

Eğitim Yapılarında Aydınlatma Türü ve Kullanımı Önerileri: Kocaeli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası

Büşra ONAK^{1*}, Nihan YILDIRAN¹

Öz

Eğitim yapılarında aydınlatma, dersliklerde gün boyu devam eden eğitim süreci nedeniyle görsel konfor ve enerji tüketimi açısından önemli bir konudur. Bu etkenler düşünüldüğünde gün ışığı aydınlatma için en iyi çözümdür. Ancak yetersiz kaldığı durumlarda doğru tasarlanmış yapay aydınlatma ile desteklenmelidir.

Doğal aydınlatma, güneşin günlük ve mevsimsel hareketlerine bağlı olarak, sabit aydınlık düzeyi sağlamaz. Bu değişkenlik sebebiyle dersliklerde düzgün dağılımlı aydınlatma düzeyi oluşturmak ve enerji tasarrufu sağlamak üzere tasarlanacak aydınlatma sistemlerinin türü, miktarı, gücü, konumu önemlidir. Bu bağlamda Mimarlıkta Enerji Etkin Tasarım yüksek lisans dersi kapsamında gerçekleştirilen çalışmada Kocaeli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde belirlenen atölyelerde mevcut aydınlık seviyesi ve dağılımı tespit edilmiş, sonuçlar standartlar ile karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre görsel konfor koşullarını arttırmak, enerji tüketimini azaltmak üzere uygun aydınlatma sistemlerinin seçimi ve kullanım biçimlerinin belirlenmesine yönelik çalışma gerçekleştirilmiştir.

Belirlenen atölyelerden en riskli verilere sahip olan Atölye A, DIALux Evo programında modellenmiştir. Farklı aydınlatma gücü ve türünde elemanlarının kullanıldığı öneriler getirilmiştir. Bu öneriler, enerji tüketim miktarı ve görsel konfor koşulları üzerinden değerlendirilmiş, atölye için en uygun aydınlatma planı önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Aydınlatma Tasarımı, Eğitim Yapıları, Yapay Aydınlatma, Enerji Tasarrufu, Görsel Konfor

Lighting Type and Usage Suggestions in Educational Buildings: Kocaeli University Faculty of Architecture Building

Abstract

Lighting in educational buildings is an important issue in terms of visual comfort and energy consumption due to the education process that continues throughout the day in classrooms. Considering these factors, daylight is the best solution for lighting. However, in cases where it is insufficient, it should be supported with properly designed artificial lighting.

Daylighting does not provide a constant level of illumination, depending on the daily and seasonal movements of the sun. Due to this variability, the type, amount, power and location of the lighting systems, designed to create a uniform level of illumination and provide energy conservation are important issues in classrooms. In this context, in this study carried out within the scope of "Energy Efficient Design in Architecture" lecture of graduate, the level and distribution of illumination in the selected studios at Kocaeli University Faculty of Architecture and the results were compared and evaluated with the standards. According to this assessment, a study was conducted to select sui-

¹ Mimar, Kocaeli Üniversitesi, FBE, Mimarlık Anabilim Dalı,
* İlgili yazar/Corresponding author: busraonak96@gmail.com
Gönderim Tarihi / Received Date: 19.03.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date: 29.11.2020

table lighting systems and to determine their control systems in order to increase the visual comfort conditions and reduce energy consumption.

Studio A, which has the most risky condition in terms of lighting among the selected studios, was modeled on the DIALux Evo program. Simulations were conducted in which lighting systems with different lighting power and type were defined. All these parameters performances were evaluated due to their effect to energy consumption amounts and visual comfort conditions

Keywords: Illumination Design, Educational Buildings, Artificial Lighting, Energy Conservation, Visual Comfort

1.GİRİŞ

Günümüzde enerji tüketimi küresel bir problemdir ve bu tüketimin büyük çoğunluğu yapı kaynaklıdır. “Türkiye’de, 2017 yılında toplam enerji tüketiminin dağılımına bakıldığında, en yüksek tüketimin %24,8 ile mesken ve hizmetler ve %24,4 ile sanayi sektöründe gerçekleştiği görülmektedir” (URL 1). Bu sebeple binaların tasarım aşamasından yapım aşamasına kadar olan süreç, tüketimi azaltma ve konforu artırma doğrultusunda düşünülmelidir. 2009 yılındaki faaliyet raporlarına göre binalardaki toplam enerji tüketiminin %20’si aydınlatma amaçlıdır (Sümengen ve Yener, 2015). Bundan dolayı enerji verimliliği açısından öncelikli düşünülmesi gereken konulardan biri aydınlatmadır. Bunun yanı sıra aydınlatmanın insan üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkileri vardır (Heschong ve diğ., 2002). İyi bir aydınlatma tasarımı gözün görme yeteneğini artırır, kaza olasılığını azaltır, yapılan işin verimliliğini yükseltir, güvenli bir ortam sağlar.

Aydınlatma ihtiyacından kaynaklanan enerji tüketiminin düşürülmesi ve konfor koşullarının sağlanması için mekânda aydınlatma öncelikli olarak doğal aydınlatma ile sağlanmalıdır. Yetersiz ve eksik kaldığı durumlarda ise yapay aydınlatma ile desteklenmelidir. Yapay aydınlatma tasarımı mekânın işlevine ve dış hava koşullarına göre planlanmalıdır.

Aydınlatma tasarımı konusu çok yönlü bir araştırma alanıdır ve literatür araştırması sırasında birçok çalışma incelenmiştir. Yıldız (2018), mevcut örnek üzerinden dersliklerdeki ortalama gün ışığı performansını incelemiştir. Bu çalışmada görsel konforun sağlanması için pencere büyüklükleri, yönelim ve engeller gibi birçok parametrenin bir arada değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir. Salata ve diğ. (2016), mevcut örneği DIALux Evo programında modellemiş, doğal ve yapay aydınlatmanın birlikte kullanılma durumunu incelemişlerdir. Çalışmada görsel konfor ve enerji tasarrufu için en uygun yöntemin bütünleşik aydınlatma sistemi olduğu ve bu sistemin de önceden güne ve saate göre belirlenmiş kontrol sistemleriyle çalışması gerektiğine sonucuna ulaşmışlardır. Cao ve diğ. (2020), mevcut ofis yapısındaki aydınlatma durumunu ölçmüş, sonrasında gün ışığını Rhino programı, yapay ışığı da DIALux Evo programı ile simüle etmişlerdir. Işık kaynağının parametrelerini ve konumunu değiştirerek optimum aydınlık düzeyi ve enerji tasarrufu sağlamışlardır. Bircan ve Yener’in (2019) çalışmasında, “Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu” çerçevesinde DIALux programında pencere boyutları farklı olacak şekilde iki senaryo oluşturdukları görülmektedir. Dersliklerdeki günışığı performansını görmek amacıyla yıl içindeki aydınlık seviyelerini “TS EN 17037” göre değerlendirmişlerdir. Böylece tasarımlarda günışığının gün içindeki ve yıl içindeki değişkenliğinin göz önüne alınması gerektiği görülmektedir. Erlalelitepe ve diğ. (2011), mevcut yapılar için doğal aydınlatma sistemleri, tasarım elemanları ve aydınlatma performansını değerlendirme yöntemlerinden bahsetmektedirler. Örnek bir yapı üzerinden ölçüm yapmışlar ve bulguları çizelgeler ve çizimler aracılığıyla sunmuşlardır.

Bu makalede mekânda düzgün bir aydınlık düzeyi oluşturmak ve enerji tasarrufu amacıyla yapay aydınlatma sistem ve kullanım önerileri ile sağlanabilecek kazanımları belirlemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür çalışmasında bütünleşik aydınlatma sisteminin optimum koşulları sağlayan çözüm olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra incelemelerde yapay aydınlatma konusunda mekândaki ortalama aydınlık düzeyi üzerinden iyileştirme yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada homojen bir aydınlık seviyesi sağlanması amacıyla mekân bölgelere ayrılmış, bölge odaklı ve bütünleşik aydınlatma sisteminin kullanıldığı bir iyileştirme yapılmıştır. Bunun yanında doğal ışığın gün içindeki durumu göz önüne alınarak bir armatürlerin anahtar planı hazırlanmıştır.

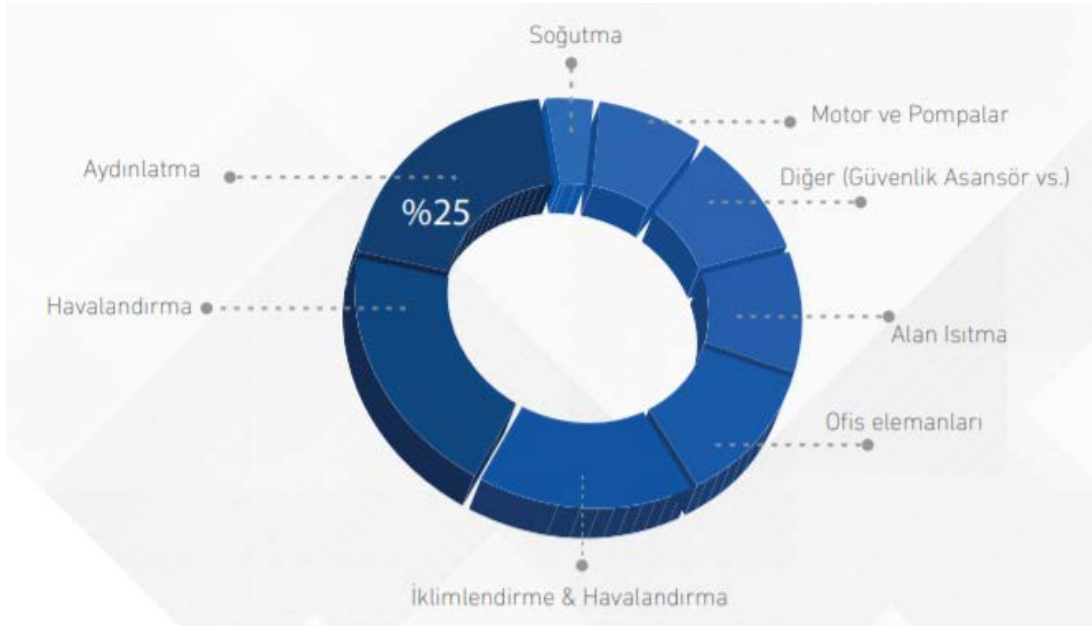
Aydınlatma konusu tek başlık altında incelemek için geniş bir konudur. Her işlevsel yapının ihtiyaç duyduğu aydınlık düzeyi, ışık rengi farklıdır. Eğitim ve üretkenlik gibi görsel algılamının önemli olduğu ve farklı kullanıcılara (eğitmen, öğrenci, personel) hizmet veren eğitim yapılarında aydınlatma alt başlık halinde incelenmelidir. Aydınlatma tasarımı, kullanıcıların iyi bir eğitim alabilmesi için süreci olumsuz etkilememelidir. Bu sebeple belirlenen eğitim yapısındaki dersliklerde ölçüm ve analizler sonucu kullanım amacını destekler biçimde hem görsel konfor hem de enerji tasarrufu açısından en uygun olan aydınlatma sistemi ve kullanımı DIALux Evo programında yapılan simülasyon önerileri ile belirlenmiştir.

