

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT TİCARİ BİNALARIN AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ
VERİMLİLİĞİ ANALİZİ İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrullah AYDOĞDU

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

MAYIS 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT TİCARİ BİNALARIN AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ
VERİMLİLİĞİ ANALİZİ İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emrullah AYDOĞDU
301071011**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sermin ONAYGİL

MAYIS 2019

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301071011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emrullah AYDOĞDU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MEVCUT TİCARİ BİNALARIN AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Önder GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cenk YAVUZ
Sakarya Üniversitesi

Teslim Tarihi : **06 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi : **14 Mayıs 2019**

ÖNSÖZ

Oldukça uzun süren yüksek lisansım boyunca desteğini hiç bir zaman esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Sermin Onaygil'e verdiği tüm destekler ve yaptığı katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu süreçte mesai kavramı tanımaksızın sürekli beni yönlendirerek bu süreci tamamlamamda çok büyük katkıları olan sayın hocam Dr. Emre Erkin'e de çok teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Emrullah Aydoğdu

Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI İLE İLGİLİ UYGULAMALAR....	7
2.1 Avrupa Birliği Binalarda Enerji Performansı Direktifi.....	7
2.2 Türkiye’de Bina Enerji Performansı Süreçleri.....	9
2.2.1 Enerji verimliliği kanunu	9
2.2.2 TS 825 Isı yalıtımı kuralları	9
2.2.3 Binalarda enerji performansı yönetmeliği.....	10
2.2.4 Aydınlatma enerji performansı	11
2.2.5 Enerji kimlik belgesi	11
2.2.6 Ulusal enerji verimliliği eylem planı 2017-2023.....	14
2.2.6.1 Eylem planının dayanakları.....	16
2.2.6.2 Sektörel durum	18
Sanayi ve teknoloji.....	18
Enerji.....	19
Ulaştırma	19
Tarım	20
Bina ve Hizmetler	20
3. BİNALARDA ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ.....	23
4. OFİSLERDE AYDINLATMA TESİSATLARI.....	27
4.1 Ofis Hacimleri İçin Aydınlatma Tasarım Kriterleri.....	28
4.1.1 Aydınlık düzeyi.....	29
4.1.2 Düzgünlük	29
4.1.3 Parıltı dağılımı.....	30
4.1.4 Kamaşma.....	31
4.1.5 Renk sıcaklığı.....	32
4.1.6 Renksel geriverim endeksi	32
4.2 Ofis Aydınlatmalarında Kullanılan Işık Kaynaklarının Tarihsel Gelişimi	34
4.2.1 Tüp flüoresan lamba.....	34
4.2.2 Kompakt flüoresan lamba	35
4.2.3 Tungsten halojen lambalar	36
4.2.4 Metal halojen lambalar.....	37
4.2.5 LED lambalar	37
4.2.5.1 LED’in yapısı ve çalışma prensibi	38
4.3 LED Armatürler	42

5. AYDINLATMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	45
5.1 Aydınlatmada Enerji Kayıpları.....	46
5.1.1 Armatür kayıpları	46
5.1.2 Işığın mekan içinde doğru yönlendirilmesi	47
5.1.3 Aydınlatma kontrol sistemlerinin etkisi	47
6. OFİS BİNALARINDA AYDINLATMA ENERJİ TASARRUF	
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ	49
6.1 Aydınlatma Enerji Performansı Hesap Yöntemi.....	49
6.2 Enerji Tasarruf Potansiyeli Hesaplama Yöntemi - bep/ETA Yazılımı	50
6.2.1 Ofis binalarında bacım gruplarının belirlenmesi.....	51
6.2.2 Gruplara uygun aydınlatma armatürleri	52
6.2.3 Bakım faktörünün belirlenmesi	52
6.2.4 Ekonomik açıdan enerji tasarruf hesaplarının analizi	55
7. ÖRNEK UYGULAMA: TASARRUF POTANSİYELİ HESAPLAMA	
YÖNTEMİ İLE MEVCUT BİR OFİS BİNASININ ANALİZİ	57
7.1 Yazılıma Veri Girdisi	58
7.2 Enerji Tasarrufu Hesaplamaları ve Yazılımın Çıktıları.....	59
7.3 Örnek Uygulama	61
7.3.1 Binada yapılan hesaplama ve ölçüm çalışmaları.....	64
7.4 Örnek Uygulamanın Değerlendirilmesi	73
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	97

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABF	: Armatür Bakım Faktörü
AESG	: Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi
AETG	: Aydınlatma Enerji Tasarrufu Göstergesi
BDDK	: Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurulu
BEP	: Binalarda Enerji Performansı (Building Energy Performance)
BF	: Bakım Faktörü
BİB	: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (Şimdi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı)
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CASBEE	: Comprehensive Assessment Systems for Built Environment Efficiency
CEN	: Comité Européen de Normalisation
CIBSE	: Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE	: Commission Internationale de l'Eclairage
COB	: Chip On Board
CRI	: Color Rendering Index
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVK	: Enerji Verimliliği Kanunu
GR	: Glare Rating
IESNA	: Illumination Engineering Society of North America
KFL	: Kompakt Flüoresan Lamba
LED	: Light Emitting Diode
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
LLBF	: Lamba Lümen Bakım Faktörü
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NGY	: Normalize Güç Yoğunluğu
OBF	: Oda Bakım Faktörü
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
OÖF	: Ortalama Ömür Faktörü
SMD	: Surface Mount Device
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UGR	: Unified Glare Rating

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 : Yıllara göre yatırımların ve öngörülen tasarrufların değişimi.....	15
Çizelge 3. 1 : Tüketilen elektrik enerjisinin abone gruplarına göre dağılımı.	23
Çizelge 3. 2 : Net elektrik tüketiminin sektörlere ve yıllara göre dağılımı	24
Çizelge 3. 3 : Binaların yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimleri.	25
Çizelge 3. 4 : Aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisi.	25
Çizelge 3. 5 : Aydınlatma enerjisi tüketimi değerlendirme kriterleri.	26
Çizelge 4. 1 : Ofis hacimleri için gerekli aydınlık düzeyleri.	29
Çizelge 4. 2 : Ofis hacimleri için ortalama düzgünlük değerleri.	30
Çizelge 4. 3 : Önerilen yüzey yansıtma faktörleri	30
Çizelge 4. 4 : Işık kaynaklarının renk sıcaklıkları ve renk izlenimleri.	32
Çizelge 4. 5 : Ofis binalarında bulunan hacimler için aydınlatma tasarım kriterleri.	33
Çizelge 4. 6 : Tüp flüresan lambaların teknik özellikleri	35
Çizelge 4. 7 : Kompakt flüresan lambaların teknik özellikleri	36
Çizelge 4. 8 : Ofis binalarında kullanılabilen ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri ve ekonomik ömürleri.....	40
Çizelge 5. 1 : Armatür verimlilik sınıfları	47
Çizelge 6. 1 : Armatür bakım faktörü (ABF) tablosu.....	54
Çizelge 6. 2 : Örnek bir armatür için oda bakım faktörü (OBF) tablosu	54
Çizelge 7. 1 : Ofis hacimlerinde birebir değişimde LED panel ve Lineer LED armatürler kullanıldığında tasarım hesap sonuçları.	65
Çizelge 7. 2 : Dolaşım ve koridor hacimlerinde birebir değişimde LED panel, Lineer LED ve Downlight armatürler kullanıldığında tasarım hesap sonuçları.	66
Çizelge 7. 3 : Dolaşım ve koridor hacimlerinde birebir değişimde LED panel, Lineer LED ve Downlight armatürlerin sürüş akımının sınırlandırıldığında oluşan tasarım hesap sonuçları.	68
Çizelge 7. 4 : Ofis hacimlerinde yeterli aydınlık düzeyini sağlayabilmek için 60 cm x 60 cm LED panel armatürler ve lineer LED armatürler kullanıldığında tasarım hesap sonuçları.	69
Çizelge 7. 5 : Ofis hacimlerinin armatürlerinin birebir değişiminde, 60 cm x 60 cm LED panel armatürler ve lineer LED armatürlerin sürüş akımının sınırlandırıldığında oluşan tasarım hesap sonuçları.	71
Çizelge 7. 6 : Mevcut armatür ile aydınlatılan örnek hacimlerin aydınlık düzeyi değerleri ölçüm sonuçları.....	72
Çizelge 7. 7 : LED armatür ile değişimi yapılmış örnek hacimlerin aydınlık düzeyi değerleri ölçüm sonuçları.....	72
Çizelge 7. 8 : bep/ETA ve Dialux yazılımı hesap sonuçlarının karşılaştırılması.	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 : Yıllara göre Türkiye'nin elektrik enerjisi talep artış oranı .	1
Şekil 1. 2 : Yıllara göre Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim-tüketim gelişimi .	2
Şekil 2. 1 : Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi genel yapısı.	10
Şekil 2. 2 : Bina Enerji Performans Yönetmeliği'ndeki skalalar.	12
Şekil 2. 3 : Enerji kimlik belgesi için enerji sınıfı skalası.	12
Şekil 2. 4 : Örnek Enerji Kimlik Belgesi.	13
Şekil 2. 5 : Yıllara Göre GSYİH ve Birincil Enerji Tüketimi .	17
Şekil 2. 6 : Ülkeler için birincil enerji yoğunluğu değerleri	18
Şekil 2. 7 : Yıllara göre sektörlerin enerji tüketimindeki değişim .	20
Şekil 2. 8 : Yıllara göre bina ve hizmetler sektörü elektrik tüketimindeki değişim.	21
Şekil 4. 1 : Örnek çalışma ofisi aydınlatmaları.	27
Şekil 4. 2 : Örnek toplantı odası aydınlatması.	28
Şekil 4. 3 : Direkt ve endirekt kamaşma örneği.	31
Şekil 4. 4 : Tüp flüoresan lamba.	34
Şekil 4. 5 : Kompakt flüoresan lamba örnekleri.	35
Şekil 4. 6 : Tungsten halojen lamba.	36
Şekil 4. 7 : Metal halojen lamba.	37
Şekil 4. 8 : LED'lerin kutuplaştırılması.	38
Şekil 4. 9 : SMD LED örnekleri.	39
Şekil 4. 10 : COB LED örneği.	39
Şekil 4. 11 : POWER LED örneği.	39
Şekil 4. 12 : POWER LED'ler için tasarlanmış alüminyum soğutucu kart.	40
Şekil 4. 13 : Arayüz sıcaklığı ile ışık akısı arasındaki ilişki	41
Şekil 4. 14 : LED ömrünün jonksiyon sıcaklığı ile değişimi	41
Şekil 4. 15 : LED panel armatür örnekleri.	42
Şekil 4. 16 : LED lineer armatür örnekleri.	43
Şekil 4. 17 : LED downlight armatür örnekleri.	43
Şekil 5. 1 : Aydınlatma kontrol sistemleriyle elde edilen enerji tasarruf oranları	48
Şekil 6. 1 : Enerji tasarruf potansiyeli hesaplama yönteminin şematik gösterimi....	51
Şekil 6. 2 : Aydınlik düzeyinin bakım sürelerine bağlı değişimi .	53
Şekil 7. 1 : bep/ETA yazılımının açılış ekranı.	57
Şekil 7. 2 : bep/ETA yazılımında hacim grubu, geometrik özellikler ve işletme koşullarının tanımlanmasına ilişkin veri giriş ekranı.	58
Şekil 7. 3 : Armatür verilerinin girildiği sayfa.	59
Şekil 7. 4 : Hacimlerdeki armatürlerin toplu gösterildiği sayfa.	59
Şekil 7. 5 : Yazılım tarafından veri girişleri sonrası elde edilen değerler.	60
Şekil 7. 6 : Ölçümleri yapılmış hacimlerin boyutları.	60
Şekil 7. 7 : Tez kapsamında incelenen bina.	61
Şekil 7. 8 : İncelenen örnek ofis hacimleri.	62
Şekil 7. 9 : İncelenen örnek koridor ve merdiven sahanlığı.	62

Şekil 7. 10 : 4x18 W flüoresan lambalı çift parabolik reflektörlü kare armatürler ile aydınlatılmış hacim.	63
Şekil 7. 11 : 60 cm x 60 cm LED panel armatürler ile aydınlatılmış oda.....	63
Şekil 7. 12 : Birebir değişim durumu için aydınlatma kontrolü ile birlikte enerji tasarruf analizi sonucu.	74
Şekil 7. 13 : Gerekli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde armatür değişiminin aydınlatma kontrolü ile birlikte enerji tasarruf analizi sonucu.	76
Şekil A.1 : 27,1 W 60 cm x 60 cm Panel tipi LED armatür teknik bilgileri.....	87
Şekil A.2 : 23 W 60 cm x 60 cm Panel tip ve 23 W 30 cm x 120 cm Lineer tip LED armatür bilgileri: (a) Teknik. (b) Işık dağılım eğrisi.	88
Şekil A.3 : 24 W 8 cm x 120 cm Lineer tip LED armatür bilgileri : (a) Teknik. (b) Işık dağılım eğrisi.....	89
Şekil A.4 : 26,7W Downlight tipi LED armatürün teknik bilgileri.	90
Şekil B.1 : 1 numaralı ofis hacminin bire bir değişim sonucu Armatür 1 kullanılarak ile oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.....	91
Şekil B.2 : 1 numaralı ofis hacminin yeterli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde Armatür 2 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.	91
Şekil B.3 : 1 numaralı ofis hacminin yeterli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde Armatür 3 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.	92
Şekil B.4 : 1 numaralı ofis hacminin yeterli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde Armatür 4 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.	92
Şekil B.5 : 1 numaralı koridor hacminin bire bir değişim sonucu Armatür 1 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.....	93
Şekil B.6 : 1 numaralı koridor hacminin bire bir değişim sonucu Armatür 3 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.....	93
Şekil B.7 : 1 numaralı koridor hacminin bire bir değişim sonucu Armatür 5 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.....	94
Şekil C.1 : Ofis hacimlerinde yapılan aydınlık düzeyi ölçüm değerlerinin şematik gösterimi (lx) : (a) Hacim no:1. (b) Hacim no:2. (c) Hacim no:3. (d) Hacim no:4.....	95
Şekil C.2 : Ofis hacimlerinde yapılan aydınlık düzeyi ölçüm değerlerinin şematik gösterimi (lx) : (e)Hacim no:5. (f) Hacim no:6. (g) Hacim no:7. (h) Hacim no:8.....	96

MEVCUT TİCARİ BİNALARIN AYDINLATMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

ÖZET

Ticari binaların elektrik enerjisi tüketimleri yıllar içerisinde giderek artış göstererek genel tüketim içerisindeki payları %19'a ulaşmıştır. Aydınlatma sistemlerinin bu tüketimdeki payı ise %20 civarındadır. Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) bina enerji performansında, aydınlatma sistemlerinin performansını göstermektedir. AESG hesaplanırken aydınlatma sisteminin kurulu gücü, hacimlerin mimari ve fiziksel özellikleri, kullanım süreleri gibi birçok etken göz önüne alınmaktadır.

Mevcut binaların enerji tasarruf analizi yapılırken, elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir paya sahip aydınlatma sistemleri de mutlaka ele alınmalıdır. Binalarda mevcut tesisatlarla kurulu olan aydınlatma armatürlerinin verimliliği incelenerek aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu potansiyeli de net olarak hesaplanmalıdır. Bu çalışmaların yetkin kişilerce yapılması ile, bu alanda yapılabilecek yatırımların geri dönüş süreleri de net olarak belirlenebilecektir.

Binalar kullanım amaçları birbirinden farklı çok çeşitli hacimlerden oluşmaktadırlar. Bu hacimlerin kullanım amaçlarına göre aydınlatma tasarım kriterleri de farklılık göstermektedir. Binaların hacimlerinin gruplandırılması, tasarruf hesaplarının daha doğru yapılabilmesi için önemli rol oynamaktadır. Aydınlatma tasarımının maliyet sebebi ile standartların dışında yapılması zamanla daha büyük kayıplara neden olmaktadır.

Günümüzde ofis ortamlarının aydınlatmasında sıradışı uygulamalar da görülmektedir. Ülkemizde TS EN 12464-1 standardı ile iç aydınlatma ile ilgili tanımlar, kriterler ve limitler belirtilmiştir. TS EN 12464-1 standardındaki aydınlatma tasarım kriterlerini her bir hacme uygulayarak enerji tasarruf analizi yapmak çok daha gerçekçi bir sonuç çıkaracaktır.

Aydınlatma sektöründe yaşanan değişimler ve teknolojik gelişmeleri göz önüne alarak yapılacak hesaplamalar neticesinde geri ödeme sürelerinin çok kısaldığı görülmektedir. Kullanılacak ürünlerin erişilebilir olması, belirlenen standartlara uygunluğu ve maliyeti, verimlilik ve tasarruf uygulamalarına yön verecek ana unsurlardır. Özellikle LED teknolojisinin günümüzde ulaştığı nokta dikkate alınacak olursa LED ışık kaynaklı armatürlerin enerji verimliliği uygulamalarında kullanım olasılığı yükselmektedir.

Gün ışığından yararlanmanın şüphesiz ki, aydınlatma sistemlerinde elde edilecek enerji tasarrufuna olumlu etkileri olacaktır. Bina aydınlatmalarında gün ışığından, aydınlatma kontrol sistemlerine entegre edilen algılayıcılar yardımı ile faydalanılmaktadır. Aydınlatma kontrol sistemlerinin maliyeti bu çalışmaya dahil edilirken binada kurulu olan tesisat dikkate alınmıştır. Kontrol sistemlerinin maliyeti ve aydınlatmada enerji tasarrufuna katkıları, her bina için ayrı ayrı incelenmesi gereken bir konudur.

Enerji tasarrufu için yapılacak yatırımların finansal kaynakları, bu alandaki teşvik ve destekler ayrıntılı incelenmeli, yatırım maliyetleri mümkün olduğunca aşağı çekilmelidir. Ülke ekonomisinde yaşanan gelişmeler ve döviz kurlarındaki hareketlilik maliyet hesaplamalarını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple yatırım maliyetleri zamanla değişmektedir.

Bu tez kapsamında, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yapılan doktora çalışması sonucu geliştirilmiş enerji tasarruf analizi hesaplama yöntemi kullanılarak yeni teknoloji LED aydınlatma armatürlerinin mevcut bir binaya uygulanması sonucu elde edilecek elektrik enerjisi tasarrufunun hesaplanması amaçlanmıştır. Mevcut binanın hacimleri gruplandırılarak, bu gruplar için standartlara uygun aydınlatma sistemleri detaylandırılmıştır.

Kurulu olan aydınlatma sisteminin gerekli standartları sağlayıp sağlayamadığı, hem ölçümler yapılarak hem de hesaplamalar yardımıyla incelenmiştir. Ölçümler sonucu mevcut sistemin gerekli standartları sağlayamadığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda hem birebir değişim sonrası elde edilen veriler incelenmiş, hem de standartları sağlayacak aydınlatma sisteminin maliyeti hesaplanmıştır. Bu koşullar altında elde edilebilecek enerji tasarrufu hesaplanmış, geri ödeme süreleri esas alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu tezin, aydınlamada tüketilen elektrik enerjisinin toplam tüketim içinde payının yüksek olduğu ofis binalarında mevcut sistemlerin LED aydınlatma armatürleri ile dönüşümü sonucu sağlanacak enerji tasarrufu hakkında yol gösterici olması beklenmektedir.

A CASE STUDY ON ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS IN LIGHTING SYSTEMS OF EXISTING COMMERCIAL BUILDINGS

SUMMARY

Energy cost is the one of the geratest expenditure of Turkey's economy. All the studies shows that all the sectors have bigger potential for the energy saving. Therefore energy efficiency has become very important subject in our country like all the world.

In Turkey, the building sector has a share of 45%, industry 47% and others 8% in the electrical energy consumption. In recent years buildings electrical consumption increase regularly. For example commercial buildings has a share of %9,5 in the year 2000. When we came 2016 this share increase to the %18,8 of the net electrical energy consumption of Turkey.

Buildings have an important share in energy consumption. Some systems use conventional energy like natural gas, the other systems generally use clectrical energy. Lighting systems have a large share between %10 and %50 in electical consupcion of buildings. For this reason we can say that there could be important energy saving potential by replacing older lighting systems to new systems.

Recent lighting systems like LED light sources have improved energy efficiency. We can also save energy by integration of occupancy and daylight control systems.

Lighting energy numeric indicator (LENI) indicates the energy performance of the lighting systems. Lower LENI indicates more efficient lighting systems, higher LENI indicates less.

Turkish Standard by considering Turkish national conditions is transformed from EN 15193 standard. In Turkey, a calculation methodology has named "BEP-TR" adopted to determine the energy performance for buildings. We need several information of the rooms, like physical and geometrical structure. And also lighting systems like daylight control systems is needed for this methodology. The electrical energy consumption is calculated by considering the installed power.

LENI is an indicator of the lighting systems but we could not get the energy saving potential information clearly every time using LENI. For example, LENI can be lower for a building but lighting system could not supports the lighting criterias in EN 12464-1 (Light and lighting – Lighting of work places, Part 1: Indoor work places).

Rooms of the buildings have different functionalities. TS EN 12464-1 determines the criteria of the lighting desing for all types of the rooms. Because of this, we must calculate the energy efficiency analysis for each room. The methodology of calculating of energy saving potential was defined by a PhD study in 2012.

We focus on the energy efficiency analysis when using new LED lighting luminaires instead of luminaires with traditional lamps for a existing commercial building in Istanbul in this study.

Firstly the rooms of this commercial building grouped by their functionality in to four groups. Classical office rooms where needs generally 500 lx of illumination level is in the first group “G1”. General using areas like corridors, WC which need between 100 and 300 lx of illumination level participate in the second group “G2”. Rooms like loundries, and kitchens participate in third group “G3”. Mostly technical rooms stays in the fourth group “G4”.

Classical office rooms has a share of 93% in the building. For this reason the building is analyzed by considering the rooms which placed in the first and second groups. The building lighting system was designed to provide to 300 lx of illumination level. In the the first and second group the same luminaire is used. Luminaires in some rooms was retrofitted with LED luminaires to analyze energy efficiency. But because of economical reasons this retrofit could not applied for all the rooms.

Also several lighting measurements were taken in the rooms of this commercial building. These measurements showed that, the existing lighting system can provide approximately 250 lx avarage illumination level the rooms. The average illumination level in some rooms, which was retrofitted with LED luminaires is approximately 290 lx.

Five different type of luminaires have analyzed to determine the most energy efficiency luminaire for this commercial building. First luminaire is 60cm x 60cm “Panel” type, which has 27,1 W total energy conumption with 122,1 lm/W efficacy factor. Second luminaire is again 60cm x 60cm “Panel” type, which has 23W total energy conumption, 147,8 lm/W efficacy factor. Third luminaire is 30cm x 120cm “Linear” type, which has again 23W total energy conumption and 147,8 lm/W efficacy factor. Fourth luminaire is 8cm x 120cm “Linear” type, which has again 24W total energy conumption, 141,6 lm/W efficacy factor. Fifth “Downlight” type, which has 26,7W total energy conumption and 108,7 lm/W efficacy factor.

We also aimed to determine a luminaire that supports all the criterias for all the rooms and which does not requires different installation. Dialux software was used for this analyze. For the classical office rooms where needs generally 500 lx of illumination level, LED Panel luminaire provides the best energy efficiency. Calculation showed that Linear LED luminaire is second, Downlight LED luminaire is the third energy efficient luminaire. At the same time for general using areas like corridors, LED Panel luminaire provides the best energy efficiency again. Calculation showed that Downlight LED luminaire is second, Linear LED luminaire is the third energy efficient luminaire for gereral using areas. After these calculation results, LED Panel luminaire is determined to use in economical analyze in this study.

Computer software named “BEP-ETA” is used in this study to calculate performance of lighting system based on EN 15193. It has been possible to calculate the amount of electrical energy saving by comparing the existing install powers with the calculated powers for each room. In addition to this, an economical analyze method is expressed for calculation of invesment costs and simple payback time.

We analyzed the installed luminaires how much they support the lighting criterias. It has seen that, the lighting system used in the building does not meet the criterias of lighting design defined in the EN 12464-1. Then we calculate the energy efficiency by changing the same number of LED luminaires for each installed luminaires and the number of luminaires how much they supports the criterias of lighting design.

After this replacing, by using “BEP-ETA” we had only approximately 290 lx average illumination level in all the rooms. Under this situation 2,3 years payback time indicates that replacing recent luminaires to the LED luminaires one to one is very investable. When control system is installed with the LED luminaires in this time payback time improves to 3,6 years. Control systems increase the cost very much, for this reason payback time increase linear.

Studies indicate that improving illumination level has lots of different benefits like quality and efficiency of works. For this reason, we calculated also the energy efficiency by changing number of LED luminaires how much they supports the criterias of lighting design. After this replacing, we had approximately 500 lx average illumination level in all the rooms. The result of calculation showed that this replacement needs 45% more luminaires.

We must add installation cost to the luminaries cost under this situation. All of the electrical wiring must be changed in this situation. This cost is 78 TL for each luminaire. By the way, 4,9 years payback time indicates that replacing recent luminaires to the LED luminaire is not investable as one to one replacing. When control system is installed with the LED luminaires in this time payback time improves to 6,4 years.

Lighting control systems increase the payback time approximately 1,3 year more in the first situation, but in the second situation increase of payback time is only 1,5 year. Lighting energy saving improves because of the increase of the installed lighting power.

In the literature there are some studies which except that LEDs have a linear relation between driving current and luminaire power consumption especially in mid-power LEDs used in the luminaires for office lighting. We used this relation in all analyzes to decrease total power consumption in G1 and G2 type rooms which have 10% more average illumination level than criterias of lighting design.

Financial sources are very important point of an investment and must be studied detailed. Integration of control systems would save energy more. But the cost of control systems would be uninvestable after last economic situations and exchange rates in Turkey. We need also clear information about the contribution of the control system to the lighting energy saving.

As a result this study expressed lighting energy saving potential, payback time and the investment costs of LED luminaire transform in a existing commercial building. Energy efficiency calculated by retrofitting of the luminaires in the rooms which participate in the first and second groups of this building.

This study indicates that there is an important energy saving potential for the lighting systems in the commercial buildings. Energy saving potential increase with the age of the building. Mostly lighting systems are installed before last 10 years. They have use lower efficiently light sources, lower efficiently components and the old luminaires. LED luminaires have advantages in these subjects.

1. GİRİŞ

Ülkemizde enerjiye olan talep, diğer gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi sanayileşmenin devam etmesi ve nüfusun hızlı artışı gibi nedenlerden dolayı her geçen gün daha da artmaktadır. 2015 yılında ülkemizdeki birincil enerji tüketimi 129,7 MTEP olarak gerçekleşmiştir. 2005 ve 2015 yılları arasında geçen on yıllık süreçte birincil enerji tüketimi %46 oranında artış göstermiştir.

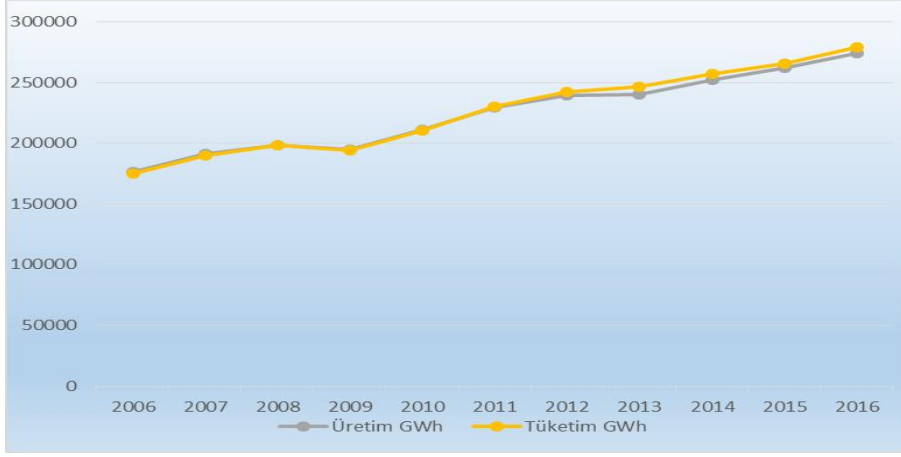
İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı'na (OECD) üye olan ülkelere göre ülkemiz 2001-2016 yılları arasında elektrik enerjisi talep artışında birinci sırada bulunmaktadır. Bu artış Şekil 1.1'de görülmektedir.



Şekil 1. 1 : Yıllara göre Türkiye'nin elektrik enerjisi talep artış oranı [1].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2018 yılında hazırlanan Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu'na göre, Türkiye birincil enerji arzında 2015 yılındaki yaklaşık %75 ithal kaynak oranı ile enerjide büyük oranda dışa bağımlı olarak enerji politikasını yürütmektedir [2].

Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde ise TEİAŞ verilerine göre %50 oranında ithal kaynak kullanımı söz konusudur [1]. TEİAŞ verilerine göre Türkiye'nin elektrik üretim ve tüketim grafiği Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1. 2 : Yıllara göre Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim-tüketim gelişimi [1].

Enerji verimliliği; ülke ekonomisinin daha dengeli hale getirilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması ile enerji arzının daha güvenli şekilde yapılması, enerji üretiminin çevreye olan olumsuz etkilerinin minimum değerlere düşürülerek daha yaşanılabilir bir çevre oluşturulması gibi çok çeşitli hedeflere ulaşılmasında büyük öneme sahiptir.

Kalkınmanın ve sanayileşmenin sürdürülebilir olması için enerji verimliliği uygulamaları önemli konular arasında bulunmaktadır. Hemen hemen her ülke kendi şartlarını göz önüne alarak enerji verimliliği politikaları üretmekte ve bu uygulamaları desteklemektedir. Enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar genellikle sektörel olarak yapılmış olup, her sektörün enerji verimliliği potansiyelleri kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Sanayileşme sürecini henüz tamamlamamış olan ülkemizin hemen hemen tüm sektörlerde önemli ölçüde enerji tasarrufu potansiyeli bulunmaktadır. Bu potansiyeli değerlendirip enerjiyi daha verimli kullanmak, enerji alanında dışarıya bağımlılığı önemli oranda azaltacaktır.

Türkiye’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre Bina ve Hizmetler Sektörü’nün elektrik tüketimi %49,9 gibi yüksek bir oranla sanayi sektörünün önünde yer almaktadır [3]. Binalarda enerji tüketimi genel olarak ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve sıcak su üretimi gibi amaçlarla yapılmaktadır [4].

