mailto:mustafasahin@aku.edu.tr). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2284-8507>

Geliş Tarihi: 04.02.2019; Kabul Tarihi: 13.07.2019

## Öz

Bir aydınlatma sistemi ilk kurulum aşamasında ne kadar iyi tasarlanırsa tasarlansın, zamana bağlı olarak ortam içerisindeki aydınlık düzeyi azalmaktadır. Bu azalmanın başlıca sebepleri; aydınlatma elemanlarındaki ışık akısı azalması, lambaların arızalanması, aydınlatma elemanlarındaki kirlenmeler, duvar yüzeylerindeki kirlenmeler ve tozlanmalar şeklinde sıralanabilir. Aydınlik düzeyindeki bu azalma yavaş yavaş ve sürekli olduğu için gözle fark edilmez. Söz konusu azalmalar belirli bir düzeye indiğinde ise görme yeteneği azalmakta ve buna bağlı olarak ta iş kazaların artmaktadır. Tüm bu olumsuzluklara engel olabilmek için aydınlatma sistemine doğru zamanda müdahale edilerek gereken bakımın yapılması şarttır. Bakım zamanının belirlenmesi için ise ortam içerisinde çok sayıda noktada aydınlık düzeylerinin ölçümünün yapılması gerekmektedir. Bu ölçümlerden faydalanılarak ortalama aydınlık düzeyi ( $E_{ort}$ ) hesaplanır ve bakım zamanını gelip gelmediğine karar verilir. Bu bilgiler doğrultusunda çalışmada,  $E_{ort}$  değerinin tahmini için Yapay Sinir Ağı (YSA) kullanılmıştır. Yapılan tahminler sayesinde hem bakım zamanının tespiti kolaylaşmış hem de işığa dönüşmeyen enerji yüzdesi kolaylıkla saptanmıştır. Bu sayede aydınlatma sistemine zamanında müdahale olanağı sağlanmış ve iyileştirilmelere gidilmiştir. Yapılan bu iyileştirmeler neticesinde işığa dönüşmeyen enerji kaybının önüne geçilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Aydınlatma Sistemleri;  
Ortalama Aydınlik  
Düzeyi; Bakım  
Periyodu; Yapay Sinir  
Ağları

## Estimation of The Average Illuminance Level of Interior Lighting Systems By Using Artificial Neural Networks

### Abstract

: No matter how well designed is the initial installation phase of an illumination system, the level of luminousness in an environment decreases depending on the time. The major reasons of this decrease can be listed as the decrease in the luminous flux in lighting equipments, failures in lamps, getting dirty of lighting equipments, dirtiness and dust on wall surfaces. This decrease in the level of luminousness is not visible to eyes since it is slow and continuous. When this decrease reaches to a particular level, the ability to see decreases, as well and the amount of occupational accidents increase accordingly. In order to prevent these unfavorable things, illumination system should be responded in time and necessary maintenance should be performed. In order to determine maintenance period, level of lighting should be measured in several spots. By utilizing these measurements, average lighting level ( $E_{ort}$ ) is measured and whether it is the maintenance date or not is determined. In accordance with this information, in this study, artificial neural network (ANN) is used to estimate the  $E_{ort}$  value. Through these estimations, the determination of maintenance date got easier and the percentage of the energy that is transformed into light was determined easily. In this way, the chance to respond to illumination system in time was provided and improvements were performed. As a result of these improvements, energy loss that is not transformed into light was prevented.

### Keywords

Lighting Systems,  
Average Illuminance  
Level, Maintenance  
Period, Artificial Neural  
Networks,

## 1. Giriş

Kullanmakta olduğumuz enerjinin büyük bir kısmını sağladığımız fosil yakıt kaynakları her geçen gün azalırken diğer taraftan da enerjiye olan bağımlılığımız ise giderek artmaktadır (Gençoğlu. 2005). Bu durum, insanoglunu yeni alternatif enerji kaynakları bulmaya iterken, mevcut kaynakları da en verimli bir şekilde kullanmaya zorlamaktadır (Lund. 2007). Isınmadan ulaşma, havalandırmadan aydınlatmaya, günlük yaşantımızın her alanında karşımıza elektrik enerjisi çıkmaktadır (Kralikova vd. 2015- Teng vd. 2016). Gerek üretimin aşamasında kullanılan tekniklerin maliyetli oluşu gerekse tüketicilere ulaştırılmasındaki zorluklar göz önüne alındığında elektrik enerjisinin tasarruflu ve bilinçli olarak kullanılması kaçınılmazdır (Bernatt vd. 2018). Özellikle son yıllarda, endüstrideki gelişmelere bağlı olarak işletmelerin ve bu işletmelere ait yönetim ve idare merkezlerinin, kamudaki ve özel sektördeki ofis tabanlı binaların ve alışveriş merkezlerinin sayısı oldukça artmıştır. Bu ve benzeri yapılardaki kullanım alanlarının oldukça fazla olması ve bunlara ek olarak bu binaların birçoğunun toprak seviyesinin altında da kullanım alanları barındırması, yapay aydınlatmaya olan gereksinimi gün geçtikçe arttırmaktadır (Russell. 2012). Dünyada tüketilen elektrik enerjisinin %19'u aydınlatma için harcanmaktadır. Aydınlatma için harcanan elektriğin sanayi kuruluşları dışında kalan kısmı ise yaklaşık %47'dir. Bu oran göz önüne alındığında her alanda olduğu gibi elektrik enerjisinin aydınlatma için harcanan kısmının da bilinçli ve tasarruflu olarak kullanılması kaçınılmazdır (Akella vd. 2009). Aydınlatmada enerji tüketimi bir binanın enerji dengesinde büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden çeşitli kamu politikaları ile bir takım standartlar getirilmek suretiyle toplumlar enerji tasarrufuna zorlanmaktadır (Tsangrassoulis vd. 2018). Enerji tasarrufu ise üretimde, konforda ve iş gücünde herhangi bir azalma olmadan enerjiyi en verimli bir şekilde kullanmak, israf etmemektir.

Aydınlatma tasarımı, yapılar için önemli bir bileşenidir ve binaların sürdürülebilirliği açısından

önemli bir unsur olarak kabul edilir (Baloch vd. 2018). Tasarım aşamada aşırı aydınlatma yapmadan ve enerji maliyetlerini arttırmaksızın yeterli ışığın elde edilmesi en başta gelen amaçtır. Aydınlatmada enerjinin verimli kullanımı için; kurulum aşamasında amaca uygun aydınlatma tasarımı yapılmalıdır (IEA. 2014). Bu sayede enerji ve mimarlık birleştirilerek çevreye duyarlı yeni yapılar oluşturulabilir (Tekbıyık. 2018). Diğer taraftan, aydınlatma sisteminin kuruluş yükü ve yapay aydınlatma sisteminin kullanım süresi en aza indirilmeli, mevcut bir sistemde kullanım esnasında bakım ve temizlik çalışmaları düzenli olarak yapılmalıdır. Bu sayede iyi tasarlanmış bir aydınlatma sisteminde etkinlik faktörü yüksek lambalar kullanılarak, doğru ve güvenilir bir bakım yönetimi ile aydınlatmada enerji tasarrufu sağlanabilir (Koninklijke Philips Electronics N.V. 2012).

