



Ticari Bina LED Aydınlatma Sistemlerinde Enerji Tasarrufu İçin Bulanık Mantık Denetleyicisi

Fuzzy Logic Controller for Energy Saving in Commercial Building LED Lighting Systems

Ayşe Doğru*¹, Nazlı Koymat¹, Zafer Civelek¹

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 01800, Çankırı, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 26/12/2019

Kabul / Accepted: 09/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Ticari binalarda elektrik aydınlatması en çok enerji harcayan temel unsurlardan biridir. Binaların iç aydınlatmasında enerji tasarrufu yapabilmek için güneş ışığından yararlanmak önemli bir hale gelmiştir. Bu sebeple iç mekân aydınlatma koşullarını yeterli bir seviyede tutmaya devam ederken gün ışığından faydalanarak iç mekân aydınlatma koşullarını yakalamak ve bunun için gerekli kontrol algoritmaları kullanmak gerekir. Gün ışığı aydınlatmasıyla enerjiden önemli ölçüde tasarruf edilmesi uzmanların bu alana olan ilgisini arttırmıştır. Aydınlatmada kontrol sisteminin uygulanmasıyla yıllık enerji tüketiminde azalma olacaktır. Bu aynı zamanda, yapay aydınlatma ve gün ışığından yararlanarak, çalışanların çalışma verimliliğini ve memnuniyetini arttırmasına yardımcı olur. Bu makalede gün ışığı aydınlatmasından faydalanarak ve aydınlatma konforu göz önüne alınarak bir bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmıştır. Simülasyon ortamında hazırlanan bir ofis dairesinde masalara hareket sensörleri yerleştirilmiştir. Kullanıcıların hareketlerine göre aydınlatma sistemi otomatik olarak ayarlanır ve kullanıcıların kendi aydınlatma konforu tercihlerine göre seçim yapmalarına izin verilir. Simülasyon sonuçları kontrolsüz aydınlatma sistemi ile konforlu aydınlatma kullanılarak enerjiden önemli ölçüde tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler

"Bulanık mantık denetleyicisi, gün ışığı, aydınlatma konforu, enerji tasarrufu, LED"

Abstract

Electric lighting is one of the main factors consuming energy in commercial buildings. Use of sunlight has become crucial for indoor lighting to save energy. So, it is necessary to use control algorithms in order to meet indoor lighting conditions and keep them at a certain level using sunlight. Energy saving by sunlight contribution has raised specialists' interest in this field. By the application of lighting control system there will be decline in annual energy consumption. And this will help to increase the efficiency and satisfaction of employees by using artificial light and sunlight. In this study, a fuzzy-logic controller was designed using sunlight and regarding lighting comfort. Motion sensors were installed in tables in an office room created in a simulation environment. Lighting system sets itself automatically detecting the movement of users and also lets them to choose the lighting level for their lighting comfort. Result of the simulation shows that using comfort lighting saves much energy compared to uncontrolled lighting.

Key Words

"Fuzzy logic controller, daylight, lighting comfort, energy saving, LED"

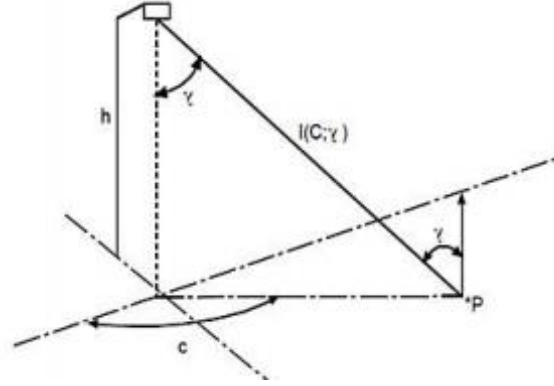
1. Giriş

Günümüzde enerji tasarrufu alanında yapılan çalışmalar gün geçtikçe önemli hale gelmeye başlamıştır. Küresel ısınma, iklim değişikliği, enerji maliyetlerindeki artış, artan enerji talepleri gibi başlıca nedenler enerji kaynaklarının tasarruflu bir şekilde kullanılması gerektiğini göstermektedir. Gelişen teknoloji sayesinde elektrik enerjisi aydınlatma sistemlerinde de kullanımı artmaya başlamış ve yaygınlaşmıştır. Dünyadaki toplam enerji tüketiminin %20 'si aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır (Byun, Hong, Lee, & Park, 2013) (Ryckaert, Smet, Roelandts, Gils, & Hanselaer, 2012). Elektrik aydınlatmasından kaynaklanan ısı kazanımı, sıcak yaz aylarında bina soğutma yükünü de arttırmış olmaktadır. Bu nedenle aydınlatma enerji tasarrufunda önemli bir rol oynamaktadır.