Ülkemizde enerji verimliliği hakkındaki somut gelişmeler 2007 yılında çıkarılan Enerji Verimliliği Kanunu ile başlamıştır. Bu kanun kapsamında enerjinin etkin kullanılabilmesi için kullanılacak usul ve esaslar belirtilmektedir. Yine bu kanun çerçevesinde ilk olarak 2008 yılında, daha sonra yapılan değişikliklerle 2010 yılında yürürlüğe giren “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” ile binaların enerji performansının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Binaların elektrik tüketimlerinde önemli bir paya sahip olan aydınlatma sistemlerinin “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” gereği sınıflandırılabilmesi için gerekli yöntem, TS EN 15193 “Binalarda Enerji Performansı – Aydınlatma için enerji gereksinimleri” standardı ile belirlenmiştir. Bu standart ile Avrupa Birliği ülkeleri için tanımlanmış yöntem, ülkemiz koşulları göz önüne alınarak düzenlenmiştir. BEP-TR adı verilen yazılım kullanılarak her bir hacimde metrekare başına aydınlatma için elektrik enerjisi tüketimi yıllık olarak hesaplanıp Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) hesaplanmaktadır [5]. Bu tez kapsamında da BEP-TR ile elde edilen AESG hesaplamalarındaki yöntemden yola çıkılarak mevcut bir binada kurulu olan aydınlatma sistemi incelenmiş ve mevcut sistem yerine önerilecek sistemin enerji tasarrufu potansiyeli hesaplanmıştır.

Binaların elektrik enerjisi tüketiminde aydınlatmanın payının belirlenebilmesi için ülkemizde çalışmalar sınırlı kalmıştır. 2005 yılında Onaygil ve arkadaşları tarafından yapılmış olan çalışmada, binalarda tüketilen toplam elektrik enerjisi içerisinde aydınlatma sistemlerinin payı hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, binaların kullanım amaçlarına göre değişmekle beraber, ofis binalarında aydınlatma sistemlerinin, toplam elektrik tüketiminde %20’lik bir paya sahip olduğu hesaplanmıştır [6].

Aydınlatma koşullarının iyileştirilmesi, yapılan işin verimi ve kalitesine de önemli katkı sağlamaktadır. Binalarda hacimlerin aydınlatılması, hacmin kullanım amacına bağlı olarak TS EN 12464-1 standardında tanımlanan kriterler doğrultusunda yapılması gerekmektedir. Bu konuda literatürdeki çalışmalar 1920’li yıllara kadar uzanmakta olup çalışma performansı ile aydınlık düzeyi arasındaki ilişki incelenmiş ve aydınlık düzeyinin uygun değerlere çıkarılması ile çalışan performansı artışı tespit edilmiştir [7]. Yine 2007 yılında Juslén tarafından yapılan çalışmada ise aydınlık düzeyinin iyileştirilmesi ile üretim hacimlerinde %7,7’lik bir performans artışı tespit edilmiştir [8].

Ülkemizde ise 2012 yılında Dilek Şahin tarafından yapılan çalışmada, aydınlık düzeyinin 300 lüksten 500 lükse çıkarılması ile çalışma performansında, ağır işler için %10 oranında, hafif işlerde ise %2,5 oranında artış olduğu belirlenmiştir [9].

İşyerlerinde standartlarca belirlenmiş aydınlatma tasarım kriterlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Ancak 2016 yılında Gonca Bayrakdar tarafından yapılan çalışmada, 15 farklı işyerinde aydınlık düzeyleri ölçülmüş ve ölçüm yapılan hacimlerin yaklaşık

%75’inde ilgili standartlarda belirtilen değerlerden düşük aydınlık düzeyleri olduğu tespit edilmiştir [10].

Literatürde ayrıca, binalarda tüketilen elektrik enerjisi miktarı içindeki aydınlatma enerjisi payını azaltabilmek amaçlı çalışmalar da mevcuttur. Bu kapsamda, 2012 yılında Emre Erkin tarafından, aydınlatma enerji performansı hesap verileri ile ofis binalarında aydınlatma enerji tasarruf potansiyellerini hesaplayabilen bir yöntem önerilmiş, söz konusu potansiyeli belirten bir aydınlatma enerjisi tasarruf göstergesi (AETG) tanımlanmış ve hesaplamalar için BEP-ETA isimli bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Söz konusu yöntem bir kamu binasına uygulanarak mevcut aydınlatma armatürleri yerine verimli aydınlatma armatürleri kullanıldığında %55,3 civarında bir tasarruf sağlanabileceği belirtilmiştir [11].

Aydınlatma sektöründe yaşanan değişimler ve teknolojik gelişmeler ile birlikte geri ödeme sürelerinin çok kısaldığı görölmektedir. LED teknolojisinin aydınlatmada yaygın olarak kullanılmaya başlanması ile LED ışık kaynaklı armatürlerin enerji verimliliği uygulamalarında kullanım olasılığı yükselmektedir. Bu kapsamda 2013 yılında Onaygil ve arkadaşları tarafından hazırlanan bildiride, LED armatür ile birebir değişim sonrası mevcut 4x18W flüoresan lambalı armatüre göre %59 oranında bir tasarruf yapılabileceği hesaplanmıştır [12].

Enerji tasarrufu uygulamaları, gereksiz harcamaların yapılmasının önüne geçip, kaynaklarımızın gerekli alanlara yatırım olarak yönlendirilmesine katkıda bulunacaktır. Gün ışığından yararlanmanın da aydınlatmada enerji tasarrufuna önemli katkıları vardır. Örneğin 2015 yılında Özlem Sümengen ve Alpin Yener tarafından yapılan çalışmada, güney ve kuzey yönelimli iki farklı bina için gün ışığı faktörünün, üç farklı bölgede olması durumunda aydınlatma enerji performansına etkisi araştırılmıştır. Söz konusu çalışmada her iki yönelim durumunda sırası ile İstanbul, Kayseri ve Antalya’da yıllık aydınlatma enerjisi tüketimlerinin azalma miktarları hesaplanmıştır [13].

Aydınlatma kontrol sistemlerinin aydınlatma enerji tasarrufu üzerindeki etkisi de büyüktür. 2018 yılında Işık Tuğçe Erhan tarafından aydınlatma otomasyonunun enerji verimliliğine etkisi incelenmiştir. Yapılmış olan çalışmada gün ışığı ve varlık sensörü kullanılarak yapılan aydınlatma kontrolü ile %36 oranında enerji tasarrufu sağlandığı hesaplanmıştır. Aynı çalışmada kombine sensörlerin yerleştirilmesi ve

özel bir algoritma ile aydınlık düzeyi kontrolü yapılması durumunda %42 oranında enerji tasarrufu elde edilebileceği de hesaplanmıştır [14].

İçinde bulunulan son dönemde meydana gelen ekonomik gelişmeler de göstermiştir ki; enerji kaynakları açısından zengin olmayan ülkemizde enerji verimliliği ertelenemeyecek öneme sahiptir. Enerji ihtiyacını büyük oranda yabancı kaynaklardan sağlayan ülkemiz için enerji tüketimini düşürmeyi amaçlayan uygulamalar kaçınılmaz bir zorunluluktur.

Bu çalışmada, mevcut ticari binalarda tüketilen elektrik enerjisi içersinde aydınlatma amaçlı kullanılan enerjinin payının azaltılması için çözüm önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Gerçek bir binada yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda aydınlatma enerji tüketimi ve aydınlatma kalite kriterleri analiz edilmiştir. Bu kapsamda öncelikle ticari binaların aydınlatması ile ilgili teknik bilgiler ve son güncel standartlar incelenmiş, daha önce geliştirilen BEP-ETA yazılımının mevcut bir ticari binaya uygulanması halinde olası tasarruf miktarları belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için önce, söz konusu binanın aydınlatma yükünün büyük bir bölümünü oluşturan ofis ve koridor hacimlerinde kurulu aydınlatma armatürleri ilgili yazılıma girilerek binada aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi tüketimi hesaplanmıştır.

Daha sonra günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan LED ışık kaynaklı armatürlerin teknik değerleri ve maliyetleri de yazılıma girilerek "AETG" hesaplanmıştır. Birebir değişim sonrası sağlanabilecek enerji tasarrufu analiz edilmiş ve binada yapılan iyileştirme çalışmaları sonrasında elde edilen değerler enerji tasarrufu ve aydınlatma kalite kriterleri kapsamında değerlendirilmiştir.

Hesaplamalarda gerekli aydınlatma kriterlerini sağlayacak, hacimlerin kullanım amaçları ve fiziksel özelliklerine uygun farklı armatürler de kullanılarak aydınlatma amaçlı elektrik enerjisi tüketimini en aza indirecek çözümler belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bilgiler ile binanın yeterli aydınlık düzeyine sahip olup olmadığı ve armatürlerin değişimi sonrası aydınlık düzeyindeki olası değişim incelenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, ilgili standartlar ile belirlenmiş seviyede aydınlık düzeyini sağlayacak aydınlatma sistemlerinin ekonomik analizlerinin yapılması ve değişimlerin uygulanabilir olup olmaması konularında literatüre katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

2. BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI İLE İLGİLİ UYGULAMALAR

Binaların enerji performanslarını belirlemek için ülkeler çeşitli yasal düzenlemeler gerçekleştirmektedir. Bu düzenlemeler ile binaların çevresel etkilerinin sınırları da belirlenmeye çalışılmaktadır. Örneğin, Amerika’da LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) programı, İngiltere’de BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) programı, Japonya’da CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) programı ve Avustralya’da ise Green Star programları, enerji performansının yanı sıra birçok başlıkta binaların çevresel etkilerini inceleyen ve günümüzde yaygın kullanılan programların başında gelmektedir.

Avrupa Birliği ülkeleri, binaların enerji performanslarını yasalarla düzenlemektedir. Binaların tükettikleri enerji sonucu meydana gelecek CO₂ emisyonları hesaplanarak, çevresel performansları da belirlenmektedir. Ülkemizin Avrupa Birliği mevzuatlarını takip ediyor ve TSE’nin Avrupa Standart Komitesi (CEN, Fr. Comité Européen de Normalisation) standartlarını kabul ediyor olması nedeniyle, tez çalışması kapsamında Avrupa Birliği’ndeki ve ülkemizdeki yasal düzenlemelere de yer verilmiştir.

2.1 Avrupa Birliği Binalarda Enerji Performansı Direktifi

Avrupa Birliği, binalarda kullanılan enerjinin verimliliğini arttırmak için 4 Ocak 2003 tarihinde Binalarda Enerji Performansı Direktifi 2002/91/EC’ni yayınlamıştır. Direktif, binaların enerji performanslarını değerlendirme konusundaki standartları belirlemektedir. Ayrıca yeni yapılan veya mevcut binaların denetimi ve enerji performansı açısından değerlendirilmesini sağlayacak mekanizmaların da kurulması hedeflenmiştir [15].

Direktifte binaların enerji performansı değerlendirilirken, bina dışı hava durumu ve iklim şartları dikkate alınmaktadır. Bu direktif ile binalara ait toplam enerji performansının asgari olarak hesaplanması yolu ile binaların sertifikalandırılması amaçlanmıştır. Bina havalandırma ve sıcak su sistemlerinin de belirli bir düzende denetlenmesi hedeflenmiştir.

Enerji performansı sertifikası 1000 m² kullanım alanından büyük binalar için verilecektir. Binalarda tüketilen toplam enerji ve bununla birlikte sera gazı salınımları dikkate alınacaktır. Ayrıca bu sertifika referans değerleri belirtmenin yanı sıra bina enerji performansı üzerinde olumlu etkisi olacak yöntemleri de içermektedir [16].

Yedi maddesi bulunan Binalarda Enerji Performansı Direktifi'ndeki düzenlemelerden beşi binaların enerji performansını arttırmak için yapılmıştır. Bunlar:

- Binaların bütüncül enerji performansını hesaplamak için kullanılacak ortak bir hesaplama metodolojisi belirlenmesi,
- Binalar için minimum enerji şartlarının belirlenmesi,
- Alternatif enerji sistemlerinin uygulanabilirliğinin araştırılması,
- Enerji performansı sertifikası,
- Sıcak su kazanlarının ve iklimlendirme sistemlerinin denetimi.

Binalardaki enerji performansı gereksinimlerinin minimum seviyede karşılanması ve maliyetlerin optimum seviyeye ulaştırılması için Aralık 2010 ve sonrasında Nisan 2011 tarihlerinde 2010/31/EU EPBD değişikliği ile birlikte 'Enerji Performans Gereksinimlerinin Optimum Düzeyde Maliyeti' (Cost Optimal Levels for Energy Performance Requirements) adını taşıyan rapor yayınlanmıştır [17].

Avrupa Birliği bu rapor ile birlikte 16 Ocak 2012 tarihinde, optimum maliyeti karşılaştırmalı bir metodoloji ile hesaplamak amaçlı "Yeniden Düzenlenmiş Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD recast)" ni yayınlamıştır [11].

19 Haziran 2018 yılında direktif, yapılan revizyonlarla son halini almış, 2050 yılına kadar binaların karbon salınımları ile ilgili uzun vadeli stratejiler geliştirmek zorunluluğu getirilmiş ve binalara otomasyon ve kontrol sistemlerinin kurulmasıyla ilgili akıllı bina teknolojilerinin de desteklenmesi kararlaştırılmıştır [18].

2.2 Türkiye’de Bina Enerji Performansı Süreçleri

Ülkemizin enerji ihtiyacının ithalata dayalı olması ve arz güvenliği açısından enerjinin kullanıldığı her alanda verimliliğin artırılması, israfla mücadele ve bununla birlikte enerji yoğunluğunun düşürülmesi en önemli konular arasında gelmektedir.

Ülkemizde, sektörlere göre incelendiğinde enerji tasarruf potansiyelinin binalarda %30, sanayide %20, ulaşımda %15 gibi büyük oranlarda olduğu belirlenmiştir [11]. 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu çıkarılarak enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Yine 2008 yılında bu kanun çerçevesinde “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” hazırlanarak uygulamaya dahil edilmiştir.

Kamu binalarında enerjinin verimli olarak kullanılmasını amaçlayan Başbakanlık Genelgesi 5.02.2008 tarihinde 2008/2 sayı ile yürürlüğe girmiştir. Bununla birlikte “Ulusal Enerji Verimliliği Hareketi” ve 2008 yılının “Enerji Verimliliği Yılı” olarak ilan edilmesi ile süreç hızlandırılmıştır [19].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Aralık 2008’de yürürlüğe girmiştir [20].

“Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi”, “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” gereği, mevcut ve yeni binaların enerji performas seviyesinin belirlenmesini sağlamak amacıyla 7 Aralık 2010 tarihinde yayınlanmıştır [21].

2.2.1 Enerji verimliliği kanunu

Enerjinin verimli kullanılması, çevresel etkilerinin azaltılması ve büyük oranda dışa bağımlı olduğumuz enerji kaynaklarının ülke ekonomisindeki etkisinin azaltılması amacı ile 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu çıkarılmıştır [20]. Bu amaçla enerjinin üretiminden tüketimine kadar her aşamada enerjinin verimli kullanılmasını sağlayacak usul ve esaslar belirlenmiştir.

2.2.2 TS 825 Isı yalıtımı kuralları

Bu standart 24 Mayıs 2008’de son halini alarak 26 Ağustos 2008 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 1999 yılında yürürlüğe giren standartın yerini alıp, tüm binalarda ısı yalıtımını zorunlu hale getirmiştir. Bu yönetmelik ile binalarda ısı yalıtımı yapılarak kayıpların azaltılması ve enerji tüketiminin düşürülmesi hedeflenmektedir. Binaların

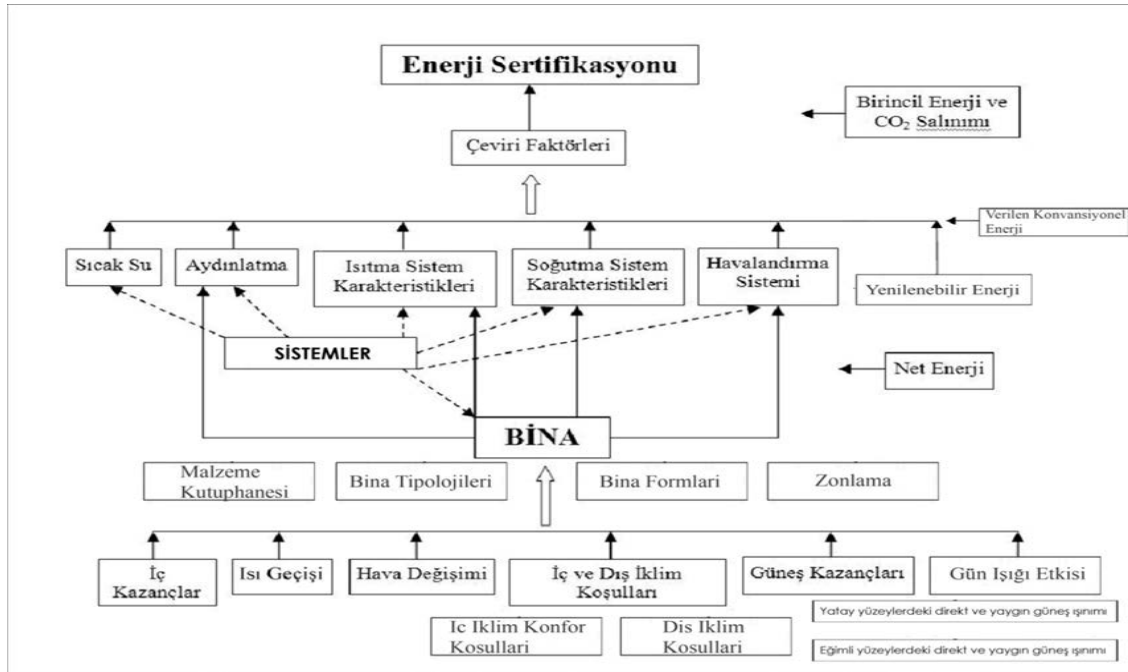
mimari olarak tasarımından itibaren, bölgesel iklim koşulları dikkate alınarak ısı yalıtımının yapılması amaçlanmaktadır [22].

2.2.3 Binalarda enerji performansı yönetmeliği

Enerji performansının sınıfını belirlemek hedefli bu yönetmelik, Enerji Verimliliği Kanunu çerçevesinde zorunlu hale gelmiş ve 05 Aralık 2008 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Hem Avrupa Birliği direktiflerinin zamanla değişmesi hem de yönetmelikteki bazı eksikliklerin giderilmesi amacı ile zaman içinde bazı değişiklikler yapılarak, 1 Nisan 2010 yılında “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” olarak tekrar yürürlüğe sokulmuştur. Yapılan değişikliklerden sonra yönetmelik, 28.04.2017 tarih ve 30051 sayı ile resmi gazetede yayınlanarak son halini almıştır.

Binaların enerji tüketimlerini hesaplama, sınırlandırma ve sınıflandırmayı gerektiren bu yönetmelik ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumu da düzenlenmektedir [21]. Hesaplama yönteminin yapısı Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2. 1 : Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi genel yapısı.

Ayrıca yeni düzenlemeler ile, aşırı enerji tüketerek ülkemizin toplam enerji tüketiminde büyük rol oynayan, 2000 m² üzerindeki büyük hastaneler, oteller, yurtlar ve spor merkezleri gibi konut harici binaların merkezi sıhhi sıcak su sisteminin güneş

enerjisi (güneş enerjili sıcak su sistemleri) ile desteklenmesi zorunluğu getirilmektedir. Yönetmelik kapsamında yapılacak hesaplamalar sonucu, yeni yapılan tüm binaların enerji kimlik belgelerinin en az C sınıfında olması gerekmektedir. Projelerin onayı ancak bu durumda gerçekleştirilecektir.

2.2.4 Aydınlatma enerji performansı

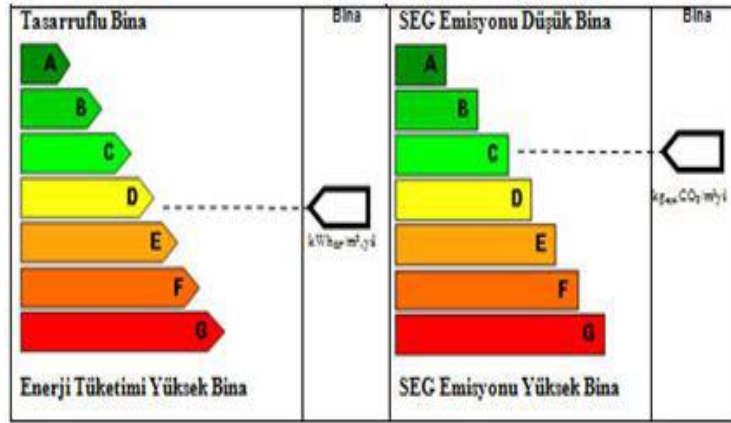
BEP-TR’de binaların aydınlatma sistemlerinin tükettiği elektrik enerjisi TS EN 15193 “Binalarda Enerji Performansı – Aydınlatma için enerji gereksinimleri” standardı baz alınarak ayrıca sınıflandırılmıştır [23]. İlgili hesaplamalara detaylı olarak 6. Bölüm’de yer verilmiştir. Aydınlik düzeyi hesaplamaları için referans değerler ise TS EN 12464-1 standardı baz alınarak hesaplanmaktadır.

BEP-TR yazılımındaki referans aydınlatma sistemi için konut dışı binalarda direkt aydınlatma sistemlerinin olduğu, günışığı etkisinin zayıf ve aydınlatma sisteminin elle (manuel) kontrolünün yapıldığı kabul edilmektedir. Gün ışığı bağımlılık faktörü referans binada, enleme göre tanımlanmış değerlerden belirlenmektedir. Gerçek binada ise hesaplama sonucu ulaşılan değerler kullanılmaktadır [24].

2.2.5 Enerji kimlik belgesi

Toplam alanları 1000 m²’den daha büyük binaların Enerji Kimlik Belgesi ‘5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu’ ve ‘Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ çerçevesinde zorunluluk haline gelmiştir. Bu belgede enerji ihtiyacı, enerji tüketimlerinin sınıfı, yalıtım değerleri ve ısıtma soğutmada kullanılan sistemlerin enerji verimliliği gibi bilgiler bulunmaktadır [21].

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (şu an Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) binalarda enerji performansını hesaplamak için yapmış olduğu çalışmalar neticesinde 2010 yılında bir tebliğ yayınlamıştır. Bu tebliğ “Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ” adı altında yürürlüğe girmiştir (BİB, 2010b). Ulusal hesaplama yöntemi sonucu geliştirilen BEP-TR yazılımı, internet aracılığı ile kullanıma açılmıştır (BİB, 2010c). Enerji Kimlik Belgesi (EKB) bu yazılım yardımıyla hazırlanarak binaların enerji tüketen sistemlerinin sınıflandırılması yapılabilmektedir. Şekill 2.2’ deki A ile G arasındaki skalalar, hem sera gazı emisyon sınıflarlarını hem de bina enerji performansını göstermektedir.



Şekil 2. 2 : Bina Enerji Performans Yönetmeliği'ndeki skalalar.

Bu sınıflandırma ile toplam enerji tüketiminin değerlendirilmesinin yanı sıra ısıtma ve soğutma sistemlerinin, aydınlatma ve sıcak su sistemlerinin de enerji performansları ayrı ayrı belirtilmektedir.

Binalarda enerji tüketen sistemlerin sınıflandırılması A ve G aralığındaki referanslara göre yapılmaktadır.

Yenilebilir enerji kaynağı kullanımının söz konusu olduğu durumlarda bu kullanım oranı da gösterilmektedir. Yıllık kWh/m² cinsinden enerji tüketim performans (Ep) değerlerine ilişkin skala Şekil 2.3'te verilmektedir [25].

Enerji sınıfı	Ep aralıkları
A	0-39
B	40-79
C	80-99
D	100-119
E	120-139
F	140-174
G	175-...

Şekil 2. 3 : Enerji kimlik belgesi için enerji sınıfı skalası.

2017 yılında yapılan düzenlemeye göre Enerji Kimlik Belgesi BEP-TR kullanılarak gerçekleştirilmektedir. BEP-TR yazılımı sadece yetkilendirilmiş kuruluşlara tanımlanan kullanıcı adı ve şifre ile internet üzerinden kullanılabilir.

Enerji Kimlik Belgesinin doldurulmamış bir örneği Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Bu belgede sırası ile, bina, enerji tüketimleri, açıklamalar ve EKB uzmanı ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Binanın

Tipi : Örnek Konut-2000 Yılı Sonrası-Sadece Kompakt Floresan Lamba
 İnşaat Yılı : 2008
 Kapalı Kullanma Alanı : 100
 Ada, Parseli :
 Adresi :

Bina Sahibinin

Adı Soyadı :
 Adresi :

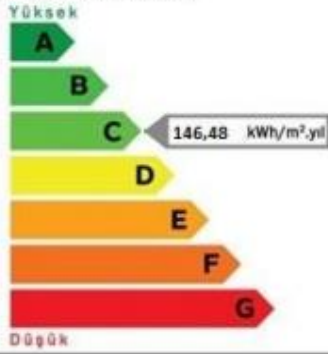
Müşterek Tesisatların Sahibi (gerekliyse)

Adı Soyadı :
 Adresi :

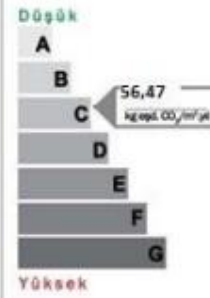
Binanın Resmi



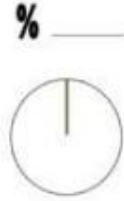
Enerji Performansı



SEG Emisyonu



Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı



Enerji Kullanım Alanı	Kullanılan Sistem	Yıllık Enerji Tüketimleri			Sınıfı
		Birimi (kWh/yıl)	Birimli (kWh/m².yıl)	Kullanım Alanı Başına (kWh/m².yıl)	
TOPLAM		14648,32	23586,18	146,48	A B C D E F G
ISITMA	Isıtma Sistemi	6869,85	6869,85	68,7	A B C D E F G
SIHHİ SICAK SU	Sıcak Su Sistemi	1206,53	1206,53	12,07	A B C D E F G
SOĞUTMA	Soğutma Sistemi	6023,27	14214,91	60,23	A B C D E F G
HAVALANDIRMA					
AYDINLATMA	Kompakt Floresan	548,68	1294,89	5,49	A B C D E F G

Açıklamalar

Belgenin

Numarası :
 Veriliş Tarihi :
 Son Geçerlilik Tarihi :

Belgeyi Düzenleyenin

Adı Soyadı :
 Firması :
 Oda Sicil Noşu :

İmza

Şekil 2. 4 : Örnek Enerji Kimlik Belgesi.

Bu yazılım da 2017 yılı içerisinde güncellenmiş ve aşağıdaki düzenlemeler yapılmıştır;

- Karmaşık olan veri giriş işlemi kolaylaştırılmıştır.

- Yazılımlarla kolayca yapılan çizimler, herhangi bir şablona gerek kalmadan sisteme yüklenebilecektir.
- Bu çizimler yardımı ile ölçüler sisteme basit bir şekilde aktarılabilir.
- Yazılımın hesaplama süreleri sistem basitleştirilerek düşürülmüştür.
- İnternet uygulamasında bilgisayara yüklenebilen bir yazılım kullanılarak web kaynaklı yavaşlamanın önüne geçilmiş olacaktır.
- İklim şartlarının daha net değerlendirilebilmesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü istasyonlarının verileri sisteme entegre edilmiştir.

Enerji Kimlik Belgesi düzenlenmesi için sertifikalı EKB uzmanı tarafından aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir.

- İlgili yazılımın bilgisayara kurulumu tamamlanır.
- Binaya ait bilgiler (mimari, mekanik, aydınlatma) yazılıma girilip bilgisayardan web tabanlı sisteme yüklenir.
- Bakanlığın sayfasındaki ilgili siteden sisteme kullanıcı girişi yapılır.
- İnternet sitesi üzerinden onaylanacak proje seçilir ve gönderilir.
- Binanın adresi girilip, bina ID'si alınır.
- Sisteme tanımlı harita bilgisinden bina yeri seçilerek ilgili belediye belirlenir.
- Belediye isteği onaylar veya gerekçesiyle birlikte EKB uzmanına iade eder.

2.2.6 Ulusal enerji verimliliği eylem planı 2017-2023

Ülkemizde enerji üretiminden tüketimine kadar olan tüm süreçlerde kaynaklarımızı en verimli şekilde kullanmak temel hedefler arasında bulunmaktadır. Bunun sonucunda hem ekonomik olarak gelişme sağlanması hem de bu tüketimin çevresel etkilerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla Enerji Verimliliği Kanunu'nun yürürlüğe girmesi ile yeni bir süreç başlatılmıştır. Bu kapsamda Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nin yayınlanması çok önemli bir vizyon ortaya koymuştur. 20 Şubat 2012 tarihinde oluşturulan bu belgede 2023 yılına kadar ulaşılması öngörülen hedefler ortaya konulmuştur. Bu çerçevede hazırlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ile birlikte yapılacak uygulamaların hayata geçirilmesi ve etkin bir şekilde takibi amaçlanmıştır.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı çerçevesinde, enerji verimliliği konusunda dünyada başarılı olmuş örnekler incelenerek ülkemiz şartlarına göre uygulanabilir hale getirilmiştir. Bu plan dahilinde yapılacak uygulamaların adımları ve takibi belirlenmektedir. Bu kapsamda yapılacak uygulamalar bir çok sektörü ilgilendirdiği için bu sektörler arasında koordinasyon kurulması da kaçınılmaz olmuştur.

Bu konuda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nü (şu an Enerji Verimliliği ve Çevre Daire Başkanlığı) görevlendirmiştir. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı çerçevesindeki uygulamalar 6 gruba ayrılmıştır.

- Bina ve hizmetler
- Enerji
- Ulaştırma
- Sanayi ve teknoloji
- Tarım
- Yatay konular

Bu 6 grup için öngörölmüş 55 eylem yardımıyla 2023 yılı için %14 oranında birincil enerji tüketiminde azalma hedeflenmektedir. Bu sayede 2023 yılına kadar elde edilecek tasarruf 23,9 MTEP olarak hesaplanmıştır.

Yapılması planlanan toplam yatırım miktarı ise 10,9 milyar ABD Dolarıdır. (Çizelge 2.1). 2033 yılı sonunda günümüz fiyatları ile hesaplanan toplam tasarruf miktarı 30,2 milyar ABD Doları olup bu uygulamaların geri dönüş süreleri de 7 yıl olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. 1 : Yıllara göre yatırımların ve öngörölen tasarrufların değışimi.

Yatırım İhtiyacı (Milyon ABD Doları)								
Yıllar	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Toplam
Yatırım	958	1279	1593	1681	1748	1824	1846	10928

Enerji Tasarrufu (Milyon ABD Doları)								
Yıllar	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Toplam
Tasarruf	202	571	872	1182	1504	1842	2191	8365

2.2.6.1 Eylem planının dayanakları

Enerji Verimliliği Kanunu’nun uygulamaya geçirilmesi ile birlikte

- Enerjinin etkin kullanılması
- Enerji israfının önüne geçilmesi
- Enerji maliyetlerini düşürerek ülke ekonomisine katkı sağlanması
- Çevrenin korunması

için enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Bu eylem planının yanı sıra Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi de 2010 ile 2023 yıllarını kapsamakta olup,

- Bina
- Sanayi
- Ulaştırma
- Enerji

sektörleri olmak üzere dört sektörde enerji verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılmasını amaçlamaktadır. Enerji Verimliliği Strateji Belgesinde 2012 ve 2023 yılları arasında yapılacak eylemlerin sonuç odaklı eylemler olması hedeflenmiştir.