Aydınlatma sistemlerinin tasarımı aşamasında enerji tasarrufunun yanı sıra yapılacak olan işin amacına uygun aydınlatma koşullarını sağlayacak aydınlatma düzeneğinin oluşturulmasına dikkat edilmelidir. Uygun koşulların oluşturulmasında ise ışığın rengi, doğrultusu, elde edilen aydınlık seviyesinde oluşan gölgelerin keskinliği ve yumuşaklığı gibi kriterler büyük önem arz etmektedir (De Graaf vd. 2014). Bu yüzden gerek insanların özel gereksinimlerini doyurma noktasında gerekse olağan ve olağanüstü durumlarda insanların sorunlarını gidermede, iyi bir aydınlatma zorunluluk haline gelmiştir (Veitch vd. 1998).

Aksi halde, geliş güzel oluşturulmuş bir aydınlatma ortamında göz yorgunluğu gibi sağlık sorunları ortaya çıkmakta ve bu da özellikle iş ortamlarında ve çalışma alanlarında çok ciddi yaralanmalara sebebiyet vermektedir (Khosrowshahi vd. 2011). Araştırmalara göre, her üç kişiden ikisinde iş yerindeki fiziksel yorgunluğun zayıf aydınlatmadan dolayı oluştuğu belirlenmiştir (Soori vd. 2013). Hâlbuki yeterli aydınlık düzeyi sağlamak suretiyle kişilerin çevreyi daha rahat görebilmesi ve algılaması sağlanarak yorgunluk hissi azaltılabilir (Erlalitepe vd. 2011).

Aydınlatma sistemlerinde yıpranmaya bağılı olarak meydana gelen ışık akısı azalmalarının yüzdesinin tespiti oldukça zordur. Bu yüzden sistemin performansının değerlendirilmesi ve sisteme ait bakım zamanının belirlenmesi karmaşık bir iştir (Şahin vd. 2015). Sistemin bakım periyodunun belirlenebilmesi için ise iç mekâna ait çalışma düzleminde birçok noktada aydınlık düzeyi ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu ölçümler kullanılmak suretiyle minimum, maksimum ve ortalama aydınlık seviyeleri belirlenir ve ortam içerisindeki eş aydınlık seviyesi eğrileri olarak adlandırılan "izolüks" eğrileri oluşturulur (Şahin vd. 2015). Tüm bu ölçüm ve hesaplamalar göz önünde bulundurulduğunda bir iç mekân aydınlatma sisteminde meydana gelen kayıpların tespitinin yorucu bir çalışma oluşu ve zaman gerektirdiği görülmektedir (Şahin. 2014). Bu zorluklar göz önünde bulundurulduğunda yeni yöntem arayışlarının kaçınılmaz hale geldiği görülmektedir (Kazanasmaz vd. 2009).

Literatürde ise konu ile ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Kocabey (2014) çalışmasında, bakım zamanını Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanarak belirlemiştir. Bu çalışmada, Kocabey'in çalışmasından farklı olarak ortalama aydınlık seviyesi belirlenmesinde ve bundan yola çıkılarak bakım zamanının tespitinde YSA yöntemi kullanılmıştır. Kazanasmaz'ın (2009) çalışmasında, YSA ile günışığı aydınlık seviyesini tahmin etmiştir. Bu çalışmada da YSA yöntemi kullanılmıştır; ancak Kazanasmaz'ın çalışmasının aksine, yapay aydınlatma sistemlerine ait ortalama aydınlık seviyesi tahmininde bulunulmuştur. Tran (2014), YSA kullanarak sensörsüz LED aydınlatma sistemi kontrolü üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada, Tran'ın çalışmasından farklı olarak yeni bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Şahin (2016), çalışmasında YSA kullanarak iç mekân içerisindeki çok sayıda noktaya ait aydınlık seviyesini tahmin etmiş ve bu aydınlık seviyelerinden yola çıkarak ortalama aydınlık seviyesini hesaplamıştır. Bu çalışmada farklı

olarak ortalama aydınlık seviyesi doğrudan YSA ile tahmin edilmiştir (Tran vd. 2014).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Aydınlatma Sistemlerinde Bakım Gerekliği

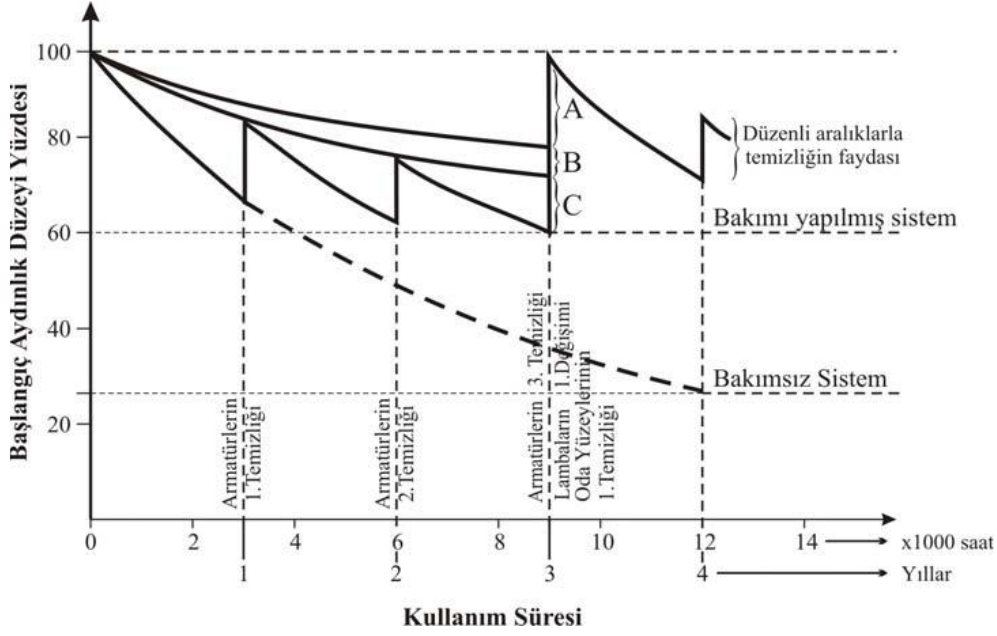
Aydınlatma, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından "çevrenin ve nesnelerin gereği gibi görülmesini sağlamak amacıyla ışık uygulamak" şeklinde tanımlanmaktadır (Commission Internationale de L'Eclairage. 2002). Tanımdan da anlaşılacağı üzere söz konusu olan nesne ve çevre, aydınlatma tasarımının amacına göre farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar 'Aydınlatma Tekniği' kavramını oluşturmuştur (Şahin vd. 2012). Aydınlatma tekniği öncelikli olarak fizyolojik algılamının en iyi şekilde gerçekleşmesine olanak tanımalı ve ardından sistemin ilk kurulum maliyeti ve kullanım giderleri açısından da en ekonomik çözümü sunmalıdır. Bu koşulları sağladıktan sonra son olarak estetik hislere cevap verme ve ışığın mimariye uyumu bakımından da doyurucu olmalıdır (Yang vd. 2010). Bu sayede iyi bir aydınlatma, fizyolojik görmeyi sağlamanın ötesine geçip, mimari yapılarda hacim ve yüzeylerin detaylarını ön plana çıkarmayı hedefleyen bir uzmanlık alanı haline gelmiştir.