Enerji tasarrufunu sağlamak için konfordan, üretim ve kaliteden ödün vermeden tüketilen enerjinin uygun değerinde tutulması gerekmektedir. Tasarrufla beraber mekândaki kişilerin ihtiyaçları doğrultusunda belirlenen aydınlık seviyesi en uygun aydınlatma kalitesidir (Resource Pages | WBDG - Whole Building Design Guide, n.d.).Gün ışığı aydınlatması insan görsel tepkisine en çok benzeyen, insanların verimliliğini artıran ve iç mekân konforu sağlayan bir aydınlatma kaynağıdır. Yeterli yaşam konforu sağlayarak veya gün ışığı kullanımını en üst seviyede tutarak iç mekân aydınlık koşullarını kontrol etmeye yönelik birçok yaklaşım önerilmiştir (Kristl, Košir, Trobec Lah, & Krainer, 2008) (Oh, Lee, & Yoon, 2012) (Yun & Kim, 2012). Ofis binalarında çalışma saatlerinde gün ışığı kullanımı görsel konfor, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından önem kazanmaktadır. Gün ışığı performansını en iyi şekilde tespit edebilmek için o bölgedeki dış aydınlık düzeylerinin belirlenmesi ve ele alınan bölge genelinde sene boyunca oluşabilecek gün ışığı etkisinin hesaplanması gerekmektedir (Şahin, M., Büyüktümtürk, F., & Oğuz, Y., 2013) (Kocaman, 2020).

2. Yüzeyle Bir Noktada Aydınlık Düzeyi

Bir noktanın yatay aydınlık düzeyi, ölçüm yapılan noktaya katkıda bulunan bütün armatürlerin bu nokta üzerinde oluşturdukları aydınlık düzeylerinin toplamı olarak tanımlanır. Şekil 1'de aydınlık düzeyi hesaplanacak yüzey üzerindeki bir P noktasının geometrik konumu gösterilmektedir. P noktasının yatay aydınlık düzeyi denklem 1'de görülmektedir (Cengiz, 2018; Cengiz, 2019, Cengiz & Cengiz, 2018)



Şekil 1. Aydınlık düzeyi hesaplanacak yüzey üzerindeki bir P noktasının geometrik konumu

$$E_p = \sum_i^a \frac{I(C_i \gamma)}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma \quad (1)$$

Işık akısının modellenenebilir olmasıyla birlikte, genellikle kontrol tasarımının temelini oluşturan iç mekân ışık yoğunluğu ve yüzey aydınlatma teknikleri ilgi çeken konular olmuştur. Ayrıca, bir odadaki belli bir konumda yaklaşık aydınlık seviyesi tahmini sağlayan birçok yöntem vardır (Şener Yılmaz, n.d.). Akıllı aydınlatma sistemlerinde LED'ler yarı iletken, diyot temelli bir ışık kaynağıdır. LED aydınlatma armatürleri, düşük enerji tüketimi ve enerjiyi verimli kullanması, sağlam ve dayanıklı olması, tasarım esnekliği sağlaması, uzun ömürlü ve küçük boyutlu olması nedeniyle ticari binaların aydınlatmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma, DiaLux simülasyon programı aracılığıyla modellenmiştir. Simülasyon ortamında bir test ofisi seçilerek akıllı LED aydınlatma sistemi kurulmuştur. Gün ışığı aydınlatma hareketleri ve kullanıcıların hareketlerine göre konforlu aydınlatma dikkate alınarak enerji tasarrufu sağlanabilmesi amaçlanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi aydınlatma konfor şartları ve kullanıcı aydınlatma tercihleri dikkate alınarak aydınlatma çıkışı üretmek üzere tasarlanmıştır.

3. Tasarlanmış Bulanık Mantık Denetleyicisi

Kontrol birimi için sistemin girdi ve çıktıları arasında ilişkiyi kontrol eden bir algoritmaya ihtiyaç vardır. Klasik yöntemlerden PID en çok kullanılan kontrol yöntemidir. Başka bir alternatif yöntem ise insan beyninin çalışma sistemine benzer bir şekilde çalışma ortaya koyan ve yapay zekânın alt birimi olan bulanık mantık sistemidir. Bulanık mantık sisteminde kontrolde herhangi bir matematiksel ifadeye gerek yoktur. Bu sebeple matematiksel model elde etmenin zor veya imkânsız olduğu, karmaşık, doğrusal olmayan, bilgilerin niteliklerinin belirsiz veya kesin sınırları olmadığı kontrol problemlerinde uygulanabilmektedir (Aprea, Mastrullo, & Renno, 2006).

Bulanık mantık kontrolörleri, iç mekân aydınlatma kontrol sistemlerinin tasarımında kullanılmıştır. Bu kontrolörler, modeller hakkında kesin bilgi gerektirmediklerinden, tasarımı sağlam ve basittir.