Bununla birlikte 2014-2018 yılları için Onuncu Kalkınma Planında bulunan “Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı” da bu dönem içindeki enerji verimliliği yöntemlerini belirtmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından oluşturulan 2015-2019 Stratejik Planı “Tema 2: Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufu” temasını içermektedir. Bu tema içerisindeki

- Amaç 4: Enerjisini Verimli Kullanan Bir Türkiye
- Amaç 5: Enerji Verimliliğine ve Tasarrufuna Yönelik Gelişmiş Kapasite

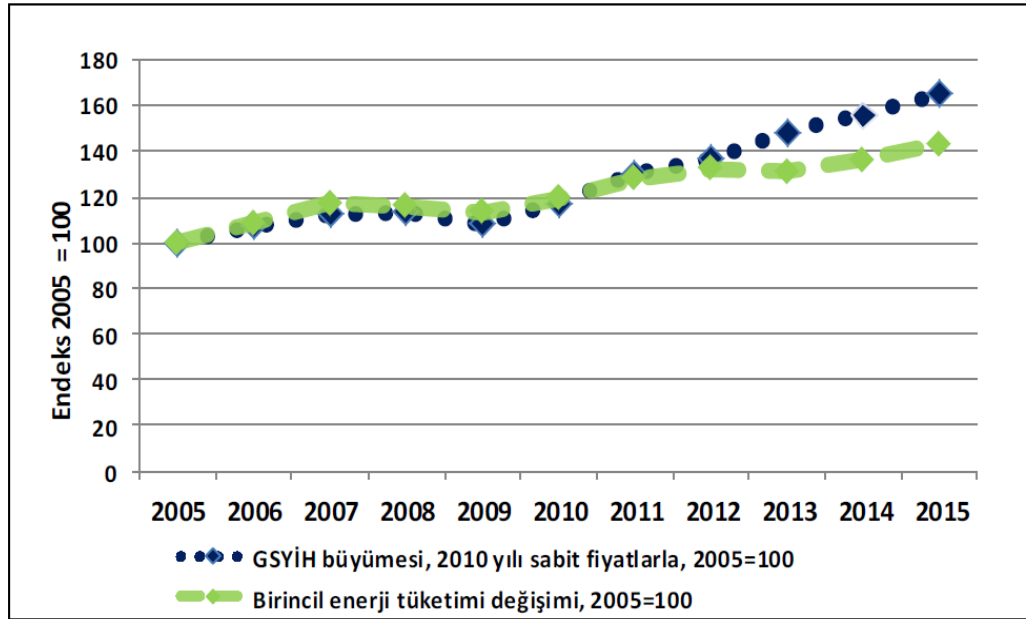
başlıkları içerisinde de enerji verimliliği ile ilgili hedefler belirtilmiştir.

25 Ekim 2012’de enerji verimliliği konusunda yayımlanan Avrupa Birliği Direktifi, birliğe üye her ülkeye kendi ulusal enerji verimliliği eylem planını hazırlama

konusunda sorumluluk yüklemiştir. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı da Avrupa Birliği direktifi ile uyumlu olması bakımından önemlidir.

2017 yılında Milli Enerji ve Maden Politikası'nda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda yer verilen hedefleri belirtmiştir.

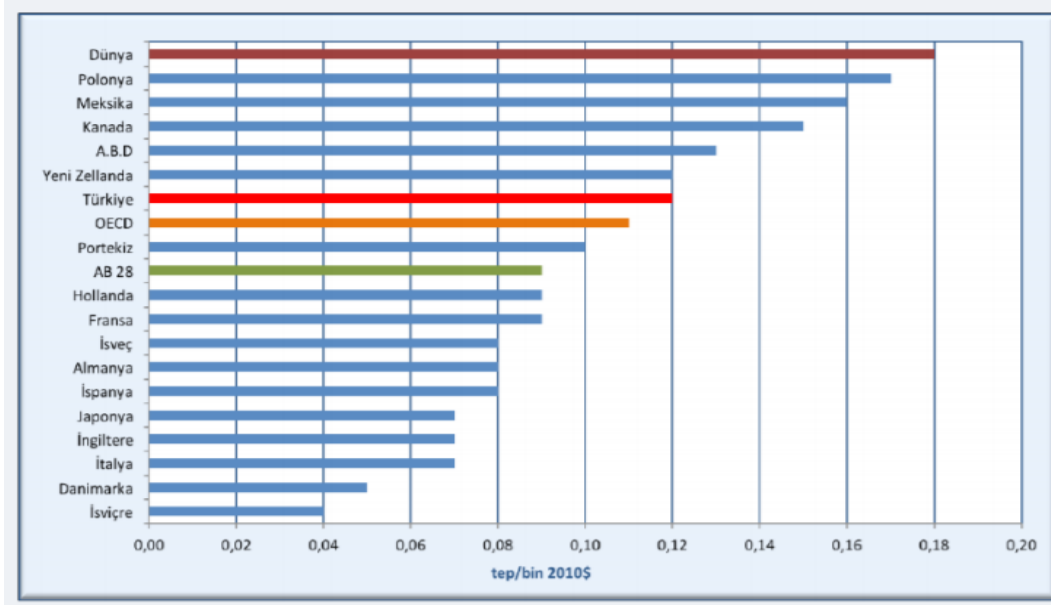
Eylem planında mevcut durum incelenmiş, 2009-2010 yılları dışındaki gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ve birincil enerji tüketiminin sürekli arttığı belirtilmiştir. Bu artış Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 2005-2014 yılları arasında ülkemizin GSYİH'sındaki bir birim artışa karşılık enerji tüketiminde 0,7 birimlik artış olmuştur.



Şekil 2. 5 : Yıllara Göre GSYİH ve Birincil Enerji Tüketimi [26].

Enerji verimliliğinin önemli bir göstergesi olan enerji yoğunluğu; 1000 dolarlık hâsıla için tüketilen TEP enerji miktarını temsil eder. Enerji yoğunluğunun düşük olması enerjinin verimli kullanıldığını, yüksek olması ise enerjinin verimsiz kullanıldığını göstermektedir.

Kişi başı enerji tüketiminin gelişmiş ülkelere oranla düşük olduğu ülkemizin enerji yoğunluğunun ise yüksek olduğu da Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2. 6 : Ülkeler için birincil enerji yoğunluğu değerleri [2].

Ülkemizin enerji yoğunluğunun, 2015 yılı için 1000 ABD Doları başına 0,12 TEP olduğu, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 12 Aralık 2016 tarihinde yayımlanmıştır. Enerji yoğunluğunun yüksek olması enerji tasarruf potansiyelinin bir göstergesidir. Enerji yoğunluğumuz 0,18 olan dünya ortalamasının altında kalmakla beraber, sırası ile 0,11-0,08-0,07-0,09 olan OECD, Almanya, İtalya ve AB ortalamasından fazladır [2].

2.2.6.2 Sektörel durum

Enerji verimliliği projeleri, uygulanacağı sektöre göre değişiklik göstermektedir. Sektörlerin enerji tasarrufu potansiyellerinde, gelişmişlik düzeylerine göre farklar görülmektedir. Sanayi ve teknoloji, enerji, ulaştırma, tarım, bina ve hizmet sektörlerindeki enerji verimliliği projeleri için Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda öngörülen yöntemler kısaca aşağıda belirtilmiştir.

Sanayi ve teknoloji

Birçok ülkede sanayi sektörü büyümenin liderliğini yapmaktadır. Bu durum ülkemiz için de geçerlidir. Sanayi sektörü 2015 yılı GSYİH'ımızda %26'lık payla önemli bir konumda bulunmaktadır.

Sanayi sektörü enerji tüketiminde de liderliğini sürdürmektedir. 2015 yılında nihai enerji tüketiminde %32,4'lük paya sahiptir. Yine 2015 yılındaki net elektrik tüketiminin ise %47,6'sını sanayi sektörü gerçekleştirmiştir. Bu tüketim oranları ve

enerji yoğunluğumuzun yüksekliği göz önüne alındığında sanayi sektörümüzde yapılabilecek enerji verimliliği uygulamalarının yukarıda belirtilen hedeflere ulaşılmasında önemli katkıları olacaktır.

Enerji Verimliliği Kanunu sanayi kuruluşlarının büyüklüğüne göre bazı yükümlülükler getirmiştir. Bu kuruluşlarda enerji verimliliği etütlerinin yapılması ve enerji yönetiminin kurgulanması zorunlu hale gelmiştir.

Enerji

Ülkemizde kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 3337 kWh'tir. Bu tüketim değerleri gelişmiş ülkelerin yaklaşık yarısı kadardır. Ülkemizdeki refah artışına paralel olarak kişi başına elektrik enerjisi tüketiminin de artması beklenmektedir.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda, enerji sektöründe belirlenen 10 eylemin uygulanması ile birlikte belirtilen hedeflere ulaşıp enerji verimliliğini arttırmak amaçlanmıştır.

Enerji sektörü için tanımlanmış 7. eylemde genel aydınlatmada enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla sodyum buharlı armatürlerin verimlilik ve maliyet analizi yapılarak LED dönüşümü için usus ve esaslarda revizyonların yapılması planlanmıştır. Yenilikçi teknolojiler takip edilerek yerli tasarım ve üretimin teşvik edilmesi de sağlanacaktır.

Ulaştırma

Ulaştırma sektörünün 2015 yılı içerisindeki toplam enerji tüketimindeki payı yaklaşık %25'tir. Ulaştırma sektörünün enerji tüketiminin düşürülmesi, enerji verimliliğinin artırılması için Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda 9 eylem planı yer almaktadır.

Bu eylemler neticesinde ulaşılması planlanan hedefler doğrultusunda,

- Demiryollarının yük taşımacılığı içerisindeki payının %15'e
- Demiryollarının yolcu taşımacılığı içerisindeki payının %15'e çıkarılması ve bu doğrultuda,
- Karayollarının yük taşımacılığı içerisindeki payının %60'a
- Karayollarının yolcu taşımacılığı içerisindeki payının %72'ye düşürülmesi hedeflenmiştir.

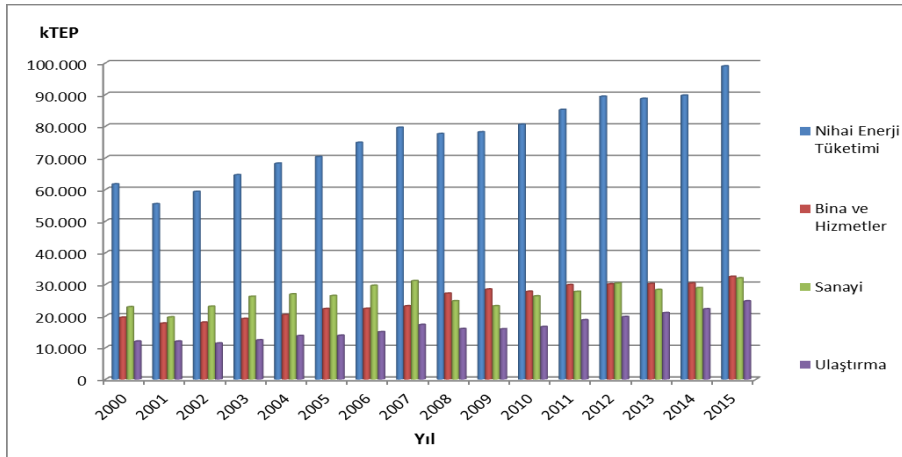
Tarım

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda tarım sektörü için, genellikle verimliliği yüksek araçların kullanılmasını destekleyen 6 eylem planı yer almaktadır.

Bina ve Hizmetler

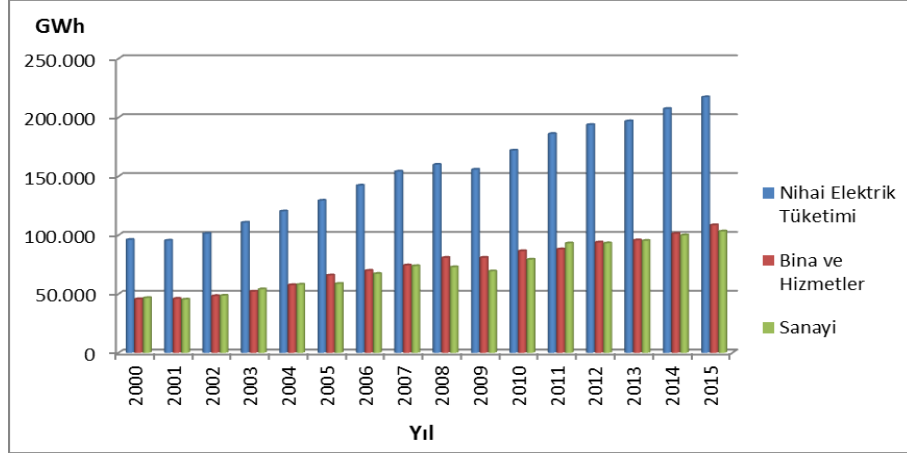
Ülkemizde bina sektörü sürekli büyüyen bir sektördür. Bina sektörünün enerji tüketimi 2000 yılında 19,5 MTEP dir. 2015 yılı verilerine göre toplam tüketim 32,4 MTEP'e kadar yükselmiştir. Bina sektörü toplam enerji tüketiminde %32,8'lik bir paya sahiptir. Bu değer toplam tüketimde Şekil 2.7'de görüldüğü gibi sanayi sektörünün tüketiminden biraz fazladır.

Bina sektörünün nihai elektrik tüketimi değişimi de nihai enerji tüketimi ile benzerlik göstermektedir. Bina sektörü 2000 yılında elektrik tüketiminde %38'lik bir oranda iken, 2015 yılında bu oran %49,9'a çıkarak sanayi sektörünün tüketiminden fazla olmuştur.



Şekil 2. 7 : Yıllara göre sektörlerin enerji tüketimindeki değişim [3].

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği binaların Enerji Kimlik Belgesi'nin en düşük C sınıfında olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk yeni binalar için olup, mevcut binaların resmi işlemlerindeki Enerji Kimlik Belgesine sahip olma zorunluluğu 2020 yılında başlayacak şekilde ertelenmiştir. Kamu binalarında enerji verimliliği potansiyelleri araştırılmakta ve uygulanması ile ilgili faaliyetler yürütülmektedir [2]. Sektörlerin elektrik enerjisi tüketimindeki artış Şekil 2.8'deki grafikte net olarak görünmektedir.



Şekil 2. 8 : Yıllara göre bina ve hizmetler sektörü elektrik tüketimindeki değişim [3].

Ülkemizde binaların enerji tüketimine, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ile bazı sınırlamalar getirilmiş ve bu değerleri aşan binalara yönelik yaptırım içeren eylemler tanımlanmıştır [2].

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda binalar ile ilgili genel olarak;

- Yeni yapılacak ve mevcut binaların verim sınıflarının iyileştirilmesi,
- Kamu sektöründeki tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi,
- Binalarda yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması,
- Kapsamlı bir bina envanteri çalışması yapılması,
- Bütün kesimlere hitap eden farkındalık çalışmaları yürütülmesi

alanlarını kapsayan eylemler yer almaktadır. Bu eylemler, yukarıda belirtilmiş olan hedefleri yakalamak için gerekli olan uygulamaların detaylarını belirlemektedir [2].

Eylem planında yer alan Bina ve Hizmet Sektöründeki eylemlerin beşincisini örnek olarak ele alırsak;

Eylemin Kodu ve Adı : **B5-Mevcut Binaların Rehabilitasyonu ve Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi**

Amacı : Bina sektöründe ısı yalıtımı ile yüksek verimli pencere, aydınlatma, beyaz eşya, ısı pompası, kazan ve asansör motoru kullanımı gibi alanlarda enerji verimliliğinin artırılması için son kullanıcıların bilinçlendirilmesi, doğrudan ya da dolaylı olarak desteklenmesi ve yükümlülükler getirilmesidir.

Yürütülecek Faaliyetler :

- Mevcut binaların rehabilitasyonuna yönelik makroekonomik analizler yapılacaktır.
- Yapılacak analizler doğrultusunda teşvik, destek, vergilendirme veya cezai yaptırım yöntemlerinden biri ya da bir kaçı seçilerek uygulamaya yönelik mekanizmalar geliştirilecektir.
- Gerekli mevzuat düzenlemeleri yapılacak ve uygulama planları tanımlanacaktır.
- Bilinçlendirme çalışmaları yürütülecek, mekanizmaya yönelik kılavuz ve rehber dokümanlar hazırlanacaktır.
- Uygulamaların kontrolü ve takibi için yöntem geliştirilecektir.

Çıktılar ve Göstergeler : Mevzuat düzenlemesi, mekanizma geliştirilmesi, rehabilite edilen bina sayısı

Sorumlu Kurum : Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

İlgili Kurum/Kuruluş : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maliye Bakanlığı (şu an Hazine ve Maliye Bakanlığı), Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (şu an Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı), BDDK

Zaman Planı : 2017 ve 2018 yıllarında uygun yöntem belirlenecek ve gerekli mevzuat çalışmaları yapılacaktır. 2019 yılından itibaren belirlenen yöntem uygulanmaya başlanacak ve sonuçları takip edilecektir [3].

3. BİNALARDA ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ

Binalarda elektrik enerjisi tüketimi genel olarak ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma, sıcak su üretimi, elektrikli ev aletleri gibi amaçlarla gerçekleşmektedir.

Hizmet binalarında aydınlatma sistemlerinin elektrik enerjisindeki payları %50'ye kadar yükselebilmektedir. Bu oranlar ülkeler veya bina yapılarına göre değişiklik gösterebilmektedir [24].

2015 yılı Türkiye elektrik dağıtım ve tüketim istatistikleri Çizelge 3.1'de verilmektedir. Burada da binaların elektrik tüketimlerinin toplam tüketimdeki payının yine diğer sektörlerle göre yüksek olduğu görülmektedir. Çizelgedeki aydınlatma genel aydınlatma olup büyük bölümünü yol ve çevre aydınlatma sistemleri oluşturmaktadır [27].

Çizelge 3. 1 : Tüketilen elektrik enerjisinin abone gruplarına göre dağılımı.

Abone Grubu	Tüketim (MWh)	Payı(%)	Abone (Adet)	Payı(%)
Mesken	51203826	22,1	33160763	81
Ticaret ve Kamu Hiz.	60668120	26,2	6487930	15,8
Sanayi	108297567	46,8	394686	0,7
Tarımsal Sulama	6110328	2,6	615448	1,5
Genel Aydınlatma	4228797	1,8	323042	0,8
Diğer	695108	0,3	49129	0,1
Toplam	231203746	100	40940998	100

Ülkemizde bina sektörünün enerji verimliliği açısından en büyük potansiyele sahip olduğu Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından belirlenmiştir [2].

Ticari Binaların Elektrik Enerjisi Tüketiminde Aydınlatmanın Payı

Kuzey Amerika Enerji Ajansı (U.S. Energy Information Administration) konut veya endüstriyel amaçla kullanılan binalar haricindeki binalara “ticari bina” tanımlaması

yapmıştır [27]. Ülkemizde sektörlerin yıllara göre elektrik tüketimleri oransal olarak Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2 : Net elektrik tüketiminin sektörlere ve yıllara göre dağılımı [28].

Yıl	Toplam (Gwh)	Mesken	Ticaret	Resmi daire (%)	Sanayi	Aydınlatma	Diğer
2000	98.296	24,3	9,5	4,2	49,7	4,6	7,7
2001	97.070	24,3	10,2	4,5	48,4	5	7,6
2002	102.948	22,9	10,6	4,4	49	5	8,1
2003	111.766	22,5	11,5	4,1	49,3	4,5	8,1
2004	121.142	22,8	12,9	3,7	49,2	3,7	7,7
2005	130.263	23,7	14,2	3,6	47,8	3,2	7,5
2006	143.071	24,1	14,2	4,2	47,5	2,8	7,2
2007	155.135	23,5	14,9	4,5	47,6	2,6	6,9
2008	161.948	24,4	14,8	4,5	46,2	2,5	7,6
2009	156.894	25	15,9	4,5	44,9	2,5	7,2
2010	172.051	24,1	16,1	4,1	36,1	2,2	7,4
2011	186.100	23,8	16,4	3,9	47,3	2,1	6,5
2012	194.923	23,3	16,3	4,5	47,4	2	6,5
2013	198.045	22,7	18,9	4,1	47,1	1,9	5,3
2014	207.375	22,3	19,2	3,9	47,2	1,9	5,5
2015	217.312	22	19,1	3,7	47,6	1,9	5,7
2016	231.204	22,2	18,8	3,9	46,9	1,8	6,4

Türkiye’de 2000 yılında tüketilen elektrik enerjisinin %9,5’i ticari binalarda tüketilmiştir. Aynı yıl tüm binaların toplam elektrik tüketimi %38’lik bir dilimi kapsamaktadır [28].

2013 yılında yapılmış bir çalışmada ticari binaların sayılarının düşük olmasına rağmen çalışma saatlerinin yüksek ve geniş alanlara sahip olmaları gibi nedenlerle yüksek elektrik enerjisi tüketimlerine sahip oldukları belirtilmiştir. Ticari bina sayısındaki artış da göz önüne alındığında ticari binaların elektrik tüketim payının, 2000 yılında %9,5 iken, 2016 yılında %18,8’e yükselmesi önemli bir göstergedir.

Ülkemizde istatistiksel bilgilerin eksikliğine olumlu katkı sağlamak amacıyla, Onaygil ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada İstanbul’daki on ticari bina analiz edilerek, binaların tükettikleri elektrik enerjisinin hesaplanması ve aydınlatma sistemlerinin bina elektrik enerjisi tüketimi içindeki oranının saptanması amaçlanmıştır. İncelenen binalardaki yıllık ortalama elektrik tüketimleri Çizelge 3.3’te verilmiştir [6].

Çizelge 3. 3 : Binaların yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimleri.

Bina	Kullanım Amacı	Alan (m ²)	kWh/yıl	kWh/m ² /yıl
1	Ofis	9924	1298247	232
2	Ofis	12997	1426575	220
3	Ofis	10200	5918621	580
4	Otel	3332	347874	104
5	Gösteri	52000	1438633	28
6	Ofis	18000	3112501	173
7	Ofis	17022	6044800	355
8	Ofis	35295	5435676	154
9	Ofis	25000	2873794	115
10	Otel	110000	17093888	155

Yine yapılan bu çalışmada binalarda tüketilen toplam elektrik enerjisi içinde aydınlatma sistemlerinin payı ve toplam tüketim değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.4'te belirtilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3. 4 : Aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisi.

Bina	Kullanım Amacı	Alan (m ²)	Ayd. Gücü (W)	Yıllık Aydınlatma Tüketimi (kWh/yıl)	Aydınlatmanın Payı (%)
1	Ofis	9924	121858	275529	21,2
2	Ofis	12997	145523	341425	23,9
3	Ofis	10200	122100	997764	16,7
4	Otel	3332	8872	24662	7,1
5	Gösteri	52000	182780	391645	27,2
6	Ofis	18000	260239	654409	21
7	Ofis	17022	181483	605420	10
8	Ofis	35295	255535	710518	13,1
9	Ofis	25000	244071	779592	27,1
10	Otel	110000	392819	1246128	7,3

Çizelge 3.4'teki bilgiler incelendiğinde, binalarda aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisi oranlarının binaların kullanım amaçları ile değişiklik gösterdiği görülmektedir. Ofis olarak kullanılan binalarda bu oran ortalama %20 iken, otel binasında %7 olduğu görülmüştür [6].

Elde edilen bu değerlerden yola çıkarak binalardaki aydınlatma verileri hesaplanmış ve karşılaştırma tabloları yapıp, Çizelge 3.5 oluşturulmuştur.

Çizelge 3. 5 : Aydınlatma enerjisi tüketimi değerlendirme kriterleri.

Bina	Kullanım Amacı	W/m²	lm/m²	lm/W
1	Ofis	12,3	767,3	62,5
2	Ofis	11,2	796,6	71,2
3	Ofis	12	837	69,9
4	Otel	2,7	165,4	62,1
5	Gösteri	3,5	96,5	27,4
6	Ofis	14,5	861,1	59,6
7	Ofis	10,7	541,9	50,8
8	Ofis	7,2	345,4	47,7
9	Ofis	9,8	545,9	55,9
10	Otel	3,6	144,9	40,6

4. OFİSLERDE AYDINLATMA TESİSATLARI

Çalışan performansı üzerinde aydınlatma kalitesinin etkisi büyüktür. Ofis aydınlatmasında hem ekonomik açıdan hesaplı hem de ferah bir ortam içinde çalışanların çalışma performansını arttırabilen sistemler hedeflenmektedir. Bu amaçlara uygun bir aydınlatma tasarımının oluşturulabilmesi için, tasarımcının aydınlatma tekniğine, aydınlatma tekniğinin temel kavramlarına, çalışanların yaş, cinsiyet, sağlık durumu gibi etmenlerine, armatürlerin olanak ve kapasitelerine hakim olması gerekir.

Günümüzde ofis ortamlarının aydınlatmasında alışlagelmişin dışında yöntemler de denenmeye başlanmıştır. Genel maksatlı kullanılan hacimlerde 60 cm x 60 cm boyutlarındaki armatürler, montaj ve bakımının kolaylığı sebebi ile karolaj asma tavanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1 : Örnek çalışma ofisi aydınlatmaları.

Bu tip armatürlerin içinde çoğunlukla 4 adet 18W gücünde T8 tipinde ya da 4 adet 14W gücünde T5 tipinde tüp flüoresan lambalar bulunmaktadır. Son yıllarda LED ışık kaynaklı armatürlerin yaygınlaşmasıyla birlikte 60 cm x 60 cm boyutlarında LED'li armatürlerin kullanıldığı da gözlemlenmektedir. Kullanılan LED'li armatürlerin güçleri 27W ve 45W arasında değişiklik göstermektedir. Bunların yanında yönetici ofislerinde genellikle downlight ve sarkıt tipi armatürler de tercih edilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2 : Örnek toplantı odası aydınlatması.

Kullanılacak armatür çeşidi, yerleşim şekilleri ve adetleri standartlarca belirlenmiş değişkenlere bağlıdır. Ancak, bu standartların anlaşılabilmesi için öncelikle aydınlatma tekniğinin temel kavramlarından bahsedilmesi gerekmektedir.

4.1 Ofis Hacimleri İçin Aydınlatma Tasarım Kriterleri

Ofis olarak kullanılan binalarda hacimler, kullanım amaçlarına göre birbirinden çok farklı olabilmekte ve buna bağlı olarak da aydınlatma gereksinimleri de değişiklik göstermektedir.

Hacimlerin kullanım amacına göre gerekli olan tasarım kriterleri S008/:2001 standardı ile Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından belirlenmiştir. Ülkemizde ise yürürlükte olan TS EN 12464-1 standardı ile bu kriterler net olarak ortaya konulmuştur [29].

Ofis amaçlı kullanılan binaların farklı işlevli bir çok hacmi bulunmaktadır. Hacme bağlı kriterler aydınlatma standartlarında detaylı olarak belirlenmiştir. En önemli kriter olarak aydınlık düzeyi gösterilebilir olsa da kamaşma ve renksel geriverim endeksi gibi kriterlerin önemi de yüksektir.

Ayrıca ofis hacimlerinde düzgünlük hacmin kullanım amacına göre 0,40 ile 0,70 arasında değişkenlik gösterir. Bu bölümde, ofisteki herhangi bir hacmin aydınlatılmasında göz önüne alınması gereken kriterler kısaca açıklanacaktır.

4.1.1 Aydınlık düzeyi

Aydınlatma tasarımının temel kriterlerinden biri aydınlık düzeyidir. Aydınlık düzeyi, birim alana dik düşen ışık akısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. “E” sembolü ile gösterilir ve birimi lüks (lx)’tür. Gerekli aydınlık düzeyleri hacmin kullanım amacına göre değişmektedir. Çizelge 4.1’de TS-12464-1 standardına göre bazı ofis hacimlerinde olması gereken aydınlık düzeyleri verilmiştir. Değerler olması gereken minimum değerlerdir.

Çizelge 4. 1 : Ofis hacimleri için gerekli aydınlık düzeyleri.

Alan – Görev – Aktivite Türleri	Ix
Dosya ve fotokopi odaları vb.	300
Yazma, tape, okuma ve veri işleme	500
Teknik çizim	750
CAD çalışma birimleri	500
Konferans ve toplantı salonları	500
Resepsiyon masası	300
Arşivler	200
Koridor ve dolaşım alanları	100
Merdiven, yürüme bantları ve asansörler	100
Asansör girişleri	100
Yükleme rampaları	150
Kantin, kafeterya vb.	200
Bekleme odaları	100
Fiziksel eksersiz salonları	300
Tuvalet, banyo, duş ve giysi değiştirme odaları	200
Revir odaları	500
Tıbbi müdahale merkezleri	500
Operasyon yönetim ya da kumanda odaları	200
Teleks, posta dağıtım ve santral odaları (Muhaberat odaları)	500
Standart ciltleme örn. kesme, harmanlama, katlama, yapıştırma, kabartma	500

4.1.2 Düzgünlük

Bir hacimde farklı noktalarda, çalışma düzlemlerindeki aydınlık düzeyleri farklılık gösterebilir. Ortalama düzgünlük en düşük aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı olarak hesaplanmakta ve “U₀” ile gösterilmektedir [30]. Çizelge 4.2’de TS-12464-1 standardına göre bazı ofis hacimlerinde olması gereken ortalama düzgünlük değerleri verilmiştir. Değerler olması gereken minimum değerlerdir.

Çizelge 4. 2 : Ofis hacimleri için ortalama düzgünlük değerleri.

Alan – Görev – Aktivite Türleri	U0
Dosya ve fotokopi odaları vb.	0,4
Yazma, tape, okuma ve veri işleme	0,6
Teknik çizim	0,7
CAD çalışma birimleri	0,6
Konferans ve toplantı salonları	0,6
Resepsiyon masası	0,6
Arşivler	0,4
Koridor ve dolaşım alanları	0,4
Merdiven, yürüme bantları ve asansörler	0,4
Asansör girişleri	0,4
Yükleme rampaları	0,4
Kantin, kafeterya vb.	0,4
Bekleme odaları	0,4
Fiziksel eksersiz salonları	0,4
Tuvalet, banyo, duş ve giysi değiştirme odaları	0,4
Revir odaları	0,6
Tıbbi müdahale merkezleri	0,6
Operasyon yönetim ya da kumanda odaları	0,4
Teleks, posta dağıtım ve santral odaları (Muhaberat odaları)	0,6
Standart ciltleme örn. kesme, harmanlama, katlama, yapıştırma, kabartma	0,6

4.1.3 Parıltı dağılımı

Parıltı, yüzeyin birim alanından, belirli bir doğrultuda yayılan ışık şiddeti olarak olarak tanımlanmaktadır. Işığın yansıdığı yüzeyin yapısı parıltı üzerindeki temel etkendir. Parıltının yüksek olması kamaşmaya, düşük olması ise rahatsız edici bir çalışma ortamına sebep olmaktadır. Çizelge 4.3'te görsel konforun sağlanabilmesi için bir kapalı çalışma ortamında önerilen yüzey yansıtma faktörleri verilmiştir.

Çizelge 4. 3 : Önerilen yüzey yansıtma faktörleri [29].