2.EĞİTİM YAPILARINDA AYDINLATMA

Eğitim yapıları ülke nüfusunun yaklaşık %20'sinin etkin olarak kullandığı yapılardır ve işlevi nedeniyle gelecek nesillerin yetişmesinde önemi büyüktür (Çelik ve Ünver, 2019). Eğitim yapılarında, öğrenim sürecini etkileyen birçok faktör vardır, bunlardan biri aydınlatma konusudur. Aydınlatma fiziksel çevreyi etkilediği gibi insanın fizyolojik ve psikolojik sağlığını etkiler (Memiş ve Ekren, 2019). Dersliklerde görsel konfor koşullarının sağlanması, bu eylemin zorlanmadan, yorulmadan ve verimli biçimde gerçekleştirilmesi açısından özenle üzerinde durulması gereken bir konudur (Yağmur ve Sözen, 2016).

İşleve uygun tasarlanan aydınlatma, kullanıcılar için iyi bir görsel konfor sunarken aynı zamanda enerji tüketimini azaltır. Bu çalışmada eğitim yapıları kapsamında Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi binası incelenmiştir. Grafik-1'de görüldüğü üzere üniversite yapılarındaki elektrik tüketiminin %25'ini aydınlatma giderleri oluşturur.

Üniversite yapılarının aktif kullanım zaman aralığı, aydınlatma için gün ışığından faydalanmaya elverişlidir. Doğal aydınlatma, enerji tasarrufu sağlarken aynı zamanda öğrencilerin sağlığını olumlu etkiler ve daha iç açıcı bir ortam yaratır (Michael ve Heracleous, 2016). Bu sebeple dersliklerdeki aydınlatma doğal aydınlatma ile sağlanmalı, yetersiz kaldığı durumlar için uygun bir yapay aydınlatma tasarımı yapılmalıdır. Doğal aydınlatmanın faydaları düşünülmeden planlanan yapılarda aydınlık gereksinimi büyük ölçüde yapay aydınlatma ile karşılanmaktadır. Bu durum optimum görsel konfor koşullarını sağlasa da enerjiyi verimsiz kullanmaya sebep olur.



Grafik 1: Üniversite binalarında yıllık elektrik enerjisi tüketiminin dağılımı (URL 2)

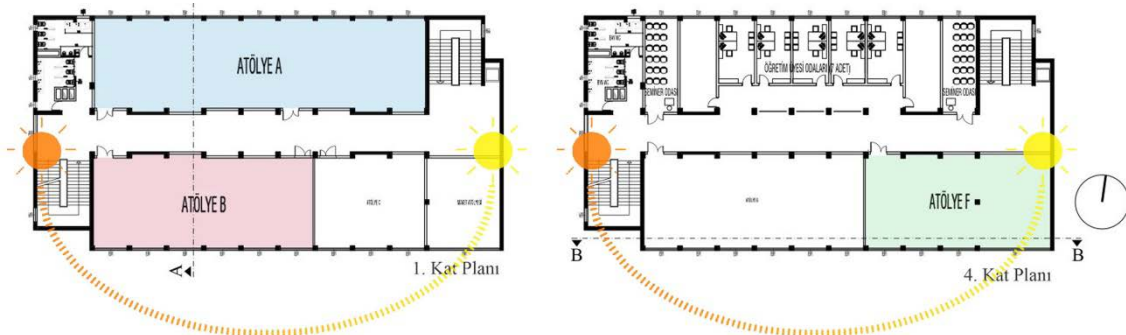
3.MEKÂN VE METOT

Bu çalışmada, Kocaeli Üniversitesi Anıtpark Yerleşkesinde bulunan Mimarlık ve Tasarım Fakültesi binasındaki dersliklerin aydınlık düzeyleri incelenmiştir. Fakültede Mimarlık ve İç Mimarlık programları bulunmaktadır. Binada, atölyeler, seminer odaları, bilgisayar laboratuvarı, maket atölyesi, akademik ve idari personel odaları ve konferans salonu mevcuttur.



Resim 1: Mimarlık ve Tasarım Fakültesi (URL 3)

Resim 1'de görüldüğü üzere fakülte binasının güneyinde yer alan Konservatuar binası ve batı yönünde bulunan konut bloğu haricinde engel teşkil edecek bir yapı veya eleman bulunmamaktadır.



Şekil 1: Kat Planları ve ölçülen atölyelerin konumu

Çalışmada Atölye A, Atölye B ve Atölye F’de ölçümler yapılmıştır. İncelenecek olan atölyeler tek cepheden doğal ışık almaktadır ve yönelimleri ise kuzeye ve güneye doğrudur (Şekil 1). Atölyelerin belirlenmesinde iki kriter göz önünde bulundurulmuştur: ölçüm yapılan günlerde fakülte ders döneminde olduğu için mevcut ders programı, atölyelerin bulunduğu yön ve katlardır. Aynı yöne bakan fakat farklı katlarda konumlanan ve aynı katta fakat farklı yöne bakan atölyeler seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Atölye A ve Atölye B (Aynı katta farklı yöne bakan atölyeler.)- Atölye B ve Atölye F (Farklı katlardaki aynı yöne bakan atölyeler)

Ölçümün yapılacağı günlerin seçiminde belirleyici kriter ise farklı hava koşullarının etkisini görmektir. Bu sebeple güneşli hava koşullarının olduğu 10.12.2019 Salı günü ve bulutlu hava koşullarının olduğu 23.12.2019 Pazartesi günü seçilmiştir. Ölçüm saati için atölyelerdeki sabah derslerinin başlangıç saati (10.00-11.00) ve derslerin bitiş saati (16.00-17.00) olan zaman aralıkları belirlenmiştir.


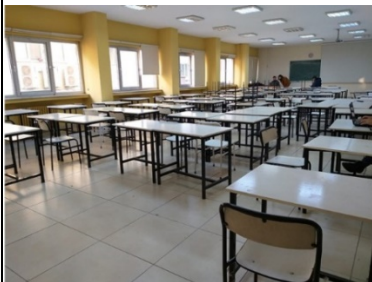
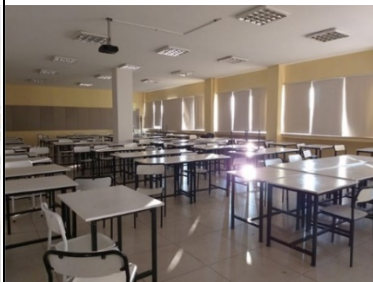
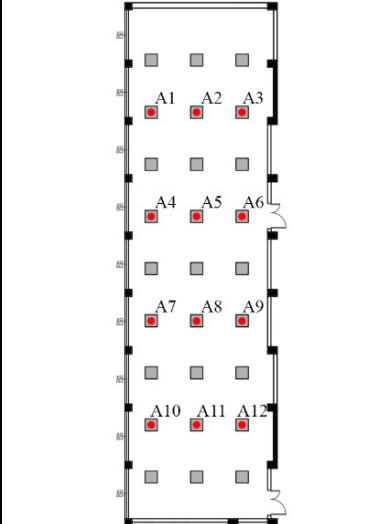
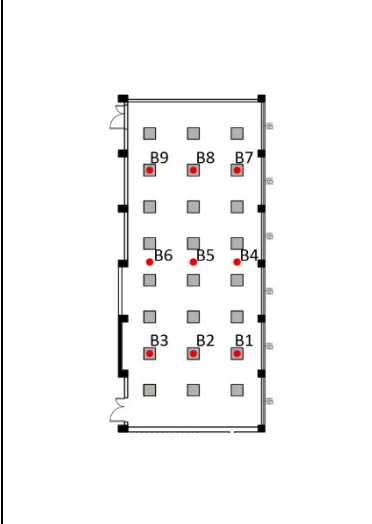
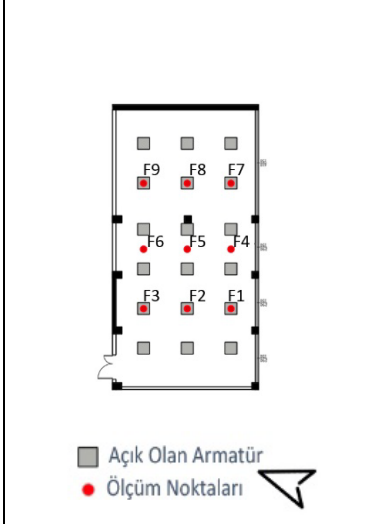
Dersliklerdeki ölçüm noktalarının belirlenmesinde oda indeksi formülü kullanılmıştır. Atölye A’da 12 noktada, Atölye B’de ve Atölye F’de ise 9 noktada çalışma düzlemi esas alınarak (0.70 m) ölçüm yapılmıştır. İç ölçümler yapılırken tüm perdeler açılmış vaziyettedir ve mevcutta herhangi bir güneş kırıcı ya da güneş rafı bulunmamaktadır. Atölyelerde doğal aydınlatma ve doğal aydınlatmayla birlikte yapay aydınlatmanın açık olduğu koşullarda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Atölyelerdeki mevcut aydınlatma elemanı, beyaz ışık veren, 60x60 cm boyutlarında sıva üstü çift parabolik floresan (4x800 lm) armatürdür. Eş zamanlı olarak dış ortam aydınlık düzeyi kuzey ve güney yönde ölçülmüştür. Ölçümler, Extech EA30 aydınlık düzeyi ölçüm cihazı (Ölçüm aralığı: 0-400000lux, Doğruluk: ± 3 lux ya da $\pm 3\%$) ile yapılmıştır.