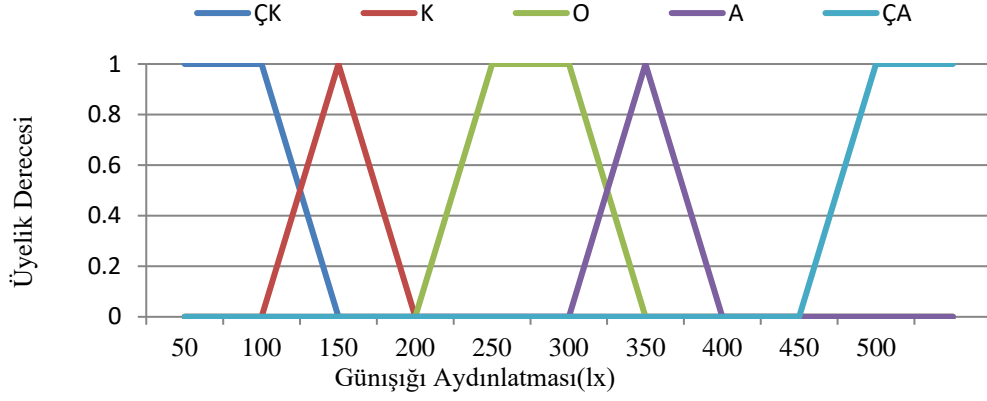
Aydınlatma konforu, kullanıcıların iç mekân aydınlatma kalitesindeki memnuniyetlerini göstermektedir. Aydınlatma konforunu kesin sınırlar ile belirlemek zordur. Bulanık mantık, aydınlatma konforunun değerlendirilmesi için uygun bir araçtır. Bu çalışmada kullanıcıların aydınlatma konforunu göz önüne alarak ve yapay aydınlatmayı da içeren kapsamlı bir bulanık mantık algoritması geliştirilmiştir. Bulanık mantık kontrol sisteminde üç ana kısım vardır (Ross, 2010);

- Bulanıklaştırma (Fuzzification)
- Kural tablosu ve çıkarım tablosu (Rule Base)
- Durulaştırma (Defuzzification)

3.1. Bulanıklaştırma

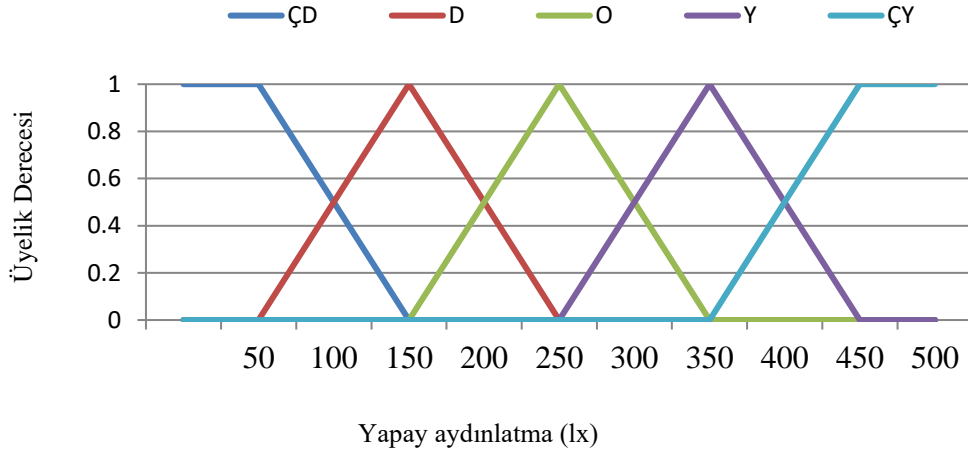
Bulanıklaştırma işlemi sistemden alınan giriş bilgilerinin dilsel niteleyiciler ile sembolize edilerek yazılmasıdır. Giriş ve çıkış değişkenleri belirlendikten sonra bulanık mantığın temelini oluşturan üyelik fonksiyonları tanımlanır ve üyelik dereceleri atanır (Mendel, J. M., 1995). Bu çalışmada önerilen bulanık mantık sistemi iki giriş değişkeninden ve bir çıkış değişkeninden oluşmaktadır. Giriş değişkenleri (A) gün ışığı aydınlatması, (B) yapay aydınlatma, çıkış değişkeni (C) konforlu aydınlatmadır.

A = {çok karanlık (ÇK), karanlık (K), orta (O), açık (A), çok açık (ÇA)} gün ışığı aydınlatma sıralarının alanını belirtir. Her bir sıra, Şekil 2'de gösterildiği gibi bir üyelik fonksiyonuyla tasvir edilmiştir. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.