Yüzey	Yansıtma Faktörü
Tavan	0.6 – 0.9
Duvarlar	0.3 – 0.8
Çalışma düzlemi	0.2 – 0.6
Zemin	0.1 – 0.5

4.1.4 Kamaşma

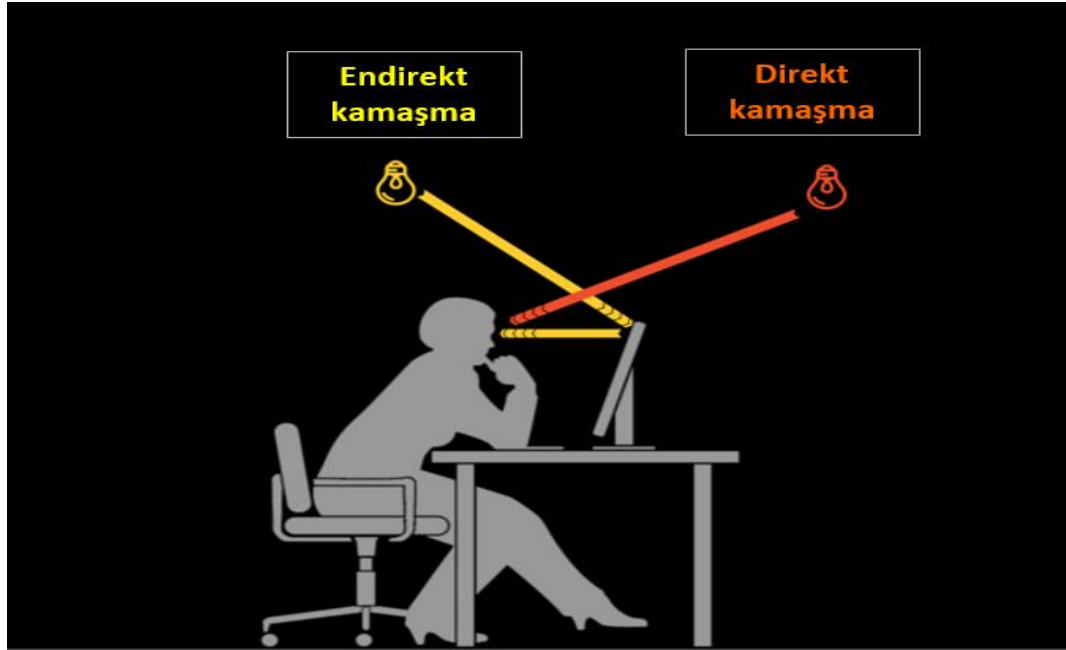
Aydınlatmada kamaşma, psikolojik kamaşma (ing. discomfort glare) ve fizyolojik kamaşma (ing. disability glare) olarak ikiye ayrılır.

Fizyolojik kamaşma göze giren ışık ile ilgilidir ve görme yeteneğinin bozulmasına ya da geçici olarak kaybolmasına sebep olur.

Psikolojik kamaşma ise, yüksek parlıtıya sahip yüzeylein, armatürlerin ya da pencerelerin görme koşullarında rahatsızlık oluşturması durumlarında ortaya çıkar [31].

Kamaşma değeri “UGR” katsayısı ile değerlendirilmektedir [31]. Kamaşma, yüksek parlıtıya sahip yüzeylein gözü doğrudan etkilemesiyle direkt kamaşma, yansıtıcı bir yüzeylein yansıyarak görme koşullarını bozmasıyla endirekt (dolaylı) kamaşma olarak iki şekilde gerçekleşebilir (şekil 4.3).

İ aydınlatmada kamaşma, birleşik kamaşma değeri (UGR – ing. Unified Glare Rating) hesaplanarak değerlendirilmekte ve bu değere göre TS EN 12464-1 standardıyla sınırlandırılmaktadır.



şekil 4. 3 : Direkt ve endirekt kamaşma örneği.

4.1.5 Renk sıcaklığı

Işık kaynaklarının ışık rengi, spektrumlarında farklı dalga boylarında meydana gelen ışınımın hangi oranda var olduğu ile ilgilidir. Işık kaynağının tayfında mavi dalga boyuna sahip ışınım hakimsen üretilen ışık daha mavimsi beyaz, kırmızı dalga boyuna sahip ışınım fazlaysa sarımsı beyaz olarak algılanacaktır. Başka bir deyişle, tüm dalga boylarını yutabilen siyah cisim olarak tanımlanan cisim ısıtıldığında önce cisim kızarmaya başlar, sıcaklık daha da arttırılırsa sarı, beyaz ve mavi renkte ışıma yapmaya başlar.

Renk sıcaklığının birimi “K” (Kelvin)’dir ve ışık kaynakları renk sıcaklıklarına bağlı olarak sıcak, ılık ve soğuk olarak adlandırılır. Çalışanların motivasyonunu artırması amacıyla ofis aydınlatmalarında kullanılan ışık kaynaklarının genellikle 4000 K ve üzeri renk sıcaklığına sahip olması önerilmektedir.

Son yıllarda üzerinde çok çalışılan bir konu olan “insan odaklı aydınlatma” yaklaşımında ise, günün farklı saatlerinde farklı renk sıcaklıkları ve farklı aydınlık düzeylerinin sağlanması üzerine araştırmalar ve uygulamalar gerçekleştirilmektedir [31, 32]. Çizelge 4.4’te ışık kaynaklarının farklı renk sıcaklıklarında elde edilen renksel izlenimler verilmiştir.

Çizelge 4. 4 : Işık kaynaklarının renk sıcaklıkları ve renk izlenimleri.

Renk Sıcaklığı (T_C) [K]	Renksel İzlenim
< 3300 K	Sıcak
3300 K – 5300 K	Ilık
> 5300 K	Soğuk

4.1.6 Renksel geriverim endeksi

Bir ışık kaynağının renksel geriverimi gün ışığı baz alınarak belirlenmektedir. “CRI” ya da “Ra” ile gösterilen bu değer birimsizdir [33]. Eğer Ra=100 ise bu ışık kaynağı altında renkler gün ışığının altında görüldüğü gibi algılanır.

Ofis aydınlatmalarında hacmin kullanım alanına bağlı olarak genellikle renksel geriverimi 80 ve üzeri olan ışık kaynaklarının kullanılması istenmektedir. Renksel geriverimlerine göre ışık kaynakları dört grup altında toplanmaktadır. Birinci grup çok iyi, ikinci grup iyi, üçüncü grup orta, dördüncü grup ise kötü renksel geriverime sahiptirler.

Daha önce de bahsedildiği üzere, ülkemizde TS EN 12464-1 standardı ile iç aydınlatma ile ilgili tanımlar, kriterler ve limitler belirtilmiştir. Ofis binalarındaki olası hacimlerde renksel geriverimi de içeren aydınlatma tasarım kriterleri kapsamında sağlanması gereken değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir [29].

Çizelge 4. 5 : Ofis binalarında bulunan hacimler için aydınlatma tasarım kriterleri.

Ref. no.	Alan – Görev – Aktivite Türleri	I _x	UGRL	U0	Ra
5.26.1	Dosya ve fotokopi odaları vb.	300	19	0,4	80
5.26.2	Yazma, tape, okuma ve veri işleme	500	19	0,6	80
5.26.3	Teknik çizim	750	16	0,7	80
5.26.4	CAD çalışma birimleri	500	19	0,6	80
5.26.5	Konferans ve toplantı salonları	500	19	0,6	80
5.26.6	Resepsiyon masası	300	22	0,6	80
5.26.7	Arşivler	200	25	0,4	80
5.1.1	Koridor ve dolaşım alanları	100	28	0,4	40
5.1.2	Merdiven, yürüme bantları ve asansörler	100	25	0,4	40
5.1.3	Asansör girişleri	100	25	0,4	40
5.1.4	Yükleme rampaları	150	25	0,4	40
5.2.1	Kantin, kafeterya vb.	200	22	0,4	80
5.2.2	Bekleme odaları	100	22	0,4	80
5.2.3	Fiziksel eksersiz salonları	300	22	0,4	80
5.2.4	Tuvalet, banyo, duş ve giysi değiştirme odaları	200	25	0,4	80
5.2.5	Revir odaları	500	19	0,6	80
5.2.6	Tıbbi müdahale merkezleri	500	16	0,6	90
5.3.1	Operasyon yönetim ya da kumanda odaları	200	25	0,4	60
5.3.2	Teleks, posta dağıtım ve santral odaları (Muhaberat odaları)	500	19	0,6	80
5.19.3	Standart ciltleme örn. kesme, harmanlama, katlama, yapıştırma, kabartma	500	22	0,6	80
5.20.3	Motor ve makina odaları	200	25	0,4	80
5.20.4	Pompa ve yoğunlaştırıcı (kondensan) odaları, santraller vb.	200	25	0,4	60
5.20.5	Kumanda odaları	500	16	0,7	80
5.29.1	Resepsiyon/kabul masaları ve taşıma üniteleri	300	22	0,6	80
5.29.2	Mutfak	500	22	0,6	80
5.29.3	Restoran, yemek salonu, dinlenme salonu ve lobiler	-	-	-	80
5.29.4	Self-servis restoranlar	200	22	0,4	80
5.29.5	Büfeler	300	22	0,6	80
5.29.6	Konferans salonları	500	19	0,6	80

4.2 Ofis Aydınlatmalarında Kullanılan Işık Kaynaklarının Tarihsel Gelişimi

Bazı gelişmeler bir anda meydana gelirken bazı gelişmelerin tamamlanması uzun yıllar alabilmektedir. Bu gelişmeler sonucunda çoğunlukla bir önceki gelişme kullanılabilirliğini kaybedebilmektedir. Örneğin enkandesan lambaların günümüzde üretimleri yasaklanmış ve yerlerini kısa bir süreliğine eko-halojen lambalara bırakmışlardır [34]. Bu bölümde, ofislerde kullanılabilen lambaların gelişimi özetlenmektedir.

4.2.1 Tüp flüoresan lamba

Tüp flüoresan lambalar balast, starter ve flüoresan kaplı tüplerden oluşmaktadırlar. Starter ve balast yardımı ile oluşan yüksek gerilim sonucu tüp içerisindeki gazın deşarj olması ile ışınlam meydana gelir. Bu ışınlam görülebilir bölgede değildir ve lambanın yüzeyine kaplanan fosfor tabakasından geçerken dalga boyu değişerek görülebilir hale geçer.

Tüp flüoresan lambalar ofis aydınlatmalarında son yıllara kadar yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Flüoresan lambaların renksel geriverim endeksi 60-85 aralığındadır (Şekil 4.4). Açma kapama sayıları lamba ömrü üzerinde önemli etkiye sahip olduğu için flüoresan lambaların açma/kapamanın sık yapıldığı hacimlerde kullanılması tavsiye edilmez. Ekonomik ömürleri elektronik balast ile kullanıldıklarında 20.000 saate çıkabilmektedir. Dimmerlenebilir (loşlaştırılabilir) elektronik balastlar yardımı ile ışık akıları istenilen seviyelere düşürülebilir.



Şekil 4. 4 : Tüp flüoresan lamba.

T12 tipi lambaların kullanımdan kalkması ile T8 tipi lambalar kullanılmaya başlamış, teknolojik gelişmelerle yüksek verimli T5 tipi flüoresan lambalar da kullanıma sunulmuştur. Etkinlik faktörleri 100 lm/W' ın üstüne çıkabilen flüoresan lambalar

3000 K - 6500 K arasında renk sıcaklıklarına sahiptir. Çizelge 4.6’da tüp flüoresan lambaların tiplerine göre teknik özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4. 6 : Tüp flüoresan lambaların teknik özellikleri [11].

Tip / Çap	Gücü [W]	Işık Akısı [lm]	Etkinlik Faktörü [lm/W]	Renksel Geriverim Grubu	Renk Sıcaklığı [K]
T12	20	1150	58	1B, 2A, 2B, 3	3000-6500
	40	2800	70		
	65	4400	68		
T8	18	1350	75	1A, 1B, 2A, 2B	3000-6500
	36	3350	93		
	58	5200	90		
T5	14	1200	86	1A, 1B	3000-6500
	28	2600	93		
	35	3300	94		

4.2.2 Kompakt flüoresan lamba

Kompakt flüoresan lambalar enkandesan lambaların yerine sıkça kullanılan lambalardır. Çalışma prensipleri tüp floüresan lambalara benzerdir. Kompakt flüoresan lambaların güçleri ve tipleri kendi içinde farklılık göstermektedir (Şekil 4.5). Dahili ve harici balastlı çeşitleri vardır. Değişik güç aralıklarında üretilmekte olan kompakt flüoresan lambaların etkinlik faktörleri 55-80 lm/W aralığındadır. Yaklaşık 10.000 saat ömür ve geleneksel armatürlere göre %80’e varan daha az enerji kullanımları ile ofis aydınlatmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4. 5 : Kompakt flüoresan lamba örnekleri.

Kompakt flüoresan lambalar iki grupta incelenebilir:

- E14 veya E27 duy başlıklı lambalar kendinden elektronik balastlıdır. Tesisatta değişiklik yapılmadan enkandesen lambalar yerine kullanılmaktadır.
- İğne bacaklı – soket başlıklı lambalar harici balastla birlikte kullanılırlar. Ofis aydınlatmalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kompakt flüoresan lambaların özellikleri Çizelge 4.7’de verilmektedir.

Çizelge 4. 7 : Kompakt floüresan lambaların teknik özellikleri [11].

	[W]	[lm]	[lm/W]	Grubu	[K]
Kendinden balastlı (E27 duy başlıklı)	11	600	58	1B	2700-6500
	15	850	70		
	20	1150	68		
	23	1450			
2 iğne bacaklı (Manyetik Balastlı)	10	600	75	1B	2700-6500
	13	900	93		
	18	1200	90		
	26	1800			
4 iğne bacaklı (Elektronik/Manyetik Balastlı)	18	1200	86	1B	2700-6500
	24	1800	93		
	36	2900	94		

4.2.3 Tungsten halojen lambalar

Tungsten halojen lambalar, enkandesen lambaların geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır.

İçinde bulunan gaz halindeki halojenler ile filamanın daha yüksek sıcaklıkta çalıştırılması sağlanarak 17-30 lm/W aralığında bir etkinlik faktörüne ulaşılır. Işık verimi ve renk sıcaklığı, enkandesen lambalara göre daha yüksek değerlerdedir. Tungsten-halojen lambalar 1 Eylül 2018 tarihi itibarıyla, Avrupa Birliği’nde ErP Yönetmeliği’ nin bir bölümü olarak yasaklanmıştır [35]. Renksel geriverimi çok yüksek olan lambalar loşlaştırılabilir özelliğine de sahiptir (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6 : Tungsten halojen lamba.

Tunsten-halojen lambalar ofislerde genellikle spot / downlight tipi armatürlerde, ömrünün uzun olması ve daha az enerji tüketimi gibi üstünlükleri nedeni ile enkandesen lambaların yerlerine tercih edilmişlerdir.

4.2.4 Metal halojen lambalar

Metal halojen lambalar genel olarak yüksek güçlü armatürler ile tavan yüksekliği fazla olan hacimlerde kullanılmaktadır (Şekil 4.7). Vurgu aydınlatmalarında ise düşük güçlü lambalar da tercih edilebilmektedir. Lamba içindeki metal buharı veya gazın iyonize olmasıyla oluşan deşarj sonucu ışık üretimi gerçekleşir. Etkinlik faktörü yaklaşık 90 lm/W olan lambalar, renksel geriverimlerinin yüksek olması, değişken renk sıcaklıkları gibi özellikleri nedeniyle tercih edilebilmektedir. Diğer yandan, fiyatlarının flüoresan lambalara göre oldukça yüksek olması kullanımlarını kısıtlamaktadır.



Şekil 4. 7 : Metal halojen lamba.

4.2.5 LED lambalar

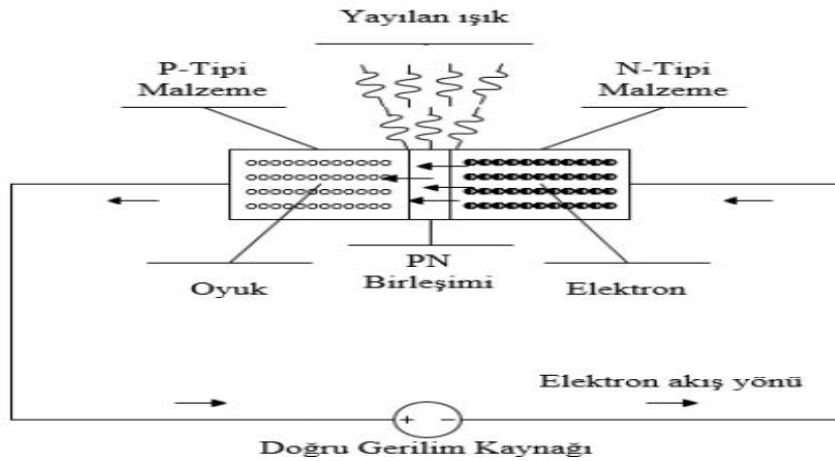
LED (Işık Yayan Diyot) lambaların temeli Oleg Vladimirovich Losev'in, 1920'li yıllarda diyotların ışık saçtığını farketmesine dayanmaktadır [36].

İlk modern LED'ler 1960 yıllarında Amerikalı Nick Holonyak tarafından bulunmuştur [36]. Bu süreç içinde LED'lerle beyaz ışık eldesi mümkün olmasına rağmen, düşük ışık akıları nedeniyle 1990 yılına kadar kullanımları hesap makinesi, göstergeler, dijital saatler gibi alanlarla kısıtlı kalmıştır.

1991 yılında Shuji Nakamura tarafından yüksek ışık akısına sahip LED üretilmesi ile günümüzde aydınlatma amaçlı kullanılan LED'lere geçiş başlamıştır [36]. Diğer yandan 2000 yılından sonra LED teknolojisinin ilerleyişi çok hızlı olmuş ve önce dekoratif amaçlı daha sonra da teknik uygulamalar olmak üzere, günümüzde kullanılan tüm ışık kaynaklarının yerini almaya başlamıştır.

4.2.5.1 LED'in yapısı ve çalışma prensibi

LED'ler genel olarak silisyum ve germanyum gibi kontrol edilebilir iletkenliğe sahip maddelerin farklı maddeler ile karışımı sonucu oluşturulan P-tipi ve N-tipi yarı iletkenlerin birleşiminden meydana gelmektedirler [37]. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi gerilim ile kutuplaştırılan PN birleşiminde elektronların N'den P'deki boşluklara geçişinde foton adı verilen ışık yayılır. PN ara bölmesine galyum ve benzeri maddelerin eklenmesi ile fotonlar görünür ışık haline gelirler.



Şekil 4. 8 : LED'lerin kutuplaştırılması.

LED'ler güçlerine göre düşük güçlü, orta güçlü ve yüksek güçlü olarak üç grupta incelenebilir. Düşük güçlü LED'ler 1W'ın altında güce sahip olan LED'lerdir. Boyutları çok küçük, sürüş akımları 1-20 mA aralığında olup aydınlatmada kullanılmazlar. Orta Güçlü LED'ler 1-3 W arasında güce sahiptir. 150 mA'e kadar sürüş akımları olan LED'lerdir. Yüksek güçlü LED'ler ise gücü 3W'ın üstündeki LED'lerdir. Sürüş akımları 1000mA ve üstüne çıkabilmektedir.

Kullanım alanlarına göre üretilmiş çeşitli LED'ler bulunmaktadır. Genel olarak SMD, COB ve POWER LED çeşitleri aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır.

SMD LED'lerin ışık yayan bölgeleri çip olarak adlandırılmaktadır. Çiple birlikte ışığın rengini belirleyen fosfor tabakayı koruyan kısımdan oluşmaktadır. SMD LED'ler devre kartlarının üzerlerine lehimlenerek kullanılmaktadır.

Şerit LED'lerde tek veya 3 çipli SMD LED'ler yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi çok farklı çeşitleri vardır. İç ortam aydınlatımında da sıkça kullanılmaktadır. Kodları genel olarak boyutlarını ifade etmektedir.



Şekil 4. 9 : SMD LED örnekleri.

COB LED birden fazla LED çipinin bir plaka üzerinde birleştirilmesi ile üretilirler. Şekil 4.10’da görüldüğü gibi çiplerin üzeri fosfor tabaka ile kaplanarak lamba gibi kullanılmaktadır. Montajı ve değiştirilmeleri kolaydır. Aydınlatma amaçlı özel olarak tasarlanabilmektedir.



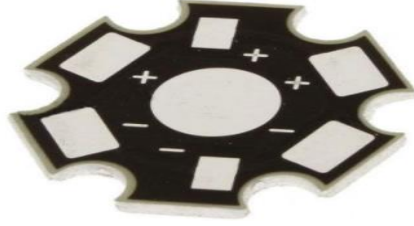
Şekil 4. 10 : COB LED örneği.

POWER LED’ler yüksek güçlü LED’lerdir. Aydınlatma amaçlı kullanıldıklarında yayılan ışığın odaklanabilmesi için lensler gerekmektedir (Şekil 4.11). POWER LED’lerin güç tüketimleri genellikle 1W ve 10 W arasında değişmektedir.



Şekil 4. 11 : POWER LED örneği.

Güçleri yüksek olduğundan ısınma problemini de çözebilmek amacı ile genellikle Şekil 4.12’de verildiği gibi bir soğutucu ile kullanılırlar.



Şekil 4. 12 : POWER LED’ler için tasarlanmış alüminyum soğutucu kart.

LED’lerin etkinlik faktörleri 200 lm/W değerine yaklaşmıştır. Laboratuvar şartlarında 300 lm/W üzerine çıkmıştır [36]. Bu sebeple Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi diğer aydınlatma kaynaklarına göre daha verimlidirler [36].

LED ışık kaynaklarının ekonomik ömürleri oldukça uzundur. Ancak LED’in ömrü, ortam koşulları ve sürücü kalitesi ile de ilgilidir. İdeal şartlarda ömürleri 100.000 saate kadar çıkabilmektedir.

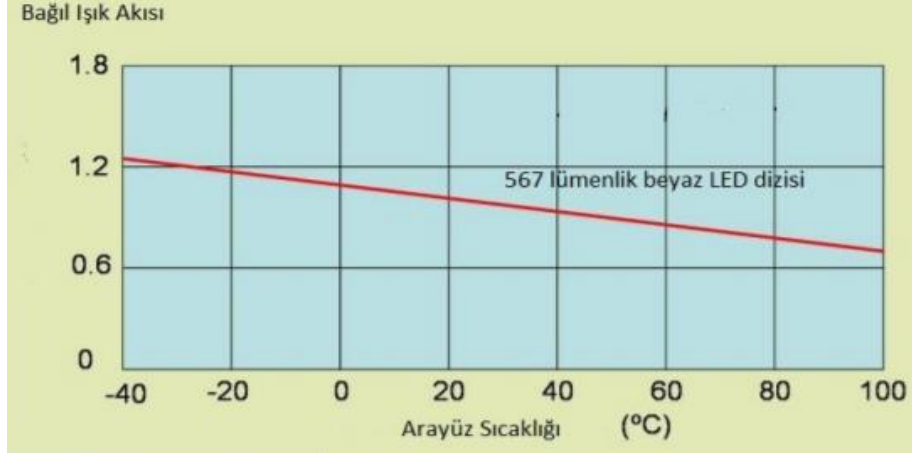
Çizelge 4. 8 : Ofis binalarında kullanılabilen ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri ve ekonomik ömürleri [36].

Işık Kaynağı	Etkinlik Faktörü [lm/W]	Ekonomik Ömür [s]
Tungsten halojen lamba	12-35	2.000-4.000
Kompakt flüoresan lamba	40-65	6.000-12.000
Tüp floresan lamba	50-100	10.000-16.000
Metal halojen lamba	50-100	6.000-12.000
LED	80-160	25.000-100.000

Geleneksel deşarj lambalarına kıyasla LED ışık kaynaklarının renksel geriverim değerleri daha yüksek olduğundan LED kullanılarak yapılan aydınlatmalarda, cisimlerin renkleri daha doğru görünmektedir [38].

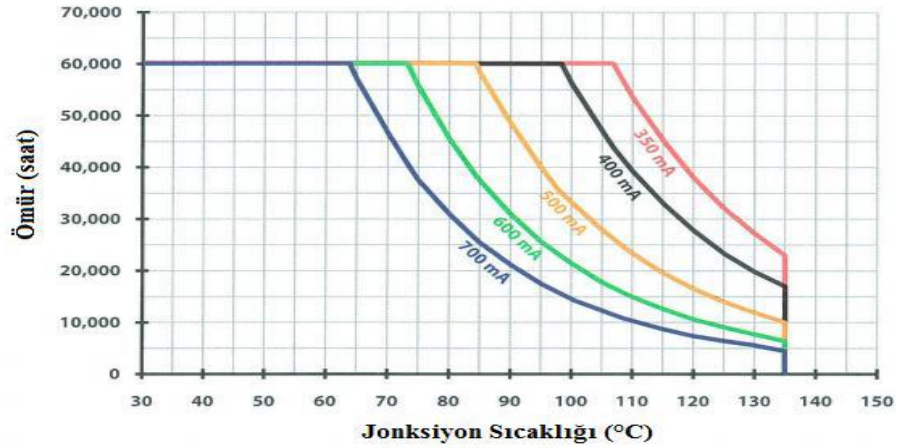
Diğer yandan, son yıllarda genel aydınlatma amaçlı LED teknolojisinde yaşanan gelişmeler ve diğer geleneksel lambalara yatırım yapılmaması gerçeği dikkate alınarak, dünyadaki aydınlatma sistemlerinde %30’a varan bir tasarrufun LED kullanımı yolu ile sağlanacağı açıklanmaktadır [34].

LED armatürlerde ısı, optik ve elektriksel (sürücü) tasarımın önemi büyüktür. Kökkaya tarafından 2015 yılında yapılmış olan çalışmada sıcaklığın LED ışık akısı üzerindeki etkisi Şekil 4.13'teki grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 4. 13 : Arayüz sıcaklığı ile ışık akısı arasındaki ilişki [39].

Sıcaklık sadece ışık akısını azaltmakla kalmayıp aynı zamanda LED'lerin ömürlerini de kısaltır. Sıcaklığın ışık akısı ve ömür üzerindeki etkisi Şekil 4.14'te verilmiştir. Sürücülerin kaliteli ve verimli olması da, LED armatürün verimliliği ve ömrü için önemli etkenlerden biridir. Yüksek enerji verimliliği olan sürücüler ile aşırı ısınma da engellenerek LED ömürlerine olumlu etki sağlanacaktır.



Şekil 4. 14 : LED ömrünün jonksiyon sıcaklığı ile değişimi [36].

LED'lerde ışığın istenilen doğrultulara yönlendirilmesi için çeşitli optik elemanlar gerekmektedir. Optik elemanlar LED'den çıkan ışığı kontrol etmek, belirli bir ışık dağılımı elde etmek için kullanılan bileşenlerdir.

Birinci optik genellikle LED'e doğrudan tutturulmuştur ve LED paketinin bir parçasıdır. Lensler LED paketlerine entegre edildiğinde birincil optik olarak

adlandırılırlar. İkinci ve üçüncü optik LED lamba ve armatürlerin fotometrik performansını belirler. İkinci ve üçüncü optikler, LED ışığın kayba uğramadan aydınlatılması istenilen alana belirli bir açıda yayılmasının sağlandığı sokak aydınlatmaları gibi farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Genellikle lamba ve armatürlerin uygun performansta çalışması için gereklidir, bu yüzden ürünlerin maliyetini de doğrudan etkiler.

4.3 LED Armatürler

Ofis aydınlatmalarında hacimlerin kullanım amaçlarına göre aydınlatma gereksinimleri ve çözümleri de çeşitlilik göstermektedir. Kurulacak aydınlatma sisteminin mimari yapıya ve kullanıma uygun olması gerekmektedir. Genel olarak panel, lineer ve downlight tipi armatürler ofis aydınlatmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. LED armatürler Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17’de örnekleri verildiği gibi birbirinden çok farklı çeşit ve güçlerde üretilmektedir.

Panel armatürler ofis amaçlı kullanılan hacimlerde sıkça kullanılan armatür tipleridir. Asma tavan türlerine uygun şekilde çözümler üretilmektedir. LED çiplerin yan yüzey kenarlarına yerleştirilmesi ile üretilen slim tipi ve gövdeye yerleştirilmesi ile üretilen tipleri de bulunmaktadır.



Şekil 4. 15 : LED panel armatür örnekleri.

Lineer armatürler genellikle koridor ve girişlerde kullanılmakla beraber ofis hacimlerinde de aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca gizli aydınlatma amaçlı olarak da kullanılmaktadır.



Şekil 4. 16 : LED lineer armatür örnekleri.

Downlight tipi armatürler ise genel olarak merdiven, koridor ve ıslak hacimlerde kullanılmaktadır. Toplantı veya konferans salonları, bina giriş alanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4. 17 : LED downlight armatür örnekleri.

5. AYDINLATMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir paya sahip olan aydınlatmanın enerji verimliliği çalışmalarında da payı büyük olacaktır. Aydınlatma sistemleri aydınlatma tasarım kriterleri göz önüne alınarak tasarlanmalıdır. Tasarımda bazı konulara dikkat edilerek hem aydınlatmanın kullanıcılar üzerindeki olumsuz fizyolojik etkileri önlenecek hem de enerjinin verimli bir şekilde kullanılması sağlanacaktır. Aydınlatma tasarımında dikkat edilmesi gereken yöntemlerin bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Etkinlik değeri yüksek olan verimli ışık kaynakları tercih edilmelidir.
- Aydınlatma armatürlerinin bakımlarının düzenli olarak yapılmasına dikkat edilmelidir.
- Lambalar ekonomik ömürleri sonunda yenileriyle değiştirilmelidir.
- Uzun saatler kullanılan iç mekanlarda, enerji kaybını minimuma indiren flüoresan lambalı ya da LED’li armatürler tercih edilmelidir.
- Aydınlatma ve bina tasarımları gün ışığından en yüksek seviyede faydalanacak biçimde tasarlanabilir. Sürekli çalışmanın yapılacağı alanlar binaların pencere kısımlarında tasarlanarak daha fazla gün ışığı kullanılabilir.
- Yansıtma yüzeylerinin, ışığın maksimum seviyede yansımısını sağlayacak renk ve özellikte olmasına dikkat edilmelidir.

Aydınlatmada kullanılan enerjinin etkin kullanılabilmesi için aşağıdaki faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar :

- Yapay aydınlatma sisteminin seçimi,
- Lamba / ışık kaynağı, armatür ve yardımcı araçların seçimi,
- Armatürlerin yerleştirilme yükseklikleri,
- Hesaplamalardaki doğruluk payı, kullanılan yazılımlar,
- Bakım faktörü [40,41].

Aydınlatma sistemleri, hacimlerin kullanım amaçlarına göre tasarlanmalıdır. Bu kriterler ilgili standartlarca belirtilmiştir.