Bir aydınlatma sistemi ne kadar iyi tasarlanırsa tasarlanırsa, zamana bağılı olarak başlangıçtaki aydınlık düzeyi azalmaktadır. Bu azalmanın belli başlı sebepleri;

- Aydınlatma elemanlarındaki ışık akısı azalması
- Lambaların arızalanması
- Aydınlatma armatürü ve aydınlatma elemanlarındaki kirlenmeler
- Duvar yüzeylerindeki kirlenmeler ve tozlanmalar şeklinde sıralanabilir (Kocabey vd. 2014).

Periyodik olarak yapılan bakımlar (temizlik, boya, lamba ve armatür yenileme vb.) aydınlatma sistemindeki ışık akısı azalmasının hızı düşürülebilir fakat azalma tamamıyla ortadan kaldırılamaz. Aydınlik düzeyindeki bu düşüş, diğer etkenlere bağılı

olarak kullanma süresi boyunca (10-20 yıl), devam eder ve aydınlık düzeyi, aşağıdaki Şekil 1'de görülen bir grafik çizer. Aydınlatma sistemindeki bu azalma depresiasyon (yıpranma) olarak adlandırılır.



Şekil 1. Bir iç mekân içerisindeki aydınlık düzeyinin zamana bağlı grafiği (Kocabey vd. 2008)

Bir aydınlatma sisteminde ilk kurulum aşamasındaki ortalama aydınlık düzeyinin ile kullanma süresi içindeki ortalama değer arasındaki orana yıpranma oranı (depresiasyon faktörü) denmektedir. Yıpranma oranı  $d_f$  ile sembolize edilmekte olup (I) nolu eşitlikteki gibi ifade edilir;

$$d_f = E_{ort1}/E_{ort} \quad (I)$$

Burada;

$d_f$  : Yıpranma oranı

$E_{ort1}$  : Başlangıçtaki ortalama aydınlık düzeyi

$E_{ort}$  : Kullanım süresi sonundaki ortalama aydınlık düzeyini ifade eder (Kocabey vd. 2008).

Örneğin 1,25 yıpranma oranı enerjide 1/5 oranında kayıp olacağını ifade etmektedir. Böyle bir durumda elde edilen aydınlık seviyesi, kullanım süresinin ilk periyodunda gereğinden fazla olmakta, ikinci periyodunda ise giderek yetersiz kalmaktadır.

Aydınlık düzeyindeki bu azalmanın, sarf edilen elektrik enerjisi ile hiç bir ilgisi bulunmadığından, bununla ilgili giderler kullanma süresi boyunca hep aynı kalmaktadır. Yani Aydınlatma için harcanan ücret sabit kalmakta sadece kullanılan aydınlık düzeyi bir ve ikinci periyotlar arasında dengesizlik göstermektedir. Bu da aydınlatma sistemlerinde istenmeyen bir durumdur (Şahin vd. 2016)

Aydınlatma sistemlerinde yıpranmadan dolayı meydana gelebilecek kayıpların önüne geçebilmek için başlangıç aydınlık seviyesi gereğinden fazla olacak şekilde bir tasarım yapılabilir. Bu sayede aydınlık seviyesinin daha uzun süre yeterli seviyede kalması sağlansa da çok daha fazla enerji kaybı meydana gelmektedir. Yıpranma için bir başka çözüm otomatik dimmer sistemleri kullanmaktır. Bu da başlangıçta ekstra bir ilk yatırım yapılmasını gerektirir. Bu yüzden uygulamada tercih edilen bir yöntem değildir. Bu bilgiler ışığında çalışmada;

aydınlatma sistemlerine ait  $E_{ort}$  değerinin YSA ile tahmin edilmesi yeni bir yöntem olarak önerilmiştir.

## 2.2 Aydınlik Düzeyi Ölçümleri

Bu çalışmada amaç iç mekân aydınlatma sistemlerine ait  $E_{ort}$  değerinin YSA ile tahmini ve bu tahminlerden elde edilen verilerle sistemin bakım zamanının gelip gelmediğinin tespit edilmesidir. Bu bilgiler doğrultusunda öncelikle YSA eğitiminde kullanılacak olan verilerin hazırlanması gerekmektedir. YSA eğitiminde ise aydınlık düzeyi değerleri ve bu değerlere ait  $E_{ort}$  değerleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan iç mekânlara ait  $E_{ort}$  değerlerinin hesap edilebilmesi için ise mekân içerisinde belirli noktalarda ve yeterli sayıda aydınlık düzeyi ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Bunun için ilk olarak iç mekânlardaki ölçüm noktalarının sayısı belirlenmiştir. Minimum kaç noktada ölçüm yapılacağı belirlenebilmesi için de ölçüm noktaları arasındaki mesafenin en fazla ne kadar olacağı belirlenmesi gerekmektedir. İki ölçüm noktası arasındaki maksimum mesafe ise SLL (Society of Light and Lighting) kodlarına göre belirlenmektedir ve (II)'nolu denklemde olduğu gibi hesaplanmaktadır.

$$p = 0.2x 5^{\log_{10}(d)} \quad (II)$$

Burada;

$p$ : İki ölçüm noktası arasındaki maksimum mesafe (m);

$d$ : İç mekan boyu (m); şeklindedir (CIBSE Code for Lighting. 2012).