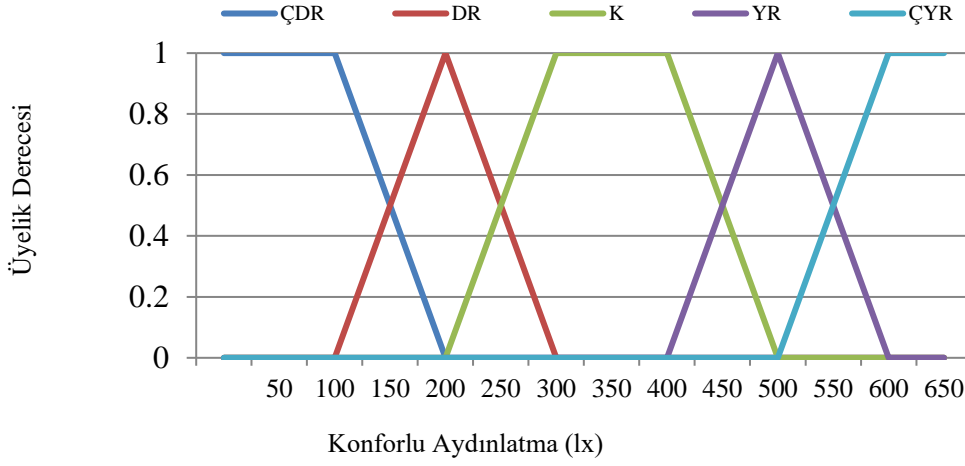
Şekil 2. Günışığı katılımlı üyelik fonksiyonları

B = {çok düşük (ÇD), düşük (D), orta (O), yüksek (Y), çok yüksek (ÇY)} yapay aydınlatma alanını belirtir. Her bir sıra, Şekil 3'te gösterildiği gibi yamuk ve üçgen biçimli bir üyelik fonksiyonu ile tasvir edilmiştir.



Şekil 3. Yapay aydınlatma üyelik fonksiyonları

C = {çok düşük rahatsızlık (ÇDR), düşük rahatsızlık (DR), konforlu (K), yüksek rahatsızlık (YR), çok yüksek rahatsızlık (ÇYR)} konfor aydınlatma alanını belirtir. Her bir sıra, Şekil 4'te gösterildiği gibi, üçgen veya yamuk formların kendi üyelik fonksiyonlarıyla tasvir edilmiştir.



Şekil 4. Konforlu aydınlatma üyelik fonksiyonları

3.2 Çıkarım Yöntemleri

Bulanıklaştırma işleminden sonra kontrolde çok önemli olan kural tablosunun oluşturulma işlemidir. Bu çalışmada, algoritma bir duyarlılık analizine dayanan 5*5 kural tablosu ile yazılmıştır. Günışığı çıktısı, aydınlatma konforu için yapay aydınlatmaya göre daha yüksek bir ağırlık faktörüne sahiptir. Bulanık çıkarım kurallarını çalıştırmak için, Mamdani'nin Max - Min metodu kullanılmıştır. Tablo 1 tasarlanan bulanık mantık denetleyicisinin kurallarını ve Tablo 2 bulanık mantık denetleyicisinin çıkarım tablosunu göstermektedir. Çıkarım kurallarının 3-D görselleştirilmesi, Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 1. Tasarlanmış bulanık mantık denetleyici kuralları

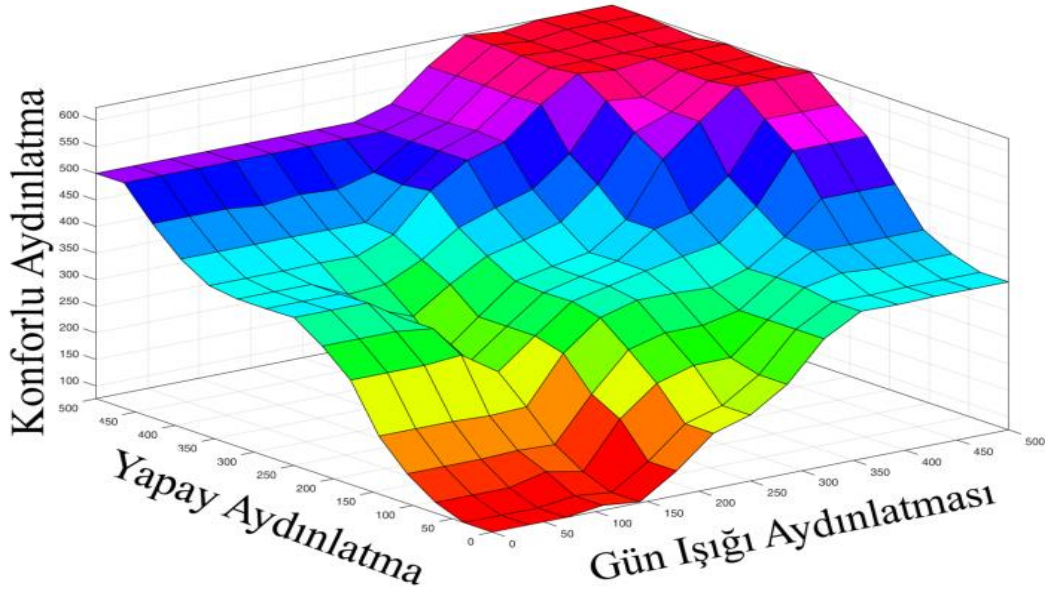
Kurallar	
1.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma ÇDR'dir
2.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma DR'dir
3.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
4.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
5.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
6.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma ÇDR'dir
7.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma DR'dir
8.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma DR'dir
9.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
10.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
11.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma DR'dir
12.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
13.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
14.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
15.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
16.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
17.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
18.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
19.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir
20.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir
21.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma K'dir