Armatürde kullanılacak ışık kaynakları / lambalar etkinlik faktörü açısından değişiklik göstermektedirler. Enerji verimliliği yönü ile, renksel özellikleri birbirine yakın olan flüoresan veya günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanan LED ışık kaynaklı armatürlerin kullanılması ile yüksek oranda tasarruf edilmesi sağlanabilmektedir [42].

Armatür yüksekliğinin görsel konforu bozmayacak şekilde çalışma düzlemine mümkün olduğunca yakın olması sağlanmalıdır [41].

Aydınlatma sistemleri bilgisayar yazılımları yardımı ile kolaylıkla tasarlanabilmektedir. Kullanılacak yazılıma seçilen armatürün değerleri doğru girilmedikçe elde edilen sonuç yanlış olacaktır. Bu sebeple hem yazılım hem de armatür seçimi önemli bir detaydır.

Aydınlatmada uzun süreli kullanılan armatürlerin verimleri zamanla düşmektedir. Aynı miktarda enerji tüketirken ortama yaydıkları ışık akısı miktarı azalmakta, dolayısıyla sistemin verimi de düşmektedir. Arızalanan veya ekonomik ömrü dolan lambalar değiştirilmeli, bakım işlemleri de belirli periyotlarda aksatılmadan yapılmalıdır [43,44].

5.1 Aydınlatmada Enerji Kayıpları

Aydınlatmada enerji kayıplarını belirlemek önemlidir. Aydınlatmada verimliliği arttırabilmek için ışık kaynaklarında üretilen ışığın en verimli şekilde çalışma düzlemlerine yönlendirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple armatürlerin ve yardımcı elemanların da verimli olmaları önemlidir. Alanın kullanım amacının gerektirdiğinden fazla aydınlatılması enerji kaybına neden olacaktır [45].

5.1.1 Armatür kayıpları

Lambalar / ışık kaynakları, ışığın doğru yönlendirilebilmesi, kamaşmanın ve darbelerin önlenmesi, dış koşullara dayanıklı olabilmesi ve estetik bir görüntü için armatürlerle beraber kullanılabilir. Işık kaynaklarının çıkan toplam ışık akılarının armatürlerin bazı parçaları tarafından armatürden çıkışları engellenir. Armatürden çıkan ışık akısının lambadan çıkan ışık akısına oranına armatürün geri

verimi (η) denir. Tasarım esaslı armatürlerin geriverimleri 0,45-0,85 aralığındadır [44]. Türkiye’de üretici firmaların üretim aşamasında bu tip hesaplamaları gerekli hassasiyetle yapmamaları, armatür içinde ışığın engellenmesi ile armatürlerde ışığın kaybolmasına sebep olmaktadır. Çizelge 5.1’de Stockmar tarafından yapılan çalışmada belirlenen armatür verimlilik sınıfları gösterilmiştir [46].

Çizelge 5. 1 : Armatür verimlilik sınıfları

Verim Faktörü	Verimlilik Sınıfı
$\eta > 0,7$	E1 (çok iyi)
$0,7 > \eta > 0,5$	E2 (iyi)
$0,5 > \eta$	E3 (kötü)

5.1.2 Işığın mekan içinde doğru yönlendirilmesi

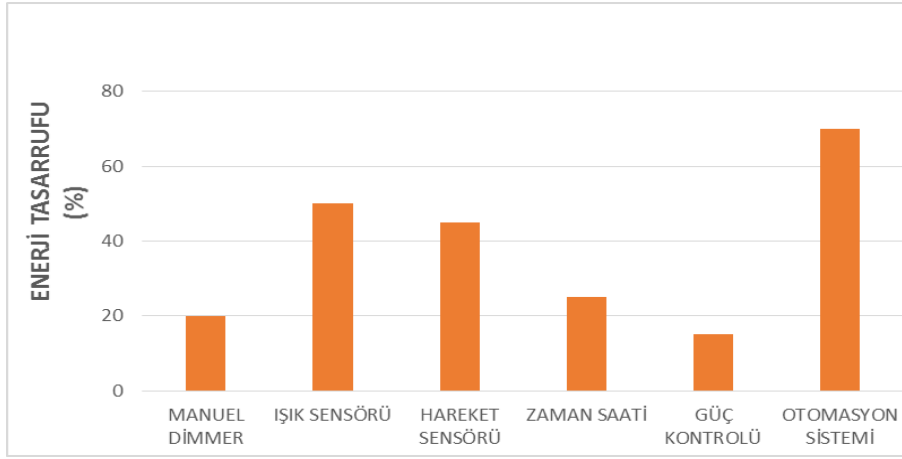
İyi görme koşullarının sağlanması aydınlatmanın en önemli kuralıdır. İyi görme, bakılan cismin tüm ayrıntılarını veya hareketini tam olarak görme olarak ifade edilebilir. Aydınlatma elemanlarıyla elde edilen aydınlığın niteliği iyi görme koşullarına uygun olmadığı durumlarda en sık yapılan hata aydınlık düzeyini arttırmak ve sonuç olarak enerji tüketimini yükseltmektedir. Bu uygulama hem görme şartlarını iyileştirmeyecek hem de gereğinden fazla aydınlatma sebebi ile kamaşmaya da sebep olacaktır. Bu durumda gerekli iyi görme koşulları sağlanamadığından, verimsiz bir aydınlatma yapılmış olur [42,43]. Gelişen aydınlatma teknolojilerinin yardımı ile optik elemanlar kullanılarak ışık kaynaklarından çıkan ışık akıları kullanım alanlarına optimum seviyede dağıtılabilir.

5.1.3 Aydınlatma kontrol sistemlerinin etkisi

Aydınlatmada enerji verimliliği sağlamanın bir diğer yolu da aydınlatma kontrol sistemleridir. Aydınlatma sistemlerinin kolay bir şekilde kontrolünü sağlamak ve aydınlatmayı etkili bir hale getirmek amacıyla kullanılan bu uygulamalarda, iyi programlanmış bir aydınlatma otomasyon sistemiyle uzun süreli çalışma saatlerinin olduğu iş yerlerinde hem çalışma verimi hem de enerji verimliliği artırılabilir. Uzaktan kontrol edilebilir özellikle olabilen aydınlatma otomasyon sistemleri büyük işyerlerinde kontrolü basit bir hale getirdiğinden tercih edilir. Aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılan dimmer (loşlaştırma) üniteleri enerji tasarrufu açısından oldukça yararlıdır [47]. Aynı hacim içerisinde aydınlık

düzeyi ihtiyacının zamanla değişiklik göstermesi durumunda dimmerler ile kontrol edilmesi, sistemin tamamının sürekli kontrol edilmesine göre daha ekonomik olabilmektedir.

Enerji tasarrufu sağlamak ve gün ışığından maksimum seviyede yararlanmak amacıyla içinde çalışan/kullanan kimsenin bulunmadığı zamanlarda varlık sensörleri ve çevre aydınlatma sistemlerinde de astrolojik rölenin otomasyon sistemine dahil edilmesiyle tasarruf miktarı artırılabilir. (Şekil 5.1).



Şekil 5. 1 : Aydınlatma kontrol sistemleriyle elde edilen enerji tasarruf oranları [48].

6. OFİS BİNALARINDA AYDINLATMA ENERJİ TASARRUF POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Binaların enerji tasarrufu için önerilecek yeni aydınlatma sistemlerinin, standartlarda önerilen aydınlatma kalite kriterlerini sağlaması gerekmektedir. Bu kriterlerin sağlanmasının yanında sistemlerin ekonomik ve uygulanabilir olması da önemlidir. Enerji tasarruf potansiyellerinin belirlenebilmesi için ofis binalarında, aydınlatma kalite performans hesaplarından ayrı olarak, enerji tasarruf potansiyeli hesaplamalarının da yapılması gerekmektedir.

Bu bölüm kapsamında, Bölüm 4’de açıklanan, ofis aydınlatması için sağlanması gereken aydınlatma kalite kriterlerini enerji etkin olarak sağlayabilecek aydınlatma sistemlerinin enerji performans ve verimlilik hesapları özetlenmiştir.

6.1 Aydınlatma Enerji Performansı Hesap Yöntemi

TS EN 15193 “Binalarda Enerji Performansı – Aydınlatma için enerji gereksinimleri” standardı aydınlatma sistemlerinin enerji performansının hesaplanmasını tanımlamaktadır [5]. Bu yöntem ile yapılan hesaplamalar neticesinde aydınlatma sisteminin enerji performansını gösteren sayısal bir sonuca ulaşılmaktadır. İlgili standart, aydınlatma sistemlerinin tükettikleri enerjiyi hesaplamak için “Hızlı Yöntem”, “Detaylı Yöntem” ve “Enerji İzlemesi” adı altında üç farklı hesaplama yöntemi sunmuştur.

Bu yöntemler kullanılarak yapılan hesaplamalar veya ölçümler sonucunda aydınlatma sistemlerinin toplam tüketimi bulunur. Elde edilen bu tüketimin bina alanına bölünmesi ile Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) değeri hesaplanır. AESG her bir metrekare için aydınlatma sisteminin tükettiği elektrik enerjisini belirtmektedir [49]. Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi 6.1 numaralı denklem yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$AESG=W/A \text{ [kWh / (m}^2\text{.yıl)]} \quad (6.1)$$

Formül 6.1'de aydınlatma sistemlerinin tükettiği elektrik enerjisi “W” ile binanın toplam alanı da “A” ile gösterilmektedir.

Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi’ne kurulu güçle beraber başka etkenler de etki etmektedir. Bunların içinde gün ışığı bağımlılık faktörü “F_D” ve kullanıma bağlı faktör “F_O” başta gelen faktörlerdendir. Aydınlatma kontrol sistemlerine gün ışığı algılayıcıları eklendiğinde gün ışığı bağımlılık faktörünün hesabı denklem 6.2’de gösterildiği gibidir. Bu denklemde “F_{D,S}” gün ışığı sağlama faktörünü, “F_{D,C}” ise yapay aydınlatmada kontrol tipi değişkenini ifade etmektedir.

$$F_D=1-(F_{D,S} \times F_{D,C}) \quad (6.2)$$

Kullanıma bağlı faktör “F_O” ise 6.3, 6.4 1"ve 6.5 no'lu denklemler ile ifade edilmektedir.

$$F_O=[7-(10 \times F_{OC})] \times (F_A-1) \quad (0,9 \leq F_A \leq 1) \quad (6.3)$$

$$F_O=F_{OC} + 0.2-F_A \quad (0,2 \leq F_A < 0,9) \quad (6.4)$$

$$F_O=1-[(1-F_{OC})] \times (F_A/0.2) \quad (0 \leq F_A < 0,2) \quad (6.5)$$

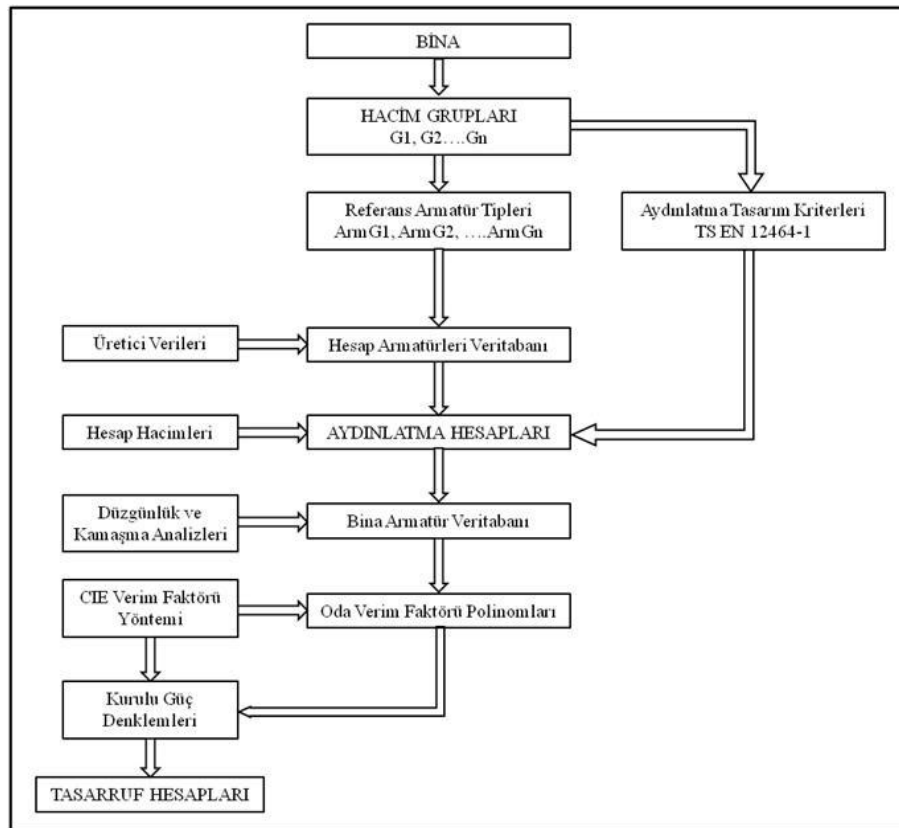
Bu denklemlerde kontrol tipi faktörüne (F_{D,C}) göre değişen kullanıma bağlı faktör “F_{O,C}” ile gösterilmektedir. “F_A” faktörü de yokluk faktörüdür. “F_A” değerleri her hacim için ulusal hesaplama yönteminde detaylandırılmıştır [49].

Bazı durumlarda yeni tesis edilmiş aydınlatma sisteminde aydınlık düzeyi belirtilen değerlerin üstünde olabilmektedir. Bu durumlarda sabit aydınlık düzeyi faktörü “F_C” kullanılarak loşlaştırma yapılabilmekte, bu sayede enerji tasarrufu yapılarak aydınlık düzeyi istenilen değerlerde tutulabilmektedir.

Güneşin doğuş ve batış saatlerini gösteren “T_D”, “T_N” saatleri de binanın konumuna bağlı olarak hesaplanmaktadır.

6.2 Enerji Tasarruf Potansiyeli Hesaplama Yöntemi - bep/ETA Yazılımı

İTÜ Enerji Enstitüsü’nde 2012 yılında tamamlanmış doktora çalışmasında BEP-TR den yola çıkılarak yeni bir Enerji Tasarrufu Analizi yöntemi tanımlanmış ve yazılımı (Bep/ETA) hazırlanmıştır [11]. Bu yöntem ile enerji tasarrufu için bir binada kurulu olan aydınlatma sistemi yerine önerilecek yeni sistemin kurulu gücünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemin şematik gösterimi Şekil 6.1’de verilmektedir.



Yöntemde Şekil 6.1’de verilen şemaya uygun olarak binada ofis amaçlı kullanılan hacimler fonksiyonları baz alınarak gruplanmaktadır. Her hacim grubuna uygun armatürler ve bu armatürlerin etkinlik faktörleri saptanmıştır. Bu yöntem ile kurulu güçler hacimler için ayrı ayrı elde edilebilmektedir.

Armatürlerin değişimi sonrası elde edilecek elektrik enerjisi tasarrufu, mevcut sistemin toplam kurulu gücü ile bu sistem yerine kullanılacak sistemin kurulu güçleri farkı kadardır.

6.2.1 Ofis binalarında bacım gruplarının belirlenmesi

Ofis binalarında farklı fonksiyonları olan çeşitli hacimler bulunmaktadır. Hacimlere göre ilgili standartta yer alan sağlanması gereken aydınlatma kalite kriterleri Bölüm 4’de Çizelge 4.6’da verilmektedir. Çalışma ofisleri, toplantı odaları, koridorlar ve teknik alanlar gibi çeşitli hacimler bunlardan bazılarıdır. Hacimleri kullanım amacı farklılıklarından yola çıkarak dört ana gruba ayırabiliriz.

G1 grubunda daha çok görsel koşulların sağlanması gereken hacimler bulunmaktadır. G2 grubunda ise içerisinde sürekli çalışmanın yapılmadığı, genel olarak sirkülasyonun sağlandığı veya geçici olarak kullanılan hacimler

bulunmaktadır. Temizlik konusunda hassas olunması gereken ortamlar ise G3 grubunda yer almaktadır. Kazan dairesi, elektrik odaları gibi teknik hacimler ve garaj gibi alanlar da G4 grubunda yer almaktadır.

Ofis binalarının dört ana gruba ayrılması, her bir grup içindeki hacimlerde enerji tasarrufu amacı ile kullanılabilecek armatürlerin saptanmasını kolaylaştırmaktadır.

Daha farklı hacimlerin bulunması durumunda yeni gruplamalar da yapılarak bu hacimler için de aynı denklemler kullanılabilecektir.

6.2.2 Gruplara uygun aydınlatma armatürleri

Enerji tasarrufu hesapları her bir hacim için ayrı ayrı yapılmaktadır. Dolayısı ile her grupta yer alan hacimlerin fonksiyonlarına göre armatürlerin belirlenmesi önemli bir konudur. Yardımcı ekipmanlar, hacmin boyutları, armatür montajı ve maliyeti gibi bir çok faktör dikkate alınmıştır.

Armatürün etkinlik faktörünün yüksek olması, armatürün verimli olarak tanımlanmasında temel özelliklerden biridir. Söz konusu doktora çalışması periyodunda LED armatürlerin kullanımı yaygın ve ekonomik olmadığı için enerji tasarrufu potansiyeli tüp flüoresan lambalar kullanılarak hesaplanmıştır. Günümüzde LED'lerin etkinlik faktörlerinin yüksek değerlere ulaşması, LED teknolojisinin yeterince gelişmiş, standartlarının tanımlanmış ve maliyetlerinin kullanılabilir düzeylere gelmiş olması gibi sebeplerle LED'ler ofis aydınlatmalarında da sıkça kullanılmaya başlamıştır. Buradan yola çıkarak, bu tez çalışmasında günümüz şartlarında kolay ulaşılabilir olması, maliyetinin yüksek olmaması ve enerji tasarrufu uygulamalarında geri ödeme sürelerinin kısa olması gibi nedenlerle LED ışıık kaynaklı armatürler kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile, söz konusu yöntemin yeni teknoloji kullanılarak güncellenmesi amaçlanmıştır.

6.2.3 Bakım faktörünün belirlenmesi

Aydınlatma sistemleri tarafından sağlanan aydınlık düzeyleri, ilk kurulumdan belirli süreler sonra azalmaktadır. Bu süre sonrasındaki aydınlık düzeyinin ilk durumdaki miktarına oranı Bakım Faktörü “BF” olarak tanımlanır. Bakım faktörünün hesaplanmasında bir çok etken söz konusudur. Bu etkenleri dikkate alarak hesaplanan bakım faktörü denklem 6.6’da verilmiştir [50].

$$\text{BF} = \text{OÖF} \times \text{LLBF} \times \text{ABF} \times \text{OBF} \quad (6.6)$$

Çizelge 6. 1 : Armatür bakım faktörü (ABF) tablosu [50].

Temizlik													
Peryodu	0	1				2				3			
Çevre Koşulları -	ÇT	T	N	K	ÇT	T	N	K	ÇT	T	N	K	
Arm. Tipi													
A	1	0,96	0,93	0,89	0,83	0,94	0,89	0,84	0,78	0,85	0,79	0,79	0,70
B	1	0,95	0,90	0,86	0,83	0,92	0,84	0,80	0,75	0,89	0,79	0,74	0,68
C	1	0,94	0,89	0,81	0,75	0,91	0,80	0,69	0,59	0,87	0,74	0,61	0,52
D	1	0,94	0,88	0,82	0,77	0,91	0,83	0,77	0,71	0,89	0,79	0,73	0,65
E	1	0,96	0,94	0,90	0,86	0,93	0,91	0,86	0,81	0,92	0,90	0,84	0,79
F	1	0,93	0,86	0,81	0,74	0,88	0,77	0,66	0,57	0,85	0,70	0,55	0,45

ÇT: Çok temiz; T: Temiz; N: Normal; K: Kirli

Oda bakım faktörü de bakım faktörünü etkileyen bir diğer parametredir. Çizelge 6.2’de örnek bir armatür için oda bakım faktörü (OBF) değerleri verilmektedir

Çizelge 6. 2 : Örnek bir armatür için oda bakım faktörü (OBF) tablosu [50].

ρ	Zaman [yıl]	0	1	2	3	4	5	6
T/D/Z	Çevre							
0.8/0.7/0.2	ÇT	1	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95
	T	1	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
	N	1	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	K	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0.8/0.5/0.2	ÇT	1	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	T	1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	N	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	K	1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
0.8/0.3/0.2	ÇT	1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	T	1	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	N	1	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	K	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0.7/0.7/0.2	ÇT	1	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	T	1	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	N	1	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
	K	1	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
0.7/0.5/0.2	ÇT	1	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	T	1	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	N	1	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	K	1	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
0.7/0.3/0.2	ÇT	1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	T	1	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	N	1	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93
	K	1	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91

ÇT: Çok temiz; T: Temiz; N: Normal; K: Kirli

Hacimde bulunan yüzeylerin yansıtma faktörleri oda bakım faktörünü etkilediği için bu yüzeylerin temizliği aydınlatma açısından da önemlidir. Bakım faktörü, hacimlerin kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir. Düzenli olarak armatür temizliği ve oda temizliği yapılan bir ortamda oda bakım faktörü 0.8'in üzerinde alınabilmektedir. Ancak endüstriyel ortamlarda bu değer 0.6'ya düşebilmektedir. Ofis binalarında genel olarak belirli periyotlarda temizlik ve bakım yapıldığı düşünülerek 0.8 değeri kullanılmaktadır [51]. Bu çalışma kapsamında yapılacak hesaplamalarda bakım faktörü, binanın temizliğinin düzenli yapılması, teknik personelin anında müdahalesi ve LED'lerin ömürleri dikkate alınarak 0.90 olarak kabul edilmiştir.

6.2.4 Ekonomik açıdan enerji tasarruf hesaplarının analizi

Ekonomik analizin yapılabilmesi için aydınlatma sistemlerine yapılacak olan yatırımın ve işletme maliyetinin belirlenmesi gerekmektedir. “Basit Seviye” ve “Detaylı Seviye” olarak iki analiz seviyesi tanımlanabilir [52].

Basit seviye analiz, detaylı analiz için gerekli olan süreden önce görüş edinilmek istendiğinde kullanılır. Yatırım sonucu sağlanacak tasarrufun, yatırım maliyetini geri ödeme süresini baz alır. Aydınlatma sistemleri genelde bir bina için bir kez tasarlandığından, yatırımın ve aydınlatma sisteminin zamanla değişen maliyetlerini göz önüne alan detaylı analizin yapılması da gerekebilir

Mevcut bir binada yapılacak aydınlatma sistemi tesisat yatırımının yıllık faydaya oranı olan basit geri ödeme süresi (BGÖS), denklem 6.7 ile hesaplanmaktadır.

$$BGÖS = (\text{Toplam Yatırım}) / (\text{Toplam yıllık fayda}) = M_y / M_f [\text{yıl}] \quad (6.7)$$

Bu çalışmamızda yapılacak yatırımın, en kısa sürede geri ödenmesi amaçlanmaktadır.

7. ÖRNEK UYGULAMA: TASARRUF POTANSİYELİ HESAPLAMA YÖNTEMİ İLE MEVCUT BİR OFİS BİNASININ ANALİZİ

Bu tez kapsamında bep/ETA yazılımının mevcut binaya uygulanması ve güncel ekonomik değerlerle LED aydınlatma sistemlerinin tasarruf analizinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Tüm hacimler farklı fonksiyonlara sahip olabileceği için ayrı ayrı ele alınmalıdır. Bu nedenle, söz konusu yazılım kullanılarak her hacime ait analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.1).



Şekil 7. 1 : bep/ETA yazılımının açılış ekranı.

Bu yazılım “Aydınlatma Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi”nde belirtilen ve ülkemiz şartlarına uygun hale getirilen tüm kriterleri içerecek şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca aydınlatma enerjisi sayısal göstergesinin hesaplanmasının yanında yazılım geliştirilerek yeni bilgilerin girişleri de mümkün hale getirilmiştir. Bu bilgiler kullanılarak enerji tasarruf analizini yapabilecek hesaplama yöntemi eklenmiştir.

Bu tezde, her türlü teknik bilgiye kolay ulaşımın mümkün olduğu bir örnek bina seçilerek detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Binanın ofis olarak kullanılan her hacminin mimari boyutları ölçülerek yazılıma girişleri yapılmıştır. Ayrıca her hacimde kullanılan aydınlatma armatürlerinin teknik özellikleri de yazılıma girilerek gerekli hesaplamalarda referans olarak kullanılacak toplam güçlere ulaşılmıştır.

Kare modüllü asma tavanlı binanın mevcut tesisatının birebir değişimine uygun olduğundan gerekli standartları sağlayan ve binada kısmen deneme amaçlı kullanılmaya başlayan 60 cm x 60 cm kare LED panel armatürün teknik değerleri ve maliyetleri yazılıma girilerek, birebir değişimin ekonomik analizi yapılmıştır. 2012 yılında yapılmış doktora çalışmasında metrakare başına 1 TL olarak hesaplanan aydınlatma kontrolü maliyeti, günümüz ekonomik koşulları ve incelenen binanın şartları göz önüne alınarak 10 TL/m² olarak güncellenmiştir. Bu güncellemede mevcut döviz kurları, bina aydınlatma tesisatı, aydınlatma panoları ve anahtarlama sistemleri göz önüne alınmıştır.

Gerçekleştirilen aydınlatma tasarım hesapları ile birebir değişimin standartlarda önerilen aydınlatma kalite kriterlerini sağlamadığı görülerek, bu değerleri sağlayacak tasarım hesaplamalarıyla gerekli armatür sayıları yeniden belirlenmiş ve dönüşümün ekonomik analizi yapılmıştır.

7.1 Yazılıma Veri Girdisi

Yazılıma veri girişlerinin eklenebilmesi için “INPUT” sayfası tanımlanmıştır. Yazılımda ilk input sayfası dahil toplam 29 adet çalışma sayfasında veri girişleri ve hesaplamalar yapılabilmektedir. Bu sayfaların genel görünümü Şekil 7.2’de verilmiştir.

No.	Grup	Hacmin Tanımı	BX	Hacim	BOYUTLAR			AYDINLATMA				İŞLETME				PENCERE			ATRIUM/GÇ			ÇATI	A _n
			-	O/E/X	l _R	w _R	h _R	E _m	MF	LDCC	h _{Ta}	R	t _{start}	t _{end}	C _{we}	typ	n	h _L	GDF	AT	H _{AT}	-	m ²
					m	m	m	lx	-	-	m	-	hh:mm	hh:mm	-	-	adet	m	-	-	m	-	m ²
127	G1	ofis	B1	O	2,2	4,1	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								9,02
128	G1	ofis	B1	O	5,0	4,1	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								20,50
129	G2	koridor	B1	O	5,7	2,2	2,6	200	0,80	1		1	08:30	17:30	0,71								12,54
130	G1	ofis	B1	O	5,3	4,5	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								23,85
131	G1	ofis	B1	O	4,3	6,5	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								27,95
132	G1	ofis	B1	O	3,5	6,5	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								22,75
133	G1	ofis	B1	O	7,8	5,5	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								42,90
134	G1	ofis	B1	O	3,8	6,0	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								22,80
135	G1	ofis	B1	O	3,8	6,1	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								23,18
136	G1	ofis	B1	O	3,8	7,9	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								30,02
137	G1	ofis	B1	O	3,8	7,9	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								30,02
138	G1	ofis	B1	O	3,8	5,4	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								20,52
139	G2	koridor	B1	O	1,5	34,0	2,6	200	0,80	1		1	08:30	17:30	0,71								51,00
140	G1	ofis	B1	O	5,0	8,0	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								40,00
141	G1	ofis	B1	O	7,0	8,0	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								56,00
142	G1	ofis	B1	O	8,0	7,0	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								56,00
143	G1	ofis	B1	O	8,0	7,0	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								56,00
144	G1	ofis	B1	O	5,5	6,8	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								37,40
145	G1	ofis	B1	O	5,4	3,7	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								19,98
146	G1	ofis	B1	O	4,0	4,0	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								16,00
147	G1	ofis	B1	O	4,0	7,4	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								29,60
148	G1	ofis	B1	O	12,2	2,9	2,6	500	0,80	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								35,38
149	G2	koridor	B1	O	11,1	7,1	2,6	200	0,80	1		1	08:30	17:30	0,71								78,81

Şekil 7. 2 : bep/ETA yazılımında hacim grubu, geometrik özellikler ve işletme koşullarının tanımlanmasına ilişkin veri giriş ekranı.

Input sayfası dışındaki sayfalara da veri girişi yapılabilmektedir. Örnek olarak, her hacimde ayrı ayrı bulunan armatürlerin tip ve güç bilgileri “LM” sayfasına girilebilmektedir (Şekil 7.3). Binadaki armatürlerin toplam sayılarını gösteren sayfa ise Şekil 7.4’te gösterilmiştir.

bep/ETA

© ITU/EE, 2012

TAB Armatür listesi

ATIF	Üretici	Tip	Ktg.	P _i	P _{pi}	LAMBALAR			PARAZİT GÜÇ			BALAST		DURUM
						Ktg.	Adet	P _i	P _{ci}	P _{ei}	t _e	Ktg.	P _{CG}	
				W	W		-	W	W	W	h	CNED	W	
A		4x18		90		TF	4	18					18	
B		2x36		90		TF	2	36					18	
C		1x18		27		TF	1	18					9	
D		2x18		36		CFL	2	18						
E														
F														
G														

Şekil 7.3 : Armatür verilerinin girildiği sayfa.

bep/ETA
© ITU/EE, 2012

TAB Odalara göre armatürlerin dağılımları

No.	Grup	Hacmin Tanımı	ARMATÜRLER																									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
			adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet	adet
TOPLAM			1600	385	137	92																						
175	G2	wc		2	1	2																						
176	G1	ofis		1																								
177	G1	ofis		3																								
178	G3	mutfak		9																								
179	G2	koridor		2																								
180	G2	koridor		1																								
181	G2	koridor		2																								
182	G1	ofis		9																								
183	G1	ofis		3																								
184	G1	ofis		1																								
185	G2	wc		2																								
186	G1	ofis		6																								
187	G1	ofis		9																								
188	G2	wc		3																								
189	G2	koridor		2																								
190	G2	koridor		10																								

Şekil 7.4 : Hacimlerdeki armatürlerin toplu gösterildiği sayfa.

