

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİ TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİ AYDINLATMA
TEKNİKLERİ VE ÖRNEK ÇALIŞMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Reha GÖKMEN**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİ TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİ AYDINLATMA
TEKNİKLERİ VE ÖRNEK ÇALIŞMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Reha GÖKMEN
(301051036)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.12.2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 25.01.2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sermin ONAYGİL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Celal KOCATEPE (YTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Önder GÜLER (İTÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

İlk olarak bu çalışma boyunca bana yol gösteren ve kendi kişisel birikimini ve tecrübesini esirgemeyen danışman hocam Sayın Sermin Onaygil'e şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Şahsıma yüksek lisans öğrenimi yapabilme imkanı sağlayan çalışmış olduğum Beyenerji Elektrik Üretim A.Ş. ve şu an çalışmaya devam ettiğim Paşabahçe Cam Sanayi ve Tic. A.Ş.'deki idarecilerime ve arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen kardeşim Seda, teyzem Ferdiye ve kuzenim Cem'e de teşekkür ederim.

Teşekkürlerin en büyüğü ise onların. Bugüne kadar olduğu gibi bugünden sonra da bana olan karşılıksız sevgilerinin ve desteklerinin devam edeceğini bildiğim beni her zaman onurlandıran babama ve dünyalar tatlısı anneme sonsuz sevgilerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak bu çalışmaya başlarken nişanlandığım ve şu anda evli olduğum bir tanem İlknur'uma bana olan desteğinden ve sabrından dolayı çok teşekkür ederim.

Ocak 2010

Mehmet Reha GÖKMEN

Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ	5
2.1 Enerji Verimliliği Tanımı.....	5
2.2 Enerji Yoğunluğu	6
2.3 Dünyadaki Enerji Verimliliği Uygulamaları	8
2.3.1 Japonya.....	8
2.3.2 Avrupa Birliği	9
2.3.3 Amerika.....	12
2.4 Türkiye'nin Enerji Durumu.....	14
2.5 Enerji Verimliliğinin Gelişimi ve Türkiye'deki Mevcut Durum	20
2.5.1 Enerji verimliliği kanunu	21
2.5.2 Enerji verimliliği yönetmeliği	23
2.5.3 Endüstriyel tesislerde verimlilik artırıcı projelerin desteklenmesi.....	25
2.5.4 Enerji yönetimi ve verimlilik artırıcı önlemler	26
2.6 Türkiye'de Enerji Verimliliği Çalışmaları	27
3. AYDINLATMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ	31
3.1 Aydınlatmada Enerji Tasarrufu	33
3.2 Doğru ve Verimli Aydınlatma.....	34
3.3 Endüstriyel Aydınlatma.....	35
4. AYDINLATMA VE GÖRSEL PERFORMANS	37
4.1 Aydınlatma ve Kazaların Azalması.....	39
4.2 Aydınlatma Kalitesinin Gerekliliği	41
4.3 Aydınlatma ve Biyolojik Etkileri	43
4.3.1 Işık ve biyolojik saat	44
4.3.2 Işığın vücut üzerinde doğrudan uyarıcı etkileri	45
4.3.3 Işık, ruh hali ve uyanıklık	45
4.3.4 Günışığı ve yapay aydınlatma.....	47
4.3.5 Düşük aydınlatma kalitesinin etkisi	47
4.4 Aydınlatma ve Verimlilik.....	47
4.5 Farklı Endüstriyel Çevrelerde Test Çalışması.....	49
5. GENEL AYDINLATMA TANIMLARI, ELEMANLARI VE TASARIMI ..	53
5.1 Genel Tanımlar.....	54
5.1.1 Işık akısı (Φ , lm)	54
5.1.2 Işık şiddeti (I)	54

5.1.3	Aydınlık düzeyi (E).....	55
5.1.4	Parıltı (L).....	55
5.1.5	Kamaşma.....	55
5.1.6	Etkinlik faktörü (e).....	55
5.1.7	Renk sıcaklığı.....	55
5.1.8	Işık rengi.....	56
5.1.9	Renksel geriverim	56
5.2	Aydınlatma Elemanları.....	56
5.2.1	Işık kaynakları	56
5.2.2	Deşarj lambaları	57
5.2.2.1	Lineer floresan lamba	58
5.2.2.2	Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba	62
5.2.2.3	Yüksek yoğunluklu deşarj lambaları	62
5.3	Kontrol Ünitesi –Balast	68
5.4	Aydınlatma Tasarımı	70
5.4.1	Düzensizlik	73
5.4.2	Renk sıcaklığı ve renksel geriverim özelliği	74
5.4.3	Ortam sıcaklığı ve ışık akısının sıcaklığa bağımlılığı	74
5.4.4	Servis ömrü (Ekonomik ömür).....	75
5.5	Aydınlatma Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler	75
5.6	Armatür Bilgisi	77
5.7	Aydınlatma Kontrol Sistemleri.....	79
5.7.1	Elle kontrol.....	79
5.7.2	Otomatik kontrol	80
6.	ÖRNEK ÇALIŞMA	81
6.1	Fabrika Tanıtımı	81
6.1.1	Fabrika genel enerji tüketim bilgileri	83
6.2	Aydınlatma Projesi	84
6.2.1	Mamul ambar	86
6.2.2	Ambalaj ambarı	89
6.2.3	Üretim bölümü	92
6.2.4	Çevre aydınlatması	98
6.2.5	Fabrika genelinde verimli floresan lamba kullanımı.....	100
6.3	Proje Özeti	101
7.	SONUÇ	105
	KAYNAKLAR.....	109
	EKLER.....	115
	ÖZGEÇMİŞ.....	128

KISALTMALAR

TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
US	: United States (Birleşik Devletler)
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
KEP	: Kilo Eşdeğer Petrol
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
DOE	: Department of Energy (Amerika Enerji Bakanlığı)
ITP	: The Industrial Technologies Program (Endüstriyel Teknoloji Programı)
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
DİE	: Devlet İstatistik Kurumu
UETM	: Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi
KOSGEB	: Küçük Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
MMO	: Makine Mühendisleri Odası
EMO	: Elektrik Mühendisleri Odası
VAP	: Verimlilik Artırıcı Proje
ENVER	: Enerji Verimliliği
EV	: Enerji Verimliliği
KOBİ	: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme
CEN	: European Standardization Committee (Avrupa Standartlar Komitesi)
TUKO	: Talebin üretimle karşılanma oranı
TWh	: Terawatt saat
GWh	: Gigawatt saat
MW	: Megawatt
kWh	: Kilowatt saat

CIE	: International Commission on Illumination (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)
K	: Kelvin
Lx	: Lüks
Nm	: Nanometre
İZODER	: Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği
UV	: Ultraviyole
HID	: High Intensity Discharge (Yüksek Şiddetli Deşarj Lambası)
SOX	: Sodium Oxide (Alçak Basıncılı Sodyum Buharlı Lamba)
KFL	: Kompakt Floresan Lamba
RGI	: Renksel Geriverim İndeksi
ISO	: International Standart Organisation (Uluslararası Standartlık Örgütü)
CADDET	: Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (Enerji Teknolojilerini Dağıtma ve Analiz Merkezi)
LPG	: Likit Petrol Gazı
EEG	: ElectroEncephaloGraph (Elektroensefalograf)
SPP	: Simple Payback Period (Basit Geri Ödeme Süresi)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 2007 Yılı İçin Çeşitli Bölgelerdeki Kişi Başına Enerji Tüketimleri ve Enerji Yoğunluğu [12]	7
Çizelge 2.2 : Top Runner programının sonucundaki gelişme [13].....	9
Çizelge 2.3 : Sektörlerdeki enerji tasarruf potansiyeli [17].....	11
Çizelge 2.4 : Birincil enerji arz ve talebinin karşılanması [24].....	14
Çizelge 2.5 : Sektörel enerji talebinin gelişimi [26].....	16
Çizelge 2.6 : Enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi [28].....	17
Çizelge 2.7 : Kullanım alanlarına göre elektrik tüketimi [29].....	18
Çizelge 4.1 : Aydınlik düzeyinin iyileştirilmesi ile kazaların azalması [49].....	39
Çizelge 4.2 : Aydınlatma tasarımında dikkat edilmesi gereken kalite büyüklükleri ve parametreleri [43,47]	42
Çizelge 4.3 : TS EN 12464-1'e göre seramik, fayans ve cam endüstrileri için aydınlatma kalite değerleri	43
Çizelge 4.4 : Aydınlatma ve verimlilik üzerine yapılan çalışma sonuçları [68]	51
Çizelge 5.1 : Endüstri tesislerinde kullanılabilen tüp floresan lambaların karakteristik değerleri [75]	60
Çizelge 5.2 : Enkandesen ve KFL maliyet karşılaştırması [73]	61
Çizelge 5.3 : KFL ve enkandesan lamba karşılaştırması [77]	61
Çizelge 5.5 : 26mm çaplı lineer floresan lambalar için balast sınıfları ve güç sınırlamaları.....	69
Çizelge 5.6 : 16mm çaplı lineer floresan lambalar için balast sınıfları ve güç sınırlamaları.....	69
Çizelge 6.1 : Paşabahçe Kırklareli Fabrikası enerji tüketimleri (2004-2008)	83
Çizelge 6.2 : Aydınlatma elemanları ve güç tüketimleri	84
Çizelge 6.3 : Fabrikada kullanılan aydınlatma elemanlarının özellikleri	86
Çizelge 6.4 : Mamul ambar aydınlatma tesisatı ve ortalama aydınlık düzeyi	87
Çizelge 6.5 : Mamul ambar civa buharlı lambalı armatürlerin floresan lambalı armatürlerle değişimi	89
Çizelge 6.6 : Ambalaj ambarı aydınlatma tesisatı ve ortalama aydınlık düzeyi.....	90
Çizelge 6.7 : Ambalaj ambarı armatürlerinin değişimi	91
Çizelge 6.8 : Floresan armatür ve lamba birim fiyatı	92
Çizelge 6.9 : Soğutma sonu aydınlatma tesisatı ve ortalama aydınlık düzeyleri.....	92

Çizelge 6.10 : Soğutma sonu civa buharlı lambaların fluoressan lambalarla. değişimi Öneri1	93
Çizelge 6.11 : Soğutma sonu civa buharlı lambaların metal halide lambalarla değişimi Öneri 2	94
Çizelge 6.12 : Üretim 2 ve 3 aydınlatma tesisatı ve aydınlık düzeyleri	96
Çizelge 6.13 : Üretim bölümü 2,3 lamba ve armatür değişimi.....	97
Çizelge 6.14 : Çevre aydınlatması lamba ve armatür değişimi	99
Çizelge 6.15 : Fluoressan lambalı ve manyetik balastlı armatürün elektronik balastlı yeni nesil fluoressan lamba ile değişimi	100
Çizelge 6.16 : Bir adet fluoressan lambanın yeni nesil lamba ile değişimi.....	101
Çizelge 6.17 : Fabrika genelinde iki farklı öneri için elektrik enerjisi tüketimleri, aydınlık düzeyleri ve düzgünlük değerleri	102
Çizelge 6.18 : Enerji verimliliğinin karşılaştırılması.....	102
Çizelge 6.19 : Fabrika genelindeki tüm bölümlerde elde edilen kazançlar ve geri ödeme süreleri	103
Çizelge A.1 : TS EN 12464-1'e göre çeşitli sektörler için aydınlatma kalite değerleri.....	116
Çizelge A.2 : Lamba özellikleri ve uygulama alanları	119
Çizelge A.3 : Örnek tasarım	121

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Toplam Birincil Enerji Üretimi [3]	2
Şekil 1.2 : Birincil Enerji Tüketimi [3].....	3
Şekil 2.1 : AB Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (%) [15].....	10
Şekil 2.2 : Arz ve talebin gelişimi (TEP) [24]	14
Şekil 2.3 : 2006 yılı birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı [24].....	15
Şekil 2.4 : 2006 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara dağılımı [24]	15
Şekil 2.5 : 2007 yılı enerji tüketiminin nihai sektörlerle dağılımı [26]	16
Şekil 2.6 : 2008 yılı enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi [28]	17
Şekil 2.7 : 2008 yılı kullanım alanlarına göre elektrik tüketimi [29]	19
Şekil 2.8 : 2008 yılı kullanım alanlarına göre elektrik tüketimi [29,30]	19
Şekil 3.1 : Aydınlatmanın elektrik tüketimi içindeki payı [12]	32
Şekil 3.2 : Aydınlatma değişiminin karlılık üzerindeki etkisi [44]	36
Şekil 4.1 : Aydınlatma ihtiyacı ve yaş arasındaki ilişki [45]	37
Şekil 4.2 : Değişik yaş kategorileri için göz merceği geçirgenliği [46]	38
Şekil 4.3 : a)Normal zorlukta iş için çalışma alanı b)Zor iş için çalışma alanı [48]	38
Şekil 4.4 : Kaza sayılarının aydınlık düzeyine bağlı değişimleri [50].....	40
Şekil 4.5 : Kaza sayılarının aydınlık düzeyine bağlı değişimleri [50].....	40
Şekil 4.6 : İnsan vücuduna ait çeşitli hormonların 24 saatlik ritmi [43,47]	44
Şekil 4.7 : Canlılık seviyesinin iki farklı aydınlık düzeyi için gece vardiyası çalışmasındaki değişimi [62]	46
Şekil 5.1 : Elektromanyetik spektrumda ışığın yeri [70].....	53
Şekil 5.2 : Lamba tipleri [74].....	57
Şekil 5.3 : Floresan lamba [74].....	59
Şekil 5.4 : Balast entegreli KFL [76].....	60
Şekil 5.5 : Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba [78].....	62
Şekil 5.6 : Yüksek yoğunluklu deşarj lambaları [76,78]	63
Şekil 5.7 : Seramik deşarj tüplü metal halide lamba örnekleri [78]	66
Şekil 5.8 : İndüksiyon lambası örnekleri [78]	67
Şekil 5.9 : Deşarj lambası ve floresan lamba için balast örnekleri	70
Şekil 5.10 : DCP300 serisi armatür örneği	77

Şekil 5.11 : TPS350 serisi armatür örneği	78
Şekil 5.12 : HPK080 serisi armatür örneği	78
Şekil 5.13 : TMS022 serisi armatür örneği.....	79
Şekil 6.1 : Ocak 2009 elektrik tüketiminde aydınlatmanın payı.....	85
Şekil 6.2 : 2009 yılı elektrik tüketiminde aydınlatmanın payı.....	85
Şekil 6.3 : Mamul ambar aydınlık düzeyi dağılımı	88
Şekil 6.4 : Mamul ambar aydınlık düzeyi dağılımı	91
Şekil 6.5 : Soğutma sonu aydınlık düzeyi dağılımı (fluoresan lamba).....	95
Şekil 6.6 : Soğutma sonu aydınlık düzeyi dağılımı (metal halide lamba).....	95
Şekil 6.7 : Üretim 2 bölümü aydınlık düzeyi dağılımı	97
Şekil 6.8 : Üretim 3 bölümü aydınlık düzeyi dağılımı	98
Şekil 6.9 : Çevre aydınlatma aydınlık düzeyi dağılımı.....	99

ENDÜSTRİ TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİ AYDINLATMA TEKNİKLERİ VE ÖRNEK ÇALIŞMA

ÖZET

Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmektedir. Bu yüzyılın ikinci yarısında petrol ve doğalgaz gibi bazı fosil yakıtların rezervlerinin sonuna gelineceği tahmin edildiğinden, bütün enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Enerji ihtiyacının sürekli arttığı ama kaynakların gittikçe azaldığı dünyada, enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak için çok çeşitli programlar uygulanmaktadır.

Türkiye’de son yirmi yıldır bazı çalışmalar yapılmakla birlikte, konunun önemi henüz anlaşılabilmiş değildir. Türkiye’nin genel enerji politikası hâlâ arz güvenliği ve talebin enerji verimliliği yoluyla azaltılması yerine, büyüyen talebin karşılanması için yollar bulunmasına odaklanmaktadır. Bununla birlikte Mayıs 2007 yılında kabul edilen Enerji Verimliliği Kanunu ile enerji verimliliği çalışmaları hız kazanmıştır.

Günümüzde elektrik enerjisinin kullanımı ve enerji talebinin artması, özellikle pahalı bir enerji çeşidi olan elektrik enerjisinin tüketilen her noktadaki tasarruf potansiyellerinin araştırılıp acilen değerlendirilmesini gerektirmektedir. Elektrik enerjisinin en çok tüketildiği sanayi sektöründe tüketim oranları düşük olmasına rağmen, tasarruf miktarı yüksek olduğundan, aydınlatma tesisatları da verimli hale getirilmelidir. Verimlilik çalışması yapılırken insanların çalıştığı ortamların emniyeti ve çalışma şartları göz önüne alınarak gerekli olan aydınlatma düzeylerinden ödün verilmemelidir.

İnsan fizyonomisi ve psikolojisi üzerinde etkili bir rol oynayan ışık ve aydınlatma, gündelik yaşamın yanı sıra çalışma yaşamında da yaşamsal bir öneme sahiptir. Stres yönetimi bağlamında ışık ve aydınlatma, çalışanların kaygı düzeyini yükselterek iş doyumlarını ve verimlerini azaltabilmektedir. Bu anlamıyla ışık ve aydınlatmayı bir stresör olarak nitelemek ve çalışma yaşamında olumsuz etkilere neden olabileceğini ileri sürmek olanaklıdır. Öte yandan çalışma yaşamında verimlilik ve etkinlik, çalışma ortamının ve koşulların iyileştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda ışık ve aydınlatma, yüksek verimliliğe ve etkinliğe yönelik bir olgu olarak olumlu sonuçlar doğurabilmektedir.

İyi ve kaliteli aydınlatma çalışma alanında optimum görsel performansı sağlamak için gereklidir. Kaliteli aydınlatmanın sağlık ve mutluluk üzerinde pozitif etkiler gösterdiği son yirmi yılda bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Vücut saati hormon salgısının düzeyi, dikkat, ruh hali, uyku uyanıklılık döngüsü, vücut sıcaklığı gibi günlük bütün fizyolojik ve psikolojik süreçlerin ritimlerini düzenler. Her iki açıdan da kaliteli endüstriyel aydınlatma 24 saatlik çalışmalarda daha önemli hale gelmektedir.

Bu çalışmada; enerji tasarrufu ve enerji verimliliğinin önemi üzerinde durularak, aydınlatmada yapılacak enerji tasarrufunun sağlayacağı katkılar belirtilmiştir. Aydınlatmanın insan üzerindeki olumlu etkileri ile iş performansı ve verimliliği artırıcı özellikleri de detaylı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte iyi bir aydınlatma tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken aydınlatma elemanlarının seçimi ve tavan yksekliliğine bağlı tasarlanan aydınlatma tesisatları hakkında da bilgi verilmiştir. Son olarak cam sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada mevcut aydınlatma tesisatlarını daha verimli hale getirmek için gerçekleştirilen tasarruf projesi ve sonuçları açıklanmıştır.

ENERGY EFFICIENCY LIGHTING TECHNIQUES IN INDUSTRIAL PLANTS AND A CASE STUDY

SUMMARY

The reserves of fossil fuels which currently respond to the major part of world energy requirements are being running out very fast. Because it is forecasted that reserves of some fossil fuels like oil and natural gas will come to an end in the second half of this century, exploiting all energy resources in an efficient manner has great importance. Throughout the world where the energy demand grows continuously but the resources decrease gradually, many types of programs are implemented to provide efficient energy use.

In Turkey, although there have been some efforts in last two decades, the importance of the issue could not be understood yet. Turkey's general energy policy still focuses on supply security and finding ways to meet the growing demand, rather than decreasing the demand by energy efficiency. However, energy efficiency endeavors has been (speed up) with the legislation of energy efficiency in may 2007.

Nowadays ,by increasing of consuming electric energy and demands, is required researching of potential of saving energy particularly expensive one which is electric. Lighting fitments is needed to be efficient in industrial sector where is most electric energy is consumed although (consuming or saving) level is lowest percentage. When (working or arranging or studying) of efficient of electric energy, the people's work place's safety and working conditions should be considered and shouldn't make concession of lighting levels.

Light and lighting, having a tremendous effect on human physiognomy and psychology, are crucially important not only in our daily lives but also in our business lives. In context of stress management, light and lighting can decrease work motivation and productivity by increasing workers' anxiety levels. In this sense, it is possible to qualify poor lighting as a cause of severe stress and claim that it might lead to negative consequences. The need for productivity at work, however, necessitates improving working conditions and at this point light and lighting could boost productivity.

Good lighting is required for optimal visual performance in the working place. The effects of good lighting are even more important as science has shown in the last two decades the positive influence of light on health and well-being This body clock regulates all daily rhythms of both physiological and psychological processes such as hormone secretion levels, alertness, mood, sleep-wake cycle, body temperature. Both these aspects of good industrial lighting will become more important in 24-hour operations.

In this study, importance of saving electric energy and efficiency is highlighted and contribution of saving energy in lighting is indicated. Also positive effects of lighting on people and effects of increasing work efficiency and performance is viewed detailed. Besides, information has given about choosing lighting equipments and lighting fitment according to ceiling height. In conclusion, saving project is been

carried out in a factory runs in a glass sector to make more efficient lighting installations and results are explained.

1. GİRİŞ

Enerjinin ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu, yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynadığı bilinmektedir. Sürdürülebilir bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji arzıyla mümkün olacağı da çok bilinen bir diğer husustur.

Sürdürülebilir kalkınmanın enerjiyle olan bağlantısı, çok uzun bir süre boyunca enerjinin tüketicilere güvenli biçimde sunulması ekseninde ele alınmış, enerji-kalkınma ilişkisi bu çerçevede içinde değerlendirilmiştir. Ancak, halihazırda en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz) gittikçe ve süratle azalmakta oluşu, diğer yandan bu kaynakların yarattığı çevresel problemler, hem bu kaynakların rasyonel ve ekonomik biçimde kullanımı olgusunu, hem de enerji verimliliği kavramını gündeme getirmiş, sürdürülebilir kalkınmayla ilgili çalışmalara bu konuların dahil edilmesi sonucunu doğurmuştur [1].

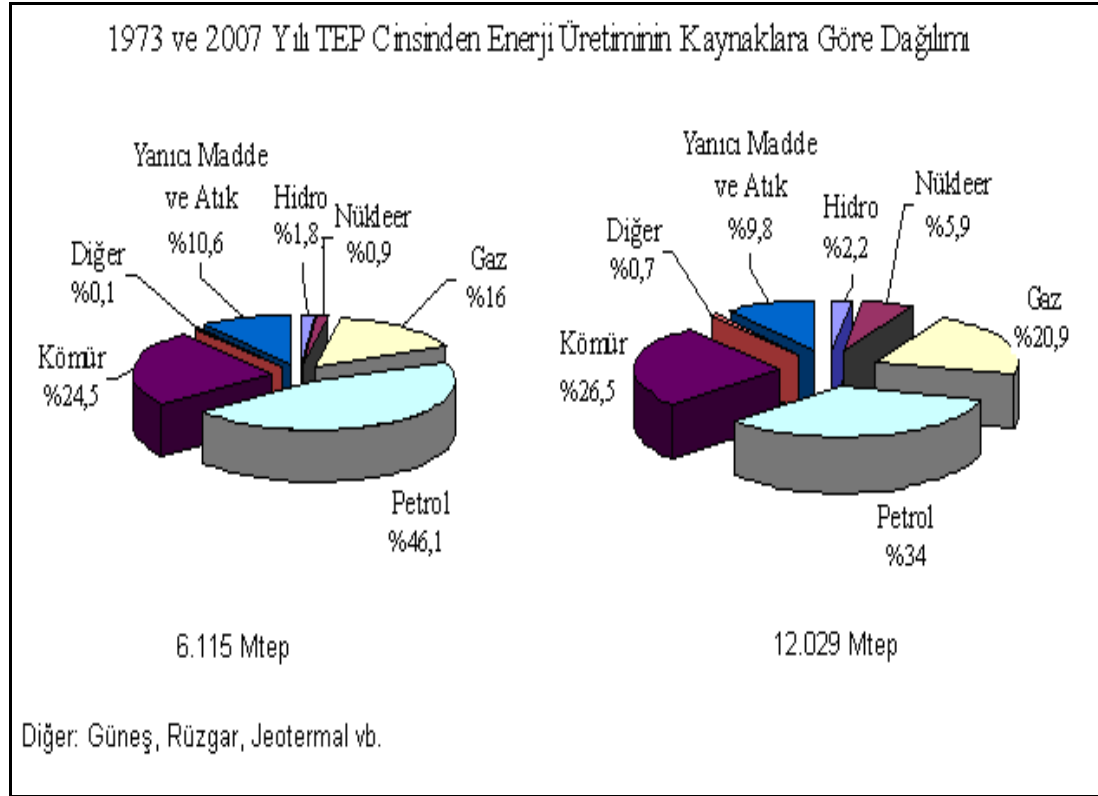
Ülkemizde halen kamuya ve özel sektöre ait olmak üzere, günümüz koşullarında ekonomik olma özelliğini kaybetmiş sanayi tesisleri mevcuttur. Bu tesisler, maliyet ölçütlerine göre fazla enerji tüketen ve teknolojik gelişmelere ayak uyduramamış tesisler olarak kalmışlardır. Birçok endüstriyel süreç, enerjinin başka şekle dönüştürülerek kullanılmasını gerektirmekte ve bu da genellikle önemli miktarlarda dönüşüm kayıplarına neden olmaktadır. Bazı kayıplar kaçınılmazdır, ancak sanayi sektörümüzde bu kayıpların yer yer büyük miktarlara ulaştığı gözlemlenmiştir. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ve enerji fiyatlarındaki artış, kayıp enerjiyi geri kazanmak için yapılacak yatırımları karlı hale getirmiştir. Ayrıca, enerji tasarrufu çalışmaları ile sadece enerji tüketimi azalmakla kalmamakta, bu çalışmalar sırasında bakım, onarım, işletme alışkanlıkları gibi fonksiyonların yeniden düzenlenmesi ile üretim ve işletme verimlerinde de artışlar sağlanmaktadır [2].

Hızla tükenen fosil yakıtların yerine bir yandan alternatif enerji kaynakları aranırken, diğer yandan mevcut kaynakların etkin biçimde değerlendirilmesi gündeme gelmekte ve enerji tüketiminin konforu etkilemeden düşürülmesi yönünde eğilimler

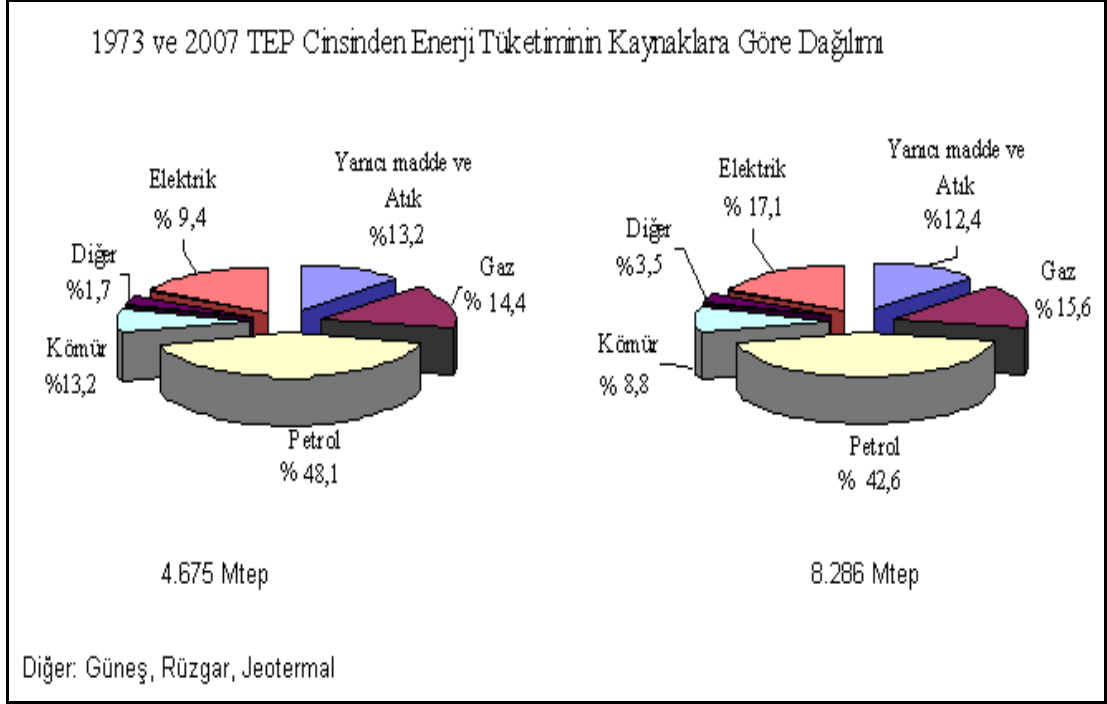
oluşmaktadır. Bu eğilimler genel olarak enerji verimliliği başlığı altında değerlendirilmektedir.

Enerji verimliliği hem enerjinin üretimi ve iletimi, hem de tüketimi alanında genel etkinlik çalışmalarının tümünü kapsamaktadır. Bir tarafta daha az maliyet ve daha az birincil kaynak kullanımıyla daha çok enerji üretimi yönünde çalışmalar sürerken, diğer tarafta aynı miktar enerjiyle daha çok iş yapılması veya aynı miktar işin daha az enerji tüketilerek yapılması konusunda çeşitli çalışmalar yürütülmekte, tedbirler geliştirilmekte, politika ve stratejiler üretilmektedir [1].

1973–2007 yılları arasında dünyadaki birincil enerji kaynakları üretimi ve tüketimi şekil 1.1 ve şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Toplam Birincil Enerji Üretimi [3]



Şekil 1.2 : Birincil Enerji Tüketimi [3]

Dünyada, özellikle de gelişmiş ülkelerde enerjinin verimli kullanılması için çok çeşitli çalışmalar yapılmakta, enerji verimli teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için büyük bütçeli programlar uygulanmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı kamu eliyle yürütülen çeşitli uygulamalar, eğitim ve bilgilendirme faaliyetleri, bir kısmı yaptırımlar getiren yasal düzenlemeler, bir kısmı sivil kuruluşlar tarafından yürütülen kampanyalar ve gönüllü faaliyetler, bir kısmı da büyük endüstriyel şirketler ile üniversiteler tarafından yürütülen ve bazılarını hükümetlerin de desteklediği teknoloji geliştirme programlarıdır [1].

Enerji verimliliğinin artırılması ve zengin imkanlara sahip olduğumuz yenilebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması, sadece küresel iklim değişikliği politikalarına uyum için değil, aynı zamanda; ülkenin dış ödemeler açığı, istihdam katkısı, hava kirliliğine bağlı sağlık problemlerinin azalması, hane halkının harcamalarında rahatlama gibi çok sayıda ve çok yönlü yararlar açısından da bir çözüm olanağı yaratmaktadır [4].

Türkiye’de son yıllarda enerji verimliliğine yönelik bazı çalışmalar yürütülmeye başlanmış, ancak konunun önemi henüz yeterince anlaşılamamış ve yeterli sayıda doğru uygulama örnekleri oluşturulamamıştır.

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji, özellikle geride bıraktığımız yüzyılın başlarından itibaren ülkelerin rekabet üstünlüğü sağlamada istifade ettikleri en önemli konulardan biri olmuştur. İçine girdiğimiz yeniçağda ise, dünyadaki teknolojik yenilikler, uluslararası sınırların geçirgenliğinin artması, sermaye hareketleri için sınırların hemen hemen kalkmış bulunması ve iletişim alanındaki büyük gelişmeler hem dünyadaki enerji kullanımının miktar ve hızını artırmış, hem de enerjiyi üzerinde durulması gereken en önemli sorunlardan birisi haline getirmiştir [1].

Enerji ülkelerin iktisadi ve sosyal kalkınması için önemli girdilerin başında gelir. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi, enerji tüketimindeki hızlı artışa bağlı olarak ozon tabakasının incilmesi, sera gazı emisyonlarının insan yaşamını tehdit eder duruma gelmesi nedeniyle, enerji günümüzün en önemli sorunlarından birini oluşturmaktadır [5].

Enerjide dışa bağımlılık oranımız %74'ler seviyesinde olup, üretim planlamasının gerektirdiği yatırımlar için tedbir alınmaz ise bunun %80'lere yükselme eğiliminde olduğu öngörülmektedir [6].

Enerji sorunlarının giderek arttığı, ancak kaynakların azaldığı bir dünyada enerjinin verimli kullanımı önem kazanmıştır.

2.1 Enerji Verimliliği Tanımı

Son yılların önemli kavramlarından biri olması nedeniyle, enerji verimliliğinin birçok kurum ve kuruluş tarafından tanımı yapılmaktadır. Bu tanımlardan bazıları şöyledir:

Enerji verimliliği; enerji girdisinin üretim içindeki payının azaltılması, aynı üretimin daha az enerji tüketilerek gerçekleştirilmesidir [7].

Bir başka tanımda ise enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden iktisadi kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesi biçiminde ifade edilmiştir [8].

Bugün, hem sürdürülebilir kalkınmanın gereklerini yerine getiren, hem de çevresel tehlikelerle enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan ekonomik ve sosyal maliyetleri en aza indirgeyen bir strateji oluşturmak için, çevresel kısıtlar, ekonomik ve siyasi kısıtlarla birlikte düşünülmektedir. Burada bahsedilen strateji de enerji verimliliği stratejisidir. Böyle bir strateji, en önce enerji ihtiyacı kavramının dramatik biçimde yeniden ele alınmasını gerektirmektedir. Aynı hizmet bugünkünden daha az enerji kullanılarak ve toplamda bugünkünden daha az bir maliyetle yerine getirilebilir. Bu durum, en ileri teknolojileri kullanan ve belirgin biçimde etkin ekonomilere sahip olan ülkeler için de geçerlidir [9].

Enerji verimliliğiyle ilgili stratejinin en önemli basamaklarından birisi hiç şüphesiz enerji tasarrufudur. Her ne kadar enerji tasarrufu, genelde basit kısıntı tedbirleri uygulamak olarak algılanıyor ise de, aslında çok daha geniş bir tedbirler dizisini içermektedir.

Enerji tasarrufu iki biçimde gerçekleştirilmektedir. Birincisi, doğrudan enerji tasarruf eden ev, araba ve diğer son teknolojileri kullanmak; alışkanlıkları ve günlük davranışları enerjiyi daha verimli kullanacak biçimde düzenlemek gibi somut önlemlerden oluşmaktadır. İkincisi ise, dolaylı enerji tasarrufu olup mevcut malların daha uzun süre kullanılmasını sağlayarak yeni malların üretimini azaltmak; enerji tüketimini minimize edecek biçimde yerleşim yerlerini düzenlemek, ekonomide doğrudan materyal tüketiminin olmadığı etkinliklere geçiş yapmak gibi önlemlerdir [10].

2.2 Enerji Yoğunluğu

Enerji verimliliğinin önemli göstergelerinden birisi enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir.

Enerji yoğunluğu göstergesinde ekonomik çıktı, enerji verimliliğindeki değişimlerle birlikte ifade edilmektedir. Ancak bu değişimlerin tümünün toplu olarak tek bir göstergede incelenmesi olanaksızdır. Bununla birlikte enerji yoğunluğu göstergesi,

enerji verimliliğinin incelenmesinde ve karşılaştırılmasında yoğun olarak kullanılmaktadır [11].

Bir ülkenin gelişmişlik düzeyi, enerji açısından iki temel göstergıyla izlenebilir. Bunlardan biri kişi başına enerji tüketimidir, diğeri ise enerji yoğunluğudur. Kişi başına enerji tüketiminin yüksek olması, hem ülkedeki ekonomik faaliyetlerin canlılığını, hem de refah düzeyinin yüksekliğini gösterir. Enerji yoğunluğunun düşüklüğü ise o ülkede birim hasıla üretmek için harcanan enerjinin de düşük olduğu anlamına gelir ki, bu da enerjinin verimli kullanıldığını göstermektedir. Bu durumda bir ülkede enerji açısından gelişmişliğin ideal şartı, kişi başı enerji tüketiminin yüksek ve enerji yoğunluğunun düşük olmasıdır [1].

Kişi başına enerji tüketimleri incelendiğinde, Türkiye'nin kişi başına enerji tüketiminin dünya ortalamasının altında olduğu görülmektedir. OECD ülkelerinin toplam kişi başına enerji tüketimleri ortalaması ise, Türkiye'deki değer yaklaşık 3,5 katı kadardır. Dünyanın çeşitli bölgeleri itibariyle kişi başına enerji tüketimleri 2007 yılı daha itibariyle aşağıdaki çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : 2007 Yılı İçin Çeşitli Bölgelerdeki Kişi Başına Enerji Tüketimleri ve Enerji Yoğunluğu [12]

Bölgeler	Nüfus (Milyon)	Tüketilen Enerji (Mtep)	GSYH Milyar \$	Kişi Başına Enerji Tüketimi (KEP)	Enerji Yoğunluğu (TEP/Bin \$)
Dünya	6609	12029	39403	1820	0,30
OECD	1185	5497	30110	4638	0,18
Ortadoğu	193	552	891	2860	0,62
Eski Sovyet Ül.	284	1019	620	3588	1,64
OECD-Dışı Avr.	53	106	174	2000	0,61
Çin	1327	1970	2623	1484	0,75
Asya	2148	1377	2308	641	0,60
Lâtin Amerika	461	550	1938	1193	0,28
Afrika	958	629	830	656	0,76
Japonya	127,76	513,52	5205,02	4019	0,10
Türkiye	73,90	100,01	371,84	1353	0,27

Bu çizelge incelendiğinde görüleceği üzere; bir ülkenin gelişmişlik göstergesi olarak kullanılan kişi başına enerji tüketimi; en yüksek 4638 kilogram petrol eşdeğeri (KEP) ile OECD ülkelerindedir. Bu ülkeleri 4019 KEP'le Japonya izlemektedir. Dünya enerji yoğunluğundan düşük enerji yoğunluğuna sahip Japonya'nın enerji verimliliği en yüksektir. Bunu OECD ülkeleri izlemektedir.

Kişi başına enerji tüketimindeki artış oranı kalkınma için olumlu bir gösterge olmakla birlikte, enerji yoğunluğundaki artış eğilimi, ülkemizdeki mevcut ekonomik faaliyetler ve yaşam standardı için harcanan enerjinin azaltılması gereğini ortaya koymaktadır. Enerji yoğunluğunda kısa ve orta vadede bir düşüşün sağlanması, ancak enerjinin verimli kullanımı ile mümkün olabilecektir.

2.3 Dünyadaki Enerji Verimliliği Uygulamaları

İlk enerji verimliliği stratejileri, batılı sanayileşmiş ülkeler ve Japonya tarafından petrol krizlerine ve onu izleyen enerji fiyatlarındaki artışlara bir cevap olarak 1970'li yıllarda geliştirilmiş ve uygulanmıştır. 1980'li yıllarda ise enerji verimliliği kavramı, enerji ve kalkınma politikalarının vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiş ve kendisine gittikçe yaygınlaşan bir uygulama alanı bulmuştur.

Bu alanda Japonya ve AB'deki çalışmalar, uygulamaya konulan politikalar, getirilen teşvik ve tedbirler, diğer ülkelerde sürdürülen çalışmalara göre belirgin biçimde farklılaşmaktadır. ABD'nin bazı eyaletlerinde de bu anlamda diğer ülkelere göre büyük ilerleme kaydedilmiş durumdadır [1].

2.3.1 Japonya

Enerji talebinin yaklaşık % 83'ünü ithal eden Japonya'da hükümetlerin öncelikli konusunu enerji verimliliği oluşturmaktadır. Dolayısıyla da enerji tasarrufuyla ilgili birçok program uygulanmaktadır [5].

Japonya'daki Enerji Tasarrufu Merkezi (The Energy Conservation Center) çok ciddi ve ileri tedbirler geliştirmesi, hükümetleri etkin politikalar uygulamaya yönlendirmesi ile dikkat çekmektedir. Japonya'da çok çeşitli alanlarda geliştirilen verimlilik tedbirleri, yasal yaptırımlar ve devlet tarafından sağlanan finansal desteklerle önemli bir yaygınlık kazanmıştır [1].

Japonya enerji verimliliği konusunda dünyanın en ileri uygulamalarına sahip ülkesidir. Enerji verimliliği bilincinin çok yüksek olduğu bu ülkede, devletin yanı sıra sanayi kuruluşları ve tüketiciler de verimlilik çalışmalarına destek vermektedirler. Bu çalışmalardan birini Kawagoe şehir yönetiminin, yıllık elektrik tüketimini her yıl % 1 oranında düşürmeyi hedefleyen kampanyası oluşturmaktadır. Bu uygulama ile dört yılın sonunda ilave bir yatırım yapmadan elektrik tüketiminde % 5'lik tasarruf sağlanmıştır. Bu oran, 10 milyon kWh'ten fazla enerjiye ve 2,5 milyon dolara denk gelmektedir [10].

Çizelge 2.2 : Top Runner programının sonucundaki gelişme [13]

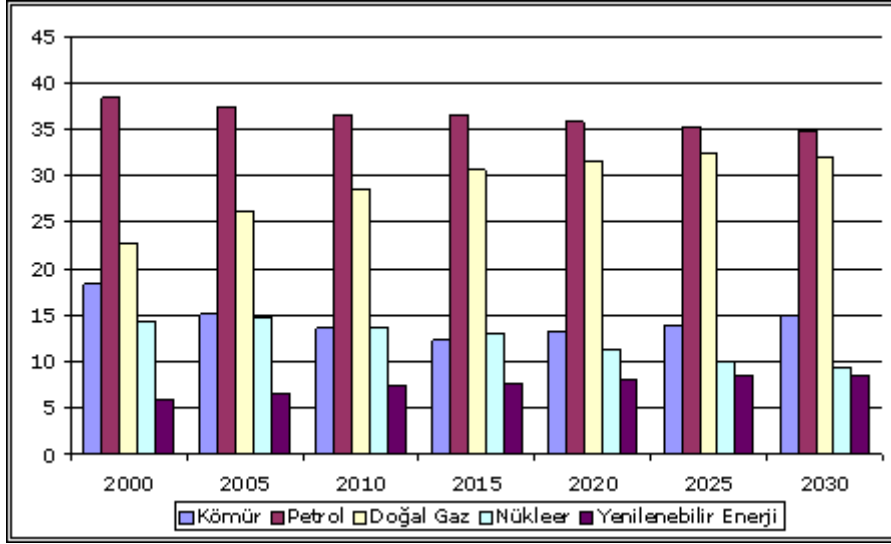
Ürün Kategorisi	Enerji Verimliliği Gelişimi (Programın Sonucu)	Enerji Verimliliği Gelişimi (Başlangıçta Hedeflenen)
Uydu alıcısı	%25,7 (1997–2003)	% 16,4
Video	% 73,6 (1997–2003)	%58,7
Klima	% 67,8 (1997–2004)	% 66,1
Buzdolabı	%55,2 (1998–2004)	% 30,5
Dondurucu	% 29,6 (1998–2004)	% 22,9
Toplu taşıma araçları (benzinli)	% 22,8 (1995–2005)	% 22,8 (1995–2010)
Yük taşıma araçları(dizel)	% 21,7 (1995–2005)	% 6,5
Bilgisayar	% 99,1 (1997–2005)	% 83,0
Fluoresan lamba	% 35,6 (1997–2005)	% 16,6

Japonya'da uygulanan enerji tasarrufu programlarından biri olan Top Runner Programı kapsamında çeşitli cihazlarda enerji verimliliğini gelişimi çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Uygulanan bu program sonucunda program dahilindeki tüm cihazlarda hedeflenen sonuçların üzerinde tasarruf oranları elde edilmiştir. Sadece benzinli araçlar ve klimada ancak hedeflenen sonuca ulaşılmış, fakat diğer tüm cihazlarda hedeflenenin çok üzerinde tasarruf sağlanmıştır.