Tablo 1: TS EN 12464-1:2013'e göre eğitim binalarındaki aydınlık düzeyi değerleri

Ref. no	İç kısım, iş veya Faaliyet tipi	Aydınlık düzeyi değeri (E_{min})	Aydınlatmanın düzgünlüğü (U)
5.36.1	Sınıflar, özel ders odaları	300 lux	0,60
5.36.9	Uygulama Odaları ve Laboratuvarlar	500 lux	0,60

Literatür araştırması sonucu, dersliklerdeki görsel konfor ve aydınlık düzeyi oranını belirleyen birçok standart (CIBSE, IESNA, TS EN 12464-1:2013) olduğu görülmüştür (Erlalelitepe ve diğ., 2011). Bu çalışmada veri altlığı olarak kullanılan TS EN 12464-1:2013 standardına göre çalışma düzleminde istenilen minimum aydınlık düzeyi, dersliklerde 300 lux, uygulama derslikleri için ise 500 lux'tür. İki işlev için istenen düzgünlük (E_{min} / E_{ort}) minimum 0.6 olarak belirtilmektedir (Tablo 1).

Tablo 2: Atölye A, Atölye B ve Atölye F

Atölye A	Atölye B	Atölye F
<p>Planda ölçüleri 8,30 x 29,40 m olan atölye birinci kattadır ve kuzey yönüne açılmaktadır. Pencere tek duvar yüzeyinde bulunmaktadır. Taban alanı 244,02 m² olan mekânın pencere alanı 39,15 m²'dir. Saydımlık oranı %16 olarak belirlenmiştir.</p> <p>Oda İndeksi (K) 2,08 = 12 nokta</p>	<p>Planda ölçüleri 8,30 x 19,50 m olan atölye birinci kattadır ve güney yönüne açılmaktadır. Pencere tek duvar yüzeyinde bulunmaktadır. Taban alanı 161,85 m² olan mekânın pencere alanı 26,1 m²'dir. Saydımlık oranı %16 olarak belirlenmiştir.</p> <p>Oda İndeksi (K) 1,9 = 9 nokta</p>	<p>Planda ölçüleri 8,30 x 16,45 m olan atölye dördüncü kattadır ve güney yönüne açılmaktadır. Pencere tek duvar yüzeyinde bulunmaktadır. Taban alanı 136,535 m² olan mekânın pencere alanı 22,2 m²'dir. Saydımlık oranı %16 olarak belirlenmiştir.</p> <p>Oda İndeksi (K) 1,9 = 9 nokta</p>
		
		

4.MEVCUT DURUM ANALİZİ

Atölyelerde bulutlu ve güneşli hava koşulları olmak üzere saat 10.00-11.00 ve 16.00-17.00 zaman aralıklarında ölçüm yapılmıştır. Buna ek olarak eş zamanlı olarak kuzey ve güney yönde dış ortamda aydınlık düzeyi ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde bulutlu havada, güneşli havaya göre pencere kenarında ve dış ortam ölçümlerinde daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bunun sebebi ise, güneşi örtmeyen bulutlu havada gelen toplam ışınımın, bulut varlığı sebebiyle yaygın ışınımın çoğalması ile güneşli havaya oranla artmasıdır (Topçu, 1988, s. 32).

4.1. Atölyelerin Ölçüm Verilerinin Değerlendirilmesi

Ölçüm sonuçları değerlendirmesi için TS EN 12464-1:2013 standardındaki min değerler dikkate alınmıştır. Aydınlık düzeyi için min. değer 300 lux, düzgünlük değeri ise min. 0.6 olarak belirtilmiştir. Atölye A için dış ortam ölçümleri, güneşli havada saat 10.00-11.00'da 2.55 Klux, saat 16.00-17.00'da 1.94 Klux; bulutlu havada saat 10.00-11.00'da 2.3 Klux, 16.00-17.00'da 3.51 Klux'tür.

Tablo 3: Atölye A- Doğal Aydınlatma Ölçüm Verileri

Atölye A- Doğal Aydınlatma Ölçümleri	E_{min}	E_{ort}	E_{max}	Düğünlük (E_{min}/E_{ort})
Güneşli Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	39,6 lux	291,5 lux	664,7 lux	0,13
Bulutlu Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	35 lux	299,6 lux	949 lux	0,11
Güneşli Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	30 lux	202,6 lux	516,1 lux	0,14
Bulutlu Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	53 lux	355,6 lux	1082 lux	0,14

Tablo 4: Atölye A- Yapay ve Doğal Aydınlatma Ölçüm Verileri

Atölye A- Yapay Aydınlatma Ölçümleri	E_{min}	E_{ort}	E_{max}	Düğünlük (E_{min}/E_{ort})
Güneşli Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	291.6 lux	463,8 lux	723.1 lux	0,62
Bulutlu Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	298 lux	570,6 lux	967 lux	0,52
Güneşli Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	298 lux	531 lux	791.5 lux	0,56
Bulutlu Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	185.3 lux	537,2 lux	1082 lux	0,34

Atölye B için dış ortam ölçümleri; güneşli havada saat 10.00-11.00'da 26.52 Klux, saat 16.00-17.00'da 7.58 Klux; bulutlu havada saat 10.00-11.00'da 5.67 Klux, 16.00-17.00'da 8.87 Klux'tür.

Tablo 5: Atölye B- Doğal Aydınlatma Ölçüm Verileri

Atölye B- Doğal Aydınlatma Ölçümleri	E_{min}	E_{ort}	E_{max}	Düğünlük (E_{min}/E_{ort})
Güneşli Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	164 lux	404,4 lux	1234 lux	0,40
Bulutlu Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	51 lux	241,8 lux	718 lux	0,21
Güneşli Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	55 lux	230,4 lux	659 lux	0,23
Bulutlu Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	39 lux	214,7 lux	589 lux	0,18

Tablo 6: Atölye B- Yapay ve Doğal Aydınlatma Ölçüm Verileri

Atölye B- Yapay Aydınlatma Ölçümleri	E_{min}	E_{ort}	E_{max}	Düğünlük (E_{min}/E_{ort})
Güneşli Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	403,4 lux	669.1 lux	1592 lux	0,60
Bulutlu Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	285 lux	442.7 lux	813 lux	0,64
Güneşli Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	319 lux	462,2 lux	766 lux	0,69
Bulutlu Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	223 lux	441.2 lux	758 lux	0.50

Atölye F için dış ortam ölçümleri; güneşli havada saat 10.00-11.00'da 34.82 Klux, saat 16.00-17.00'da 5.66 Klux; bulutlu havada saat 10.00-11.00'da 7.32 Klux, 16.00-17.00'da 6.15 Klux'tür.

Tablo 7: Atölye F- Doğal Aydınlatma Ölçüm Verileri

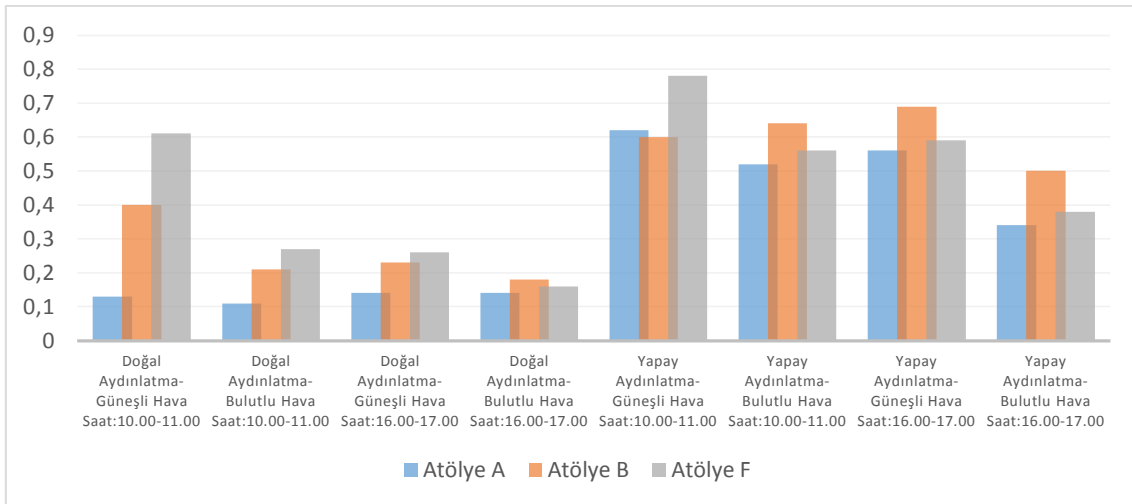
Atölye F- Doğal Aydınlatma Ölçümleri	E _{min}	E _{ort}	E _{max}	Düzensünlük (E _{min} /E _{ort})
Güneşli Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	14,91 Klx	24,36 Klx	27,82 Klx	0,61
Bulutlu Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	173 lux	630,4 lux	1332 lux	0,27
Güneşli Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	142 lux	536,1 lux	1208 lux	0,26
Bulutlu Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	112 lux	669,6 lux	1578 lux	0,16

Tablo 8: Atölye F- Yapay ve Doğal Aydınlatma Ölçüm Verileri

Atölye F- Yapay Aydınlatma Ölçümleri	E _{min}	E _{ort}	E _{max}	Düzensünlük (E _{min} /E _{ort})
Güneşli Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	22.84 Klx	29,15 Klx	39.38 Klx	0,78
Bulutlu Hava Saat:10.00-11.00 ölçümleri	450 lux	792,2 lux	1486 lux	0,56
Güneşli Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	470 lux	784,6 lux	1297 lux	0,59
Bulutlu Hava Saat:16.00-17.00 ölçümleri	265 lux	687,1 lux	1245 lux	0,38

Atölye A ve Atölye B'de doğal aydınlatmanın olduğu durumda aydınlık düzeyi ve düzensünlük değerlerinin minimum değerlerin altında olduğu görülmüştür. Mevcut yapay aydınlatmanın kullanılması ile birlikte aydınlık düzeyi ortalamaları minimum değerlerin üzerine çıkarken, düzensünlük değerlerinin minimum değerlerin altında kaldığı durumlar görülmektedir. Bu duruma özellikle Atölye A'da daha sık rastlanmaktadır. Atölye F'de doğal aydınlatma ile aydınlık düzeyi minimum değerlerin üzerinde çıkmıştır. Ancak düzensünlük değerleri minimum değerlerin altındadır. Yapay aydınlatmanın kullanıldığı durumda ise aydınlık düzeyi ortalaması daha da artmıştır. Buna karşın minimum düzensünlük değerinin sağlanamadığı durumlar bulunmaktadır.