Yukarıdaki formülden  $p$  değeri hesaplandıktan sonra ilgili kenara ait noktaların sayısı ise  $d/p$  oranına göre belirlenir (Marques VD. 2017- Report. 2012). Örneğin, 7x5m boyutlarında bir iç mekânda doğru bir ortalama aydınlık seviyesine ulaşabilmek için aşağıdaki hesaplama yapılır;

$$p=0.2x 5^{\log_{10}(d)}$$

$$p=0.2x 5^{\log_{10}(7)}=0.779 \text{ m}$$

Bununla birlikte, 7m olan boy mesafesi 0,779'a bölünür ve 8,98 gibi bir değer elde edilir. Bu da en yakın üst değer olan 9'a yuvarlanır ve mekân içerisinde boylamasına en az 9 adet ölçüm noktası olması gerektiği sonucuna ulaşılır. Sonrasında aynı işlem en mesafesi için gerçekleştirilir ve  $5/0.779=6.4$  sonucu elde edilir. Bu da bir üst değer olan 6'ya yuvarlanır ve iç mekânda enlemesine minimum 6 adet ölçüm noktası olması gerektiği sonucuna ulaşılır. Bu bilgiler doğrultusunda örnek olarak sunulan iç mekânda doğru bir ortalama aydınlık seviyesi değerine ulaşabilmek için minimum,  $9x6=54$  noktada ölçüm yapılması gerektiği sonucuna varılır (Bean. 2014).

Bu çalışmada aydınlık düzeyi ölçümleri 3x6m boyutlarındaki bir iç mekânda gerçekleştirilmiştir. Bu iç mekân için ölçüm noktaları arasındaki maksimum mesafe ( $p$ ) ise Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1** İç mekan boyutlarına bağlı olarak ölçüm noktaları arasındaki maksimum mesafe değeri

	Ortam boyutları (m)		İki nokta arasındaki maksimum mesafe (m)	Ölçüm noktası sayısı	
	Boy(m)	En(m)		Boy	En
Ölçüm yapılan iç mekân	6	3	$p=0.2x 5^{\log_{10}(6)}=0.69$	$6/0.69=8.58\approx 9$	$3/0.616=4.29\approx 4$

Az sayıda ölçüm noktasından yola çıkılarak en doğru ortalama aydınlık seviyesine ulaşabilmek için YSA

eğitimde giriş verisi olarak çapraz köşegen üzerindeki aydınlık seviyeleri kullanılacaktır. Bu

yüzden ölçümlerin simetrik olması gerekmektedir (satır sayısı=sütun sayısı). Ölçümlerin simetrik olması için ise en ve boy üzerinde yapılacak ölçüm noktası sayılarının eşit olması gerekmektedir. Yukarıdaki hesaplamalara göre iki nokta arası mesafe ( $\rho$ ) maksimum 0.616 m dir. Yani hesaplamalara minimum nokta sayısı ise 9'dur. Yani ölçüm matrisi minimum 9x9 olmalıdır. 9x9 luk ölçüm

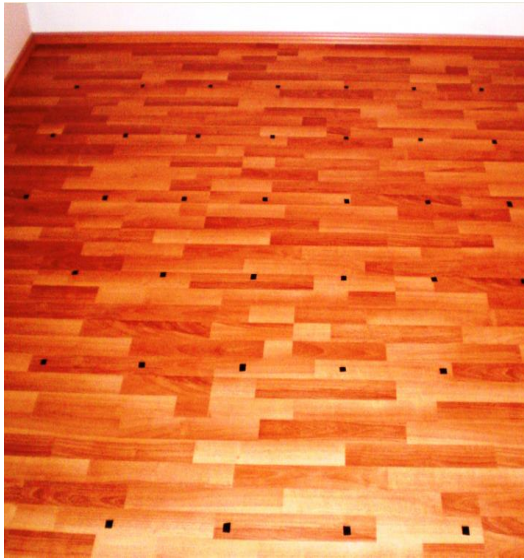
**Tablo 2.** 9x9 luk ölçüm noktasının iç mekânın eni için uygunluğunun kontrolü

	$\rho$ (m)	Boy(m)	En(m)	Karşılaştırma	Açıklama
Ölçüm yapılan iç	0.69	6/9=0.66	3/9=0.33	0.66<0.69 ve 0.33	Uygundur

Yukarıda belirtilen şartlar sağlandıktan sonra ölçüm işlemine geçilmiştir. Aydınlik düzeyi ölçümlerinin gerçek zamanlı olması için günlük hayatta kullanılan bir mekân tercih edilmiştir. Dışarıdan ışık girişini engellemek amacıyla ölçümler gece yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı ortamın duvarları beyaz olup, eni 3m, boyu 6m ve yüksekliği 2.6m dir. Aydınlatma elemanı olarak bir adet 100W enkandesan lamba kullanılmış ve aydınlatma türü olarak ta iç mekân

noktasının iç mekânın eni için uygunluğu kontrolü Tablo 2'de verilmiştir.

aydınlatmasında en çok tercih edilen karma aydınlatma türü tercih edilmiştir. Ölçüm yapılmak üzere ortam Şekil 2(a)'da görüldüğü gibi 0,33x0,66 m karelere ayrılmıştır ve toplam 81adet nokta elde edilmiştir. Söz konusu ölçümler Şekil 2(b) de görülen kalibrasyon sertifikasına sahip LUTRON Marka lüksmetre ile yerden 80 cm yükseklikte yani çalışma düzleminde gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 2.** (a) Ölçüm yapılan iç mekânın 0,33x0,66 m<sup>2</sup> karelere ayrılmış hali (b) Ölçümlerin yapıldığı LUTRON Marka lüksmetre düzeneği

Ölçümlerin yapıldığı iç mekândaki aydınlatma elemanın aydınlik seviyesi %100 ile %0 (karanlık) arasında dim edilerek (artırılıp azaltılarak) kademeli olarak 5 seviyeye ayrılmıştır (Şekil 3). Burada

aydınlik düzeyi ölçümlerinin %0 ile %100 dâhil olmak üzere beş farklı aydınlik seviyesinde gerçekleştirilmesinin sebebi ise iç mekândaki aydınlik seviyesi hangi düzeyde olursa olsun,

kayıplar ne oranda olursa olsun herhangi bir zamanda sisteme ait  $E_{ort}$  değerini YSA'ya tahmin ettirebilmektir.