2.3.2 Avrupa Birliği

Avrupa Birliği'nin (AB) dünya üzerinde enerji tüketiminin en yoğun olduğu bölgelerden birisi olduğu, buna karşılık enerji kaynakları açısından yeterli olanaklara sahip olmadığı bilinmektedir. Son genişlemenin ardından üye sayısının yirmi yedi olmasıyla, AB'nin enerji açısından dışa bağımlılığında da artış yaşanmıştır. Bu durum enerji arzı güvenliği açısından AB için yeni açılımları zorunlu hale

getirmiştir. AB'nin politika seçenekleri arasında çoklu boru hatları politikasının uygulanması, böylece enerji ithalâtında kaynak çeşitliliği yaratılması öne çıkan konular olmaktadır. Bu konu aynı zamanda Türkiye'nin AB'ye üyeliğinin önemli katkılarından birisini oluşturacaktır [14].



Şekil 2.1 : AB Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (%) [15]

Şekil 2.1'de sunulan veriler çerçevesinde, toplam enerji tüketiminin % 37,4'ü petrol, % 26,1'i doğal gaz, %15,1'i kömür, % 14,7'si nükleer enerji ve % 6,5'i ise yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Bir başka ifadeyle, AB'nin enerji tüketiminin yaklaşık 2/3'ünü petrol ve doğal gaz oluşturmaktadır.

AB, 1997 yılında imzalanan **Amsterdam Antlaşması** ile sürdürülebilir büyüme hedefini ortaya koymuştur. Ekonomik, toplumsal ve kültürel anlamda gelişmenin sağlanması ve refahın korunması amacına yönelik sürdürülebilir büyüme yaklaşımının önemli destek unsurlarından birisini de enerji politikaları oluşturmaktadır. Bu çerçevede, AB sürdürülebilir büyümeyi gerçekleştirmek için aşağıda özetlenen üç temel politikayı belirlemiştir:

- Enerji arzının güvenliği
- Rekabetçi enerji sistemi
- Çevrenin korunması [14].

Enerji tüketimini azaltmak ve enerji savurganlığını önlemek Avrupa Birliği'nin temel amaçları arasında yer almaktadır. Avrupa Birliği enerji verimliliğini geliştirmek için rekabetçi bir ortamı desteklemektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde enerji tüketimini

azaltmak için özellikle enerji yoğun sektörler olan binalar, üretim, ulaşımda büyük bir potansiyel mevcuttur. Çizelge 2.3'te bu sektörlerle ait 2005 yılı verileri ve 2020 yılına ait öngörüler verilmektedir. 2006 sonunda Avrupa Birliği almış olduğu kararla, 2020 yılına kadar yıllık enerji tüketimini %20 azaltmayı hedeflemiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için her sektörden insanlarla iletişime geçilip fikirler alınması, minimum enerji verimliliği standartlarının oluşturulması ve ürünler, servisler, tesisler için belirli kurallar tanımlanıp bu kuralların etiketlenmesi hedeflenmiştir [16,17].

Çizelge 2.3 : Sektörlerdeki enerji tasarruf potansiyeli [17]

Sektör	Enerji Tüketimi (Mtep)2005	Enerji Tüketimi (Mtep)2020	Enerji Tasarruf Potansiyeli 2020 (Mtep)	Enerji Tasarruf Potansiyeli 2020 (%)
Konut	280	338	91	% 27
Ticari Bina	257	211	63	% 30
Ulaşım	332	405	105	% 26
Endüstri	297	382	95	% 25

AB enerji sektöründe 30 adet tanımlı önlem arasında bir dizi de talep tarafı önlemleri öngörülmektedir. % 20 olarak belirlenen ve yıllık değeri 60 milyar Euro olan Almanya ve Finlandiya'nın bugünkü enerji tüketimine eşdeğer enerji tasarruf potansiyelinin bu talep tarafı önlemlerle geri kazanılması planlanmaktadır. Ekonomik değeri çok önemli olan 390 milyon TEP'lik bu potansiyelin geri kazanılması, Avrupa ekonomisine 100 milyar Euro bir geri dönüş sağlayacaktır. Bu enerji verimliliği girişimi Lizbon Stratejisinin "daha çok büyüme, daha çok istihdam" olan iki temel prensibinin de gerçekleşmesinde önemli rol oynayacaktır. Bu girişimle Avrupa'da konut başına tüketim miktarına göre yıllık 200 ile 1000 Euro civarında tasarruf sağlanması beklenmektedir [18].

AB üye ülkeleri bu tasarruf potansiyelini geri kazanmak için somut eylem önerilerini içeren bir Enerji Verimliliği Eylem Planını 19 Ekim 2006 tarihinde yayınlamıştır [17]. 2006 Ekim ayında yürürlüğe giren bu aksiyon planı elektrikli ev aletlerinden sanayideki pompalara kadar çok geniş bir yelpazedeki cihazlar, binalar ve enerji hizmetleri için minimum enerji tüketim standartlarının önemini vurgulamıştır. Ayrıca, minimum enerji tüketim standartlarının derecelendirilmesi ve etiketleme uygulamalarıyla birlikte verimsiz cihazların piyasadan çekilmesi ve halkın bilgilendirilmesini en etkin önlem olarak belirlemiştir. Aynı şekilde binalar için de performans standartları geliştirilecek ve çok düşük enerji tüketimli evler

tanıtılacaktır. Plan elektrik üretim, iletim ve dağıtımındaki önemli boyuttaki kayıpların da üzerinde durarak yeni ve eski üretim tesisleri, iletim ve dağıtımındaki kayıpların düşürülmesi için hedefi belirlenmiş bazı önlemleri de öngörmektedir. Ulaşımında yakıt verimliliğinin arttırılması amacıyla, daha “temiz” araçların üretilmesi, lastik basınçlarının düzenlenmesi, kentsel ulaşımın düzenlenmesi, vatandaşların ulaşımındaki alışkanlıklarının değiştirilmesi gibi bir dizi önlem önerilmiştir [18].

Buna paralel olarak Avrupa Birliği üyeleri Ulusal Enerji Verimliliği Aksiyon Planlarını (National Energy Efficiency Action Plans) 30 Haziran 2007 yayınlamıştır. Yayımlanan bu planlarda 2008–2016 yılları arasında, üye ülkelerin her birisinin, enerji tüketimini net ve ekonomik gelişme, iklim şartları gibi bir çok değişkenden bağımsız olarak % 9 azaltması öngörülmüştür [19].

Öte yandan AB'nin Enerji Politikası, çeşitli programlarla da desteklenmektedir. Bu kapsamda, “Avrupa için Akıllı Enerji (2003–2006)” Programı I, Kasım 2000’de hazırlanan “Enerji: Arzın Güvenliği” isimli Yeşil Kitap’ta yer verilen hedefler çerçevesinde uygulanmaya başlanmıştır. Söz konusu program ile, arzın güvenliğinin güçlendirilmesi, iklim değişikliği ile mücadele ve Avrupa endüstrisinin rekabete teşvik edilmesi amaçlanmaktadır. Bu enerji verimliliği programı Avrupa için Akıllı Enerji (2007–2013) Programı II adı altında halen devam etmektedir. Bu programların içerisinde çeşitli alanlar için ALTENER, SAVE, COOPENER, STEER isimli alt programlar mevcuttur. Bu alt programlardan SAVE endüstri ve bina sektörlerinde enerji verimliliğini, ALTENER yeni ve yenilenebilir enerjilerin teşvik edilmesini, STEER ulaşım sektöründe enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjilerin bu sektörde kullanılmasını, COOPENER ise I. programda bulunan ve Afrika, Asya, Güney Amerika’daki bazı ülkelerle ortaklaşa yapılan enerji verimliliği çalışmalarını kapsamaktadır [20].

2.3.3 Amerika

Enerji verimliliği çalışmalarında en etkin ve somut sonuç alan ülkelerden birisi ABD’dir. Bu ülkede son otuz yıl içerisinde yüksek teknolojiler kullanılarak toplam enerji verimi önemli miktarda artırılmıştır. 1973 yılından bugüne ekonomideki büyüme %126 oranında gerçekleştirilirken, aynı süre zarfında enerji kullanım oranındaki artış yalnızca %30 olmuştur [21].

ABD’de, 1970’lerin ortalarından beri Kongre ve ilgili yönetim birimleri tarafından federal kuruluşlarda enerji verimliliğini yükseltmeye yönelik çeşitli programlar geliştirilmiştir. DOE (Department of Energy / Enerji Bakanlığı)’ ye göre 1975 ve 1991 yılları arasında bu programlarla yaklaşık 8 milyar \$’lık bir tasarruf sağlanmıştır. Bu rakam, aynı yıllar arasında enerji tasarrufu önlemleri için yapılan yatırımın yaklaşık üç katıdır. Bu etkileyici başarıya rağmen, gelişmiş aydınlatma sistemlerinden ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerindeki iyileştirmelere kadar bir dizi ticari açıdan uygun ve maliyet-etkin teknoloji kullanmak yoluyla, federal kuruluşlarda hala dikkate değer büyüklükte bir tasarruf sağlamanın mümkün olduğu gözükmemektedir [1].

DOE’ye göre, 2000 yılı itibariyle cihaz verimliliği için uygulanan standartlar yaklaşık olarak 21 000 MW gücünde elektrik üretim kapasitesinin yerine geçmiştir [22].

ABD’de 1990’ların ortasından itibaren başlayan ve elektrik sektöründe serbestleştirme bağlamında yeniden yapılanmayı hedefleyen dönüşüm, doğal olarak enerji verimliliği ile ilgili yatırımların azalmasına yol açmıştır. Bunu gören eyalet düzenleyici kurumlardan bazıları, kamu yararına çalışan fonlar kurmak suretiyle enerji verimliliği türünden toplumsal faydaları olan çabaları desteklemek üzere yeni bir mekanizma geliştirmişlerdir [1].

Amerika’da enerji verimliliği uygulamalarında yürürlükteki programın adı Endüstriyel Teknolojiler Programı (The Industrial Technologies Program (ITP))’dır. Bu program enerji verimliliğinin ve çevresel performansın geliştirilmesine liderlik etmektedir. ITP Amerikan Enerji Bakanlığı’nın enerji verimliliği ofisinin bir parçasıdır. ITP enerji tasarrufu, verimlilik artışı ve çevresel etkileri azaltmak için sanayi sektörü ile ortaklaşa çalışmaktadır.

2008–2012 yıllarını kapsayan ITP programı çerçevesinde;

- 1500 adet enerji verimliliği başvuru değerlendirilmesi tamamlanacak,
- Bu süre içerisinde 15 yeni teknoloji ticarileşecek,
- 5 yıl içerisinde 12 600 000 TEP tasarruf sağlanacak.

Geçen 29 yıl içerisinde ITP, 200 teknolojinin ortaya çıktığı 600’den fazla araştırma geliştirme projesini desteklemiştir. 2006 yılında, bu ortaya çıkan teknolojilerden 104

tanesi ticarileşmiş ve bu teknolojiler sayesinde enerjiden 12 322 593 TEP parasal olarak da 5,54 milyar dolar tasarruf sağlanmıştır. ITP programı boyunca elde edilen tasarruf miktarı 37,8 milyar dolardır [23].

2.4 Türkiye'nin Enerji Durumu

Türkiye birincil enerji tüketimi 1990 yılından 2007 yılına kadar olan 16 yılda % 100'e yakın artarak 107,6 milyon TEP'e ulaşmıştır [6]. Çizelge 2.4'te ve şekil 2.2'de enerji arz ve talebinin gelişimi gösterilmektedir.

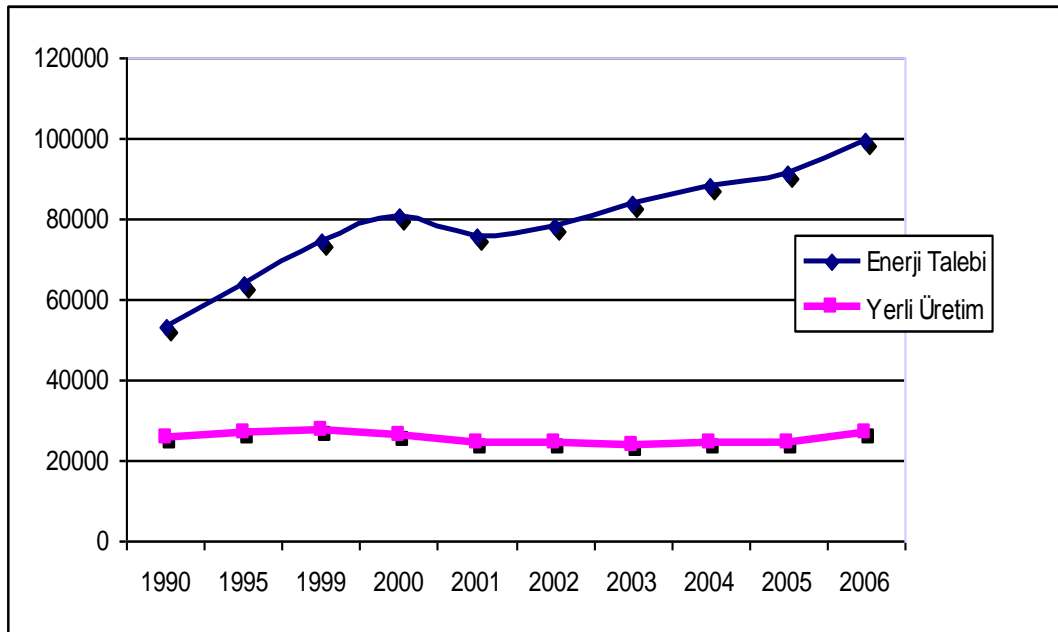
Çizelge 2.4 : Birincil enerji arz ve talebinin karşılanması [24]

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Talep	52.987	63.679	80.500	75.402	78.331	83.826	87.818	91.074	99.642
Üretim	25.656	26.749	26.156	24.681	24.324	23.783	24.332	24.549	26.802
İthalat	30.936	39.779	56.342	52.780	58.629	65.239	67.885	73.480	80.514
İhracat	2.104	1.947	1.584	2.620	3.162	4.090	4.022	5.171	6.572
İhrakiye*	355	464	467	624	1.233	644	631	628	588
Net	28.477	37.368	54.291	49.536	54.234	60.505	63.232	67.681	73.354
İthalat									
TUKO (%)	48,1	42	33,1	32,6	31	28,4	27,7	26,9	26,9

1000 TEP

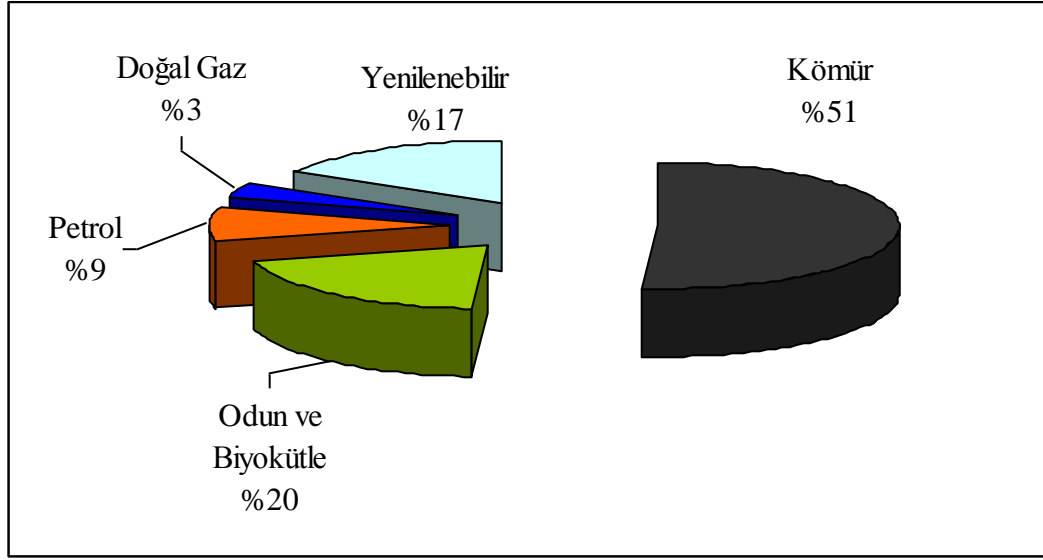
İhrakiye* Liman ve havaalanlarındaki taşıtlara ücret karşılığı sağlanan yakıt

TUKO: Talebin üretimle karşılanma oranı

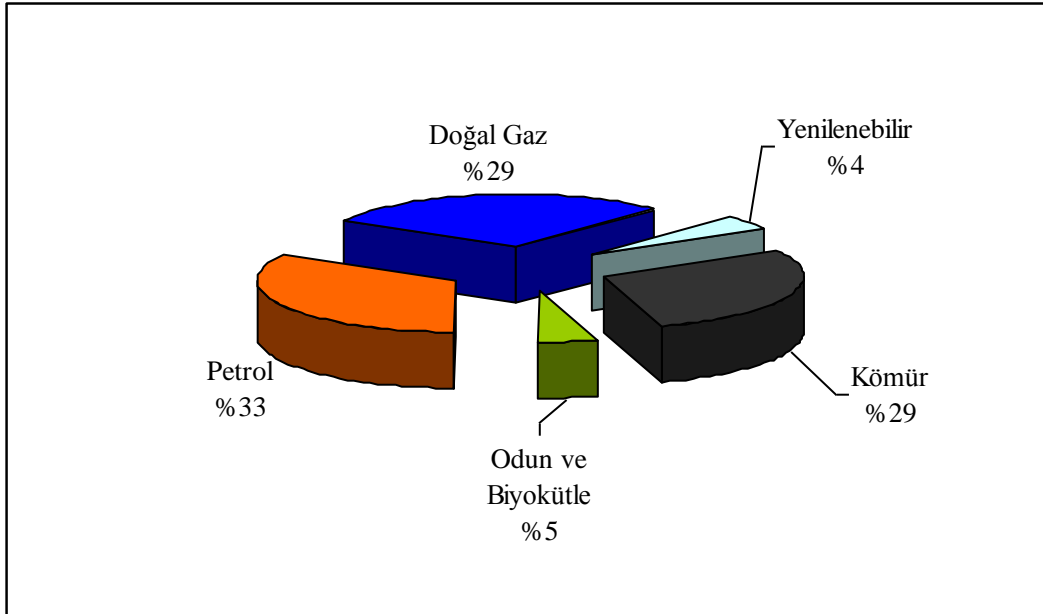


Şekil 2.2 : Arz ve talebin gelişimi (TEP) [24]

Enerji temininde 1990 yılından itibaren gittikçe artan dışa bağımlılık yaşanmaktadır. Yerli üretimin tüketimi karşılama oranı 2007 yılında % 25,5'tir. ETKB tarafından yapılan projeksiyonlarda bu oranın çok fazla değişmeyeceği hesaplanmaktadır [4]. Enerji ithalatı, 2006'da (petrol varili 57 ile 63 dolar arasında satın alınmış) 29 milyar dolardır ve ihracat gelirlerinin dörtte birini almıştır. 2006'da petrol fiyatlarının yüksek seyretmesi ihracat gelirlerimizin % 34'ünü götürmüştür [25]. Şekil 2.3 ve şekil 2.4'te birincil enerji üretiminin ve tüketiminin kaynaklara göre dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : 2006 yılı birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı [24]



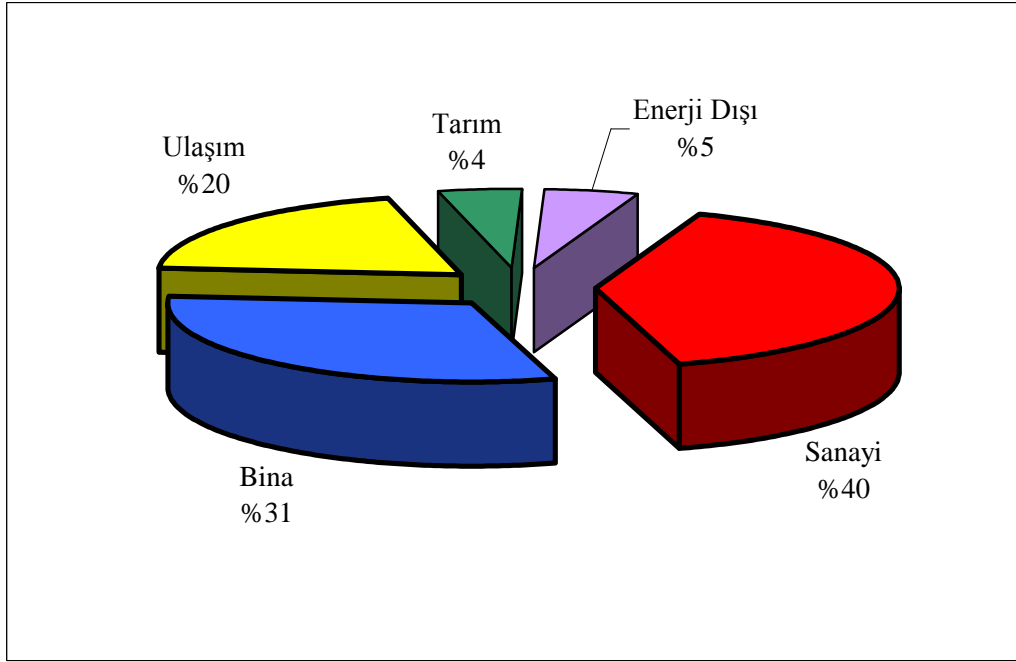
Şekil 2.4 : 2006 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı [24]

Türkiye enerji tüketiminde petrol (%31) ve doğal gaz (%32) % 63'lük pay almaktadır. Bu kaynaklarda % 90'ın üzerinde dışa bağımlılık söz konusudur [6]. Tüketilen doğalgazın ancak %2'si, petrolün ise %6'sı yerli üretimden sağlanmaktadır [4]. Çizelge 2.5'te sektörel enerji talebinin gelişimi ve şekil 2.5'te 2007 yılı enerji tüketiminin nihai sektörlere dağılımı belirtilmiştir.

Çizelge 2.5 : Sektörel enerji talebinin gelişimi [26]

(BİN TEP)	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2007*
Sanayi	14 542	17 372	24 501	29 358	28 084	30 996	34 365
Bina	15 358	17 596	20 058	20 252	22 923	23 677	26 504
Ulaşım	8 723	11 066	12 008	13 907	13 849	14 994	16 746
Tarım	1 956	2 556	3 073	3 314	3 359	3 610	3 817

2007* Geçici



Şekil 2.5 : 2007 yılı enerji tüketiminin nihai sektörlere dağılımı [26]

2007 yılında 82,7 milyon TEP enerji nihai tüketim sektörlerinde tüketilmiştir. 1990 yılına kadar bina sektörü enerji tüketimi sanayi sektöründen daha fazla gerçekleşirken sanayileşme sonucunda sanayi sektörünün tüketimdeki payı 2007 yılında % 40 ve bina sektörü tüketim payı ise % 31 olmuştur.

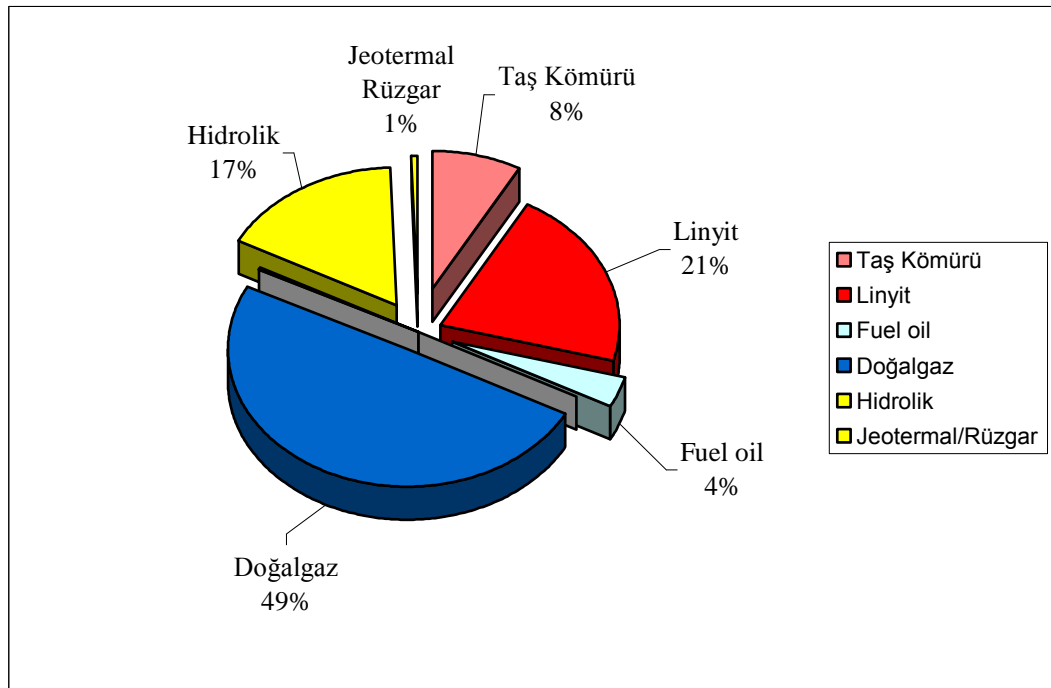
Ülkemizin elektrik enerjisi talebinde ortalama %7,5 oranında hızlı bir artış eğilimi vardır. 2007 yılında 191,5 TWh olarak gerçekleşen elektrik enerjisi üretimimizin, 2020 yılında yüksek senaryoya göre yıllık yaklaşık %7,7 artışla 499 TWh'e, düşük

talep senaryosuna göre ise yıllık ortalama %5,96 artışla 406 TWh'e ulaşması gerekmektedir. 2008 yılı itibariyle kurulu gücümüz 41 987 MW, elektrik tüketimimiz ise 198,4 TWh olarak gerçekleşmiştir [27].

Elektrik enerjisinin 2004–2008 yılları arasında elektrik üretimi çizelge 2.6 ve şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 : Enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi [28]

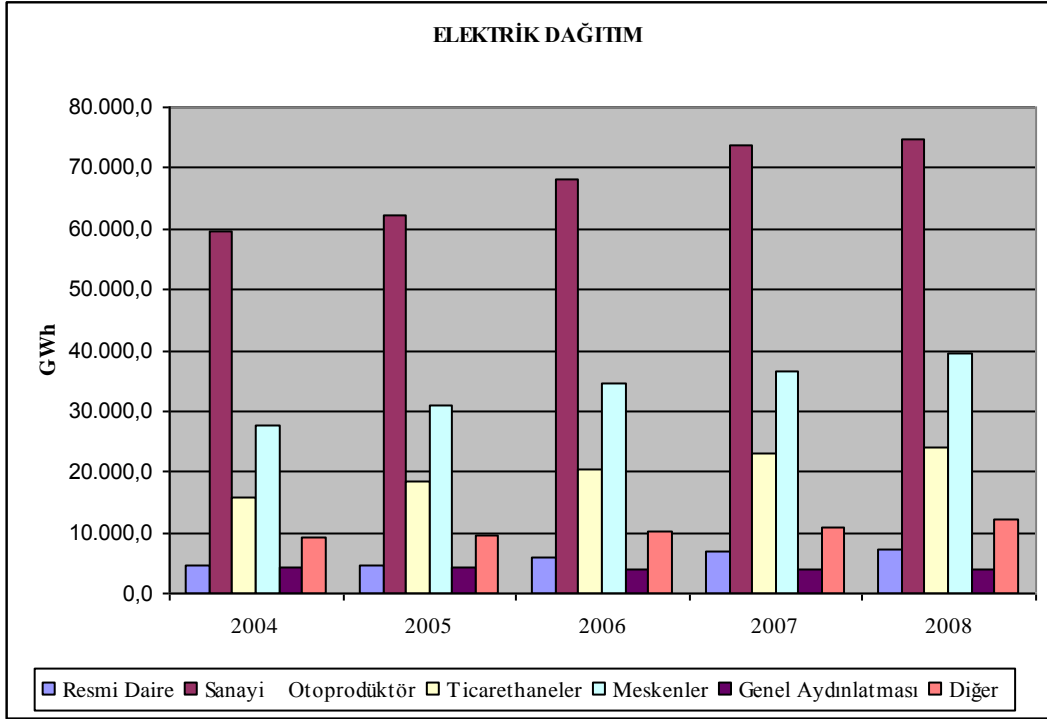
ENERJİ KAYNAĞINA GÖRE ELEKTRİK ÜRETİMİ					
Enerji Kaynağı	2004	2005	2006	2007	2008
	Miktar (GWh)	Miktar (GWh)	Miktar (GWh)	Miktar (GWh)	Miktar (GWh)
Taş Kömürü	11.998,1	13.246,2	14.216,6	15.136,2	15.857,5
Linyit	22.449,5	29.946,3	32.432,9	32.340,8	41.858,1
Fuel oil	6.689,9	5.120,7	4.232,4	6.469,6	7.208,6
Motorin	7,3	2,5	57,7	13,3	266,3
LPG	33,4	33,7	0,1	0,0	0,0
Nafta	939,7	325,6	50,2	43,9	43,6
Doğalgaz	62.241,8	73.444,9	80.691,2	95.024,8	98.685,3
Yenilenebilir/Atık	104,0	122,4	154,0	213,7	219,9
Hidrolik	46.083,7	39.560,5	44.244,2	35.850,8	33.269,8
Jeotermal/Rüzgar	150,9	153,4	220,5	511,1	1.008,9
Toplam	150.698,3	161.956,2	176.299,8	185.604,2	198.418,0



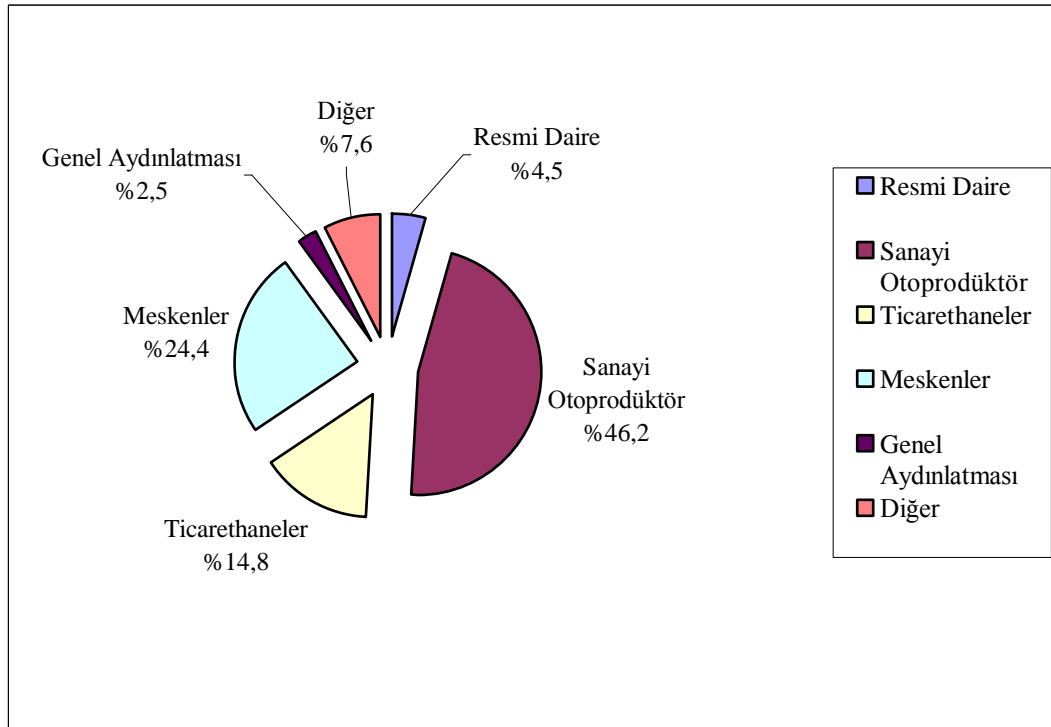
Şekil 2.6 : 2008 yılı enerji kaynaklarına göre elektrik üretimi [28]

Çizelge 2.7 : Kullanım alanlarına göre elektrik tüketimi [29]

ELEKTRİK DAĞITIM (KULLANIM ALANLARINA GÖRE)										
Kullanım Alanı	2004		2005		2006		2007		2008	
	Miktar (GWh)	% Oran	Miktar (GWh)	% Oran	Miktar (GWh)	% Oran	Miktar (GWh)	% Oran	Miktar (GWh)	% Oran
Resmi Daire	4.530,7	3,70	4.662,7	3,60	6.044,8	4,20	6.933,2	4,50	7.344,3	4,50
Sanayi Otoprodüktör	59.565,9	49,20	62.294,2	47,80	68.026,7	47,50	73.794,5	47,60	74.850,3	46,20
Ticarethaneler	15.656,2	12,90	18.543,8	14,20	20.256,4	14,20	23.141,2	14,90	23.903,3	14,80
Meskenler	27.619,0	22,80	30.935,0	23,70	34.464,0	24,10	36.475,8	23,50	39.583,6	24,40
Genel Aydınlatması	4.432,5	3,70	4.143,0	3,20	3.950,4	2,80	4 052,6	2,60	3.970,2	2,50
Diğer	9.337,5	7,70	9.684,1	7,40	10.326,2	7,20	10.737,9	6,90	12.295,9	7,60
Toplam	121.141,8	100,00	130.262,8	99,90	143.068,5	100,00	155.135,2	100,00	161.947,6	100,00



Şekil 2.7 : 2008 yılı kullanım alanlarına göre elektrik tüketimi [29]



Şekil 2.8 : 2008 yılı kullanım alanlarına göre elektrik tüketimi [29,30]

Elektrik enerjisinin 2004–2008 yılları arasında elektrik tüketimi çizelge 2.7, şekil 2.7 ve şekil 2.8’de gösterilmiştir.

2.5 Enerji Verimliliğinin Gelişimi ve Türkiye’deki Mevcut Durum

Tüm nihai enerji tüketim sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılması önünde saptanan engelleri ortadan kaldırmaya yardımcı olmak, enerji verimliliği stratejisinin en önemli görevlerinden biridir.

Başlıca nihai tüketim sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılması ve yerel kaynakların optimum kullanımının sağlanması, ulusal enerji politikasının ana unsurlarını oluşturmaktadır. Dolayısıyla, EİE/UETM’in ana görevi, enerjinin rasyonel kullanımını desteklemek ve talep tarafında enerji verimini iyileştirmek için ilgili kurum ve kuruluşlar ile birlikte planlanan, bütünlükli işbirliği mekanizmalarını oluşturmaktır. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının geliştirilmesi faaliyetleri de yine EİE bünyesinde bulunan Enerji Kaynakları Etüt Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülmektedir.

Türkiye’de enerji verimliliğinin kronolojik gelişimi:

- 1980 yılında enerji tasarrufu çalışmaları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından başlatılmıştır.
- 1981 yılında sanayide enerji tasarruf potansiyelini tespit çalışmaları yapılmıştır. (4 milyon TEP, 1 milyar \$)
- 1988–1991 yılları arasında politika ve program çalışmalarına ağırlık verilmiştir.
- 1992 yılında, Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi (UETM) kurulmuştur.
- 1992 ve 1995 yıllarında, 500 TEP ve üzeri 1200 tesis için tüketim istatistikleri oluşturulmuştur [31].
- Sanayide Enerji Verimliliği Yönetmeliği 11 Kasım 1995-Sayı: 22460

Açıklama:

Sanayi kuruluşlarının enerji tüketiminde verimliliğin artırılması için alacakları önlemler hakkında yönetmelik.

Amaç:

Enerji tüketimi yüksek olan sanayi sektöründeki enerji verimliliğinin artırılması için gerekli düzenlemeleri sağlamak.

Kapsam:

Sanayi, sanayi ve ticaret odalarına bağlı olarak kamu ve özel sektörde endüstriyel faaliyet gösteren kuruluşlar ile maden çıkartılması ve işlenmesi ile ilgili ve yıllık toplam enerji tüketimi 2000 TEP'e eşit ve büyük olan tesislerdir.

Önemli notlar:

- Fabrikalar, belirlenen zaman aralıklarında enerji tasarrufu etütlerinin yapılmasını veya yaptırılmasını temin edecektir. Ayrıca elde edilen sonuçların ve uygulama planlarının Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi (UETM)'ne gönderilmesini sağlayacaktır.
- Tesislerde enerji tüketiminin sağlıklı bir şekilde izlenebilmesi için, gerekli ölçme ve izleme cihazları ilgililerce temin edilerek, tesislerine monte ettirilecek. Bunun yanı sıra, tesislerdeki ana ürünleri için aylık bazda birim ürün başına enerji tüketimi izlenecek ve 3 ana ürün için yıllık ortalamaları UETM'ye ulaştırılacaktır.
- Kapsam içerisinde kalan fabrikalarda, yönetmelikte sözü geçtiği üzere, enerji yönetim sistemi oluşturulacaktır.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca yürütülecek bu yönetmeliğin uygulanmasından ve uygulamanın devamlılığından, fabrikaların üst yönetimi sorumlu olacaktır.
- Enerji yönetimi dersi ve kursu düzenleme esasları 31.08.1996-Sayı: 2743
- Enerji Tasarrufu Etütleri için yetki belgesi verilmesi esasları 08.07. 1998-Sayı: 23396 [32]

2.5.1 Enerji verimliliği kanunu

Enerji verimliliği çalışmalarını belli bir disiplin içerisinde yürütmek üzere, eğitim ve bilinçlendirme, enerji verimliliği faaliyetlerinin idari yapılandırması ve yaygınlaştırılması ve bazı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması gibi temel stratejilere sahip ve bu stratejilerin uygulanması için teşvik ve yaptırım unsurları taşıyan, enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin

artırılmasını amaçlayan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ilgili kuruluşlarla uzun süren görüş alışverişine dayalı tartışmalar sonucu Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından hazırlanmış olup 02 Mayıs 2007 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Enerji Verimliliği Kanunu ile bu güne kadar sürdürülen enerji verimliliği çalışmaları yeni bir ivme kazanmıştır [33].

Amaç:

Bu Kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır.

Kapsam:

Bu Kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsar.

Enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemlerin uygulanması ile özellik veya görünümü kabul edilemez derecede değişecek olan, sanayi alanlarında işletme ve üretim faaliyetleri yürütülen, ibadet yeri olarak kullanılan, planlanan kullanım süresi iki yıldan az olan, yılın dört ayından daha az kullanılan, toplam kullanım alanı elli metrekarenin altında olan binalar, koruma altındaki bina veya anıtlar, tarımsal binalar ve atölyeler, bu kanun kapsamı dışındadır [34].

Kanun ne getiriyor:

Kanun genel olarak; enerji verimliliği çalışmalarının etkin olarak yürütülmesi, izlenmesi ve koordinasyonu konusunda idari yapının oluşumunu, enerji verimliliği hizmetlerinin yürütülmesi konusunda yapılacak yetkilendirmeleri, görev ve sorumlulukları, toplumun eğitim ve bilinçlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasına yönelik ve sektörel uygulamalara ilişkin çeşitli destekleme mekanizmalarını, teşviklerle ilgili konuları ve yasal gerekleri yerine getirmeyenlere uygulanacak para cezalarını kapsamaktadır. Ayrıca Yasa bu güne kadar enerji verimliliği konusunda kuruluş kanununda bir yetkilendirme olmaması nedeniyle EİEİ'nin kuruluş kanununda da değişiklik yaparak EİEİ'yi yetkilendirilmiş kuruluş haline getirmektedir.

Kanun ile önümüzdeki yıllarda ülkemiz genelindeki enerji yoğunluğunun OECD ülkeleri ortalamasına indirilmesi ve böylelikle fosil enerji kaynağı ithalatının ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasının hedeflendiği, kanun gerekçe notunda sayısal olarak belirtilmiştir [4].

Enerji yönetimi hizmetlerinin yürütülmesinde yetkili kuruluş kavramı:

Kanunda toplam inşaat alanı en az 20.000 m² veya yıllık enerji tutarı 500 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) olan binalarda ve yıllık enerji tüketimi 1000 TEP'den fazla olan işletmelerde enerji yöneticisinin görevlendirilmesi veya enerji yöneticilerinden hizmet alınması hükümlerine yer verilmiştir. Kamu kesimi dışında kalan yıllık enerji tüketimleri 50 000 TEP ve üzeri olan endüstriyel işletmelerde enerji yöneticisinin sorumluluğunda enerji yönetim birimi kurulur. Yine organize sanayi bölgelerinde (OSB) bulunan ve yıllık enerji tüketimi 1000 TEP'in altında olan işletmelere hizmet vermek üzere OSB'lerin de enerji yönetim birimi oluşturulması şartı getirilmiştir.

Bu hükümler doğrultusunda sanayi tesislerinde, büyük bina işletmelerinde ve organize sanayi bölgelerinde enerji yönetimi teknikleri konusunda aldıkları eğitimler sonrasında belirli kriterlere sahip makine ve elektrik mühendisleri de Enerji Yöneticisi olarak görev yapabilecektir.

Enerji verimliliği konusunda danışmanlık, eğitim, etüt ve uygulama hizmetlerini yürütmek üzere Kanunda "Şirket" tanımına yer verilmiştir. Şirketlerin de yine EİEİ veya MMO, EMO ve Üniversiteler gibi yetkilendirilmiş kurumlar tarafından düzenlenecek yetki belgesine sahip olması şartı getirilmiştir. Bu yetki belgesi 3 yılda bir yenilenir.

Enerji yöneticilerinin sertifikalandırılması işlemlerinin Makine Mühendisleri Odası, Elektrik Mühendisleri Odası ve Üniversiteler gibi EİEİ tarafından yetkilendirilen kurumlar tarafından yerine getirilmesi gerekmektedir. Enerji tasarrufu etütleri ve bağıntılı enerji tasarrufu uygulamalarını gerçekleştirecek ve eğitimleri yürütecek şirketlerin yetkilendirilmesi, izlenmesi ve performanslarının değerlendirilmesi de bu yetki çerçevesinde yürütülebilecektir [34].