Yapılan değerlendirme sonucunda atölyelerin ortalama aydınlık seviyelerinin mevcut yapay aydınlatma ile birlikte standarda uygun olduğu görülmüştür. Ancak düzensünlük değerlerinin sağlanamamış olması atölye genelinde homojen bir aydınlık seviyesi olmadığını göstermektedir.



Grafik 2: Atölyelerin Düzensünlük Değerlerinin Karşılaştırması

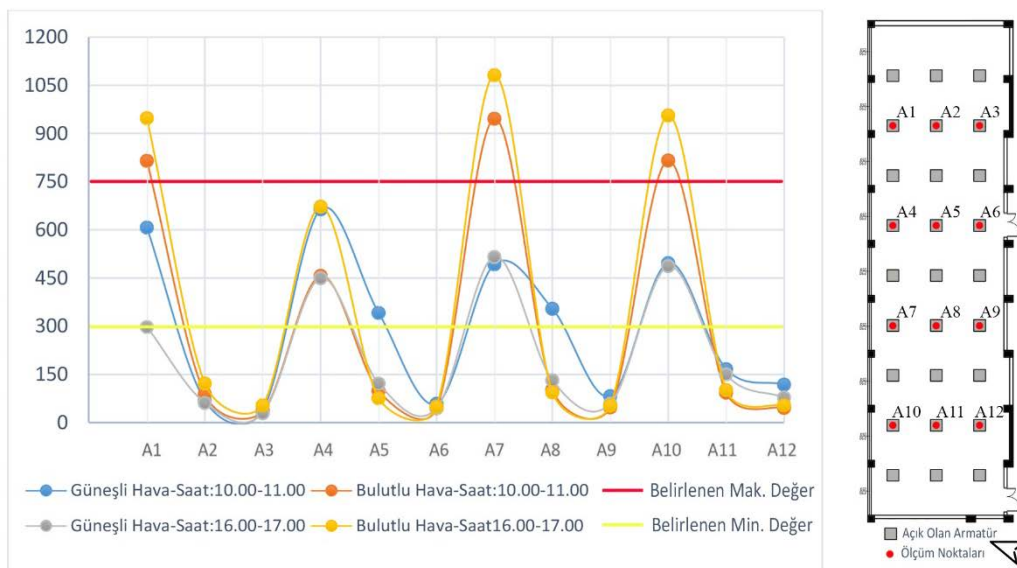
Tüm bileşenler ele alındığında Atölye F'nin diğer atöyelere göre standartları büyük oranda sağladığı görülmüştür. Ancak F'de güneşli hava ölçümlerinde Klux cinsinden değerlere rastlanmıştır. Bu durum termal ve görsel konforu olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple atölyede düzgün dağılımlı bir aydınlık düzeyi oluşması için güneş kırıcı, ışık rafı ya da güneş yönlendirici cam kullanılması önerilmiştir.

Atölye A ve Atölye B'nin aydınlık seviyesi dağılımının homojen olmadığı görülmüştür. Bu sebeple yapılacak olan iyileştirme homojenliği sağlamak amacıyla bölgesel olarak düşünülmelidir. Atölye A'nın minimum aydınlık düzeyi ve düzgünlük değerleri diğer atöyelere göre daha düşüktür(Grafik 2). İyileştirme çalışması için daha riskli verilere sahip olan Atölye A seçilmiştir.

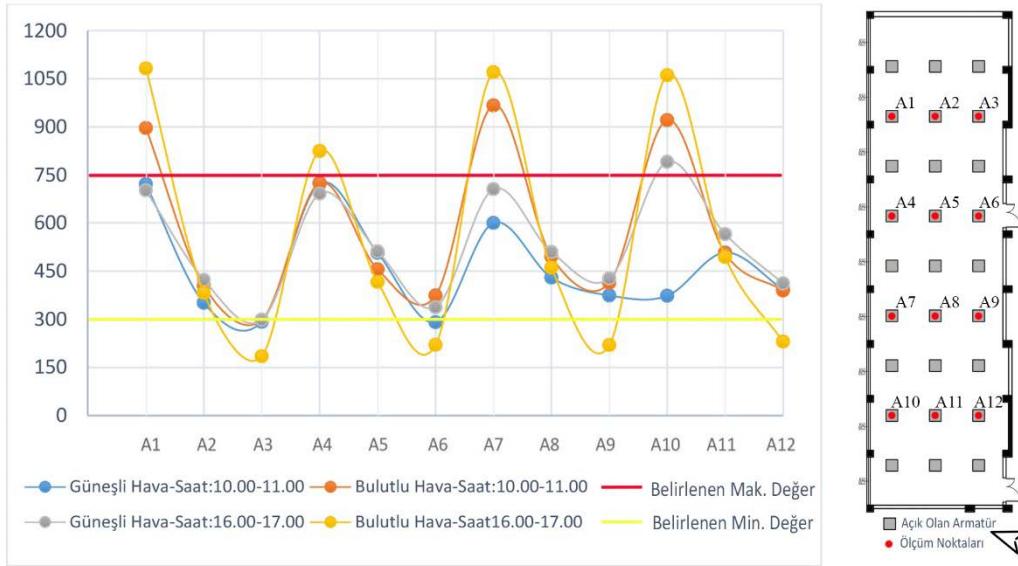
4.2. Atölye A mevcut durum ölçüm verileri

Riskli görülen Atölye A'nın ortama aydınlık seviyesinin 300 luxe yakın değerler olduğu görülmüştür. Buna karşın ölçülen min. değerler bu seviyenin çok altında kalmıştır. Bu sebeple atölyede yapılacak öneri ortalama değere göre değil, bölgesel verilere göre yapılmalıdır. Bu doğrultuda noktasal veriler grafiklere aktarılmıştır ve atölyede iyileştirilmesi gereken bölgelerin tespit edilmesi amacıyla minimum ve maksimum değerler belirlenmiştir.

Min. değer olarak görsel konfor koşullarını sağlamak amaçlanmış ve TS EN 12464-1:2013 standardındaki min. değer olan 300 lux alınmıştır. Maksimum değer belirlenirken literatürde görsel ve termal konforu olumsuz etkileyeceği için sınır olarak 2000 lux görülmüştür (Nabil ve Mardaljevic, 2005). Ancak yapılacak olan çalışmada görsel konforun yanı sıra enerji verimliliği sağlanması amaçlanmıştır. Bu sebeple Tablo 1'deki istenilen min. lux değerlerinin üstünde ve mevcutta ölçülen maks. değerlere yakın olan 750 lux maksimum değer olarak kabul edilmiştir.



Grafik 3: Atölye A'da sadece doğal aydınlatmanın olduğu durumda ölçüm noktalarındaki aydınlık seviyeleri atölye aydınlatma planı ve ölçüm noktalarının plandaki konumu



Grifik 4: Atölye A'da yapay aydınlatmanın açık olduğu durumda ölçüm noktalarındaki aydınlık seviyeleri atölye aydınlatma planı ve ölçüm noktalarının plandaki konumu

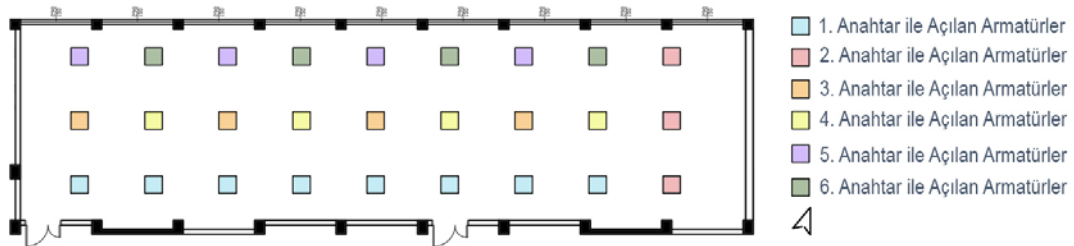
Bu ölçümlerde sadece doğal aydınlatmanın olduğu durumda genel olarak pencere kenarındaki noktaların (A1, A4, A7, A10) belirlenen max. aydınlık düzeyi değerinde olduğu, duvar kenarındaki ve orta sıradaki noktaların (A2, A3, A5, A6, A8, A9, A11, A12) min. aydınlık düzeyi değerinin altında olduğu görülmüştür. Tüm yapay aydınlatmanın açık olduğu durumda ise pencere kenarındaki noktaların aydınlık seviyelerinin daha da arttığı, orta sıradaki noktaların (A2, A5, A8, A11) belirlenen aydınlık düzeyi aralığına eriştiği ancak duvar kenarındaki noktaların (A3, A6, A9, A12) bazı durumlarda belirlenen aydınlık düzeyi aralığına erişirken diğer durumlarda ise min. aydınlık düzeyi değerinin altında olduğu görülmüştür.