7.2 Enerji Tasarrufu Hesaplamaları ve Yazılımın Çıktıları

Veri girişlerinin ardından aydınlatma enerjisi sayısal göstergesinin (AESG) hesaplanabilmesi için gerekli olan değerler yazılım tarafından her hacim için hesaplanarak, sonuçlar Şekil 7.5’te görüldüğü gibi “OUTPUT” sayfasında

verilmektedir. Bu çalışma kapsamında öncelikle incelenen binanın kurulu güçleri ve yıllık toplam elektrik enerjisi tüketimi belirlenmektedir.

bep/ETA
© ITU/EE, 2012

TAB Oda listesi - sonuçlar

No.	Grup	Hacmin Tanımı	ENERJİ TÜKETİMİ			FAKTÖRLER					SÜRELER		GÜÇ		ACİL DURUM AY.		E _m -A
			W	W _L	W _P	F ₀	F ₀	F _C	F _A	F _{OC}	t ₀	t _u	P _n	P _{pc}	P _{em}	t _{em}	
			kWh/yıl	kWh/yıl	kWh/yıl	-	-	-	-	-	h	h	W	W	W	h	kim
151	G2	koridor	1.055,9	1.055,9		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	450				8,3
152	G1	ofis	422,4	422,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	180				14,6
153	G1	ofis	422,4	422,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	180				12,5
154	G2	koridor	422,4	422,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	180				3,1
155	G2	koridor	211,2	211,2		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	90				2,1
156	G2	koridor	211,2	211,2		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	90				2,1
157	G2	koridor	422,4	422,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	180				3,1
158	G2	wc	633,5	633,5		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	270				3,0
159	G2	koridor	1.689,4	1.689,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	720				7,6
160	G2	koridor	1.900,6	1.900,6		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	810				12,6
161	G1	ofis	844,7	844,7		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	360				9,9
162	G1	ofis	844,7	844,7		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	360				12,0
163	G1	ofis	422,4	422,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	180				8,6
164	G1	ofis	422,4	422,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	180				6,9
165	G1	ofis	1.267,1	1.267,1		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	540				16,9
166	G1	ofis	1.267,1	1.267,1		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	540				18,2
167	G1	ofis	1.267,1	1.267,1		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	540				20,8
168	G1	ofis	422,4	422,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	180				12,9
169	G3	ofis	422,4	422,4		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	180				15,7
170	G2	koridor	211,2	211,2		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	90				2,4
171	G1	ofis	633,5	633,5		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	270				14,6
172	G1	ofis	31.592,3	31.592,3		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	13.464				620,0
173	G2	koridor	211,2	211,2		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	90				3,1
174	G2	koridor	211,2	211,2		1,00	1,00	1,00		1,00	2.299	47	90				3,1

Şekil 7.5 : Yazılım tarafından veri girişleri sonrası elde edilen değerler.

Yazılım tarafından, girişi yapılmış oda boyutları en, boy, yükseklik ve çalışma yüksekliği (a, b, h, h_c) kullanılarak oda endeksine ulaşılmakta, ilgili hacmin grubu (G1, G2, G3, G4) belirlenerek armatür verim faktörü ve oda verim faktörü hesaplanmaktadır (Şekil 7.6).

No.	Grup	Hacmin Tanımı	BX	Hacim	BOYUTLAR			AYDINLATMA				İŞLETME			PENCERE			ATRİYUM/GÖÇ			ÇATI	A _n	
					l ₀	w _R	h ₀	E _m	MF	LDCC	h _{fa}	R	t _{start}	t _{end}	C _{we}	typ	n	h _L	GDF	AT			H _{AT}
			-	O/E/X	m	m	m	lx	-	-	m	-	hh:mm	hh:mm	-	-	adet	m	-	-	m	-	m ²
130	G1	ofis	B1	0	5,3	4,5	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								23,85
131	G1	ofis	B1	0	4,3	6,5	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								27,95
132	G1	ofis	B1	0	3,5	6,5	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								22,75
133	G1	ofis	B1	0	7,8	5,5	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								42,90
134	G1	ofis	B1	0	3,8	6,0	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								22,80
135	G1	ofis	B1	0	3,8	6,1	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								23,18
136	G1	ofis	B1	0	3,8	7,9	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								30,02
137	G1	ofis	B1	0	3,8	7,9	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								30,02
138	G1	ofis	B1	0	3,8	5,4	2,6	500	0,90	1	0,85	1	08:30	17:30	0,71								20,52

Şekil 7.6 : Ölçümleri yapılmış hacimlerin boyutları.

Verim faktörü çalışma düzlemine ulaşan ışık akısının ışık kaynaklarında üretilen ışık akısına oranı olarak tanımlanır. Armatür ve oda verim faktörlerinin çarpımı olarak Denklem 7.1’ de gösterilmektedir.

$$\eta = \eta_{\text{arm}} \times \eta_{\text{oda}} \quad (7.1)$$

Her bir hacim için hesaplanan verim faktörü yardımı ile, tanımlanmış denklemler sonucu hesaplanan mevcut ve yeni kurulu güçler ve değişim sonrasında elde edilecek enerji tasarrufu “OUTPUT” sayfasında gösterilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi verilerinin yanısıra, olası değişim sonrası elde edilebilecek elektrik enerjisi tasarrufuna da ulaşılmaktadır. Hesaplamalar sonucu yeni sistemin aydınlatma enerjisi tasarruf göstergesi de elde edilmektedir.

7.3 Örnek Uygulama

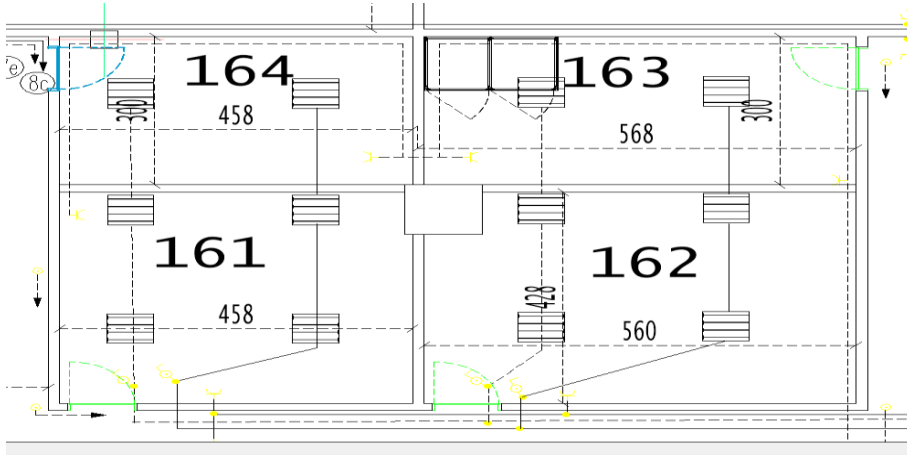
Tez kapsamında bir ofis binası hem proje hem de uygulama olarak incelenmiş tüm veriler Bep/ETA hesaplama sistemine girilmiştir. Örnek binamız İstanbul Yenibosna ilçesinde 1998 yılında inşaa edilmiştir (Şekil 7.7). Karma kullanım amaçlı inşaa edilmiş bina üretim, matbaa, TV ve radyo yayını ile ofis amaçlı kullanılmaktadır.



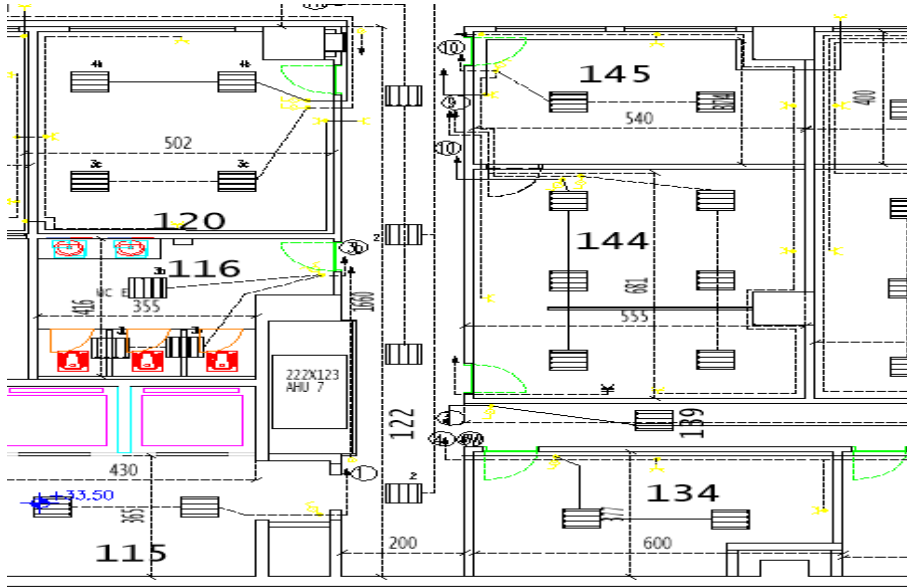
Şekil 7. 7 : Tez kapsamında incelenen bina.

Binada yaklaşık 26.180 metrekarelik bir alan incelenmiş olup, incelenen toplam hacim sayısı 368’dir. Toplam alan içerisinde G1 türü hacimlerin alanı 11.445 metrekare, G2 türü hacimlerin alanı ise 12.846 metrekare, G3 türü hacimlerin alanı 93 metrekare, G4 türü hacimlerin alanı ise 1.796 metrekaredir. Ofis, koridor kafeterya ve benzeri gibi alanlar toplamda 24.291 metrekarelik alan ile toplam alanın yaklaşık % 93’ünü oluşturmaktadır. Binanın aydınlatma enerji verimliliği analizi yapılırken, incelenen hacimler içinde dağılım oranının yüksek ve bu alanlara uygun armatürlerin piyasada belirli standartlarda erişilebilir olmasından dolayı, sadece G1 ve G2 türü hacimler dikkate alınmıştır (Şekil 7.8 ve 7.9).

Binada ofis olarak kullanılan alanlar tasarlanırken ortalama aydınlık düzeyi 300 lx olacak şekilde projelendirilmiş ve armatürler bu aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir. Tavan yapısı olarak beyaz 60 cm x 60 cm asma tavan kullanılırken duvar ve zemin kaplamasında da aydınlık ortam sağlanabilmesi için açık renkli malzemeler tercih edilmiştir. Mevcut durumda çok az sayıda hacim ortalama 500 lx aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 7.8 : İncelenen örnek ofis hacimleri.



Şekil 7.9 : İncelenen örnek koridor ve merdiven sahanlığı.

Birkaç özel hacim ve teknik alanlar haricinde, koridor, ofis, ortak kullanım alanları ve ıslak hacimlerin tamamında çift parabolik reflektörlü, 4x18 W gücünde, manyetik balastlı tüp flüoresan lambalı armatürler kullanılmıştır (Şekil 7.10). Bu armatürlere zaman içinde birkaç kez bakım yapılması denenmiş, ancak bakım uygulamalarının maliyetleri yüksek, veriminin ise düşük olduğu görülerek uygulamalara son

verilmiştir. Herhangi bir arıza olmadığı sürece armatürlere ve lambalara müdahale edilmemiş, arıza durumunda ise değişim yapılmıştır.



Şekil 7. 10 : 4x18 W flüoresan lambalı çift parabolik reflektörlü kare armatürler ile aydınlatılmış hacim.

Bina içerisindeki hacimlerde zaman zaman gelen taleplere göre değişiklikler gerçekleşmiştir. Bu değişiklikler esnasında da son zamanlara kadar aydınlatma şeklinin bütünlüğü korunmuştur. Ancak zamanla LED aydınlatma teknolojisinin gelişmesi ve maliyet olarak erişilebilir seviyeye gelmesi ile sayısı çok az olan bazı hacimlerde tadilatlar yapılarak 60 cm x 60 cm LED ışık kaynaklı panel armatürler kullanılmaya başlanmıştır. Bu kullanımda dahi binanın mevcut tesisatını bozmayacak şekilde değişim tercih edilmiş, armatür sayısı ve yerine sadık kalınarak değişimler tamamlanmıştır. Bu değişimlerin ana sebeplerinden biri, bina yönetiminin enerji tasarrufu sağlamak ve aydınlık düzeyini artırmak için LED aydınlatma sistemlerinin sağlayacağı olanakları test etmek istemesidir (Şekil 7.11).



Şekil 7. 11 : 60 cm x 60 cm LED panel armatürler ile aydınlatılmış oda.

7.3.1 Binada yapılan hesaplama ve ölçüm çalışmaları

Tez kapsamında teorik hesaplamaların yanı sıra Dialux yazılımı kullanılarak ve hacimlerde çeşitli ölçümler yapılarak da hesaplamalar desteklenmiştir. Dialux yazılımı yardımı ile binada bulunan 8 adet ofis ve 8 adet koridor ve dolaşım alanları için tasarım hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalar, ofislerde kullanılabilecek verimli aydınlatma sistemini belirleyebilmek ve olasılıkları karşılaştırmak amacıyla downlight tipi LED, lineer LED ve 60 cm x 60 cm panel LED armatürler ile tekrarlanmıştır. Kullanılan tüm armatürler 4000 K renk sıcaklığında ve renksel reriverim endeksleri de $CRI > 80$ 'dir.

Birinci armatür, 60 cm x 60 cm LED panel armatür olup 27,1 W gücünde, 3310,9 lümen ışık akısına ve 122,1 lm/W etkinlik faktörüne sahiptir. Bu armatüre ait teknik bilgiler Ek A Şekil A1'de verilmiştir. Binada halihazırda kısmi armatür dönüşümlerinde kullanılmıştır.

İkinci armatür yüksek verimli, 60 cm x 60 cm LED panel armatür olup 23 W gücünde, 3400 lümen ışık akısına ve 147,8 lm/W etkinlik faktörüne sahiptir. Bu armatüre ait teknik bilgiler Ek A Şekil A2'de verilmiştir.

Üçüncü armatür, Lineer LED armatür olup 30 cm x 120 cm boyutlarında, 23 W gücünde, 3400 lümen ışık akısına ve 147,8 lm/W etkinlik faktörüne sahiptir. Bu armatüre ait teknik bilgiler Ek A Şekil A3'te verilmiştir.

Dördüncü armatür, Lineer LED armatür olup 8 cm x 120 cm boyutlarında, 24 W gücünde, 3400 lümen ışık akısına ve 141,6 lm/W etkinlik faktörüne sahiptir. Bu armatüre ait teknik bilgiler Ek A Şekil A4'te verilmiştir.

Beşinci armatür ise Downlight tipi LED armatür olup, 26,7 W gücünde, 2910,9 lümen ışık akısına ve 108,7 lm/W etkinlik faktörüne sahiptir. Bu armatüre ait teknik bilgiler Ek A Şekil A5'te verilmiştir.

Armatürlerin 60 cm x 60 cm LED panel armatürlerle birebir değişimi sonucunda armatür satın alma fiyatı dışında herhangi bir ilave maliyet ortaya çıkmamaktadır. Lineer ve downlight tipi armatürlerde ise asma tavan tadilatı maliyetleri söz konusudur.

Ofis hacimlerinde armatürlerin birebir değişimi sonucu 60 cm x 60 cm LED panel armatürler ve 30 cm x 120 cm lineer LED armatür için Dialux hesaplama sonuçları Çizelge 7.1’de verilmiştir. Birebir değişim için boyutları nedeniyle tavan yapısında daha fazla montaj işçiliği gerektiren 4 nolu armatür bu hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Çizelge 7. 1 : Ofis hacimlerinde birebir değişimde LED panel ve Lineer LED armatürler kullanıldığında tasarım hesap sonuçları.

Hacim No	En m	Boy m	Armatür No	Etkinlik Faktörü lm/W	Arm. Sayısı	Arm. Gücü W	E _{ort}	U ₀	W/m ²	W/m ² /100 lx
1	5,7	4,7	1	122	4(2x2)	27,1	337	0,74	4,05	1,20
			2	147	4(2x2)	23	406	0,71	3,43	0,85
			3	147	4(2x2)	23	404	0,72	3,43	0,85
2	12	9,9	1	122	16(4x4)	27,1	366	0,68	3,65	1,00
			2	147	16(4x4)	23	405	0,69	3,10	0,76
			3	147	16(4x4)	23	405	0,68	3,10	0,76
3	8,6	3,6	1	122	4(2x2)	27,1	291	0,59	3,50	1,20
			2	147	4(2x2)	23	356	0,39	2,97	0,83
			3	147	4(2x2)	23	355	0,42	2,97	0,84
4	6,9	4,2	1	122	3(1x3)	27,1	260	0,55	2,81	1,08
			2	147	3(1x3)	23	324	0,44	2,38	0,73
			3	147	3(1x3)	23	324	0,43	2,38	0,73
5	9	7,8	1	122	9(3x3)	27,1	327	0,69	3,47	1,06
			2	147	9(3x3)	23	372	0,67	2,95	0,79
			3	147	9(3x3)	23	370	0,68	2,95	0,80
6	7,8	4,4	1	122	6(2x3)	27,1	396	0,75	4,74	1,20
			2	147	6(2x3)	23	469	0,73	4,02	0,86
			3	147	6(2x3)	23	467	0,73	4,02	0,86
7	7,6	3	1	122	3(1x3)	27,1	292	0,70	3,57	1,22
			2	147	3(1x3)	23	367	0,66	3,03	0,82
			3	147	3(1x3)	23	367	0,65	3,03	0,82
8	6,4	2,8	1	122	2(1x2)	27,1	243	0,67	3,02	1,24
			2	147	2(1x2)	23	311	0,63	2,57	0,83
			3	147	2(1x2)	23	310	0,63	2,57	0,83

Çizelge 7.1 incelendiğinde, söz konusu binada daha önce aydınlatma tasarımları 300 lx’e göre yapıldığı için Armatür 1’in kullanıldığı tesisatlarda ortalama aydınlık düzeyleri 243 lx ila 396 lx, düzgünlükler 0,55 ila 0,75, W/m² değerleri 2,81 ila 4,74, W/m²/100lx değerleri de 1,06 ila 1,24 arasında değişmektedir. Buna karşın yüksek verimli armatürlerin kullanıldığı diğer tesisatlarda armatür etkinlik faktörlerinin daha iyi olmasından dolayı ortalama aydınlık düzeyi değerlerinin 400 lx’lerin üzerine çıkabildiği ancak hiç bir tesisatın 500 lx’ü sağlayamadığı görülmektedir. Bu

armatürlerin kullanıldığı durumlarda ise ortalama aydınlık düzeyleri minimum 310 lx maksimum 469 lx, düzgünlükler 0,39 ila 0,73, W/m² değerleri 2,38 ila 4,02, W/m²/100lx değerleri de 0,73 ila 0,86 arasında değişmektedir.

Dolaşım ve koridor gibi hacimlerde armatürlerin birebir değişimi sonucu 60 cm x 60 cm LED panel armatür, 30 cm x 120 cm lineer LED armatür ve Downlight tipi LED armatürler için Dialux sonuçları Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7. 2 : Dolaşım ve koridor hacimlerinde birebir değişimde LED panel, Lineer LED ve Downlight armatürler kullanıldığında tasarım hesap sonuçları.

Hacim No	En m	Boy m	Armatür No	Etkinlik Faktörü lm/W	Arm. Sayısı	Arm. Gücü W	E _{ort}	U ₀	W/m ²	W/m ² /100 lx
1	29	2	1	122	1x4	27,1	121	0,23	1,88	1,55
			3	147	1x4	23	146	0,10	1,60	1,10
			5	109	1x4	26,7	109	0,22	1,88	1,72
2	54	2,2	1	122	1x15	27,1	230	0,54	3,39	1,47
			3	147	1x15	23	273	0,50	2,89	1,06
			5	109	1x15	26,7	208	0,50	3,39	1,63
3	4,3	3,7	1	122	1x2	27,1	241	0,50	3,44	1,42
			3	147	1x2	23	292	0,39	2,93	1,00
			5	109	1x2	26,7	218	0,47	3,44	1,58
4	34	3,5	1	122	1x10	27,1	193	0,46	2,30	1,19
			3	147	1x10	23	225	0,37	1,96	0,87
			5	109	1x10	26,7	174	0,43	2,30	1,33
5	17	2	1	122	1x4	27,1	204	0,46	3,25	1,59
			3	147	1x4	23	245	0,37	2,77	1,13
			5	109	1x4	26,7	185	0,45	3,25	1,76
6	34	1,3	1	122	1x5	27,1	145	0,24	3,05	2,11
			3	147	1x5	23	175	0,13	2,60	1,48
			5	109	1x5	26,7	132	0,23	3,05	2,31
7	17	2,5	1	122	1x5	27,1	232	0,54	3,32	1,43
			3	147	1x5	23	281	0,44	2,83	1,01
			5	109	1x5	26,7	210	0,50	3,32	1,58
8	37	1,8	1	122	1x16	27,1	383	0,62	6,31	1,65
			3	147	1x16	23	455	0,60	5,38	1,18
			5	109	1x16	26,7	346	0,59	6,31	1,82

İlgili çizelge incelendiğinde, söz konusu binada birebir değişim ile hemen hemen tüm armatür alternatifleri ile koridor ve dolaşım hacimlerinde ortalama düzgünlük 0,40 ve ortalama aydınlık düzeyi 100 lx olacak şekilde gerekli standartların fazlasıyla sağlanabildiği görülmektedir. Bununla birlikte yukarıdaki sonuçlardan yola çıkarak yüksek etkinlik faktörüne sahip lineer Armatür 3, diğer alternatiflere göre öne çıkmakla beraber, bazı hacimlerin boyutlarına bağlı olarak aydınlatma hesaplarında 100 lx'ün çok üzerinde değerler sağlandığı, hatta bazı tesisatlarda 200 lx'ün üzerine çıktığı, bu tip durumlarda ise bire bir armatür değişimi yerine düzgünlüğe dikkat edilerek yeniden tasarım yapılabilme olasılığı da söz konusu olduğu söylenebilir. Ancak birebir armatür değişimi yerine yapılacak yeni tasarımlarda, elektrik tesisatının yeniden yapılandırılması gerekliliği doğduğundan ek tesisat maliyetleri gündeme gelecektir. Bu sebeple, mevcut tesisatı değiştirmeden LED ışık kaynaklarının sürme akımlarının değiştirilmesi de alternatif bir yöntem olarak ifade edilebilir.

LED ışık kaynaklarının, dolayısıyla bu kaynaklar ile tasarlanmış armatürlerin toplam ışık akısının, LED ışık kaynağının sürme akımı ile lineer olarak değiştiği kabulü ile [54], gerekli aydınlık düzeyini sağlamak için armatür sayısını azaltmak yerine, LED ışık kaynaklarının bu özelliğinden faydalanılarak armatürlerin toplam ışık akısı düşürülerek sağlanan aydınlık düzeyi ortalama düzgünlük değerini de bozmadan istenilen seviyeye düşürülebilir. Bu yaklaşımla, aydınlık düzeylerinin tasarım kriterlerince belirlenmiş düzeylerinin %10'unun geçtiği hacimlerde sürüş akımlarının düşürülmesi göz önüne alınarak tekrar hesaplamalar yapılmıştır. Dolaşım ve koridor gibi hacimlerde LED armatürlerin sürüş akımlarının düşürülmesi ile ışık akılarının sınırlandırılması yöntemi ile mevcut armatürlerin birebir değişiminin sonuçları Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3 incelendiğinde, Armatür 1'in tüketim değeri 7-22,2 W aralığında, Armatür 3'ün tüketim değeri 5-15,8 W aralığında, Armatür 5'in tüketim değeri ise 7,7-24,7 W aralığında uygun aydınlık düzeyleri sağlanacak şekilde değiştirilebilecektir. Tezin ilerleyen bölümlerindeki tasarruf ve maliyet hesapları, armatürlerin bire bir değişimi yapıldığı durum için LED sürme akımlarının gerekli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde sınırlandırıldığı durum dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7. 3 : Dolaşım ve koridor hacimlerinde birebir değişimde LED panel, Lineer LED ve Downlight armatürlerin sürüş akımının sınırlandırıldığında oluşan tasarım hesap sonuçları.

Hacim No	En m	Boy m	Armatür No	Etkinlik Faktörü lm/W	Arm. Sayısı	Arm. Gücü W	E _{ort}	U ₀	W/m ²	W/m ² /100 lx
1	29	2	1	122	1x4	22,2	100	0,23	1,55	1,55
			3	147	1x4	15,8	100	1,1	1,10	1,10
			5	109	1x4	26,7	109	0,22	1,88	1,72
2	54	2,2	1	122	1x15	11,7	100	0,54	1,47	1,47
			3	147	1x15	8,4	100	0,5	1,06	1,06
			5	109	1x15	13,0	100	0,5	1,63	1,63
3	4,3	3,7	1	122	1x2	11,1	100	0,5	1,42	1,42
			3	147	1x2	7,8	100	0,39	1,00	1,00
			5	109	1x2	12,4	100	0,47	1,58	1,58
4	34	3,5	1	122	1x10	14,0	100	0,46	1,19	1,19
			3	147	1x10	10,2	100	0,37	0,87	0,87
			5	109	1x10	15,6	100	0,43	1,33	1,33
5	17	2	1	122	1x4	13,2	100	0,46	1,59	1,59
			3	147	1x4	9,4	100	0,37	1,13	1,13
			5	109	1x4	14,6	100	0,45	1,76	1,76
6	34	1,3	1	122	1x5	18,7	100	0,24	2,11	2,11
			3	147	1x5	13,1	100	0,13	1,48	1,48
			5	109	1x5	20,4	100	0,23	2,31	2,31
7	17	2,5	1	122	1x5	11,6	100	0,54	1,43	1,43
			3	147	1x5	8,2	100	0,44	1,01	1,01
			5	109	1x5	12,9	100	0,5	1,58	1,58
8	37	1,8	1	122	1x16	7,0	100	0,62	1,65	1,65
			3	147	1x16	5,0	100	0,6	1,18	1,18
			5	109	1x16	7,7	100	0,59	1,82	1,82

Öte yandan, bire bir değişim sonucu yeterli aydınlık düzeylerinin sağlanamadığı ofis hacimlerinde, yeterli aydınlık düzeyi sağlanacak şekilde armatürlerin değişiminde, 60 cm x 60 cm LED panel armatürler, 30 cm x 120 cm ve 8 cm x 120 cm lineer LED armatürler kullanılarak yapılan Dialux hesaplama sonuçları Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4'te, hacimlerin boyutları ve armatürlerin simetrik yerleştirilme gibi gereklilikler nedeniyle tasarımlarda standartta önerilen aydınlık düzeylerinin üzerinde değerler elde edildiği açık olarak görülmektedir. Bu sebeple aydınlatma aydınlatma tasarım kriterlerini sağlayacak aydınlatma sistemlerinin kurulu güçleri de yükselmektedir.

Çizelge 7. 4 : Ofis hacimlerinde yeterli aydınlık düzeyini sağlayabilmek için 60 cm x 60 cm LED panel armatürler ve lineer LED armatürler kullanıldığında tasarım hesap sonuçları.

Hacim No	En m	Boy m	Armatür No	Etkinlik Faktörü lm/W	Arm. Sayısı	Arm. Gücü W	E _{ort}	U ₀	W/m ²	W/m ² /100 lx
1	5,7	4,7	1	122	8(4x2)	27,1	642	0,768	8,09	1,26
			2	147	6(3x2)	23	584	0,733	5,15	0,88
			3	147	6(3x2)	23	583	0,731	5,15	0,88
			4	142	6(3x2)	24	625	0,752	5,38	0,86
2	12	9,9	1	122	25(5x5)	27,1	558	0,704	5,87	1,05
			2	147	24(6x4)	23	595	0,69	4,79	0,81
			3	147	24(6x4)	23	593	0,686	4,79	0,81
			4	142	24(6x4)	24	613	0,757	4,99	0,81
3	8,6	3,6	1	122	9(3x3)	27,1	613	0,773	7,58	1,24
			2	147	8(2x4)	23	653	0,75	5,94	0,91
			3	147	8(2x4)	23	653	0,744	5,94	0,91
			4	142	8(2x4)	24	698	0,731	6,2	0,89
4	6,9	4,2	1	122	9(3x3)	27,1	593	0,794	7,48	1,26
			2	147	9(3x3)	23	708	0,738	6,35	0,90
			3	147	9(3x3)	23	708	0,734	6,35	0,90
			4	142	6(2x3)	24	576	0,788	4,97	0,86
5	9	7,8	1	122	16(4x4)	27,1	560	0,752	6,18	1,10
			2	147	15(5x3)	23	599	0,712	4,91	0,82
			3	147	15(5x3)	23	598	0,702	4,91	0,82
			4	142	15(5x3)	23	627	0,743	5,13	0,82
6	7,8	4,4	1	122	9(3x3)	27,1	579	0,773	7,11	1,23
			2	147	8(2x4)	23	613	0,73	5,36	0,87
			3	147	8(2x4)	23	612	0,726	5,36	0,88
			4	142	8(2x4)	24	652	0,747	5,59	0,86
7	7,6	3	1	122	8(2x4)	27,1	678	0,813	9,51	1,40
			2	147	6(3x2)	23	635	0,769	6,05	0,95
			3	147	6(3x2)	23	634	0,764	6,05	0,95
			4	142	6(3x2)	24	703	0,739	6,32	0,90
8	6,4	2,8	1	122	6(3x2)	27,1	622	0,824	9,07	1,46
			2	147	6(3x2)	23	770	0,789	7,7	1,00
			3	147	6(3x2)	23	769	0,782	7,7	1,00
			4	142	4(2x2)	24	619	0,543	5,36	0,87

Çizelge 7.4 incelendiğinde, Armatür 1'in kullanıldığı tesisatlarda ortalama aydınlık düzeyleri minimum 558 lx maksimum 678 lx, düzgünlükler minimum 0,70

maksimum 0,82, W/m² değerleri minimum 5,87 maksimum 9,51, W/m²/100lx değerleri minimum 1,05 maksimum 1,40 arasında değişmektedir. Buna karşın benzer özelliklerdeki, yüksek verimli Armatür 2 ve Armatür 3'ün kullanıldığı durumlarda ise ortalama aydınlık düzeyleri minimum 583 lx maksimum 770 lx, düzgünlükler minimum 0,69 maksimum 0,79, W/m² değerleri minimum 4,79 maksimum 7,70, W/m²/100lx değerleri minimum 0,81 maksimum 0,95 arasında değişmektedir. Tavan yapısının değişmesi ile kullanılabilecek lineer Armatür 4'ün kullanıldığı durumda ise ortalama aydınlık düzeyleri minimum 576 lx maksimum 703 lx, düzgünlükler minimum 0,54 maksimum 0,79, W/m² değerleri minimum 4,97 maksimum 6,32, W/m²/100lx değerleri minimum 0,81 maksimum 0,9 arasında değişmektedir. Çizelge 7.4'ten, tavan yapısını değiştirerek yeni tasarımların yapıldığı tesisatlarda, etkinlik faktörü 2 ve 3 nolu armatürlerden daha düşük olmasına rağmen 4 nolu armatür ile gerçekleştirilen tesisatların daha verimli sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun sebebi de 4 nolu armatürün ışık dağılım eğrisinin 2 ve 3 nolu armatürlere göre daha farklı olması ve armatürden çıkan ışık akısının daha iyi yönlendirilmiş olmasıyla daha etkin bir aydınlatma sağlanabilmesidir. Dolayısıyla, armatür etkinlik faktörünün verimli aydınlatma tasarımının sağlanmasında tek başına bir kriter olmadığı da açıkça ifade edilebilmektedir. Hacim boyutları ve armatürlerin simetrik yerleştirilme gereklilikleri nedeniyle tasarımlarda standartta önerilen aydınlık düzeylerinin üzerinde değerler elde edilmiştir. Önerilen değerlere yaklaşabilmek için, armatür yerleşiminde simetri koşullarından vazgeçilmesi gerekmektedir.