2.5.2 Enerji verimliliği yönetmeliği

Enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, maliyetlerin hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin

arttırılmasına ilişkin usul ve esasları düzenleyen Enerji Verimliliği Yönetmeliği 25 Ekim 2008 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Bu yönetmelik, enerji verimliliğine yönelik hizmetler ile çalışmaların yönlendirilmesi ve yaygınlaştırılmasında üniversitelerin, meslek odalarının ve enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin yetkilendirilmesine, enerji yönetimi uygulamalarına, enerji yöneticileri ile enerji yönetim birimlerinin görev ve sorumluluklarına, enerji verimliliği ile ilgili eğitim ve sertifikalandırma faaliyetlerine, enerji etütleri ve verimlilik artırıcı projelere, endüstriyel işletmelerde verimlilik artırıcı projelerin desteklenmesine ve gönüllü anlaşmalara, talep tarafı yönetimine, elektrik enerjisi üretiminde, iletiminde, dağıtımında ve tüketiminde enerji verimliliğinin artırılmasına, termik santrallerin atık ısılarından yararlanılmasına, açık alan aydınlatmalarına, biyoyakıt ve hidrojen gibi alternatif yakıt kullanımının özendirilmesine ve idari yaptırımlara" ilişkin esasları kapsamaktadır [33].

Yönetmeliğe göre, üniversitelere ve meslek odalarına uygulamalı eğitim yapabilmeleri ve şirketleri yetkilendirebilmeleri için Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu onayı ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yetki belgesi verilecektir.

Yıllık toplam enerji tüketimi 1000 TEP ve üzeri olan endüstriyel işletmeler çalışanları arasından enerji yöneticisi görevlendirecektir.

Toplam inşaat alanı en az 20 000 metre kare veya yıllık toplam enerji tüketimi 500 TEP ve üzeri olan ticari binaların ve hizmet binalarının yönetimleri ile toplam inşaat alanı en az 10 000 metre kare veya yıllık toplam enerji tüketimi 250 TEP ve üzeri olan kamu kesimi binalarının yönetimleri, yönetimlerin bulunmadığı hallerde bina sahipleri enerji yöneticisi görevlendirecek veya şirketlerden veya enerji yöneticilerinden hizmet alacaklardır.

Yıllık toplam enerji tüketimi 1000 TEP' ten az olan endüstriyel işletmelere yönelik çalışmalar yapmak üzere, organize sanayi bölgelerinde enerji yöneticisinin sorumluluğunda enerji yönetim birimi kurulacak ve bu birimlerde enerji yöneticisi dışında en az iki teknik eleman çalıştırılacaktır.

Kamu kesimi dışında kalan ve yıllık toplam enerji tüketimleri 50 000 TEP ve üzeri olan endüstriyel işletmelerde enerji yöneticisinin sorumluluğunda enerji yönetim

birimi kurulacaktır. Bu birimlerde enerji yöneticisi dışında en az bir makine ve bir elektrik veya elektrik-elektronik mühendisi çalışacaktır. Organizasyonlarında toplam kalite çalışmalarından sorumlu olan ve bünyesinde enerji yöneticisinin de görev aldığı kalite yönetim birimi bulunan endüstriyel işletmeler bu birimlerini enerji yönetim birimi olarak da görevlendirebilecektir.

Genel Müdürlük, yetkilendirilmiş kurumlar veya şirketler tarafından düzenlenen enerji yöneticisi eğitim programlarına katılarak başarılı olan, en az iki yıllık mesleki tecrübeye sahip mühendislik veya teknik eğitim fakültelerinde lisans eğitimi almış gerçek kişilere enerji yöneticisi sertifikası verilecektir. Yetkilendirilmiş kurumlar ve şirketler tarafından verilen enerji yöneticisi sertifikaları verilmiş tarihini takip eden on beş gün içerisinde Genel Müdürlüğe bildirilecektir. Enerji yöneticisi sertifikası endüstriyel işletmeler ve binalar için ayrı sınıflarda olmak üzere, tebliğ ile belirlenen formata uygun olarak düzenlenecektir [35].

2.5.3 Endüstriyel tesislerde verimlilik artırıcı projelerin desteklenmesi

Kanunda enerji verimliliğini artırıcı uygulama projelerinin desteklenmesi, gönüllü anlaşma yapılacak endüstriyel işletmelerde ve kojenerasyon yatırımlarında aranacak nitelikler ile ilgili usul ve esasların Yönetmelikle belirlenmesi öngörülmektedir. Kanunun en ciddi teknik çalışma gerektiren bu hazırlık aşamasında, mali desteğin verilmesindeki belirleyici husus olması nedeniyle, hataların olmaması amacıyla referansların her sektör ve her proses için, ana, ara ve yan ürünler ile üretimde kullanılan enerji girdisi ve proses içi enerji dönüşümleri de göz önüne alınarak hesaplanması gerekmektedir. Kanunda enerji tüketimi hesaplanmasında bazı muafiyetler getirilmiş olması, onlarca ara ürünün olduğu entegre proseslerde referans değerlerde bazı yanlışları olası hale getirmektedir. Ayrıca üretim artışı gibi bazı dışsal unsurların ve birim enerji tüketimlerini etkileyecek diğer hususların nasıl değerlendirileceği de yine sorun yaratabilecek konulardandır. Bu nedenle yönetmelik çalışmalarında uzman gruplarla çalışılarak karşılaştırma kriterleri ve ilgili hesap tablolarının bir tartışmaya yol açmayacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Verimlilik artırıcı proje (VAP)

VAP' larının desteklenmesini isteyen endüstriyel işletmeler, projelerini enerji etüt raporu ile birlikte her yıl Ocak ayında Genel Müdürlüğe sunar. Endüstriyel işletme, desteklerden yararlanmak üzere en fazla iki VAP ile başvuruda bulunabilir.

VAP'larının desteklenmesi kurul tarafından onaylanan endüstriyel işletmeler bu VAP'larına ilişkin uygulama raporları onaylanana kadar yeni bir VAP'ın desteklenmesi için başvuruda bulunamaz. VAP değerlendirme komisyonunun değerlendirmesi sonucunda teknik açıdan uygun, uygulama süresi maksimum iki yıl ve geri ödeme süresi en fazla beş yıl ve projesinde belirlenmiş bedeli en fazla 500 bin Türk Lirası olan VAP'lar desteklenmeye değer projeler olarak belirlenir ve proje bedelinin %20'si proje sahibine geri ödenir [34,35].

Gönüllü anlaşmalar

Herhangi bir endüstriyel işletmesi için üç yıl içerisinde enerji yoğunluğunu ortalama olarak en az yüzde on oranında azaltmayı taahhüt ederek Genel Müdürlük ile gönüllü anlaşma yapmak isteyen tüzel kişiler, Genel Müdürlüğün internet sayfasında yayınlanan başvuru formunu kullanarak her yıl Ocak ayı sonuna kadar başvuruda bulunur.

Genel Müdürlük ile gönüllü anlaşma yapan ve taahhüdünü yerine getiren tüzel kişilerin ilgili endüstriyel işletmesinin anlaşmanın yapıldığı yıla ait enerji giderinin %20'si, Genel Müdürlük ödeneklerinin yeterli olması durumunda ve 100 000 Türk Lirasını geçmemek kaydıyla Genel Müdürlük bütçesinden karşılanır [34,35].

2.5.4 Enerji yönetimi ve verimlilik artırıcı önlemler

Enerji yönetimi kapsamında enerji yöneticileri veya enerji yönetim birimleri aşağıdaki faaliyetleri yürüteceklerdir:

- Tüketim alışkanlıklarının iyileştirilmesine ve israfın önlenmesine yönelik önlemleri ve işlemleri belirlemek, tanıtımını yapmak ve gerektiğinde eğitim programları düzenlemek,
- Enerji tüketen sistemler, süreçler veya cihazlar üzerinde yapılabilecek iyileştirmeleri belirlemek ve uygulanmasını koordine etmek,
- Enerji etütlerinin ve VAP'ların hazırlanması ve uygulanması ile ilgili pazar araştırmaları yapmak, anlaşmaları hazırlamak ve uygulamayı kontrol etmek,
- Enerji tüketen cihazların verimliliklerini izlemek, bakım ve kalibrasyonlarının zamanında yapılmasını koordine etmek,

- Enerji ihtiyaçlarının ve verimlilik artırıcı uygulamaların planlarını, bütçe ihtiyaçlarını, fayda ve maliyet analizlerini hazırlamak ve üst yönetime sunmak,
- Enerji tüketimini ve maliyetleri izlemek, değerlendirmek ve periyodik raporlar üretmek,
- Enerji tüketimlerini izlemek için ihtiyaç duyulan sayaç ve ölçüm cihazlarının temin edilmesini ve montajını sağlamak üzere girişimlerde bulunmak,
- Endüstriyel işletmelerde özgül enerji tüketimini, mal üretimi ile enerji tüketimi ilişkisini, enerji maliyetlerini, işletmenin enerji yoğunluğunu izlemek ve bunları iyileştirici öneriler hazırlamak,
- Enerji kompozisyonunun değiştirilmesi ve alternatif yakıt kullanımı ile ilgili olanakları araştırmak, çevrenin korunmasına, emisyonların azaltılmasına ve sınır değerlerin aşılmamasına yönelik önlemleri hazırlayarak bunların uygulanmasını koordine etmek,
- Enerji teminindeki kesinti durumunda uygulanmak üzere ve Genel Müdürlük tarafından istenmesi halinde petrol ve doğal gaz kullanımını azaltmak amacıyla alternatif planlar hazırlamak,
- Kanun kapsamında her yıl Mart ayı sonuna kadar Genel Müdürlüğe verilmesi gerekli bilgileri hazırlamak ve Genel Müdürlüğe gönderilmek üzere yönetime sunmak,

2.6 Türkiye’de Enerji Verimliliği alışmaları

Enerji verimliliği, enerji kaynak çeşitliliğinde diğer kaynaklara destek olarak görülebileceği gibi, verimlilikten elde edilecek kazanımlar ile aynı zamanda tek başına bir kaynak olarak da değerlendirilebilecek konumdadır. Türkiye için, bu konuda ciddi bir potansiyel bulunmaktadır. Yukarıda açıklanan süreç ve amaçlar doğrultusunda 2007 yılı içerisinde TBMM tarafından Enerji Verimliliği Kanunu ıkarılmıştır. Enerji Verimliliği Kanunu ile enerjinin verimli kullanımını teşvik eden düzenlemeler getirilmiş ve bu alandaki önemli potansiyelin kullanılması hedeflenmiştir [36].

Ülkemizde, bina sektöründe yaklaşık %30, sanayi sektöründe %20 ve ulaşım sektöründe %15 enerji tasarruf potansiyellerimiz olduğu da tespit edilmiştir [37].

Elektrik enerjisi öncelikli olmak üzere, enerjinin her noktada verimli ve etkin kullanılması ve israfının önlenmesi amacıyla, kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımıyla "Ulusal Enerji Verimliliği Hareketi" başlatılmıştır ve 2008 yılı "Enerji Verimliliği Yılı" olarak ilan edilmiştir. Kamu sektöründe enerjinin verimli kullanımına yönelik 2008/2 ve 2008/19 sayılı iki Başbakanlık Genelgesi yayımlanmıştır.

Bu kapsamda Bakanlıklar, valilikler, belediyeler, aydınlatma, beyaz eşya, elektrik motoru ve yalıtım sektörleri, bankalar, turizm tesisleri ve alışveriş merkezleri ile işbirliği ortamları ve eylem planları geliştirilmektedir. Her ilde bir Vali Yardımcısı ilin ENVER koordinatörü olarak belirlenmiştir.

Enerji verimliliğinde; toplumsal faydaya odaklı Sosyal Sorumluluk Projeleri üstlenilmesi yönünde çalışmalar başlatılmıştır. Bu kapsamda;

Sanayide tüketilen elektriğin en az % 70'inin motorlar tarafından harcadığı belirtilerek, elektrik motorları ve bunların sürdürdüğü sistemler üzerindeki iyileştirmeler ile yaklaşık 2 Keban Barajı büyüklüğündeki santral ihtiyacının ortadan kalkabileceği ifade edilmektedir. Bu potansiyelinin değerlendirilebilmesi için elektrik motoru üreticileri, ithalatçıları, OSB'ler, Sanayi/Ticaret odaları ile toplantılar düzenlenmiş ve KOBİ'lerin elektrik motoru sistemlerindeki verimlilik artırıcı projelerinin desteklenmesi için KOSGEB-Bankalar arası işbirliğinin başlatılması ve sektör işbirliği ile KOBİ'lerde yaygın bilinçlendirme etkinlikleri planlanmıştır.

Enerji verimli eşya üzerinde bilinçlendirme amaçlı ve gönüllülük esasına dayanan "ENVER ETİKETİ" uygulaması başlatılmış olup, buzdolabı ve klima başta olmak üzere, etiket sınıfı en az (A) olan elektrikli ev aleti kullanıldığında tasarruf edilebilecek enerji miktarının da yine yaklaşık 2 Keban santralinin yıllık üretimi kadar olabileceği ifade edilmektedir.

Bankalar ve İZODER işbirliği ile, mevcut konutlarda ısı yalıtımına uzun vadeli kredi uygulanması ve "Enver Kartı" verilmesi ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır. Binalarda standartlara uygun dış cephe yalıtımı ile yıllık ısıtma- soğutma ihtiyacının en az % 50 azaltılabileceği öngörülmektedir [26].

Enerji verimliliğinin süratle ve etkili bir şekilde artırılabilceği tedbirler arasında, aydınlatma amacıyla kullanılmakta olan akkor flamanlı lambaların yaklaşık 5 kat daha verimli olan kompakt floresan lambalarla değiştirilmesi hususuna öncelik verilmektedir. Bu konudaki çalışmalara kamu kurum ve kuruluşlarının öncülük etmesi amacıyla hazırlanan “Kamuda Akkor Lambaların Değiştirilmesine İlişkin Başbakanlık Genelgesi” kapsamında yürütölen çalışmalar sonucunda 1 800 000 adedin üzerinde lamba değiştirilmiştir. Söz konusu çalışma ile kamu kuruluşlarında %23 daha iyi aydınlatma sağlandığı, elektrik tüketim kapasitesinin 102 MW azaltıldığı ve bütçeye yıllık 41 milyon lira kazandırıldığı rapor edilmektedir.

Enerji Verimliliği Yılındaki bilinçlendirme çalışmaları kapsamında Aralık 2008 ve Nisan 2009 tarihleri arasında, kayıp-kaçak oranlarının yüksek olduğu illerde toplam eskileri toplanarak 4 800 000 enerji verimli kompakt floresan lamba, ilköğretim öğrencilerine dağıtılmıştır [36].

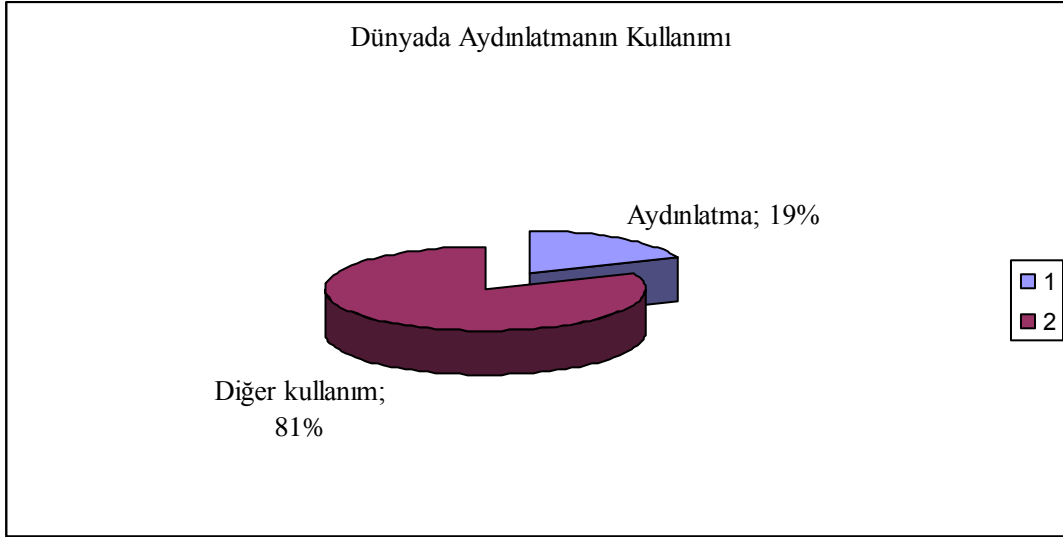
3. AYDINLATMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Aydınlatmada enerji tasarrufu, aydınlatmanın kalitesini düşürmeden ve iyi bir aydınlatmanın koşulları yerine getirilerek yapılmalıdır. İyi bir aydınlatma, daha verimli aydınlatma elemanları ile sağlanabileceği için, aynı aydınlatma seviyesinin daha az enerji tüketimi ile sağlanması da mümkündür. Kriterleri sağlayan doğru ve verimli bir aydınlatma ile hem daha az elektrik enerjisi tüketimi olacak, hem de göz sağlığı korunarak, iş verimi yükseltilebilecektir [38].

İyi ve kaliteli bir aydınlatma sisteminden, aydınlatılması amaçlanan alanlara yeterli miktarda ışık göndermesi beklenilir. Kullanılmayan alanların aydınlatılması ya da kullanılan alanlarda gereğinden fazla aydınlatma yapılması enerji kaybına sebep olacaktır. Yetersiz aydınlatma emniyet ve konfor açısından sakıncalıdır. Aynı şekilde aşırı aydınlatma da kamaşma problemi nedeni ile görüş koşullarını tamamen bozabilir [39].

Aydınlatma, elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Binalarda ısıtma-soğutma sistemlerinden sonra en büyük enerji tüketim kaynağı aydınlatma sistemleridir.

Dünya çapında tüketilen toplam elektriğin %19' u aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır [12]. Şekil 3.1'de aydınlatmanın elektrik tüketimi içerisindeki payı gösterilmektedir. Yeni aydınlatma teknolojileri bir yandan yüksek kaliteli ışık sağlarken diğer yandan CO₂ salınımını önlemekte ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 3.1 : Aydınlatmanın elektrik tüketimi içindeki payı [12]

Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) üye ülkelerde aydınlatma amaçlı yıllık 950–1070 TWh arasında bir elektrik tüketimi olduğu hesaplanmaktadır. Global olarak yeni aydınlatma teknolojilerinin kullanılmasıyla sağlanacak tasarrufun %15–20 gibi bir oran ile 133–212 TWh olabileceği tahmin edilmektedir. Bu da Türkiye gibi birçok ülkenin yıllık elektrik enerjisi tüketiminden büyük bir değerdir. AB yakın zamanda yaptığı bir çalışma ile aydınlatmadaki enerji tüketiminin %30–50 oranında azaltılabileceğini ve aydınlatma kalitesinin de yükseltilebileceğini ortaya koymuştur [12,40].

Aydınlatmada, etkin ışık kaynakları ve verimli armatürlerin kullanılması ile önemli enerji tasarrufu sağlanabilir. Ancak, gerektiği yerde, gerektiği zaman, gerektiği kadar bir aydınlatma yapma yeteneğine sahip olmayan yani kontrol edilmeyen bir aydınlatma sistemi günümüz ekonomik ve teknolojik koşullarına uygun değildir [38].

Endüstriyel tesislerde aydınlatmada verimliliği sağlamak için daha verimli armatür reflektör kombinasyonlarının, düşük kayıplı balastların ve yüksek etkinlik faktörüne sahip lambaların kullanımının önemi büyüktür. Ayrıca bakım, gün ışığından daha fazla yararlanma ve aydınlatma otomasyonu enerji verimliliğinde kazanım sağlamaktadır [41].

Aydınlatma, verimsizlik nedeniyle uğradığımız kaybın en yüksek olduğu alanlardan biridir. Ülkemizde elektrik enerjisinin önemli bir bölümü aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmakta olan akkor flamanlı lambalar elektrik

enerjisinin %95'ini ısıya çevirmekte, sadece düşük bir kısmını ışığa dönüştürerek aydınlatma sağlamaktadır.

Türkiye'de tüketilen elektriğin yaklaşık % 20'si aydınlatma amaçlıdır. Enerji tasarruflu aydınlatma sistemlerine % 20'lik bir geçiş, yıllık 5,6 milyar kWh'lik bir enerji tasarrufu anlamına gelmektedir. Bu da Afşin-Elbistan A termik ya da Keban hidroelektrik santrallerinin bir yıllık üretimine denk düşmektedir [42].

3.1 Aydınlatmada Enerji Tasarrufu

Aydınlatmada enerji tasarrufu, düşük verimli ışık kaynakları yerine yüksek verimli ışık kaynakları kullanılarak ve bazı kolay uygulanabilir önlemler alınarak sağlanabilir. Burada önemli olan konuya gereken ilginin gösterilmesidir. Bu önlemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

1. Lamba alırken yüksek verimli olanlar tercih edilmelidir. Lamba seçimleri en yüksek lümen/watt oranına (etkinlik faktörü) göre yapılmalıdır.
2. Kullanılmayan alanlar aydınlatılmamalıdır.
3. Gün ışığından mümkün olduğu kadar fazla faydalanılmalıdır.
4. Aydınlatma armatürlerinin periyodik bakımları yapılmalıdır. Kirli ve tozlu armatürler ışığın bir kısmını yutarak verimsiz aydınlatmaya neden olurlar.
5. Lamba ışık çıktısı verimli olarak kullanılmalıdır. Aydınlatılması gereken yüzeylere lamba ışık çıktısının maksimum oranda ulaşım ulaşmaması, aydınlatma sisteminin verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu amaçla fotometrik değerleri bilinen verimli armatürler kullanılmalıdır.
6. Zamanlayıcılar, fotoseller ya da varlık sensörleri vasıtasıyla aydınlatmanın kontrol edilmesi, enerji tasarrufu açısından önemlidir.
7. Duvar, tavan ve dekorasyon malzemeleri mümkün olduğunca açık renkli seçilmelidir.
8. Daha fazla ışığa ihtiyaç duyulan bölümlerde, çok sayıda düşük güçlü lamba yerine, düzgünlük koşulları yerine getirilerek yüksek güçlü daha az sayıda lamba kullanılması daha verimli bir aydınlatma sağlar.

9. Merdiven aydınlatmasında küçük güçlü lambaların kullanılmasına özen gösterilmelidir.
10. Odadan ayrılırken lambalar kapatılmalıdır.
11. Çalışırken masa lambası kullanılmalıdır.
12. Enerji kaybına engel olmak için tunsten halojen ve enkandesen lambalar yerine, fluoressan lambalar kullanılmalıdır. Böylece %40'ların üzerinde enerji tasarrufu sağlanabilir.
13. Akkor flamanlı lamba yerine kompakt fluoressan lamba kullanımı ile tek bir noktada %80'e varan enerji tasarrufu elde edilebilir.
14. Yol aydınlatmasında, yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar yerine, verimli yeni nesil yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların kullanılmasıyla, aynı aydınlık düzeyinde yaklaşık % 60 tasarruf sağlanabilmektedir [38].

3.2 Doğru ve Verimli Aydınlatma

Amaca göre aydınlatma yapılmalıdır. Yapıların mimari ve işlevsel özellikleri incelenmeli, ortamın aydınlık düzeyi ihtiyacı belirlenmeli ve bu ihtiyaçlara göre seçilen armatürler tasarım hesaplarına göre yerleştirilmelidir. Aydınlatmada amaç belirli bir aydınlatma düzeyinin elde edilmesi ve iyi görme koşullarının sağlanmasıdır.

Ticari binalar ve konutlarda hem aydınlatma kalitesini artırmak, hem de enerji tasarrufu sağlamak için, fluoressan lamba kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Son yıllarda enerji verimli aydınlatma uygulamaları olarak sıkça söz edilen LED ışık kaynaklı armatürlerin genel aydınlatma amaçlı kullanılmalarında çok dikkatli davranılması gerekmektedir.

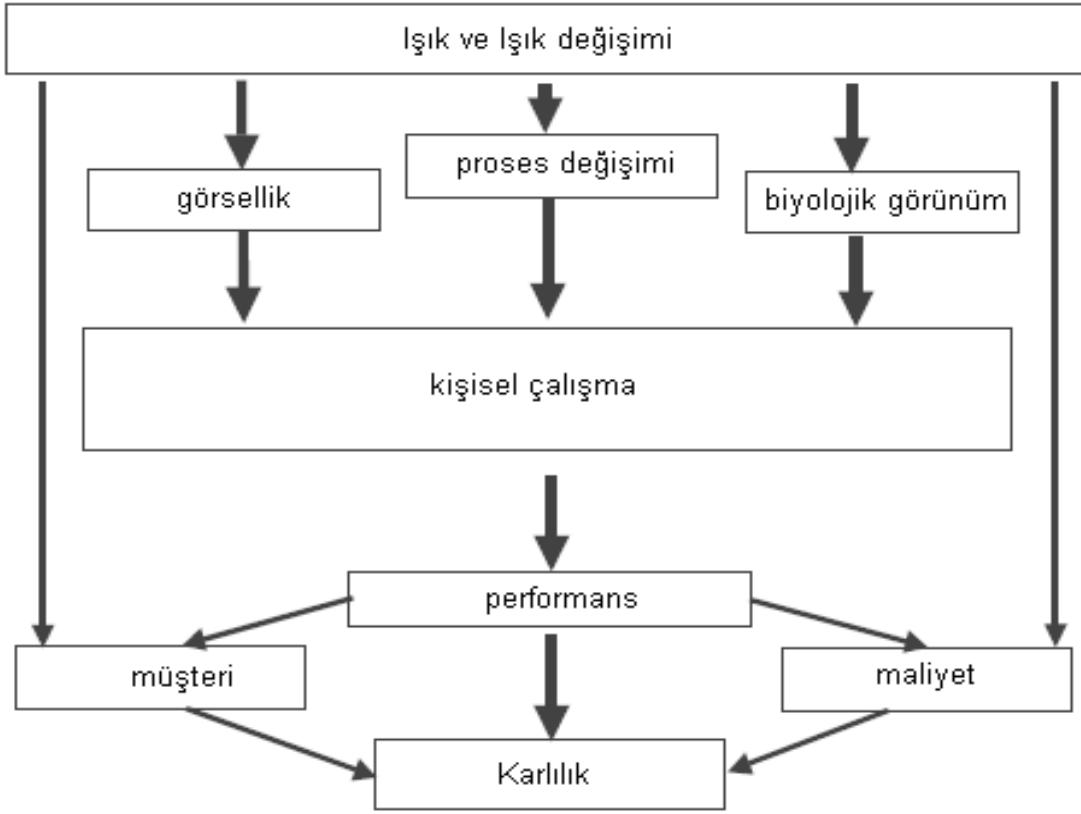
Kompakt fluoressan lambalar akkor flamanlı enkandesen lambaların alternatifi olup, hiçbir zaman tüp fluoressan lambalar yerine kullanılmaması gereken ışık kaynaklarıdır. Uygun yapıları nedeni ile akkor flamanlı lambaları kompakt fluoressan lambalara dönüştürmek kolaydır. Akkor flamanlı lamba kullanılan hemen hemen her yerde, kompakt fluoressan lambalar kullanılabilir. Yüksek verimli lambaların fiyatları diğer lambalara göre daha fazladır. Fakat kompakt fluoressan lambaların kullanım

ömrü akkor flamanlı lambalara göre çok daha uzundur ve akkor flamanlı lambaların kullandığı enerjinin yaklaşık % 20'sini tüketirler [38].

3.3 Endüstriyel Aydınlatma

Endüstriyel aydınlatma, küçük işyerlerinden büyük fabrikalara ve hassasiyet gerektiren ağır endüstriyel çalışma alanlarına kadar birçok farklı iç mekan ve çalışma alanı aydınlatmasını kapsamaktadır. Endüstriyel tesislerde aydınlatmanın çok önemli olduğu kabul edilir. Endüstri tesislerinde üç farklı yapay aydınlatma sistemi kullanılır. Bunlar genel aydınlatma, yerel aydınlatma ve çalışma alanı aydınlatmasıdır. Genel aydınlatma çalışma alanı üzerinde dengeli ve düzgün bir aydınlık düzeyi yaratacak şekilde tasarlanır. İç mekanlarda çalışma pozisyonu sabit ise bu durumlarda yerel aydınlatma kullanılabilir. Yerel çalışma aydınlatması belirlenen bölgeler için genel aydınlatmayı desteklemek için kullanılır [43]. Komşu hacimler arasında aydınlık düzeyi farklılıklarının 1/3'ü geçmemesine özen gösterilmelidir.

Şekil 3.3'te gösterilen modelde de görüldüğü üzere, ışık insanların performans seviyelerine görsel ve psiko-biyolojik olarak etki eder. Kişisel çalışmanın performans seviyesi farklı insanlar için farklılıklar gösterir. Endüstriyel çalışmalarda insan performansı ticari karlılık üzerinde direkt olarak etkilidir.

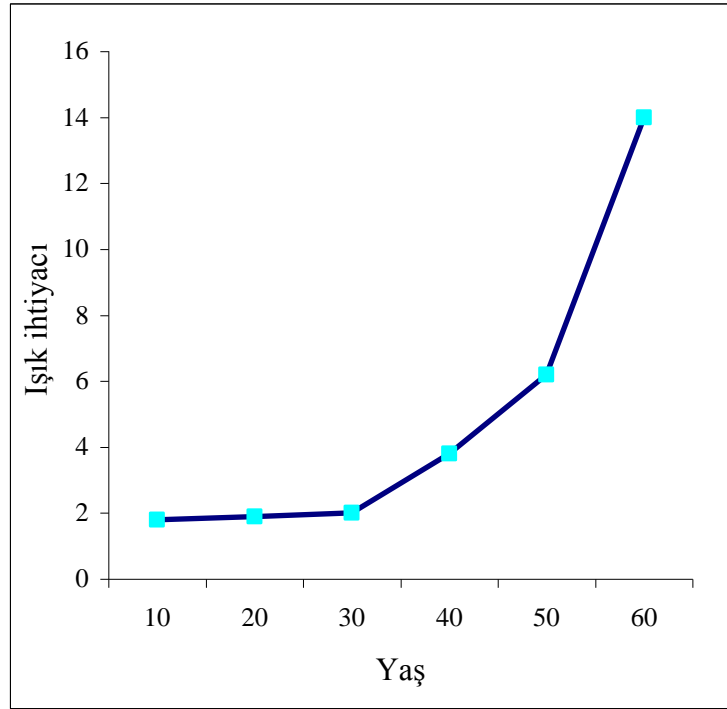


Şekil 3.2 : Aydınlatma değişiminin karlılık üzerindeki etkisi [44]

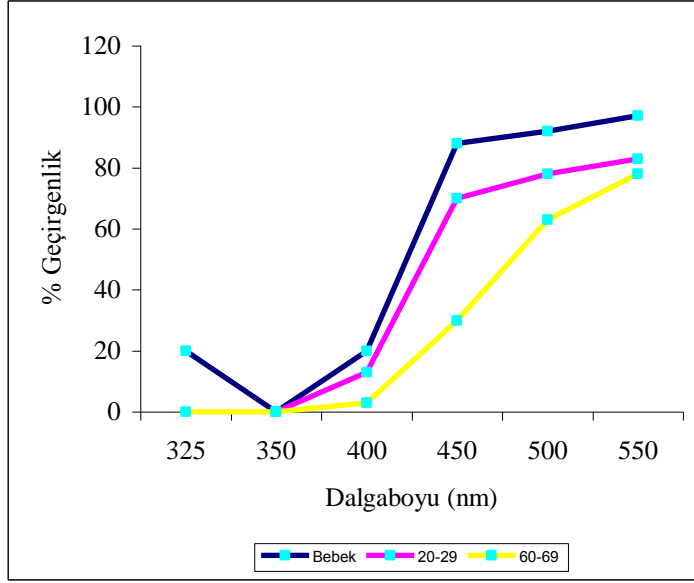
Aydınlatma sağlanabilecek bu olumlu değişim doğal aydınlatma kalitesi kadar iyi olan yapay aydınlatmalarla ile gerçekleştirilebilir. Yapılan birçok çalışmanın sonuçlarına göre, çalışanların performansları aydınlatmanın değişimi ile etkilenmektedir.

4. AYDINLATMA VE GÖRSEL PERFORMANS

Aydınlatma kalitesi çalışma alanı için gerekli olan yeterli görsel performansı sağlayacak düzeyde olmalıdır. İnsanların görsel performansı aydınlatmanın kalitesine ve onların görme yeteneğine bağlıdır. Bu bakımdan, yaş aydınlatma için önemli bir kıstastır ve yaş artışı ile birlikte aydınlatma ihtiyacı da artar. Şekil 4.1’de rahat okuma için gerekli olan aydınlatma miktarı yaşın bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Şekle göre 10 yaşında iken gerekli olan aydınlık yaklaşık 2 birim iken 60 yaşına gelince gerekli olan aydınlık 14 birim olmaktadır. Şekil 4.2’de ise, bu farklılığın nedenlerinden biri olan göz merceğinin geçirgenliğinin bozulması gösterilmiştir [43].

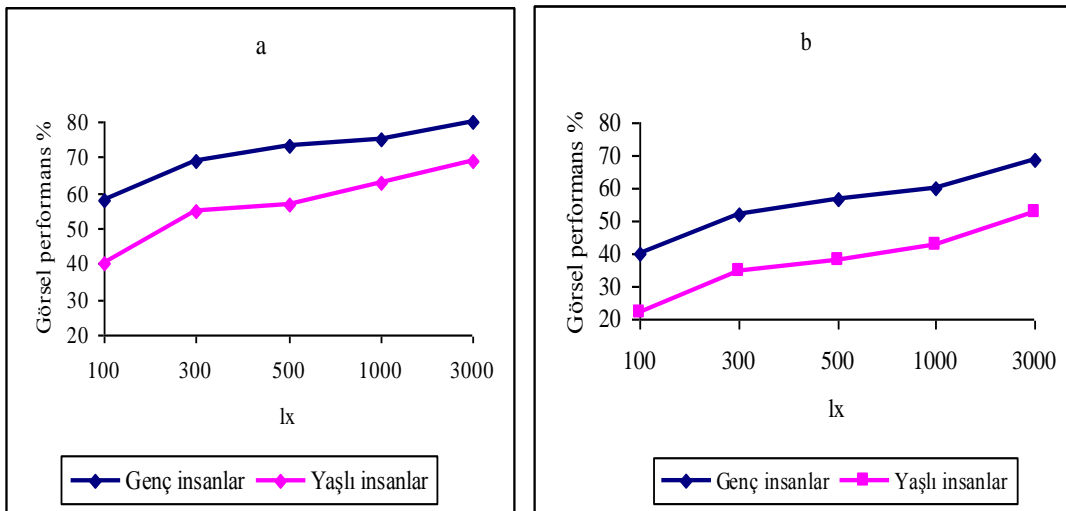


Şekil 4.1 : Aydınlatma ihtiyacı ve yaş arasındaki ilişki [45]



Şekil 4.2 : Değişik yaş kategorileri için göz merceği geçirgenliği [46]

Aydınlatma kalitesinin görsel performans üzerindeki etkisini araştıran birçok araştırmanın sonuçları grafikler Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Bu grafikler iş zorluk dereceleri farklı çalışma alanları için aydınlık düzeyleri ile görsel performans arasındaki ilişkiyi vermektedir. Her iki çalışma koşulunda da aydınlık düzeyinin artması ile görsel performansın arttığı görülmektedir. Bu alanlarda sağlanması gereken aydınlık düzeyleri olarak Avrupa standardında (CEN) belirtilen değerler esas alınmıştır [43,47]. Normal zorlukta iş için CEN standardı 300 lx iken zor iş için 1000 lx'tür.



Şekil 4.3 : a)Normal zorlukta iş için çalışma alanı b)Zor iş için çalışma alanı [48]

Şekilde görsel performans ile aydınlık düzeyi arasındaki ilişki iki farklı çalışma alanı için incelenmektedir. Şekil a da normal zorluktaki bir iş için, b de ise zor bir iş için çalışma alanındaki görsel performans değişimi gösterilmekte olup, sürekli çizgi genç insanlar, kesikli çizgi ise yaşlı insanlar için geçerli olan değerlerdir.

4.1 Aydınlatma ve Kazaların Azalması

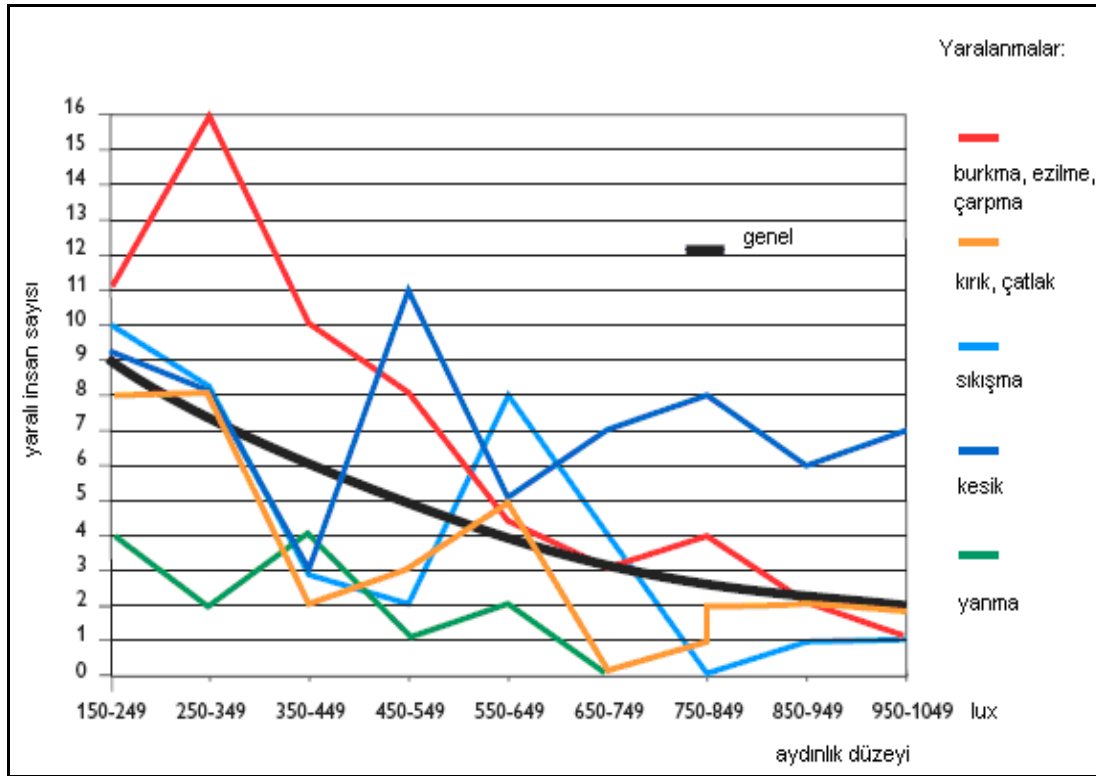
Birçok endüstriyel tesiste meydana gelen kazalardan kaçınmak için, daha iyi görüş şartlarının sağlanması gerektiği açıkça kanıtlanmıştır. Fiziksel yaralanmalar ve ruhsal acılar üretim kayıplarına neden olabilmektedir.

İstatistikler endüstriyel kazaların sürekli artış eğiliminde olduğunu göstermektedir. Örneğin Hollanda'da son üç yılda kaydedilen endüstriyel iş kaza sayısında % 12,5 bir artış olduğu belirlenmiştir. Daha iyi görme koşullarının sağlanması birçok farklı endüstri kazalarının azalmasına neden olmaktadır. Kazaların sayısı farklı sanayi tiplerine ve genel çevresel koşullara bağlı olarak azaltılabilir. Çizelge 4.1'de iki farklı çalışma alanı için kaza azalma yüzdelerini göstermektedir [43,47].

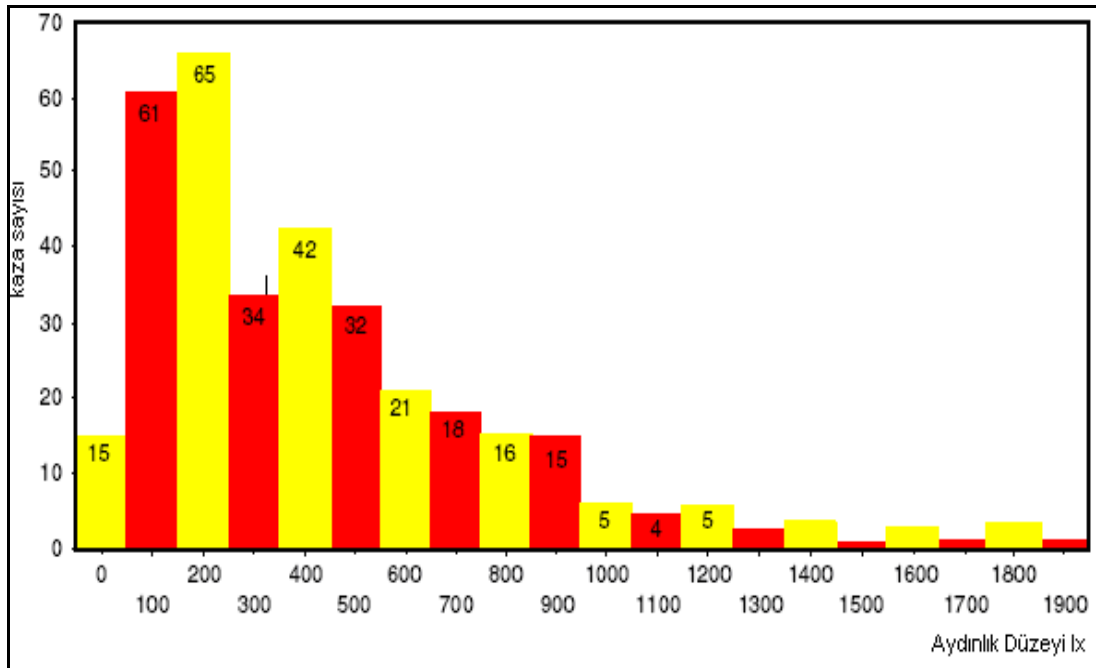
Çizelge 4.1 : Aydınlik düzeyinin iyileştirilmesi ile kazaların azalması [49]

Çalışma Tipi	Aydınlik Düzeyi (lx)		Kaza Azalması (%)
	Önce	Sonra	
Metal Endüstrisi	300	2000	52
Metal Endüstrisinde Zor İş Alanı	500	1600–2500	50

Şekil 4.4'te farklı yaralanma tipleri toplam 347 adet kaza için aydınlık düzeyinin bir fonksiyonu olarak çalışma alanındaki kaza sayıları gösterilmektedir. Bu bulgular aydınlık kalitesinin geliştirilmesi ile kaza sayısının azaldığını açıkça göstermektedir.



Şekil 4.4 : Kaza sayılarının aydınlık düzeyine bağlı değişimleri [50]



Şekil 4.5 : Kaza sayılarının aydınlık düzeyine bağlı değişimleri [50]

Şekil 4.5'te farklı endüstriyel tesislerde meydana gelen toplam 347 adet kazanın analiz edildiği bir grafik mevcuttur. Bu grafikten 50 ila 250 lx arasında maksimum kaza sayısına ulaşıldığı açıkça gözükmektedir.