Tablo 1 (devam). Tasarlanmış bulanık mantık denetleyici kuralları

Kurallar	
22.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
23.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir
24.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir
25.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir

Tablo 2. Tasarlanmış bulanık mantık denetleyicinin çıkarım tablosu

Yapay Aydınlatma	Gün Işığı Katkısı				
	ÇK	K	O	A	ÇA
ÇD	ÇDR	ÇDR	DR	K	K
D	DR	DR	K	K	YR
O	K	DR	K	YR	ÇYR
Y	K	K	YR	ÇYR	ÇYR
ÇY	YR	YR	YR	ÇYR	ÇYR

**Şekil 5.** 3-D görselleştirme ve çıkarım kuralları

3.3. Durulaştırma

Tasarlanmış bulanık mantık denetleyicisinin son aşaması durulaştırma işlemidir. Durulaştırma, bulanık bir alt kümeyi tek değerli gerçek sayılara dönüştürme işlemidir. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemdir. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemine göre, üyelik fonksiyonu altındaki alanın ağırlık merkezi denklem (2)'den yararlanılarak bulunur:

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(CI_i)CI_i}{\sum_{i=1}^n \mu(CI_i)} \quad (2)$$

Burada $\mu(CI_i)$ bir aktivasyon kural derecesi i. CI_i Max - Min bileşimin merkezi üyelik fonksiyonlarıdır. CI konforlu aydınlatma seviyesidir.

4. Dialux Evo Programı

Görsel planlama da çok güzel bir örnek olan Dialux Evo yazılımı planlama, hesaplama ve aydınlatma görselleştirme için Dial Gmbh tarafından hazırlanan bir yazılımdır. Yazılımın içeriğinde hazır yapı malzemeleri istenilen ölçüler ile girilebilir. Ayrıca anlaşılabilir aydınlatma firmalardan istenilen aydınlatmayı seçerek görsel olarak simülasyonda görülebilir. Şekil 6 'da bir test ofis için gündüz ışığı olmadan sadece LED ile aydınlatma ortamı tasarlanmıştır.

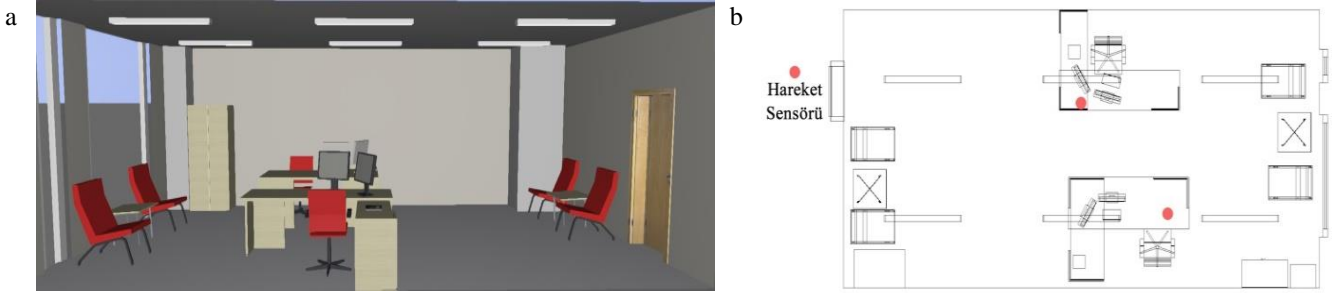


Şekil 6. Gündüz ışığı olmadan sadece LED ile aydınlatma

Programı daha iyi anlayabilmek ve hesaplamaları daha bilinçli yapabilmek için aydınlatma ile ilgili bazı kavramların daha iyi bilinmesi gerekir. Böylece analiz edilmesi kolaylaşır. Dialux Evo ile tasarlanan yapının mevcut enerji tüketiminin ne kadar yüksek olduğuna veya ne kadar enerji tasarrufu yapıldığına dair genel bilgilere ulaşılabılır. Bu yazılım ile tasarlanan yapının aydınlatması sadece yapay ışık yerine gün ışığı kullanılarak enerji kullanımı hesaplanabilir. Ayrıca gün ışığından olası enerji spektrumunu da gösterir. Hesaplama binalardaki aydınlatma enerji performansını belirlemede Türk Standardı TS EN 15193 uyarınca yapılarak yapının bulunduğu enlem ve boylam bilgilerinin yazılıma doğru bir şekilde girilmesi gerekir.