Ofis hacimlerinde de aydınlık düzeylerinin tasarım kriterlerince belirlenmiş düzeylerinin %10'unu geçtiği hacimlerde sürüş akımlarının düşürülmesi göz önüne alınarak tekrar hesaplamalar yapılmıştır. Ofis hacimlerinde LED armatürlerin sürüş akımları ile ışık akılarının sınırlandırılması ile mevcut armatürlerin birebir değişiminin sonuçları Çizelge 7.5'te verilmiştir. İlgili çizelge incelendiğinde, Armatür 1'in tüketim değeri 20-25 W aralığında, Armatür 2-3'ün tüketim değeri 14,4-20 W aralığında, Armatür 4'ün tüketim değeri ise 17,1-20,8 W aralığında değişmektedir. Değişimde kullanılacak armatürlerin teknik değerlerinin olabildiğince hacme uygun olarak seçilmesi sağlanacak enerji tasarrufu açısından büyük öneme sahiptir.

Çizelge 7. 5 : Ofis hacimlerinin armatürlerinin birebir değişiminde, 60 cm x 60 cm LED panel armatürler ve lineer LED armatürlerin sürüş akımının sınırlandırıldığına oluşan tasarım hesap sonuçları.

Hacim No	En m	Boy m	Armatür No	Etkinlik Faktörü lm/W	Arm. Sayısı	Arm. Gücü W	E _{ort}	U ₀	W/m ²	W/m ² /100 lx
1	5,7	4,7	1	122	8(4x2)	21,1	500	0,768	6,3	1,26
			2	147	6(3x2)	19,7	500	0,733	4,4	0,88
			3	147	6(3x2)	19,7	500	0,731	4,4	0,88
			4	142	6(3x2)	19,2	500	0,752	4,3	0,86
2	12	9,9	1	122	25(5x5)	25,0	500	0,704	5,3	1,05
			2	147	24(6x4)	19,9	500	0,69	4,0	0,81
			3	147	24(6x4)	20,0	500	0,686	4,0	0,81
			4	142	24(6x4)	20,1	500	0,757	4,1	0,81
3	8,6	3,6	1	122	9(3x3)	21,3	500	0,773	6,2	1,24
			2	147	8(2x4)	17,6	500	0,75	4,5	0,91
			3	147	8(2x4)	17,6	500	0,744	4,5	0,91
			4	142	8(2x4)	17,2	500	0,731	4,4	0,89
4	6,9	4,2	1	122	9(3x3)	20,3	500	0,794	6,3	1,26
			2	147	9(3x3)	14,4	500	0,738	4,5	0,90
			3	147	9(3x3)	14,4	500	0,734	4,5	0,90
			4	142	6(2x3)	20,8	500	0,788	4,3	0,86
5	9	7,8	1	122	16(4x4)	24,2	500	0,752	5,5	1,10
			2	147	15(5x3)	19,2	500	0,712	4,1	0,82
			3	147	15(5x3)	19,2	500	0,702	4,1	0,82
			4	142	15(5x3)	19,1	500	0,743	4,1	0,82
6	7,8	4,4	1	122	9(3x3)	23,4	500	0,773	6,1	1,23
			2	147	8(2x4)	18,8	500	0,73	4,4	0,87
			3	147	8(2x4)	18,8	500	0,726	4,4	0,88
			4	142	8(2x4)	18,4	500	0,747	4,3	0,86
7	7,6	3	1	122	8(2x4)	20,0	500	0,813	7,0	1,40
			2	147	6(3x2)	18,1	500	0,769	4,8	0,95
			3	147	6(3x2)	18,1	500	0,764	4,8	0,95
			4	142	6(3x2)	17,1	500	0,739	4,5	0,90
8	6,4	2,8	1	122	6(3x2)	21,8	500	0,824	7,3	1,46
			2	147	6(3x2)	14,9	500	0,789	5,0	1,00
			3	147	6(3x2)	15,0	500	0,782	5,0	1,00
			4	142	4(2x2)	19,4	500	0,543	4,3	0,87

Örnek olması açısından bir adet ofis ve dolaşım alanı için yapılmış Dialux hesaplarının ilgili çıktıları ise her bir armatür için Ek B’de verilmiştir. Bunun

yanında, ilgili binanın değişik hacimlerinde, mevcut armatürler ile sağlanan aydınlık düzeylerinin ve yine mevcut durumda var olan LED panel armatürün kullanıldığı hacimlerdeki aydınlık düzeylerinin belirlenmesi için ölçümler yapılmıştır. Ölçümler Lutron marka 0-50.000 lux duyarlılık aralığında LX-102 model lüksmetre ile yaklaşık çalışma düzlemi seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Hacimlerdeki ölçüm noktaları ve değerleri Ek C’de verilmiştir.

Çizelge 7.6’da belirgin bir şekilde görüldüğü gibi, değişim yapılmamış ofis hacimlerinde yapılan ölçümlerde aydınlık düzeylerinin, ofis hacimleri için sağlanması gereken 500 lx değerinin altında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ilk kurulum aşamasındaki 300 lx olan proje değerinin de altına düşmüştür. Hacimlerdeki düzgünlük değerlerinin olması gereken 0,6 değerini bazı durumlarda sağlamadığı da görülmektedir.

Çizelge 7. 6 : Mevcut armatür ile aydınlatılan örnek hacimlerin aydınlık düzeyi değerleri ölçüm sonuçları.

Ofis Hacim No	1	2	3	4	5
Ayd. Işık Kay.	4x18W	4x18W	4x18W	4x18W	4x18W
E_{ort}	360	262	254	176	242
E_{min}	205	140	211	82	152
E_{max}	562	468	293	282	398
U_0 (E_{min}/E_{ort})	0,57	0,54	0,83	0,47	0,63

Armatür değişimi yapılmış ofis amaçlı kullanılan hacimlerdeki ölçümlerde ise aydınlık düzeyinin ilk kurulumda planlanan 300 lx değerinin üzerine çıktığı Çizelge 7.7’de net olarak görülmektedir. Ancak ofis hacimleri için sağlanması gereken 500 lx değerinin yine altında olduğu da belirlenmiştir.

Çizelge 7. 7 : LED armatür ile değişimi yapılmış örnek hacimlerin aydınlık düzeyi değerleri ölçüm sonuçları.

Ofis Hacim No	6	7	8
Ayd. Işık Kaynağı	LED	LED	LED
E_{ort}	374	329	585
E_{min}	199	164	468
E_{max}	562	480	702
U_0 (E_{min}/E_{ort})	0,53	0,50	0,80

7.4 Örnek Uygulamanın Değerlendirilmesi

Bina tasarlanırken ofis amaçlı kullanılan hacimlerde ortalama 300 lx aydınlık düzeyi sağlanacak şekilde armatür seçildiğinden, aynı konumlara yerleştirilen LED panel armatürlerle de ortalama 300 lx değeri sağlanabilmektedir. Ortalama aydınlık düzeyi değerleri, kullanılan armatürlere ve farklı hacim boyutlarına göre değişiklik göstermektedir. 2016 yılında deneme amaçlı yaklaşık 100-122 lm/W etkinlik faktörü değerine sahip LED’li panel armatürler ile bazı ofis hacimlerinde birebir değişim yapılmıştır. LED’li armatürlerin etkinlik faktörleri günümüzde 150 lm/W değerine kadar ulaşabildiği için, tez kapsamında gerçekleştirilen tasarım hesaplamalarında daha yüksek etkinlik faktörlü armatürler de kullanılmıştır. Ancak, geri ödeme sürelerinin kabul edilebilir seviyelerde çıkabilmesi için armatür maliyetleri de dikkate alınmıştır. Hesaplarda kullanılan 122 lm/W etkinlik faktörüne sahip armatürlerin satın alma fiyatı yaklaşık 35 USD + KDV iken, diğer yüksek etkinlik faktörlü armatürlerin maliyeti 170 USD + KDV seviyelerindedir. Uygulanabilir sonuçlara ulaşılabilmesi amacıyla, maliyet analizlerinde sadece 122 lm/W etkinlik faktörlü LED panel armatürler kullanılmıştır. Gerçekleştirilen enerji tasarruf ve maliyet analizlerinde;

- Örnek hacimlerin analizi ile belirlenen yaklaşımlar binanın tümüne uygulanmıştır.
- LED panel armatürlerin değişimi ile standartların üzerinde aydınlık düzeyi sağlanan hacimler için LED ışık kaynaklarının sürme akımlarının gerekli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde düşürülerek sağlanan kurulu güç değerleri kullanılmıştır.
- Enerji tüketim değerleri, haftada beş gün, 8:30-17:30 çalışma saatlerinde, armatürlerin herhangi bir aydınlatma kontrolü olmadığı için tamamının çalıştığı kabul edilerek hesaplanmıştır.
- Elektrik birim fiyatı 1 Nisan 2019 tarihi ile güncellenmiş son fiyat olup, ticarethaneler için geçerli olan 0,715 TL/kWh baz alınmıştır.
- Armatür fiyatı piyasa araştırması yapılarak 35 USD + KDV olarak belirlenmiş ve 07.05.2019 tarihli döviz kurları göz önüne alınarak 252 TL olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

- Yatırım maliyetine ilave tesisat (demontaj-montaj) maliyeti de dahil edilmek istendiğinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019 yılı birim fiyatlarında, 794.104 poz numaralı ve “Halogenfree kablo ile linje hattı paralel sorti” ile tanımlı birim fiyat toplam maliyete eklenmiştir. 78,10 TL olan birim fiyatın tarifi “Aşağıda linje ve sorti hatlarının tesis şekli verilmiş olan tamamen etanj malzeme (buat, klemens, anahtar v.b.) ile linje hatları en az 2,5 mm² sorti hatları en az 1,5 mm² ve IEC 60332 Part 3.1 Kat.C, IEC 60754 normlarına uygun olmak üzere her nevi malzeme temini, işyerine nakli ve işçilik dahil, komple etanj sorti yapılması, (armatür hariç).” şeklindedir [53].
- Aydınlatma kontrolü maliyeti, günümüz ekonomik koşulları ve incelenen binanın şartları göz önüne alınarak 10 TL/m² olarak kabul edilmiştir.

Bu birim fiyatlar ile binada birebir (aynı konumlara yerleşim) değişim yapıldığı durumdaki sonuçlar Şekil 7.12’de gösterilmiştir.

Şekil 7. 12 : Birebir değişim durumu için aydınlatma kontrolü ile birlikte enerji tasarruf analizi sonucu.

Buradaki maliyetlere demontaj-montaj bedelleri eklenmemiştir. Mevcut tesisat aynı şekilde kullanılacak ve anahtarlamalar dahil hiçbir malzemede değişikliğe gidilmeyecektir. Mevcut teknik personel ile dönüşümler sağlanabilecektir.

Şekil 7.12’de verilen sonuç sayfasında görüldüğü gibi piyasada kolaylıkla bulunan, belli standartlarda üretimi yapılan yerli ve yabancı üretim LED panel armatürler ile değişim, %74,3’lük tasarruf oranıyla kendini 2,3 yıl içerisinde geri ödeyecek bir

yatırımdır. Ayrıca maliyet hesabına malzemelerin hurdaya çıkarılmasıyla elde edilecek kazanç da dahil edilmemiştir. Yatırım yapılabilir geri ödeme süresi düşünüldüğünde bu değişim, hem teknik hem de ekonomik anlamda uygulanabilir bir yatırım olarak görünmektedir.

İncelenen binada farklı fonksiyonlu hacimler için enerji tasarrufu ve maliyet analizleri için kullanılan bep/ETA yazılımı ile bulunan armatür sayısı ve aydınlık düzeyi değerleri benzer hacimler için Dialux yazılımı sonuçları ile karşılaştırılarak Çizelge 7.8’de gösterilmiştir. Çizelge 7.8’de de görüldüğü gibi bep/ETA yazılımı hesaplamaları sonucu ulaşılan değerler ile Dialux yazılımının değerleri büyük oranda benzerlik göstermektedir.

Çizelge 7. 8 : bep/ETA ve Dialux yazılımı hesap sonuçlarının karşılaştırılması.

Tanım	Grup	Gerekli Ayd. Düzeyi (lx)	Yüzey Yansıtma Faktörleri rT/rD/rZ	Boyutlar (axbxh)	Oda Endeksi (k)	bep/ETA Sonuçları Arm. Sayısı	Eort(lx)	Dialux Sonuçları Arm. Sayısı	Eort(lx)	bep/ETA- Dialux Farkları Eort(lx)	(%)
Kişisel											
Ofis	G1	500	70/50/20	6,6x5,8x2,8	1,58	4	583	4	563	20	%4
Açık											
Ofis	G1	500	70/50/20	9,7x5,7x2,8	1,84	8	560	8	564	-4	%1
Açık											
Ofis	G1	500	70/50/20	15x5,7x2,8	2,12	12	559	12	545	14	%3
Açık											
Ofis	G1	500	70/50/20	20x5,8x2,8	2,31	15	522	15	507	15	%3
Açık											
Ofis	G1	500	70/50/20	28x14,5x3,8	3,29	48	500	49	500	0	%0
Arşiv	G2	200	70/50/20	2,8x5,7x2,8	0,66	3	234	3	248	-14	%6
Koridor	G2	100	70/50/20	3x40x2,8	1	16	205	16	203	2	%1

Bu çalışma esnasında binada bulunan hacimleri ilgili standartlarda belirlenen aydınlık düzeyi değerlerine yükseltebilmek için gerekli hesaplamalar da gerçekleştirilmiştir. Ofisler için standartlarda; aydınlık düzeyi ($E_{max}=500$ lx), ortalama düzgünlük ($U_o=0,6$) ve renksel geriverim ($CRI=80$) için minimum değerler verilirken, kamaşma ($UGR=19$) için de olması gereken maksimum değer açıklanmaktadır. Standartlara uygun şekilde aydınlatma tasarımı yapılması için gereken sayıda armatür değişiminin enerji tasarruf analizi sonuçları Şekil 7.13’te gösterilmiştir.

Yeni armatür ilave edildiğinde, mutlaka tesisatta da değişiklik yapılması gerekecektir. Bu sebeple demontaj-montaj bedeli maliyet hesaplarına dahil

edilmelidir. Bu bedel, daha önce açıklandığı gibi armatür bedeline, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı halojensiz paralel sorti bedeli ilave edilerek toplam maliyete dahil edilmiştir. Şekil 7.13'te görüldüğü gibi bu değişim, %59,8'lik tasarruf oranıyla kendini 4,9 yıl içerisinde geri ödeyecek bir yatırımdır. Yine bu fiyatlara, binada mevcut olan armatürlerin hurdaya çıkarılmasıyla elde edilecek kazanç dahil edilmemiştir.



bep/ETA

Powered by ENE LiteCalc v3.0

ENERJİ TASARRUFU ANALİZİ												
	Mevcut Durum				ETA - Baz		ETA - Kontrol					
Parazit Güç [W]	0				0		0					
Parazit Enerji [kWh]	0				0		0					
Aydınlatma Kurulu Gücü [W]	157293				63288		63288					
Aydınlatma Enerjisi [kWh/yıl]	369077				148501		143179					
Toplam Enerji [kWh/yıl]	369077				148501		143179					
AESG [kWh/m2.yıl]	22,4				5,7		5,5					
SINIFI	C				A		A					
 bep/ETA Powered by ENE LiteCalc v3.0	Enerji Tasarruf Miktarı [kWh/yıl]				220576		225898					
	AETG [kWh/m2.yıl]				16,7		16,9					
	Enerji Tasarruf Oranı				59,8%		61,2%					
	Yatırım Maliyeti [TL]				773520		1035324					
	Geri Ödeme Süresi [yıl]				4,9		6,4					
AETEG [kWh/m2.yıl.TL]				0,29		0,22						
MALİYET ANALİZİ												
	G1	G2	G3	G4	Toplam	G1	G2	G3	G4	Toplam		
Armatür Sayıları	2134	210			2344	2134	210			2344		
Sistem Maliyeti [TL]	704220	69300			773520	704220	69300			1035324		
Yıllık Toplam Fayda [TL]	157712		Elektrik Birim Fiyat [TL/kWh]			0,715	161517		Elektrik Birim Fiyat [TL/kWh]			0,715
Geri Ödeme Süresi [yıl]	4,9					6,4						

Şekil 7. 13 : Gerekli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde armatür değişiminin aydınlatma kontrolü ile birlikte enerji tasarruf analizi sonucu.

Yatırım yapılabilir geri ödeme süresi olarak 4 yıl baz alındığında bu sonuçlar ekonomik anlamda geri ödemesi sınır değerlerin üzerinde olmasına rağmen, çalışma performansının artmasının getireceği ilave faydalar iyi açıklanabildiğinde tercih edilebilir bir yatırım olarak da görülebilir.

Aydınlatma kontrol sistemlerinin maliyetleri analize eklendiğinde birebir değişimde, %61,2'lik tasarruf oranıyla geri ödeme süresindeki artış 1,5 yıl olmaktadır. Birebir değişim sonucu toplam aydınlatma kurulu gücünün düşmesi, bunun yanında maliyeti yüksek sayılabilecek kontrol sistemleri ile elde edilebilecek aydınlatma enerjisi tasarrufunun da düşük olması sonucunda, aydınlatma kontrol sistemleri yatırımının toplam geri ödeme süresi önemli oranda artmaktadır. Bununla birlikte Şekil 7.13'teki standartta verilen gerekli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde armatür değişiminin aydınlatma kontrolü ile birlikte yapılması durumunda enerji tasarruf analizi sonucu geri ödeme süresindeki artış 1,5 yıl olmaktadır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ticari bir binanın aydınlatma enerji performansının bir göstergesi olan Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) hesaplanırken, binada bulunan her hacmin detaylı verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmaların aydınlatma ve elektrik tekniği konusunda bilgili kişiler tarafından yapılması gereklidir. Bu tez çalışması kapsamında incelenen binada, inşaatından günümüze kadar çalışan teknik personellerden gerekli destek ve bilgi alımının, gerçekleştirilen analizlere önemli katkısı olmuştur. Mevcut eski projelerine uygun olmayacak şekilde zaman içinde hem mimarisi hem de aydınlatma sistemi değişen hacimler, yerinde görülerek hesaplar için gerekli doğru veriler elde edilebilmiştir.

Mevcut proje bilgilerinden binanın aydınlatma sistemi tasarlanırken 300 lx aydınlık düzeyinin baz alındığı gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen saha ölçümleri sonucunda, mevcut aydınlık düzeylerinin, hacimlere göre değişmekle beraber tesisatların yaşlanması sonucu 250 lx değerlerinde kaldığı tespit edilmiştir. Koridor ve dolaşım hacimlerinde ise simetri koşulları ve homojen bir aydınlatmanın sağlanması açısından kullanılan verimli armatürler ile gereğinden de fazla aydınlık düzeylerinin sağlandığı tespit edilmiştir. Gerekli aydınlık düzeyinden %10'dan daha fazla aydınlık düzeyine sahip koridor hacimlerinde enerji tasarrufu açısından armatürlerde bulunan LED ışık kaynaklarının sürme akımları değiştirilerek optimum çözümler sağlanmıştır. Olası tüm maliyetler dikkate alınarak yapılan maliyet hesapları neticesinde armatürlerin birebir değişimi, %74,3'lük bir tasarruf oranıyla yaklaşık 2,3 yıl gibi kabul edilebilir geri ödeme süreli bir yatırım olarak değerlendirilmiştir. Aydınlatma kontrol sistemlerinin maliyetleri de dahil edilerek yapılan hesaplamalarda ise geri ödeme süresi 3,6 yıl gibi yine kabul edilebilir seviyelerde kalmaktadır. Bununla birlikte aydınlık düzeyindeki kısmi iyileşme, görsel konfor, iş kalitesi ve verimi açılarından da küçümsenemeyecek bir kazanım olacaktır. Mevcut armatürlerin bire-bir değişiminde yüksek etkinlik faktörlü LED panellerin kullanımı ile aydınlık düzeyinde iyileşmeler elde edilebilmektedir. İncelenen bina için bire-bir değişim ile gerekli aydınlık düzeyini sağlayacak armatürlerin minimum 5000 lm ışık

akısına sahip olması gerektiği saptanmıştır. Standart 60 cm x 60 cm LED panel armatürlerin ışık akıları yaklaşık 3000 lm civarında olduğu düşünüldüğünde, hem piyasada bu tip armatürlerin elde edilmesinin zorluğu hem de bu tip yüksek ışık akısına sahip armatürlerin kullanımı söz konusu olduğunda kamaşmanın detaylı olarak incelenmesi gerekliliği dikkate alınmalıdır.

Standartlara uygun aydınlatma kalite kriterlerini sağlamak için birebir değişim 300 lx ortalama aydınlık düzeyine göre tasarlanan tesisatlar için yeterli olmamaktadır. Bu sebeple birebir armatür değişimi yerine gerekli aydınlık düzeyleri sağlanacak şekilde yeni aydınlatma tasarımı yapılması yoluna gidilmiş, yeni yapılan tesisatlarda da simetri koşulları ve homojen bir aydınlatmanın sağlanması açısından kullanılan verimli armatürler ile koridorlar ve bazı ofis hacimlerinde gereğinden fazla aydınlık düzeylerinin sağlandığı tespit edilmiştir. Gerekli aydınlık düzeyinden %10'dan daha fazla aydınlık düzeyine sahip bu tip hacimlerde enerji tasarrufu açısından armatürlerde bulunan LED ışık kaynaklarının sürme akımları değiştirilerek optimum çözümler sağlanmıştır. Bu durumda tasarruf oranı %59,8 olarak hesaplanmış ve istenilen aydınlık düzeylerini yaratmak için gerekli ilave tesisat maliyetlerinin geri ödeme süresini uzatmasıyla gerçekleşecek geri ödeme süresi 4,9 yıla yükseldiği belirlenmiştir. Ancak bu uygulamada, iyileştirilen aydınlık düzeyi ve diğer kalite kriterlerinin getireceği faydalar, çalışanların iş verimine etkileri standartlara uygun şekilde değişimin yapılmasını destekleyebilecek faktörler olarak değerlendirilmelidir. İyileştirme uygulamalarında aydınlatma kurulu gücünün artması, kontrol sistemlerinin sağlayacağı tasarrufu da arttırarak geri ödeme süresindeki artışı bir miktar azaltmaktadır. Aydınlatma kontrol sistemlerinin maliyetleri de dahil edilerek yapılan hesaplamalarda ise geri ödeme süresi birebir değişimde 1,3 yıl artarken, aydınlık kalite kriterlerini sağlayacak şekilde değişimin yapılması sonucunda 1,5 yıl artarak 6,4 yıl olmaktadır.

Hacimlerin fonksiyonlarına uygun farklı tip LED armatürler, Dialux yazılımı kullanılarak hacimlere uygulanmış ve gerekli aydınlık düzeylerini en az enerji tüketimi ile sağlayabilecek armatür tipleri belirlenmeye çalışılmıştır. İncelenen binanın ofis, koridor gibi tüm bölümlerinin aynı armatür ile aydınlatılmış olması beklenen sürelerde beklenen tasarruf oranlarına ulaşılmasını daha kolay hale getirmiştir. Farklı fonksiyonlu hacimlerin olduğu binalarda yapılacak çalışmalarda, mevcut tavan kaplama yapısı, kullanılan armatür tipi ve aydınlatma tesisatı üzerinde

önemle durulması ve uygun değişik alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca yapılan tasarım hesapları ve analizler sonucunda özellikle armatür etkinlik faktörlerinin, verimli aydınlatma tesisatları yaratmak için tek başına bir kriter olmadığı, armatür ışık dağılım eğrilerinin de önemli bir kriter olduğu belirlenmiştir.

Kontrol sistemlerinin maliyeti bu çalışmaya dahil edilirken çok genel yaklaşımlar yapılmıştır. Kontrol sistemlerinin kullanılması durumunda oluşacak ilave maliyetleri belirlemenin ayrı bir tez konusu olacak kadar geniş bir konu olduğu da ortadadır. Bu tez çalışması, LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerinin yaygın olarak kullanıldığı günümüzde mevcut binaların aydınlatma sistemlerinin dönüşümü için faydalanılabilecek bir örnek uygulama olarak değer kazanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayiplar>>, erişim tarihi 16.01.2019.
- [2] **Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu** (2018). T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
- [3] **ETBK** (2017). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, Ankara.
- [4] **International Energy Agency** (2008). Energy Efficiency Requirements In Building Codes, Energy Efficiency Policies For New Buildings, France.
- [5] **TSE** (2008). TSEN 15193 “Binalarda Enerji Performansı–Aydınlatma için enerji gereksinimleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [6] **Onaygil, S., Güler, Ö., Erkin, E. ve Gorah, E.** (2005). Ticari Binaların Elektrik Enerjisi Tüketiminde Aydınlatmanın Payı, *III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara.
- [7] **Weston, H.C. ve Taylor, S.K.** (1926). The relation between illumination and efficiency in fine work (type-setting by hand), Final Report of the Industrial Fatigue Research Board and the Illumination Research Committee, London.
- [8] **Juslen, H.** (2007). *Lighting, productivity and preferred illuminances – field studies in the industrial environment* (PhD Thesis) Helsinki University of Technology, Finland.
- [9] **Şahin, D.** (2012). *Aydınlatma Tasarımının Kullanıcı Üzerindeki Fizyoloji ve Psikoloji Etkileri Açısından İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Bayrakdar, G.** (2016). *İşyerlerinde Aydınlatma Koşullarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi* (İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi), ÇSGB, Ankara.
- [11] **Erkin, E.** (2012). *Ofis Binaları İçin Aydınlatma Enerjisi Tasarruf Potansiyelleri Hesaplama Amaçlı Bir yöntem Önerisi*, (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **Onaygil, S., Güler, Ö., Erkin, E. ve Yurtseven, M. B.** (2013). LED Panel Armatürlerin Ofis Aydınlatmasında Retrofit Amaçlı Kullanımının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [13] **Sümengen, Ö. ve Yener, A. K.** (2015). Binalarda Aydınlatma Enerji Performansının Belirlenmesinde Günışığına İlişkin Değişkenlerin Değerlendirilmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* (s135-148). Kayseri.

- [14] **Erhan, I. T.** (2018). *Akıllı Binalarda Aydınlatma Otomasyonunun Enerji Verimliliğine Katkısının İncelenmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **EP** (2003). Directive 2002/91/EC of The European Parliament and Council of the European Union, Brussels.
- [16] **EP** (2010). Directive 2010/31/EU of The European Parliament and Council of the European Union, Brussels.
- [17] **EPBD** (2011). Directive 2010/31/EU of The European Parliament and Council of the European Union, Brussels.
- [18] **EPBD** (2018). Directive 2018/844 EU of The European Parliament and Council of the European Union, Brussels.
- [19] **Url-2** < <http://www.enerji.gov.tr> >, erişim tarihi 16.03.2018.
- [20] **Enerji Verimliliği Kanunu.** (2007). *T.C. Resmi Gazete*, 26510, 2 Mayıs 2007.
- [21] **Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği** (2008). *T.C. Resmi Gazete*, 27075, 5 Aralık .2008.
- [22] **TS 825** (2008). Binalarda ısı yalıtım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [23] **BİB** (2010c). BEP-TR: Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yazılımı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [24] **Kurt, M.,** (2012). *Türkiye ve Almanya Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliklerinin Referans Bina ve Sınır Koşulları Açısından Karşılaştırılması*, (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] **TSE** (2010). Referans Bina Belirleme Yöntemi - Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [26] **TÜİK** (2017). ETKB Enerji Denge Tabloları, Ankara.
- [27] **TÜİK** (2017). 2017 Yılı Sektör Raporu, Ankara.
- [28] **Energy Information Administration** (1998). A look at Commercial Buildings in 1995: Characteristics, Energy Consumption, and Energy Expenditures, EIA Report No. DOE/EIA-0625(95), DC: US Department of Energy. Washington.
- [29] **TSE** (2013). TS EN 12464-1 Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [30] **CIE** (2001). International Standard (S 008/E:2002) Lighting of Work Places - Part 1: Indoor, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- [31] **Boyce, P. R.** (2003). *Human Factors in Lighting, 2nd ed.*, London and New York: Taylor & Francis.
- [32] **Boyce, P. R.** (2016). Editorial: Exploring Human-Centering Lighting, *Lighting Research and Technology*, 48(2), 101.

- [33] CIE (1995). Technical Report No: 117 Discomfort Glare in Interior Lighting, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- [34] Ünsalan, H., Perdahçı, C. ve Yüce, D. (2015). Aydınlatmada Geleneksel Işık Kaynaklarından LED'e Kadar Uzanan Tarihçe, İstanbul.
- [35] ErP (2009). Directive 2009/125/EC of The European Parliament and Council of the European Union, Brussels.
- [36] Yurtseven, M.B. (2017). *LED Işık Kaynaklı Armatür Isıl Modellenmesi ve Isıl Tasarımı Etkileyen Faktörlerin İstatiksel Analizi* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [37] Url-3 <<http://diyot.net/pn-birlesiminin-polarmalanmasi/>>, erişim tarihi 19.01.2019.
- [38] Aman, M.M., Jasmon, G.B., Mokhlis, H. ve Bakar, A.H.A. (2013). Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy* 52, 482-500.
- [39] Kökkaya, O., (2015). *LED Armatürlerin ısınma Sorunlarının Çözümüne Yönelik Farklı Soğutucu Kanatçık Tipleri İle Karşılaştırmalı Analizi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [40] Curbuiser, Aalto, A. ve Ando, T. (2003). Gun Işığ ı Calgıcısı Uc Mimar, 2. *Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, (s.15-22), TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Diyarbakır.
- [41] Kazanasmaz, T.Z., Günaydın, M. ve Binol, S. (2009). Burolarda Günüştüğü Aydın lık Değerlerinin Ongorulmesi, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliğı Kongresi*, Sempozyum Bildirisi (s.811-822). İzmir.
- [42] Görgülü, S., Kocabey, S., Yüksek, İ. ve Dursun, B. (2010). Enerji Verimliliğı Kapsamında Yapılarda Doğal Aydınlatma Yöntemleri: Kırklareli Orneğı, *Uluslararası II. Trakya Bölgesi Kalkınma-Girişimcilik Sempozyumu*, Kırklareli.
- [43] Sirel, Ş. (1999). Aydınlatmada Enerji Kaybı, Yapı Fiziğı Uzmanlık Enstitüsü, *Kitapçık No 3*, İstanbul.
- [44] Perdahçı, C. ve Hanlıl, U. (2009). Verimli Aydınlatma Yöntemleri, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası 3.Enerji Verimliliğı Ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli.
- [45] Onaygil, S. (2001). Kent İci Aydınlatma, *Kaynak Elektrik Dergisi*, 107-112.
- [46] Stockmar, A. (1997). Proposal for a Luminaire Specific Index for the Description of Photometric Properties of Interior Luminaires Taking into Account the Efficient Use of Energy, *Proceedings of Right Light 4 Conference*, Copenhagen.
- [47] Kocabey, S. (1999). *Dahili Ortamlarda Aydın lık Seviyesinin Kontrolu İle Enerji Tasarrufunun Sağlanması* (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [48] Çolak, H.A. (2010). *Akıllı Bina Otomasyonu İle Verimli Çalışma Ortamının Sağlanması* (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [49] **BİB** (2010b). Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 05-Aydınlatma, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [50] **CIE** (2005). Technical Report No:97 Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems, International Commission on Illumination, Vienna, Austria.
- [51] **Murdoch, J. B.** (2003). Illuminating Engineering: From Edison's Lamp to the LED, Third Edition, Visions Communications, USA.
- [52] **Ryckaert, W.R., Lootens, C., Geldof, J. ve Hanselaer, P.** (2010). Criteria For Energy Efficient Lighting in Buildings, *Energy and Buildings* 42, (p341-347). Belgium.
- [53] **İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları Kitabı** (2019). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, Ankara.
- [54] **Onaygil, S., Guler, O., Buyukknacı, B. ve Yurtseven, M. B.** (2017). Determining Minimum Visibility Levels in Different Road Lighting Scenarios, Energy Institute, Istanbul Technical University, Istanbul.