Kazaların önlenmesinde, sadece aydınlık düzeyinin değil aydınlatmanın kalitesinin iyileştirilmesinin de önemli bir rolü vardır. Düzgün olmayan aydınlatma adaptasyon problemleri yaratabilir ve bu da uygun görülebilirliği engeller. Aşırı kamaşma da olumsuz sonuçları beraberinde getiren birçok adaptasyon problemini yaratır. Bundan başka, ışığın stroboskopik etkileri makinelerin hareketli parçalarının rahat ve net bir şekilde görülmesi gereken durumlarda tehlikeli olabilir. Bu durum yüksek frekanslı elektronik aydınlatma uygulamaları ile ortadan kaldırılabilir. Son olarak, ışığın renksel geriveriminin düşük olması da potansiyel olarak tehlikeli durumlarda yanlış değerlendirmelere neden olabilir [43].

4.2 Aydınlatma Kalitesinin Gerekliği

Uygun ve güvenli aydınlık düzeylerinin insanların görsel verimliliği açısından önemli bir etki yaptığı gözükmetedir. Bununla birlikte kaliteli bir aydınlatma için aydınlatma tasarımında düzgünlük, kamaşma seviyesi ve renksel geriverim gibi kriterlerin de dikkate alınması gerekir.

Düzgün olmayan bir aydınlatma çalışma alanındaki aydınlık düzeyini değiştirir ve görsel stres ve konforsuz bir ortam yaratır. Bu durum gözün adaptasyon özellikleri ile ilgilidir. Genel aydınlatmada yeterli düzgünlük, çalışma alanı ve makine parkurunda serbestlik sağlar.

Kamaşma gözün adapte olabileceğinden daha yüksek bir parlaklıkla karşılaşması sonucunda oluşur. Bu durum görsel performansta ve konforda düşüşe yol açar. Aşırı kamaşma göz yorgunluğu ve baş ağrısına neden olur. Aynı problem kapalı alanlarda bölgeler arası parlaklık farklılıklarında da meydana gelir. Kamaşmanın sınırlanması hatalardan, halsizlikten ve kazalardan kaçınmak için önemlidir.

Renkli cisimler üzerlerine gelen ışık hüzmesini yansıtmaları sonucunda algılanırlar. Örneğin kırmızı renk yüksek bir yüzde ile kırmızı dalga boyunu yansıtır. Ortamdaki cisimlerin renkleri kullanılan ışık kaynaklarının renksel geriverim özelliklerine bağlı olarak değişim gösterirler. Işık kaynağının renksel geriverim endeksi, Ra, bu kalite için ölçülür. Ra sıfırdan (renk geriverimi yok) 100 (mükemmel renk geriverimi)'e kadar değişen değerlerdir. Uygun renk geriverimi insan teni için çok önemlidir. Işık insan teninin donuk ve sağlıksız gözükmesine neden olabilir. Işık kaynağının uygun seçimi ile (Ra minimum 80) bu problem kolayca çözülebilir. Renksel geriverimleri

80'den düşük olan lambalar insanların çalıştığı ve yaşadığı kapalı alanlarda kabul edilemez sonuçlar verebilir. İhtiyaç olan 80 ve üzeri Ra değerlerinin sağlanması ise doğru tipte floresan lambaların seçilmesi gerekir.

Bugünkü uygulamalarda, ilk satın alma maliyetleri düşük olduğu için endüstriyel tesislerin %80'inde düşük renksel geriverim indeksine sahip lambalar kullanılmaktadır. Oysa ki toplam maliyet göz önüne alındığında, iyi renksel geriverime sahip yeni nesil lambaların daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır [43].

Birçok ulusal ve uluslararası öneriler ve standartlar iç mekanlar ve çeşitli aktiviteler için aydınlatma kalitesini belirlemektedir. Çizelge 4.2'de kaliteli aydınlatmanın tasarımında dikkat edilmesi gereken kalite büyüklükleri ve parametreler gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 : Aydınlatma tasarımında dikkat edilmesi gereken kalite büyüklükleri ve parametreleri [43,47]

Kalite Büyüklükleri	Kalite Parametreleri
Aydınlık düzeyi	Ortalama aydınlık düzeyi, E_{ort}
Düzensizlik	E_{min} / E_{ort}
Kamaşma	UGR
Renksel geriverim	Ra

Aydınlatma sistemleri her şeyden önce ortamda yapılacak işe uygun görme koşullarının konforlu bir şekilde sağlanabilmesi amacı ile tesis edilmelidir. Fabrika iç ve dış ortamlarında aynı tip aydınlatma tesisatı yerine, yapılan işe göre belirlenen kriterleri sağlayan bölgesel çözümlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İşin hassasiyetine göre, sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri değişmektedir. Uluslararası standart ve önerilerde, görüş koşulları ve tesisatın ekonomikliği esas alınarak belirlenen, değişik hacimlerde olması gereken optimum aydınlık düzeyi değerleri verilmektedir. Avrupa Birliği'nce iç çalışma hacimleri için Kasım 2002'de kabul edilmiş standartlar, ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından "Işık ve Aydınlatma-iş yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1: kapalı alanlardaki iş mahalleri başlıkları altında Ocak 2004'de yayınlanmıştır [51,52].

Farklı sanayi sektörleri için gerekli olan aydınlatma kalite büyüklüklerinin belirtildiği TS EN 12464-1 standardında verilen bazı değerler aşağıda örnek olarak verilmektedir [52]. Çizelge 4.3’de verilen aydınlık düzeyi ve renksel geriverim değerleri sağlanması gereken minimum, kamaşma ise maksimum değerdir.

Çizelge 4.3 : TS EN 12464-1’e göre seramik, fayans ve cam endüstrileri için aydınlatma kalite değerleri

Sektör	Seramik, Fayans, Cam Endüstrisi			
	Çalışma alanı ve aktivite	Aydınlık Düzeyi E (lx)	Kamaşma UGRL	Renksel Geriverim Ra
	- Kurutma	50	28	20
	- Genel makine çalışması	300	25	80
	Emaye, Haddeleme, Presleme, - Şekillendirme, Cam Üfleme	300	25	80
	Taşlama, Gravür, Cam Parlatma, Hassas - Parçaların Şekillendirmesi	750	19	80
	- Optik cam, Kristal cam, El imalatı	750	16	80
	- Hassas çalışma dekoratif el boyama gibi	1000	16	90
	- Sentetik değerli taş üretimi	1500	16	90

4.3 Aydınlatma ve Biyolojik Etkileri

Yüzyıllarca yıl önce günlük gece gündüz döngüsü ve uyku uyanıklılık ritmi insanoğlu tarafından keşfedilmiştir. Endüstriyel devrimden beri ve özellikle elektriğin keşfedilmesinden itibaren toplum aktivitesi yavaş yavaş yirmi dört saate yayılmaya başlamıştır. Vardiyalı çalışma çok uzunca bir süredir endüstri ve hastane gibi çalışma alanlarında uygulanmaktadır. Bugünlerde küreselleşmenin de etkisi ile kıtalararası çalışmaların fazlaşması nedeni ile düzensiz çalışma programları hızlı bir şekilde artmaktadır.

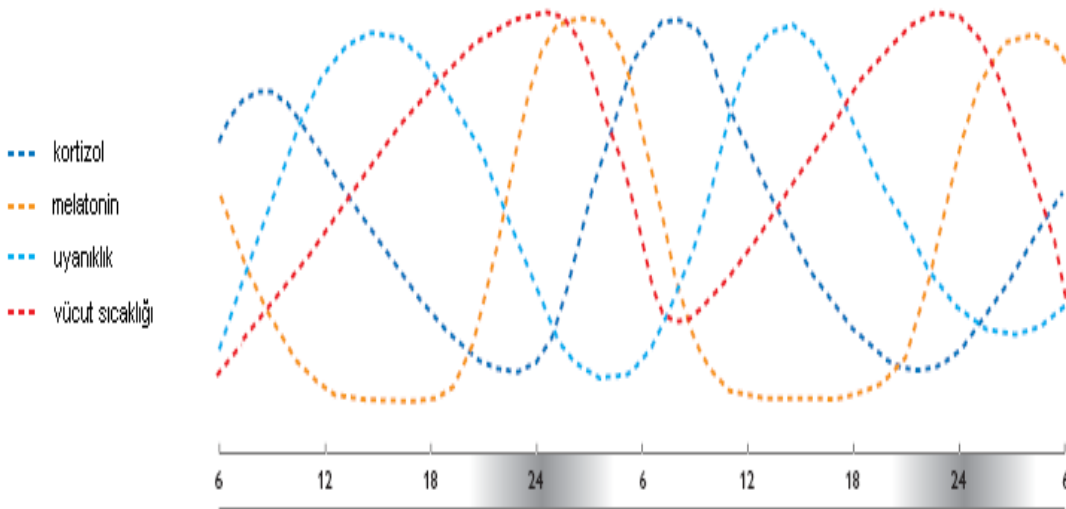
Eski çağlardan beri günışığının yararlı etkisi çok iyi bilinen ve uygulanan bir yöntemdir. Işık terapisi 1930'lara kadar sağlık problemlerinin çözülmesinde kullanılan en popüler yöntemdi. Ancak penisilin keşfinden sonra tıbbi ilaçlar bu konuda öne geçmiştir. Işığın sağlık ve konfor için önemi son otuz yıl içerisinde tıbbi ve biyolojik araştırmalarla canlanmıştır.

Normalde biz insanlar gözü bir görme organı olarak düşünürüz. Fakat gözden beyne olan ek sinir bağlantılarının keşfedilmesi ile, görünür ışığın insanların üzerinde fizyolojik ve psikolojik süreçleri kontrol ettiği ortaya çıkmaktadır. Görünür ışığın etkisi ile ilgili en büyük bulgular aşağıda belirtilmiştir:

- Biyolojik saatin kontrolü
- Direk etkiler
- Ruh haline etkisi [43]

4.3.1 Işık ve biyolojik saat

Gözle görülür ışık, sinir sisteminden ayrı olarak günlük ve mevsimsel değişimleri düzenleyen biyolojik saatimizi etkiler. Aynı zamanda bu ışık, özellikle sabah ışığı, vücut saatini çevresel zamanla ya da 24 saatlik gündüz gece çevrimi ile senkronize eder.



Şekil 4.6 : İnsan vücuduna ait çeşitli hormonların 24 saatlik ritmi [43,47]

Şekil 4.6'da insan yaradılışının bazı tipik ritimleri görünmektedir. Şekilde gösterilen örnekler; vücut sıcaklığı, uyanıklık, kortizol (stres) hormonu ve melatonin (uyku) hormonudur. Diğer önemli ritimler; uyku çevrimi, uyuklama, yorgunluk, ruh hali ve performanstır. Kortizol ve melatonin hormonu uyanıklık ve uyku yönetiminde önemli bir rol oynar. Kortizol seviyesi sabahları artar ve vücudu ve beyni yeni gelen günün aktivitelerine hazırlar. Aynı zamanda melatonin hormonu seviyesi düşerek, uyuklamayı azaltır. Melatonin hormonu uyku hormonu olarak bilinir ve bu hormonun artması ile insanda uyku durumu oluşur. Işık melatonin hormonunu direkt

olarak etkiler. Örneğin gece boyunca ışıklı bir ortamda bulunmak bu hormonun seviyesini azaltır. Bu örneklerden de açıkça görülmektedir ki bu iki hormon da uyuklama ve uyanık olma ile doğrudan ilgilidir [43,47].

4.3.2 Işığın vücut üzerinde doğrudan uyarıcı etkileri

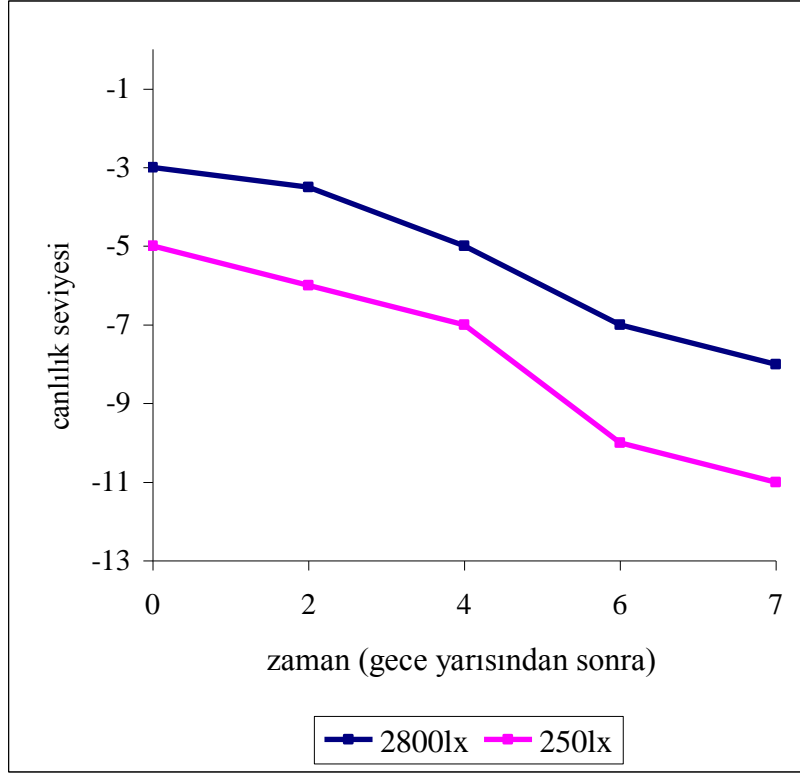
Işığın, sadece yaz ve kışın olan farklı etkileri değil, aynı zamanda ruh haline olan uyarıcı etkileri de hemen hemen herkes tarafından bilinir. Kısmen psikolojik olan bu etkiye yardımcı olan bazı fiziksel öğeler de mevcuttur. Farklı ışık seviyelerinin uyarıcı etkileri elektroensefalograf (beyindeki elektriksel aktiviteleri kayıt eden cihaz) cihazı içindeki model ile ve farklı vücut fonksiyonlarının merkezi sinir sistemindeki değişiklikleri ile belirlenebilmektedir. Son bulgular ışığın ayrıca kalp hızı ve insülin seviyesi gibi değerleri de etkilediğini göstermektedir [53,54,55].

Bu etkilerin çoğu biyolojik saatle ilgilidir. Işık terapisinin kullanılmasının uyku bozuklukları, Alzheimer hastalığı ve araştırmaları devam eden anoreksi, bulimia ve bağışıklık sistemi gibi hastalıklar üzerinde olumlu etkileri olduğu belirtilmektedir [56,57,58,59].

4.3.3 Işık, ruh hali ve uyanıklık

Ruh hali insanın duygularının bir yansımasıdır, fiziksel olarak iyi ya da kötü hissetmek veya zihinsel olarak daha çok ya da daha az dikkatli davranmak gibi örnekler verebiliriz. Ruh haline etki eden diğer faktörler hava ve mevsimsel değişiklikler, çalışma ortamındaki görme koşulları ve görsel ortamlar olarak sayılabilir [60,61].

Endüstriyel tesislerde uyanıklılık sadece ruh hali için değil performans ve kazalardan kaçınmada da önemli olan bir faktördür. Günün belirli bir zamanındaki uyanıklılık iç kaynaklı veya dış kaynaklı bileşenler tarafından belirlenir. Gün içindeki uyanıklılık bu iki bileşenin kombinasyonudur. Birçok araştırmada ışığın uyanıklılık ve canlılık seviyesi üzerindeki etkileri vardiyalı çalışma durumlarında uygulanmaktadır.



Şekil 4.7 : Canlılık seviyesinin iki farklı aydınlık düzeyi için gece vardiyası çalışmasındaki değişimi [62]

Şekil 4.7’de iki farklı aydınlık düzeyinin vardiyalı çalışma zamanlarında canlılık üzerine etkisi gözükmemektedir. Her iki düzeyde de canlılık seviyesinde gece boyunca azalma oluşur. Fakat yüksek aydınlık düzeyinde canlılık seviyesinin daha yüksek olduğu açıkça görünür.

Kapalı alanlarda çalışan insanların stres ve keyifsizlik seviyelerini belirlemek için yapay aydınlatma ve günışığı kombinasyonu altında iş gören insanlar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmada grup içindeki stresin, yapay ve günışığı aydınlatmasının bulunduğu yaz aylarında, kış aylarından daha düşük seviyelerde olduğu belirtilmektedir. Buradan yaz aylarında ortaya çıkan yüksek miktarlardaki günışığı seviyesinin stres şikayetlerinde azalmaya katkı sağladığı söylenebilmektedir [63,64].

Işık iyi görme koşulları ve uygun çalışma ortamı için önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanısıra insanlar üzerinde pozitif bir ruh hali sağlamakta, uyanıklılığı arttırarak kaza oranlarının azalmasına ve performansın artmasına etki etmektedir.

4.3.4 Günüşığı ve yapay aydınlatma

Günüşığı almayan kapalı alanlarda aydınlık düzeyi 100–500 lx arasında olabilir, bu seviye büyük ölçüde standartlardaki gerekliliğe göre belirlenmektedir. Ancak birçok durumda günüşığı binaların boşluklarından geçerek her gün birkaç saat ortalama aydınlık seviyesini artırıcı olarak katkıda bulunmaktadır. Günüşığı ve yapay aydınlatma ışığı arasındaki bir diğerk fark da, aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığıdır. Ruh hali ve uyartıma günüşığınin pozitif yönde bir etki gösterdiği kabul edilir. Dinamik iç mekan aydınlatması ile de pozitif etkiler sağlayan bir ortam yaratılabilir. Ofis ortamlarında yapılan kapsamlı çalışmalarda, çalışanların bu ortamlarda her zaman ilave yapay aydınlatmaya ihtiyaç duydukları saptanmıştır. Ofis ortamlarında tercih edilen çalışma düzlemi ortalama aydınlık düzeyi 800 lux civarındadır [65].

4.3.5 Düşük aydınlatma kalitesinin etkisi

Düşük ve zayıf kaliteli bir aydınlatma tesisatında çalışan insanların göz ağrısı ve halsizlik şikayetleri olabilir ve bundan dolayı düşük performans gösterebilirler. Bu gibi durumlar baş ağrılarına yol açar. Kalitenin düşük olmasının nedenleri arasında yetersiz aydınlık düzeyi, ışık kaynaklarının kamaşma ve parlaklık oranının çalışma alanı için iyi ayarlanmamış olması sayılabilir. Lambaların titremesi baş ağrılarına ve strese neden olabilir. Bu olay şebeke frekansında çalışan manyetik balasttan kaynaklanabilir. Elektronik balastlar yaklaşık 25 kHz gibi yüksek frekanslarda çalıştıklarından dolayı, titreme olayı ile karşılaşılmaz ve bu durum baş ağrısı vakalarını azaltır [66,67].

Sonuç olarak sağlık koşullarının iyi olması, uyanıklılığı geliştirmek ve ruh halini iyileştirmek kaza oranını azaltır ve performansı pozitif yönde etkiler, bunun yanında devamsızlık oranlarını da azaltır.

İyi kalitede aydınlatma, görsel ve biyolojik gereksinimlerin her ikisini de karşılayarak, işçinin genel sağlık ve konfor seviyesinin yanında endüstriyel prosesin verimliliğine de katkıda bulunacaktır.

4.4 Aydınlatma ve Verimlilik

Daha önceki bölümlerde aydınlatmanın kalite, görsel performans ve biyolojik etkileri ile ilişkisi anlatılmıştır. Daha sonra da çalışma hızı ve kazaların azalmasının ruh hali,

uyanıklık ve sağlıkla ilgili ilişkilerini gösteren veriler örneklenmiştir. Bu faktörlerin tamamının verimlilik üzerinde pozitif etkileri olduğu düşünülebilir.

İyi ruh hali ve uyanıklılığın endüstriyel işçilerde kaza risklerinin azalmasında ve sağlık durumlarının iyileşmesinde çok önemli faktörler olduğu bilinmektedir. Endüstriyel çevrelerdeki kazaların düşük sayıda olması da çalışma performansına pozitif etkiler yapmaktadır. Yüksek alışma performansı iş verimini direkt olarak pozitif yönde etkilemektedir. Verimlilikteki bu pozitif etkilere ek olarak işe olan devamsızlık oranları da, kaliteli aydınlatmaya bağlı olarak kazaların azalması, gelişen ruh hali ve uyanıklılık, iyi devam eden sağlık ve motivasyon ile birlikte azalma göstermektedir.

Bu bilinenler sonucunda aydınlık düzeyinin 300 lx'ten 500 lx'e artırılmasıyla verimlilikte bir artış beklenmektedir. Bu konuda literatürdeki var olan çalışmalar incelendiğinde, söz konusu aydınlık düzeyi artışı ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır [43].

- Minimum verimlilik % 10–25 arasında
- Daha gerçekçi bir varsayımla %10–40 arasında

Fakat kesin olarak % 10'dan daha fazla bir artış gösterir.

Dünyada ve Avrupa'da birçok endüstriyel tesisdeki aydınlatmalarda minimum 300 lx aydınlık düzeyi baz alınarak, en azından bu seviyeye erişmek için çeşitli çalışmalar ve yatırımlar yapılmaktadır. Bu aydınlatma tesisleri genelde elektronik balastlı standart fluoressan lambaları içermektedir. Bu armatürlerde basit metal reflektörler kullanılarak ışığın direkt çalışma düzlemine yönlendirilmesi de sağlanmaktadır.

İyi kalitedeki tesislerde aydınlatma, gerçekten aydınlatmanın ihtiyaç duyulduğu yerlerde görme duyusuna yardım eden sistemler içerir. Bunu sağlamak için çok yüksek tavanlı olmayan tesislerde genelde renksel geri verimleri 80 ve üzerindeki, titreşimi yok eden yüksek frekanslı balastlarla çalışan fluoressan lambalı armatürler kullanılır.

Kurulumundaki yüksek aydınlatma veriminden dolayı, yüksek verimli fluoressan lambalar ve düşük enerji kayıplı elektronik balastlar mevcut eski tesisatlarla karşılaştırıldığında % 50'e varan enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Örneğin

aydınlık düzeyi 300 lx'ten 500 lx'e artırılmasına rağmen düşük enerji tüketimi ve düşük işletme maliyetleri oluşabilmektedir [43].

4.5 Farklı Endüstriyel Çevrelerde Test Çalışması

Değişik Avrupa ülkelerinde aydınlatmanın verimlilik üzerindeki etkilerini belirlemek amacı ile beş farklı çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalar Juslen ve Tenner tarafından 2005 yılında yaratılan mekanizma modeli temel alınarak yapılmıştır. Farklı çalışma alanlarının seçilmesi ile aydınlatma kalitesi değişiminin verimlilik üzerindeki etkileri gerçek endüstriyel çevrelerde incelenmiştir.

Bütün çalışma alanları incelenirken, normal çalışma faaliyetlerine devam edilmiş ve herhangi bir özel düzenleme yapılmamıştır. Çalışma yöntemi ve tekniğindeki yerel koşullara uyum için, verimlilik ölçümü gerektiğinde uyarlanmıştır. Verimlilik ölçümü, hata sayıları ve montaj zamanlarının ölçülmesi ile yapılmıştır. Sonuç olarak aydınlık düzeyinin artırılması ile verimliliğin yükseltilebileceği gösterilmiştir

Güvenilir veriler elde etmek için, uzun süreli ve sürekli çalışmalar gerekmektedir. Her bir çalışmada verimlilik ölçümü, değişik aydınlatma durumlarında ve uzun bir süre içerisinde aynı işçi grupları ile yapılmıştır. . Beş çalışmanın dördünde verimlilik değişiminin belirlenmesi için varyans analizi kullanılmıştır. Son çalışmada ise çalışmadan önceki ve sonraki durum incelenmiştir.

Değişik Avrupa ülkelerinde yapılan beş farklı çalışmada aydınlatma değişiminin verimlilik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aşağıda bu beş çalışma hakkında kısa bilgiler verilmektedir.

A: Bu çalışma Finlandiya'daki bir aydınlatma armatür üretim fabrikasında yapılmıştır. Çalışma alanındaki aydınlatma sistemine yeni kontrol cihazları takılmıştır. Bu çalışmadan önce çalışma alanındaki aydınlatmada herhangi bir kontrol cihazı bulunmamaktadır. Yeni otomasyon sistemi ile çalışma süresince her kullanıcı aydınlık düzeyini 100–3000 lx arasında serbestçe ayarlayabilme olanağına sahip olmuştur. Aydınlık düzeyini kendi isteğine göre ayarlayan test grubunun verimliliği, 700 lx sabit aydınlık düzeyinde çalışan referans grubunun verimliliği ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak test grubunun verimliliğinin referans grubuna göre %4,6 oranında arttığı belirlenmiştir.

B: Bu çalışma da Almanya'da bir aydınlatma armatürü fabrikasında yapılmıştır. Bu çalışmada da tesis edilen kontrol cihazları ile, çalışma alanının aydınlık düzeyi 100–900 lx arasında değiştirilebilmektedir. Ortamda sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi 250 lx olarak belirlenmiştir. Aydınlatmada 3500 °K–4400 °K arasında renk sıcaklığı seçimi de yapılabilmektedir. Çalışmada, yüksek aydınlık düzeyi ile yüksek ve düşük renk sıcaklığı; düşük aydınlık düzeyi ile yüksek ve düşük renk sıcaklığı gibi kombinasyonlar denenmiştir. Sonuç olarak yüksek renk sıcaklığının verimlilik üzerinde %5,7 civarında pozitif bir etki yarattığı görülmüştür.

C: Bu çalışma Hollanda'da bir elektronik firmasında yürütülmüştür. Bu firmada vardiyalı çalışma yapılmaktadır. Montaj masaları üzerindeki aydınlık düzeyleri, 800 lx ila 1200 lx arasında değiştirilebilmektedir. Verimlilik, üretim zamanını ve hataları kayıt eden cihazlar yardımı ölçülmüştür. Aydınlık düzeyinin artırılması ile verimlilik %3 oranında artmıştır, gece vardiyasında bu artış oranı %7 olarak saptanmıştır.

D: Bu çalışma yine Hollanda'da yiyecek üretim tesisinin paketlenme hattında yapılmıştır. Genel aydınlık düzeyi çalışma öncesi ve çalışma boyunca 300 lx civarındadır. Buna ek olarak 50 lx ila 1700 lx arasında değişen aydınlatmalar sağlayan özel tesisatlar yapılmıştır. Test grubunun devamlılığı özel aydınlatması bulunmayan referans grubu ile karşılaştırılmıştır. Test grubunun devamsızlık oranının %17 oranında azaldığı görülmüştür. Makinelerin tamir zamanlarındaki verimliliğin ölçülmesi için, işçilerin verimlilik seviyeleri kayıt altına alınmıştır. Sonuç olarak test grubunun verimliliğinin %3 oranında arttığı belirlenmiştir [68].

E: Bu çalışmada Hollanda'da bir armatür fabrikasındaki aydınlatma koşulları değiştirilmiştir. Çalışma alanlarına özel aydınlatma tesisatı yapılmış ve aydınlık düzeyi 500 lx'ten 1050 lx'e yükseltilmiştir. Test grubunun verimliliği ve devamsızlığı referans grubu ile önceki ve sonraki durum göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır [69]. Bu karşılaştırma sonucunda verimlilik artışı %5,5 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4'te yapılan bu çalışmaların sonuçları özet olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 : Aydınlatma ve verimlilik üzerine yapılan çalışma sonuçları [68]

Çalışma Numarası	A	B	C	D	E
Çalışma Yeri	Finlandiya	Almanya	Hollanda	Hollanda	Hollanda
Teste Tabi Tutulan Kişi Sayısı	21	25	35	26	42
Test Aydınlik Düzeyleri	100-3.000 lx	100-900 lx		50-1700 lx	700 lx
Genel Aydınlik Düzeyi	250 lx	250 lx	800/1200 lx	300 lx	350 lx
Çalışma Düzlemindeki Aydınlik Düzeyi Değişimi	Kullanıcı Seçimi	Kullanıcı Seçimi		Düzenli Değişim	Arttırıldı
Genel Aydınlik Düzeyi Değişimi			Düzenli Değişim		Azaltıldı
Çalışma	Gündüz	Gündüz	3 vardiya	3 vardiya	Gündüz
Çalışmanın Süresi	1 yıl	8 ay	4 ay	5 ay	Önce /Sonra
Aydınlatmanın Değişimi ile Verimliliğin Değişimi	%4,60	Belirlenemedi	%3	%3	%5,50
Renk Sıcaklığı Sonucunda Verimlilik Değişimi	Ölçülmedi	%5,70	Ölçülmedi	Ölçülmedi	Ölçülmedi
Hata Oranı Değişimi	Ölçülmedi	Ölçülmedi	Ölçülmedi	Ölçülmedi	Ölçülmedi
Devamsızlıktaki Değişim	Ölçülmedi	Ölçülmedi	Ölçülmedi	%-17,0	%-2,50

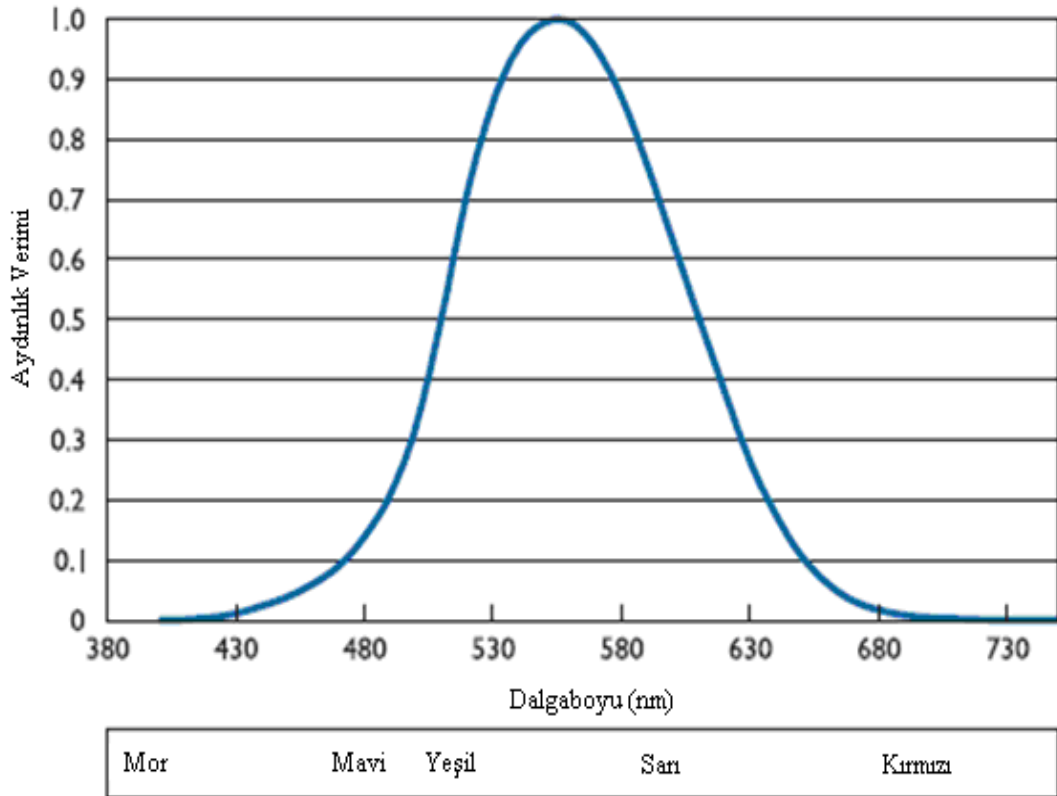
Yukarıdaki çalışmaların sonuçlarından, aydınlatmanın değişiminin ve geliştirilmesinin verimlilik üzerinde olumlu etkisi olduğu gözükmektedir. Aydınlik düzeyinin artması ile birlikte insanların verimliliği de artmaktadır. Aydınlatmanın verimlilik üzerinde direkt ve endirekt etkileri vardır. Endirekt etkiler insanlarda huzur ve mutluluk, uyanıklılık ve devamsızlığın azalması; direkt etkiler olarak da üretim zamanının kısılması, üretim miktarının artması gibi parametreler sıralanabilir. Aydınlatmanın değişimi ile sağlanabilecek verimlilik artışlarını belirlemek amaçlı bu tip gerçek saha incelemesine dayanan çalışmalarda aşağıda verilen işlem sırasının izlenmesi önerilmektedir:

- Mevcut durumun incelenmesi,
- Ölçülecek parametrelerin belirlenmesi,
- Aydınlatma tesisat değişiminin yapılması,
- Verilerin toplanması,
- Sonuçların değerlendirilmesi,
- Gerekliyorsa düzeltmeler ve tekrar ölçümler yapılarak projenin kapatılması [68].

5. GENEL AYDINLATMA TANIMLARI, ELEMANLARI VE TASARIMI

Aydınlatmanın amacı, en genel anlamda insanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli koşulların sağlanmasına katkıda bulunmaktır.

Aydınlatmacının kullandığı malzeme ışıktır. Işık ile ifade ettiğimiz, elektromanyetik dalga spektrumunda 380 nm ile 780 nm arasındaki bölgede kalan ve insan gözünde görme duyumu uyandıran radyasyonlardır. Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik enerjinin frekans ve dalga boylarına göre düzenlenmiş grafiksel gösterimidir. Spektrumun uzun dalga boylarının olduğu uçta radyo dalgaları kilometrelerce uzunlukta, kısa dalgaların olduğu uçtaki X-ışınları ve gamma ışınlarının dalga boyları atomik boyutlardadır.



Şekil 5.1 : Elektromanyetik spektrumda ışığın yeri [70]

Görmemizi sağlayan ışık görülebilir ışıktır ve elektromanyetik spektrumda 380 ile 780 nm arasında yer alır (Şekil 5.1). İnsan gözü değişik dalga boyundaki ışıkları renk

olarak ayırt eder. Görülebilir ışığın kısa dalga boyları maviye, uzun dalga boyları kırmızıya, ortada kalanlar ise sarı ve yeşil renge denk gelmektedir.

Işıktan bahsedilebilmesi için bir ışık kaynağının olması gerekir. Işık kaynakları başlıca “Doğal Işık Kaynakları” ve “Yapay Işık Kaynakları” olarak ikiye ayrılır. Aslında doğal ve yapay ışık kaynakları temel olarak birbirinden farklı değildir. Her iki durumda da aynı fiziksel ve kimyasal yasalar geçerlidir. Işık üretiminde, birincil ışık kaynaklarının dikkate alınması gerekir. Çünkü ikincil ışık kaynakları diye adlandırılan kaynaklar kendi başlarına ışık üretemezler ancak üretilmiş ışığı yansıtma, iletme gibi roller üstlenirler. Birincil ışık kaynakları elektriksel ya da kimyasal enerjinin ışığa dönüşmesiyle ışık yayarlar. Güneş birincil ışık kaynağı iken, güneşin ışınlarını yansıtan ay ikincil ışık kaynağıdır.

Bu kapsamda ışık üretimi üç yolla gerçekleştirilebilmektedir;

- Termik Işık Üretimi
- Lüminesan Işık Üretimi
- Endüksiyon Yoluyla Işık Üretimi

5.1 Genel Tanımlar

Bu bölümde aydınlatmanın temel fotometrik büyüklükleri ve genel tanımları hakkında bilgi verilecektir.

5.1.1 Işık akısı (Φ , lm)

Işık akısı, bir ışık kaynağının birim zamanda yaydığı toplam ışık miktarı ile ilgili bir kavramdır. Φ harfi ile gösterilir. Birimi lümen'dir.

Tanım olarak, bir ışık kaynağının ışık akısı, bu ışık kaynağından çıkan ve normal gözün gündüz görmesine ait spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen enerji akısıdır.

5.1.2 Işık şiddeti (I)

Işık şiddeti birim zamanda belli bir doğrultuda yayılan ışığın yoğunluğu ile ilgilidir. Akan bir suyun debisi ile karşılaştırılabilir. I harfi ile gösterilir. Birimi candela'dır.

5.1.3 Aydınlık düzeyi (E)

Aydınlik düzeyi bir yüzeyin birim alanına birim zamanda düşen ışık akısı miktarıdır. Birimi lüks'tür. 1 lüks= 1 lx. Herhangi bir yüzeyin birim alanına birim zamanda düşen yağmur miktarı ile karşılaştırılabilir.

Tanım olarak aydınlık düzeyi yüzeyin ışık akısının, o yüzeyin alanına bölümüne eşittir. Yani, $E = \Phi / A$ 'dır.

5.1.4 Parıltı (L)

Parıltı L harfi ile gösterilir. Birimi cd/m^2 'dir. Yüzeyin birim alanından belli bir doğrultuda yayılan ışık şiddeti ile ilgili bir kavramdır. Işık yayan yüzey kendisi ışık üreten bir lamba veya ışık geçiren bir armatür yüzeyi gibi birincil ışık kaynağı olabileceği gibi, başka bir kaynaktan ulaşan ışığı yansıtan ikincil bir ışık kaynağı da olabilir.

Parıltı tanımı şöyle yapılabilir: "Işık yayan bir yüzeyin bir M noktasının bu yüzeyin normali ile α açısı yapan doğrultudaki parıltısı, M noktasını içine alan ΔA yüzey elemanının bu doğrultuda doğurduğu ΔI_α ışık şiddetinin ΔA 'nın bu doğrultuya dik düzlemdeki ΔA_g görünen alanına oranının limitidir".

5.1.5 Kamaşma

Parıltı olarak tanımlanan cd/m^2 değerinin aşırı derecede yüksek olmasına veya ışık kaynağından yayılan ışınımın direk olarak göz tarafından rahatsız edici olarak algılanmasına kamaşma denir.

5.1.6 Etkinlik faktörü (e)

Işık akısı ile çekilen toplam güç arasındaki oran "etkinlik faktörü" olarak adlandırılır ve lümen/watt birimi ile açıklanır. Her lamba tipinin etkinlik faktörü farklıdır.

$$e = \Phi / P \text{ (lm/W) [71]}$$

5.1.7 Renk sıcaklığı

Birim: Kelvin (K)

Bir ışık kaynağının renk sıcaklığı, "Kara cisim" ile tanımlanır ve "Planck'ın geometrik yeri ile" gösterilir. "Sıcak cisim" in sıcaklığı arttığında, mavi rengin tayf içerisindeki payı büyürken, kırmızınıninki azalır. Sıcak beyaz ışığa sahip bir akkor

lambanın renk sıcaklığı 2700 K iken, gün ışığı fluoressan lambanınki 6000 K olabilmektedir.

5.1.8 Işık rengi

Işık rengi, renk sıcaklığı ile de tarif edilmektedir. Burada üç ana grup bulunmaktadır:

- * Sıcak beyaz < 3300 K
- * Doğal beyaz 3300–5300 K
- * Gün ışığı beyazı > 5300 K

Aynı ışık rengine rağmen, lambalar, ışıklarının tayfsal bileşimleri nedeniyle çok farklı renksel geriverim özelliklerine sahiptirler.

5.1.9 Renksel geriverim

Kullanılan yere ve görüş amacına bağlı olarak, yapay ışık altında, renk algılamasının olabildiğince hassas gerçekleşmesi (gün ışığında olduğu gibi) istenir. Bunun için ölçüt, bir ışık kaynağının renksel geriverim özelliğidir. Bu özellikler “ Genel Renksel Geriverim Endeksi” nde Ra olarak ifade edilirler.

Ra = 100 değerine sahip bir ışık kaynağı tüm renkleri, referans ışık kaynağı altındaki gibi optimal gösterir. Ra değeri azaldıkça renklerin doğru olarak yansımaları da giderek azalacaktır.

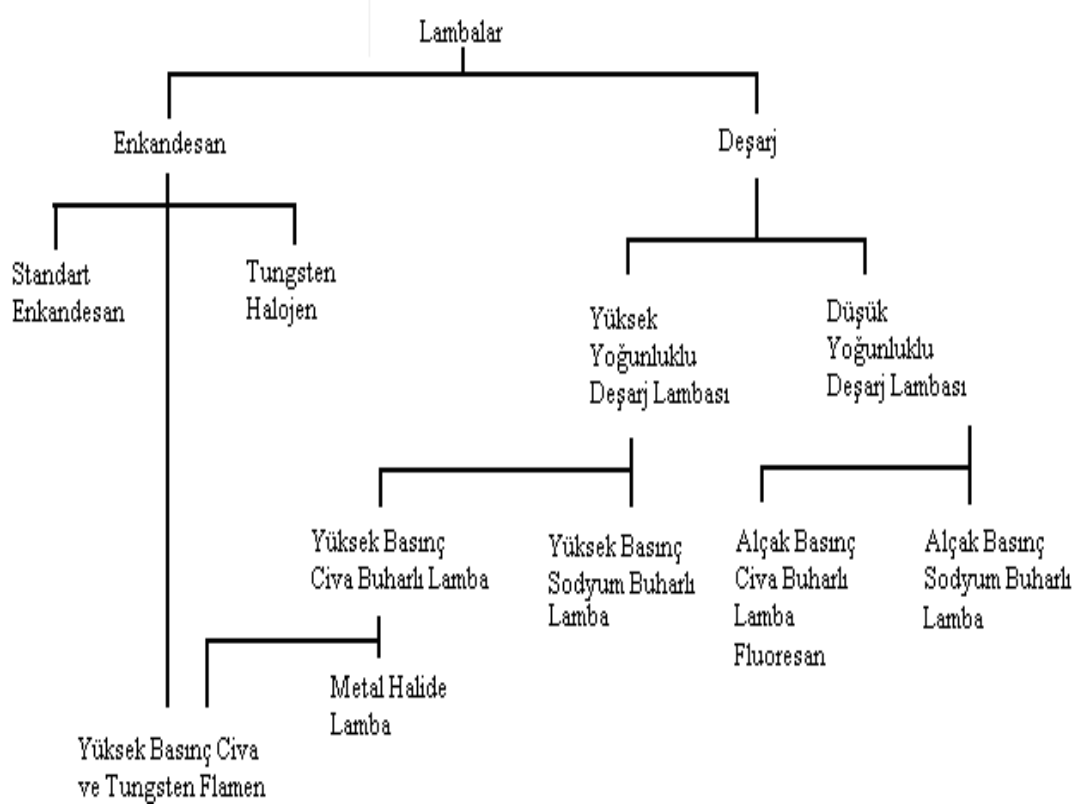
5.2 Aydınlatma Elemanları

Aydınlatma elemanları başlığı altında ışık kaynakları, balast ve armatürler anlatılacaktır.

5.2.1 Işık kaynakları

Aydınlatmanın gün boyunca uzun saatler kullanıldığı endüstri tesislerinde kullanılacak ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri yüksek ve ömürleri uzun olmalıdır. Bu açıdan bakıldığında, enkandesen (akkor telli) lambaların kullanımı söz konusu değildir. İç aydınlatmaya uygun renk özellikleri dikkate alındığında da endüstriyel tesislerde tüp fluoressan, yüksek basınçlı civa buharlı, rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı ve metal halojen (halide) lambaların kullanılabileceği ortaya çıkar. Sayılan bu lamba çeşitlerinin özellikleri, dolayısıyla kullanılabilecekleri

alanlar birbirinden farklıdır [72]. Küçük farklılıklara rağmen bütün dünya genelinde aynı teknolojiye ve benzer özelliklere sahip lambalar kullanılmaktadır. Lamba tipleri şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bu bölümde sanayide kullanılan ana lamba tiplerinin teknik özellikleri anlatılacaktır [73].