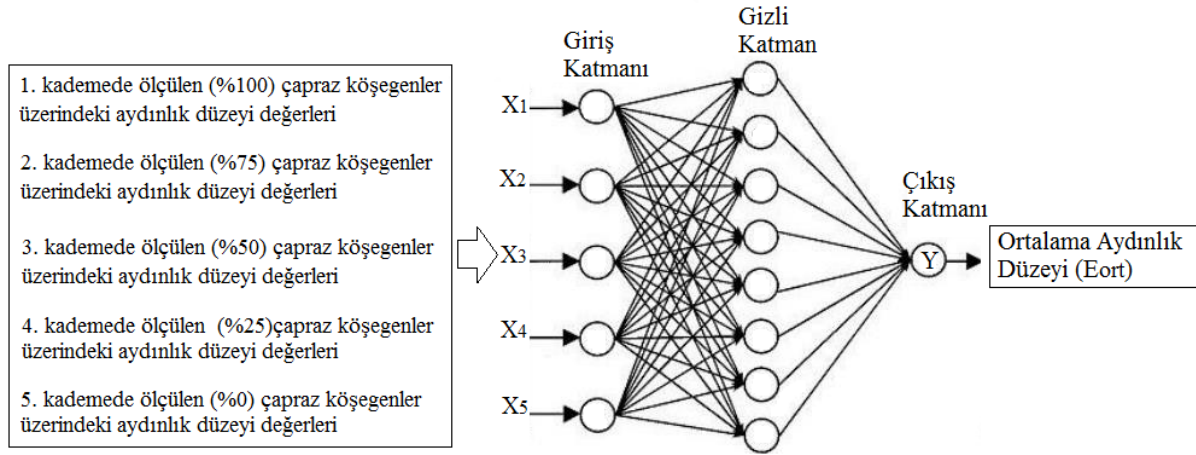
Şekil 3. İç mekân içerisindeki beş kademeye ayrılmış aydınlık düzeyleri (%100-%0).

### 2.3 Ortalama Aydınlık Seviyesi Tahmini İçin Yapay Sinir Ağı Modeli

Bir aydınlatma sisteminin yeterliliğinin değerlendirilebilmesi için SLL kodları dikkate alınarak çok sayıda noktada ve klasik ölçme yöntemleri kullanılmak koşuluyla aydınlık düzeyi ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Ölçümlerde kullanılan bu klasik yaklaşımlar belirli hata aralıkları dâhilinde kabul edilir. Ayrıca uygulamada, iç mekân aydınlatma sistemlerinin yeterliliğinin değerlendirilebilmesi için Maxwell denklemleri, fiziksel matematik denklemleri, sonlu elemanlar, sonlu farklar (Kocabey vd. 2014) gibi sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Sayısal yöntemlerde fiziksel herhangi bir olayın matematiksel olarak formülize edilmesi ve elde edilen bu matematiksel ifadelerin sayısal olarak çözümlenmesi gerekmektedir. Çözüm esnasında karşı karşıya kalınan kısmi türevli denklemlerin analitik çözümü ise çok basit durumlar haricinde ya çok zor ve zaman alıcı veya olanaksızdır. Bu gibi durumlarla karşı karşıya kalındığında yeni çözüm arayışı kaçınılmaz hale gelmektedir. Gerek ekonomik yönden, gerekse süre yönünden külfetli olan sayısal ve deneysel çalışmalara alternatif olarak YSA gibi yeni yöntemler üzerinde çalışmak daha uygun olacaktır. Bu bağlamda bu çalışmada, iç mekân aydınlatma

sistemlerine ait  $E_{ort}$  değerinin tahmininde ve bu tahminlerden yola çıkılarak sistemin yeterliliğinin denetiminde YSA kullanılmıştır. Bu sayede az sayıda ölçümden yola çıkılarak standartlara uygun olarak ve doğru bir şekilde sistemin bakım koşullarının değerlendirilmesi sağlanmıştır.

YSA eğitiminde kullanılan veriler ağırlık ve hedef verileri olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Ağırlık verileri ağırlık girişine uygulanan verilerdir. Hedef ise ağırlık çıkışından elde edilmek istenen (çıktı) verilerden oluşur. Burada ağırlık verisi olarak çapraz iki köşegen üzerindeki aydınlık düzeyleri ve hedef verisi olarak ise  $E_{ort}$  değeri kullanılmıştır. Sadece çapraz iki köşegen üzerindeki aydınlık düzeyi değerlerini kullanmamızın nedeni ise az sayıda noktada ölçüm yaparak doğru bir  $E_{ort}$  değerini tahmin edebilmektir. Aydınlik kademelerinin %0 ve %100 aralığında olma sebebi ise bu aralıktaki tüm seviyelerde az sayıda noktanın lüks değerlerinin ölçümüyle ortam içerisindeki  $E_{ort}$  değerini eğitilmiş olan YSA'ya tahmin ettirebilmektir. Yani sistem ister %1 performansla çalışsın isterse %99 performansla çalışsın, eğitilmiş olan YSA, ortama ait  $E_{ort}$  değerini doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Şekil 4'te  $E_{ort}$  değeri tahmini için oluşturulan YSA modelinin ağırlık (girdiler) ve hedef (çıktı) değerleri görülmektedir.



Şekil 4.  $E_{ort}$  değeri tahmini için oluşturulan YSA modelinin ağırlık (girdiler) ve hedef (çıkıtı) değerleri

Tablo 3'te ise yapay sinir ağı eğitiminde kullanılan parametreler ve bu parametrelerin maksimum ve minimum değerleri (değişim aralığı) verilmiştir.

Tablo 3. YSA eğitiminde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri ve bunların değişim aralığı

Kod	Ağırlık ve Hedef Değerleri	Maksimum	Minimum
$X_1$	1. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	122	56,6
$X_2$	2. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	115	52,5
$X_3$	3. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	65,5	33,1
$X_4$	4. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	18	7,9
$X_5$	5. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	0	0
$Y_1$	<b>Ortalama Aydınlik Seviyesi</b>	<b>91,8</b>	<b>0</b>

YSA eğitiminde kullanılan veriler normalden çok büyük ya da çok küçük olabilir. Bu veriler yanlışlıkla eğitim setine girmiş de olabilir. Bu değerler, net girdilerin hesaplanmasında aşırı büyük veya aşırı küçük değerlerin oluşmasına sebebiyet verebilir. İstenmeyen bu durumu ortadan kaldırmak için eğitim verilerinin belirli bir aralıkta ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Bu sayede yanlış girilen çok büyük ve küçük şeklindeki değerlerin etkisi ortadan kaldırılmış olur. Yani veriler, YSA katmanları arası geçişlerde, eşik fonksiyonları üzerinden geçiş işlemini gerçekleştirirler ve bu eşik fonksiyonlarının çıkış aralıkları [-1, 1] veya [0, 1] aralığında olur. Ham verilerin YSA üzerinde kullanılması için bu aralıklara indirgenmesi normalizasyon olarak tanımlanmaktadır. Normalizasyon En temel ön-ışleme yöntemlerinden birisidir ve bu sayede YSA'nın eğitim ve öğrenme performansı artırabilir. Uygulamada çeşitli normalizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada Min-Max

normalizasyon yöntemi kullanılmış ve eğitim verileri [0, 1] aralığına indirgenmiştir. Eğitim verilerini bu aralığına indirmek için (III) nolu eşitlikten faydalanılmıştır.

$$x' = (x_i - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (III)$$

Yukarıdaki denklemde;

$x'$ : Normalizasyonu yapılmış veri

$x_i$ : Girdi değerleri

$x_{max}$ : En büyük girdi değeri

$x_{min}$ : En küçük girdi değeri ni ifade etmektedir (Yavuz vd. 2012).