5. Dialux Evo Programı Ofis Yapılandırma

Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı Yazılım Biriminde bir ofis çalışma için seçildi. Ofis zemin katta 4,16 m genişliğinde 7,90 m uzunluğunda ve 2,79 m yüksekliğinde olan bir alandır. Ofiste 2 x 18 W olan 6 adet LED armatür bulunmaktadır. Dialux Evo tarafından oluşturulan bir simülasyon modeli Şekil 7 'de gösterilmiştir.



Şekil 7. (a) Görüntüleme;

(b) Zemin görüntümü.

6. Geliştirilen Gün Işığı Katkılı Senaryoları

Örnek ofis mekânı için 3 adet doğal aydınlatma senaryosu oluşturulmuştur. Örnek ofis mekânı simülasyonu bilgileri Tablo 3'te gösterilmiştir. Simülasyonda kullanılan armatür türü V - TAC 2 x 18 LED Waterproof Lamp, 4000K, 6387 olarak seçilmiştir.

Tablo 3. Senaryo durumları

Kodlama	Aydınlanma Şiddeti(lx)	Senaryo Adı
S1	350 lx	Gün ışığı mevcut değil.
S2	300 lx	Gün ışığı mevcut değil ve Kullanıcı tercihli durum
S3-a	350 lx	Gün ışığı dahil durum.(Açık Gökyüzü)
S3-b	300 lx	Gün ışığı dahil durum.(Açık Gökyüzü)
S3-c	200 lx	Gün ışığı dahil durum.(Açık Gökyüzü)

S1: Yazılımda çizimin yapılıp, seçilen LED armatür ile sadece yapay aydınlatma kullanılarak ve aydınlanmanın 350 lx olduğu senaryo.

S2: Aydınlanmanın 300 lx olarak ayarlandığı durum.

S3: Gün Işığının Çankırı koşullarında 8.05.2019 tarihinde doğrudan ışık varken ve yokken hazırlanan mevcut durumu. Bu senaryo 3 aydınlatma şiddeti değerleri belirli saatlerde ölçüm yapılarak Tablo 4'deki değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 4. Masalarda ve çalışma ortamında aydınlık seviyeleri ölçüm sonuçları

Senaryo S3-a						
Aydınlanma Şiddeti(lx)	Saat	Masa 1	Masa 2	Çalışma Ortamı	Doğrudan ışık	
200 lx	08.00	1240	655	889	Yok	
200 lx	08.00	13351	658	4588	Var	
200 lx	12.00	578	348	718	Yok	
200 lx	12.00	661	348	1202	Var	
200 lx	17.00	467	265	485	Yok	
200 lx	17.00	467	265	485	Var	
Senaryo S3-b						
Aydınlanma Şiddeti(lx)	Saat	Masa 1	Masa 2	Çalışma Ortamı	Doğrudan ışık	
300 lx	08.00	1364	751	1185	Yok	
300 lx	08.00	13470	753	4691	Var	
300 lx	12.00	7022	443	825	Yok	
300 lx	12.00	785	443	1309	Var	
300 lx	17.00	591	360	593	Yok	
300 lx	17.00	591	360	593	Var	
Senaryo S3-c						
Aydınlanma Şiddeti(lx)	Saat	Masa 1	Masa 2	Çalışma Ortamı	Doğrudan ışık	
350 lx	08.00	1479	827	1294	Yok	
350 lx	08.00	13576	530	4794	Var	
350 lx	12.00	819	519	935	Yok	
350 lx	12.00	900	519	1418	Var	
350 lx	17.00	707	436	703	Yok	
350 lx	17.00	707	436	703	Var	

Dialux Evo simülasyon programı çalışma ortamı aydınlanmasını ölçerken nesnelerin ve mobilyaların yansımaya katsayılarını da dikkate alır. Simülasyonda belirlenen katsayı değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Simülasyon modelinde parametre değerleri

Parametreler	Değer
Worktable yüksekliği	0,75 m
LED güç tüketimi	18 × 18 W
Kullanım faktörü	0.85
Işık kaybı faktörü	0.8
Kat yansımaya katsayısı	0.3
Tavan yansımaya katsayısı	0.7
Duvar yansımaya katsayısı	0.48
Mobilya yansımaya katsayısı	0.5

Hazırlanan senaryoları daha da özelleştirmek için aynı gün ve saatlerde kontrol kısıtlaması yaparak LED armatürlerin aydınlatma değeri %50 indirilerek ayrıntılı sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. 300lx yapay aydınlatma ve saat 08.00 gün ışığı (doğrudan ışık) konfor kısıtı varken yapılan karşılaştırma

Kodlama	S3-a	S3-a
Aydınlanma Şiddeti(lx)	300 lx	300 lx
Saat	08.00	08.00
Masa 1	13128 lx	13307 lx
Masa 2	4943 lx	5065 lx
Çalışma Ortamı	4750 lx	4925 lx
Konfor Kısıtı	%50	%100

Bu karşılaştırma sonucunda Şekil 8'de görüldüğü gibi aydınlatma kısıtlı olmasına rağmen kullanıcı konforu sağlanmıştır. Çalışma alanındaki aydınlanma değeri yaklaşık kalmıştır.