Şekil 5.2 : Lamba tipleri [74]

5.2.2 Deşarj lambaları

Deşarj lambaları, lamba içinde bulunan gazın ya da metal buharının iyonize olması ile meydana gelen elektriksel deşarj ile ışık üreten lambalardır. Deşarj tüpünün içinde bulunan gazın tipine bağlı olarak; ya direkt olarak insan gözünün görebileceği ışık oluşur ya da UV radyasyonu, lamba tüpü içinde kimyasal bir madde kullanılarak insan gözünün görebileceği dalga boyuna dönüştürülür.

Deşarj lambaları, çalışmaları için bir balasta ihtiyaç duyarlar. Bu balast, lamba içinden geçen akımı sınırlama görevini yerine getirir. Bir deşarj lambasını ateşleyebilmek için, bir starter ya da ateşleyicinin lamba devresinde yer alması gerekir. Bu devre elemanları; gerekli olan yüksek gerilimi, deşarj tüpü içindeki iyonize olması gereken gaz katmanına uygular. Böylece lamba ateşlenerek ışıltama gerçekleşir.

Deşarj lambalarının servis ömrü lambanın ekonomik ömrü ile yakından alakalıdır. Bir aydınlatma sisteminde lambanın çalışma koşulları dikkate alınmalıdır. Örneğin; bozuk filamana sahip bir deşarj lambasının ışık akısının, filamanı sağlam bir lambaya göre düşüş göstermesi görülen bir sonuçtur. Bunun nedeni, deşarj mekanizmasının kalitesinin düşmesi ve tüp içindeki fluoressan maddesinin yıpranmasıdır. Sistemin ışık akısı değerinin belirlenen minimum değer altına düşmemesi gerekir.(Sistemin ilk kurulduğunda elde edilen ışık akısı değerinin %70 ve üzerinde olması beklenir.)

5.2.2.1 Lineer fluoressan lamba

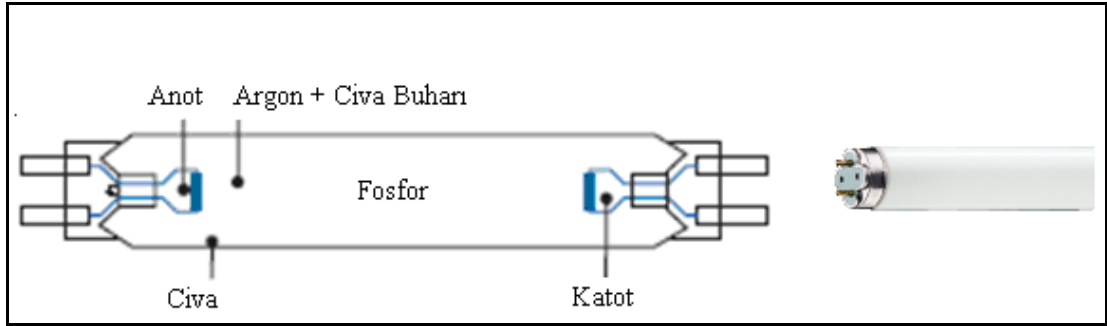
Lineer fluoressan lamba cam tüp ile çevrili ve tüpün sonunda elektrotları bulunan ve içerisi fosfor gazı ile doldurulmuş alçak basınçlı deşarj lambasıdır. Tüp bir ve birden fazla soy gazla ve civa buharı ile doldurulur (genellikle argon gazı). Ultraviyole ışık elektrik akımı elektrotlar arasından geçerken yayılır ve düşük yoğunluklu ark yaratarak civa buharını harekete geçirir ve bunun sonucunda ultraviyole radyasyon üretilir. Sırasıyla tüpü kaplayan fosfor harekete geçerek görülebilir ışığı yayar. Fluoressan lambalar lambanın deşarjını başlatacak akım ve gerilimi düzenlemek ve daha sonra istenen seviyede tutmak için balasta ihtiyaç duyarlar. Fluoressan lambalar dağınık ışık kaynaklarıdır. Yani lambanın her noktasından ışık yayarlar. Bu nedenle performansını tam yansıtması için bir reflektöre ihtiyaç vardır.

Fluoressan lambalar enkandesan lambalara göre daha yüksek verimlere sahiptir (60–104 lm/W) ve çalışma saatleri çok daha fazladır (7500–30000 saat). Bu lambalarda en yüksek renksel geriverim indeksi %95 olup lamba tiplerine göre ortalama olarak %86 civarındadır. Renk sıcaklığı ise, enkandesan lambanın renk sıcaklığı olan 2700 K den başlayıp günışığını veren 7500 K’i sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Fluoressan lambaların bu özellikleri ve uygun fiyatları nedeniyle, çalışma alanlarında, ofis ve binaların aydınlatmasında enkandesan lambaların yerini alması kaçınılmazdır. Bunun yanında bu lambaların dağıttıkları ışığa göre, enerji ve bakım maliyetlerinin düşük olması da diğer lambalarla değişimini cazip hale getirmektedir.

Uzun bir geçmişi olmasına rağmen fluoressan lambalar hala gelişim içerisinde. 1970’lerde hemen hemen tüm fluoressan lambalar T12 diye sınıflandırılan 38mm’lik tüp içerisindeydi ve 20W, 40W ve 60 W güçlerindeydi. Bu lambalarda mavi beyaz ışığı elde etmek için fosfor kullanıldı ve lambalar titreşime dayanıksız durumdaydı. 1973 yılındaki enerji krizi ile birlikte yeni nesil enerji tasarruflu T12 lambaları

kripton gazı kullanılarak pazarlanmaya başladı. 110-120V sistemlerde 40W lambalar yerine düşük güç tüketimli 34W lambalar ve 220-240V sistemlerde 36W lambalar kullanılmaya başlandı. Bununla birlikte ışık şiddeti % 10–12 oranında azalırken lambaların verimi %3–6 oranında artış göstermiştir.

1980'lerin başında üreticiler daha ince (26mm) ve %20 daha tasarruflu lambalar olan T8 lambalarını üretmeye başladılar. Bu lambalar şebeke gerilimi 230-240V olan ülkelerde T12 lambaların direkt olarak değişimi ile hızlı bir şekilde kullanılmaya başlanmasına rağmen, şebeke gerilimi 120V olan ülkelerde tesisatlarda yapılması gereken bazı değişikliklerden dolayı kullanım oranları yavaş kalmıştır [73]. Şekil 5.3'te tüp floresan lambanın iç yapısı gösterilmiştir



Şekil 5.3 : Floresan lamba [74]

T8 lambalardaki verim artışının gelişimi fosfor maddesinin gelişimine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Daha ince cam tüpün lambanın güç yüküne karşı koyup koyamayacağı üzerinde çalışmalar yapılmıştır 1970'lerin ortalarında fosforda oluşan gelişimle bu problemin üstesinden gelindi ve böylece daha verimli ve daha düşük boyutlu lambalar yapılmaya başlandı. T8 floresanlar kullanılan fosfor maddesine göre düşük verimli ve yüksek verimli olarak farklılık göstermektedir. Düşük verimli floresanlarda halofosfor, yüksek verimli floresanlarda trifosfor kullanılmaktadır. Trifosfor sadece verim arttırmakla kalmayıp, bunun yanında daha iyi renksel geriverim de sağlamaktadır.

1995 yılından itibaren T5 diye adlandırılan 16mm çapında daha ince lambalar satışa sunulmuştur. Bu lambalar süper T8 ile karşılaştırıldığında bile daha verimlidir (T5:105 lm/W; T8:96 lm/W). Fakat T5 ve T8 lambalar tam olarak aynı çıkış gücü ve ışık akısına sahip olmadıkları için, performans karşılaştırması yapmak kolay olmamaktadır [73]. Çizelge 5.1'de tüp floresan lambaların özellikleri verilmiştir.

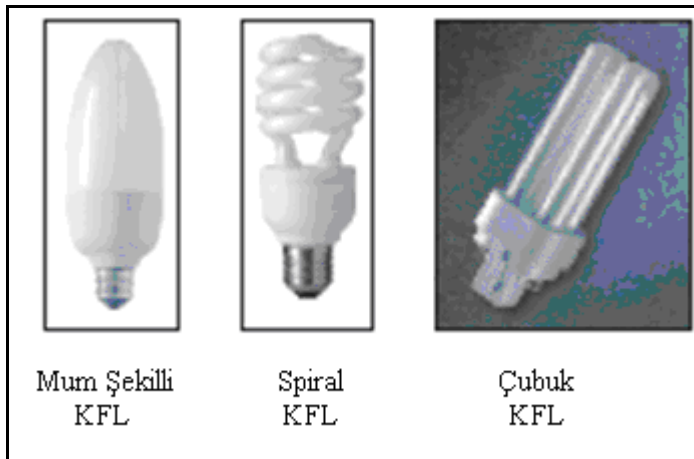
Çizelge 5.1 : Endüstri tesislerinde kullanılabilen tüp floresan lambaların karakteristik değerleri [75]

Çap (mm)	Lamba tipi	Güç (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik faktörü (lm/W)*	Renk sıcaklığı (K°)	Renksel geriverim (R _a)	Ekonomik ömür (saat)
T12-38	40W/54	40	2500	63	6200	70	5000 ¹
	40W/33	40	2850	71	4100	60	
	65W/33	65	4650	72			
T8-26	36W/54	36	2500	69	4000	85	10000 ¹ 20000 ²
	36W/840	36	3250	90			
	32W/840	32	3250	102			
	58W/840	58	5000	86			
	51W/840	51	5000	98			
T5-16	14W/840	14	1200	86	4000	85 ≤	20000 ²
	21W/840	21	1900	90			
	24W/840	24	1750	73			
	28W/840	28	2600	93			
	35W/840	35	3300	94			
	39W/840	39	3100	79			
	49W/840	49	4300	88			
	54W/840	54	4450	82			
80W/840	80	6150	77				

*Balast kayıpları hariç ¹ manyetik balast ² elektronik balast

- **Kompakt floresan lamba**

1970'lerin sonundaki fosfor maddesinin gelişimi kompakt floresan lambaların üretiminde etkin rol oynamıştır. 1980'lerin başında ilk ticari lambalar kendinden balastlı ve balastı olmayan olmak üzere iki tip olarak satışa sunulmuştur. Bu lambalar enkandesan lambaların yerine alternatif olmak üzere tasarlanmıştır. Kompakt floresan lambalar genellikle lamba başlığına monteli 2, 4 veya 6 floresan tüpü içerir [73]. Şekil 5.4'te kompakt floresan lamba örnekleri verilmiştir.



Şekil 5.4 : Balast entegreli KFL [76]

Balastlı kompakt floresan lambalar enkandesan lambalar gibi duylara sahiptir. Bu lambaların ışık akısı eşdeğer enkandesan lambalara göre tasarlanmıştır. Lambaların güç değerleri 4-120W ve verimleri 35–80 lm/W aralığındadır.

Etkinlikleri karşılaştırıldığında kompakt floresan lambalar, aynı seviyede ışık için enkandesan lambalara göre dörtte bir yada beşte bir oranında daha avantajlıdır. Bu lambaların diğer bir artışı da enkandesan lambalarla karşılaştırıldığında daha uzun kullanım ömürlerinin olmasıdır(5000–25000 saat). Bu lambalar için en büyük engel başlangıçtaki yüksek maliyetleri idi. Kompakt floresan lambalar eşdeğer enkandesan lambalara göre 20 ila 30 kat daha pahalıdır. Fakat kompakt floresan lambaların kullanım ömürleri ve kullanım maliyetleri hesaplandığında daha avantajlı oldukları görünmektedir [73]. Çizelge 5.2 ve 5.3'te kompakt floresan lamba ve enkandesan lamba arasındaki maliyet ve teknik karşılaştırma verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Enkandesan ve KFL maliyet karşılaştırması [73]

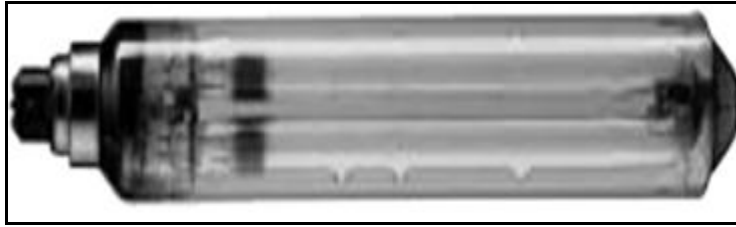
Özellikler	Enkandesan Lamba	KFL
Lambanın ilk maliyeti	0.50	10.00
Işık akısı (lm)	900	900
Güç (W)	75	15
Verim (lm/W)	12	60
Lamba ömrü (saat)	1000	10000
10000 saat çalışma sonrası yapılan hesaplama, 1 kWh = 1USD alınmıştır		
Elektrik tüketimi (kWh)	750	150
Elektrik Maliyeti (USD)	75,00	15,00
Lamba maliyeti (USD)	5,00	10,00
Toplam maliyet (USD)	80,00	25,00
Tasarruf (USD)		55,00

Çizelge 5.3 : KFL ve enkandesan lamba karşılaştırması [77]

Lamba Tipi	Güç(W)	Işık Akısı(lm)	Renk Geriverim İndeksi	Etkinlik faktörü (lm/W)
Enkandesan lamba	40	415	99	10
	60	710	99	12
	75	930	99	12
	100	1340	99	13
KFL Harici Balast	10	600	82	60
	13	900	82	69
	18	1300	82	72
	26	1800	82	69
KFL Dahili Elektronik Balast	8	400	82	50
	11	600	82	55
	15	875	82	56
	20	1200	82	60

5.2.2.2 Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar 1930'lardan beri kullanılmaktadır ve balast kaybı hariç 200 lm/W değeri ile en yüksek etkinlik faktörüne sahiptirler. Bu lambaların çalıştırılması için balast gerekmektedir. Lamba boyutları bir miktar büyüktür. Örneğin 180W için lamba uzunluğu 122 cm'dir. Lambanın tam parlaklığa ulaşması için belirli bir süre ısınması gerekmektedir. Bu lambaların en zayıf noktası renksel geriverimlerinin çok düşük olmasıdır. Rengin önemli olmadığı yerlerde, yüksek etkinlik faktörleri nedeni ile tercih edilebilirler. Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarda 1960'lı yıllardaki gelişimle kalay oksit kullanılmaya başlanmış ve bu lambalar SOX olarak adlandırılmıştır. Lambanın ısı tutucu ile kaplı olması çalışma sıcaklığını ve etkinliğini artırmaktadır [73].



Şekil 5.5 : Alçak basınçlı sodyum buharlı lamba [78]

Şekil 5.5'te alçak basınçlı sodyum buharlı lambaya örnek verilmektedir. Standart kalay oksit SOX sarı/turuncu bir renk verirken indiyum oksit yeşilimsi bir renk verir. Bütün SOX lambaların renksel geriverim indeksi sıfırdır. Ekonomik ömürleri ise 10 000–16 000 saattir. Güç değerleri 26-180W aralığındadır.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar renk ayırımının önemli olmadığı alanlarda kullanılır, çünkü sarı ve gri tonlarını geri verebilirler. Sadece otoyol ve güvenlik aydınlatmalarında kullanılması uygundur.

5.2.2.3 Yüksek yoğunluklu deşarj lambaları

Bu lambalar tungsten elektrotlarından karşılıklı elektrik arkı yaratarak ışık üretirler. Erimiş alüminyum veya kuvarz' dan yapılmış saydam tüp içerisinde çeşitli gaz ve metallerin doldurulması ile oluşturulmaktadır. Buharlaşma noktasına kadar ısıtılan metaller ışık yayarken gaz da elektrik deşarjının oluşmasına yardımcı olur. Yüksek yoğunluklu deşarj lambaları ailesinde üç tip lamba bulunmaktadır. Bunlar yüksek basınçlı civa buharlı lamba, yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ve metal halide lambadır [73].



Şekil 5.6 : Yüksek yoğunluklu deşarj lambaları [76,78]

Şekil 5.6’da sırası ile yüksek basınçlı civa buharlı lamba, yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba ve metal halide lamba gösterilmektedir. Bu lambalar da floresan lambalar gibi ilk tutuşma ve kararlı çalışma şartlarını sağlamak için kontrol ünitesine ihtiyaç duyar, bu da lambanın gücüne ek bir güç olarak eklenir.

Yüksek yoğunluklu deşarj lambaları enkandesan lambalarla ve bazı floresan lambalarla karşılaştırıldığında birtakım önemli üstünlüklere sahiptir. Kullanım ömürleri uzundur ve küçük hacimlerde çok yüksek ışık şiddeti üretirler. Sonuç olarak bu lambalar yüksek ışık şiddeti gerektiren büyük alanlarda, enerji ve bakım maliyetlerinin önemli olduğu yerlerde kullanılır. Yüksek tavanlı iç ortamlarda kullanılacak en iyi lamba tipi yüksek yoğunluklu deşarj lambalarıdır. Bu lambaların kullanılacağı ortamlara örnek olarak endüstriyel tesisler, ambarlar, büyük marketler, kapalı spor salonları ve halka açık büyük mekanlar gösterilebilir.

- **Yüksek Basınçlı Civa buharlı lambalar**

Civa buharlı lambalar dünya üzerinde en yaygın olarak kullanılan ve en eski yüksek yoğunluklu deşarj lambalarıdır. Yüksek basınçlı versiyonlarının etkinlik faktörleri 23–60 lm/W ve ekonomik ömürleri 6000–28000 saat arasındadır. İlk zamanlarda yüksek basınçlı civa buharlı lambalar mavimsi yeşilimsi ışık verecek şekilde üretilmekte idi. Günümüzde daha beyaz ışık verecek şekilde üretilmektedir, bununla birlikte renksel geriverim indeksleri 15–62 ve renk sıcaklıkları 2900–5700 K arasında olmaktadır. Yüksek renksel geriverim değerleri lambada fosfor kullanılması ile mümkün olmakta, fakat bunun sonucunda etkinlik faktörü değerleri azalmaktadır. Yüksek etkinliktir ve iyi renksel geriverime sahip civa buharlı lambalar yüksek basınçlı ve ayrı kullanılan bir balasta sahiptir. Diğer yandan kendinden balastlı düşük basınçlı civa buharlı lambalar çok düşük etkinlik faktörüne sahip olmaları (14,4–29 lm/W), orta derece ışık kalitesi üretmeleri (RGI 50–62) ve kısa kullanım ömürlerine (6000–12000 saat) rağmen hala dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle, civa buharlı lambalar ucuzdur ve bu nedenle düşük performanslarına rağmen hala piyasalarda satılmaktadır.

- **Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lambalar**

Standart yüksek basınçlı sodyum lambalar yüksek yoğunluklu deşarj lambaları içerisinde en yüksek etkinlik faktörüne sahiptirler (70–140 lm/W). Fakat düşük ve orta renksel geriverim indeksine sahip altın sarısı ışık üretirler. Sonuç olarak bu lambalar renkselliğin ekonomiden daha az önemli olduğu düşünülen yerlerde kullanılabilir. Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar alçak basınçlı sodyum buharlı lambalarla karşılaştırıldığında, daha yüksek ve kabul edilebilir renksel geriverim indeksine sahiptirler. Bunun sonucu olarak yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar daha düşük etkinlik faktörlerine rağmen cadde ve dış aydınlatma uygulamalarında alçak basınçlı sodyum buharlı lambalara göre daha çok kullanılmaktadır. Işık rengi düzeltilmiş yüksek basınçlı sodyum lambalar şu anda daha beyaz ışık (RGI yaklaşık 83) üretebilirler. Fakat diğer yüksek yoğunluklu deşarj lambalarındaki gibi rengin iyileştirilmesi, etkinlik faktörlerini düşürür. Bu tip yüksek basınçlı sodyum lambalar bazı iç mekan uygulamalarında kullanılmaktadır. Yüksek basınçlı sodyum lambaların renksel geriverim indeksleri 21–83, renk sıcaklıkları 1900–2500 K ve ekonomik ömürleri 5000–28000 saat arasında değişmektedir. Ortalama güç aralığı ise 40–400 W olmaktadır.

- **Metal halide lamba**

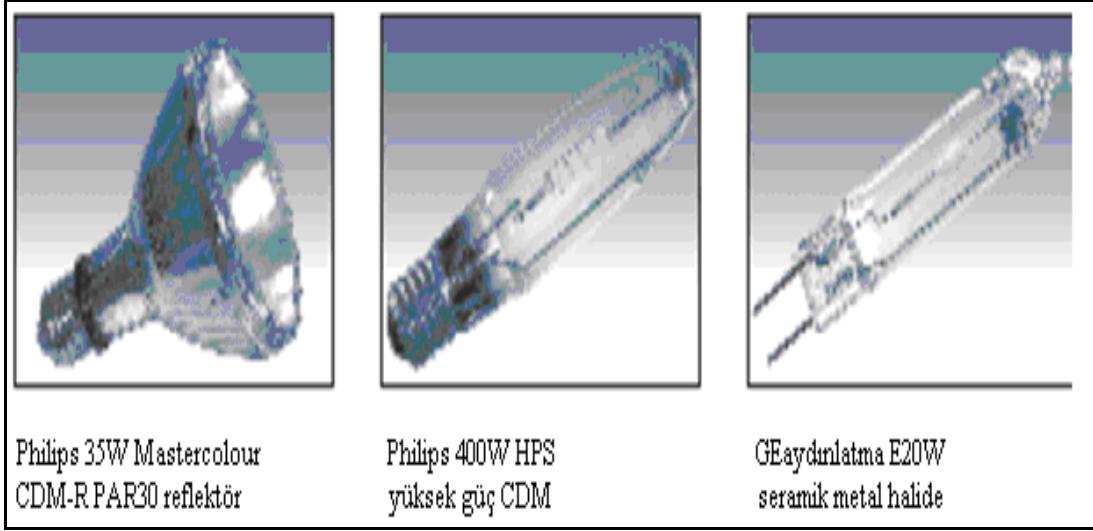
Metal halide lambalar etkinlik faktörü olarak yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalara erişmemektedir. Fakat bu lambalar doğal ışığa yakın daha beyaz ışık üretirler. Bu lambalar temelde yüksek basınçlı civa buharlı lamba yapısındadır. Ama bir miktar metal halojenüre yakın olan örneğin sodyum iyodür ve skandiyum iyodür gibi civa ile bileşik oluşturan metal elementler içerirler. Geleneksel prob start metal halide lambaları tutuşturma elektroduna sahiptir. Start elektrodu ısıl kısa devre sonucu ana elektrot ile arasında potansiyel fark oluşturur ve lamba yanar. Daha modern olan darbe start lambalarda tutuşma için yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda kullanılan yüksek gerilim darbeleri kullanılır ve start elektroduna ihtiyaç duyulmaz. Metal halide lambaların ekonomik ömürleri 6000–20000 saat, renksel geriverim indeksleri 65–92, renk sıcaklıkları 3000-6500K ve etkinlik faktörleri 47–105 lm/W değerleri arasındadır. Lamba ömrünün %40'ında etkinlik faktörünün başlangıç değerlerine göre oldukça düşük olması sakıncaları vardır. Ortalama güç değerleri 35- 1500 W arasında olmakla beraber özel uygulamalar için 12000 W'lık lambalar da üretilebilmektedir.

Bu lambalar yüksek ışık potansiyeli, başlangıçta iyi seviyede etkinlik faktörü, düşük sıcaklık hassasiyetlerine rağmen bazı sakıncaları nedeni ile birincil önceliklerini kaybetmişlerdir. Bazı tiplerinin dışında metal halide lambaların renksel geriverimleri düşük veya orta seviyededir. Bundan dolayı hassas renksel ayırımın istendiği yerlerde bu lambalar uygun olmamaktadır. Bu lambalarda stroboskopik olay oluşma yüzdesi oldukça fazladır ve baş ağrısına neden olabilmektedirler. Lambanın ilk ateşlenmesi ve maksimum ışık şiddeti vermesi için geçen süre oldukça fazladır. Bu lambalarda ışığın ayarlanabilme kabiliyeti de oldukça düşüktür. Eğer lamba sönerse tekrar yakmak için lambanın soğuması için yaklaşık 5 ila 15 dakika beklenmesi gerekmektedir. Metal Halide ve yüksek basınçlı civa buharlı lambalarda çalışma süreleri boyunca başlangıç değerlerinden %50' ye yakın ışık akısı kaybı söz konusudur. Bu da ekonomik ömürlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

- **Seramik deşarj tüplü metal halide lamba**

Enerji tasarruf potansiyeline sahip olan bu lamba, içerisinde civa ve argon gazı bulunan seramik bir deşarj tübü içerir. Lamba bu karışımı ısıtarak renksel geriverimi 96 ve üzeri olan gün ışığına yakın renkte ışık üretir. İlk olarak 1980'lerin başlarında

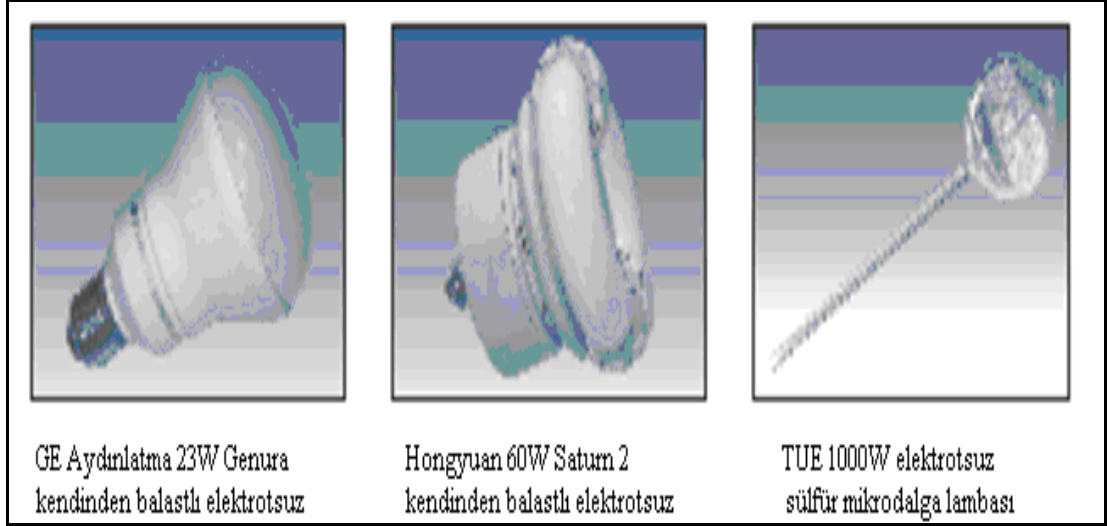
üretilen bu lambalar 1990'ların ortalarına kadar ticarileştirilememiştir. İlk lamba 35 veya 70 W gibi düşük güçlerde çıkarılmıştır. Daha sonraları bu güçler 200–360 W' a kadar yükselmiştir. Bu lambaların ekonomik ömürleri 6000–20000 saat, renksel geriverim indeksleri 80–96, renk sıcaklıkları 3000 K–4300 K, başlangıç etkinlik faktörleri de 67–104 lm/W arasında olabilmektedir [73]. Şekil 5.7'de seramik deşarj tüplü metal halide lambalara örnekler verilmektedir.



Şekil 5.7 : Seramik deşarj tüplü metal halide lamba örnekleri [78]

- **İndüksiyon lambası**

Bu lambaların ekonomik ömürleri uzun, etkinlik faktörleri yüksek ve renksel geriverimleri de iyidir. Çalışma zamanları 100 000 saatlere ulaşabilir. Diğer lambalarda arızaya neden olan elektrot içermezler. Verimlilikleri standart floresan lambalarla eşittir, ayrıca sıklıkla açılıp kapanmaya uygundur. Açma kapama lambanın ömrünü etkilemez. İndüksiyon lambası, içindeki elektromanyetik alan yaratan indüksiyon bobinine yüksek frekansta güç verilmesi prensibi ile çalışır. Bu elektromanyetik alan camın içindeki plazma maddeyi uyarır ve bunun sonucunda civa atomları ultraviyole ışığın yayılmasına neden olur. Ultraviyole ışık fosfor içinden geçtiğinde aynı floresan lambalarda olduğu gibi görünür ışığa dönüşür. Ortalama güç sınırı 12–100 W aralığındadır. Bununla birlikte özel bir lamba olan sülfür mikrodalga lambasının gücü 1000 W'tır [73]. Şekil 5.8'de indüksiyon lambası örnekleri verilmektedir.



Şekil 5.8 : İndüksiyon lambası örnekleri [78]

5.3 Kontrol Ünitesi –Balast

Bütün deşarj lambalarının (fluoresanlar, alçak basınçlı sodyum buharlı, yüksek yoğunluklu deşarj lambaları) çalışması için balast gereklidir. Balastın görevi başlangıçta yüksek gerilim sağlayıp deşarj arkını başlatmak ve sonra normal çalışma süresince akımı izin verilen seviyede sınırlamaktır.

Elektromanyetik ve elektronik olmak üzere iki tip balast mevcuttur. Balastlar çalışması için enerjiye ihtiyaç duyar ve balast tasarımına bağlı olarak harcadıkları elektriksel güçler değişir [73].

Uygun kalitede olmayan elektromanyetik balastlar, şebekeden lambaya transfer ettikleri gücün önemli bir kısmını kendi üzerlerinde kaybedebilmektedir. Bu oranın %10'u civarında olması normal iken, balast uyumsuzluğu durumunda bu değer %35'e çıkabilmekte ve aydınlatma verimini düşürmektedir.

Manyetik balast veya transformatör kullanımı yerine ilk yatırım maliyeti biraz yüksek olan elektronik tiplerin seçilmesi durumunda, bu elemanlar ile daha uzun lamba ömrü ve düşük enerji kayıplı olmaları nedeniyle %25 e varan enerji tasarrufları elde edilebilmektedir. Elde edilen bu tasarrufla; yüksek ilk yatırım maliyeti ilk birkaç yıl içerisinde kendini geri ödemekte, sonraki yıllarda önemli tasarruflar elde edilmektedir[79].

Tercih edilen balastın elektromanyetik ya da elektronik olması balast kayıpları açısından önemli olmakla beraber, bir deşarj lambasının balastı ile uyumu çok daha büyük önem taşır [80].

Elektromanyetik balastların güç tüketimi oldukça yüksektir. Elektromanyetik balastlı iki adet 36 W lineer floresan lambada kullanılan balastın güç tüketimi 20 W olabilmektedir. Böylece sistemin toplam gücü 92 W'a çıkmaktadır. Buradan balasttan kaynaklanan kayıp % 22 olarak hesaplanabilmektedir. Yeni nesil yüksek verimli manyetik balastlarda, diğer bir adı düşük kayıplı manyetik balastlarda, kayıplar % 12 oranında düşürülmüştür. Bu balastların loşlaştırılabilir tipleri de vardır. Ancak ışık akısının % 20'nin altına düşürülmesi önerilmez. Düşük kayıplı manyetik balastlar hibrit balastlardır. Bu balastlarda manyetik çekirdek ve transformatörün yanında elektrot ısıtma devresi için elektronik anahtar kullanılmaktadır. Lamba tutuştuktan sonra balast elektrot ısıtma devresinden ayrılır.

Elektronik balastlarda, lambaların yüksek frekansta çalışmasına olanak veren elektronik reaktör kullanılır. Bu balastlar balast güç kaybını azaltmasının yanında lambaların verimlerini de arttırmaları. 20 kHz üzerindeki frekanslarda lamba verimi %10–15 oranında artar. Standart elektronik balastlarda kayıp her 36 W’da 4 W olmaktadır. Bir önceki paragraftaki örnekle karşılaştırıldığında standart elektronik balastlar sistemin gücünü 80 W’a düşürerek ışık akısını % 15 oranında artırır ve böylece toplam sistem verimini %24 oranında iyileştirir. Benzer üstünlükler yüksek yoğunluklu deşarj lambaları için kullanılan elektronik balastlarda da görülmektedir. Elektronik balastlar lambanın ışık akısını yükseltir, enerji kayıpları daha düşüktür, lamba ömrünü de % 30 oranında arttırmaları [73].

Fluoresan lambalı aydınlatma sistemlerinin verimliliği beraber kullanılan balast cins ve kalitelerine de bağlıdır. Çizelge 5.5’te Uluslararası Enerji Verimliliği Endeksi (Energy Efficiency Index – EEI)’ ne göre 26 mm çaplı lineer fluoresan lambalarla kullanılacak balast sınıfları ve güç sınırlamaları verilmektedir. Çizelge 5.6 da ise aynı değerler 16 mm çaplı lineer fluoresan lambalar için gösterilmektedir. Tablolardaki B1, B2, C ve D sınıfları manyetik balastları, A1, A2 ve A3 sınıfları ise elektronik balastları ifade etmektedir. Elektronik balastlardan A1 sınıfı loşlaştırılabilir tipi temsil etmektedir [81].

Çizelge 5.5 : 26mm çaplı lineer fluoresan lambalar için balast sınıfları ve güç sınırlamaları

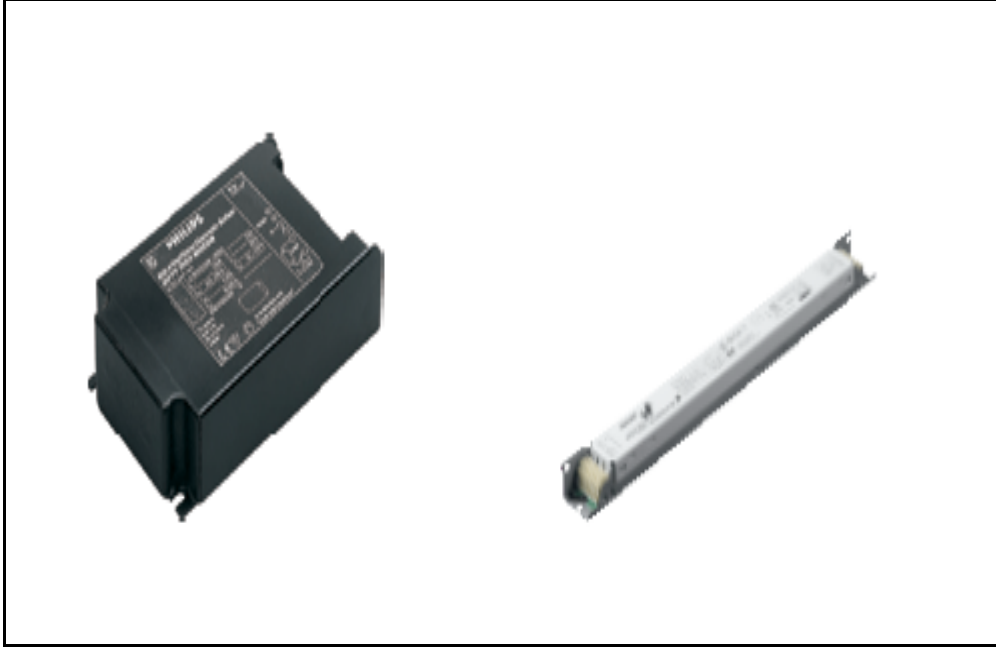
Fluoresan Lamba Gücü (W)	Fluoresan Lamba ve Balast Devresi Gücü (W)						
	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
18	10,5	=<19	=<21	=<24	=<26	=<28	>28
36	19	=<36	=<38	=<41	=<43	=<45	>45
58	29,5	=<55	=<59	=<64	=<67	=<70	>70

Çizelge 5.6 : 16mm çaplı lineer fluoresan lambalar için balast sınıfları ve güç sınırlamaları

Fluoresan Lamba Gücü (W)	Fluoresan Lamba ve Balast Devresi Gücü (W)		
	A1	A2	A3
14	9,5	17	19
21	13	24	26
24	14	26	28
28	17	32	34
35	21	39	42
39	23	43	46
49	29	55	58
54	31,5	60	63
80	47,5	88	92

Çizelge 5.5'te 26 mm çaplı lineer floresan lamba için çizelge 5.6 da ise 16 mm çaplı floresan lamba için balast sınıfları ve güç sınırlamaları verilmiştir.

Elektronik balastların bunlardan başka diğer üstünlükleri de vardır. Bu balastlar küçük boyutludur, hafiftir, fliker etkisi azalır, gürültü azdır, lambanın çalışma koşullarını iyileştirir, lamba ömrünü artırır, şebeke akımındaki harmonik bozulmaları yok eder. Dezavantajları ise daha önceki yıllara göre düşmesine rağmen, halen fiyatlarının yüksek olmasıdır. Şekil 5.9'da balast örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Deşarj lambası ve floresan lamba için balast örnekleri

5.4 Aydınlatma Tasarımı

Endüstri tesislerinde amaç, görme koşullarını iyileştiren düzeyde düzgün ve kamaşmasız bir aydınlatma yaratılması olmalıdır. Bu da amaca uygun ışık kaynağı, armatürlerin doğru seçimi ve yerleştirilmeleri ile mümkün olmaktadır. Endüstri tesislerinde kullanılacak ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri yüksek ve ömürleri uzun olmalıdır. Kirlenmenin de fazla olduğu geniş hacimli üretim hollerinde tavan ve duvarlardan yansıyan ışığın katkısı yok denecek kadar az olduğu için armatürler direkt ışık dağılımlı olmalıdır. Armatürler ayrıca, ortamda olası toz, kir, nem ve patlayıcı gazlara karşı korunmalı, elle dokunulabilecek mesafelerde olanlar ise tamamen izole olmalıdır. Bir endüstri tesisinde hangi tip armatürün kullanılacağını belirleyen en önemli faktör tavan yüksekliğidir. Tesisat tipine karar verilirken “tavan yüksekliği” önemli bir parametredir. Tavan yüksekliği 6 metreden düşük olan

tesislerde çizgisel, 12 metreden yüksek olanlarda noktasal ışık kaynaklı çözümlerin uygulanması önerilmektedir. [51,75].

Çizgisel çözümler tipik olarak floresan lambalardan oluşur. Bu lambalar ayrı ayrı veya sürekli bant şeklinde monte edilen armatürler içinde tek, çift veya üçlü olarak yerleştirilebilir. Besleme kablolarının geçirilip, balast ve ateşleyici gibi yardımcı elemanların monte edilebildiği bant şeklindeki askı düzenleri bakım ve montaj çalışmaları açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Işığı çalışma düzlemlerine yönlendiren reflektör düzenekleri de aydınlatmanın verimini önemli ölçüde artırmaktadır. Kolaylıkla enerji verimliliği çalışmaları ile birleştirilebildiği için, ekonomik nedenlerle en çok 58W, 36W ve 49W lamba tipleri kullanılır.

Noktasal çözümler yüksek ışık akılı deşarj lambaları ve kompakt floresan lambalı çözümlerdir. Çok yüksek tavanlı hacimlerde içlerinde yüksek güçlü noktasal ışık kaynakları bulunan sanayi tipi armatürlerle gerçekleştirilmektedir. Bu tesisatlarda etkinlik faktörleri, renksel geri verim özellikleri düşük, ömürleri de kısa olan yüksek basınçlı civa buharlı lambaların kullanılması uygun değildir. Günümüzde yüksek tavanlı sanayi tesislerinin genel üretim holü aydınlatmalarında metal halojen lambalar sıklıkla kullanılmaktadır. Yüksek ışık akılı deşarj lambalar dar veya geniş açılı yuvarlak veya köşeli simetrik armatürler, projektörler ya da aynasal yansıtıcı armatürler içinde kullanılır. Ekonomik nedenlerle, en çok kullanılan lamba çeşitleri rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı ve metal halojendir. Yeni seramik deşarj tüplü metal halojen lambalar da çok iyi renksel geri verim özelliklerinin yanı sıra verimlerinin de yüksek olması nedeni ile uygun çözümler olmaktadır. Yeni uygulamalarda büyük güçlü lineer floresan lambalarla oluşturulan noktasal tesisatlar da söz konusudur [51,75,82].

Kompakt floresan lambalı high-bay çözümlerde, aynı lineer floresan lambalara benzer anında ateşleme, iyi renksel geri verim özelliklerine sahip yüksek veya çok yüksek ışık akılı 54/80/95/120 W güçlerinde ışık kaynakları kullanılmaktadır. Ancak lineer floresanlar ile eşdeğer özelliklere ulaşılması amaçlandığında, sınırlı kompakt floresan lamba (tipik olarak 60/85/120W) önerisi yapılabilmektedir [82].

Işık akıları, etkinlik faktörleri, renksel geri verim özellikleri düşük, ömürleri de kısa olan yüksek basınçlı civa buharlı lambaların verimli aydınlatma çözümlerinde kullanılmasının uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Günümüzde yüksek tavanlı

endüstriyel tesislerin genel üretim holü aydınlatmalarında metal halojen lambalar sıklıkla kullanılmaktadır. Canlı ve ferah çalışma ortamlarının yaratılması istendiğinde renk özellikleri çok iyi olan seramik deşarj tüplü metal halojen lambalar da iyi bir seçenek olmaktadır. Renksel geri verim özelliğinin çok önemli olmadığı uygulamalarda ise ömürleri daha uzun, yanma konumları sorunsuz olan rengi düzenlenmiş yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar enerji verimliliği açısından göz ardı edilmemesi gereken ışık kaynaklarıdır [75].

6 metre tavan yükseklikli yapılarda, Avrupa kıtasında yaygın olarak floresan lambalar kullanılmaktadır. Amerika ve İngiltere’de aynasal yansıtıcıli armatürler içinde HID (yüksek ışık akılı deşarj) lambaların kullanımı 4 metrelik tavan yüksekliklerinde başlar. Bu ülkelerde kamaşma sınırlamaları Avrupa’ya göre daha esnektir. Floresan lambalı armatürler tavana veya güç dağıtım sistemine monte edilebilir. Genelde, sürekli veya yarı-sürekli ışık bantları tesis edilmektedir. Tesisatçılar aydınlatma açısından mümkün olan en az sayıda ışık bantları ile tesisat maliyetini düşürmeye çalışmaktadır.

6 ila 12 metre arasındaki yüksekliklerde, hem çizgisel hem de noktasal ışık kaynakları başarılı bir şekilde kullanılabilir. Seçim bölgesel alışkanlıklara, endüstri tipine ve gerekli lamba karakteristiklerine bağlı olarak yapılır. Endüstride 6 ila 12 metre arasındaki tavan yüksekliklerinde lineer floresan lambalı çözümlerin en iyi sonuçları verdikleri görülmektedir [75]. Her iki aydınlatma sisteminin de kendine özgü özellikleri ve faydaları vardır. Aydınlatma tasarımcıları her iki sistemin üstünlüklerini ve sakıncalarını değerlendirerek seçimlerini yapmalıdırlar. Renk özellikleri ve boyutları bakımından, floresan lambalar daha geniş seçim yapılabilme olasılığına sahiptir. Boyutsal özellikleri nedeni ile aydınlatmanın düzgünlüğü de daha iyidir. Armatür ve lamba sayısının diğer verimli noktasal sistemlere göre daha yüksek olması bakım çalışmaları açısından olumsuz olmasına rağmen, çok sayıda lambanın bulunduğu armatürde bir veya iki lambanın yanmaz konuma gelmesi halinde diğerlerinin yanar olması, ortamdaki aydınlatmanın düzgünlüğünü olumlu etkilemektedir [51,75].