Çalışmada, YSA eğitimi için Tablo 4'te maksimum ve minimum değişim aralıkları verilen normalize edilmiş değerler kullanılmıştır. İşlem sonunda ise ters dönüşüm yapılarak gerçek değerlere dönüşüm sağlanmıştır.



**Tablo 4.** YSA eğitiminde kullanılan normalizasyonu yapılmış verilerin min. ve max değerleri

Kod	Ağırlık ve Hedef Değerleri	Maksimum	Minimum
$X_1$	1. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	1	0,46393
$X_2$	2. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	0,94262	0,43032
$X_3$	3. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	0,53688	0,27131
$X_4$	4. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	0,14754	0,06475
$X_5$	5. kademede köşegenlere ait aydınlık değerleri	0	0
$Y_1$	<b>Ortalama Aydınlik Seviyesi</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

Bu çalışmada, ortalama aydınlık düzeyi tahmini için üç farklı YSA modeli oluşturulmuştur. Bunlar;

- İleri Beslemeli Geri Yayılımlı YSA modeli,
- Hopfield YSA modeli,
- Radyal Tabanlı YSA modeli,

şeklinde. Çalışmada, her bir YSA modeli ayrı ayrı eğitilmiştir. Tüm eğitimlerin sonunda; Hopfield YSA modeli % 3,4 hata oranı, Radyal Tabanlı YSA modeli % 2,9 hata oranı ve İleri-Geri geri yayılımlı YSA modeli de yaklaşık % 1 hata oranı ile sonuca ulaşmıştır. Bu üç model içerisinde İleri Beslemeli

Geri Yayılımlı YSA modelinin, ortalama aydınlık düzeyi tahmininde diğer modellere göre daha başarılı olduğu görülmüş ve bu sebepten dolayı bu model tercih edilmiştir.

İleri Beslemeli Geri Yayılımlı YSA modelinin seçiminden sonra bu ağ için en ideal eğitim algoritmasının belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada çalışmada Farklı eğitim algoritmaları kullanılmış ve en iyi sonucu veren üç farklı eğitim algoritmasına korelasyon katsayısı (r) ve belirlilik katsayısı ( $r^2$ ) değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** İleri Beslemeli Geri Yayılımlı YSA modeli için en iyi sonucu veren üç farklı eğitim algoritmasına r ve  $r^2$  değerleri

Eğitim Algoritması	r-testing	$r^2$ -testing
TRAINLM	0,9931	0,9862
TRAINGD	0,9854	0,9710
TRAINBG	0,9648	0,9308

İki veya daha fazla değişken arasındaki doğrusal ilişki korelasyon olarak tanımlanmaktadır. Korelasyon katsayısı (r) YSA'nın iyi eğitilip eğitilmediğine karar vermek için kullanılan bir parametredir. Yani, istenen ağ çıkışı ile hedeflenen ağ çıkışı arasındaki farka göre elde edilen bir katsayıdır. Bu katsayısı [-1, 1] aralığında değişir ve 1'e eşit olması durumunda ağ çıkışı ile hedeflenen çıkış arasında mükemmel bir benzerlik olduğu, -1'e eşit olduğunda ağ çıkışı ile hedeflenen çıkış arasında ters yönde bir ilişki olduğu ve 0'a eşit olduğu durumda ise ağ çıkışı ile

hedeflenen arasında herhangi bir benzerlik bulunmadığı kabul edilir. Tablo 5'te görüldüğü üzere korelasyon katsayısı tanımın a göre en iyi sonucu veren eğitim algoritması Levenberg-Marquardt (trainlm) eğitim algoritmasıdır. Bu algoritmaya ait r değeri 0,9931 ve  $r^2$  değeri ise 98,62'dir. Görüldüğü üzere YSA eğitiminde Levenberg-Marquardt (LM) algoritmasının tercih edilmesinin temel nedeni, sağlamış olduğu hız ve kararlılıktır. Tablo 6'da çalışma için eğitilen YSA modeline ait parametreler verilmiştir.

**Tablo 6.** YSA eğitim parametreleri

Ağ Tipi	Feed-Forward backpropagation
Eğitim Algoritması	Levenberg-Marquardt (trainlm)
Öğrenme Fonksiyonu	Trainlm
Performans Fonksiyonu	MSE
Tabaka Sayısı	1 ile 10 arasında
Nöron Sayısı	1 ile 20 arasında
Aktivasyon Fonksiyonu	Tansig, Logsig

### 3. Bulgular

İç mekân aydınlatma sistemlerinde kirlenme, tozlanma, yıpranma vb. birçok olumsuz etkenden dolayı zamana bağlı olarak ışık akısı gözle fark edilemeyecek şekilde azalmaktadır. Bu azalmaya bağlı olarak ta ortam içerisinde arzu edilen ortalama aydınlık seviyesi düşmektedir. Bu da aydınlatma sistemlerinde istenmeyen bir durumdur. Sistemin değerlendirilebilmesi için ise ortam içerisinde birçok noktada ölçüm yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak iç mekân aydınlatma sistemlerine ait  $E_{ort}$  değerinin tahmini için YSA kullanılmıştır. Zamana bağlı  $E_{ort}$  değerindeki azalmaların olduğu ortam şartlarını elde edip o şartlardaki ölçümleri yapabilmek için ise dimmer sistemi kullanılmıştır. Mevcut aydınlatma

sistemi belirli oranlarda dim edilerek yapay olarak ışık akısının azalması sağlanmış ve dolayısıyla farklı  $E_{ort}$  değerlerine sahip ölçüm ortamları oluşturulmuştur. Bu ortamlardan elde edilen ölçümlerle çalışma için oluşturulan YSA eğitilmiştir. Eğitim aşamasından sonra ise test aşamasına geçilmiştir.

Test aşamasında aydınlatma sistemi 24 ay boyunca kullanıma tabi tutulmuş ve tüm ölçümler aylık periyotlar halinde 24 aylık süre sonuna kadar tekrarlanmıştır. Bu sayede gerçek zamanlı veriler kullanılmak suretiyle YSA test edilmiştir. Tablo 7'de 24 aylık süre zarfında, ölçümler sonucu elde edilen ve YSA tahmini sonucunda elde edilen  $E_{ort}$  değerleri verilmiştir.