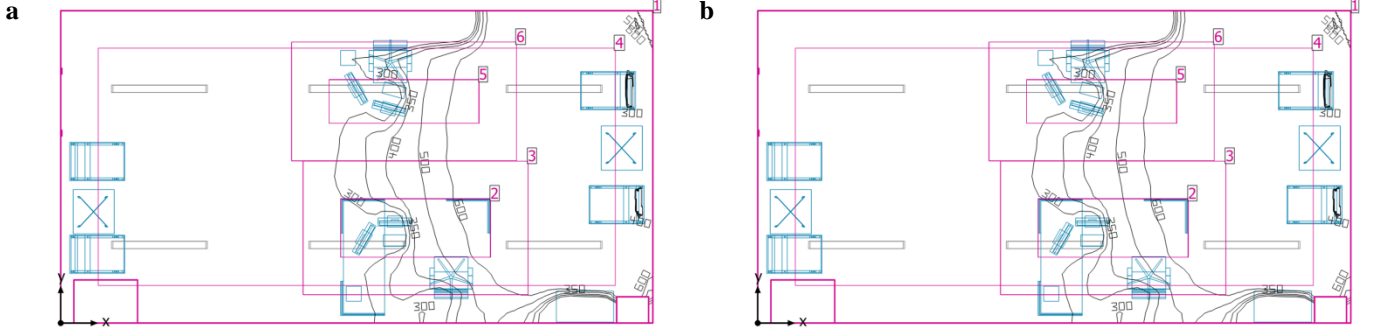


Şekil 8. (a) 300lx yapay aydınlatma ve saat 08.00 gün ışığı (doğrudan ışık) ile test ofisi görünümü;



(b) 300lx yapay aydınlatma ve saat 8.00 gün ışığı (doğrudan ışık) ve kontrol kısıtlaması ile test ofisi görünümü.

6.1. Simülasyon Sonuçları



Şekil 9. (a) S3-a senaryo aydınlatması;

(b) S3-a 50 kontrol %50 kısıtı ile.

Tablo 5’te simülasyon modelinde parametre değerleri göz önünde bulundurularak, önerilen bulanık mantık kontrol stratejisiyle Tablo 3’deki farklı senaryoların aydınlatma güç tüketimi Tablo 7’de göstermektedir.

Tablo 3 – S1 senaryosunda kontrolsüz aydınlatma(350 lx) parametresi kullanılmıştır. Bu senaryoya göre, aydınlatma güç tüketimi 288 W’tır.

Tablo 3 – S3-a senaryosunda kontrolsüz aydınlatma (350 lx) ve açık gökyüzü parametreleri kullanılmıştır. Bu senaryoya göre, aydınlatma güç tüketimi Tablo 7’de gösterildiği gibi 216 W’tır ve enerjide yaklaşık % 25’i tasarruf sağlanmıştır.

Tablo 3 – S3-b senaryosunda kontrollü aydınlatma(300 lx) ve açık gökyüzü parametreleri kullanılmıştır. Bu senaryoya göre, aydınlatma güç tüketimi Tablo 7’de gösterildiği gibi 144W’tır ve enerjide yaklaşık % 50 tasarruf sağlanmıştır.

Tablo 3 – S3-c senaryosunda kontrollü aydınlatma(200 lx) ve açık gökyüzü parametreleri kullanılmıştır. Bu senaryoya göre, aydınlatma güç tüketimi Tablo 7’de gösterildiği gibi 72W’tır ve enerjide yaklaşık % 75 tasarruf sağlanmıştır.

Bu sonuçlara göre Tablo 3 – S3-b’de kullanılan kontrollü aydınlatma ve açık gökyüzü tercihi en konforlu aydınlatma ve ideal enerji tasarrufuna sahip senaryodur.

Tablo 7. Senaryo Sonuçları

Aydınlatma (lx)	Güç tüketimi (W)	Güç tasarrufu (W)	Tasarruf yüzdesi
350	216	72	%25
300	144	144	%50
200	72	216	%75

7. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada ticari ofis binalarındaki iç mekan aydınlatma sistemlerinden enerji tasarrufu sağlamak için bulanık mantık algoritması kullanımından bahsedilmiştir. Çankırı Karatekin Üniversitesi test ofisinin ölçüleri kullanılarak doğal aydınlatma programı olan Dialux Evo’da simülasyon modeli hazırlanmıştır. Hazırlanan simülasyon modelinde Tablo 3’te gösterilen 3 farklı senaryo ele alınmıştır. Dialux Evo programından 8.05.2019 tarihinde alınan simülasyon sonuçlarındaki aydınlatma gücü tasarruf yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Bu verilere göre aydınlatma enerjisinden tasarruf etmek için gün ışığından ve kullanıcının çalışma ortamındaki aydınlık konforundan yararlanılarak hazırlanan senaryoda (Tablo 3 – S3-b) önemli ölçüde tasarruf elde edildiği ispatlanmıştır.