12 metreden daha yüksek tavanlı endüstrilerde, genelde yüksek ışık akılı noktasal ışık kaynakları kullanılmaktadır. Bu çözümlerde çizgisel floresan lambalı armatürlere göre, ışık noktası sayısı önemli ölçüde (3 de birine kadar) azaltılabilmekte, buna bağlı olarak bakım ve tesisat masrafları da daha ekonomik

olabilmektedir. Floresan lambaların tipik özelliklerine ihtiyaç olduğunda, dar-açılı yansıtıcıli armatürlerle veya bir armatür içinde 3 ila 4 lamba bulunan high-bay çözümlerle floresan lambalar da kullanılabilir. Özellikle yüksek ışık akılı lambalar (54W veya 80W) ya da çok yüksek ışık akılı lambalar (95W veya 120W) kullanılarak, çok ekonomik tesisatlar gerçekleştirilebilir.

Tavan yüksekliği tasarım işleminde önemli bir kıstas olmasına rağmen, dikkate alınması gereken daha birçok parametre vardır. Her sistemin kendine özgü özellikleri ve faydaları irdelenerek son sistem kararı verilir. Tasarımı etkileyen diğer etkenler aşağıda sıralanmaktadır.

1. Aydınlatma açısından, standart çözümlerin sağlanabilmesinde gerekli armatür sayısı, düzgünlük, modelleme (gölge), renk sıcaklığı ve renksel geriverim özelliği gibi lamba karakteristikleri etkindir.
2. Tesisat kararını, gerekli armatür sayısı, bant şeklinde trunking sistemin mevcut olup olmadığı, mevcut lamba seçimi, sistemin uygun çalışabileceği ortam sıcaklığı ve lamba ışık akısına ortam sıcaklığının etkisi gibi sonuçlar belirler.
3. Lambaların ilk tesis edildiklerinde ve kullanım sürelerince devre dışı kalma oranları, bakım yapılacak armatür sayısı ve ışık akısı azalma oranları bakım konusunu etkiler [82].

5.4.1 Düzgünlük

Floresan lambalı armatürler aynasal yansıtıcıları düzgün tasarlandığında ve armatürler arasındaki mesafeler çok geniş olmadığında, her zaman iyi aydınlık düzeyi düzgünlüğü sağlarlar. Düzgünlük sadece yüksek seviyelerde ve hacimlerde engeller olduğunda biraz bozulabilecektir. Noktasal ışık kaynakları kullanıldığında ise düzgünlüğün sağlanabilmesi için uygun aydınlatma tasarımı gerekecektir: çok dar açılı verimli armatürler kullanıldığında zeminde düzgünlük yeterli olsa bile daha yüksek aydınlık düzeylerinde ve düşey düzlemlerde düzgünlük zayıf olabilir. Kısıtlı sayıda armatür kullanıldığı için, tek bir armatürün bile bir engelle ekranlanması ile aydınlık düzeyi dağılımı büyük ölçüde etkilenebilir. Dar açılı ışık dağılımlı armatürlerin kullanılması kesinlikle gerektiğinde aydınlatma tasarımına özel itina gösterilmelidir. Genel endüstri koşullarında iyi düzgünlük sağlayan geniş açılı ışık dağılımına sahip armatürler kullanılmalıdır. Özet olarak, noktasal ışık kaynaklarının

yüksek tavanlarda kullanılması önerisi, ancak her bir armatürün ışık hüzmesinin diğerinin üstüne düşmesi ile aydınlık düzeyinin düzgün dağılımı sağlanabildiğinde uygulanabilmektedir [82].

5.4.2 Renk sıcaklığı ve renksel geriverim özelliği

Çok değişik renk özelliklerine sahip floresan lamba seçeneği vardır. Her bir renk sıcaklığı için renksel geriverim özelliği farklı iki yada daha fazla sayıda lamba seçilebilir. Renksel geriverim özellikleri sadece 80'den büyük olan kompakt floresan lambaların renk özellikleri (2700 K – 5000 K) ise sınırlıdır.

Yüksek ışık akılı deşarj (HID) lambalarının çeşitleri ise daha kısıtlıdır. Ayrıca, bu lambaların renksel görünüşleri genelde renksel geriverim özellikleri ile ilişkilidir. HID lambaların renksel geriverim özelliklerini iyi ($R_a > 80$) ve renk sıcaklıklarını ılık ve doğal yapmak amaçlı yeni teknolojik gelişmeler vardır. Bu çalışmaların ürünü olan seramik deşarj tüplü CDM-T lambalar ekonomik ömürleri daha düşük olmasına rağmen, hoş ışıkları nedeni ile endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır [82].

5.4.3 Ortam sıcaklığı ve ışık akısının sıcaklığa bağımlılığı

Çizgisel floresan lambalar -5°C 'ın altındaki (yüksek frekanslarda: -10°C) sıcaklıklarda ateşlemez ve 50°C 'ın üstündeki sıcaklıklarda ise lamba ışık akısı önemli ölçüde azalır. Daha düşük sıcaklıklarda çalışan Polar serisi lambalar dışında, $25-35^{\circ}\text{C}$ arasındaki ortam sıcaklıklarında bu lambalar en optimum şekilde işletilebilir. Endüstrideki sıcaklıklar -30°C 'lık derin donduruculardan 60°C veya üstü sıcaklıklardaki işlemlere kadar değişebilir. Bu da endüstride kullanılan floresan lambaların her zaman optimum sıcaklık aralıklarında çalışmadığı, bunun sonucunda da tesisatın beklenilenden önemli ölçüde düşük verimli olabileceği anlamına gelmektedir.

Yüksek yoğunluklu deşarj (HID) lambalarının ışık akıları çoğu zaman ortam sıcaklığından bağımsızdır. HID lambalı sistemler kullanıldığında esas sınırlama ateşleyici (iyi bir ateşleyicide -20°C) ve balast (tipe bağlı olarak tanımlanan ömür için gerekli ortam sıcaklığı $35, 40$ veya 45°C) ile ilgilidir. HID lambaların uygun çalışma koşullarına sahip olabileceklerinden emin olmak için, balast ve ateşleyiciler sıcaklık kontrol kabinlerine yerleştirilerek basit ölçümler yapılmalıdır [82].

5.4.4 Servis ömrü (Ekonomik ömür)

Lambaların ömürleri birçok şekilde tanımlanabilir. Endüstriyel uygulamalar için, aydınlık düzeyi çok fazla düşmemelidir. Bu nedenle, servis ömrü lambaların devre dışı kalmaları ve ışık akılarının azalması nedeni ile seviyenin %70'e indiği zamana kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Bu şekilde tanımlanan servis (ekonomik ömür) ömrü farklı lamba tipleri için önemli ölçüde birbirinden farklıdır. Floresan ve HID lamba ailesi arasındaki servis ömrü farklığının 3 faktörü ile gösterilmesi gerçekçi bir yaklaşımdır. Belli bir endüstri uygulamasında gerçek çalışma saatlerine bağlı olarak, aydınlatma sisteminin ne kadar kullanılacağı ve ne kadar sıklıkla bakım gerektiği kararı verilirken servis ömrü dikkate alınmalıdır [82].

5.5 Aydınlatma Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler

- İşgörenlerin kendilerini rahat ve aydınlık bir ortamda bulmaları ve daha istekli bir şekilde çalışabilmeleri için yeterli ve tatmin edici bir aydınlık düzeyi tercih edilmelidir. İyi bir aydınlatmanın en önemli koşulu aydınlatmanın yeterli olmasıdır. Yeterli aydınlatma, verimliliği doğrudan ve net olarak artırır. Görmedeki çabukluk ve doğruluk bir yandan zaman kazancı sağlarken, öte yandan kalitenin iyileşmesine olanak verir. Yetersiz aydınlatmanın verimliliğe olduğu kadar işçinin moral ve göz sağlığına da olumsuz etkileri vardır. Gün ışığının yetersiz olduğu konumlarda ise bu ışığa yakın spektrumda ışık yayan lambalar kullanılmalıdır.
- Çalışılan yüzeyin her tarafında aydınlık düzeyleri eşit olmalıdır. Aydınlatmanın aynı düzeyde olmaması, gözün değişik düzeylere uyum sağlayabilmek için daha fazla çaba sarf etmesine ve daha çabuk yorulmasına neden olur. Aydınlatmada düzgünlüğü sağlamak için yaygın ışınlar veren ışık kaynakları kullanmak ve bunları birbirlerine yakın yerleştirmek gerekir.
- Aydınlatma sabit olmalıdır. Işık kaynağının titreşim yapması, gözün ışık kaynağının parlaklığındaki hızlı değişime uyum sağlayabilmek için aşırı çaba harcayıp yorulmasına neden olacağından zararlıdır. Özellikle floresan lambalar ve titreşim yapan yerlere yerleştirilmiş ışık kaynakları için önlem alınmalıdır. Floresan lambalarda titreşimler daha çok uç kısımlarda görülür. Bu nedenle, ışıklı tüplerinin uç kısımlarının görünmemesi için bir kılıf içine

alınması önerilir. Böylece ışık titreşimleri doğrudan algılanamayacaktır. Özel aydınlatma gereksinimi olan iş şekillerinde, ortam aydınlatmasının düzeyi ile özel aydınlık düzeyi arasında büyük bir fark oluşturulmamalıdır. Üzerinde devamlı ve hassas işler yapılan tezgah yüzeylerinin açık renkli olması da tavsiye edilir.

- Aydınlatma sırasında göz kamaşmasının meydana gelmesi engellenmelidir. Göz ve üretim için en kötü durum, ışık yansımalarının göze vurarak gözü kamaştırmasıdır. Kamaşma görmeyi güçleştirip çalışma niteliğini düşürmekle kalmaz, iş kazalarının artmasına ve çeşitli göz bozukluklarına neden olur. Direkt kamaşma, doğrudan doğruya ışık kaynağının ışınlarının göze gelerek neden olduğu kamaşmadır. Bu tür kamaşmaları engellemek için ışık kaynağını, yatay görüş çizgisinin en az 30° üstüne yerleştirmek gerekir. Endirekt göz kamaşmasının nedeni ise ışık kaynağı değil, çalışılan yüzeyin ışık kaynağından gelen ışıkları yansıtarak göze iletmesi ve bu yüzeyin ikinci bir ışık kaynağı oluşturmasıdır.
- Aydınlatma sırasında çalışma ortamı için seçilen renklerin de önemi büyüktür. Renk seçimi, renklerin ışığı soğurma düzeylerine göre yapılmalı ve gözü rahatsız edebilecek yansımaların oluşması engellenmelidir. Göz kamaşmasını engellemek için yüzey ile üzerinde çalışılan iş parçası arasındaki kontrast oranları aşağıdaki değerleri aşmamalıdır.

İş parçası ile yakın çevresi arasındaki kontrast 3:1

İş parçası ile uzak çevresi arasındaki kontrast 10:1

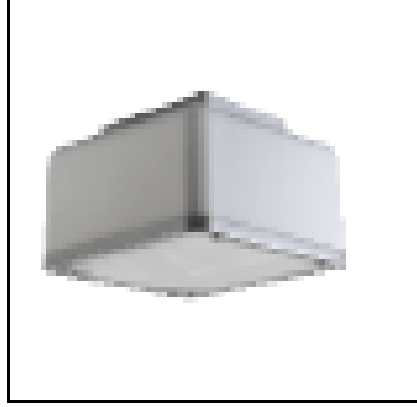
- Çalışma sırasında yüzeye düşen gölgeler engellenmelidir. Işık kaynakları, çalışılan yüzeye gölge düşürmeyecek şekilde ayarlanmalıdır. Eğer iş parçasının bazı kısımlarının daha kesin hatlarla görünmesi isteniyorsa veya bazı kısımlarının matlaştırılması gerekiyorsa, uygun bir gölgeleme yapılmalıdır. Özellikle kalite kontrol hizmetlerinde gerekli olan bu yöntem uygulanırken, aydınlatmanın sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için diğer kurallara da dikkat edilmelidir.

5.6 Armatür Bilgisi

Endüstriyel tesislerin, yüksek tavanlı yapıları sebebiyle, bu tür hacimlere uygun tasarlanmış reflektörlü armatürlerle aydınlatılması gereklidir. Günümüzde en sık gördüğümüz örnekler, metal halide lambalı çanak reflektörlü armatürler ile yüksek güçte floresan lambalı armatürlerdir. Endüstriyel tesisler, kirlenme oranı yüksek ortamlar olduğundan, özellikle toza karşı koruma oranı yüksek armatürler kullanması kaçınılmazdır [41].

Bu bölümde, tezde gerçekleştirilen uygulama örneğinde kullanılan Philips firmasına ait armatürler esas alınarak, endüstride kullanılan armatürlerin teknik özellikleri hakkında bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

- **DCP300 Serisi**



Şekil 5.10 : DCP300 serisi armatür örneği

Mini 300 Cube, özellikle tavana monte edilmek üzere tasarlanmış, oldukça verimli, parlıtısı düşük, sıva üstü bir armatürdür ve şekil 5.10'da göstermiştir. Patentli optik kaplama (ışığın %97'sini yansıtır) armatür verimini olumlu etkilemektedir. Ayrıca içinde kullanılan 4200 K renk sıcaklıklı CDM-TD 150 W seramik deşarj tüplü lamba da verimli bir ışık kaynağıdır. Lamba ve beyaz kaplamalı reflektör kombinasyonu, renksel geriverimi 96 olan bir çalışma ortamı oluşturur. Benzin istasyonları, endüstri tesisleri ya da mağazalarda kullanılan bu armatürün düşey yüzeyler üzerinde yeterli aydınlık düzeyleri oluşturan asimetric, ya da genel aydınlatma amaçlı simetric ışık dağılımlı farklı fotometrik tipleri mevcuttur. IP65 koruma sınıfına sahip olduğundan toz ve sudan etkilenmez.

- **TPS350 Serisi**



Şekil 5.11 : TPS350 serisi armatür örneği

16 mm çaplı TL5 floresan lambalarla kullanılan çok yüksek ışık akısı ve verimliliğe sahip TPS350 armatürü, özellikle sanayide 5-15 metre tavan yükseklikleri için tasarlanmıştır. Yüksek yoğunluklu deşarj lambaların kullanıldığı klasik high-bay armatürlere alternatif olarak üretilmiştir. TPS350 armatür örneği şekil 5.11’de gösterilmiştir. Yüksek yoğunluklu deşarj lambalarının yerine floresan lambaların kullanılması ile renksel geriverim iyileştirilir ve lamba ekonomik ömrü uzar. Bu armatürler bakım gereksinimini minimuma indirerek toplam maliyetleri de azaltır.

Bu armatürler sanayide standartlarca gerekli görülen aydınlatma kriterlerini rahatlıkla sağlayarak, görsel koşulları iyileştirip iş performansını artırır. TPS350 armatürün geniş, orta ve dar açılı ışık dağılımı için farklı reflektör seçenekleri ve kamaşma kontrolü için beyaz opak cam olasılıkları mevcuttur. Doğrudan tavana monte edilebileceği gibi, çelik kablolarla askı tipi olarak da kullanılabilir. Koruma sınıfı IP20’dir.

- **HPK080 Serisi**



Şekil 5.12 : HPK080 serisi armatür örneği

HPK080 silindirik gövdeli bir endüstriyel aydınlatma armatürüdür. Yüksek tavanlı ve toz oranı yüksek endüstriyel alanlar için geliştirilmiştir. IP65 koruma sınıfı sayesinde, toz ve suya karşı tam korumalıdır. Şekil 5.12’de bu armatüre ait bir resim verilmiştir.

- **TMS022 Serisi**



Şekil 5.13 : TMS022 serisi armatür örneği

İçlerinde 26 mm çaplı TL-D floresan lambalar kullanılan genel aydınlatma amaçlı temel endüstriyel armatürdür. Yüze monte yapılabildiği gibi askı ile de kullanılabilir. Montaj kontak bloğu esnek bağlantı imkanı sağlar ve bu nedenle montaj maliyetleri azalır. Tesisi hızlı ve kolaydır. Reflektör armatür ile birlikte. IP20 koruma sınıfına sahiptir. TMS022 armatüre ait resim şekil 5.13’te gösterilmiştir.

5.7 Aydınlatma Kontrol Sistemleri

Işığın nasıl kullanıldığını belirleyen en önemli etken insan faktörüdür. İnsanlar bir yerden ayrıldıklarında sık sık lambaları kapatmayı unuturlar. Kontrol sistemleri otomatik olarak ihtiyaç duyulan aydınlık düzeylerini ayarlayarak enerji tüketimine pozitif yönde etki yapar. Teknolojideki ve satın alma gücündeki gelişmeler aydınlatma kontrol sistemlerinin yaygın kullanımını arttırmıştır. Birçok değişik kontrol sistemleri mevcuttur. Bunlar en genel olarak elle anahtarlama, loşlaştırma, sensör kullanımı, merkezi kontrol ve zaman saatleri olarak sayılabilir.

5.7.1 Elle kontrol

Bu kontrol formu boşa giden enerjiyi önlemek için kullanılan en basit yöntemdir. İnsan faktörüne bağlı bir kontrol sistemidir. İhtiyaç durumuna göre lambalar bir

anahtar yardımı ile açılıp kapatılır. Kullanılan alanın büyüklüğüne göre aydınlatma elemanları farklı noktalardan kontrol edilmeli, yapay aydınlatma gerekmeyen bölgeler açılmamalıdır. Uygun ışık kaynakları ve/veya yardımcı elemanları kullanıldığında elle loşlaştırma da yapılarak kontrol sağlanabilir.

5.7.2 Otomatik kontrol

Otomatik kontrol sistemleri daha önceki yıllarda geliştirilen bir teknoloji olmakla beraber enerji tasarrufu için binalarda yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerde farklı tip sensörler kullanılmaktadır. Bunlardan ilki hareket sönörüdür. Hareket sensörü pasif infrared, ultrasonik ve hibrit olmak üzere üç tiptir. Pasif infrared sönör vücut ısısına tepki verir. Ultrasonik sensör ise kontrol ettiği bölgeye bir sinyal gönderir ve geri yansıyan sinyale göre tepki verir. Hibrit sensörler ise her iki sönörün birleşimidir. Hatalı çalışmayı en aza indirmek için tasarlanmıştır.

Fotosensörler aydınlatma seviyesine göre aydınlık düzeyini daha önceden belirlenmiş set değerine ayarlarlar. Bu sensörler lambaların açılması kapanması ve gün ışığına göre ayarlanmasında kullanılır.

Merkezi kontrol sistemleri bina otomasyon sistemi olarak da bilinir. Bu sistemler aydınlatma kontrolü için güne, binanın kullanımına ve gün ışığına göre programlanır.

Zaman saatleri ise istenen zamanda aydınlatma elemanlarının açılması ya da kapanmasını sağlar. Bütün bu sistemler işletmede enerji tüketimini azaltmak amaçlıdır.

6. ÖRNEK ÇALIŞMA

Dünyadaki ekonomik kriz ve rekabet koşullarının zorlaşması sebebiyle her alanda enerji verimliliği çalışmaları hız kazanmıştır. Ülkemizde de Enerji Verimliliği Kanunu'nun kabul edilmesi ile birçok sektörde enerji verimliliği çalışmaları gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda Paşabahçe Cam Sanayi Kırklareli Fabrikasında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada fabrikada bulunan aydınlatma sistemleri üzerinde bir etüt çalışması yapılmış olup, etüt çalışması sonucunda elde edilen veriler ışığında yetersiz aydınlık düzeyine sahip bölümler üzerinde enerji verimli armatürlerin kullanılması ile istenilen aydınlık düzeyleri daha az enerji harcayarak elde edilmiş olacaktır.

6.1 Fabrika Tanıtımı

Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş. Kırklareli Fabrikası, otomatik makinelerle soda kireç camından üfleme, pres, savurma, sertleştirilmiş pres ve ayaklı mamul türlerinde ayrıca borosilikat camından ısıya dayanıklı pres mamul türlerinde sofr ve mutfak eşyası üreterek, iç talebi karşılamak ve dış pazarlarda söz sahibi olmak amacıyla, iki büyük kurucu ortak olan Türkiye İş Bankası A.Ş. ile Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. tarafından kurulmuş modern bir tesistir.

Kasım 1981'de temeli atılan ve 1982 yılı Nisan ayında inşaatına başlanan tesiste 1984 yılında üretime geçilmiştir.1990, 1994 ve 1996 yıllarında gerçekleştirilen yatırımlarıyla, fabrikanın bugünkü kapasitesi, kuruluş kapasitesinin 4,5 katından fazlasına ulaşmıştır. Şişecam Topluluğunun Cam Ev Eşyası Grubu'nun en büyük fabrikası olmasının yanı sıra, tek başına dünya üretiminin %2,6'sını gerçekleştiren Kırklareli Fabrikası, bu sektörde dünya ölçeğinde ilk sıralarda yer almaktadır.

Uluslararası ticari entegrasyonun yoğunlaştığı dünyamızda, küresel rekabeti gelişme dinamiği olarak değerlendiren Kırklareli Fabrikası bugün dünyanın 115 farklı ülkesine mevcut üretiminin %75'ini ihraç etmektedir.

Kalite Yönetim Sistemini benimseyen müşteri odaklı süreç yönetiminin ve Toplam Verimli Bakım çalışmaları ile destekli sürekli iyileştirmenin ön plana çıktığı ISO-9001-2000 standardına göre TSE tarafından belgelendirilmiş olan Kırklareli Fabrikası ürün geliştirmeye yönelik geliştirme faaliyetlerine ve modernizasyon yatırımlarına ağırlık vererek, yeni atılımlarıyla dünya pazarındaki yerini ve etkinliğini güçlendirme yönünde çalışmalarına devam etmektedir.

Fabrika elektrik enerjisini Şişecam bünyesinde faaliyet gösteren Camiş Elektrik Üretim A.Ş.'ye ait olan kombine çevrim santralinden sağlamaktadır. Santralde her biri 10 MW olan iki adet gaz türbini ve bir adet buhar türbini bulunmaktadır. Santral şebeke ile senkron çalışmakta elektrik enerjisinin fazlasını enterkonnekte sisteme vermektedir. Türbinlere bağlı jeneratörlerin çıkış gerilimi 6,3 kV'tur. Bu gerilim 6,3/31,5 kV yükseltici trafo ile 31,5 kV'a çıkartılır. Elektrik enerjisi santral çıkışından yüksek gerilim havai hattı ile fabrikaya gelmektedir. Havai hat fabrika sınırlarının girişinde yeraltına indirilir. Fabrikada 31,5/0,4 kV ve 31,5/3,3 kV gerilim aralığında 11 adet 1600 kVA, 2 adet 2500 kVA, 2 adet 4000 kVA ve 1adet 5000 kVA olmak üzere toplamda 16 adet trafo bulunmaktadır. Bu trafoların çıkışları alçak gerilim dağıtım panoları ile fabrika genelini beslemektedir. Ayrıca fabrikada cam fırınlarının bulunmasından ve bu fırınlar için elektrik kesintisi çok kritik olduğundan dolayı toplamda 8 MW gücünde 4 adet jeneratör bulunmaktadır. Paşabahçe Cam Sanayi A.Ş. Kırklareli Fabrikası Camiş santralden elektriği çift terimli ve çok zamanlı tarifeden almaktadır.

Fabrikada yapılan işlerin çeşitliliğine göre boyutları farklı birçok bölüm bulunmaktadır. Bu çalışmada mevcut aydınlatma tesisatını iyileştirmek ve önerilenleri uygulayabilmek için tüm fabrika genelinde verimli floresan lamba kullanımı; mamul ambar, ambalaj ambar, çevre aydınlatma ve üretim kısımlarında ise armatür ve lamba değişimleri öngörülmüştür.

6.1.1 Fabrika genel enerji tüketim bilgileri

Paşabahçe Kırklareli fabrikasında enerji tüketimleri incelendiğinde üç önemli enerji çeşidi karşımıza çıkmaktadır. Bunlar elektrik, LPG ve doğalgazdır. Yıllara göre fabrika enerji tüketim değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Paşabahçe Kırklareli Fabrikası enerji tüketimleri (2004-2008)

Yıllar	Birim	2004		2005		2006		2007		2008	
		Tüketim Miktarı	TEP	Tüketim Miktarı	TEP	Tüketim Miktarı	TEP	Tüketim Miktarı	TEP	Tüketim Miktarı	TEP
Elektrik Enerjisi	1000 kWh	126.180	10.851	127.668	10.979	113.333	9.747	125.382	10.783	109.561	9.422
Motorin	ton	97,69	99,64	78,53	80,10	57,937	59,10	58,034	59,19	49,447	50,44
Asetilen	m ³	35.779,32	50,91	43.754,82	62,26	47.967,52	68,26	48.736,44	69,35	54.225,22	77,16
LPG	kg	1.796.427	1.958,11	1.902.340	2.073,55	1.597.000	1.740,73	1.771.460	1.930,89	1.652.782	1.801,53
Doğalgaz	Sm ³	65.323	53.891,48	58.396	48.176,70	44.615	36.807,38	52.835	43.588,88	50.834	41938,05
TOPLAM TEP			66.851,62		61.372,06		48.422,10		56.431,17		53.289,43

Çizelge 6.1 de görüldüğü gibi, fabrika toplam enerji tüketimi 50 000 TEP'in üzerindedir. Enerji verimliliği kanunu çerçevesinde fabrikada enerji yöneticisi başkanlığında bir enerji yönetim birimi mevcuttur. Cam üretiminde kullanılan en büyük enerji kaynağı doğalgazdır. Doğalgaz cam fırınlarındaki harmanın yani camın içeriğini oluşturan başta kum olmak üzere kalker, feldspat, dolomit, soda, boraks gibi kimyasal maddelerin 1500°C ila 1700°C aralığında erimesini sağlamak, bundan sonraki aşamalarda ise şekillenen camın dayanımı arttırmakta kullanılır. Fabrikada üfleme, pres ve savurma makinelerinde çeşitli imalatlar gerçekleştirilmektedir. Bu makinelerden çıkan imalatlar için soğutma fırınlarında kontrollü tekrar ısıtma, soğutma, gerilim giderme ve sertleştirme işlemleri yapılmaktadır. İmalat aşamasında kullanılan diğer enerji kaynaklarından LPG ve asetilen ise camın kalıplara yapışmasını önlemekte kullanılmaktadır. Elektrik ise makinelerin çalışması, basınçlı hava üretimi ve aydınlatma amaçları ile kullanılmaktadır. Bu kullanım koşullarından dolayı elektrik tüketimi doğalgazın yanında daha küçük bir yüzdeye sahiptir.

6.2 Aydınlatma Projesi

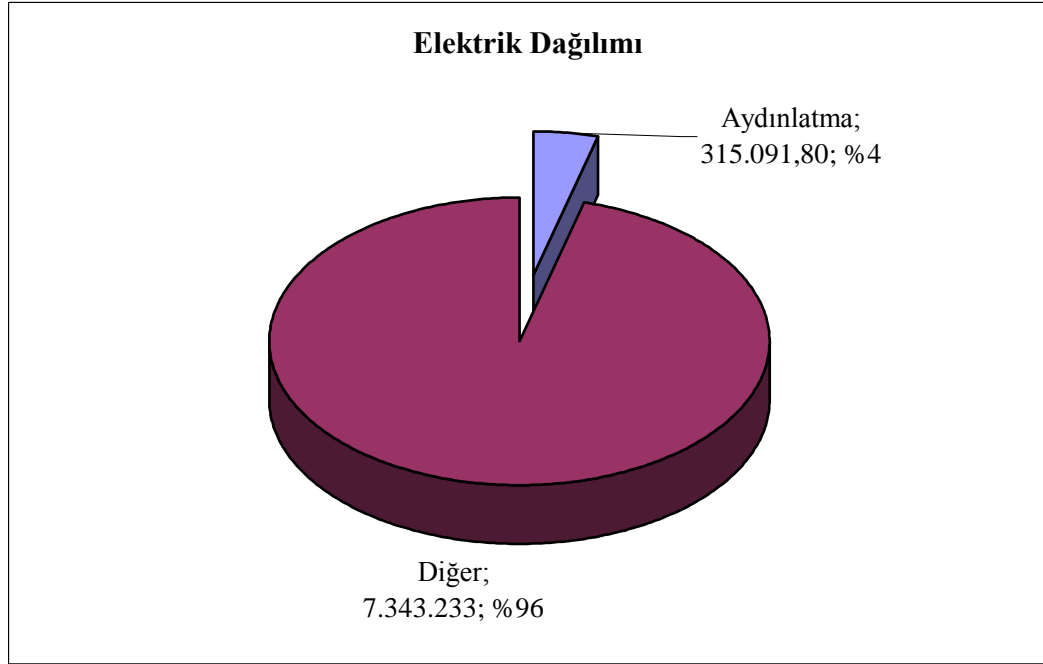
İlk olarak fabrikanın genel aydınlatması hakkında bilgiler verilecek, daha sonra her bölüm incelenecektir. Fabrikada bulunan aydınlatma elemanları ve aydınlatma toplam gücü çizelge 6.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Aydınlatma elemanları ve güç tüketimleri

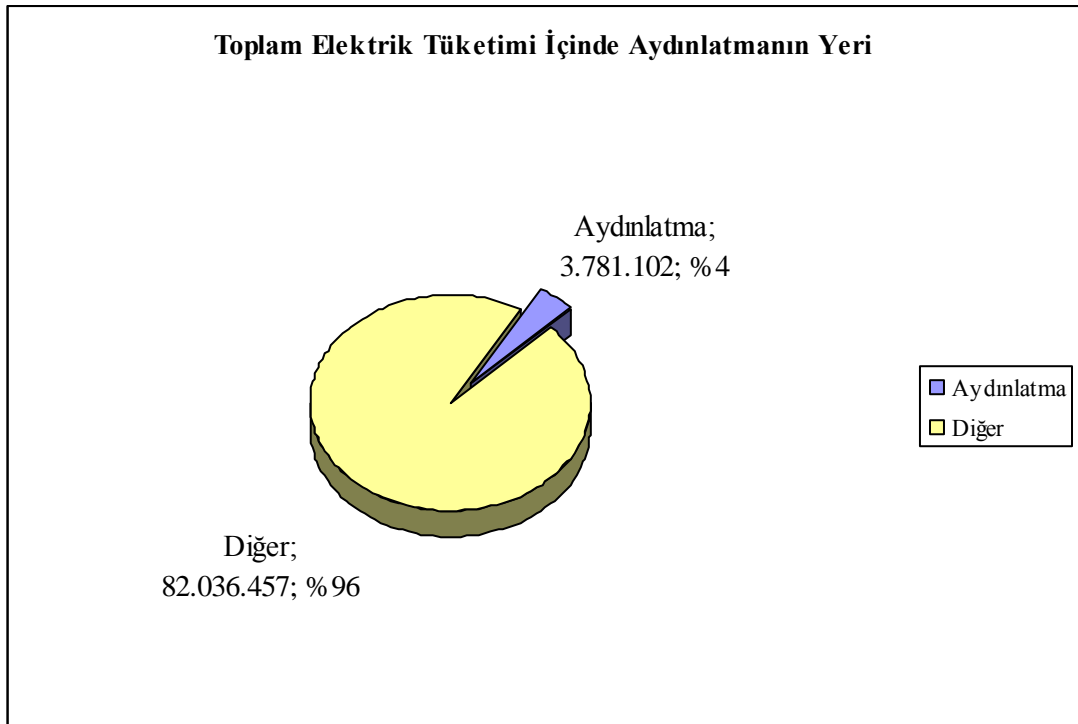
Fabrikada Kullanılan Lamba Tipleri	Çalışma Saati	Adet	Lamba Gücü* (W)	Toplam Güç (kW)	Gün (kW)	Ay (kW)	Yıl (kW)
125 W Civa Buharlı Lamba	24	18	136,5	2,46	58,97	1.769,04	21.228,48
250 W Civa Buharlı Lamba	24	214	269	57,57	1.381,58	41.447,52	497.370,24
250 W Civa Buharlı Lamba	15	678	269	182,38	2.188,58	65.657,52	787.890,24
400 W Civa Buharlı Lamba	24	20	420	8,40	201,60	6.048	72.576
250 W Metal Halide 1	24	26	269	6,99	167,86	5.035,68	60.428,16
250 W Metal Halide 2	24	45	269	12,11	290,52	8.715,60	104.587,20
250 W Metal Halide 3	24	33	269	8,88	213,05	6.391,44	76.697,28
36 W Floresan Lamba	24	5000	46	230	5.520	165.600	1.987.200
210 W Sodyum Buharlı Lamba	12	175	229,0	40,08	480,90	14.427	173.124
Toplam Güç (KW)				548,86	10.503,06	315.091,80	3.781.101,60

* Balast kaybı dahil

Ocak 2009 ayı ve 2009 yılı toplam elektrik tüketimi içerisinde aydınlatmanın payı şekil 6.1 ve 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Ocak 2009 elektrik tüketiminde aydınlatmanın payı



Şekil 6.2 : 2009 yılı elektrik tüketiminde aydınlatmanın payı

Çizelge 6.3 : Fabrikada kullanılan aydınlatma elemanlarının özellikleri

Lamba Tipi	Lamba Gücü (W)	Işık Akısı (lm)	Etkinlik Faktörü (lm/W)	Ekonomik Ömrü* (saat)	Renksel Geriverim (Ra)
Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba	125	6200	50	10000 12000	40-60
	250	12700	51		
	400	22000	55		
Metal Halojen Lamba	250	20500	84	10000	65
Fluoresan Lamba	36/54-765	2500	69	10000**	72
Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba	250	27000	108	14000	25

*%20 hata oranı **%10 hata oranı

Çizelge 6.3'te fabrikadaki aydınlatma elemanlarının özellikleri belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında çeşitli tavan yükseklikleri farklı üç çalışma alanı ve çevre aydınlatması ile birlikte, fabrika genelinde floresan lamba değişiminin enerji verimliliği çalışmalarına olası katkıları incelenecektir. Bu bölümler mamul ambar, ambalaj ambarı ve üretim bölümüdür. Bu bölümlerin tavan yükseklikleri sırası ile 6,5 m, 8,5 m, 8,5-15 m'dir. Bu çalışmada Philips firmasına ait Calculux aydınlatma tasarım bilgisayar programı ile çalışılarak örnek projeler hazırlanmıştır. Mevcut ölçümler Lutron YK-10LX marka ışık ölçer cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca önerilerin geri dönüşüm sürelerinin hesaplarında basit geri dönüşüm maliyet analizi (SPP = ilk maliyet / yıllık tasarruf) yöntemi uygulanmıştır.

6.2.1 Mamul ambar

Bu bölüm, tavan yüksekliği 6,5 m ve kapalı alan 25 500 m² olan üretilen malzemelerin stoklandığı depo kısmıdır. Çatıda içeriye gün ışığı alabilen fenerlikler bulunduğu için, gündüz saatlerinde gün ışığından faydalanılabilmektedir. Bu nedenle enerji tüketimi hesaplanırken çalışma süresi 15 saat alınmıştır. Depoda 5 m yüksekliğinde üç sıra raf bulunmaktadır. Raflara konulan mamuller bir duvar görevi

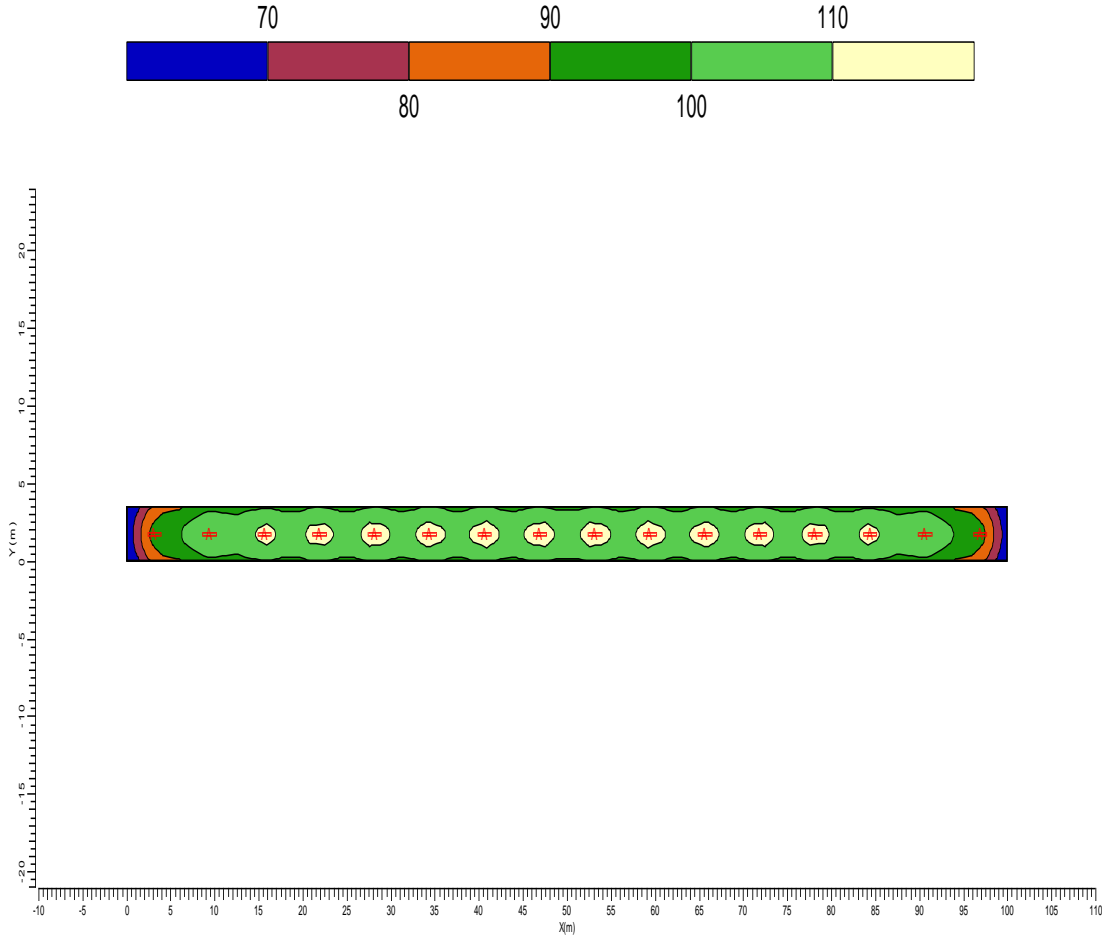
görmekte ve kapalı bir alan oluşturmaktadır. Raf aralarında aydınlatma yapılan yerlerin genişliği 3,5 m ve uzunluğu da 100 m'dir. Tüm bölümler birbirinin simetrisi olup 40 adet raf arası bölüm bulunmaktadır. Mevcut durumda her bölümde 10 adet lamba bulunmaktadır. Ölçüm yapılırken her bölüm için 60 adet grid oluşturulmuş ve tüm bu gridlerde ölçülen değerlerin ortalaması alınarak ortalama aydınlık düzeyi belirtilmiştir. Bu bölümde kullanılan mevcut armatürün özellikleri, ortalama aydınlık düzeyi ve TS EN 12464-1'e göre önerilen aydınlık düzeyi çizelge 6.4'te belirtilmiştir [52].

Çizelge 6.4 : Mamul ambar aydınlatma tesisatı ve ortalama aydınlık düzeyi

Bölüm	Mevcut Kullanılan Armatür Tipi	Ölçülen E(lx)	Önerilen E(lx)
Mamul Ambar	250W Civa Buharlı Lambalı HDK Tipi Alüminyum Reflektörlü Armatür	20-70	100

Bu bölümde kullanılan lambaların çoğunluğu ekonomik ömürlerini tamamlamıştır. Aynı zamanda bu lambalar kullanım ömürlerinin kısalığı ve etkinlik faktörlerinin düşük olmasından dolayı da verimsiz ışık kaynaklarıdır. Mamul ambar kısmında kullanılan armatürler HDK tipi, reflektörleri alüminyum kaplamalı ve geniş açılı, kullanılan balast akım değeri 2,13 A, güç faktörü 0,55 ve güç kaybı 18,5W olan elektromanyetik bir balast ve lamba ise standart yüksek basınçlı civa buharlı lambadır. Lambanın renksel geriverim indeksi 46 ve renk sıcaklığı 4100 K'dir.

Yapılan projede çizgisel çözüm öngörülmüş ve buna bağlı olarak TMS tipi elektronik balastlı reflektörlü 2*TL-D 51W floresan lambalı armatürlerin kullanılması ile istenilen aydınlık düzeyleri sağlanmaya çalışılmıştır. Bu armatürlerle kullanılan balastlar kompakt, çizgisel, hafif, yüksek frekanslı elektronik balastlardır. Balast kaybı 6 W olmaktadır. Manyetik balastlarla kıyaslandığında % 50 daha uzun lamba ömrü, aynı aydınlık düzeyinde % 25'e varan enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bunun yanında şebeke geriliminden etkilenmeyerek sabit ışık sağlamakta, aşırı şebeke gerilimlerine karşı koruma sağlamaktadır.



Şekil 6.3 : Mamul ambar aydınlık düzeyi dağılımı

Yeni tip armatürlerin kullanılması ile hem istenilen aydınlık düzeyi değerleri yakalanacak, hem de daha düzgün bir aydınlatma sağlanacaktır. Şekil 6.3'te mamul ambar aydınlık düzeyi dağılımı verilmektedir. Bu çalışma sonucunda bu bölgede oluşacak ortalama aydınlık düzeyi $E_{ort}=103$ lx ve en az aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı ile tanımlanan aydınlık dağılımının düzgünlük oranı $E_{min}/E_{ort}=0,63$ olacaktır. Bununla birlikte bu bölgelerde sürekli bir çalışma olmadığından, hareket sensörleri kullanımı da öngörülmüştür. Ancak on-off kullanımının lambaların ömrünü azaltacağından, harekete duyarlı sensörlerin loşlaştırılabilir balastlarla birlikte kullanılması da bir öneri olarak geliştirilmiştir. Mamul ambar kısmında eski durum ve yeni durum karşılaştırması ve elde edilecek enerji verimliliği değerleri çizelge 6.5'te gösterilmektedir. Yapılan hesaplamalarda Ocak 2010 satış değerleri alınmıştır. Mamul ambar kısmının 15 saat çalışacağı öngörülmüş, gündüz, puant ve gece tarifelerindeki elektrik birim fiyatları kullanılmıştır. Örnek hesaplama EK A.4'te verilmiştir. Tüm bölümler bu uygulamaya göre hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5 : Mamul ambar civa buharlı lambalı armatürlerin fluoressan lambalı armatürlerle değişimi

Mevcut Durum			Yeni Durum			Enerji verimliliği		
Armatür sayısı	420	adet	Armatür sayısı	640	adet	Elektrik Birim Fiyatı*		
						Gündüz	0,15887	TL
Lamba tipi	250	W	Lamba tipi	51	W	Puant	0,26916	TL
						Gece	0,07955	TL
Armatür gücü	269	W	Armatür gücü	102	W	Yıllık elektrik enerjisi kazancı	257 580	kWh
Toplam güç	113,0	kW	Toplam güç	65,3	kW	Yıllık kazanç	39 495	TL
Günlük çalışma süresi	15	saat	Günlük çalışma süresi	15	saat	Yüzde kazanç	%42,2	
Yıllık çalışma süresi	360	gün	Yıllık çalışma süresi	360	gün	Birim maliyet	70	TL
Yıllık çalışma süresi	5400	saat	Yıllık çalışma süresi	5400	saat	Toplam maliyet	44 800	TL
Yıllık elektrik tüketimi	610 200	kWh	Yıllık elektrik tüketimi	352 620	kWh	Geri ödeme süresi	1,1	yıl

* Elektrik birim fiyatına güç bedeli dahildir.