**Tablo 7.** Ölçümler sonucu elde edilen ve YSA tahmini sonucunda elde edilen  $E_{ort}$  değerleri

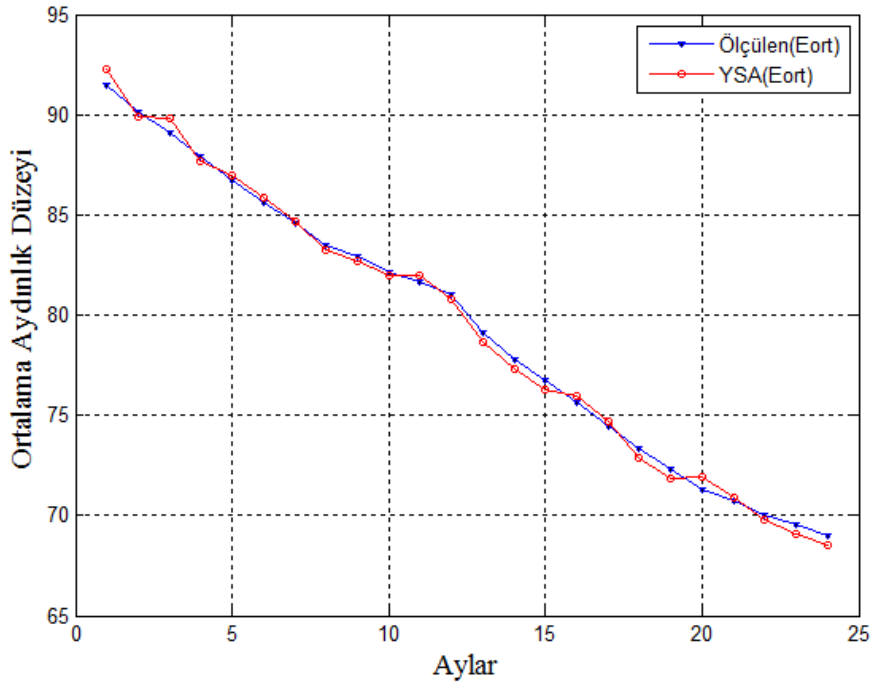
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ölçülen( $E_{ort}$ )	91,49	90,16	89,07	87,93	86,76	85,62	84,56	83,46	82,93	82,15	81,69	81,05
YSA ( $E_{ort}$ )	92,24	89,92	89,84	87,70	86,93	85,89	84,64	83,24	82,71	81,94	81,97	80,83
Aylar	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Measured ( $df$ )	79,12	77,82	76,76	75,64	74,48	73,37	72,35	71,26	70,76	70,00	69,55	68,99
ANN ( $df$ )	78,65	77,34	76,29	75,97	74,71	72,90	71,88	71,89	70,87	69,75	69,10	68,51

SLL (Society of Light and Lighting) kodlarına göre, doğru  $E_{ort}$  değerleri elde etmek için iç mekân içerisine birçok noktada aydınlık düzeyi ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu ölçülen değerleri kullanarak, aydınlatma sistemindeki yıpranma miktarı hesaplanır ve sistemin bakım zamanının gelip gelmediği belirlenir. Bu çalışmada

$E_{ort}$  değerinin tahmini için eğitilen YSA sayesinde az sayıda ölçüm değerinden yola çıkılarak sisteme ait  $E_{ort}$  değeri kolaylıkla tahmin edildi ve bu yolla bakım zamanının gelip gelmediğine kolayca karar verildi.

Tablo 7 incelendiğinde 12 aylık kullanımın sonunda çok sayıda yapılan ölçümler sonucunda  $E_{ort}$  değerinin 81,05 lx olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu değer YSA tarafından 80,83 lx olarak tahmin edilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre aydınlatma için harcanan elektriğin % 11,41'lik kısmı ışığa dönüşmemektedir. YSA tahminine göre ise tüketilen elektriğin % 11,61'lik kısmı ışığa dönüşmemektedir. 12 aylık kullanımdan sonra, eğer bu aydınlatma sistemine müdahale edilirse yani sistemde iyileştirmelere gidilirse % 11-12 ışığa dönüşmeyen elektrik enerjisi önlenir.

24 aylık kullanım periyodunun sonunda ise ölçümlerden hesaplanan  $E_{ort}$  değeri 68,99 lx tür. Bu değer YSA tarafından 68,51 lx olarak tahmin edilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre aydınlatma için harcanan elektriğin % 24,59'u ışığa dönüşmediği görülmektedir. YSA tahminine göre ise tüketilen elektriğin % 25,11'i ışığa dönüşmemektedir. 24 aylık kullanımdan sonra, eğer bu aydınlatma sistemine müdahale edilirse, % 24-25 ışığa dönüşmeyen elektrik enerjisinin önüne geçilmiş olunur. 24 aylık kullanım süresi boyunca, ölçülen ve tahmin edilen ortalama aydınlık düzeyi değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırması ise Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. 24 aylık kullanım süresinden sonraki ölçülen ve YSA tahmininden elde edilen ortalama aydınlık düzeyi değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5'de mavi renkte çizilen eğri, gerçek ölçümler sonucu olarak elde edilen  $E_{ort}$  değerlerini göstermektedir. Kırmızı renkte çizilen eğri ise, YSA

tahminlerinden elde edilen  $E_{ort}$  değerlerini göstermektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Aydınlatma sistemlerinin tasarımları aşamasında simülasyon programı kullanmak suretiyle arzu edilen tasarım elde edilebilir fakat bu ve benzeri programlar kullanılarak belirli bir kullanım zamanından sonra sisteme ait  $E_{ort}$  değerinin hesaplanması mümkün değildir. Bunun için iç mekân içerisinde birçok noktada aydınlık düzeyi ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Söz konusu ölçümler ise uğraş gerektirir ve aynı şekilde zaman alır. Bu amaçla, çalışmada az sayıda ölçüm değerinden yola çıkılarak doğru bir  $E_{ort}$  değerine ulaşılabilmesi amacıyla bir YSA modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model aydınlatma sisteminin belirli oranlarda dim edilmesiyle elde edilen veriler ile eğitilmiş ve eğitim aşamasından sonra sistem 24 ay kullanıma tabi tutularak test işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu zaman zarfında aydınlatma elemanları ve iç mekân duvarları kirlenmiş, tozlanmış ve belirli bir oranda yıpranmıştır. Bu süre zarfında, bu iç mekânda belirli aralıklarla aydınlık seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler kullanılarak gerçek  $E_{ort}$  değerleri hesaplanmış ve aynı değerler eğitilen YSA tarafından da tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonunda, YSA modeli tarafından tahmin edilen değerler gerçek zamanlı ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve tahmin

edilen değerlerin gerçek değerlerle örtüştüğü görülmüştür.