Sonuç olarak, ticari binalarda gün ışığı katkısı ve kullanıcı konforu sağlanarak enerjiden tasarruf elde edildiği görülmüştür. Böylelikle deney yapmadan, bilgisayar destekli doğal aydınlatma simülasyonlarını kullanarak, sağlanan enerji tasarrufunun hesaplanabileceğini ispatlamıştır.

Gelecekte ki çalışmalarda projeye yeni senaryolar ekleyerek farklı hava koşullarında örneğin kapalı gökyüzü veya orta gökyüzü parametreleri kullanılarak aydınlatma enerjisi tasarrufu incelenecektir. Ayrıca LED armatürler de hareket sensörü teknolojileri senaryoya dâhil edilerek projenin geliştirilmesi planlanmaktadır.

Referanslar

- Apra, C., Mastrullo, R., & Renno, C. (2006). Experimental analysis of the scroll compressor performances varying its speed. *Applied Thermal Engineering*, 26(10), 983–992. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2005.10.023>
- Byun, J., Hong, I., Lee, B., & Park, S. (2013). Intelligent Household LED Lighting System Considering Energy Efficiency and User Satisfaction. In *IEEE Transactions on Consumer Electronics* (Vol. 59). Retrieved from [http://pgembeddedsystems.com/securelogin/upload/project/IEEE/33/PGEMB0030/Intelligent Household LED Lighting System.pdf](http://pgembeddedsystems.com/securelogin/upload/project/IEEE/33/PGEMB0030/Intelligent%20Household%20LED%20Lighting%20System.pdf)
- Cengiz, MS. (2018). Thermal Design Calculations for LED Luminaires. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(2), 69-75.
- Cengiz, MS. (2019). Akaryakıt İstasyonu Aydınlatma Sistemleri, 5. *Uluslararası ISPEC Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*, 532-540, 20-22 Aralık 2019, Van.
- Cengiz, MS. (2019). Simulation and design study for interior zone luminance in tunnel lighting. *Light Engineering*, 27(3), 75-84.
- Cengiz, MS. (2019). The relationship between maintenance factor and lighting level in tunnel lighting. *Light Engineering*, 27(2), 42-51.
- Cengiz MS. (2019). Tünel Aydınlatma Sistemlerinde Aydınlık Düzeyi Toleransının Bakım Faktörüne Göre Saptanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(2), 432-441.
- Cengiz, MS. Cengiz Ç. (2018). Numerical analysis of tunnel LED lighting maintenance factor. *International Islamic University Malaysia Journal*, 19(2), 154-163
- Kristl, Ž., Košir, M., Trobec Lah, M., & Krainer, A. (2008). Fuzzy control system for thermal and visual comfort in building. *Renewable Energy*, 33(4), 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.020>
- Kocaman, B. (2020). Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical Electronic Engineering Kapalı Otopark Aydınlatmasında Floresan ve LED Lambanın Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması Comparison of Fluorescent Lamp and LED Lamp in Terms of Energy Efficiency in Parking Garage Lighting. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1640–1648. <https://doi.org/10.21597/jist.670665>
- Mendel, J. M. (1995). Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3), 345–377. <https://doi.org/10.1109/5.364485>
- Oh, M. H., Lee, K. H., & Yoon, J. H. (2012). Automated control strategies of inside slat-type blind considering visual comfort and building energy performance. *Energy and Buildings*, 55, 728–737. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.019>
- Resource Pages | WBDG - Whole Building Design Guide. (n.d.). Retrieved June 24, 2019, from <https://www.wbdg.org/resources/energy-efficient-lighting>.

Ross, T. J. (2010). Fuzzy Logic with Engineering Applications: Third Edition. <https://doi.org/10.1002/9781119994374>

Ryckaert, W. R., Smet, K. A. G., Roelandts, I. A. A., Gils, M. Van, & Hanselaer, P. (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy & Buildings*, 49, 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.042>

Şahin, M., Büyüktümtürk, F., & Oğuz, Y. (2013). Yapay Sinir Ağları ile Aydınlik Kalitesi Kontrolü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 1–10. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/akufemubid/issue/1600/19877>

Şener Yılmaz, F. (n.d.). *Güneş Kontrolü Tasarımının Görsel Konfor ve Günışığı Performansına Etkisi: Ofis Binaları*. Retrieved from <http://www.adjournal.net/articles/44/444.pdf>

Yun, G. Y., & Kim, H. (2012). Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption. *Energy and Buildings*, 46, 152–158. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.10.034>