4.3. Atölye A'da mevcut aydınlatma planı üzerinden açılış seçenekleri denemesi

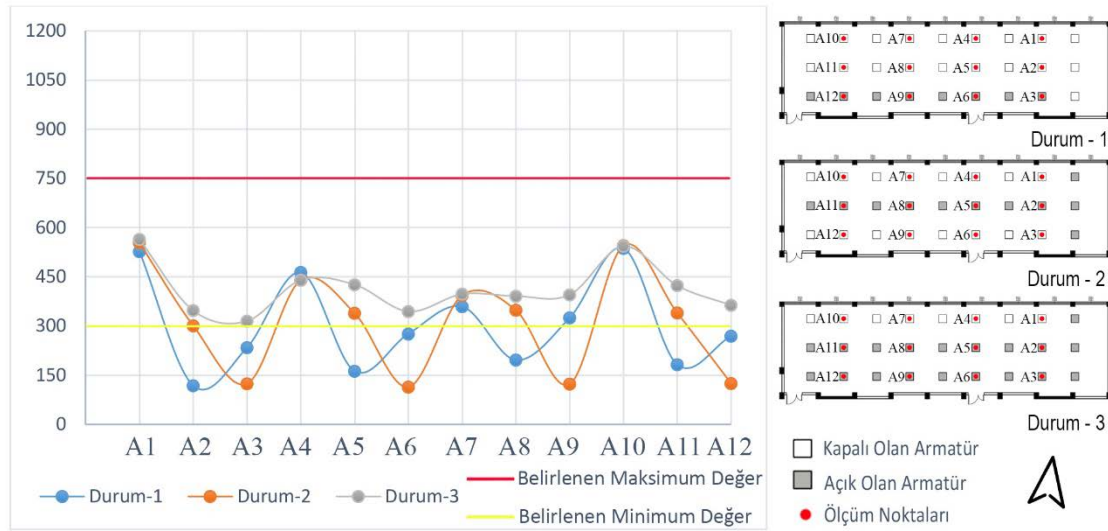
Riskli olarak kabul edilen Atölye A'da ilk hedeflenen mevcut aydınlatma sisteminin yeterliliğini ölçmektir. Bu sebeple mevcut aydınlatma planı ve anahtar düzeni üzerinden durum denemeleri yapılmıştır.

Atölye A'da ölçüm sırasında mevcut aydınlatma planı üzerinden açılış seçenekleri oluşturulmuştur. Ölçümler incelendiğinde 16.00-17.00 ölçüm verilerinin 10.00-11.00 ölçüm verilerine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sebeple ölçüm sırasında min. aydınlık düzeyinin altında değerlere sahip olan noktaların bulunduğu bölgelerdeki armatürler farklı seçenek grupları ile açılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

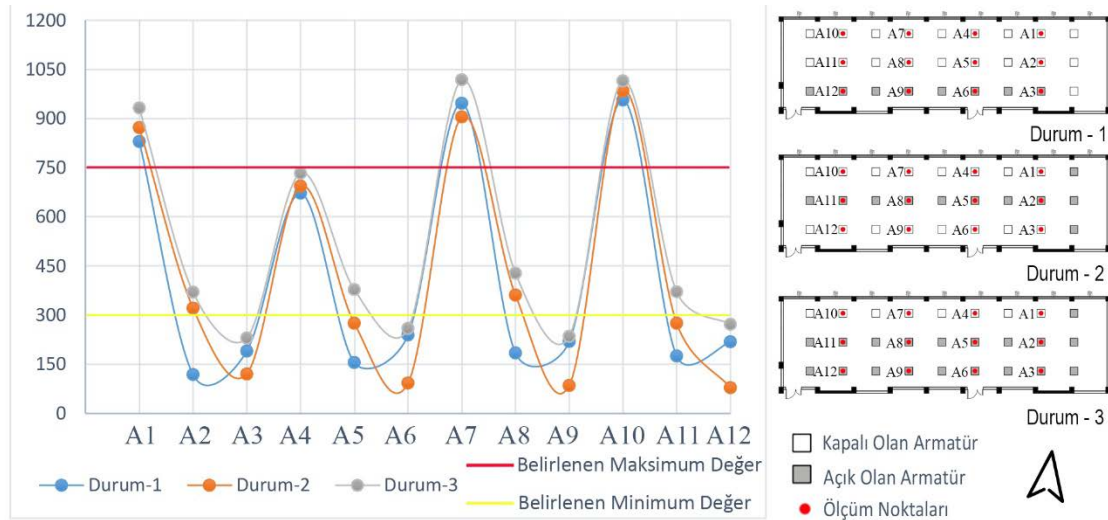
Atölye A'da aydınlatma için 27 adet armatür kullanılmıştır, bu armatürler 6 anahtar ile açılmaktadır. Durum 1'de yalnızca 1. anahtar açılmıştır, Durum 2'de 2.- 3. ve 4. anahtarlar açılmış, Durum 3'te 1.- 2.- 3. ve 4. anahtarlar açılmıştır (Şekil-3).



Şekil 3: Atölye A aydınlatma planı ve armatürlerin açılışını gösteren anahtar düzeni



Grafik 5: Atölye A'da güneşli hava 16.00-17.00 ölçümleri yapay aydınlatmanın Durum 1- 2- 3 açılış seçenekleri



Grafik 6: Atölye A'da bulutlu hava 16.00-17.00 ölçümleri yapay aydınlatmanın Durum 1- 2- 3 açılış seçenekleri

Atölye A'da yapılan ölçümler sonucu duvar kenarındaki ve orta sıradaki noktalarda pencere kenarındaki noktalara göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Bu sebeple ilk olarak Durum 1 denenmiş ancak yeterli olmadığı görülmüştür. Sonrasında ise Durum 2 denenmiş orta sıradaki çoğu noktanın aydınlık seviyeleri belirlenen aralıkta iken bazı noktalar ile duvar kenarındaki bütün noktalar için yeterli olmadığı görülmüştür. Son olarak Durum 3 denenmiş, güneşli havada bütün noktalar için, bulutlu havada ise

pencere kenarındaki ve orta sıradaki noktalar için yeteriyken duvar kenarındaki noktalar için yeterli olmadığı görülmüştür. Atölyedeki denemelerden elde edilen verilere göre mevcut armatürler ve aydınlatma planının kullanımı uygun değildir.

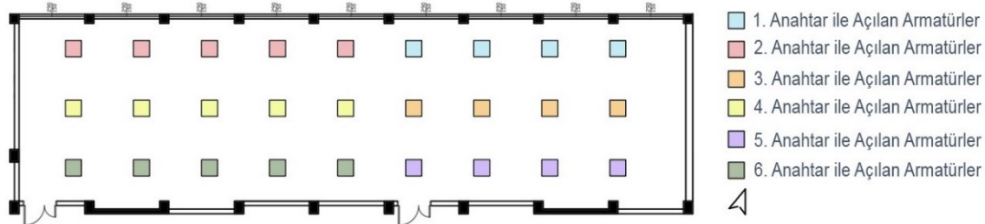
5. ÖNERİ

Denemeler sonucunda çıkan veriler doğrultusunda DIALux Evo programı üzerinden aydınlatma elemanının aydınlatma gücünün ve türünün değiştirildiği simülasyon denemeleri yapılmıştır.

5.1. DIALux Evo 8.2 programında öneri simülasyonları

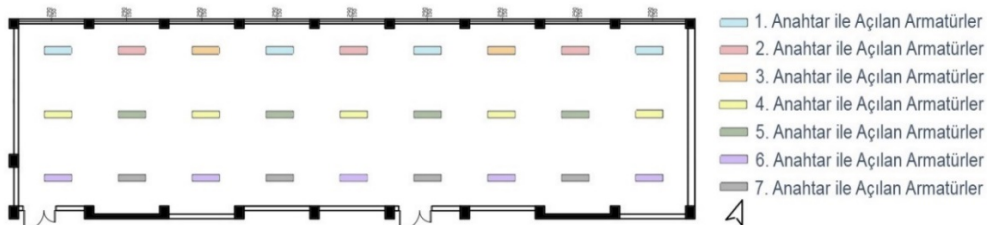
DIALux Evo² programı üzerinden Atölye A için öneriler geliştirilmiştir. Programda doğal ışık hesaplaması için tarih, saat ve gök tipi (açık gök, ortalama gök, kapalı gök) seçilmiş, bu verilere ek olarak hesaplama yapılacak yapının konumu (enlem, boylam), zaman dilimi ve kuzey yönü belirlenmiştir.

DIALux Evo programında aydınlık seviyesini istenilen düzeye getirme amacıyla iki farklı yonteme sahip öneriler denenmiştir. Önerilerde dimmerlenme durumu ve farklı bir aydınlatma sisteminin oluşturacağı etkiler ayrı olarak gözlemlenmek istenmiştir. Bu sebeple Öneri 1'de mevcut aydınlatma türünde ve planında dış koşullar ile işlevsel ihtiyaçlara göre ayarlanabilmesi için dimmerli armatür kullanılmıştır. Öneri 2'de ise floresana göre etkinlik faktörü (lm/w) daha iyi olan LED armatür kullanılmıştır (Resim 3). Öneri 1 ve Öneri 2 için anahtar planı hazırlanmış böylece atölyenin o anki aydınlık düzeyi ihtiyacına göre açılması gereken armatürlerin manuel olarak ayarlanabilmesi sağlanmıştır (Şekil 4, Şekil 5).



Şekil 4: Atölye A'da Öneri 1 aydınlatma planı ve armatürlerin açılışını gösteren anahtar düzeni

Öneri 1'de enerji verimliliğini sağlamak amacıyla mevcut durumda kullanılan armatürün watt(birim zamanda tüketilen enerji miktarı) değeri değiştirilmeden lümen(birim zamanda saçılan ışık miktarı) değeri artırılmış ve ayarlanabilir hale getirilmiştir.



Şekil 5: Atölye A'da Öneri 2 aydınlatma planı ve armatürlerin açılışını gösteren anahtar düzeni

Öneri 2'de mevcut durumda kullanılan armatürün yerine enerji tüketimi daha az ve lm değeri daha fazla olan bir armatür türü kullanılmıştır (Şekil 5). Önerilerin amacı daha az enerji tüketimiyle optimum görsel konfor koşullarına ulaşabilmektir.

² Bu çalışmada DIALux Evo 8.2 programı kullanılmıştır. DIALux, DIAL (Alman Uygulamalı Aydınlatma Teknolojisi Enstitüsü) tarafından 1994 yılında Almanya'da geliştirilmiş aydınlatma tasarım yazılımıdır.