EKLER

Ek A : LED armatürlerin teknik ve fotometrik bilgileri

Ek B : Dialux aydınlatma hesabı çıktıları

Ek C : Aydınlık düzeyi ölçüm noktaları ve değerleri

27W LED Panel Armatür



Standart Ürün Özellikleri

Tüketim Gücü	: 27.1W
Armatür Lümeni	: 3310.9 lm
Armatür Verimliliği	: 122.1 lm/W
Giriş Gerilimi	: 220-240 V AC
Giriş Frenkans	: 50-60 Hz
Güç Faktörü	: > 0,9
Sürüş Akımı	: 700mA
Renk Sıcaklığı (CCT)	: 4000K
Renksel Geriverim İndeksi (CRI)	: >80

Çalışma Sıcaklık Aralığı	: -20 °C/+40 °C
Darbe Dayanım Sınıfı (IK)	: IK 02
Led Ömrü - L70	: 60.000 saat @Ta= 40 °C

Renk Sıcaklığı : 3000K, 5700K

87

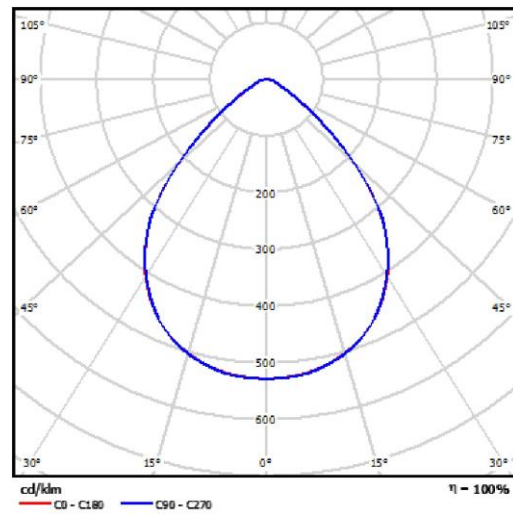
Uygulama Koşulları	
Ortam sıcaklığı aralığı	+10 to +40 °C
Maksimum dım seviyesi	1%
Onay ve Uygulama	
Mekanik çarpışma koruma kodu	IK02
Girişime karşı koruma sınıfı	IP20
Kontroller ve Dimming	
Karartılabilir	Evet
Çalıştırma ve Elektrikle İlgili Bilgiler	
Giriş Voltajı	220-240 V
Genel Bilgiler	
Havalandırma	No
Kapak Tabanı	-
CE İşareti	CE mark
Koruma sınıfı IEC	Güvenlik sınıfı I
Optik kapak/lens türü	PC
Tasarım Ödülü Kazanma İşareti	Design Award Winner 2015
Tertibat dahildir	Evet
Acil durum aydınlatması	No
ENEC İşareti	ENEC plus mark
Alev alma İşareti	F
Tertibat	-
Ateşleme telli testi	Sıcaklık 850 °C, süre 5 sn
Lamba ailesi kodu	LED34S
Değiştirilebilen ışık kaynağı	Hayır
Tertibat birimi sayısı	1 unit
Işık kaynağı sayısı	1
Optik sistem türü	No
Güvenlik montaj ayağı	-
UL İşareti	Hayır
Başlangıç Performansı (IEC Uyumlu)	
Başlangıç renk türü	(0.38, 0.38) SDCM
	<3
Başlangıçtaki Renk Sıcaklığı	4000 K
Başlangıçtaki Renksel Geriverim	≥80
İndeksi	
Başlangıçtaki ışık akışı	3400 lm
Işık akışı toleransı	+/-10%
Mekanik Ayrıntılar ve Muhafaza	
Renk	Beyaz, RAL 9003

Uygulama Koşulları

Order Code	Full Product Name	Rastgele anahata uygun
26508500	RC461B G2 LED34S/840 PSD W60L60 VPC W	No
26509200	RC461B G2 LED34S/840 PSD W60L60 VPC PIP	No
26510800	RC461B G2 LED34S/840 PSD W60L60 VPC ACL	Yes (relates to presence/ movement detection and daylight harvesting)
26511500	RC461B G2 LED34S/840 PSD W60L60 CPC W	No
26512200	RC461B G2 LED34S/840 PSD W60L60 PCV W	No
26513900	RC463B G2 LED34S/840 PSD W62L62 VPC W	No
26515300	RC463B G2 LED34S/840 PSD W62L62 VPC PIP	No
26514600	RC463B G2 LED34S/840 PSD W62L62 VPC ACL	Yes (relates to presence/ movement detection and daylight harvesting)
26516000	RC463B G2 LED34S/840 PSD-T W62L62 VPC AC	Yes (relates to presence/ movement detection and daylight harvesting)
26517700	RC463B G2 LED34S/840 PSD W62L62 CPC W	No



(a)



(b)

Şekil A.2 : 23 W 60 cm x 60 cm Panel tip ve 23 W 30 cm x 120 cm Lineer tip LED armatür bilgileri: (a) Teknik. (b) Işık dağılım eğrisi.

Çalıştırma ve Elektrikle İlgili Bilgiler

Giriş Voltajı	220 to 240 V	Kalkış Akımı	19 A
Giriş Frekansı	50 ila 60 Hz	Ani akım süresi	0,28 ms
Kontrol sinyali voltajı	0-16 V DC DALI	Güç Faktörü (Min)	0.9

Kontroller ve Dimming

Dim Edilebilir	Evet
----------------	------

Mekanik Ayrıntılar ve Muhafaza

Geometri	Genişlik 0,08 m, uzunluk 1,20 m	Sürücü tepsisi malzemesi	Steel
Muhafaza konfigürasyonu	VPC [Visible profile ceiling version]	Sabitlenme malzemesi	Steel
Muhafaza Malzemesi	Çelik	Optik kapak/lens kaplaması	Buzlu
Reflektör malzemesi	-	Toplam uzunluk	1197 mm
Optik sistem malzemesi	-	Toplam genişlik	75 mm
Optik kapak/lens malzemesi	Polimetil metakrilat	Toplam yükseklik	79 mm
		Renk	White

Onay ve Uygulama

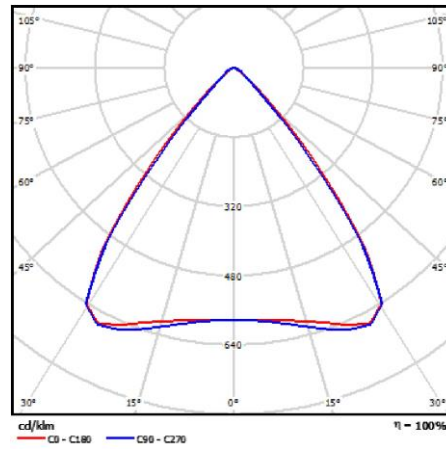
Girişime Karşı Koruma Sınıfı	IP20 [Parmak korumalı]
Mekanik çarpışma koruma kodu	IK02 [0.2 J standard]

Başlangıç Performansı (IEC Uyumlu)

Başlangıçtaki ışık Akısı	3400 lm	Başlangıçtaki Renksel Geriverim İndeksi	≥ 80
Işık akısı toleransı	+/-10%	Başlangıç Renk Türü	(0.38, 0.38) SDCM <3
LED'li aydınlatma armatürü başlangıç verimi	142 lm/W	Başlangıç giriş gücü	24 W
Başlangıçtaki ilişkili Renk Sıcaklığı	4000 K	Güç tüketimi toleransı	+/-10%



(a)



(b)

Şekil A.3 : 24 W 8 cm x 120 cm Lineer tip LED armatür bilgileri : (a) Teknik.
(b) Işık dağılım eğrisi.



GLORY V.2 PC

Sıva Altı 27 W Spot Led Armatürü

Sipariş Kodu : 3116661
Ürün Kodu : DWL 027A 40FC00 2K9 10 40 GLO V.2



Ürün Bilgisi

Standart Ürün Özellikleri

Gövde	: RAL 9016 Boyalı alüminyum enjeksiyon gövde
Difüzör	: Gömme opal difüzör
Tavan Tipi	: Alçıpan
IP Koruma Sınıfı	: IP 40
Kullanım Şekli	: Sıva altı
Işık Kaynağı	: Mid Power LED
Gövde Rengi	: RAL 9003

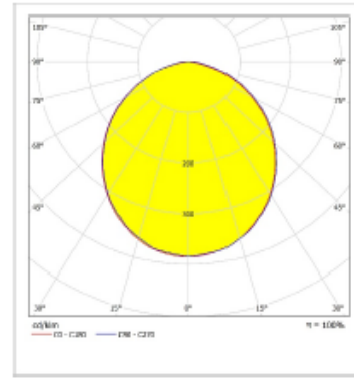
Optik ve Elektriksel Özellikler

Tüketim Gücü	: 26.7 W
Armatür Lümeni	: 2910.9 lm
Armatür Verimliliği	: 108.7 lm/W
Giriş Gerilimi	: 220-240 V AC
Giriş Frekans	: 50-60 Hz
Güç Faktörü	: > 0,9
Max. Gerilim Dayanımı (Surge)	: 1 kV
Sürüş Akımı	: 700 mA
Renk Sıcaklığı (CCT)	: 4000K
Renkssel Geriverim Indexi (CRI)	: >80

Diğer Özellikler

Çalışma Sıcaklık Aralığı	: -20 °C/+40 °C
Çalışma Sıcaklık Aralığı (ACK*)	: +5 °C/+35 °C
Darbe Dayanım Sınıfı (IK)	: IK 02
Led Ömrü - L70	: 60.000 saat @ Ta= 40 °C

Fotometrik Eğri



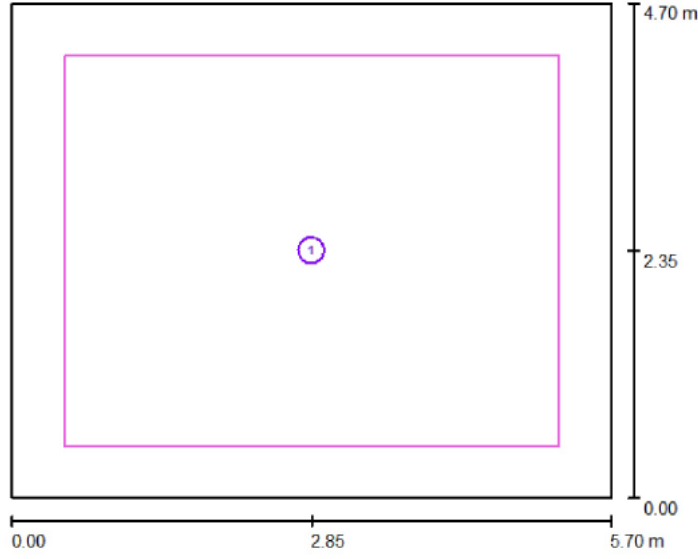
Opsiyonel Özellikler

Renk Sıcaklığı	: 3000K, 6500K
ACK Uyumluluğu	: 1, 3 saat
DALI Uyumluluğu	: Var
IP Koruma Sınıfı	: IP65
KAM Uyumluluğu	: Var
Renk Seçeneği	: RAL 9005, 9010, 9016

* KAM: Koridor Aydınlatma Modülü

Şekil A.4 : 26,7W Downlight tipi LED armatürün teknik bilgileri.

Ek B : Dialux aydınlatma hesabı çıktıları

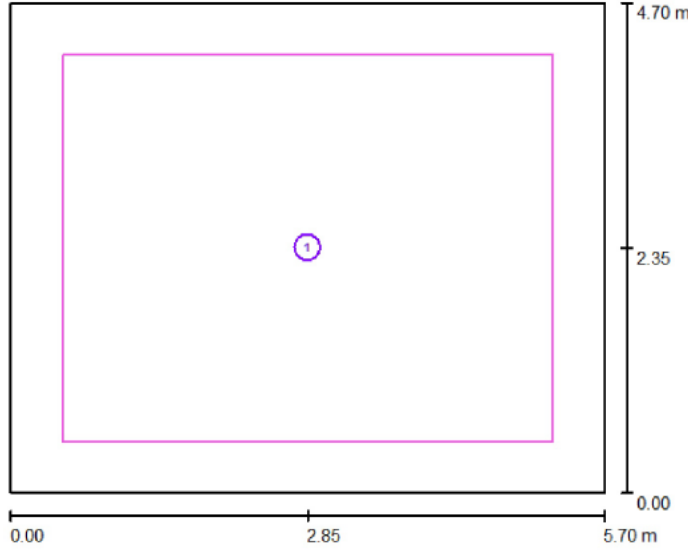


Ölçek 1 : 54

Hesap yüzeyi listesi

Nr.	Belirtim	Tip	Ağ	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{maks}
1	Hesap yüzeyi 1	dikey	32 x 32	337	250	395	0.741	0.632

Şekil B.1 : 1 numaralı ofis hacminin bire bir değişim sonucu Armatür 1 kullanılarak ile oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.

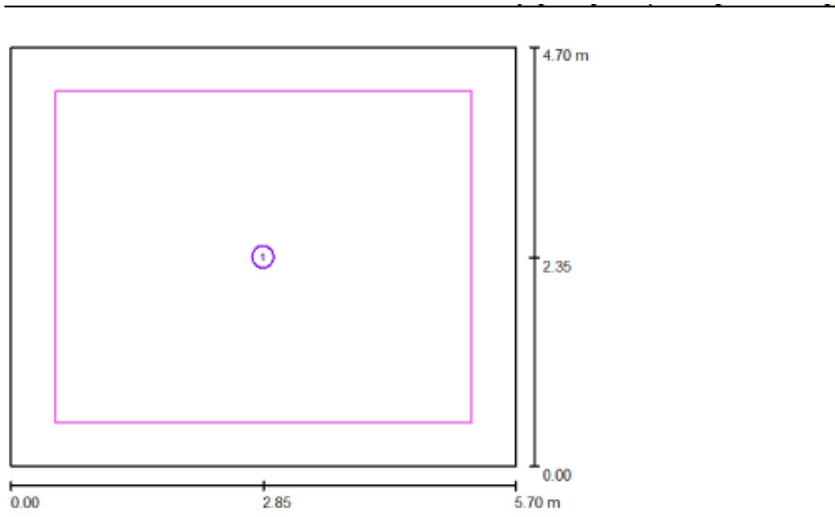


Ölçek 1 : 54

Hesap yüzeyi listesi

Nr.	Belirtim	Tip	Ağ	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{maks}
1	Hesap yüzeyi 1	dikey	32 x 32	584	428	652	0.733	0.657

Şekil B.2 : 1 numaralı ofis hacminin yeterli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde Armatür 2 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.

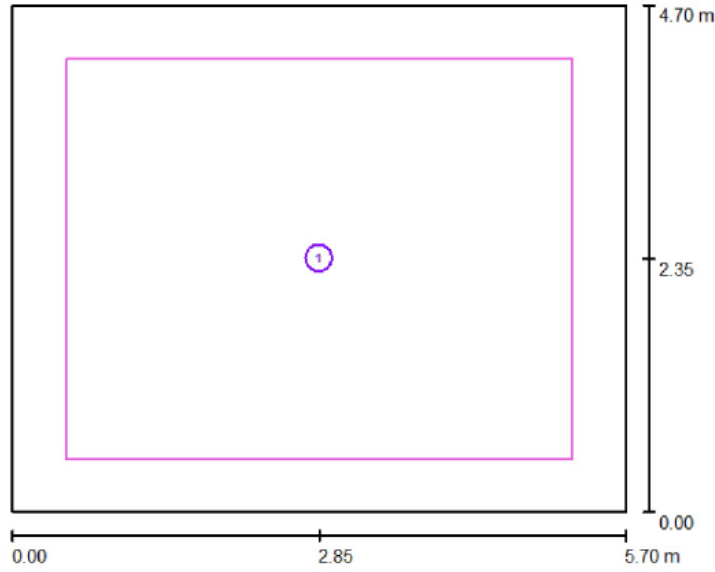


Ölçek 1 : 54

Hesap yüzeyi listesi

Nr.	Belirtim	Tip	Ağ	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{maks}
1	Hesap yüzeyi 1	dikey	32 x 32	582	425	651	0.731	0.653

Şekil B.3 : 1 numaralı ofis hacminin yeterli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde Armatür 3 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.

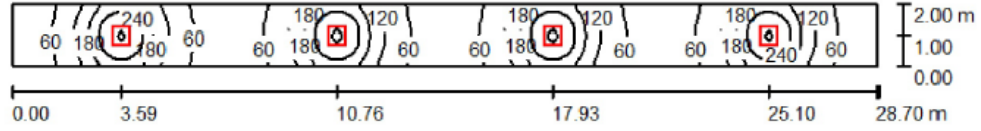


Ölçek 1 : 54

Hesap yüzeyi listesi

Nr.	Belirtim	Tip	Ağ	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{maks}
1	Hesap yüzeyi 1	dikey	64 x 64	625	470	745	0.752	0.631

Şekil B.4 : 1 numaralı ofis hacminin yeterli aydınlık düzeyini sağlayacak şekilde Armatür 4 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.



Oda yüksekliği: 2.800 m, Tutturma yüksekliği: 2.800 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:206
0.80

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	121	28	308	0.232
Zemin	20	94	36	169	0.385
Tavan	70	29	14	51	0.488
Duvarlar (4)	50	66	16	316	/

Çalışma düzlemi:

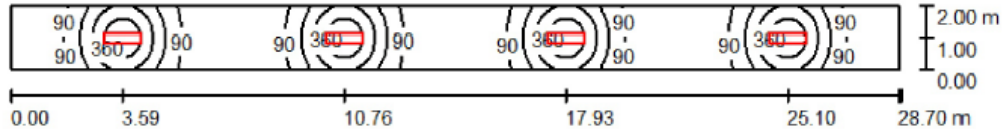
Yükseklik: 0.850 m
Ağ: 128 x 32 Noktalar
Sınır bölgesi: 0.000 m

Işıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	4	EAE 3109525 PAN 027T 40OD00 3K3606020 (Tip 1)* (1.000)	3310	3310	27.0
*Değiştirilen Teknik Veriler			Toplam: 13240	Toplam: 13240	108.0

Özgül bağlantı değeri: $1.88 \text{ W/m}^2 = 1.55 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 57.40 m^2)

Şekil B.5 : 1 numaralı koridor hacminin bire bir değişim sonucu Armatür 1 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.



Oda yüksekliği: 2.800 m, Tutturma yüksekliği: 2.800 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:206
0.80

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	146	16	425	0.110
Zemin	20	116	27	228	0.237
Tavan	70	26	12	41	0.488
Duvarlar (4)	50	59	14	251	/

Çalışma düzlemi:

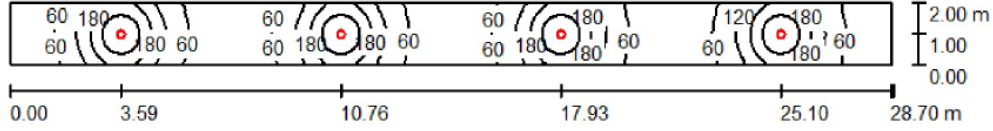
Yükseklik: 0.850 m
Ağ: 128 x 32 Noktalar
Sınır bölgesi: 0.000 m

Işıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	4	PHILIPS RC461B G2 PSD W30L120 LED34S/- NO (1.000)	3397	3400	23.0
			Toplam: 13587	Toplam: 13600	92.0

Özgül bağlantı değeri: $1.60 \text{ W/m}^2 = 1.10 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 57.40 m^2)

Şekil B.6 : 1 numaralı koridor hacminin bire bir değişim sonucu Armatür 3 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.



Oda yüksekliği: 2.800 m, Tutturma yüksekliği: 2.800 m, Bakım çarpanı: ... birimde değerler Lux, Ölçek 1:206
0.80

Yüzey	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{maks} [lx]	E_{min} / E_m
Çalışma düzlemi	/	109	24	292	0.222
Zemin	20	86	32	158	0.372
Tavan	70	25	12	43	0.487
Duvarlar (4)	50	57	14	262	/

Çalışma düzlemi:

Yükseklik: 0.850 m
Ağ: 128 x 64 Noktalar
Sınır bölgesi: 0.000 m

400 lx değerinden az (IEQ-7 için) noktaların payı: 100.00%.

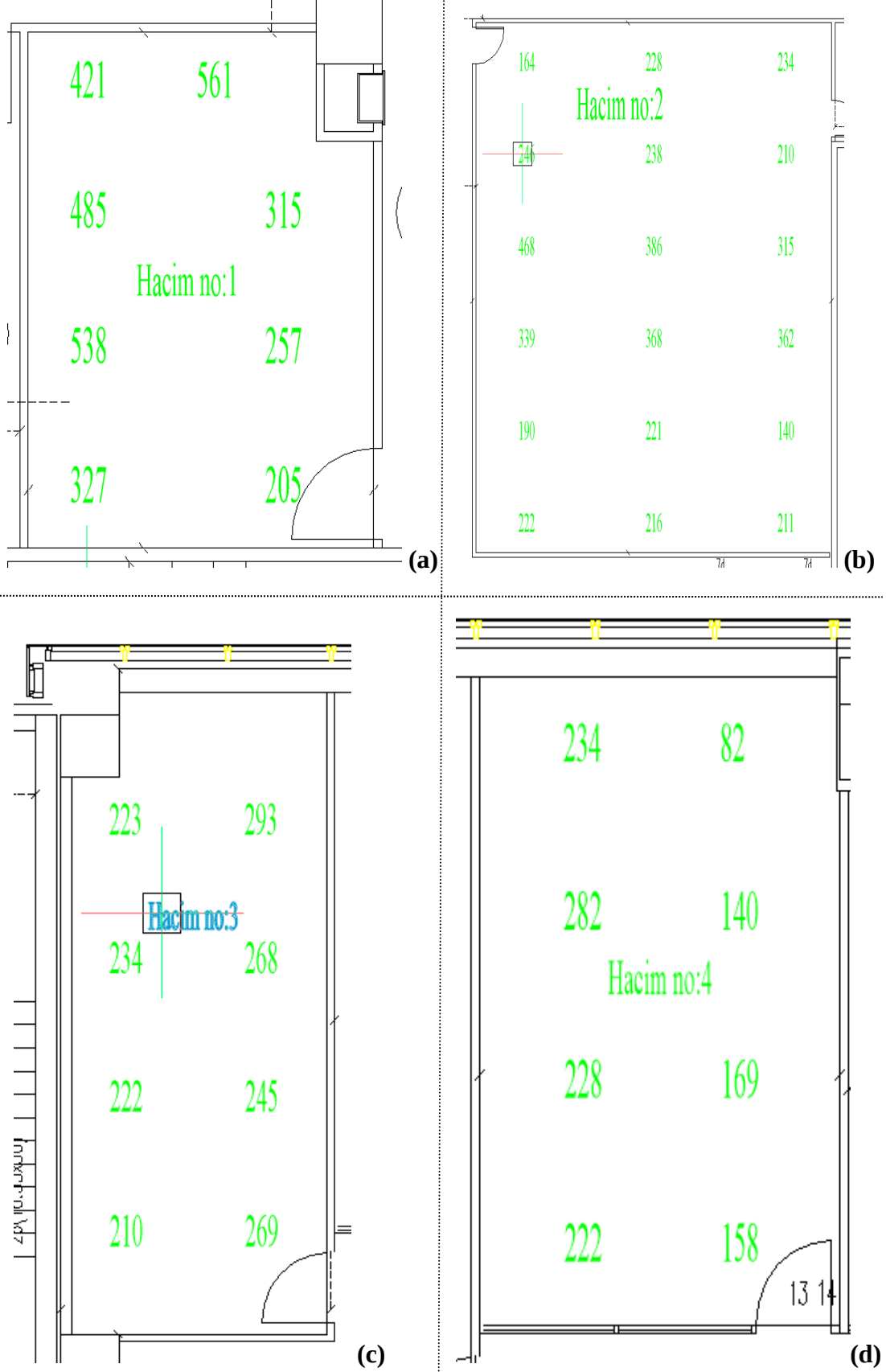
Işıklık parça listesi

Nr.	Parça	Belirtim (Düzeltilme çarpanı)	Φ (Işıklık) [lm]	Φ (Lambalar) [lm]	P [W]
1	4	EAE 3116551 DWL 027A 40PC00 2K9 10 40 GLO V.2 (Tip 1)* (1.000)	2911	2911	27.0
*Değiştirilen Teknik Veriler			Toplam: 11644	Toplam: 11644	108.0

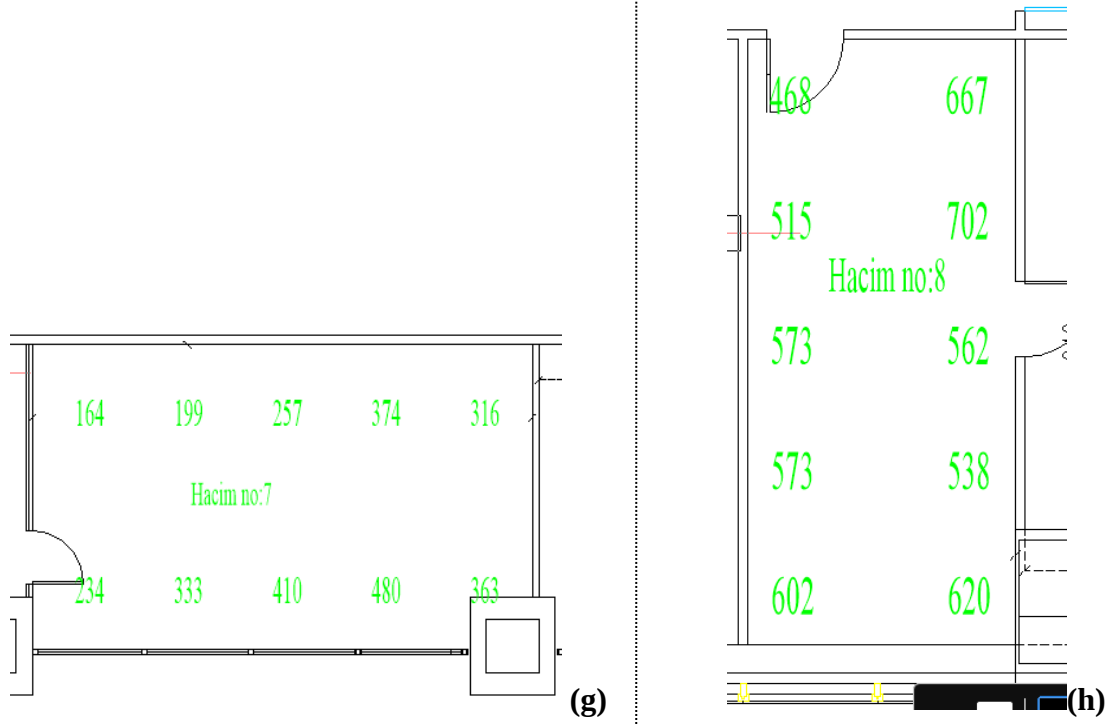
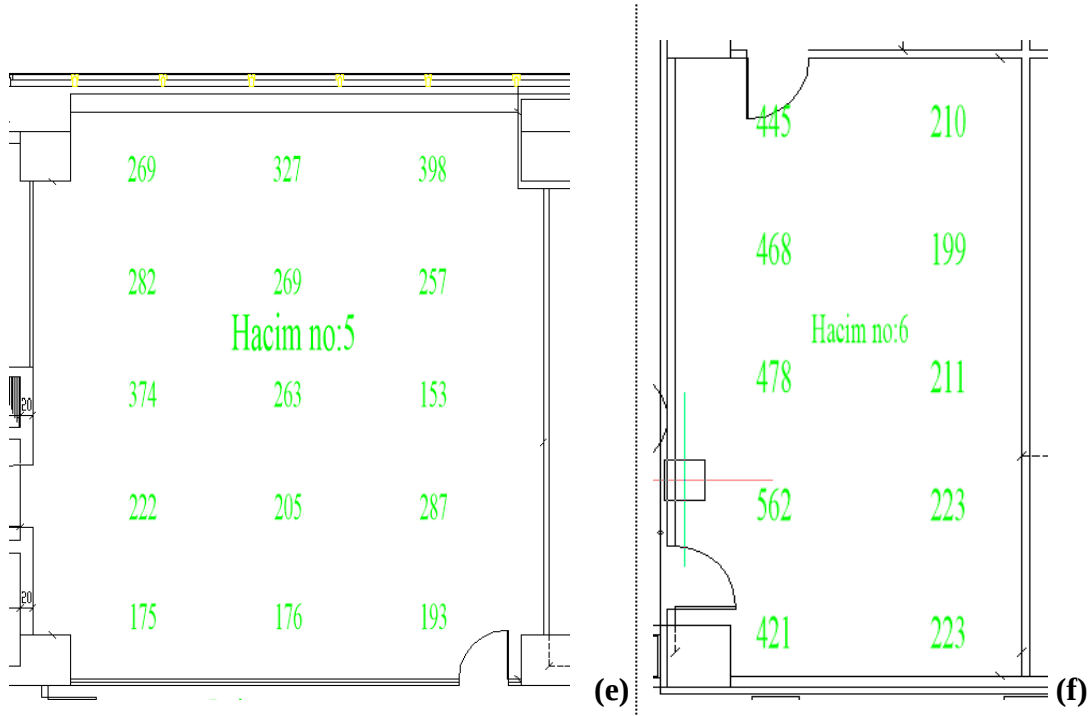
Özgül bağlantı değeri: $1.88 \text{ W/m}^2 = 1.72 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Zemin yüzeyi: 57.40 m^2)

Şekil B.7 : 1 numaralı koridor hacminin bire bir değişim sonucu Armatür 5 kullanılarak oluşturulan Dialux hesabı çıktısı.

Ek C: Aydınlık düzeyi ölçüm noktaları ve değerleri



Şekil C.1 : Ofis hacimlerinde yapılan aydınlık düzeyi ölçüm değerlerinin şematik gösterimi (lx) : (a) Hacim no:1. (b) Hacim no:2. (c) Hacim no:3. (d) Hacim no:4.



Şekil C.2 : Ofis hacimlerinde yapılan aydınlık düzeyi ölçüm değerlerinin şematik gösterimi (lx) : (e)Hacim no:5. (f) Hacim no:6. (g) Hacim no:7. (h) Hacim no:8.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Emrullah AYDOĞDU
Doğum Yeri ve Tarihi : ALAÇAM / 09.01.1984
Lisans Üniversite : 2007, YTÜ, Elektrik-Elektronik Fakültesi,
Elektrik Mühendisliği Bölümü