Fluoressan armatürlerin hareket sensörleri ile kullanımı da incelenmiş, ancak ortamın kullanımı hakkında elde uzun süreli istatistiksel bir veri olmadığı için elde edilebilecek tasarruf miktarı açısından net bir şey söylenememektedir. Daha önce de söylendiği gibi on-off çalışma lambaların ömrünü azaltacağından tercih edilmemiştir. Diğer bir öneri olan loşlaştırılabilir balast kullanımı ise tasarruf miktarının kesin belirlenememesi ve maliyetinin fazla olmasından dolayı tercih edilmemiştir.

6.2.2 Ambalaj ambarı

Bu bölümün içyapısı da mamul ambar bölümü ile aynıdır. Tavan yüksekliği 8,5 m ve kapalı alan 10 308 m² olan üretim malzemelerinin ambalajlarının depolandığı depo kısmıdır. Bu bölümde de çatıda içeriye gün ışığı alabilen fenerlikler bulunduğu gündüz saatlerinde gün ışığından faydalanılabilmektedir. Enerji tüketimi hesaplanırken çalışma süresi yine 15 saat alınmıştır. Depoda 7,5 m yüksekliğinde raflar bulunmaktadır. Raflara konulan mamuller bir duvar görevi görmekte ve kapalı bir alan oluşturmaktadır. Raf aralarında aydınlatma yapılan yerlerin genişliği 3,5 m

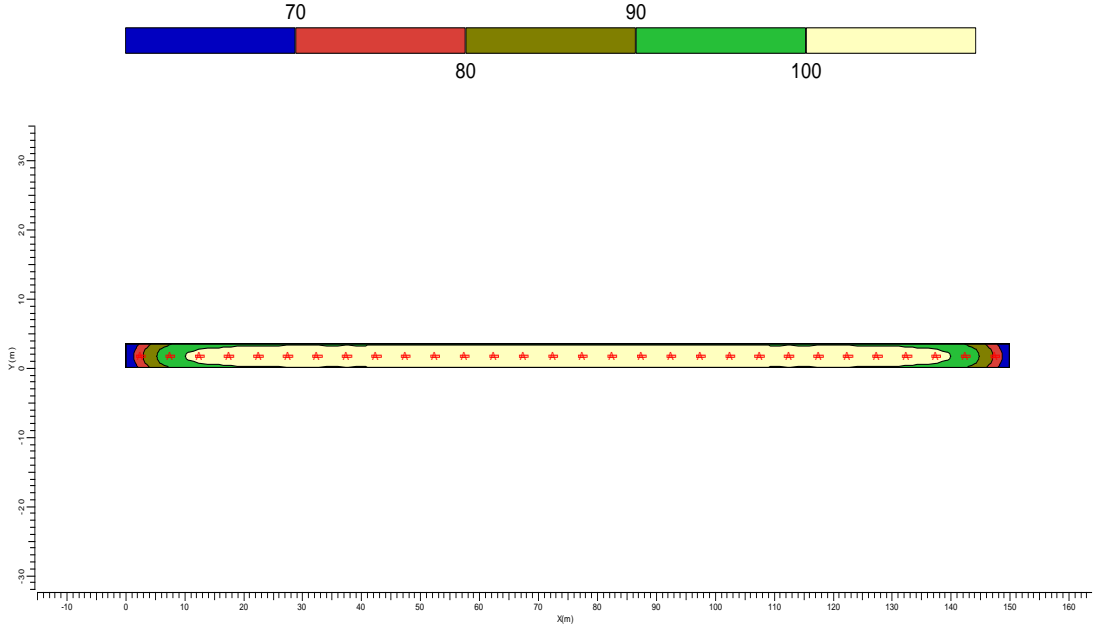
ve uzunluğu da 150 m'dir. Tüm bölümler birbirinin simetrisi olup 10 adet raf arası bölüm bulunmaktadır. Mevcut durumda her bölümde 20 adet lamba bulunmaktadır. Ölçüm yapılırken her bölüm için 120 adet grid oluşturulmuş ve tüm bu gridlerde ölçülen değerlerin ortalaması alınarak ortalama aydınlık düzeyi belirtilmiştir. Bu bölümde kullanılan mevcut armatürün özellikleri, ortalama aydınlık düzeyi ve önerilen aydınlık düzeyi çizelge 6.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 6.6 : Ambalaj ambarı aydınlatma tesisatı ve ortalama aydınlık düzeyi

Bölüm	Mevcut Kullanılan Armatür Tipi	Ölçülen E(lx)	Önerilen E(lx)
Ambalaj Ambarı	250W Cıva Buharlı Lambalı HDK Tipi Alüminyum Reflektörlü Armatür	50-80	100

Bu bölümdeki lambalar mamul ambar bölümüne göre daha iyi olmakla beraber yine de istenilen düzeyde aydınlatma sağlayamamaktadır. Ambalaj ambarında da mamul ambar bölümünde olduğu gibi aynı tip armatürler bulunmaktadır ve bu armatürlerin özellikleri mamul ambar kısmında anlatılmıştır. Burada yapılan yenileme çalışmasında diğer depoda olduğu yine çizgisel bir çözüm öngörülmüş ve aynı tip TMS tipi elektronik balastlı reflektörlü 2*TL-D 51W floresan lambalı armatürler kullanılmış ve istenilen aydınlık düzeyleri oluşturulmuştur.

Bu tasarımla standartlarca istenilen aydınlık düzeyi değeri sağlanmış olup, daha düzgün bir aydınlatma da yaratılmış olacaktır. Ambalaj ambarında da hareket sensörü kullanımı öngörülmüş, fakat on-off çalışmanın lambaların ömürlerine olumsuz etkisi ve loşlaştırmanın maliyetinin yüksek olması nedeni ile tercih edilmemiştir. Şekil 6.4'te ambalaj ambarı aydınlık düzeyi dağılımı verilmektedir.



Şekil 6.4 : Mamul ambar aydınlık düzeyi dağılımı

Bu çalışma sonucunda bu bölgede oluşacak ortalama aydınlık düzeyi $E_{ort}=100$ lx ve aydınlık dağılımının düzgünlük oranı $E_{min}/E_{ort}=0,63$ olacaktır. Ambalaj ambarı bölümündeki eski durum ve yeni durum karşılaştırması ve enerji verimliliği değerleri çizelge 6.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.7 : Ambalaj ambarı armatürlerinin değişimi

Mevcut Durum			Yeni Durum			Enerji verimliliği		
Armatür sayısı	218	adet	Armatür sayısı	336	adet	Elektrik birim fiyatı*		
						Gündüz	0,15887	TL
Lamba tipi	250	W	Lamba tipi	51	W	Puant	0,26916	TL
						Gece	0,07955	TL
Armatür gücü	269	W	Armatür gücü	102	W	Yıllık elektrik enerjisi kazancı	131 220	kWh
Toplam güç	58,6	kW	Toplam güç	34,3	kW	Yıllık kazanç	20 120	TL
Günlük çalışma süresi	15	saat	Günlük çalışma süresi	15	saat	Yüzde kazanç	%41,5	
Yıllık çalışma süresi	360	gün	Yıllık çalışma süresi	360	gün	Birim maliyet	70	TL
Yıllık çalışma süresi	5400	saat	Yıllık çalışma süresi	5400	saat	Toplam maliyet	23 520	TL
Yıllık elektrik tüketimi	316 440	kWh	Yıllık elektrik tüketimi	185 220	kWh	Geri ödeme süresi	1,2	yıl

* Elektrik birim fiyatına güç bedeli dahildir.

Fabrikada bulunan her iki ambar kısmında kullanılacak olan TMS tipi armatür, 51 W tüp floresan lamba ve elektronik balast fiyatları çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8 : Floresan armatür ve lamba birim fiyatı

Kullanılan Malzeme	Birim Fiyat	
Armatür ve Balast: TMS022 2xTL-D58W HFP	40	TL
Reflektör: GMS022 1/2 58 R	17	TL
Lamba: MASTER TL-D ECO 51W	6,5	TL

6.2.3 Üretim bölümü

Üretim bölümü üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi soğutma sonu diye adlandırılan yüksekliği 8,5 m uzunluğu 180m ve kapalı alanı toplam 6060 m² olan üretilen malzemelerin toplanıp paketlenildiği kısımdır. Bu bölüm de kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Soğutma sonu kısmında üretim makinelerinden çıkan bardakların toplandığı yerlerin çalışma yüksekliği 80 cm ile 1m arasındadır. Bu noktalarda üretilen bardak ve tabakların kalite kontrolü ve arızalı olanlarının ayırt edilebilmesi için özel aydınlatılma yapılmıştır. Yapılan işin önemine bağlı olarak aydınlık düzeyi TS12464-1’de belirtilen değer olan 700-1000 lx seviyesindedir. Bu bölümün mevcut genel aydınlatması high-bay tipi armatürler içinde 250 W’lık yüksek basınçlı civa buharlı lambalar kullanılarak yapılmıştır. Mevcut durumda 116 adet lamba bulunmaktadır. Ölçüm yapılırken 220 adet grid oluşturulmuş ve tüm bu gridlerde ölçülen değerlerin ortalaması alınarak ortalama aydınlık düzeyi belirtilmiştir. Fakat genel aydınlatma çoğu yerde yetersiz kalmaktadır. Soğutma sonundaki farklı iki bölümün ölçülen ve önerilen ortalama aydınlık düzeyleri çizelge 6.9’da belirtilmiştir.

Çizelge 6.9 : Soğutma sonu aydınlatma tesisatı ve ortalama aydınlık düzeyleri

Bölüm	Mevcut Kullanılan Armatür Tipi	Ölçülen E(lx)	Önerilen E(lx)
Soğutma Sonu 1	250W Civa Buharlı Lambalı HDK Tipi Alüminyum Reflektörlü Armatür	20–80	100
Soğutma Sonu 2	250W Civa Buharlı Lambalı HDK Tipi Alüminyum Reflektörlü Armatür	40–80	100

Soğutma sonu bölümü için iki farklı çözüm öngörülmüştür. Bunlardan ilki çizgisel çözüm sağlayan TMS tipi reflektörlü ve elektronik balastlı TL-D 51W floresan lambalı armatür kullanılması, bir diğeri ise noktasal çözüm sağlayan 150W metal halide lamba ile çalışan DCP300 armatürlerin kullanılmasıdır. Çizelge 6.10'da öneri 1 çizelge 6.11'de ise öneri 2 için eski ve yeni durumlar karşılaştırılmaktadır.

**Çizelge 6.10 : Soğutma sonu civa buharlı lambaların floresan lambalarla değişimi
Öneri1**

Mevcut Durum			Yeni Durum			Enerji verimliliği		
Armatür sayısı	116	adet	Armatür sayısı	104	adet	Elektrik birim fiyatı*		
						Gündüz	0,15887	TL
Lamba tipi	250	W	Lamba tipi	51	W	Puant	0,26916	TL
						Gece	0,07955	TL
Armatür gücü	269	W	Armatür gücü	102	W	Yıllık elektrik enerjisi kazancı	202	356
Toplam güç	31,2	kW	Toplam güç	10,6	kW			
Armatür sayısı	18	adet	Armatür sayısı		adet	Yıllık kazanç	31	447
Lamba tipi	125	W	Lamba tipi		W			
Armatür gücü	136,5	W	Armatür gücü		W	Yıllık kazanç	31	447
Toplam güç	2,5	kW	Toplam güç		kW			
Günlük çalışma süresi	24	saat	Günlük çalışma süresi	24	saat	Yüzde kazanç	%68,55	
Yıllık çalışma süresi	365	gün	Yıllık çalışma süresi	365	gün	Birim maliyet	70	TL
Yıllık çalışma süresi	8760	saat	Yıllık çalışma süresi	8760	saat	Toplam maliyet	7280	TL
Yıllık elektrik tüketimi	295	212	Yıllık elektrik tüketimi	92	856	Geri ödeme süresi	0,23	Yıl

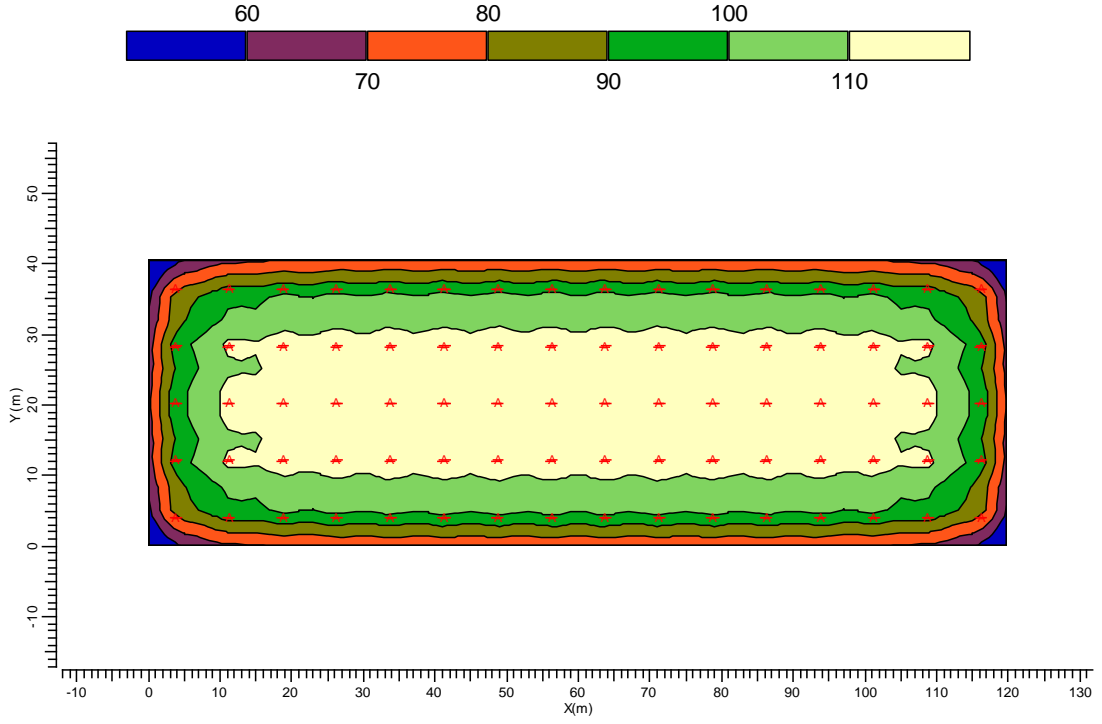
* Elektrik birim fiyatına güç bedeli dahildir.

Çizelge 6.11 : Soğutma sonu civa buharlı lambaların metal halide lambalarla değişimi Öneri 2

Mevcut Durum			Yeni Durum			Enerji verimliliği		
Armatür sayısı	116	adet	Armatür sayısı	60	adet	Elektrik birim fiyatı*		
Lamba tipi	250	W	Lamba tipi	150	W	Gündüz	0,15887	TL
						Puant	0,26916	TL
Armatür gücü	269	W	Armatür gücü	167,5	W	Gece	0,07955	TL
Toplam güç	31,2	kW	Toplam güç	10,1	kW	Yıllık elektrik enerjisi kazancı	206 736	kWh
Armatür sayısı	18	adet	Armatür sayısı		adet			
Lamba tipi	125	W	Lamba tipi		W	Yıllık kazanç	32 128	TL
Armatür gücü	136,5	W	Armatür gücü		W			
Toplam güç	2,5	kW	Toplam güç		kW	Yüzde kazanç	% 70	
Günlük çalışma süresi	24	saat	Günlük çalışma süresi	24	saat			
Yıllık çalışma süresi	365	gün	Yıllık çalışma süresi	365	gün	Birim maliyet	356	TL
Yıllık çalışma süresi	8760	saat	Yıllık çalışma süresi	8760	saat	Toplam maliyet	21 360	TL
Yıllık elektrik tüketimi	295 212	kWh	Yıllık elektrik tüketimi	88 476	kWh	Geri ödeme süresi	0,66	yıl

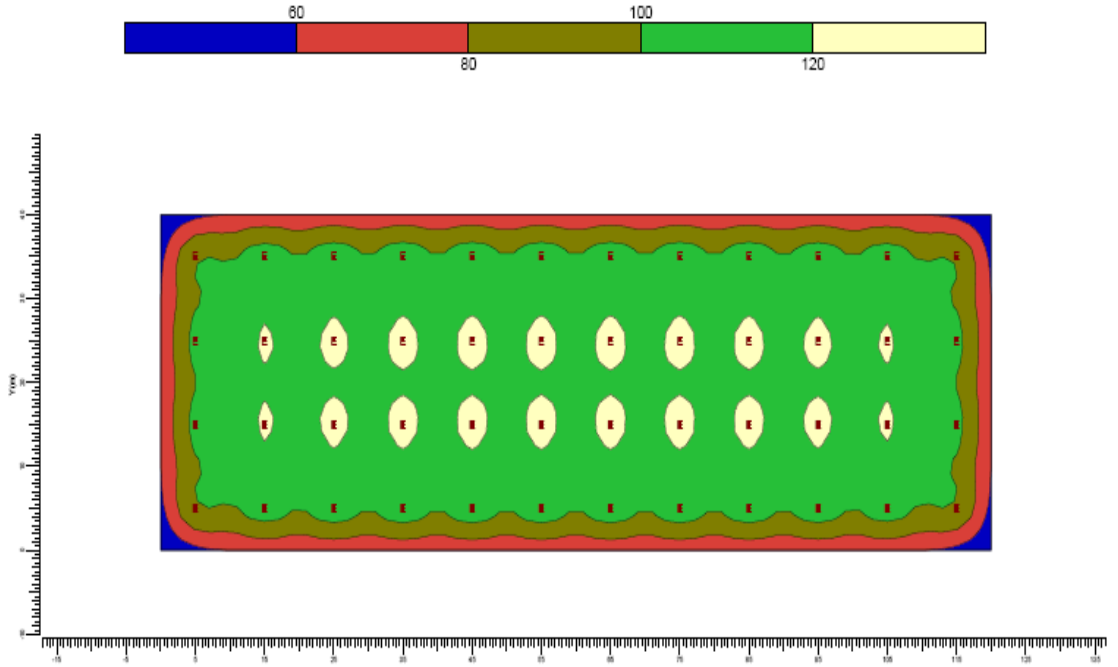
* Elektrik birim fiyatına güç bedeli dahildir.

Üretimin bu bölümünde her iki durumda da tasarruf birbirine çok yakın gözükmektedir. İki farklı durum için aydınlık düzeylerini gösteren şekiller aşağıda verilmektedir. İki farklı öneride de aydınlık düzeyleri istenilen seviyelere gelmekte fakat düzgünlük değerleri farklılıklar göstermektedir. Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi çizgisel çözüm için önerilen tüp floresan ışık kaynaklı armatürler ile yapılan tasarım sonucunda düzgünlük değerleri noktasal çözüm için önerilen armatürlere oranla daha iyi sonuçlar vermiştir. Şekil 6.5'te öneri 1 için şekil 6.6'da ise öneri 2 için aydınlık düzeyi dağılımları verilmektedir.



Şekil 6.5 : Soğutma sonu aydınlık düzeyi dağılımı (fluoresan lamba)

Öneri 1 sonucunda bu bölgede oluşacak ortalama aydınlık düzeyi $E_{ort}=102$ lx ve aydınlık dağılımının düzgünlük oranı $E_{min}/E_{ort}=0,52$ olacaktır.



Şekil 6.6 : Soğutma sonu aydınlık düzeyi dağılımı (metal halide lamba)

Öneri 2 sonucunda bu bölgede oluşacak ortalama aydınlık düzeyi $E_{ort}=105$ lx ve aydınlık dağılımının düzgünlük oranı $E_{min}/E_{ort}=0,43$ olacaktır.

Üretim bölümünün ikinci ve üçüncü kısımları fiziksel özelliklerinin benzerliği nedeni ile ortak olarak incelenebilmektedir. Bu bölüm soğutma makinelerinin bulunduğu ve üretimin yapıldığı kısımdır. Bu bölümlerin yükseklikleri 8,5 m ve 15 m, uzunlukları da 180 m olup toplam kapalı alan 7272 m²'dir. Bu bölümde diğer bölümlerde olduğu gibi 250 ve 400 W yüksek basınçlı civa buharlı lambalı high-bay armatürler bulunmakta, 250 W lambalı armatürler 8,5 m'de 400 W lambalı armatürler 15 m'de bulunmaktadır. Bunun yanında 10 m yüksekliğe yerleştirilmiş metal halide lambalı asimetrik projektörler kullanılmaktadır. Şu andaki mevcut durumda ortalama aydınlık düzeyleri 20-70lx arasında ölçülmektedir. Bu bölümde makineler bulunduğundan dolayı ölçüm uygun alanlarda yapılmıştır. 15 m'lik yükseklikli alanda bulunan üretim makinelerinde çalışma alanları üzerinde özel aydınlatmalar da yer almaktadır. Burada da yine aynı tesisat tipinde DCP300 armatürü içerisinde metal halide lambaların kullanımı ile noktasal bir çözüm öngörülmüştür. Bu lambaların kullanılması ile ortalama aydınlık düzeyi 100 lx'e yükseltilecektir. Üretim 2 ve 3 için ölçülen ve önerilen ortalama aydınlık düzeyleri çizelge 6.12'de armatür ve lamba değişimi sonrası eski ve yeni durumun karşılaştırılması çizelge 6.13'te belirtilmiştir.

Çizelge 6.12 : Üretim 2 ve 3 aydınlatma tesisatı ve aydınlık düzeyleri

Bölüm	Mevcut Kullanılan Armatür Tipi	Ölçülen E(lx)	Önerilen E(lx)
Üretim 2	250W Civa Buharlı Lambalı HDK Tipi Alüminyum Reflektörlü Armatür	20-60	100
Üretim 3	400W Civa Buharlı Lambalı HDK Tipi Alüminyum Reflektörlü Armatür ve 250 W Metal Halide Lambalı Asimetrik Projektör	40-70	100

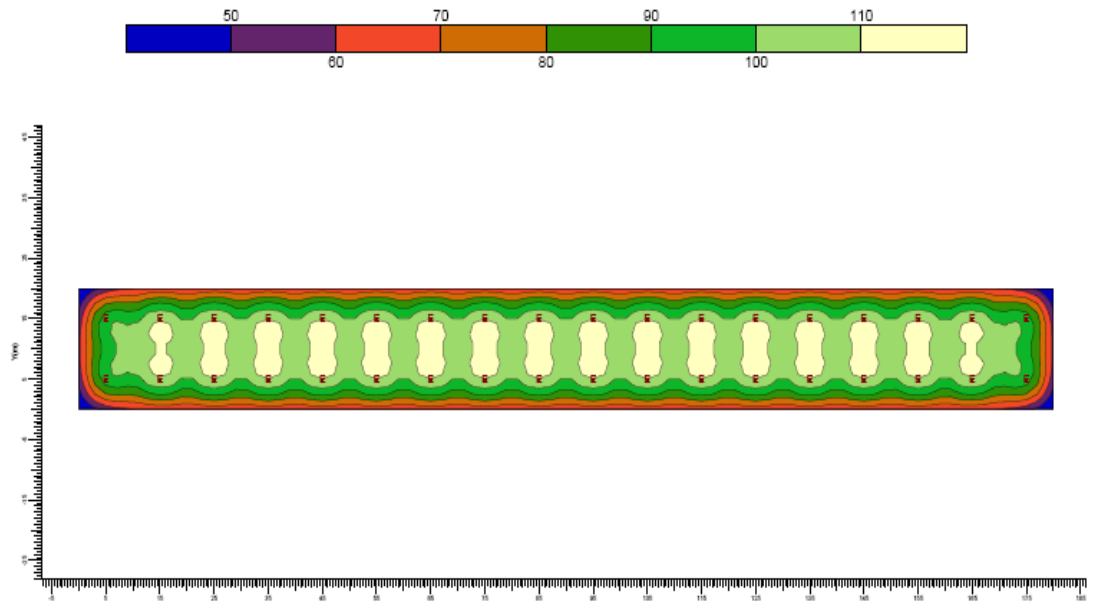
Mevcut durumda 15 m tavan yükseklikli üretim bölümünde metal halojen lambalı high-bay tipi armatürler 10m yüksekliğe monte edilmiştir. Fakat bu lambalar yerleştirilme konumları nedeni ile bazı noktalarda kamaşmaya neden olabilmektedir.

Çizelge 6.13 : Üretim bölümü 2,3 lamba ve armatür değişimi

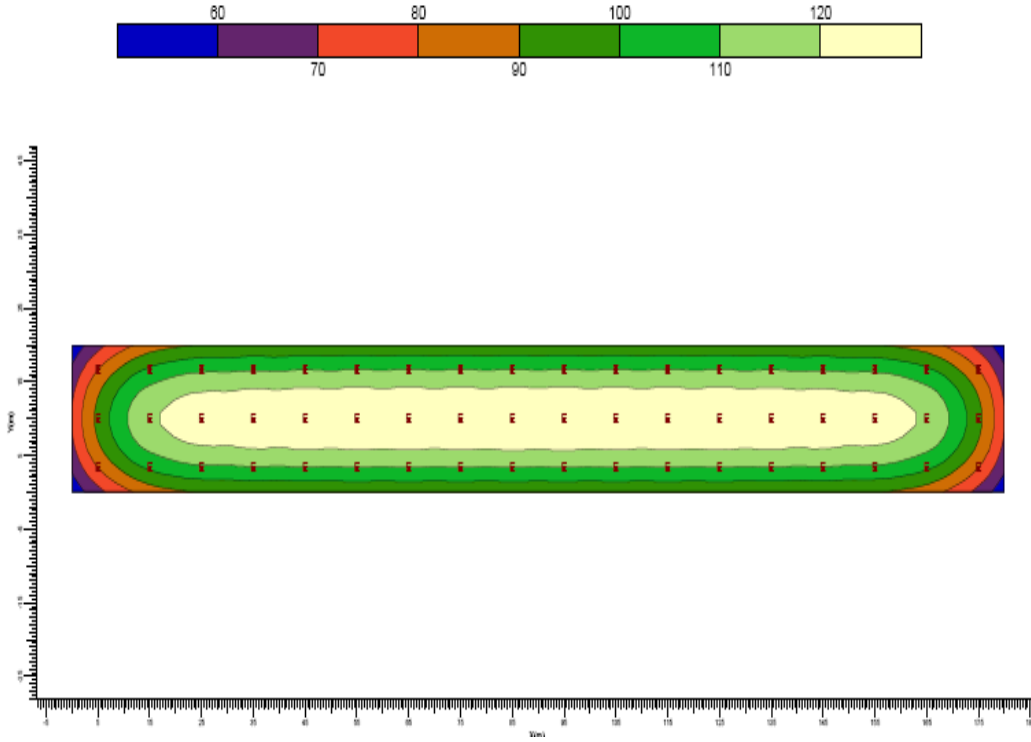
Mevcut Durum			Yeni Durum			Enerji verimliliği		
Armatür sayısı	120	adet	Armatür sayısı	90	adet	Elektrik birim fiyatı*		
Lamba tipi	250	W	Lamba tipi	150	W	Gündüz	0,15887	TL
Armatür gücü	269	W	Armatür gücü	167,5	W	Puant	0,26916	TL
Toplam güç	32,3	kW	Toplam güç	15,1	kW	Gece	0,07955	TL
Armatür sayısı	20	adet	Armatür sayısı		adet	Yıllık elektrik enerjisi kazancı	224 256	kWh
Lamba tipi	400	W	Lamba tipi		W	Yıllık kazanç	34 850	TL
Armatür gücü	418	W	Armatür gücü		W			
Toplam güç	8,4	kW	Toplam güç		kW	Yüzde kazanç	%62,9	
Günlük çalışma süresi	24	saat	Günlük çalışma süresi	24	saat			
Yıllık çalışma süresi	365	gün	Yıllık çalışma süresi	365	gün	Birim maliyet	356	TL
Yıllık çalışma süresi	8760	saat	Yıllık çalışma süresi	8760	saat	Toplam maliyet	32 040	TL
Yıllık elektrik tüketimi	356 532	kWh	Yıllık elektrik tüketimi	132 276	kWh	Geri ödeme süresi	0,9	yıl

* Elektrik birim fiyatına güç bedeli dahildir.

Bu değişiklik sonucunda üretim 2 ve 3 bölümlerindeki aydınlık düzeyi dağılımları da şekil 6.7 ve 6.8’de gösterilmektedir. Bu değişiklikle üretim 2 bölümünde ortalama aydınlık düzeyi $E_{ort}=96$ lx ve aydınlık dağılımının düzgünlük oranı $E_{min}/E_{ort}=0,46$ olacaktır.



Şekil 6.7 : Üretim 2 bölümü aydınlık düzeyi dağılımı



Şekil 6.8 : Üretim 3 bölümü aydınlık düzeyi dağılımı

Üretim 3 bölümünde ise ortalama aydınlık düzeyi $E_{ort}=110$ lx ve aydınlık dağılımının düzgünlük oranı $E_{min}/E_{ort}=0,53$ olacaktır.

6.2.4 Çevre aydınlatması

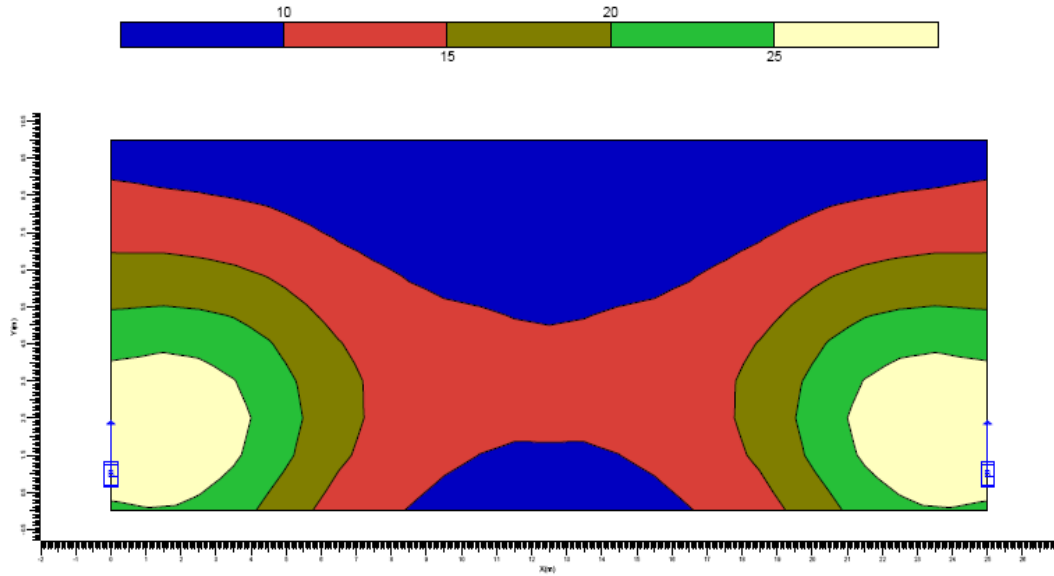
Fabrika genelinde içlerinde içten ateşlemeli 210 W gücünde eski tip yüksek basınçlı soyum buharlı lambalar olan 175 adet çevre aydınlatması armatürü bulunmaktadır. Bu lambalar fabrika kuruluşundan beri çalışmakta olup (yaklaşık 20 sene) çoğunluğu ışık geçirme açısından çok kötü durumdadır. Fabrika sınırları ve yol güzergahları çoğu yerde karanlık kalmaktadır. Bu nedenle çevre aydınlatmasının değişimi öncelikli olarak ele alınmış ve uygulamaya konulmuştur. Tüm çevre aydınlatması armatürleri, içlerinde 100W'lık şeffaf tüp yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar olan Malaga SGS tipi armatürler ile değiştirilmiştir. Armatürlerin direk montaj yükseklikleri 10m ve iki direk arasındaki mesafe 25 m'dir. Direklerde konsol bulunmaktadır. Aydınlık düzeyi eski durumda 5-10 lx iken yeni tesisat ile 15-25 lx düzeyine yükselmiştir. Çevre aydınlatmasında yapılan lamba ve armatür değişimleri sonucunda eski ve yeni durum arasındaki karşılaştırma çizelge 6.14'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.14 : Çevre aydınlatması lamba ve armatür değişimi

Eski Durum			Yeni Durum			Enerji verimliliği		
Armatür sayısı	175 adet		Armatür sayısı	175 adet		Elektrik birim fiyatı*		
Lamba tipi	210 W		Lamba tipi	100 W		Gündüz	0,15887	TL
						Puant	0,26916	TL
Armatür gücü	229 W		Armatür gücü	114 W		Gece	0,07955	TL
						Yıllık elektrik enerjisi kazancı	88.038	kWh
Toplam güç	40,1 kW		Toplam güç	20,0 kW		Yıllık kazanç	11 758	TL
Günlük çalışma süresi	12 saat		Günlük çalışma süresi	12 saat		Yüzde kazanç	%50,1	
Yıllık çalışma süresi	365 gün		Yıllık çalışma süresi	365 gün		Birim maliyet	160	TL
Yıllık çalışma süresi	4380 saat		Yıllık çalışma süresi	4380 saat		Toplam maliyet	28 000	TL
Yıllık elektrik tüketimi	175 638 kWh		Yıllık elektrik tüketimi	87 600 kWh		Geri ödeme süresi	2,4	yıl

* Elektrik birim fiyatına güç bedeli dahildir.

Yapılan bu yenileme sonucunda elde edilecek tasarrufun yanında daha iyi koruma sınıfına sahip armatürler ile daha az bakım maliyeti de gerçekleşecektir. Bu değişim sonucunda aydınlık düzeyi dağılımı şekil 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 : Çevre aydınlatma aydınlık düzeyi dağılımı

Çevre aydınlatmada yapılan değişiklik ile ortalama aydınlık düzeyi $E_{ort}=15-20$ lx ve aydınlık dağılımının düzgünlük oranı $E_{min}/E_{ort}=0,41$ olacaktır.

6.2.5 Fabrika genelinde verimli floresan lamba kullanımı

Fabrika içerisinde oldukça fazla sayıda floresan lamba bulunmaktadır. Mevcut durumda kullanılan bu lambalar 36W/765 serisi standart floresan lambalardır. Bu lambaların ışık akısı 2500 lümen renksel geriverimi de 70'dir. bu lambaların yerine yeni nesil floresan lamba serisinden 3200 lümen ışık akısına sahip renksel geriverimi 80 olan TL-D 32W/865 kodlu floresan lambaların kullanılması öngörülmüştür. Yine yapılan inceleme sonucunda bu armatürlerde manyetik balast kullanıldığı da saptanmıştır. Manyetik balast yerine elektronik balastlı armatürlerin yeni nesil floresanlarla kullanılması önerilmiştir. Bu değişim sayesinde enerji tasarrufu sağlanmasının yanı sıra, daha iyi renksel özelliğe sahip lambalarla (Ra:80) daha iyi çalışma performansı, yüksek ışık akısı ile de aydınlık düzeyinde yaklaşık %30 artış elde edilecektir. Çizelge 6.15'de tek bir manyetik balastlı floresan lambalı armatürün yeni önerilen elektronik balastlı yeni nesil floresan lamba ile değiştirilmesi halinde elde edilecek enerji tasarruf oranları ve geri ödeme süreleri verilmektedir. Çizelge 6.16'de ise sadece lamba değişiminin maliyet analizi gösterilmektedir.

Çizelge 6.15 : Floresan lambalı ve manyetik balastlı armatürün elektronik balastlı yeni nesil floresan lamba ile değişimi

Mevcut Durum		Yeni Durum		Enerji verimliliği		
Armatür sayısı	1 adet	Armatür sayısı	1 adet	Elektrik birim fiyatı*		
				Gündüz	0,15887	TL
Lamba tipi	36 W	Lamba tipi	32 W	Puant	0,26916	TL
				Gece	0,07955	TL
Armatür gücü	92 W	Armatür gücü	64 W	Yıllık elektrik enerjisi kazancı	245	kWh
Toplam güç	92 W	Toplam güç	64 W	Yıllık kazanç	38	TL
Günlük çalışma süresi	24 saat	Günlük çalışma süresi	24 saat	Yüzde kazanç	% 30,4	
Yıllık çalışma süresi	365 gün	Yıllık çalışma süresi	365 gün	Birim maliyet	25	TL
Yıllık çalışma süresi	8760 saat	Yıllık çalışma süresi	8760 saat	Toplam maliyet	25	TL
Yıllık elektrik tüketimi	806 kWh	Yıllık elektrik tüketimi	561 kWh	Geri ödeme süresi	0,7	yıl

* Elektrik birim fiyatına güç bedeli dahildir.

Çizelge 6.16 : Bir adet floresan lambanın yeni nesil lamba ile değişimi

Mevcut Durum			Yeni Durum			Enerji verimliliği		
Armatür sayısı	1	adet	Armatür sayısı	1	adet	Enerji birim fiyatı*		
Lamba tipi	36	W	Lamba tipi	32	W	Gündüz	0,15887	TL
						Puant	0,26916	TL
						Gece	0,07955	TL
Armatür gücü	92	W	Armatür gücü	84	W	Yıllık elektrik enerjisi kazancı	70	kWh
Toplam güç	92	W	Toplam güç	84	W	Yıllık kazanç	11	TL
Günlük çalışma süresi	24	saat	Günlük çalışma süresi	24	saat	Yüzde kazanç	%8,7	
Yıllık çalışma süresi	365	gün	Yıllık çalışma süresi	365	gün	Birim maliyet	6,5	TL
Yıllık çalışma süresi	8760	saat	Yıllık çalışma süresi	8760	saat	Toplam maliyet	6,5	TL
Yıllık elektrik tüketimi	806	kWh	Yıllık elektrik tüketimi	736	kWh	Geri ödeme süresi	0,6	yıl

* Elektrik birim fiyatına güç bedeli dahildir.

6.3 Proje Özeti

Bu çalışmada fabrika içerisindeki mamul ambar, ambalaj ambarı, üretim bölümü ve çevre aydınlatması bölümlerindeki mevcut aydınlatma tesisatları incelenmiştir. Bu bölümlerde gerçekleştirilen aydınlık düzeyi ölçümlerinde mevcut tesisatlarla standartlarca iş güvenliği açısından gerekli görülen aydınlık düzeyi değerlerinin sağlanamadığı anlaşılmıştır. Bu amaçla ilk olarak yeterli aydınlık düzeyi değerlerinin yaratılması hedeflenerek, kolay uygulanabilir, maliyet-etkin yeni aydınlatma tesisatı önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır. Üretim bölümünde soğutma sonu kısmında iki farklı seçenek sunulmuş, diğer bölümlerde ise en uygun aydınlatma tesisatı belirlenmiştir. İki farklı öneri sunulan üretim bölümü ile birlikte değişim yapılan tüm bölümlerin mevcut ve yeni öneri durumundaki yıllık enerji tüketimlerinin karşılaştırılması çizelge 6.17’de özet olarak gösterilmektedir.

Çizelge 6.17 : Fabrika genelinde iki farklı öneri için elektrik enerjisi tüketimleri, aydınlık düzeyleri ve düzgünlük değerleri

	Mevcut Durum		Yeni Durum		Aydınlık Düzeyi (lx)	Düzgünlük
1. Öneri	1 754 022	kWh	850 572	kWh	102	0,52
2. Öneri	1 754 022	kWh	846 192	kWh	105	0,43

Birinci öneride üretim bölümünün soğutma sonu kısmında aydınlatma elemanı olarak reflektörlü, elektronik balastlı yeni nesil TL-D 51W floresan lambalı armatürler önerilmiştir. Bu öneri ile istenilen aydınlık düzeyinin elde edilmiş olması, montaj kolaylığı, kurulum maliyetinin düşük olması ve daha iyi düzgünlük oranı sağlanmasından dolayı tercih edilmiştir. İkinci öneride ise yine aynı bölümde ise DCP300 armatürü içerisinde 150W seramik deşarj tüplü metal halide lambalar tercih edilmiştir. Burada diğer öneriye oranla daha yüksek bir aydınlık düzeyi elde edilmiş olmasına rağmen düzgünlük değerinin düşük olması ve maliyetinin yüksek olması nedeni ile tercih edilmemiştir. Çizelge 6.18’de her iki öneri için enerji verimliliği karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelge 6.19’da ise fabrika genelindeki tüm bölümlerde elde edilen kazanç ve geri ödeme süreleri verilmiştir.

Çizelge 6.18 : Enerji verimliliğinin karşılaştırılması

Enerji verimliliği 1. durum		Enerji verimliliği 2. durum	
Yıllık elektrik enerjisi kazancı	903 450 kWh	Yıllık elektrik enerjisi kazancı	907 830 kWh
Yıllık kazanç	137 670 TL	Yıllık kazanç	138 351 TL
Yüzde Kazanç	%51,5	Yüzde Kazanç	%51,8
Toplam maliyet	135 640 TL	Toplam maliyet	149 720 TL
Geri ödeme süresi	0,98 yıl	Geri ödeme süresi	1,08 yıl

Çizelge 6.19 : Fabrika genelindeki tüm bölümlerde elde edilen kazançlar ve geri ödeme süreleri

Bölüm	Yıllık Elektrik Enerjisi Tasarrufu kWh	Yıllık Kazanç TL	Yüzde Kazanç %	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Mamul Ambar	257 580	39 495	42,2	1,1
Ambalaj Ambarı	131 220	20 120	41,5	1,2
Üretim 1-Öneri 1	202 356	31 447	68,5	0,2
Üretim 1-Öneri 2	206 736	32 128	70	0,7
Üretim 2,3	224 256	34 850	62,9	0,9
Çevre Aydınlatma	88 038	11 758	50,1	2,4

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen verimli aydınlatma tesisatı projesinin uygulamaya konulması ile tüm fabrika genelinde aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisinde sağlanacak enerji tasarrufu %50 civarında olmaktadır. Projenin geri ödeme süresinin kısalığı da bu projeyi uygulanabilir hale getirmektedir. Bunun yanında aydınlatma sisteminde yapılacak olan yenileme ile mevcut durumda yetersiz olan aydınlık düzeyi değerleri iş güvenliği açısından gerekli seviyelere çıkarılacak, lambaların renksel geriverim özellikleri de iyileşecektir (80–90 düzeylerinde). Aydınlatma kalitesinin iyileştirilmesinin çalışanlar üzerindeki olumlu etkileri nedeni ile, çalışma performansı artacak ve iş verimi de artacaktır. Kaza ve hatalı ürün sayısının azalması gibi parametreler de düşünüldüğünde, yeni önerilen tesisatların geri ödeme süreleri çok daha kısalabilmektedir.