Tablo 9: Mevcut durum, Öneri 1 ve Öneri 2’de kullanılan armatür türleri³

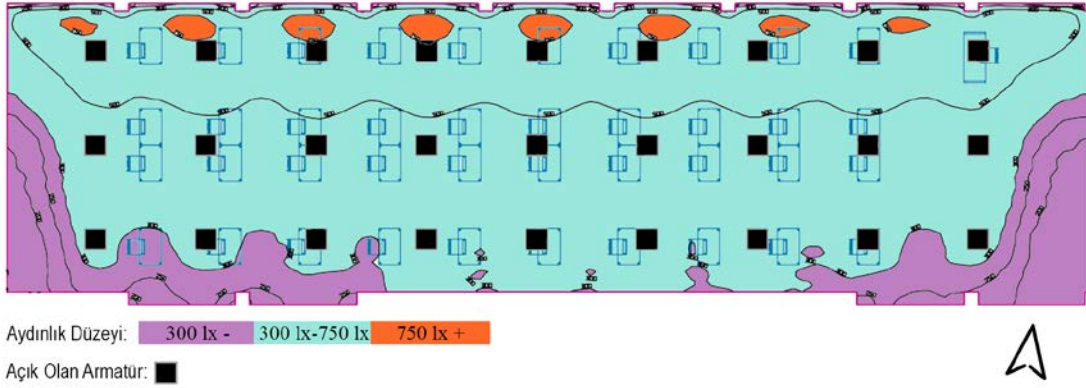
<u>Mevcut durum</u>	<u>Öneri 1</u>	<u>Öneri 2</u>
27 adet, 60x60 cm çift parabolik floresan armatür (4x800 lümen, 4x14 W) kullanılmıştır. Etkinlik Faktörü: 54,14 lm/W Aydınlatma Gücü Yoğunluğu (LPD): 6.38 W/m²	27 adet, dimmerli 60x60 cm çift parabolik floresan armatür (4x1200 lümen, 4x14 W) kullanılmıştır. Etkinlik Faktörü: 85,71 lm/W Aydınlatma Gücü Yoğunluğu (LPD): 6.38 W/m²	27 adet 120x30 cm led armatür (4100 lümen, 31 W) kullanılmıştır. Etkinlik Faktörü: 132,25 lm/W Aydınlatma Gücü Yoğunluğu (LPD): 3.53 W/m²
		

5.2. Mevcut durum ile önerilerin karşılaştırılması

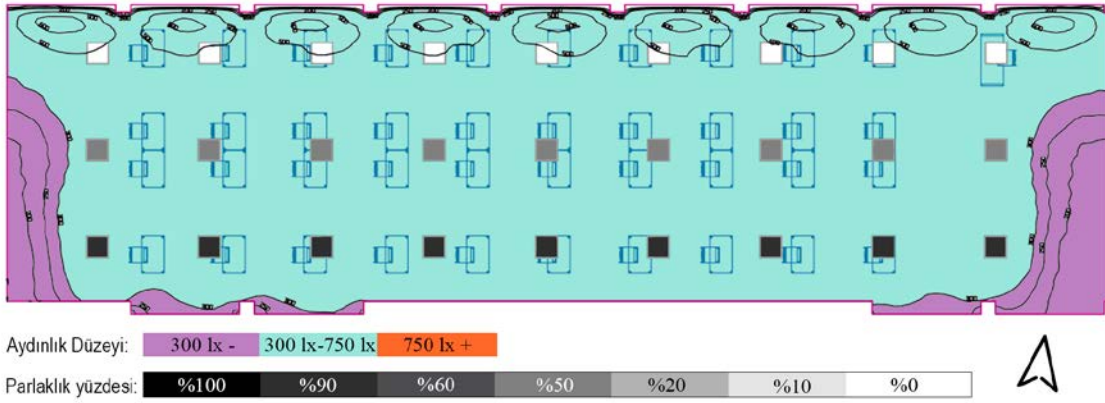
Mevcut durum ile karşılaştırma yapılırken güneşli hava için programda açık gök tipi seçilmiş, tarih olarak 10.12.2019 belirlenmiştir. Bulutlu hava için programda kapalı gök tipi seçilmiş, 23.12.2019 tarihi ayarlanmıştır. Saat olarak iki gök koşulu için de ölçüm yapılan saat olan 10.00 ve 16.00 girilmiştir.

DIALux programından elde edilen eşaydınlık eğrileri görsel konfor koşullarını, aydınlatma güç yoğunluğu (LPD) değeri ise enerji tüketimini karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır.

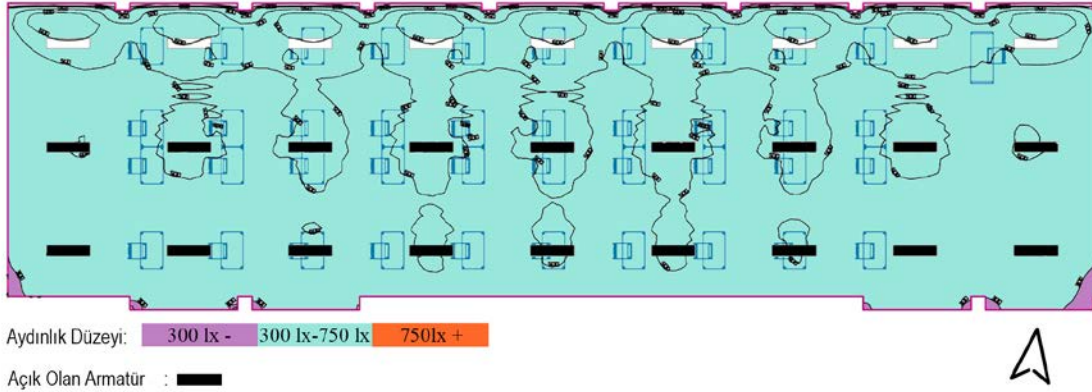
³ Tabloda, aydınlatma gücü yoğunluğu (Lighting Power Density, LPD), ışık sahneleri ve bunların kısma durumları dikkate alınmadan, tüm armatürlerin açık olduğu durumda m² başına harcanan enerji miktarını açıklar (LPD = Güç /Alan = W/m²).



Şekil 6.a: Atölye A mevcut durum - LPD: 6.38 W/m²



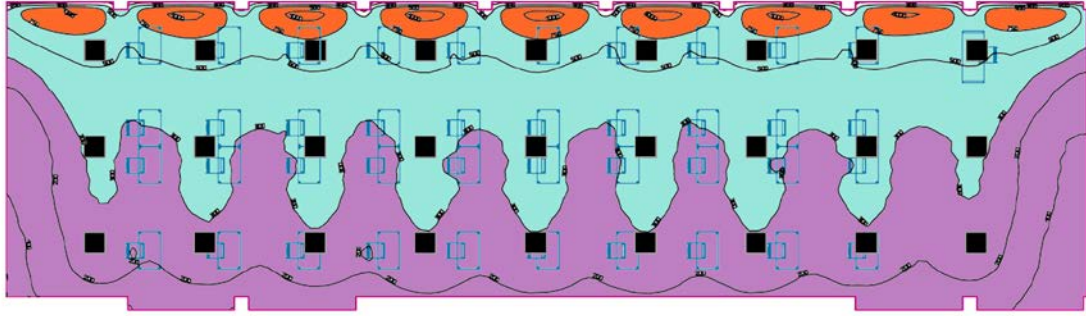
Şekil 6.b: Atölye A mevcut aydınlatma planının iyileştirilmesi (Öneri 1) - LPD: 2.97 W/m²



Şekil 6.c: Atölye A farklı tür aydınlatma elemanının kullanımı (Öneri 2) -LPD : 2.35 W/m²

Şekil 6: Güneşli hava saat 10.00-11.00 ölçümleri mevcut durum ile önerilerin karşılaştırılması

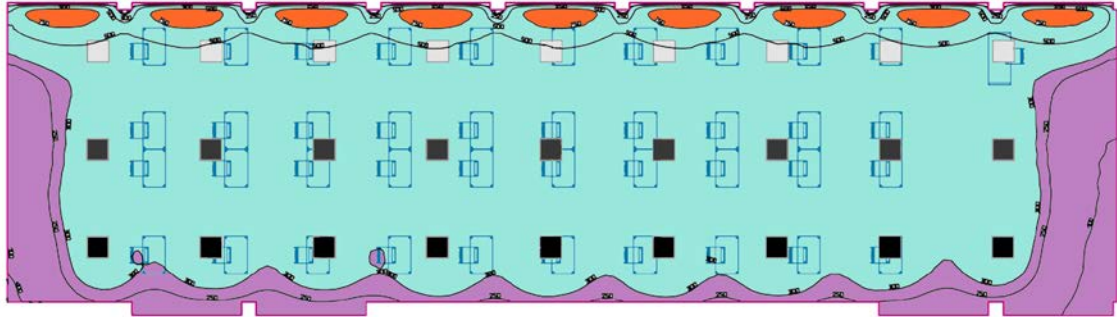
Güneşli hava saat 10.00-11.00 ölçümleri için yapılan simülasyonlarda Öneri 1'de armatürler duvar kenarı, orta sıra olmak üzere ihtiyaca göre belirlenmiş 2 farklı parlaklık yüzdesine sahip olacak şekilde ayarlanmış, pencere kenarındaki armatürler açılmamıştır. Çalışma düzlemi mevcut duruma göre optimum aydınlık düzeyine getirilmeye çalışılmıştır. Fakat duvar kenarındaki köşelerde min. aydınlık düzeyinin altında kalan bölgeler vardır. Öneri 2'de ise duvar kenarındaki ve orta sıradaki armatürler açılmış ve çalışma düzlemi belirlenen aydınlık düzeyi aralığına getirilmiştir. LPD değerleri incelendiğinde, enerji tüketimi mevcut duruma göre Öneri 1'de %53, Öneri 2'de ise %63 oranında azalmıştır.



Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Açık Olan Armatür: ■

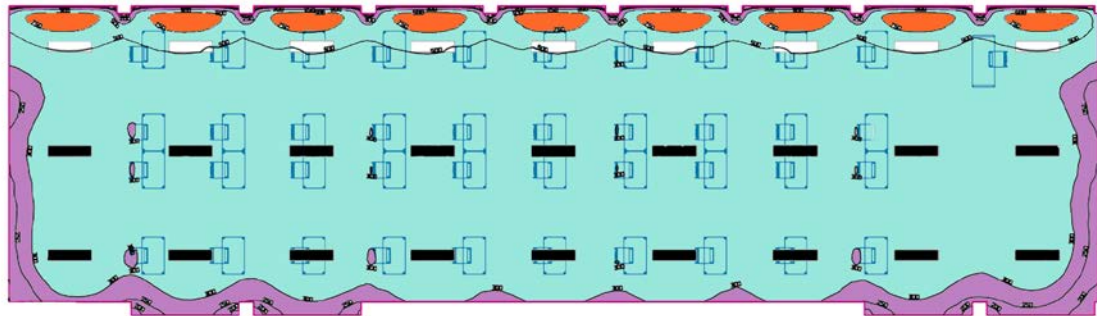
Şekil 7.a: Atölye A mevcut durum- LPD: 6.38 W/m²



Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Parlaklık yüzdesi: %100 %90 %60 %50 %20 %10 %0

Şekil 7.b: Atölye A mevcut aydınlatma planının iyileştirilmesi (Öneri 1) – LPD: 4.25 W/m



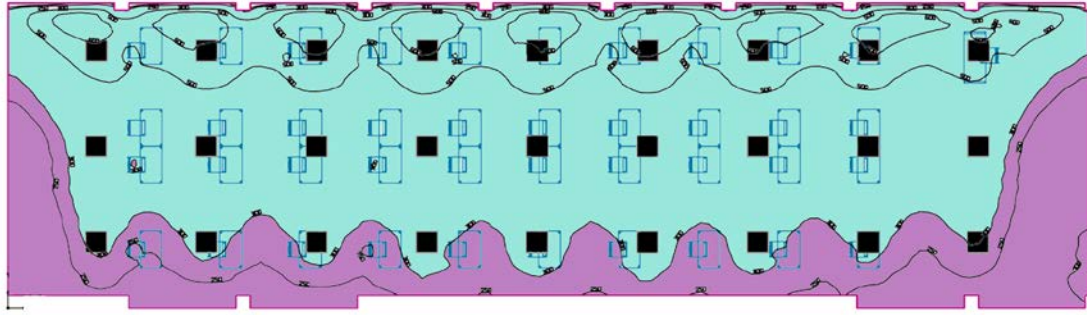
Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Açık Olan Armatür : ■■

Şekil 7.c: Atölye A farklı tür aydınlatma elemanının kullanılması (Öneri 2) - LPD: 2.35 W/m²

Şekil 7: Bulutlu hava saat 10.00-11.00 ölçümleri mevcut durum ile önerilerin karşılaştırılması

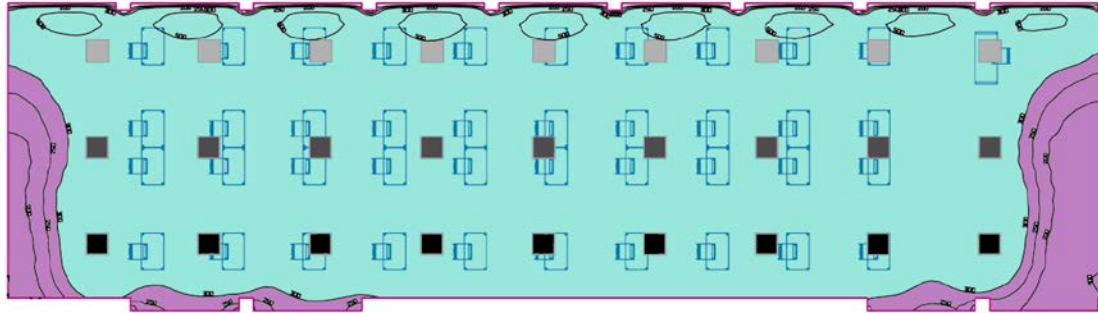
Bulutlu hava saat 10.00-11.00 ölçümleri için yapılan simülasyonlarda, Öneri 1'de armatürler duvar kenarı, orta sıra ve pencere kenarı olmak üzere ihtiyaca göre belirlenmiş 3 farklı parlaklık yüzdesine sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Öneri 2'de ise duvar kenarındaki ve orta sıradaki armatürler açılmış ve atölye genelinde çalışma düzlemi mevcut duruma göre optimum aydınlık düzeyine getirilmeye çalışılmıştır. Fakat duvar kenarı ve köşelerde min. aydınlık düzeyinin altında kalan bölgeler vardır. LPD değerleri incelendiğinde, enerji tüketimi mevcut duruma göre Öneri 1'de %33, Öneri 2'de ise %63 oranında azalmıştır.



Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Açık Olan Armatür: ■

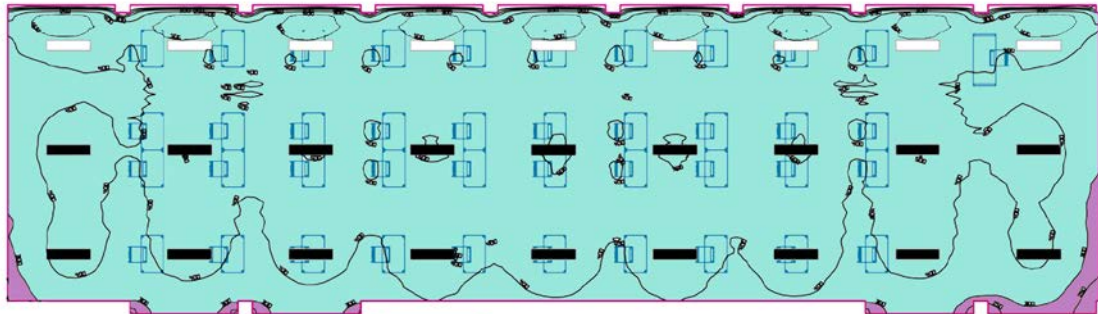
Şekil 8.a: Atölye A mevcut durum - LPD: 6.38 W/m²



Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Parlaklık yüzdesi: %100 %90 %60 %50 %20 %10 %0

Şekil 8.b: Atölye A mevcut aydınlatma planının iyileştirilmesi (Öneri 1) - LPD: 3.82 W/m²

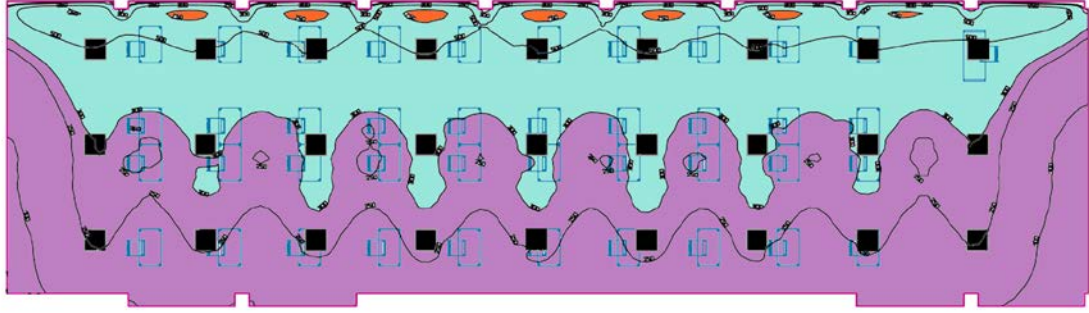


Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Açık Olan Armatür: ■

Şekil 8.c: Atölye A farklı tür aydınlatma elemanının kullanılması (Öneri 2) – LPD: 2.35 W/m²
Şekil 8: Güneşli hava saat 16.00-17.00 ölçümleri mevcut durum ile önerilerin karşılaştırılması

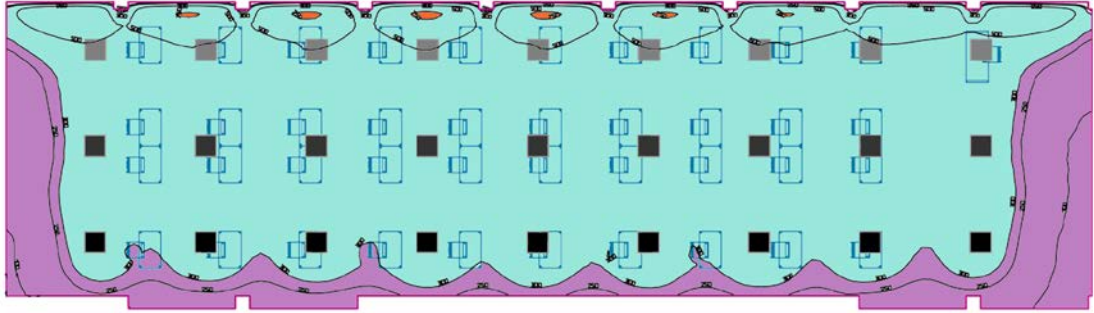
Güneşli hava saat 16.00-17.00 ölçümleri için yapılan simülasyonlarda, Öneri 1'de armatürler duvar kenarı, orta sıra ve pencere kenarı olmak üzere ihtiyaca göre belirlenmiş 3 farklı parlaklık yüzdesine sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Öneri 2'de ise duvar kenarındaki ve orta sıradaki armatürler açılmıştır. Atölye genelinde çalışma düzlemi mevcut duruma göre optimum aydınlık düzeyine getirilmiştir. Fakat Öneri 1'de duvar kenarındaki köşelerde min. aydınlık düzeyinin altında kalan bölgeler vardır. LPD değerleri incelendiğinde, enerji tüketimi mevcut duruma göre Öneri 1'de %40, Öneri 2'de ise %63 oranında azalmıştır.



Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Açık Olan Armatür: ■

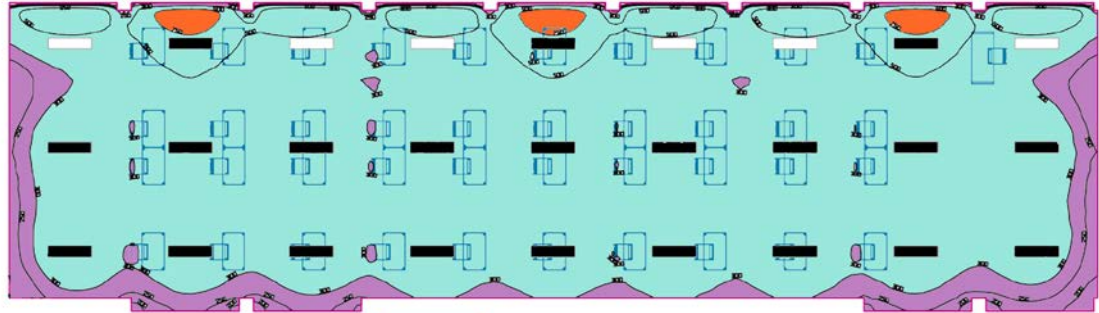
Şekil 9.a: Atölye A mevcut durum- LPD: 6.38 W/m²



Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Parlaklık yüzdesi: %100 %90 %60 %50 %20 %10 %0

Şekil 9.b: Atölye A mevcut aydınlatma planının iyileştirilmesi (Öneri 1) - LPD: 5.10 W/m²



Aydınlık Düzeyi: 300 lx - 300 lx-750 lx 750 lx +

Açık Olan Armatür : ■■

Şekil 9.c: Atölye A farklı tür aydınlatma elemanının kullanılması (Öneri 2) - LPD: 2.74 W/m²
Şekil 9: Bulutlu hava saat 16.00-17.00 ölçümleri mevcut durum ile önerilerin karşılaştırılması

Bulutlu hava saat 16.00-17.00 ölçümleri için yapılan simülasyonlarda, Öneri 1'de armatürler duvar kenarı, orta sıra ve pencere kenarı olmak üzere ihtiyaca göre belirlenmiş 3 farklı parlaklık yüzdesine sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Öneri 2'de ise duvar kenarındaki ve orta sıradaki tüm armatürler ile pencere kenarındaki 2. Anahtara bağlı armatürler açılmıştır. Her iki öneride atölye genelinde çalışma düzlemi mevcut duruma göre optimum aydınlık düzeyine getirilmiştir. Fakat duvar kenarındaki köşelerde min. aydınlık düzeyinin altında kalan bölgeler vardır. Öneri 2'de ise pencere

kenarında açık olan armatürlerin olduğu bölgelerde belirlenen max. aydınlık düzeyi değerinin üstüne çıkmıştır. LPD değerleri incelendiğinde, enerji tüketimi mevcut duruma göre Öneri 1’de %20, Öneri 2’de ise %57 oranında azalmıştır.

Yapılan tüm simülasyonlarda, LPD değerleri ve eşaydınlık eğrileri incelendiğinde önerilerin mevcut duruma göre enerji tüketimini azaltarak görsel konforun sağlandığı gözlemlenmiştir.

6. DEğERLENDİRME VE SONUÇ

KOÜ Mimarlık ve Tasarım Fakültesindeki seçili atölyelerde güneşli ve bulutlu hava olmak üzere belirlenen saat aralıklarında (10.00-11.00, 16.00-17.00) ölçüm yapılmıştır. Atölye F’de yapılan ölçümler sonucunda minimum aydınlık düzeyine ulaşmada doğal aydınlatma yeterli olmuştur. Minimum düzgünlük değerine ise mevcut yapay aydınlatma ile erişilmiştir. Atölye A’da ve Atölye B’de istenilen aydınlık düzeyi doğal aydınlatma ile sağlanamamıştır. Mevcuttaki yapay aydınlatma tasarımı atölyelerin genelinde istenilen aydınlık düzeyini sağlamasına karşın homojen bir aydınlık düzeyi elde etmek için yetersizdir. Ölçümlerdeki değerlendirmeler sonucunda düzgünlük değerinin daha düşük olması sebebi ile Atölye A daha riskli bulunmuştur. Atölyede aydınlık ortamını homojen hale getirmek ve enerji verimliliği sağlamak amacıyla minimum ve maksimum değerler belirlenmiştir. Bu doğrultuda iyileştirilmesi gereken bölgeler tespit edilmiş ve bölgelere uygun öneriler getirilmiştir.

DIALux Evo 8.2 programında Atölye A modellenmiş ve iki öneri sunulmuştur. Öneri 1’de mevcut aydınlatma planı ve armatür türü, gücü değiştirilmeden daha yüksek lümeneye sahip dimmerli armatür kullanılmıştır. Bu öneride farklı bölgelerdeki aydınlık ihtiyacına göre aydınlık yüzdeleri belirlenmiştir. Mevcut durumdaki armatürle aynı güçte armatür kullanılmasına karşın bölgesel olarak ayarlanması aydınlatma gücü yoğunluğu(LPD) değerini düşürmüş ve enerji tüketimini %20 ile %53 arasında azaltmıştır. Bunun yanı sıra duvar kenarında bulunan köşeler istenilen aydınlık düzeyine getirilememiş fakat mevcut duruma göre daha homojen aydınlık düzeyine ulaşılmıştır. Genel atölye durumuna bakıldığı zaman görsel konfor koşullarında ve enerji tüketiminde iyileştirme sağlanmıştır.

Öneri 2’de mevcuttaki armatüre göre etkinlik faktörü (lm/w) daha yüksek olan LED armatür kullanılmıştır. Bu öneride farklı bölgelerdeki aydınlık ihtiyacına göre armatürler için anahtar planı önerilmiştir. Aynı zamanda daha düşük güce sahip armatür kullanılması aydınlık güç yoğunluğu (LPD) değerini düşürmüş ve enerji tüketimini %57 ile %63 arasında azaltmıştır. Bununla birlikte mevcut duruma göre daha homojen aydınlık düzeyine sahip bir atölye ortamı elde edilmiştir.

Yapılan simülasyonlarla önerilerin mevcut duruma göre daha homojen ve istenilen bir aydınlık düzeyi sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda enerji tüketiminde de iyileştirme sağlanmıştır. Öneriler karşılaştırıldığında ise Öneri 2’de hem daha yüksek oranda enerji verimliliği sağlanmış hem de daha düzgün aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Bu sebeple Atölye A’da optimum görsel konfor koşulları ve enerji verimliliği için en uygun görülen durum Öneri 2’dir.

DIALux Evo programında incelenen öneriler sonucunda bir mekânda tasarlanacak olan aydınlatma planının bölgesel olarak düşünülmesi, anahtar planının bu doğrultuda düzenlenmesi ve uygun armatür türünün seçilmesi görsel konfor ve enerji tasarrufu açısından optimum koşullar sunacaktır. Bu çalışmanın konfor koşulları dikkate alınarak enerji iyileştirilmesi sağlayacak diğer çalışmalara katkı sağlaması hedeflenmiştir.

8. TEŞEKKÜRLER

Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında, "Mimarlıkta Enerji Etkin Tasarım" dersi kapsamında yürütülen çalışmada bilimsel katkılarından dolayı Doç. Dr. Neslihan Türkmenoğlu Bayraktar'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Bircan, Pınar, Köknel Yener, Alpin, İlköğretim Dersliklerinde Günışığı Performansının Ts En 17037 Standardı Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bir Çalışma, 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi Bildiriler Kitabı / Ed. Esra Küçükkılıç Özcan, M. Berker Yurtseven, Emre Erkin, İstanbul: Aydınlatma Türk Milli Komitesi, 2019, s.94-104

Cao, Guanying Sun, Yue, Liu, Xin, Qu, Wenjie, Zou, Nianyu "Analysis of Daylight Glare and Optimal Lighting Design for Comfortable Office Lighting", Optik, 2020

Çelik, Kasım, Ünver, F. Rengin, "Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı Yaklaşımı", Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), Eylül 2019

Erlalelitepe, İlknur, Aral, Duygu, Kazanasmaz, Tuğçe, "Eğitim Yapılarının Doğal Aydınlatma Performansı Açısından İncelenmesi", Megaron 2011;6(1): 39-51
Heschong, Lisa, Wright, Roger L., Okura, Roger L., "Daylighting Impacts on Human Performance in School", Journal of the Illuminating Engineering Society, 2002, 31:2, s. 101-114

Nabil, A., & Mardaljevic, J., "Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings", Lighting Research & Technology, 2005, 37(1), 41–57.

Memiş, Özge, Ekren, Nazmi, "İnsan Odaklı Aydınlatma", Int. Per. of Recent Tech. in App. Eng., 2019, 1: s. 30-35

Michael, Aimilios, Heracleous, Chryso, "Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus" Energy and Buildings, 2016, 140, 443–457

Salata, Ferdinando, Golasi, Iacopo, di Salvatore, Maicol, de Lieto Vollaro, Andrea, "Energy and reliability optimization of a system that combines daylighting and artificial sources. A case study carried out in academic buildings. Applied Energy, 2016, 169, s. 250–266.

Sümengen, Özlem, Köknel Yener, Alpin, "Konutlarda Aydınlatma Enerjisi Performansı ve Görsel Konfor Koşulları", TMMOB VII. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, Türkiye, 2015

Topçu, Sema, "Açık Ve Bulutlu Atmosfer Koşullarında Saatlik Toplam Işınım Öngörüsü İçin Bir Model", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1988, s.32

Yağmur, Aydın, Şensin, Sözen, Şerefhanoglu, Müjgan, “*Dersliklerde Görsel Konfor ve İç Yüzeylerin Etkisi*”, *Megaron* 2016;11(1):49-62

Yıldız, Yusuf, “*Dersliklerde Günışığı Performansının Değerlendirilmesi: Balıkesir Üniversitesi Örneği*”, T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi, 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı 12 - 13 Nisan 2018

URL 1. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800> (Erişim: 4.12.2019)

URL 2. Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Etüdü, Uygulama İzleme Raporu-1, 2018, bkz. <http://www.yegm.gov.tr/> (Er: 30.11.2019)

URL 3. <https://keos.izmit.bel.tr/keos/> (Er: 17.11.2019)

TS EN 12464-1:2013