Çalışma sonunda yani 24 aylık kullanımın periyodu sonunda sisteme müdahale edilmiş ve yaklaşık % 25 ışığa dönüşmeyen elektrik enerjisi israfının önüne geçilmiştir. Üstelik uzun deneysel ölçümlerin neticesinde ortaya atılabilecek çözüm önerileri YSA sayesinde kısa sürede ortaya konulmuştur. Bu sayede bakım planlarının belirlenmesi kolaylaşmış ve enerji tasarrufuna dayalı aydınlatma yapılmasına katkıda bulunmuştur.

Tüm bunlara ek olarak, YSA kullanımı iç mekân aydınlatmasında genişletilebilir. Başka bir ifadeyle, YSA eğitiminde farklı değişkenler kullanarak daha farklı özelliklerdeki aydınlatma sistemlerine ait  $E_{ort}$  değerlerine kısa yoldan ulaşılabilir. Burada örnek aydınlatma ortamı olarak küçük çaplı bir iç mekân seçilmiş ve YSA'nın bu konuda oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışma, kapalı üretim alanları, kapalı spor salonları, uçak bakım hangarları vb. çok daha büyük mekânlara uygulanabilir. Bu şekilde büyük alanların aydınlatma yeterliliğinin denetimi ise çok daha zor olduğundan YSA kullanımı bu gibi ortamların aydınlatma yeterliliğinin denetiminde büyük kolaylık sağlayacaktır.

#### 5. Kaynaklar

- Akella, A.K., Saini, R.P., Sharma, M.P., 2009. Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems. *Proceedings of Renewable Energy*, **34**, 390-396.
- Bağcı, S.A., Ekiz, H. and Yılmaz, A., 2003. Determination of the salt tolerance of some barley genotypes and the characteristics affecting tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **27**, 253-260.
- Baloch, A. A., Shaikh, P. H., Shaikh, F., Leghari, Z. H., Mirjat, N. H., and Uqaili, M. A., 2018. Simulation tools application for artificial lighting in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82**, 3007-3026.
- Bean, R., 2014. Lighting: interior and exterior. Routledge.

- Bernatt, J., Gawron, S., & Glinka, T., 2018. Energy-Saving Electric Drives. In *2018 International Symposium on Electrical Machines (SME)* 1-5, IEEE.
- Commission: Interior Lighting Code, 2001. London British Standards Institution, CIBSE, London.
- Code for Lighting 2012, CIBSE, London. British Standards Institution, 1996, BS 667, Specification for portable photoelectric photometers. BS EN 13201-4
- Gençoğlu, M. T., 2005. İç Aydınlatmada Enerji Tasarrufu, EMO Yayınları.
- De Graaf, D. T., Dessouky, M. and Müller F.O.H., 2014. Sustainable lighting of museum buildings, *Renewable Energy*, **67**, 30-34.
- Erlalelitepe, İ., Aral, D., ve Kazanasmaz, T., 2011. Eğitim yapılarının doğal aydınlatma performansı açısından

- incelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Dergisi*, **6**, 39-51.
- IEA, 2014. Policies for Energy-Efficiency lighting. Energy Efficiency Policy Profiles, *International Energy Agency*.
- Kazanasmaz, T., Günaydın, M., Binol, S., 2009. Artificial neural networks to predict daylight illuminance in office buildings. *Building and Environment*. **44-8**, 1751-1757.
- Khosrowshahi, F., Alani, A., 2011. Visualisation of Impact Of Time On The Internal Lighting Of A Building. *Automation in Construction*, **20-2**, 145–154.
- Kocabey, S., 2008. İç Hacimlerde Aydınlik Düzeyi Dağılımının Bulunması ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi. *Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Türkiye.
- Kocabey, S., Ekren, N., 2014. A new approach for examination of performance of interior lighting systems. *Energy and Buildings*, **74**, 1–7.
- Koninklijke Philips Electronics N.V., 2012. The LED Lighting Revolution. *A Summary Of The Global Savings Potential*.
- Russell, S., 2012. The Architecture Of Light (2nd Edition): A textbook of procedures and practices for the Architect, Interior Designer and Lighting Designer. *Conceptnine*.
- Kralikova, R., Andrejiova, M. and Wessely, E., 2015. Energy Saving Techniques and Strategies for Illumination in Industry. *Procedia Engineering*, **100**, 187-195.
- Lund, H., 2007. Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, **32-6**, 912–919.
- Marques, É., Melo, R. B., and Carvalho, F., 2017. Ergonomic Work Analysis of Industrial Quality Control Workstations. In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham. 532-544.
- Soori, K.P., Vishwas, M., 2013. Lighting control strategy for energy efficient office lighting system design. *Energy and Buildings*, **66**, 329–337.
- Şahin, M., Büyüktümtürk, F., and Oğuz Y., 2012. Yapay Sinir Ağları ile Aydınlik Kalitesi Kontrolü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **13-2**, 1-10.
- Şahin, M. (2014) Farklı Teknik ve Fiziksel Özelliklerdeki Ortamların Bakım Katsayılarının Belirlenmesi ve Aydınlik Düzeylerinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi, Doktora Tezi.
- Şahin M., Oğuz Y., Büyüktümtürk F., 2015. Approximate and Three-Dimensional Modeling of Brightness Levels in Interior Spaces by Using Artificial Neural Networks. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, **10**, 1822-1829.
- Şahin, M., Oğuz, Y., and Büyüktümtürk, F., 2016. ANN-based Estimation of Time-dependent Energy Loss in Lighting Systems', *Energy and Buildings*, **116**, 455-467.
- Tekbıyık, G., 2018. Sürdürülebilir mimarlıkta yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, kamu binalarında uygulama yöntemleri ve örneklerinin incelenmesi. *Master's thesis, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Teng, F., Aunedi, M., and Strbac, G., 2016. Benefits of flexibility from smart electrified transportation and heating in the future UK electricity system. *Applied Energy*, **167**, 420–431.
- The Correlation of Models of Vision and Visual Performance. (2002). Commission Internationale de L'Eclairage, CIE Publication, Vienna, Avustria.
- The society of light and lighting part of the chartered installation of building services engineers Measurement of illuminance in electrically lit Spaces, 2012, **3**.
- Tran, D., & Tan, Y. K. (2014). Sensorless illumination control of a networked LED-lighting system using feedforward neural network. *IEEE transactions on industrial electronics*, 61-4, 2113-2121.
- Tsangrassoulis, A., & Wa, L. D. H., 2018. Editorial on Energy Efficient Lighting Strategies in Buildings.
- Veitch, J. A., Newsham, G. R., 1998. Lighting quality and energy efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction and comfort, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 107-129.
- Yang, H.I. and Nam, E.J., 2010. Economic analysis of the daylight-linked lighting control system in office buildings. *Solar Energy*, **84-8**, 1513–1525.
- Yavuz, S., ve Deveci, M. 2012. İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağı Performansına Etkisi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, **40**, 167-187.