7. SONUÇ

Stratejik açıdan önemli bir alan olan enerji sektöründe, konulara stratejik bakış açılarıyla yaklaşılması bir zorunluluktur. Enerji sektöründe sadece olası talebi karşılama amaçlı oluşturulacak enerji stratejilerinin hem yetersiz kalacağı, hem de dünyadaki yaygın eğilimlerle uyumlu olamayacağı görülmektedir. Bu çerçevede, tüketime sunulan enerjinin verimli kullanılması ve genel enerji tüketiminin işverimi ve konforu etkilemeden düşürülmesi büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'nin birincil enerji kaynakları açısından yaklaşık %74 dışa bağımlı olduğu [6], bunun ilerleyen yıllar içinde artacağına öngörüldüğü göz önüne alındığında, hem sanayi üretiminin önemli girdilerinden birisi olan, hem ulaştırma maliyetlerinde büyük yer tutan, hem de ticarethanelerden konutlara kadar pek çok yerde halkın doğrudan kullandığı ve maliyetini karşıladığı enerjinin verimli kullanılması daha da önemli hale gelmektedir.

Dünyada enerjinin etkin kullanımına ilişkin enerji verimliliği programları oluşturulmuş ancak bu programlardan çok azı Türkiye'de uygulanmıştır. Buradan da anlaşılıyor ki Türkiye'de enerji verimliliği ile ilgili yeterli bilinç oluşmamış ve enerji sorunu konusu yeterince algılanmamıştır. Her şeyden önce genel olarak halkın ve sanayicinin enerji tüketimi ve enerji verimliliği konusunda bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi, daha sonra da bu bilinçle enerji çalışmalarının etkin olarak kamusal tüm birimlerin desteğini de alacak biçimde yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Bugüne kadar EİE tarafından yapılan ve diğer ülkelerdeki programlara benzetilerek geliştirilen uygulamalar olması gereken gerçekçi politik destekten yoksun olarak yürütüldüğü için, programların tekil başarılarına rağmen ülke genelinde elde edilen sonuçlar sınırlı kalmıştır. İşte bu nedenle 2 Mayıs 2007 tarihinde 26510 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu bugüne kadar eksik olan politik desteğin en üst düzeyde verilmesi ve bütüncül yaklaşım anlamında çok olumlu bir girişimdir. Bu önümüzdeki süreç kanunun felsefesinin anlaşılması ve ikincil mevzuatların bir an önce hazırlanması ile

uygulamaya en kısa sürede geçilmesi sürecidir. Bu süreç ülkedeki tüm kişi ve kuruluşların işbirliğini gerektirmektedir.

Bu çalışmada farklı uzmanlık alanlarına ihtiyaç duyulan enerji verimliliği etütlerinde, endüstride aydınlatma tesisatlarının iyileştirilmesi örnek bir proje ile açıklanmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmadan da anlaşılacağı üzere yetersiz aydınlatmanın değiştirilmesinin ya da geliştirilmesinin verimlilik üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Etkili bir çok parametre olduğu için, bu etkinin ne kadar olacağını önermek oldukça zordur. Örneğin başlangıç koşulları, insanların ilgisi, işin doğası ve prosesin değişimi gibi birkaç faktör sayılabilir. Aydınlatmanın değişimi prosesin tamamlayıcı bir parçası olabilir.

Aydınlatma tesisatı kalitesinin iyileştirilmesinin, iş verimliliği üzerinde direkt ve indirekt etkileri olabilir. Endirekt etkilerden olarak; huzur, vücut sağlığı, uyanıklılık ve devamsızlığın azalması gibi kişisel duyum ve davranışlar sayılabilir. Direkt etkileri olarak da proses zamanının, kaza ve hatalı ürün sayının azalması, üretim miktarının artması ve ürün kalitesinde yükselme sayılabilir.

Genelde mevcut endüstri aydınlatmalarında tesisat elemanlarının ya çok fazla enerji harcadığı ya da ergonomik ilkelere ve iş güvenliğine uyumsuz olarak işlediği bilinmektedir. Kayıpların azaltılmasıyla, enerji seviyelerinde bir artış olmaksızın daha yüksek düzeylerde ışık üretimi sağlanabilir. Gün ışığıyla yapay ışığın bilinçli kombinasyonları ile sağlanacak enerji tasarruflarına özel önem gösterilmelidir. Lamba tipleri seçilirken, renk özellikleri de dikkate alınarak etkinlik faktörünün mümkün olan en yüksek değerde olmasına ve böylece düşük enerji seviyeleriyle yüksek ışık akısı yayma özelliğine dikkat edilmelidir. Aydınlatmada enerji verimliliğinin artırılması ve tasarrufa gidilebilmesi için lineer floresan lamba kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir.

Aydınlatma tasarım hesaplarının yapılmasına elverişli fotometrik verileri bulunmayan armatürler kullanılmamalıdır. Mevcut sistemler enerji tasarrufu ve ışık kirliliği açısından gözden geçirilmeli, yapılabilecek değişiklikler hemen gerçekleştirilmelidir. Yeni yapılacak tesisatlarda ise en verimli sistemler kullanılmalıdır. Görme koşullarının iyileşmesini sağlamak üzere aydınlık düzeyleri belirlenmeli, fazladan enerji harcaması gerektirmeyecek olan, uygun nitelikte aydınlatmaların elde edilmesine özellikle önem verilmelidir.

Sonuç olarak enerji verimliliği çalışmalarında sanayideki aydınlatma tesisatları değerlendirilirken sadece lambaların teknik özelliklerine göre kararlar verilmesi doğru değildir. Farklı sektörel faaliyetlerin fiziksel özellikleri değişik yapılarda gerçekleştirildiği sanayi tesislerinde, her proje özel olarak değerlendirilmek zorundadır. Enerji verimliliği açısından temel amaç; az enerji tüketip fazla ışık akısı üreten etkinlik faktörü yüksek lambaların, kaliteli balastlarla birlikte ışığı istenilen çalışma düzlemlerine verimli bir şekilde yönlendiren armatürler içinde, aydınlatmanın kullanım süresini en aza indiren otomasyon sistemleri ile birlikte kullanılması olmalıdır. Tesisin toplam iş veriminin yüksek olması için, üretim hollerinde yapılan işin cinsine göre gerekli aydınlık düzeyi ve diğer aydınlatma kalite büyüklüklerinin sağlanması da son derece önemlidir.

Cam sektöründe üretim yapan bir fabrikada yapılan etüt çalışmasından sonra önerilen projelerle aydınlatmanın kalitesi iyileştirilirken, elektrik enerjisinde de tasarruf sağlanmıştır. Mevcut sistemde bulunan 66 lm/W etkinlik faktörlü floresan lambalar yerine 97 lm/W etkinlik faktörlü olanlar kullanılması önerilmiştir. Fabrika genelinde kullanılan verimsiz elektronik balastlar da daha verimli olanlarla değiştirilecektir. Mamul ambar ve ambalaj ambarında yapılacak armatür ve lamba değişikliği ile aydınlık düzeyi ortalama %50 oranında iyileşmiş olacaktır. Bunun yanında mamul ambarda yaklaşık %42 ambalaj ambarında ise yaklaşık %41,5 oranında enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. Üretim bölümünde değiştirilen armatür ve lamba ile tasarruf oranı yaklaşık %65–70 civarında olacaktır. Aynı zamanda lambaların renksel geriverim özellikleri de 80–90 seviyelerine yükselecektir. Çevre aydınlatmasında yapılan değişiklik ile elde edilecek tasarruf oranı %50 oranında hesaplanmıştır. Bu yüksek tasarruf oranı ve mevcut aydınlatmanın yetersizliği sebebiyle çevre aydınlatması hemen uygulamaya geçirilmiştir. Projeyi tümünden ele alacak olursak bu değişikliklerin hepsinin yapılması ile yıllık %50 tasarruf oranı sağlanacak ve geri ödeme süresi de 2 yıl gibi çok kısa bir süre olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Kavak K.**, 2005. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Ankara.
- [2] **Hepbaşlı A., Günerhan H., Ülgen K.**, 2001. Enerji Yönetim Sisteminin Altın Anahtarları: Enerji Denklığı ve Enerji Tasarrufu Etüdü, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir.
- [3] **International Energy Agency**, 2009. Key World Energy Statics.
- [4] **TMMOB Makina Mühendisleri Odası.**, 2008. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği, Ankara.
- [5] **Akdemir S., Narin M.**, 2006. Enerji Verimliliği ve Türkiye, *UEK-TEK 2006 Uluslararası Ekonomi Konferansı*, Türkiye Ekonomi Kurumu, Ankara, Eylül 11-13.
- [6] **Güler Dr.M.H.**, 2008. Enerji Bakanlığı 2009 Yılı Bütçesi Sunuş Konuşması, Aralık.
- [7] **Energy Intensity Indicators in the U.S.**,
<http://www1.eere.energy.gov/ba/pba/intensityindicators/trend_definitions.html>, alındığı tarih 10.06.2009.
- [8] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi**, 2004, Enerji Verimliliği, 1+1=3, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi, Ankara.
- [9] **Koch H. J.**, 2001. "An International Catalyst for Energy Efficiency". European Council for an Energy-Efficient Economy. Summer Study Proceedings.
- [10] **Norgard J. S.** 2001. "Can Energy Saving Policy Survive in a Market Economy". European Council for an Energy-Efficient Economy. Summer Study Proceedings.
- [11] **Keskin T., Gümüşderelioğlu Ş.**, 2000. "İklim Değişikliği Sözleşmesinin Şartlarını Yerine Getirmek İçin Dünyada ve Türkiye’de Uygulanan Enerji Tasarruf Programları" 19. Enerji Tasarrufu Haftası, *EİE Genel Müdürlüğü Yayını*, Ankara, ss.11-22.
- [12] **International Energy Agency**, 2009. Statics
- [13] **The Energy Conservation Center Japan.**,
<http://www.asiaeec-col.eccj.or.jp/top_runner/index.html>, alındığı tarih 20.06.2009.
- [14] **Tonus Ö.**, 2004. Genişleyen Avrupa Birliği’nin Enerji Politikaları ve Türkiye, *Müzakere Sürecinde Türkiye Avrupa Birliği İlişkileri Uluslararası Sempozyumu*, Ankara.
- [15] **European Commission**, 2003. European Energy and Transport: Trends to 2030, Belçika.
- [16] **Commission of The European Communities**, 2006. Green Paper, *A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy*, Brüksel.
- [17] **Commission of the European Communities**, 2006. Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential, Brüksel, Ekim 19
- [18] **Keskin T.**, 2006. Avrupa Birliğinde ve Türkiye’de Enerji Verimliliğinin Enerji Sektöründe Beklenen Etkileri, *10. Enerji Kongresi*, Kasım 27–30

- [19] **Energy Efficiency Watch**, 2007. Final Report on the Evolution of National Energy Efficiency Action Plans, Haziran 30.
- [20] **European Commission**, 2009. Call for Proposals 2009 for Actions Under the Programme “Intelligent Energy Europe”, Haziran 25.
- [21] **U.S Government Printing Office**, 2001. National Energy Policy, Report of the National Energy Policy Development Group, Washington, DC 20402–001.
- [22] **Nadel S.**, 2004. “Appliance & Equipment Efficiency Standards in the US: Accomplishments, Next Steps and Lessons Learned”. European Council for an Energy-Efficient Economy. Summer Study Proceedings, 2003. Abstract, Mart 18.
- [23] **US Department of Energy**, Industrial Technologies Program, <http://www1.eere.energy.gov/industry/index.html>, alındığı tarih 15 Temmuz 2009.
- [24] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, 2006. İstatistikler.
- [25] **Keskin T.**, 2008. Enerji Verimliliğinde Politikalar, *Mühendis ve Makine* Cilt: 49 Sayı: 576
- [26] **Bağlı ve İlgili Kuruluşlar Dairesi Başkanlığı**, 2008. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Ankara.
- [27] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, Enerji, Elektrik, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=elektrik&bn=219&hn=219&nm=384&id=386>, alındığı tarih 20.07.2009.
- [28] **Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı**, 2008. Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri.
- [29] **Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş.**, 2008. Yıllar İtibariyle Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin Sektörlere Dağılımı.
- [30] **Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş.**, 2008. Yıllık Rapor.
- [31] **Hepbaşlı Prof. Dr. A.**, 2007. Enerji Verimliliği Kanunu ve Bilinmesi Gerekenler, *Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği Semineri*, İstanbul.
- [32] **Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması İçin Alacakları Önlemler Hakkında Yönetmelik**, 1995. Kasım 11.
- [33] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi Sanayide Enerji Verimliliği Şubesi**, Mevzuat, http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarrufu/uetm/mevzuatson.html, alındığı tarih 17.07.2009.
- [34] **Enerji Verimliliği Kanunu**, 2007. Mayıs 2.
- [35] **Enerji Verimliliği Yönetmeliği**, 2008. Ekim 25.
- [36] **Yıldız T.**, 2009. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010 Yılı Bütçe Sunuş Konuşması, Ankara, Aralık 18.
- [37] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, Enerji Verimliliği, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerjiverimliliği&bn=217&hn=&id=587>, alındığı tarih 20.05.2009.
- [38] **Gençoğlu M.T., Özbay E.**, 2007. Aydınlatmada Enerji Verimliliği Yöntemleri, *XII. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi*, Eskişehir, Kasım.
- [39] **Onaygil S.**, 2001. Kent İçi Aydınlatma, *Elektrik Dergisi*, Haziran, s.107-112
- [40] **Keskin T.**, Türkiye'nin Enerji Panoraması, Enerji Verimliliği, <http://www.cedgm.gov.tr/dosya/enerjisenaryo/trenerjiverim.ppt>, alındığı tarih 12.06.2009.

- [41] **Sancak E.**, 2009. Endüstriyel Tesislerde Aydınlatma Tekniği Açısından Enerji Verimliliği, *V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, İzmir.
- [42] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, 2009. Kamuda Verimli Aydınlatmaya Geçiş, Ankara, Ocak.
- [43] **BELD V. D. G., Bommel W. V.**, 2001. Industrial Lighting, Productivity, Health and Well-Being, Philips Lighting.
- [44] **Juslen H., Tenner A.**, 2005. Mechanism Involved in Enhancing Human Performance By Changing the Lighting in the Industrial Workplace, Mayıs 25.
- [45] **Fortuin, G. J.**, 1951. "Visual power and visibility", *Philips Research Report 6*.
- [46] **Brainard, G.C.** 2001. et al. "Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor", *Journal of Neuroscience*.
- [47] **BELD V. D. G., Bommel W. V., Ooyen M. H. F. V.**, 2002. Industrial Lighting and Productivity, Hollanda.
- [48] **Draft European Standard prEN 12464**, 2001. "Lighting of work places", (Comité Européen de Normalisation, CEN).
- [49] **Lange, H.**, 1999. "Handbuch für Beleuchtung", SLG, LiTG, LTG, NSVV, 5. Auflage, Ergänzung.
- [50] **Völker, S., Rüschemschmidt, H., und Gall, D.**, 1995. "Beleuchtung und Unfallgeschehen am Arbeitsplatz", Zeitschrift für die Berufsgenossenschaften.
- [51] **Onaygil S., Güler Ö., Erkin E., Cebeci E.**, 2009. Sanayi Enerji Tüketiminde Aydınlatmanın Yeri ve Tasarruf Potansiyelleri, *Türkiye 11. Enerji Kongresi*, İzmir, Ekim 22.
- [52] **Türk Standartları Enstitüsü**, 2004. TS EN 12464–1, Işık ve Işıklandırma – İş Mahallerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Alandaki İş Mahalleri, Ocak.
- [53] **Mikellides, B.**, 1989. "Emotional and behavioural reaction to colour in the built environment", thesis Oxford.
- [54] **Ueyama, T.** 1999. et al., "Supra-chiasmatic nucleus: a central autonomic clock", *Nat. Neuroscience*.
- [55] **Scheer, F.A.**, 1999. et. al., "Light and diurnal cycle affect human heart rate: possible role for the circadian pacemaker", *Journal of Biological Rhythms*.
- [56] **Lam, R.**, 1998. et al. Canadian consensus guidelines for the treatment of seasonal affective disorder.
- [57] **Van Someren, E.J.W.**, 1997. Rest activities in ageing, Alzheimer's disease and Parkinson's disease.
- [58] **Lam, L.W.**, 1989. Light therapy for seasonal bulimia. *American Journal of Psychiatry*.
- [59] **SLTBR** , Society for light treatment and biological rhythms. Various publications and bulletins.
- [60] **Mehrabian, A., Russell, J.A.**, 1974. An approach to environmental psychology. Cambridge, MA: *MIT pres*.
- [61] **Mersch, P.P.A.**, 1999. et al. The prevalence of seasonal affective disorder in the Netherlands: A prospective and retrospective study of seasonal mood variation in the general population. *Biol. Psychiatry* 45 1013–1022.

- [62] **Boyce, P.R.**, 1997. et. al., “Lighting the graveyard-shift: the influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of night shift workers”, *Lighting Research and Technology*.
- [63] **Kerkhof, G.A.**, 1999. Licht en prestatie. Proceedings. Symposium Licht en Gezondheid, Amsterdam.
- [64] **Partonen, T.**, 2000. et al., “Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people”, *Journal of Affective disorders*.
- [65] **Begemann, S.H.A.**, 1997. et. al., “Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses”, *International Journal of Industrial Ergonomics*.
- [66] **Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I., Slater, A., Bedocs, L.**, 1989. "Fluorescent lighting, headaches and eyestrain", *Lighting Research and Technology*.
- [67] **Kuller, R., Laike, T.**, 1998. "The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal", *Journal of Ergonomics*.
- [68] **Juslen H.**, 2006. Lighting and Productivity in the Industrial Working Place, *Proceedings of Fifteenth International Symposium*, Lighting Engineering Society of Slovenia.
- [69] **Juslen, H., und Kremer, E.**, 2005. Localised lighting for efficient use of energy and better performance – Field Study in the factory. *CIE mid-term meeting and international lighting Congress*, León, Proceedings.
- [70] **Kofod C.**, 2001. Market Research on the Use of Energy Efficient Lighting in the Commercial Sector: Final Report, for DEFU and DG TREN of the European Commission, SAVE Contract No. 4.1031/Z/97-029, DEFU, Denmark.
- [71] **Onaygil S.**, 2008. Dış Aydınlatma, Fotometrik Büyüklükler, Ders Notu, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [72] **Onaygil S.**, 2008. Endüstri Tesislerinin Aydınlatmasında Enerji Tasarrufu, Ders Notu, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [73] **International Energy Agency**, 2006. Light’s Labour’s Lost, Policies for Energy Efficient Lighting, Paris.
- [74] **CADDET**, 1991. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies.
- [75] **Onaygil S., Güler Ö., Erkin E., Cebeci E.**, 2009. Endüstride Tavan Yüksekliğine Bağlı Aydınlatma Çözümleri, *Ulusal Elektrik Tesisatı Kongresi, V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, s. 70- 79, 7-10 Mayıs, İzmir.
- [76] **European Lamp Companies Federation**,
<http://www.elcfed.org/2_lighting_key.html>, alındığı tarih 11.07.2009.
- [77] **Philips Katalog**,
<http://www.lighting.philips.com/tr_tr/catalogue.php?main=tr_tr&parent=1&id=&lang=tr>, alındığı tarih 02.08.2009.
- [78] **Lamptech**, <<http://lamptech.thomasnet.com/viewitems/all-categories>>, alındığı tarih 10.07.2009.
- [79] **İmal N., Uyaroğlu Y.**, 2007. Deşarj Lambalarında Balast Seçiminin Önemi ve Civa Buharlı Lambalardaki Etiketleri, *IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, İzmir.
- [80] **Eklund N.H., Boyce P.R., and Simpson S. N.**, 1999. “Lighting and sustained performance” New York.

- [81] **Celma Ballast Guide EN200212**,
<<http://www.eugreenlight.org/pdf/BallastGuideEN200212.pdf>>,
alındığı tarih 15.10.2009.
- [82] **Philips Lighting**, 2008. Endüstri Tesislerinde Aydınlatma, Philips.

EKLER

EK A.1 : TS EN 12464-1'e göre çeşitli sektörler için aydınlatma kalite değerleri

EK A.2 : Lamba özellikleri ve uygulama alanları

EK A.3 : Örnek tasarım

EK A.4 : Örnek maliyet hesabı

Çizelge A.1 : TS EN 12464-1'e göre çeşitli sektörler için aydınlatma kalite değerleri

Sektör	Çimento, Beton , Tuğla Endüstrisi			
	Çalışma alanı ve aktivite	Aydınlık Düzeyi E (lx)	Kamaşma UGRL	Renksel Geriverim Ra
	-Kurutma	50	28	20
	Malzeme hazırlama, fırınlar ve -karıştırıcıların çalışması	200	28	40
	-Genel makine çalışması	300	25	80
	-Kaba formlar	300	25	80
Sektör	Seramik, Fayans, Cam Endüstrisi			
	Çalışma alanı ve aktivite	Aydınlık Düzeyi E (lx)	Kamaşma UGRL	Renksel Geriverim Ra
	-Kurutma	50	28	20
	-Genel makine çalışması	300	25	80
	Emaye, Haddeleme, Presleme, -Şekillendirme, Cam Üfleme	300	25	80
	Taşlama, Gravür, Cam Parlatma, Hassas -Parçaların Şekillendirmesi	750	19	80
	-Optik cam, Kristal cam, El imalatı	750	16	80
	-Hassas çalışma dekoratif el boyama gibi	1000	16	90
	-Sentetik değerli taş üretimi	1500	16	90
Sektör	Kimyasal, Plastik, Lastik Endüstrisi			
	Çalışma alanı ve aktivite	Aydınlık Düzeyi E (lx)	Kamaşma UGRL	Renksel Geriverim Ra
	-Uzaktan işletilen işlemler tesisi	50		20
	-Elle müdahaleli işlemler tesisi	150	28	40
	-İnsanların çalıştığı işlemler tesisi	300	25	80
	-Hassas ölçüm odaları, laboratuvar	500	19	80
	-İlaç üretimi	500	22	80
	-Lastik üretimi	500	22	80
	-Renk denetimi	1000	16	90
	-Kesme, son denetleme	750	19	80

Çizelge A.1 : TS EN 12464-1'e göre çeşitli sektörler için aydınlatma kalite değerleri

Sektör	Elektrik Endüstrisi			
	Çalışma alanı ve aktivite	Aydınlık Düzeyi E (lx)	Kamaşma UGRL	Renksel Geriverim Ra
	- Kablo üretimi	300	25	80
	- Sarım			
	Büyük bobin	300	25	80
	Orta bobin	500	22	80
	Küçük bobin	750	19	80
	- Bobin kaplama	300	25	80
	- Galvanizleme	300	25	80
	- Çalışma alanı			
	Kaba işler, örnek: büyük transformatör	300	25	80
	Orta işler, örnek: elektrik panosu	500	22	80
	İnce işler, örnek: telefon	750	19	80
	Hassas işler, örnek: ölçü aletleri	1000	16	80
	- Elektronik atölyesi, test, ayarlama	1500	16	80
Sektör	Dökümhaneler ve Metal Döküm Endüstrisi			
	Çalışma alanı ve aktivite	Aydınlık Düzeyi E (lx)	Kamaşma UGRL	Renksel Geriverim Ra
	- Bir adam büyüklüğünde tüneller	50	-	20
	- Platformlar	100	25	40
	- Kum hazırlama	200	25	80
	- Giyinme odası	200	25	80
	- Kule ve karıştırıcılardaki çalışma yerleri	200	25	80
	- Parça döküm alanı	200	25	80
	- Kalıp bozma alanı	200	25	80
	- Makine kalıp	200	25	80
	- Pres döküm	300	25	80
	- Model tasarım	500	22	80

Çizelge A.1 : TS EN 12464-1'e göre çeşitli sektörler için aydınlatma kalite değerleri

Sektör	Haddehane, Demir ve Çelik İşleri Endüstrisi			
	Çalışma alanı ve aktivite	Aydınlık Düzeyi E (lx)	Kamaşma UGRL	Renksel Geriverim Ra
	- El imalatı hariç üretim bölümleri	50	-	20
	- Nadir el imalatı olan üretim bölümleri	150	28	40
	- Sürekli el imalatı olan üretim bölümleri	200	25	80
	- Yarı mamül çelik deposu	50	-	20
	- Fırın	200	25	20
	- Hadde dizisi, kesme hattı	300	25	40
	- Kontrol platformu, kontrol paneli	300	22	80
	- Test, ölçüm, ve denetleme	500	22	80
Sektör	Tekstil Endüstrisi			
	Çalışma alanı ve aktivite	E (lx)	UGRL	Ra
	- Balya açma çalışma alanı	200	25	60
	- Hallaçlama, yıkama, ütüleme, çizim, haşılama, taraklama, ön eğirme, jüt	300	22	80
	- Eğirme, Bükme, iplik çekimi, bobinleme	500	22	80
	- Çözücü, dokuma, örgü	500	22	80
	- Dikim, nakış	750	22	80
	- Elle tasarım	750	22	90
	- Terbiye, boyama	500	22	80
	- Kurutma odası	100	28	60
	- Kumaş baskı	500	25	80
	- Cimbızlama, ayıklama, kesme	1000	19	80
	- Renk kontrolü, kumaş yüzey kontrolü	1000	16	90
	- Kumaş tamiri	1500	19	90
	- Şapka üretimi	500	22	80

Çizelge A.2 : Lamba özellikleri ve uygulama alanları

LAMBA TİPİ	LAMBA ÖZELLİKLERİ	UYGULAMA
Tungsten Halojen Lamba (Alçak Gerilim)	Çok küçük lambalardır. Direkt olarak yüksek bir ışık huzmesi üretirler. Transformatörden dolayı bir miktar kayıpları vardır. Etkinlik faktörleri 15–33 lm/W ve ömürleri 2000–6000 saattir. Yüksek renk sıcaklığı ve renk geriverimi.	Spot aydınlatma için uygundur.
Tunsten Halojen Lamba (Şebeke Gerilimi)	Enkandesan lambalara göre bir miktar daha fazla verimlidir. Etkinlik faktörü 15–25 lm/W, lamba ömrü 2000–6000 saat, renksel geriverim indeksi yüksek ve renk sıcaklığı düşüktür.	Spot aydınlatma için uygundur.
Lineer Fluoresan Lamba	Lambanın tipine bağlı olarak verimlilik orta seviyeden en üst seviyelere çıkmaktadır. En üst seviye elektronik balast kullanıldığında sağlanmaktadır. Etkinlik faktörü 60–100 lm/W, lamba ekonomik ömrü 7000–20000 saat, renksel geriverim indeksi çok yüksek ve renk sıcaklığı aralığı geniştir.	Geniş bir kullanım alanı vardır. İç mekan aydınlatması için çok uygundur, kullanımı ile tasarruf sağlanır.
Kompakt Fluoresan Lamba, Elektronik Balastlı	Direkt olarak enkandesan lambalarla değiştirilebilir. Enerji tasarrufu çok yüksektir ve aynı zamanda lamba ömrü çok uzundur. Loşlaştırılmaz. Etkinlik faktörü 35–80 lm/W, lamba ömrü 5000–15000 saat, renksel geriverim indeksi çok yüksek ve renk sıcaklığı aralığı geniştir.	Enkandesan lambaların kullanıldığı hemen hemen tüm alanlarda kullanılmaktadır.
Kompakt Fluoresan Lamba, Harici Elektronik Balastlı	Bu lambaların verimleri yüksektir. Özel tasarlanmış elektronik balastlar ile loşlaştırılabilir. Etkinlik faktörü 60–80 lm/W, lamba ömrü 10000–20000 saat, renksel geriverim indeksi çok yüksek ve renk sıcaklığı aralığı geniştir.	Bu lambalar da enkandesan lambalara alternatif olarak kullanılırlar. Balast dahil lambalara göre etkinlik seviyeleri biraz daha yüksektir.

Çizelge A.2 : Lamba özellikleri ve uygulama alanları

Metal Halide Lamba	Orta seviyeden yüksek seviye etkinliğe doğru lümen aralığı çok geniştir. Lambanın istenen ışık şiddetini vermesi birkaç dakika alabilir. Loşlaştırılması zordur, yapıldığı bazı durumlarda lümen kalitesinde düşme meydana gelir. Etkinlik faktörü 47–105 lm/W, lamba ömrü 6000–20000 saat, renksel geriverim indeksi orta - yüksek ve renk sıcaklığı aralığı geniştir.	Çalışma süresi yüksek olan orta ve yüksek seviye iç ve dış aydınlatmalar için uygundur. En çok kullanıldığı yerler sanayi sektörü ve cadde aydınlatmasıdır.
Seramik Deşarj Tüplü Metal Halide Lamba	Düşük etkinlik seviyesinden yüksek seviyeye doğru lümen aralığı olan verimli lambalardır. Lambanın istenen ışık şiddetini vermesi birkaç dakika alabilir. Loşlaştırılması zordur. Etkinlik faktörü 67–104 lm/W, lamba ömrü 6000–15000 saat, renksel geriverim indeksi çok yüksek ve renk sıcaklığı aralığı geniştir.	İç aydınlatmada halojen lambalar yerine kullanılabilir. Bunun yanında cadde ve mimari aydınlatmada yüksek verim ve yüksek renksel geriverim sağlar.
Yüksek Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba	Yüksek verimli lambalardır. Lümen aralığı geniştir. Renksel geriverimi düşüktür ve istenen ışık şiddetine ulaşması birkaç dakika almaktadır. Etkinlik faktörü 70–120 lm/W, lamba ömrü 5000–28000 saat, renksel geriverim indeksi ve renk sıcaklığı düşük.	Renksel geriverimin gerekli olmadığı endüstriyel aydınlatma ve cadde aydınlatmalarında kullanılmaktadır.
Alçak Basınçlı Sodyum Buharlı Lamba	Yüksek verimli lambalardır. Tek renkli ışıktır, renksel geriverimi yoktur. Etkinlik faktörü 120–200 lm/W, lamba ömrü 10000–16000 saat, renksel geriverim indeksi sıfır ve renk sıcaklığı düşüktür.	Renksel geriverimin gerekli olmadığı düşük maliyetli dış aydınlatma uygulamalarında kullanılabilir
Yüksek Basınçlı Civa Buharlı Lamba	Orta seviyeden yüksek seviye etkinliğe doğru lümen aralığı çok geniştir. Renksel geriverimi zayıftır ve kararlı hale gelmesi uzun zaman alır. Etkinlik faktörü 23–60 lm/W, lamba ömrü 6000–12000 saat, renksel geriverim indeksi sıfır ve renk sıcaklığı düşüktür.	OECD üyesi olmayan ülkelerde genellikle cadde, güvenlik ve endüstriyel aydınlatmada kullanılır. Başlangıç maliyetleri düşük olmasına rağmen lambanın kullanım ömrü diğer eşdeğer lambalarla karşılaştırıldığında ekonomik değildir.
İndüksiyon Lambası	Lamba kullanım ömrü 30000–100000 saattir. Etkinlik faktörü 55–80 lm/W, renksel geriverim yüksek ve renk sıcaklığı yüksektir.	İlk maliyet pahalı olmasına rağmen bu lambalar özellikle yüksek montaj ve bakımın maliyetli olduğu yerlerde kullanılırlar. Tünel aydınlatması gibi.

Çizelge A.3: Örnek tasarım

Pasabahçe Kirklareli Fabrikası

Sogutma Sonu1

Date: 11-08-2009

Designer: Reha GÖKMEN

The nominal values shown in this report are the result of precision calculations, based upon precisely positioned luminaires in a fixed relationship to each other and to the area under examination. In practice the values may vary due to tolerances on luminaires, luminaire positioning, reflection properties and electrical supply.

CalcuLuX Indoor 5.0b

Çizelge A.3: Örnek tasarım

Pasabahçe Kırklareli Fabrikası

Soğutma Sonu1

Date: 11-08-2009

1. Summary

1.1 Room Summary

Room Dimensions			Surface		Reflectance
Width	120.00	m	Ceiling		0.50
Length	40.40	m	Left Wall		0.30
Height	8.50	m	Right Wall		0.30
Working Plane Height	0.80	m	Front Wall		0.30
			Back Wall		0.30
			Floor		0.10

Room Position (Front Bottom Left)		
X	0.00	m
Y	0.00	m

Total Average Room Surface Luminance (cd/m²):

Ceiling	Left	Right	Front	Back	Floor
1.8	4.9	4.9	5.0	5.0	3.2

Unified Glare Rating (CIE): 28

The overall maintenance factor used for this project is 1.00.

1.2 Project Luminaires

Code	Qty	Luminaire Type	Lamp Type	Power (W)	Flux (lm)
A	80	TMS022/258 GMS 022 R	2 * TL-D58W	111.0	2 * 5000

The total installed power: 8.88 (kWatt)

Number of Luminaires Per Arrangement:

Arrangement	Luminaire Code	Power (kWatt)
Room Block	A 80	8.88

Çizelge A.3: Örnek tasarım

Pasabahçe Kırklareli Fabrikası

Soğutma Sonu1

Date: 11-08-2009

1.3 Calculation Results

(I)luminance Calculations:

Calculation	Type	Unit	Ave	Min/Ave	Min/Max	Result
Grid	Surface Illuminance	lux	102	0.52	0.45	Total

Çizelge A.3: Örnek tasarım

Pasabahçe Kırklareli Fabrikası

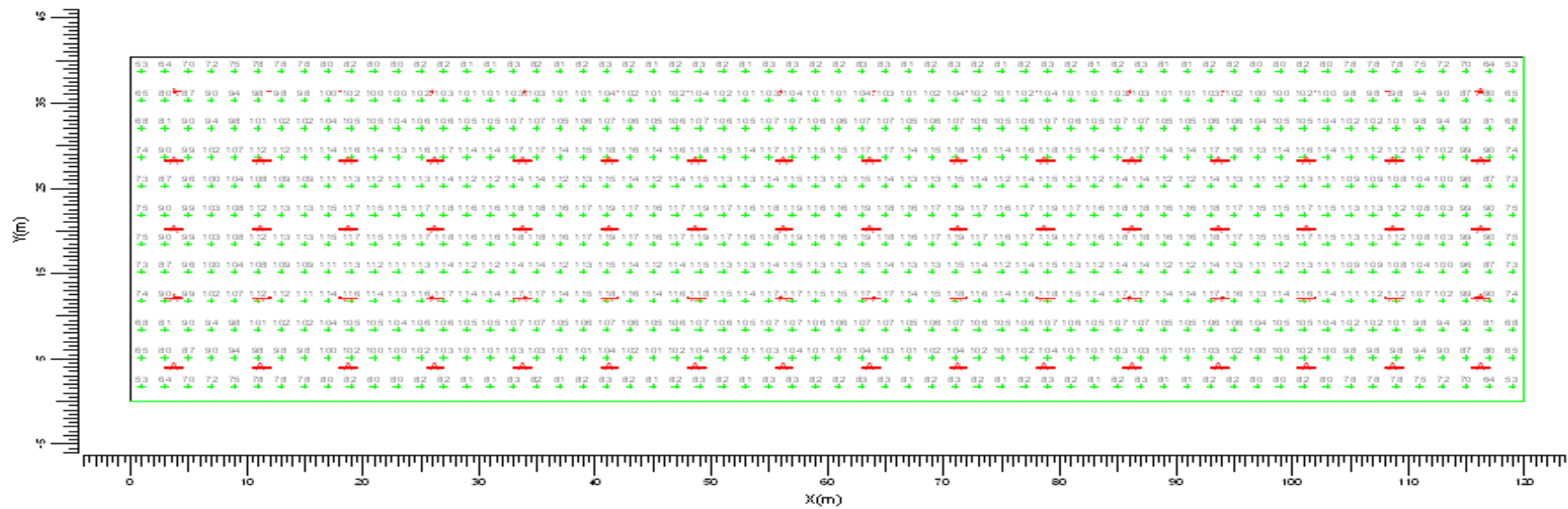
Soğutma Sonu1

Date: 11-08-2009

2. Calculation Results

2.1 Grid: Graphical Table

Grid : Grid at Z = 0.80 m
 Calculation : Surface Illuminance (lux)
 Result Type : Total



A → TMS022/258 GMS 022 R

Average
102

Min/Ave
0.52

Min/Max
0.45

Project maintenance factor
1.00

Scale
1:500

Çizelge A.3: Örnek tasarım

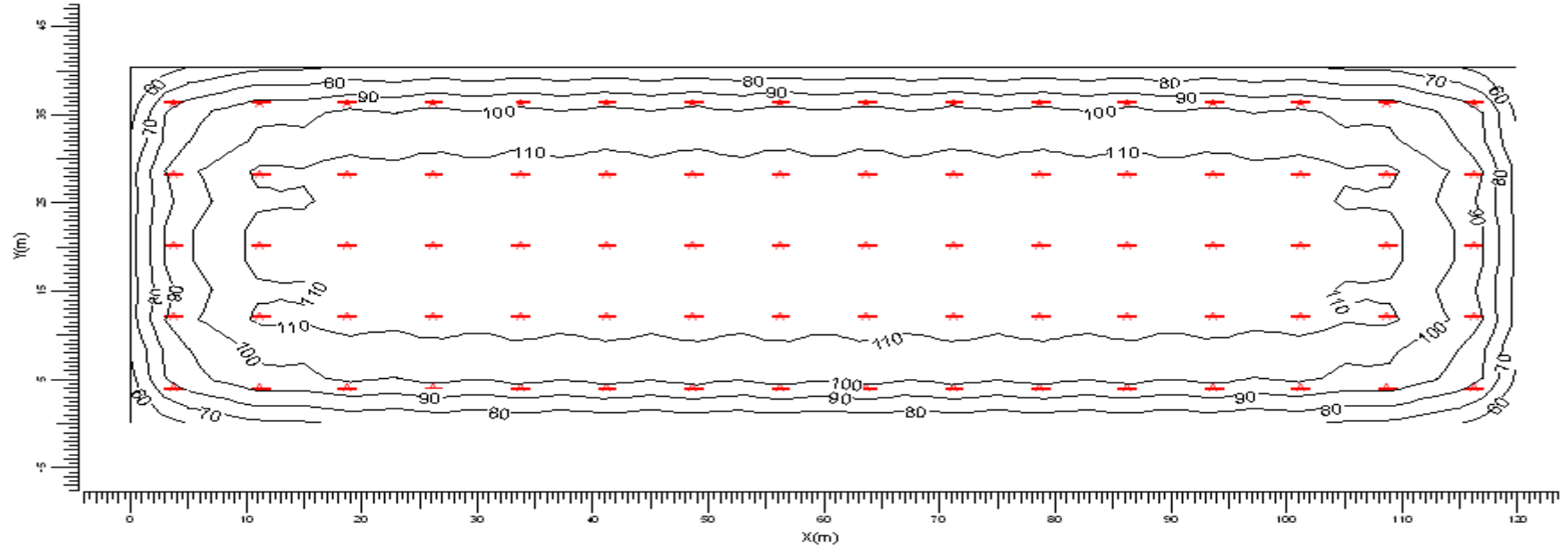
Pasabahçe Kırklareli Fabrikası


Soqutma Soru1

Date: 11-08-2009

2.2 Grid: Iso Contour

Grid : Grid at Z = 0.80 m
Calculation : Surface Illuminance (lux)
Result Type : Total



A  TMS022/258 GMS 022 R

Average
102

Min/Ave
0.52

Min/Max
0.45

Project maintenance factor
1.00

Scale
1:500

Çizelge A.3: Örnek tasarım

Pasabahçe Kirklareli Fabrikası

Soğutma Sonu1

Date: 11-08-2009

3. Luminaire Details

3.1 Project Luminaires

TMS022/258 GMS 022 R 2xTL-D58W/830



Light output ratios

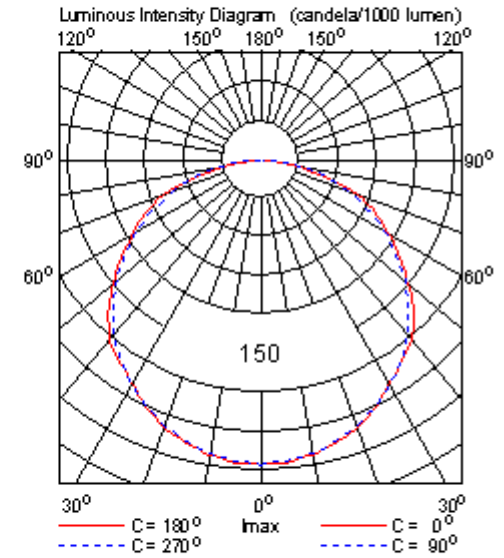
DLOR : 0.70
ULOR : 0.00
TLOR : 0.70

Ballast : Electronic

Lamp flux : 5000 lm

Luminaire wattage : 111.0 W

Measurement code : LVN7787000



EK A.4

Mamul ambar kısmı için örnek maliyet hesaplama;

Mevcut Durum,

Saatlik tüketim: 113 kW

Günlük çalışma süresi : 15 saat (Gündüz : 2 saat, Puant : 5 saat, Gece : 8 saat)

Yıllık çalışma süresi : 360 gün (5400 saat)

Günlük elektrik tüketimi : $113*2=226$ kWh (Gündüz)

$113*5=565$ kWh (Puant)

$113*8=904$ kWh (Gece)

Yıllık elektrik tüketimi : $226*360=81\ 360$ kWh (Gündüz)

$565*360=203\ 400$ kWh (Puant)

$904*360=325\ 440$ kWh (Gece)

Toplam : 610 200 kWh

Yıllık elektrik maliyeti : $81\ 360*0,15887=12\ 925,66$ TL

$203\ 400*0,26916=54\ 747,14$ TL

$325\ 440*0,07955=25\ 888,75$ TL

Toplam : 93 561,55 TL

Yeni Durum,

Saatlik tüketim: 65,3 kW

Günlük çalışma süresi : 15 saat (Gündüz : 2 saat, Puant : 5 saat, Gece : 8 saat)

Yıllık çalışma süresi : 360 gün (5400 saat)

Günlük elektrik tüketimi : $65,3*2=130,6$ kWh (Gündüz)

$65,3*5=326,5$ kWh (Puant)

$65,3*8=522,4$ kWh (Gece)

Yıllık elektrik tüketimi : $130,6*360=47\ 016$ kWh (Gündüz)

$326,5*360=117\ 540$ kWh (Puant)

$522,4*360=188\ 064$ kWh (Gece)

Toplam : 352 620 kWh

Yıllık elektrik maliyeti : $47\ 016*0,15887=7\ 469,43$ TL

$117\ 540*0,26916=31\ 637,06$ TL

$188\ 064 *0,07955=14\ 960,50$ TL

Toplam : 54 066,99 TL

Yıllık enerji tasarrufu : $610\ 200-352\ 600=257\ 580$ kWh

Yıllık kazanç : $93\ 561,55-54\ 066,99=39\ 494,56$ TL

Yüzde kazanç : $1-(352\ 620/610\ 200)=\%42,2$

Geri ödeme süresi;

Geri ödeme süresinin hesaplanmasında Basit Geri Ödeme Süresi (Simple Payback Period) yöntemi kullanılmıştır.

Armatür birim maliyeti : 70 TL

Armatür sayısı : 640 adet

Armatür toplam maliyeti : $70*640=44\ 800$ TL

Geri ödeme süresi : $44\ 800/39\ 494,56=1,13$ yıl

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mehmet Reha GÖKMEN

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 07.01.1981

Adres: Cam sanayi loj. 12/6 Büyükkarıştıran / Lüleburgaz

Lisans Üniversite: Elektrik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi