

ANKARA İLİNDEKİ KONUTLARDA AYDINLATMA TEKNOLOJİSİ TERCİHLERİ

RESIDENTIAL LIGHTING TECHNOLOGY PREFERENCE IN ANKARA

MELİS YÜKSELEN

Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ŞENGÜL

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2018

MELİS YÜKSELEN'in hazırladığı "Ankara İlindeki Konutlarda Aydınlatma Teknolojisi Tercihleri" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ramazan SARI

Başkan



Dr. Öğr. Üyesi Hatice ŞENGÜL

Danışman



Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ

Üye



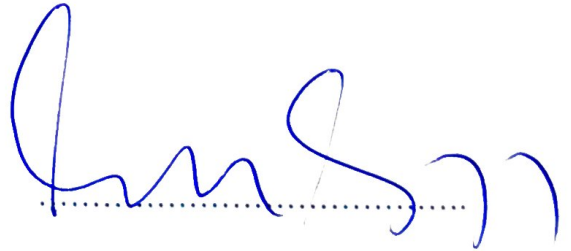
Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL

Üye



Doç. Dr. Selim L. SANİN

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Anneme ve Babama

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☒ Tezimin/Raporumun 26/06/2018 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☐ Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- ☐ Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

26/06/2018


(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

MELİS YÜKSELLEN

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26 / 06 / 2018

İmza

MELİS YÜKSELEN

ÖZET

ANKARA İLİNDEKİ KONUTLARDA AYDINLATMA TEKNOLOJİSİ TERCİHLERİ

Melis YÜKSELEN

Yüksek Lisans, Çevre Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hatice ŞENGÜL

Haziran 2018, 98 sayfa

Uluslararası Enerji Kurumu (IEA) raporlarına göre dünya genelinde 33 milyardan fazla ampul yılda yaklaşık 2650 TWh enerji tüketmektedir ve aydınlatma için talep edilen elektrik, toplam harcanan elektriğin %19'una karşılık gelmektedir. Yüksek verimlilikteki yeni aydınlatma teknolojileri konutlardaki aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Bu sebeple ulusal politikalar ve yapılan bilinçlendirme kampanyaları en yüksek enerji tasarrufu potansiyeline sahip LED (Light-Emitting Diode) teknolojisi üzerinde yoğunlaşmıştır. Türkiye dahil bir çok ülkede aydınlatma karakterizasyonu için net difüzyon ve tüketim bilgileri bulunmamaktadır. Bu çalışmada, evsel aydınlatmada son kullanıcı davranışlarını daha iyi anlamak amacıyla Ankara ilindeki 138 konutta anket uygulaması yapılmıştır. Araştırma kapsamında ülkemizdeki LED aydınlatma adaptasyon seviyesi, aydınlatmada enerji tasarrufu bilinç düzeyi belirlenmiş ve aydınlatma kaynaklı elektrik tüketim tahmini için aydınlatma envanteri derlenmiştir. Anket sonuçlarından konutlarda yıllık aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi tahmini 203,6 kWh olarak hesaplanmıştır. Anket yapılan evlerde tüketim asimetrik, sağa kayan, lognormal dağılım göstermektedir. Ankara ili genelini yansıtmaları için Monte Carlo metodu ile mevcut verilerin dağılım özelliklerinden 10000 sentetik tahmin verisi üretilerek standart hatası düşük bir ortalama tahmin ve Ankara geneli için aydınlatma kaynaklı tüketim dağılımı oluşturulmuştur. Bu yöntemle Ankara ili için ortalama

aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi 159,8 kWh bulunmuştur. Monte Carlo sonucu ortalaması anket sonucu ortalamasından düşük çıkmıştır. Bunun sebebi lognormal dağılıma uyan ve örnekleme yansıtan düşük aydınlatma tüketimine sahip konutları temsil eden verilerin yüksek oranda bir araya toplanmasıdır. Aynı zamanda dağılımın yüksek standart sapması Ankara genelinde az da olsa yüksek aydınlatma için elektrik tüketime sahip konutların varlığını göstermektedir. Bu konutların gelecek araştırmalarda hedef grup olarak seçilmesi, bu evlerin elektrik tüketiminin neden yüksek olduğunun araştırılması gereklidir. Ankara ili için yapılan Monte Carlo tahmin değeri literatürdeki Avrupa ülkeleri ve Amerika'nın tüketim tahminlerinden düşüktür.

Anahtar kelimeler: LED Adaptasyonu, Konutlarda Aydınlatma Talebi, Enerji Tasarrufu Politikaları, Aydınlatma Cihazları Difüzyonu, Aydınlatma Teknolojileri, Aydınlatma için Elektrik Tüketimi

ABSTRACT

RESIDENTIAL LIGHTING TECHNOLOGY PREFERENCE IN ANKARA

Melis YÜKSELEN

Master of Science, Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Hatice ŞENGÜL

June 2018, 98 pages

According to International Energy Agency reports, more than 33 billion bulbs consume around 2650 Twh of energy and the electricity demanded for lighting corresponds to 19% of the total electricity. New lighting technologies with high efficiency have the potential to significantly reduce the electricity consumption of lighting in the house. For this reason, government policies and awareness-raising campaigns have focused on LED (Light- Emitting Diode) technology, which has the highest energy saving potential. There is no net diffusion and consumption data for the characterization of lighting in many countries, including Turkey. In this thesis study, in order to better understand the end-user behaviors in domestic lighting, questionnaires were applied in 138 houses in Ankara province. Within the scope of the research, LED lighting adaptation level in our country, consciousness level of energy saving in illumination has been determined and lighting inventory has been compiled for estimation of lighting consumption electricity consumption. According to the results of the survey, annual electricity consumption of houses is calculated as 203.6 kWh. Consumption in homes surveyed is asymmetric, right skewness, lognormal distribution. In order to reflect the general picture of Ankara province, Monte Carlo method was used to produce 10,000 estimates of synthetic data from the distribution characteristics of the existing data, and a low average estimate of standard error and consumption distribution based on lighting for the Ankara genre were established. With

this method, average lighting-induced electricity consumption for Ankara province is 159,8 kWh. The Monte Carlo result average was lower than the result of the survey. This is due to the fact that data representing residences with low lighting consumption that fit the lognormal distribution and reflect the sample are gathered together at high speed. At the same time, the high standard deviation of the distribution indicates the presence of houses with electricity consumption for high lighting, albeit a little over the whole of Ankara. It is necessary to investigate why these houses are high as a target group in future research. Monte Carlo estimates for the Ankara province are lower than the European countries and US consumption estimates in the literature.

Keywords: LED Adaptation, Residential Lighting Demand, Energy Saving Policies, Lighting Appliance Diffusion, Lighting Technologies, Electricity Consumption for Lighting

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçimim ve çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösterip desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam **Sn. Dr. Öğr. Üyesi Hatice ŞENGÜL'e**,

Çalışmanın ilerlemesine katkıda bulunan saygıdeğer jüri üyeleri Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ, Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL, Doç. Dr. Selim L. SANİN ve Prof. Dr. Ramazan SARI hocalarıma,

Tez çalışmasının anket aşamasında bana yardımcı olan ve emeği geçen tüm arkadaşlarıma,

Her zaman yanımda olarak bana güç veren ve tüm ideallerime kavuşmamı sağlayan babama, sevgisi, şefkati ve sonsuz güveniyle destek olan anneme ve daima yanımda olan değerli eşim Hadi'ye

En içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER	viii
ÇİZELGELER.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Türkiye’deki Elektrik Tüketimi ve Tüketimi Etkileyen Faktörler ile İlgili Genel Bilgiler	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı.....	4
1.3. Yöntem ve Plan	5
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Aydınlatma Teknolojilerinin Tarihi.....	6
2.1.1. Akkor Ampul.....	7
2.1.2. Floresan Ampul	8
2.1.3. LED Ampul	10
2.1.4. Ampullerin Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	11
2.1.5. LED Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları	14
2.2. Dünyada Sektörlere Göre Aydınlatma Kaynaklı Tüketilen Elektrik Talebi Tahmini.....	15
2.2.1. Konut Sektöründe Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Talebi Tahmini.....	18
2.3. Aydınlatma Sektöründe Enerji Tasarrufu.....	23
2.3.1. Aydınlatma Piyasasına LED Teknolojisi Difüzyonu	24
2.3.2. Aydınlatma Sektöründe Enerji Tasarrufu Potansiyeli	25
2.3.3. Dünyada Enerji Tasarruflu Aydınlatma Teşviki İçin Mevcut Politikalar	27
2.4. Son Kullanıcı Aydınlatma Envanteri için Yapılan Çalışmalar ve Yöntemleri.....	33
2.5. Monte Carlo Metodu ile Elektrik Tüketimi Tahmini Literatür Özeti.....	36
3. MATERYAL VE METOT	39
3.1. Tez Çalışmasında İzlenen Yöntemin Genel Şeması.....	39
3.2. Aydınlatma Karakterizasyonu	40
3.2.1. Anketin Hazırlanması	40

3.2.2.	Örneklem Hesabı ve Gruplandırılması	42
3.2.3.	Anket Verilerinin İşlenmesi.....	43
3.2.4.	Ankete Katılan Konutlar için Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Tüketiminin Hesaplanması	44
3.2.5.	Anket Verilerinin Temel İstatiksel Analizleri	44
3.2.6.	Monte Carlo Metodu ile Aydınlatma için Elektrik Tüketimi Tahmin Verilerinin Üretilmesi	45
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	46
4.1.	Anket Sonuçlarının Analizi	46
4.1.1.	Konut ve Hanehalkı Verilerinin Analizi.....	46
4.1.2.	Teknoloji Adaptasyonunu Etkileyen Faktörler.....	50
4.1.3.	İnovasyon Seviyesi	51
4.1.4.	LED Teknolojisi Bilinç Düzeyi	52
4.1.5.	Karşılaştırmalı Değerlendirme	53
4.1.6.	Aydınlatmada Enerji Tasarrufu Eğilimi	56
4.1.7.	LED Ampul Adaptasyonu Seviyesi.....	58
4.2.	Konutlarda Aydınlatma Tercihlerinin Karakterizasyonu: Aydınlatma Cihazı Tipi ve Sayısı	59
4.2.1.	Konut Geneline Ampul Tipi Dağılımları.....	59
4.2.2.	LED Aydınlatma Teknolojisi Adaptasyonu Seviyesi ile Hanehalkı Özelliklerinin Karşılaştırılması	60
4.2.3.	Konut Geneline Ampul Sayısının Dağılımı.....	60
4.2.4.	Oda Tipine Göre Ampul Sayısı ve Ampul Tipi Dağılımları	62
4.3.	Aydınlatma için Elektrik Tüketimi.....	68
4.3.1.	Konut Geneline Aydınlatma için Tüketim Değerleri	69
4.3.2.	Oda Tipine Göre Aydınlatma için Ortalama Elektrik Tüketimi Değerleri.....	70
4.3.3.	Hanehalkı ve Konut Özelliklerinden Hangi Faktörlerin Aydınlatma Talebini Etkilediğinin İstatiksel Analizi.....	72
4.3.4.	Monte Carlo Metodu ile Aydınlatma için Elektrik Talebi Tahmini	75
5.	ÖZET SONUÇLAR VE GELECEK ARAŞTIRMALAR İÇİN ÖNERİLER	77
	KAYNAKLAR.....	83

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. 1970-2016 Yılları Arasında Toplam Elektrik Tüketiminde Konut ve Aydınlatma Sektörünün Payı[1].....	1
Şekil 1.2. Çin’de Hane Başına Yılda Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Talebi (kWh/yıl) ve Yıllık Hane Geliri (CNY/yıl) Grafiği [5]	3
Şekil 1.3. Türkiye’de 1975-2014 Yılları Arasında Kişi Başı Net Elektrik Tüketimi (kWh)[9].	3
Şekil 2.1. Farklı Ampul Çeşitleri a. Akkor b. Halojen c. Tüp floresan d. Kompakt floresan e. LED	7
Şekil 2.2. Yıllara Göre Farklı Ampul Çeşitlerinin Verimliliklerindeki Değişim[12]	9
Şekil 2.3. İç Aydınlatmada Kullanılan Farklı Şekillerdeki LED Ampuller	14
Şekil 2.4. Dünyada Elektrik Tüketiminin 1971-2015 Arası Sektörel Dağılım Grafiği (Mtoe) [23]	16
Şekil 2.5. Gece vakti Avrupa’nın Uydu Görüntüsü [25].....	17
Şekil 2.6. REMODECE Projesine Katılan Ülkelerde Konutlardaki Elektrik Kullanımı Dağılımı (Elektrikli Isıtıcı ve Şofben Hariç)[31]	21
Şekil 2.7. REMODECE Projesine Katılan Avrupa Birliği Ülkelerinde Kullanılan Ampul Yüzdeleri [31]	22
Şekil 2.8. Amerika’da Yapılan Araştırmalarda Yıllara Göre Ampul Dağılımları[29] [24] [17][33].....	23
Şekil 2.9. Dünyada ve Avrupa’da LED Ampul Piyasası Senaryosu (milyon Avro)[34]	24
Şekil 2.10. İç Mekan Aydınlatmada Tasarruf Potansiyeli [34].....	26
Şekil 2.11. IEA’nın Yıllara Göre Aydınlatma Talebi Senaryoları[16]	26
Şekil 3.1. Tez Çalışması Yöntem Genel Akış Şeması	40
Şekil 3.2. Aydınlatma Envanteri Ekran Görüntüsü.....	44
Şekil 4.1. Faktörlerin Önem Sırası Dağılımları.....	51
Şekil 4.2. Konut Sayısı ve LED Aydınlatma Edinme Yılı Grafiği	58
Şekil 4.3. Konutlarda Ampul Tiplerinin Genel Yüzdelik Dağılımları	59
Şekil 4.4. Konutlarda Bulunan Toplam Ampul Sayısı Dağılımının Box&Whisker Diyagramı	61
Şekil 4.5. Konutlarda Ampul Sayısı Dağılımı.....	62
Şekil 4.6. Salon Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları.....	63
Şekil 4.7. Yatak Odası Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları	63
Şekil 4.8. Oturma Odası Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları	64
Şekil 4.9. Mutfak Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları	64
Şekil 4.10. Banyo Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları	65
Şekil 4.11. Tuvalet Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları.....	66
Şekil 4.12. Antre Bölümü Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları	66
Şekil 4.13. Balkon Bölümü Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları	67
Şekil 4.14. Depo vb. Bölümlerin Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları.....	68
Şekil 4.15. Yıllık Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Tüketiminin Dağılımı	70
Şekil 4.16. Gelir Gruplarına Göre Yıllık Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Tüketimi.....	72
Şekil 4.17. Konut Alanı Gruplarına Göre Yıllık Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Tüketimi	73

Şekil 4.18. Kişi Başı Yıllık Gelir ve Yıllık Aydınlatma Talebi Arasındaki Doğrusal İlişkinin Grafiği	74
Şekil 4.19. Monte Carlo Metodu ile Aydınlatma için Elektrik Tüketimi Tahmin Verilerinin Sıklık Dağılım Grafiği (kWh/yıl)	75



ÇİZELGELER

Çizelge 2.1: Aydınlatma Teknolojilerinin Karakteristikleri [16][17][18].....	12
Çizelge 2.2: IEA'ya Üye 9 Ülkede Ulusal Bazda Hesaplanan Konutlardaki Ortalama Aydınlatma Karakteristikleri [11][27][28][29][30].....	19
Çizelge 2.3: Avrupa Birliği Genelinde Yıllık Aydınlatma Talebi [32].....	20
Çizelge 2.4: 2030 ve 2050'de LED Teknolojisi Gelişimi [36]	25
Çizelge 2.5: Dünyada Enerji Tasarruflu Aydınlatma İçin Uygulanan Politikalar ve Alınan Önlemler.....	29
Çizelge 2.6: Aşağıdan-Yukarı Yöntemle Aydınlatma Envanteri Oluşturmak için Yapılan Çalışmalar.....	34
Çizelge 2.7: Hanehalkı Geliri ve Aydınlatmadan Kaynaklanan Elektrik Tüketimi Karşılaştırması [67]	36
Çizelge 2.8: Monte Carlo Metodu Kullanılarak Yapılan Tahmin Çalışmaları	38
Çizelge 3.1: Aydınlatma Cihazı Satın Alırken Dikkat Edilen Faktörler	41
Çizelge 3.2: Türkiye Geneli Hanehalkı Aylık Toplam Gelire Göre Gruplandırma ve Çalışmada Uygulanan Gruplandırma [74]	43
Çizelge 4.1: Hanelerin Gelir Seviyesine Göre Dağılımı ve Türkiye Geneli ile Karşılaştırılması	46
Çizelge 4.2: Hanelerin Konut Tipine Göre Dağılımı	47
Çizelge 4.3: Hane Mülkiyet Durumuna Göre Dağılım	47
Çizelge 4.4: Konutlarda Oda Sayısına Göre Dağılım ve Fazladan Sahip Oldukları Alanlar... ..	48
Çizelge 4.5: Konut Büyüklüğüne Göre Gruplandırma ve Dağılımı.....	48
Çizelge 4.6: Hanehalkı Büyüklüğü Dağılımı	49
Çizelge 4.7: Ankete Katılan Kişilerin Yaş Dağılımı	49
Çizelge 4.8: Ankete Katılan Kişilerin Eğitim Durumu Dağılımı	50
Çizelge 4.9: Ankette Yeni Teknoloji Adaptasyonu Süreci İlgili Verilen Seçenekler ve Sonuçları.....	52
Çizelge 4.10: Ankette LED Teknolojisi Hakkında Bilgi Sahibi Olup Olmamak ile İlgili Sonuçlar.....	52
Çizelge 4.11: LED Teknolojisi Bilgi Kaynağı	53
Çizelge 4.12: LED Teknolojisinin En İyi Kullanım Alanı ile İlgili Sonuçlar.....	53
Çizelge 4.13: Ampul Çeşitlerinin Fiyat-Ömür Karşılaştırmasının Sonuçları	54
Çizelge 4.14: Ampul Çeşitlerinin Fiyat-Fatura Karşılaştırmasının Sonuçları	55
Çizelge 4.15: Ampul Çeşitlerinin Fiyat-Amorti Süresi Karşılaştırmasının Sonuçları	55
Çizelge 4.16: Katılımcıların Bir LED Ampul için Ödeyecekleri Maksimum Fiyat ve Sonuçları	56
Çizelge 4.17: Türkiye'de Akkor Ampulün Yasaklanmasının Gerekli Olup Olmadığı ile İlgili Sonuçlar.....	56
Çizelge 4.18: Katılımcıların Odadan Çıktıklarında Odanın Işığını Kapatıp Kapatmadıkları ile İlgili Sonuçlar	57
Çizelge 4.19: Kısılabılır Anahtar ya da Hareket Sensörü Kullanma Oranı	57
Çizelge 4.20: Daha Fazla Ampul ya da Daha Yüksek Işık Kullanma ile İlgili Sonuçlar	57
Çizelge 4.21: LED Aydınlatma Teknolojisi Adaptasyonunu Etkileyen Hanehalkı Özellikleri.....	60

Çizelge 4.22: Konutlarda Bulunan Toplam Ampul Sayısının İstatistiki Özellikleri.....	61
Çizelge 4.23: Oda Tipine Göre Kullanılan Ampul Sayısı ve Dağılımları	62
Çizelge 4.24: Türkiye ile İngiltere'nin Oda Tipine Göre LED Ampul Adaptasyon Oranlarının Karşılaştırılması	68
Çizelge 4.25: Yıllık Aydınlatma Talebinin İstatiksel Özellikleri	69
Çizelge 4.26: Oda Tipine Göre Aydınlatma Talebi Dağılımları için Kolmogorov-Smirnov Testi Sonuçları.....	71
Çizelge 4.27: Oda Tipine Göre Aydınlatma Tercihleri ve Yıllık Ortalama Elektrik Tüketimi (kWh)	72
Çizelge 4.28: Aydınlatma Talebini Etkileyen Konut ve Hanehalkı Özellikleri.....	74
Çizelge 4.29: Monte Carlo Metodu ile Üretilen Tahmin Verilerinin İstatiksel Özellikleri	75
Çizelge 5.1: IEA'ya Üye 9 Ülke ile Türkiye Aydınlatma Envanteri Karşılaştırması	78



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

kWh	Kilowatt-saat
lm	Lümen
m ²	metrekare
Mlm	Megalümen
mtoe	Eşdeğer milyon ton petrol
TWh	Terawatt-saat
W	Watt

Kısaltmalar

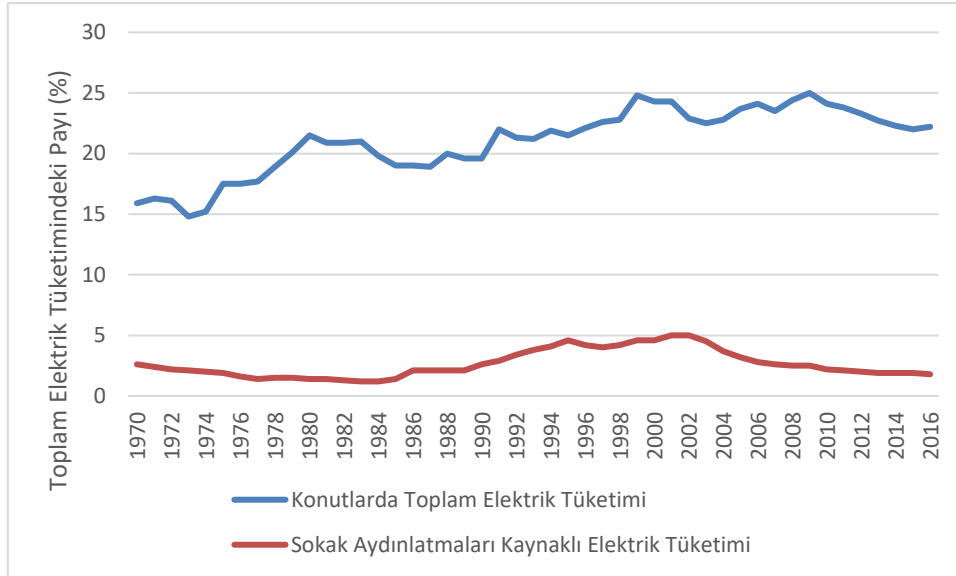
AB	Avrupa Birliği
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçevesi Sözleşmesi
CELMA	Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components
CRI	Colour Rendering Index (Renk Verme Dizini)
CRT	Colour Rendering Temperature (Renk Verme Sıcaklığı)
DOE	Department of Energy (Enerji Kurumu)
ELC	European Lamp Companies Federation
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
IEA	International Energy Agency
ILC	International Lighting Commission
KFL	Kompakt Floresan
LED	Light-Emitting Diode
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
REMODECE	Residential Monitoring to Decrase Energy Use and Carbon Emission
SEA	Sweden Energy Agency

1. GİRİŞ

Bu bölümde, ilk olarak Türkiye’de konutlarda tüketilen toplam elektriğin ve ülkemizde aydınlatma için gerekli elektrik miktarı yıllar içinde değişimi ile ilgili genel bilgiler yer almaktadır. İkinci kısımda, Türkiye’deki konutlarda aydınlatma teknolojisi tercihlerini belirleme amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışmasının amacı, yapısı ve kapsamından bahsedilmiştir. Son kısımda ise, tez çalışmasında izlenen yöntem ve plan kısaca açıklanmıştır.

1.1. Türkiye’deki Elektrik Tüketimi ve Tüketimi Etkileyen Faktörler ile İlgili Genel Bilgiler

Türkiye’de geçmişten günümüze hızlı nüfus artışı ve ülke ekonomisindeki büyüme ile yıllık elektrik tüketiminde de yükselme görülmektedir. TÜİK istatistiklerine göre 1970 yılında ülke genelinde net elektrik tüketimi yaklaşık 7,308 TWh iken 2016 yılında 33 kat artarak 231,204 TWh olarak hesaplanmıştır [1]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre ise elektrik tüketimi 2017 yılı Temmuz ayı sonu itibariyle 2016 yılının Temmuz ayı sonuna göre %4,7 artarak 167,1 TWh olarak gerçekleşmiştir [2].



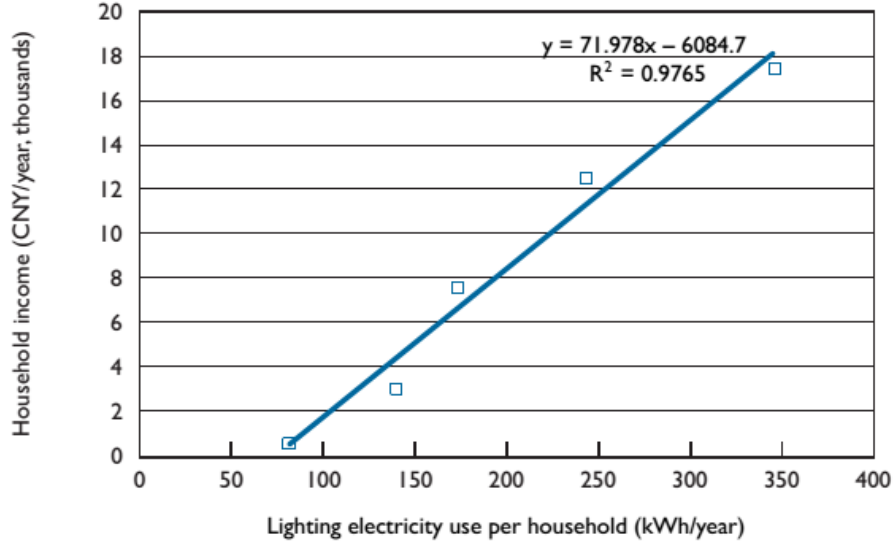
Şekil 1.1. 1970-2016 Yılları Arasında Toplam Elektrik Tüketiminde Konut ve Aydınlatma Sektörünün Payı[1]

Türkiye’de toplam elektrik tüketiminde konutların payı yıllar içinde değişime uğramıştır. Şekil 1.1.’de görüldüğü gibi 1970 yılında konutlarda tüketilen elektrik toplam elektrik tüketiminin %15,9’unu oluştururken 2016 yılında bu pay %22’ye çıkmıştır, ancak son on yıldır bu payda azalma gözlenmektedir.

Türkiye’de aydınlatma ile ilgili kapsamlı çalışmalar yapılmadığı için sanayi, ticaret ve konut sektörlerinde aydınlatma için tüketilen elektrik miktarı ile ilgili veri bulunmamaktadır. Mevcut veriler sadece sokak aydınlatmalarından kaynaklı elektrik tüketimi tahminleridir ve bu yüzdelere baktığımızda 1990-2001 yılları arasında sokak aydınlatmalarından kaynaklı elektrik tüketiminin toplam tüketimdeki payının yıllar içinde arttığı günümüzde ise 1970’lerdeki seviyeye döndüğü görülmektedir.

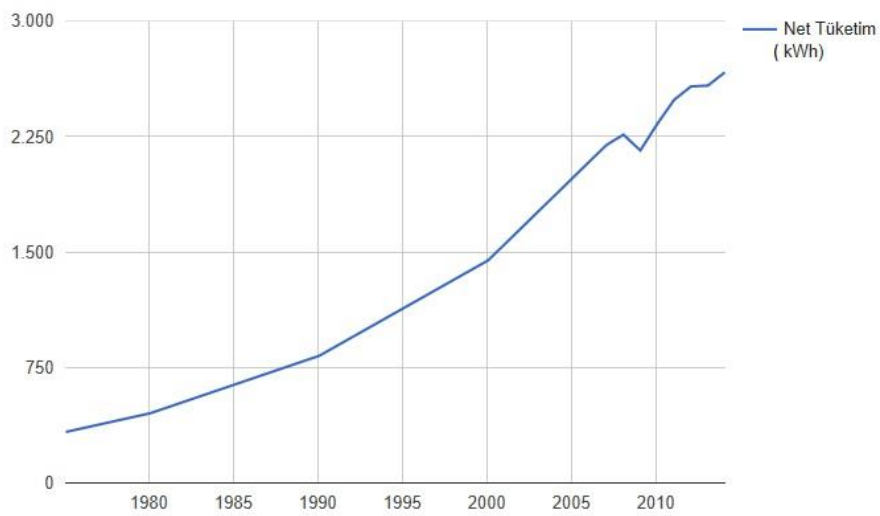
Geçmişten günümüze konutlarda ve aydınlatmada tüketilen elektrikte artan grafiğin bir kaç nedeni olduğu düşünülmektedir. Literatürdeki mevcut çalışmalarda, hanehalkı gelir seviyesinin enerji tüketimiyle pozitif yönde ilişkili olduğu belirtilmektedir [3][4][5]. Abrahamse ve Steg’in yaptığı sosyo-demografik bir çalışmada hane halkı geliri ve hane halkı enerji kullanımı arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur ve bu çalışma, yüksek gelirli hanelerin düşük gelirli ailelere göre daha fazla enerji tükettiğini göstermektedir. Ancak yüksek gelirli haneler daha fazla harcama potansiyeline sahiptir ve bu nedenle, düşük gelirli ailelere göre daha fazla enerji tasarrufu önlemi alma potansiyeline sahiptirler [5].

Literatürde aydınlatma talebi ve gelir seviyesi arasında da pozitif yönde ilişki olduğu ortaya konmaktadır. Mills’in 2002’deki 38 ülkenin dahil olduğu araştırmasında Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) ile yıllık aydınlatma talebi arasındaki lineer ilişkide R^2 sayısı 0,39 olarak hesaplanmıştır [6]. Bu ilişkinin tek bir ülke için incelendiğinde daha iyi uyuşabileceği belirtilmiştir çünkü bu durumda farklı güneşlenme süresi, kültürel farklar ve teknoloji düzeyi farklılıkları ortadan kalkacaktır. Çin’de 2004 yılında yapılan bir çalışmada ise konutlardaki aydınlatma talebi ve hanehalkı geliri arasında lineere yakın bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi analiz sonucunda doğrusal uyum yani R^2 sayısı 0,9765 olarak bulunmuştur [7]. Aynı çalışmada uluslararası verilere göre kişi başı aydınlanma talebi (lümen-saat), GSYİH ile karşılaştırıldığında yine yüksek bir ilişki görülmektedir. 11 AB üyesi ülke ve Çin’in dahil olduğu çalışmada bu ilişkideki R^2 sayısı 0,8588 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar gösteriyor ki, kişinin refah düzeyi ile aydınlatma talebi (lmh) ve aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi (kWh) birbirine paralel gitmektedir.



Şekil 1.2. Çin’de Hane Başına Yılda Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Talebi (kWh/yıl) ve Yıllık Hane Geliri (CNY/yıl) Grafiği [5]

Dolayısıyla, ülkemizdeki konutlardaki elektrik tüketiminin artışının sebeplerinden biri ekonomik zenginliğin artışıdır. 1990’da 6.141,08 \$ olan kişi başı gayri safi yurt içi hasıla 4 kat artarak 2016’da 24.412,463 \$ olmuştur [8]. Artan refah düzeyi kişi başı elektrik tüketimi artışına sebep olmuştur. 1975-2014 yılları arasında kişi başı net elektrik tüketimi yükselen bir grafik göstermektedir [9]. Şekil 1.3’de görüldüğü gibi tek düşüş 2008 yılında gerçekleşmiştir. Bu düşüşün sebebinin tüm dünyada etkisini gösteren ve Türkiye’yi de etkileyen ekonomik kriz olduğu söylenebilir.



Şekil 1.3. Türkiye’de 1975-2014 Yılları Arasında Kişi Başı Net Elektrik Tüketimi (kWh)[9]

Konutlarda ve aydınlatmada tüketilen elektriğin yıllar içinde artmasının bir diğer sebebi de nüfusun ve dolayısıyla hane sayısının sürekli artışıdır. 1955 yılında Türkiye’deki hane sayısı 4.237.176 iken 2016 yılında hane sayısı 22.206.776’dır [10]. 2015 yılına göre 2016 yılında gerçekleşen artış ise %2,5 olmuştur.

Bu bulgulara göre artan gelir düzeyi ve nüfus sayısına bağlı olarak artan elektrik tüketimi normaldir fakat yine de bu sebeplerin irdelenmesi gerekir.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Ülkemizde, toplam elektrik tüketiminde konutların payı 2016 yılında %22,2’dir [1]. Bu yüksek oranın kaynaklarından biri aydınlatmadır ve ülkemizde bununla ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu tezin ana amacı, Türkiye’deki konutlarda net aydınlatma karakterizasyonu bilgisi ile tüketim tahmini yaparak Türkiye’nin bir çok metropol bölgesini de yansıtan Ankara ili için durum çalışması yapmaktır. Aynı zamanda daha doğru bir aydınlatma envanteri bilgisi ile konutlarda enerji tasarrufu potansiyelinin doğru hesaplanması ve hükümetlerin izleyeceği politikalar için yol gösterici olmaktadır.

Yapılan bu çalışma kapsamında incelenen ve geneli yansıtacak alt başlıklar aşağıdaki gibidir;

1. Ankara ilindeki konutlarda, kullanıcıların aydınlatma cihazları satın alırken dikkat ettikleri faktörleri,
 - Fiyatı,
 - Yüksek ışık (lümen) vermesi,
 - Enerji tasarruflu olması,
 - Kendini amorti etme süresi,
 - Estetik olması,
 - Çevreci olması,
2. Aydınlatmada enerji tasarrufu farkındalığı olup olmadığını,
3. LED teknolojisi bilinci olup olmadığını,
4. Konutta kullanılan ampul tiplerinin yüzdelik dağılımını ve LED aydınlatma adaptasyonu seviyesini,
5. Oda tipine göre aydınlatma cihazı tercihleri ve sayılarını belirlemek ve
6. Türkiye’deki çeşitliliği içerebilmesi için Ankara ilinde hane başına yıllık ortalama aydınlatma için tüketilen elektrik tahminini yapmaktır.

1.3. Yöntem ve Plan

Tez çalışması kapsamında, Ankara ilinde aşağıdan-yukarı yöntemle 10000 tahmin verisi için örneklem olarak seçilen 138 konutta anket uygulanmıştır. Anket, e-mail ve yüz yüze cevaplama yoluyla yapılmıştır. Veriler, bilgisayar ortamında kaydedilip, istatistiki açıdan değerlendirilmişlerdir. Anket verilerinden elde edilen aydınlatma kaynaklı elektrik tüketim tahminlerinin sıklık dağılım fonksiyonu kullanılarak Ankara ilini temsilen Monte Carlo metodu ile tahmin verileri üretilerek düşük standart hataya sahip ortalama tahmin değeri elde edilmiş ve Ankara geneli için aydınlatma kaynaklı tüketim dağılımı oluşturulmuştur.

Bu tez çalışması beş ana başlıktan oluşmaktadır. Çalışmanın ana amacı ve kapsamı ilk bölümde açıklanmıştır. Çalışma hakkında genel bilgiler ve benzer çalışmalar ikinci bölümde yer almaktadır. Üçüncü bölümde, anket çalışmasının uygulama ve değerlendirme aşamasında kullanılan yöntem geniş kapsamlı olarak açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, aydınlatma verileri, verilerin istatistiki değerlendirilmesi ve verilerden elde edilen dağılım bilgileri ile Ankara ilindeki konutları temsilen Monte Carlo metodu kullanılarak üretilen tahmin verileri kısmı yer almaktadır. Son bölümde ise özet sonuçlar ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

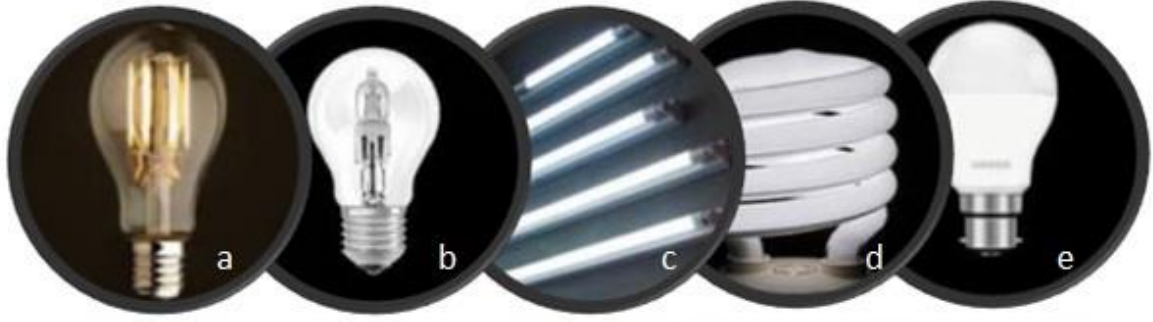
2.1. Aydınlatma Teknolojilerinin Tarihi

Uygarlık tarihinin başlangıcından itibaren aydınlatma, insanlık için önemli bir konu oldu. Binlerce yıl boyunca insanlar hayatlarına ilk güneş ışıklarıyla başlayıp uyku saatleri karanlık saatlerle çakışacak şekilde gece ve gündüz döngüsüne adapte oldular. Gün ışığıyla sınırlı olan faaliyetlerini tamamlamak için yardıma ihtiyaç duydular. Gaz ampullerinden önce kullanılan ilkel ve tehlikeli meşalelerin yanı sıra iç ve dış mekan aydınlatmada mum, yağ lambaları, kandiller ve alkol kullandılar.

Geleneksek olarak halen kullanılmakta olan mumun verdiği ışık şiddeti, günümüzde Uluslararası Sistemde referans alınmaktadır.

18.yüzyılda sanayi devriminden sonra özellikle fabrikalarda gece vakitlerinde çalışabilmek için aydınlatma tekniklerinin geliştirilmesi gereği doğdu. Bu yıllarda İngiltere’de Humphry Davy (1778-1829) ve Michael Faraday (1791-1867) akkor teknolojisinin temelini oluşturacak çeşitli ampuller geliştirdiler. Böylece aydınlatma teknolojisi de başlamış oldu. Humphry Davy, 1802 yılında iki farklı potansiyeldeki elektrotun ampulün içindeki gazı yakarak ışık elde etmesiyle çalışan ark ampullerini icat etti. 1815’de Davy ampulleri olarak bilinen madenci ampullerini geliştirdi. 1835’de James Bowman Lindsay isimli bilim adamı, Dundee’de İskoçya halkı için ampul haline gelmiş ilk elektrikli aydınlatmayı tanıttı, fakat kamusal aydınlatma anlamında ilk uygulama Fransa’nın Paris kentinde 1841 yılında denendi. Daha sonraki yıllarda bilim adamları temel bilim ve mühendislik bilgilerini kullanarak farklı gazlar ve malzemeler deneyerek aydınlatma teknolojilerini geliştirmeye çalıştılar. Bu dönemde parafin ve petrol ampulleri ortaya çıksa da karbonlu bambu filaman ampul gerçek anlamıyla ilk ampuldür.

Elektrikli aydınlatma teknolojisinin ilk temellerinin atıldığı 150 yıl öncesinden bu zamana kadar Şekil 2.1’de yer alan üç büyük kilometre taşı vardır. Bunlardan ilki dünyada uzun bir süre kullanılan ve ülkemizde hala kullanılmakta olan akkor ampullerdir. Bu teknoloji için ikinci dönüm noktası floresan ampuller olmuştur ve son olarak LED ampuller, aydınlatma teknolojisi yerine yüksek enerji tasarruflu aydınlatma teknolojisi sıfatıyla hayatımıza girmiştir. İlerleyen bölümlerde bu teknolojilere ayrı ayrı değinilmiştir.



Şekil 2.1. Farklı Ampul Çeşitleri a. Akkor b. Halojen c. Tüp floresan d. Kompakt floresan e. LED

2.1.1. Akkor Ampul

1878 yılında Thomas Edison ve Joseph Wilson Swan aynı zamanlarda karbon filamanlı akkor ampulleri icat ettiler fakat patentini Edison satın aldı. Böylece aydınlatmada devrim niteliğinde bir adım atılmış oldu. Filaman ampulün başarısı onun iç mekanlarda hızla difüzyonunu sağladı. Çalışma prensibi gereği akkor ampulün aydınlatması için harcanan enerjinin çoğu ısıya dönüşüyordu. İç mekan aydınlatmada filamanlı ampulün temel fonksiyonu doğru yoğunluk ve renk performansı ile görsel işi kolaylaştırmaya odaklanıldığından, düşük verimliliğine uzun yıllar dikkat edilmedi.

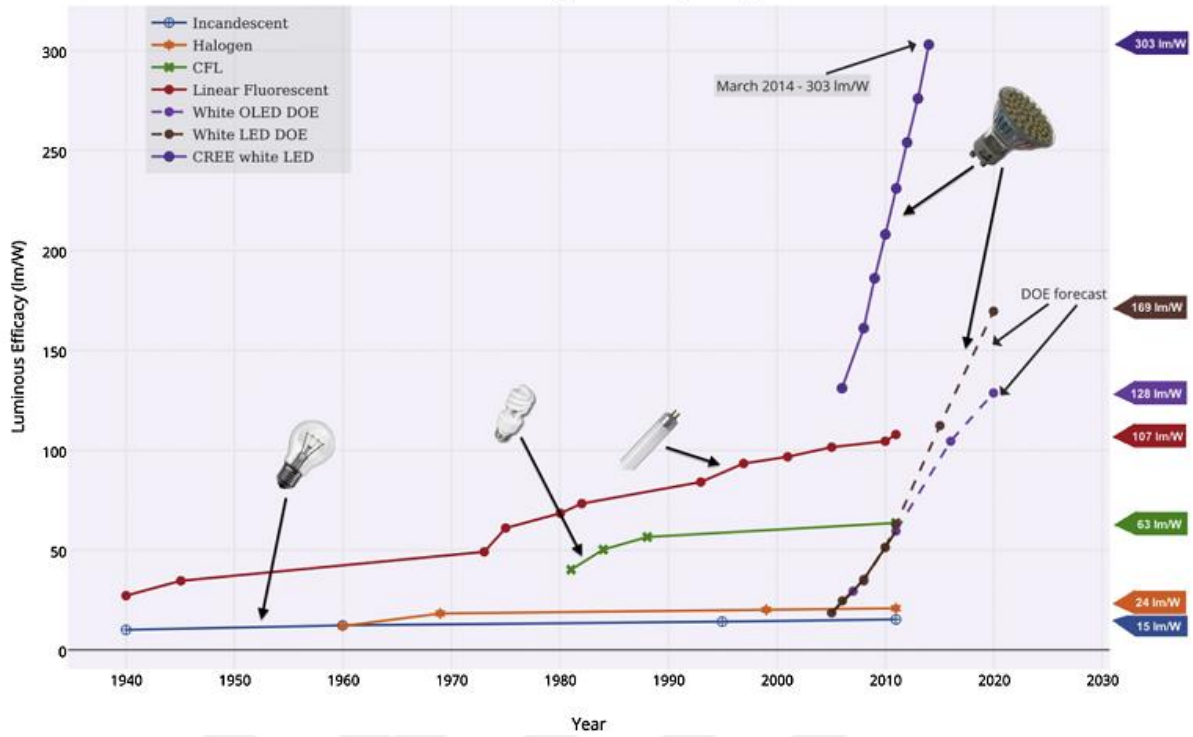
1950 yıllarında Elmer G. Fridrich (1920-2010) ve diğer bilim adamları ampulün içini halojen molekülleri ile doldurmayı düşündüler. Böylece halojen gazı ve tungsten filamanlı ampulün kombinasyonunu geliştirdiler. Bu keşif daha sıcak filaman ile daha az kırmızı ışık yaratılmasına izin verdi.

Kısaca, filaman teknolojisi uzun yıllar iç mekan aydınlatmasında tek seçenek gibi görünüyordu. Yayılan ışık akısının büyük kısmını değerlendirmek için armatürlere reflektörler eklendi ancak daha verimli ampuller elde etmek için çok fazla çalışma yapılmadı.

2.1.2. Floresan Ampul

İç mekan aydınlatmada ikinci önemli buluş olan floresan ampulün ilk temelleri 1860’larda atılsa da geliştirilmesi 1903 yılını buldu [11]. Bu ışık kaynağının çalışma prensibi, ampulün iki ucunda bulunan filamanların akım geçmesiyle ısınarak içindeki gazı ısıtması ve bu sırada akımın marş tarafından kesilip, balastın yüksek bir gerilim oluşturarak tüpün iki ucu arasında akım geçişini sağlamasına dayanıyordu. Tüpün iç yüzeyine fosforlu madde sıvanmıştı ve bu sayede gazdan geçmeye başlayan elektrik akımı ışığı oluşturuyordu.

Floresan teknolojisi ilk kez bulunduğunda bir boru şeklinde tasarlanmıştı ve içinde cıva gazı kullanılmıştı. 1937 yılında düşük basınçlı floresan ampuller pazarlanmaya başlandı [11]. Floresan ampuller Şekil 2.2’de sunulduğu gibi akkor ampullere göre iki kat daha verimliydi ve yaşam süreleri daha uzundu. Kısa zamanda fabrika, dükkan ve diğer iç mekanlarda kullanılmaya başlandı. Bu ampuller daha beyaz ışık veriyordu ve hastane, mutfak, işyeri, okul gibi dikkat gerektirici ve temiz olması gereken yerlerde daha fazla yayıldı. Yatak odası, salon gibi sıcak ışık gereken yerlerde ise hala akkor ampul kullanılmaya devam ediyordu. Fakat floresan ampullerin yanması birkaç saniye sürüyordu ve fazla beyaz ışık vermesi sebebiyle evlerde tercih edilmiyordu. Böylelikle elektronik mekanizmasının geliştirilmesi gereği doğdu. 1972 yılında John Campbell floresan ampulü geliştirerek, akkor ampulün kullanıldığı her armatürde kullanılmasını sağlayacak ilk kompakt floresan ampulü üretti ve patentini aldı. Kompakt floresan ampuller sekiz yıl sonra pazarlara sunuldu.



Şekil 2.2. Yıllara Göre Farklı Ampul Çeşitlerinin Verimliliklerindeki Değişim[12]

Floresan teknolojisine benzer olarak 1911 yılında neon ampuller geliştirildi. Neon aydınlatmalar, elektrikle beslenen içleri seyreltilmiş neon gazı veya benzeri ile dolu, parlak bir biçimde aydınlatan camdan yapılmış tüp veya ampullerden oluşur. Çalışma prensibi açısından floresan ampullere benzerler fakat içlerinde kullanılan gazlar farklıdır. Kullanılan gazlar aydınlatmanın farklı renklerde ışık yaymasını sağlar. Neon ampuller çok yüksek ışık verdiklerinden uzun mesafelerden bile görülebilirler. Bu özellikleri sebebiyle daha çok reklam tabelalarında ve dekorasyonda kullanılırlar. Verdikleri ışık iç mekan aydınlatmaları için uygun olmadığından ve maliyetleri çok yüksek olduğundan iç aydınlatma pazarında yer edinememişlerdir.

Bu teknolojilerin geliştirildiği yıllarda farklı ampul türleri de ortaya çıktı. Örneğin, 1932’de Philips düşük basınçlı sodyum ampulü geliştirdi ve bu ampul sokak aydınlatmasında kullanıldı. 1965’de metal halid ampul piyasaya sürüldü. 1981 yılında ise ilk seramik metal halid ampul Hannover Dünya Aydınlatma Fuarı’nda tanıtıldı[11]. 1992’de indüksiyon bobininin cıva buharında deşarj oluşumunu tetiklemesi sonucu ışık üreten indüksiyon ampulleri diğer adıyla elektro ampuller piyasaya çıktı. Bu ampullerde geleneksel elektrot ya da flaman yapısı olmadığı için ampul ömrü diğer ampul türlerine göre daha uzundur. İndüksiyon ampuller günümüzde sokak aydınlatmaları, otopark aydınlatmaları ve dış cephe aydınlatmalarında kullanılmaktadır.

2.1.3. LED Ampul

Aydınlatma teknolojisini keşfedilen son adımı ve en önemli kilometre taşlarından biridir. LED'in icadı tartışmalıdır. Nick Holonyak Jr tarafından ilk pratik görünür spektrum LED'in 1962'de geliştirildiği biliniyordu [11]. Fakat birkaç yıl önce, LED'in 1927 yılında Oleg Losev tarafından keşfedildiği rapor edildi [13]. LED genelde silisyum olan iki kristalin birleşimine dayanan diyotlardır. Her kristalin iletkenlik özelliklerini değiştirmek için kontrollü sayıda yabancı madde eklenir. Boronör indiyum gibi 3 değerlikli bir materyal kristalin birine eklenerek P yarı iletkenine yer verirken, fosforöz arsenik gibi 5 değerlikli başka bir materyal diğer kristale eklenerek N yarı iletkenine yer verir. Bu işleminden sonra, P yarı iletkeninin iletim bandında elektron eksikliği vardır ve N'de fazlalık vardır. 3 değerli katkı maddesinin çevresindeki silikon atomlardan daha düşük bir dış elektrona sahip olduğu göz önüne alındığında, silikon komşularından ek bir dış elektron yakalayabilir ve kafes içinde birleşir. Bu elektronlar eksik atom değerli bantlarla bir atomdan diğerine geçerken kafes boyunca hareket edebilen bir deliğe neden olur. Aynı şekilde, 5 değerli katkı maddesini çevreleyen silikon atomlarından daha fazla dış elektrona sahip olduğu göz önüne alındığında, katkı maddesinin ekstra elektronu kabuk üzerinde serbestçe hareket ederken katkı maddesi silikon kafes içine entegre edilmiştir. Bu durumla voltaj uygulandığında, elektron ve deliklerin birleşimi gerçekleşir ve verilen enerjiyle fotonlar serbest bırakılır. Bu enerji kullanılan yarı iletkenlere ve katkı maddelerine bağlıdır[12]. LED'in aydınlatma dünyasına erkenden katılamamasının nedeni, düşük ışık akısı ve ilk nesil LED'lerin tek renkliliği oldu. Yeni katkı maddelerinin piyasaya sürülmesi daha güçlü ve verimli LED'lerin üretilmesine yardımcı olurken iç aydınlatmada görsel ve doğru aydınlatma yapılmasını mümkün kıldı.

Görünür spektrumda çalışan ilk LED aslında sadece kırmızı ışık yayıyordu. Bu sorun mavi LED'in geliştirilmesinden bu yana yıllar içinde çözüldü. 2014 yılında Isamu Akasaki, Hiroshi Amano ve Shuji Nakamura isimli Japon bilim adamları, "parlak ve enerji tasarruflu beyaz ışık kaynaklarını etkinleştiren mavi ışık yayan diyotların keşfi" için Nobel fizik ödülünü aldılar[14]. Keşifleri sayesinde bu yeni LED, iç aydınlatma için LED teknolojisinin kullanımının gerçek başlangıç noktası olan beyaz ışığın ve ayrıca diğer renklerin üretilmesine olanak veren üç ana renk kombinasyonuna izin verdi. Böylece iç mekan aydınlatma piyasasına LED teknolojisi tam anlamıyla girmiş oldu.

Bu yeni teknoloji klasik bir akkor ampule göre kat kat verimli olması, optik etkinliği, kompakt bir tasarıma bağlı olarak daha hafif olması, paketlenme kolaylığı ve esnek dizayn seçenekleriyle bilinir. Bu esnek dizayn seçenekleri, LED'in standart ampullerin çalışmadığı yerlerde

uygulanmasına izin verir. LED teknolojisi, üstün özellikleri ile iç mekan aydınlatma dışında farklı birçok alanda kendine yer bulmaktadır. Günümüzde özellikle dış mekanlarda, mimaride, otomotiv sektöründe, trafik ışıkları ve reklam panolarında, elektronik cihazlarda en çok tercih edilen teknolojilerdendir. Elektronik cihazlarda bilinen en yaygın örneği; LED televizyon, bilgisayar, tablet ekranlarıdır.

Bununla birlikte, LED aydınlatmada ulaşılan yüksek performans, ışık kaynakları alanında araştırmaları durdurmadı. Son yıllarda, ‘organik ışık yayan diyot’ (OLED) adıyla katı hal ilkelerine dayanan yeni ve çok yönlü bir kaynak daha ortaya çıktı. Işık üretmek için organik maddelerin kullanılması, daha düşük üretim maliyetlerine, daha geniş renk yelpazesine ve ışık dağılımının daha homojen olmasına olanak tanır[15].

2.1.4. Ampullerin Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Konvansiyonel elektrik ampuller akkor işleminden ya da floresan veya gaz emisyonundan bir hat boyunca görünür ışık üretirler. Bu prosesleri kullanan aydınlatma kaynakları yani halojen ampuller ve yüksek yoğunluklu deşarj (sodyum, metal halid ve cıva buharı) ampuller yüz yıldan fazladır ticari olarak standart bulunan ampullerdir. Her bir teknolojinin uygulamaya bağlı üstünlüğü olduğu için günümüz pazarında yaygın olarak kullanılırlar. Bununla birlikte bir aydınlatma sistemi ampulden daha fazlasını içerebilir. Bu sistemde ampuller, armatürler (ışığı mekana dağıtmaya yardımcı olan ampul yuvası) ve kontrol dişlisi (anahtar, ateşleme, ayarlama sistemi) yer alır. Performans özelliklerini doğru değerlendirmek için sistemdeki her parçaya dikkat edilmelidir. Aydınlatma sisteminde istenilen ışık miktarının ötesinde ekonomik, dayanıklı ve estetik olması önemlidir. Işık miktarı ne kadar açıksa kalite kavramı bir o kadar karmaşıktır. Işık dağılımında parlamanın önlenmesi ve iletilen ışığın spektral özelliklerine dikkat edilmelidir. Aydınlatma sisteminin ekonomisi, kurulum maliyetleri, işletme maliyetleri ve bakım maliyetlerini içeren dengeye bağlıdır. Çizelge 2.1’de yer alan farklı ampul teknolojileri farklı spesifik karakteristik özelliklere sahiptir.

Çizelge 2.1: Aydınlatma Teknolojilerinin Karakteristikleri [16][17][18]

Ampul tipi	Karakteristik Özellikler							
	Verimlilik (lm/W)	Ömür (sa)	Kısıllanabilme	Yanma süresi	Renk verme indeksi (CRI)	Alış maliyeti	Kullanma maliyeti	Uygulama Alanları
Akkor	5-18	1000	Çok iyi	Hızlı	Çok iyi	Düşük	Çok yüksek	Genel
Tungsten halojen ampul	12-35	2000-8400	Çok iyi	Hızlı	Çok iyi	Düşük	Yüksek	Genel
Civa basınçlı ampul	40-60	12000	Mümkün değil	2-5 dk	Zamanla düzeliyor	Orta	Orta	Dış mekan
KFL ampul	40-73	6000-12000	Bazı çeşitleri	Hızlı	İyi	Düşük	Düşük	Genel
Floresan ampul	50-127,8	10000-25000	İyi	Hızlı	İyi	Düşük	Düşük	Genel
İndüksiyon ampul	60-80	60000-100000	Mümkün değil	Hızlı	İyi	Yüksek	Düşük	Ulaşılması zor yerler
Metal halid ampul	50-100	6000-12000	Pratik değil	5-10 dk	İyi	Yüksek	Düşük	AVM'ler, ticari alanlar
Yüksek basınçlı sodyum (std) ampul	80-115	12000-16000	Pratik değil	2-5 dk	Orta	Yüksek	Düşük	Dış mekan, depo
Yüksek basınçlı sodyum (geliştirilmiş) ampul	40-104	6000-10000	Pratik değil	2-6 dk	İyi	Yüksek	Düşük	Dış mekan, ticari alanlar
LED ampul	20-165	20000-150000	Çok iyi	Hızlı	İyi	Yüksek	Düşük	Yakın gelecekte tüm alanlarda

Bir ampulün verimliliği, ışık çıkışının giriş gücüne oranı olarak tanımlanır ve Watt başına lümen olarak ölçülür (lm/W). Verimlilik ne kadar yüksek olursa belirli bir miktarda ışık vermek için harcanan enerjide o kadar düşük olur[11]. Klasik bir akkor ampulün ortalama ışık verimliliği 12 lm/W'dir ve elektrikli aydınlatma teknolojisinin ortaya çıktığı iki yüzyıl

öncesinden günümüze kadar bu değer önemli bir değişikliğe uğramamıştır. Yıllar içinde ortaya çıkan yeni teknolojiler daha verimli ve daha uzun ömürlü olarak geliştirilmişlerdir.

Bir aydınlatma sisteminin verimliliği sadece ampulün verimliliği değildir. Ampulün kısılabılır olması, kontrol dışısında balastların verimliliğide sistem için önemlidir. Aydınlatma sistemleri arasındaki gerçek karşılaştırma, çoğu ampul türünde ‘lümen amortismanı’ olarak bilinen zamanla verimliliğin azalması gerçeğinden dolayı daha karmaşıktır. Ampul türüne bağlı olarak bir ampulün ışık çıkışı %0-40 oranında azalacaktır. Bu yüzden aydınlatma sistemi kurulurken korunan lümen çıkışı hesaba katılır. Tüm elektrikli aydınlatmalar binalardaki normal sıcaklıklarda çalışır fakat bazı açık hava ortamları uygulamaları sınırlayabilir. Örneğin, sıcaklık çok düşük olduğunda floresan ampullerin bir kısmı verimli çalışmazlar. Bu sebeple genelde sıcaklığın düşük olduğu dış mekanlarda yüksek basınçlı sodyum ampulleri yada indüksiyon ampulleri tercih edilir.

Ampullerin ömrü teknolojilerine göre 1000 saatten 150000 saate çok büyük farklılık gösterir. Üreticilerin bildirdikleri ömür tek bir değerdir ve standart test koşulları altında verilen ampul türünün %50’sinin başarısız olduğu istatistiksel bir değerdir. Aslında pratik olarak ampulün ömrü daha karmaşıktır çünkü ampulün performansındaki bozukluk onun erkenden değiştirilmesini gerektirebilir. Performansındaki bozulmalar aşağıdaki nedenleri içerebilir;

- Lümen ve verimlilik düşüşü, sonuçta yetersiz ve ekonomik olmayan ışık dağıtımına sebep olur.
- Renk veya spektral kaymalar ampulün uygulamada kullanışlı olmamasına neden olur.
- Işık düzensizlikleri (genelde yüksek yoğunluklu deşarj ampullerinde görülür.)
- Döngü (genelde yüksek basınçlı sodyum ampullerin ısıdıklarında çalışmasına son veren, soğuduklarında tekrar çalışmasını sağlayan tekrar eden bir işlemdir.)

Herhangi bir ampul tarafından yayılan ışığın yoğunluğu, görünür ışık tayfının aralığı boyunca değişir ve sonuç olarak farklı ampul tipleri farklı özellik taşır. Ampullerin renk özelliklerini tanımlamak için korelasyonlu renk sıcaklığı (CRT) ve renk verme indeksi (CRI) olarak bilinen iki metrik kullanılır. Dünya genelindeki ampul üreticileride uluslararası standartlara göre tanımlanan bu ölçümleri kullanırlar. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (ILC) ışık kaynağının görsel görünümünü basitçe sıcak, soğuk ve renkli olarak üçe ayırır. Örneğin floresan ampuller soğuk beyaz bir ışık verirler. Ampullerin verdikleri renk onların kullanım alanlarını etkileyen önemli bir faktördür.

2.1.5. LED Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Aydınlatma teknolojilerinin son büyük keşfi LED'in bir çok üstün özelliği vardır. Bu özellikler LED'in şimdiden bir çok alanda kullanılmasını sağlamıştır. LED aydınlatmalar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadırlar. Ekonomik durgunluk nedeniyle 2009 yılında genel aydınlatma pazarı yaklaşık %15 oranında azalırken LED ampul ve armatür pazarında %32'lik artış olmuştur [19]. Dünya genelinde de birçok şirket LED ampul ve armatür sektörüne girmektedir. Başlıca dış mekan ve ticareti alan aydınlatma güçlendirmelerinde kullanılmaktadırlar. Büyük aydınlatma şirketleri LED armatürleri için LED ampulleri daha sofistike bir hale getirmişlerdir [18]. Şekil 2.3'te yer alan LED aydınlatma teknolojileri farklı şekillerde üretilibilmeleri, geniş renk aralığı ve hızlı bir gelişim göstermeleri gelecekte daha da fazla kullanılacaklarının göstergesidir.



Şekil 2.3. İç Aydınlatmada Kullanılan Farklı Şekillerdeki LED Ampuller

LED'lerin diğer ampul türlerine göre avantajları şunlardır:

- Yüksek verimlilik, düşük güç tüketimi (165 lm/W'a kadar etkin)
- Fiziksel sağlamlık ve kompaktlık
- Küçük boyut
- Uzun ömür (25000 sa.-50000 sa.), özel modellerde 150000 sa.'e kadar çıkabilir
- Hızlı yanma

- Cıva içermeme (dolayısıyla geridönüşüm için özel teknikler gerekmiyor)
- Yüksek lümen etkinliği
- Yeni armatür tasarımları imkanı
- Canlı renk aralığı ve kontrolü
- Kolay kısılabılme
- UV veya IV radyasyonu yaymama
- Hızlı açma ve kapama[18][12][16]

LED ampullerin dezavantajlarını ise şu şekilde sıralayabiliriz:

- Tek yönlü ışık dağılımı
- Nispeten yüksek fiyat
- Ömrü boyunca termal yönetim ihtiyacı
- Mavi kirlilik (soğuk beyaz renk veren LED'ler için geçerlidir, ışık kirliliğine neden olurlar.)
- Sıcaklığa bağlılık (ortam sıcaklığı LED'lerin performansını büyük ölçüde etkiler.)[20][21]

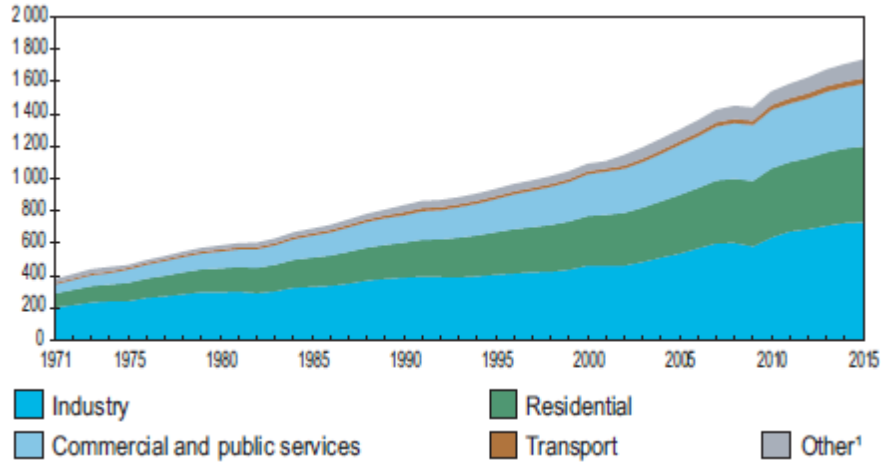
LED ampuller yüksek enerji verimliliği nedeniyle enerji tüketimini azaltmak için yüksek bir potansiyele sahip olsalar bile içerdikleri nadir ve değerli kaynaklar ile kaynak tüketimini artırma potansiyeline de sahiptirler. LED ampuller için teknoloji geliştirme hala ürün yaşam döngüsünün başlangıcında olduğundan, LED ampullerin daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Literatürde yer alan bir çalışmada, Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanılarak yapılan maliyet ve teknik verimliliğin karşılaştırılması ile piyasada mevcut birçok LED ampulün %57-63 oranlarında geliştirilmesi gerektiği ve gelecek tasarımlarda ışık çıkışına ve dayanıklılığı için güç faktörüne odaklanılmasının önemli olduğu belirtilmiştir [22].

2.2. Dünyada Sektörlere Göre Aydınlatma Kaynaklı Tüketilen Elektrik Talebi Tahmini

Yaklaşık 7,6 milyar nüfus ile insanlar dünyada elektrik tüketiminin ve kirleticilerin ana kaynağıdır. Sanayi devrimiyle beraber insanların elektrik talebi, kaynakları farklı da olsa artan bir ivme göstermektedir. Global elektrik tüketimi, üretim ve tüketiminin çok yönlü yapısı ve kullanım noktasındaki nispeten yüksek verimlilik ve temiz oluşu ile genel enerji tüketiminden daha hızlı artmaktadır.

Dünyada harcanan elektriğin temel kaynağı konut, ticaret, sanayi, ulaşım ve eğitim

sektörleridir. Şekil 2.4'e göre 1973 yılında toplam kullanılan 440 Mtoe elektriğin %53,5'i sanayi sektörüne, %15,2'si ticaret ve hizmet sektörüne, %23'ü konut sektörüne ve %2,4'ü ulaşım sektörüne aitti. Yıllar içinde bu dağılım teknoloji ve kullanıcı davranışlarıyla bir miktar değişti. 2015 yılında ise dünyada kullanılan 1737 Mtoe elektrikte sanayinin payı %42, ticaret ve hizmet sektörünün %22,2, konut sektörünün %27,1 ve ulaşım sektörünün %2,1 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.4. Dünyada Elektrik Tüketiminin 1971-2015 Arası Sektörel Dağılım Grafiği (Mtoe) [23]

Aydınlatma, elektrikli ev aletleri arasında sunulan ilk hizmettir ve halen en büyük elektrikli nihai kullanım alanlarından biri olmayı sürdürmektedir. Günümüzde dünya genelinde 33 milyardan fazla ampul yılda yaklaşık 2650 TWh elektrik tüketmektedir ve aydınlatma için talep edilen elektrik, toplam harcanan elektriğin %19'una karşılık gelmektedir[18].

Tüm dünyadaki elektrik tüketiminin en büyük payına sahip endüstri sektörü, aydınlatma için tüketilen elektriğin yaklaşık %18'nin kaynağıdır ve toplam endüstride harcanan elektriğin %8,7'si aydınlatma kaynaklıdır[11]. En yüksek kaynak-lümen verimliliğine sahip olan sektördür ve ortalama etkinlikleri 90 lm/W'dir[24]. En çok tercih edilen ampul tipi floresandır. Bunun dışında yüksek basınçlı ampullerde kullanılabilmektedir. Endüstri sektöründe aydınlatma ekipmanının maliyeti yanısıra kurulum ve bakım maliyetleri de önemlidir. Bölgesel olarak elektrik kullanım tarifeleri, işçilik ve ekipman maliyetleri farklılık gösterebilir en yüksek verimlilikteki aydınlatma kullanımıyla yaşam döngüsü maliyetleri en düşük seviyeye iner. Bu nedenle sadece endüstri sektöründe değil tüm sektörlerde aydınlatma verimliliğini artırmak çoğu zaman ekonomik anlamda en mantıklı seçenektir. Endüstri sektörü aydınlatma için harcanan elektrik tahminlerinin güvenilirliği diğer sektörler için daha düşüktür çünkü daha az

veri kamuya açıktır. 2015'te Navigant'ın yaptığı kapsamlı bir araştırmaya göre Amerika'da endüstri sektörünün aydınlatma için kullandığı yıllık ortalama elektrik 53 TWh'dir[24]. Bu da Amerika'da aydınlatma için harcanan toplam elektriğin yaklaşık %8,3'üne eşittir.

Ticaret ve hizmet sektörü toplam elektrik tüketimindeki payı %22,2 olsa da aydınlatmadaki payı en yüksek olan sektördür. Bu sektörde en yaygın kullanılan ve en çok elektrik tüketen ampul floresandır. Daha sonra en çok tercih edilen yüksek basınçlı ampuller olsa da kompakt floresan ampuller ve günümüzde LED ampuller yavaş yavaş kullanılmaya başlanmaktadır. Ortalama kaynak-lümen verimliliği 2006'da 52,5 lm/W iken 2015'de Amerika'da yapılan bir çalışmaya göre 86 lm/W olarak hesaplanmıştır[11][24]. Bu oran konut sektöründen ve dış mekan aydınlatmadaki verimlilikten daha yüksek olsa da endüstri sektöründen daha düşüktür. Çok kapsamlı oluşu ve bilgilerin kısıtlı olması sebebiyle ticaret sektöründe yıllık toplam elektrik tüketimi tahmini yapılması zordur.



Şekil 2.5. Gece vakti Avrupa'nın Uydu Görüntüsü [25]

2016 IEA raporlarına göre sokak aydınlatmaları, karayolu, mimari, park, tabela aydınlatmalarını içeren dış mekan aydınlatmalar, tüm aydınlatma için tüketilen elektriğin onda birinden daha az elektrik harcarlar, sokak aydınlatmalarının ortalama kaynak-lümen verimliliği 80 lm/W'dir ve bu oran diğer sektörlerle göre ortalama bir verimliliğe sahiptir[24]. Bu alanda halen en yaygın kullanılan yüksek basınçlı ampullerdir. Kullanım alanlarına göre LED ampuller ve metal halid ampullerde tercih edilmektedir. Örneğin, çoğu reklam panolarında veya trafik

ışıklarında LED ampuller kullanılmaktadır. Dış mekan aydınlatma seviyesi ülkelerin gelişmişliği ile ilişkilidir. Sonuç olarak Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) ülkeleri enerjinin ve aydınlatmanın büyük bir kısmını kullanırlar. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi gece vakti uydu görüntülerine baktığımızda şehirleşmenin olduğu yerlerdeki ışık yoğunluğunu açıkça görebiliriz. Genel olarak açık alanların sabit aydınlatması dış mekan aydınlatmanın büyük bir kısmını oluşturur. Özellikle sokak, yol ve otopark aydınlatmaları sabit aydınlatmalara en iyi örneklerdir. Trafik ışıkları, reklam panoları, havaalanı aydınlatmaları da dış mekan aydınlatmada sırayla payı olan uygulamalardandır.

Konut sektörü günümüzde elektrik tüketen ikinci büyük sektördür. OECD üye ülkelerinde konut sektöründe kullanılan enerjinin %14’ü aydınlatma için harcanmaktadır. OECD üye olmayan ülkelerde ise bu pay daha yüksektir [20]. Dünyada milyarlarca insan her gün televizyon, buzdolabı, fırın, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, ısıtıcılar, soğutucular, aydınlatma vb. için yüksek miktarda elektrik harcamaktadırlar. Son kullanıcı davranışlarının çeşitliliği, teknoloji ve ülkelerin gelişmişlik düzeyi farklılıkları aydınlatma talebi verisinin hesaplanmasını daha karışık hale getirmektedir. Buzdolabı gibi kurulu ve belirli düzeyde güç harcayan cihazların tüketimini ulusal anlamda hesaplamak nispeten kolay olmakla birlikte aydınlatma gibi kullanma süresi, ampul farklılığı, güneşlenme süresi gibi önemli değişkenlere bağlı elektrikli cihazların hane bazında ve daha geniş ölçekte tüketimini hesaplamak daha zor olduğu için talep tahmininde eksik ve doğruluğu düşük kalan bir alan olmuştur [11].

2.2.1. Konut Sektöründe Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Talebi Tahmini

Konut sektörü, nüfus ve refah düzeyi artışından etkilenen bir alan olduğundan yıllar içinde elektrik talebide aynı yönde hareket etmektedir. Avrupa ülkelerine baktığımızda farklı yıllarda ve farklı kapsamlarda ülkelerin aydınlatma talebini belirlemek amacıyla çeşitli çalışmalar yürütüldüğünü görülmektedir. Tez konusu konut sektörünü hedeflediği için konut sektöründe aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi tahmini ayrıca ele alınmıştır.

2006’da IEA’nin yayınladığı kapsamlı bir araştırmaya göre, Çizelge 2.2’de aydınlatma için bir evin ortalama yıllık elektrik tüketimi İtalya’da 375 kWh iken Amerika’da 1946 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu tüketim hanehalkı büyüklüğünü, kullanım saatlerini ve verimli ampullerin nüfuzunu yansıtmaktadır[26].

Çizelge 2.2: IEA'ya Üye 9 Ülkede Ulusal Bazda Hesaplanan Konutlardaki Ortalama Aydınlatma Karakteristikleri [11][27][28][29][30]

Ülkeler	Aydınlatmaya harcanan yıllık elektrik (kWh/hane)	Hane başına düşen ampul adedi	Ort. ampul lümen verimliliği (lm/W)	Yıllık aydınlanma talebi (Mlm/m ²)	Aydınlatma için alan başına harcanan yıllık elektrik (kWh/m ²)	Günlük kullanım (saat)
Birleşik Krallık	720	20.1	25	0.21	8.6	1.60
İsveç	760	40.4	24	0.16	6.9	1.35
Almanya	775	30.3	27	0.22	9.3	1.48
Danimarka	426	23.7	32	0.10	3.3	1.59
Yunanistan	381	10.4	26	0.09	3.7	1.30
İtalya	375	14.0	27	0.09	4.0	1.03
Fransa	465	18.5	18	0.22	5.7	0.97
Amerika	1946	43.0	18	0.27	15.1	1.92
Japonya	939	17.0	49	0.49	10.0	3.38

Avrupa ülkelerinde konut başına aydınlatma için kullanılan yıllık elektrik Amerika ve Japonya'da konut başına talep edilen elektrikten çok daha düşüktür. Proje sonuçlarına göre, Amerika'daki yüksek elektrik tüketiminin sebebinin konutlarda kullanılan ampul sayısının Avrupa'ya göre çok daha fazla olmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir. Amerika'da aydınlanma talebi yıllık 15.1 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Japonya'daki konutlarda kullanılan ampuller ortalama 49 lm/W ile Avrupa ve Amerika'dakilere oranla çok daha verimlidir fakat konutlarda aydınlatma için talep edilen yıllık elektrik düşük değildir. Bunun sebebi, konutlarda günlük aydınlatma kullanım sürelerinin diğer ülkelere göre çok daha yüksek olmasıdır. Bu araştırmada Amerika'da konutlarda kullanılan ampullerin %91'nin akkor ampul ve sadece %1.6'sının KFL olduğu belirtilmiştir. Japonya'da ise en çok kullanılan ampul %57'lik bir oranla lineer floresan ampul iken tercih edilen ampul tipleri sırasıyla %22 akkor ampul, %8 KFL ampul, %2 halojen ampuldür. Yapılan çalışma sonuçlarına göre Avrupa'da

konut başına aydınlatma kaynaklı elektrik talebi düşük olsa da ülkeler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir.

Enerji verimliliği kapsamında evsel cihazlar ve aydınlatmalarda önemli gelişmeler yapılırsa da Avrupa Birliği üye ülkelerindeki konutlarda ortalama elektrik talebinde 1998’den 2008’e yıllık ortalama %2’lik artış görülmüştür[31]. Bertoldi ve Atanasiu’nun 2006’da yaptığı çalışmaya göre ise AB-25 ülkesinde 1999 ve 2004 yılları arasında evsel yıllık toplam elektrik talebinde ekonomiyle eş zamanlı ve aynı oranda %10,8 artış tespit edilmiştir[26].

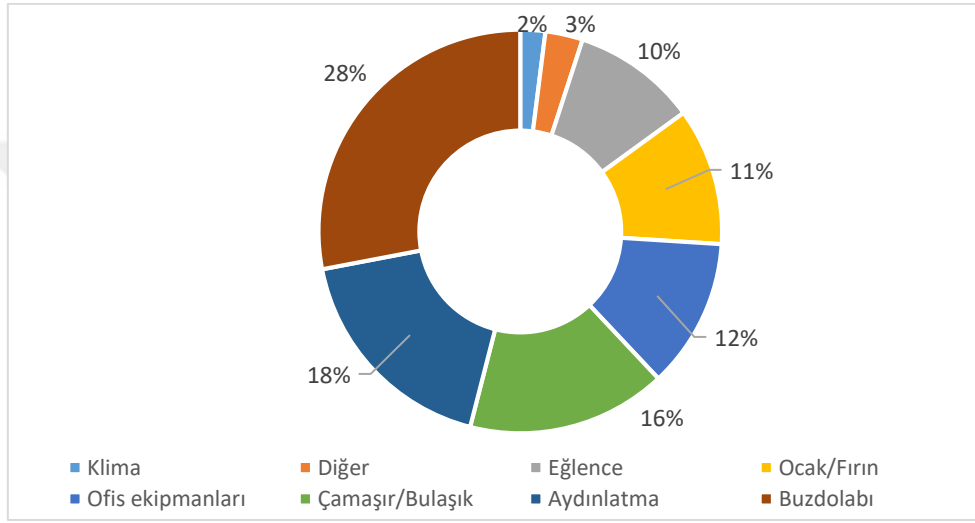
Çizelge 2.3: Avrupa Birliği Genelinde Yıllık Aydınlatma Talebi [32]

	Hane sayısı (milyon)	Evsel elek. talebi (TWh)	Aydınlatma talebi (TWh)	Toplam elektrikte aydınlatmanın yüzdesi	Hane başına ort. aydınlatma talebi (kWh)
AB-15	155,85	679,43	78,91	%11,61	506,33
Yeni AB-10	25,41	63,42	13,42	%21,16	528,20
AB-25	181,26	742,85	92,33	%12,43	509,40
Belçika+ Romanya	11,03	17,35	3,81	%21,97	345,54
AB-27	192,29	760,20	96,14	%12,65	500

Bertoldi ve Atanasiu’nun bu çalışmasında uzmanlar son kullanıcının aydınlatma kaynaklı elektrik talebini hesaplamak için aşağıdan-yukarıya mühendislik modellerini son kullanıcı izleme kampanyaları ile birlikte kullanmışlardır. Yukarıdan-aşağıya yöntemle de ulusal elektrik kullanımı verileri ile aşağıdan-yukarıya verilerini kontrol etmişlerdir. Çizelge 2.3’de yer aldığı gibi 2006 yılında AB-15 üyesi ülkede konutlarda aydınlatma için kullanılan elektrik %11,61 bir payla yılda 78,91 TWh iken AB yeni 10 üye ülkesinde konutlarda yıllık aydınlatma talebi %21,16’lık bir oranla 13,42 TWh’dir. Araştırmaların sonucundaki en önemli nokta aydınlatma verilerinin çok dağınık olmasıdır. Son kullanıcı verilerinin en farklı olduğu bölüm aydınlatmadır. Bu sebeple AB üye ülkelerinde hanebaşına yıllık aydınlatma talebi 345,54 kWh ile 528,20 kWh arasında değişir[32].

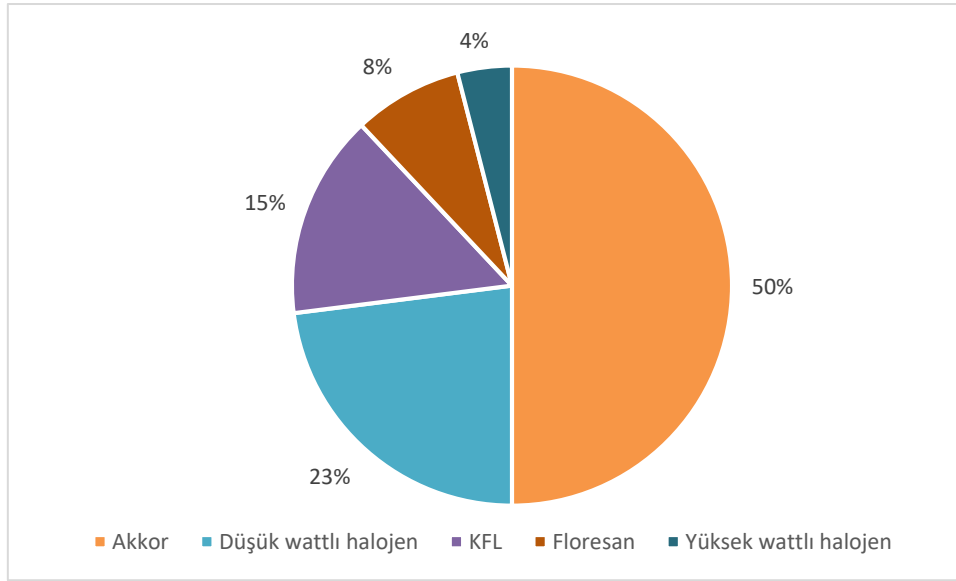
Konutlardaki elektrik kullanımını anlamak ve tasarruf potansiyelini belirlemek amacıyla

Avrupa Birliği tarafından bir çok çalışma yürütülmüştür. Bunlardan biri de REMODECE Projesidir. Avrupa Birliği tarafından desteklenen REMODECE, konutlarda enerji kullanımını ve karbon emisyonunu gözlemleyen ve azaltmayı hedefleyen bir projedir. Bu çalışma kapsamında projeye katılan 12 ülkede araştırma yapılmıştır. Her ülkeyi temsil etmesi amacıyla, katılan ülkelerden en az 100 evde ölçüm alınmış ve beraberinde yaklaşık 6000 kişiye detaylı bir anket yapılmıştır. Hanelerin cihaz seçimleri ve gün içinde elektrik kullanım davranışlarının ortaya konduğu bu çalışmada ikinci büyük son kullanıcı olarak aydınlatmanın payının Şekil 2.6’da görüldüğü gibi %18 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.6. REMODECE Projesine Katılan Ülkelerde Konutlardaki Elektrik Kullanımı Dağılımı (Elektrikli Isıtıcı ve Şofben Hariç)[31]

Yıllık ortalama konut başına aydınlatma talebi 487 kWh olarak hesaplanmıştır. Şekil 2.7’de sunulan aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminde en yüksek paya sahip olan ampul tipi akkor ampullerdir. Bunu düşük Wattlı halojen ampuller ve KFL ampuller takip etmektedir. Bir ev başına ortalama 27 ampul düşen bu çalışmada, ampullerden sadece 4 tanesi tasarruflu olarak bildiğimiz KFL ampuldür. Bu projenin uygulandığı yıllarda LED teknolojisi konut piyasasına yeni girdiği için ihmal edilmiştir. Akkor ampulün en yaygın kullanıldığı alan yatak odaları, en az kullanıldığı alan mutfaklardır. KFL ampul ise en fazla mutfaklarda tercih edilirken antrede fazla tercih edilmemektedir. Proje kapsamında yapılan ankette, Romanya’daki kullanıcıların %65’nin oda boş iken odanın ışığını açık bırakarak odadan çıktığı tespit edilmiştir. 12 ülke genelinde katılımcıların %40’ı bozulan ampul yerine daha verimli bir ampul tercih ederken diğer bir %40 bozulan ampulü hiçbir zaman KFL ampul ile değiştirmiyor ya da çok az tercih ediyor. İnsanlar enerji tasarrufu yaparken ampullerin enerji talebi düşük olduğu için ampullerin verimliliğini en son düşünüyorlar [31].

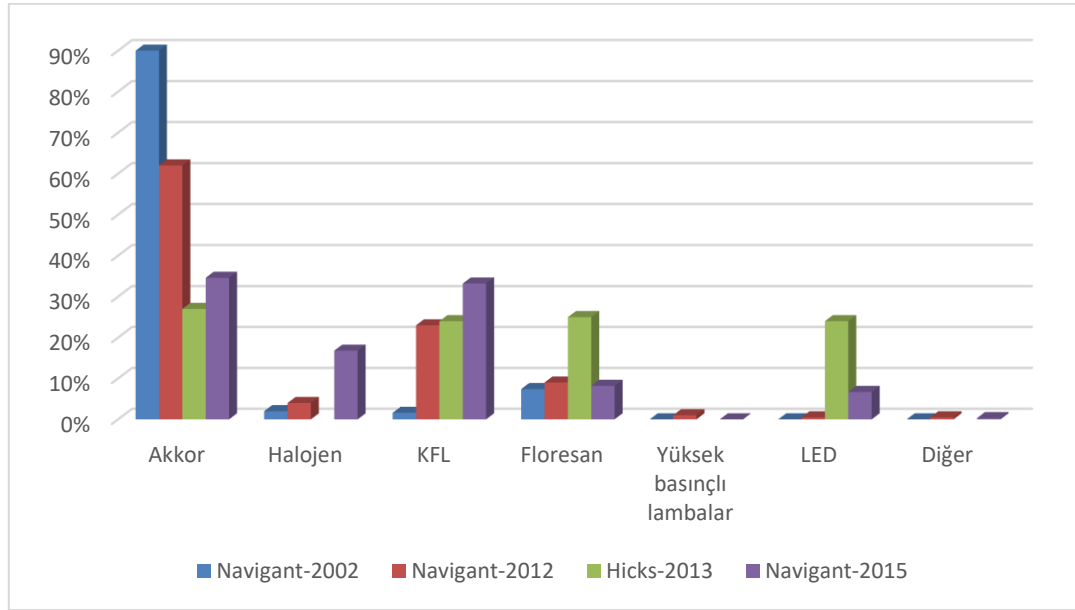


Şekil 2.7. REMODECE Projesine Katılan Avrupa Birliği Ülkelerinde Kullanılan Ampul Yüzdeleri [31]

Dünyada artan enerji talebi ve aydınlatma kaynaklı tüketimdeki yüksek tasarruf potansiyeli bu araştırmaları sürekli kılmaktadır. Amerika Enerji Kurumu'nun Aydınlatma Araştırma ve Geliştirme Programı aydınlatma envanteri oluşturma ve geneli yansıtan net aydınlatma karakterizasyonu yapma amaçlı farklı sektörler için belirli dönemlerde tekrarlanmaktadır. Bu program kapsamında yapılan araştırmalar çeşitli yöntemlerle desteklenmektedir. Konut sektöründeki aydınlatma karakterizasyonu ve aydınlatma kaynaklı elektrik talebi tahmini için ulusal araştırma kaynaklarından, Amerika'nın belirli eyaletlerinde yapılan ölçüm verilerinden, internet üzerinden ve telefon yolu ile yapılan araştırma sonuçlarından, aydınlatma firmalarının yıllık üretim ve ithalat bilgilerinden yararlanmaktadır. Amerika dışında bu kadar kapsamlı aydınlatma karakterizasyonu bilgisi olan ülke bulunmamaktadır.

2015'de yayınlanan rapor için Amerika'nın 11 bölgesinde 2900'den fazla konutta 280000'e yakın aydınlatma cihazı verisi toplanmıştır. Bu rapora göre Amerika'da aydınlatma kaynaklı tüketilen yıllık ortalama toplam elektriğin %23,2'si konut sektöründen kaynaklanmaktadır. Ülkede 6.218.969.000 ampul yıllık ortalama 149 TWh elektrik tüketimine neden olmaktadır. Hane başına günlük ortalama aydınlatma kullanım süresi 1,9 saattir ve bu süre diğer sektörlerden çok daha düşüktür [24]. Amerika Enerji Departmanı'nın 2002'de 161 konutta ölçüm alarak Enerji Araştırma İdaresi'nin 4832 temsili konut verisini eşleştirerek yayınlanan raporuna göre konut sektöründe aydınlatma kaynaklı elektrik talebi tahmini yıllık 208 TWh, 2011'de 175 TWh olarak hesaplanmıştır. 2002 yılından 2015'e yapılan tahminlerde yıllık aydınlatma talebinde düşüş olduğu açıkça görülmektedir.

Genel olarak, Amerika’da tüm sektörlerde LED aydınlatmanın nüfuzu, 2010 yılından bu yana önemli adımlar atmıştır. 2015’de tüm aydınlatma verilerinin %8’ni LED ampuller oluşturmaktadır. LED ampul nüfuzunun en yüksek olduğu sektör aydınlatma envanterinin %22’sini oluşturan dış mekandır. Bunu sırayla ticaret, konut ve sanayi sektörü izlemektedir. Konut sektöründe LED ampul adaptasyonunun artması, mevcut ampullerin tasarruflu olanlarıyla değiştirilmesi ülke genelinde ampul-lümen verimliliğini artırmıştır. Navigant’ın 2002’de yaptığı araştırmada, ampul-lümen verimliliği 18 lm/W iken 2015’de bu oran 38 lm/W’ye yükselmiştir.



Şekil 2.8. Amerika’da Yapılan Araştırmalarda Yıllara Göre Ampul Dağılımları[29] [24] [17][33]

Şekil 2.8.’de sunulduğu gibi konutlarda kullanılan ampul dağılımında geçmişten günümüze büyük oranda değişim gerçekleşmiştir. 2002’de yapılan araştırmada LED ampul kullanım oranı %0 iken 10 yıl sonra %1 ve 2015’te %7 seviyelerindedir. Bu oranlar LED aydınlatma cihazının piyasaya girişinden itibaren Amerika’da ne kadar yavaş difüzyonunun gerçekleştiğinin kanıtıdır. Kuşkusuz LED ampulün konut piyasasına girişi, ülkelerin enerji tasarrufu kapsamında yüksek elektrik tüketen akkor ampulleri yasaklamaları ve KFL ampul kullanımına teşvikleri bu dağılımın değişmesinde ve aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminin düşüşünde büyük rol oynamıştır.

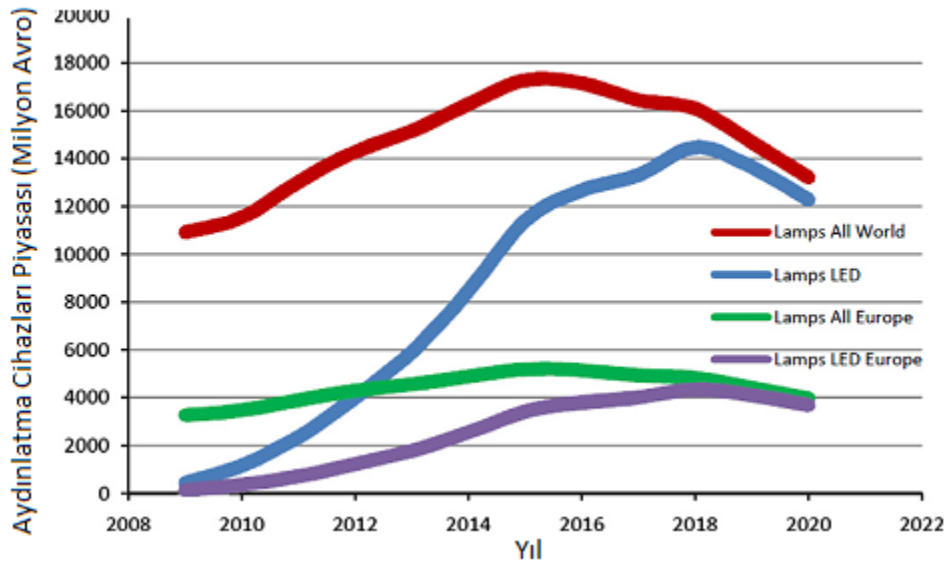
2.3. Aydınlatma Sektöründe Enerji Tasarrufu

Günümüzde elektrik enerjisinin kullanımının ve enerji talebinin artması ve önümüzdeki yıllarda dünyada enerji açığının olabileceği öngörüsü ile aydınlatma sektöründe de enerji tasarrufu

zorunlu hale gelmiştir. Bu sebeple, aydınlatma kalitesini düşürmeden daha verimli aydınlatma cihazları kullanmak ve aydınlatmada enerji tasarrufu için çeşitli önlemler almak önemlidir.

2.3.1. Aydınlatma Piyasasına LED Teknolojisi Difüzyonu

Hükümetlerin enerji verimliliği politikaları genişledikçe üreticiler de enerji verimliliğine yatırım yapmaktadırlar. Bunlardan biri de çok geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan LED teknolojisidir. 2000 yılında LED ampuller evsel aydınlatma sektörüne hızlı bir giriş yapmıştır. Başlangıçta LED ampuller klasik ampullere oranla çok daha yüksek ücretlere sahiplerdi bu ekonomik bariyer sebebi ile konutlardaki difüzyonu çok hızlı gerçekleşemedi fakat günümüzde LED aydınlatmaların raf fiyatları giderek düşmektedir. Ekonomik durgunluk sebebiyle 2009 yılında genel aydınlatma piyasasında yaklaşık %15 oranında düşüş oldu ancak, LED ampul ve armatür pazarında %32'lik bir artış gerçekleşmiştir. 2010 yılında aydınlatma ürünlerine yönelik küresel pazarın yaklaşık 80 milyar Avro olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın çok küçük fakat hızlı büyüyen kısmı LED ürünleri ile ilgilidir [19].



Şekil 2.9. Dünyada ve Avrupa’da LED Ampul Piyasası Senaryosu (milyon Avro)[34]

Dünya çapında yüzlerce şirket her yıl LED armatür ve yedek parça pazarına katılmaktadır. Büyük aydınlatma şirketleri LED ürünlerine tasarım yaklaşımı getirmişler ve sistemler daha sofistike hale gelmişlerdir. LED armatürler, başlangıçtaki maliyetleri haricinde, diğer aydınlatma ürünlerinden tamamen karlı ve kaliteli bir teknolojidir. Buna rağmen piyasadaki ürünler halen teknoloji bakımından geliştirilmeye devam etmektedir. Şekil 2.9’daki uzmanların yaptığı senaryolara göre gelecekte daha verimli, daha hafif ve daha uzun ömürlü LED

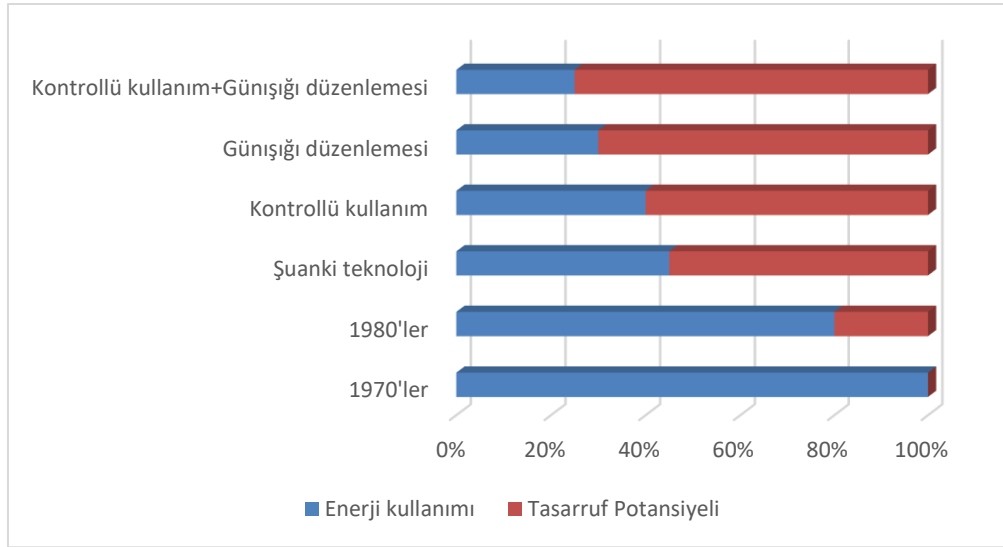
teknolojisinin aydınlatma pazarının büyük kısmını ele geçireceği öngörülmektedir. Uzmanların yaptığı teknoloji gelişim senaryolarında ise Çizelge 2.4’de LED ampullerin şu anki lümen verimliliğinin gelecekte 2-3 katına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda kullanım sürelerinin yani ömürlerinin 80000 saate kadar uzayacağı öngörülmektedir[35].

Çizelge 2.4: 2030 ve 2050’de LED Teknolojisi Gelişimi [36]

Karakteristik	Günümüz	2030	2050
Verimlilik	Ortalama 78 lm/W	199 lm/W	250-300 lm/W
Ömür (saat)	25000	40000	80000
LED üretim verimliliği	%69 verim	%92 verim	%92 verim
Kütle ve bileşenler		Elektronik kütlede %33 azalma, gücüne oranla alüminyumda azalma	Elektronik kütlede %33 azalma, gücüne oranla alüminyumda azalma

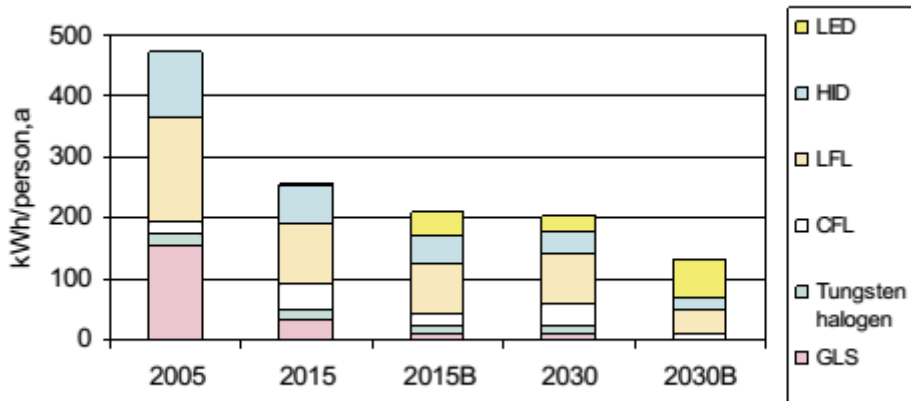
2.3.2. Aydınlatma Sektöründe Enerji Tasarrufu Potansiyeli

Aydınlatma sektörü geniş bir uygulama alanına sahiptir. Avrupa aydınlatma endüstrisi, Avrupa ortaklığı olan CELMA ve ELC tarafından temsil edilir. ELC, Avrupa’da önde gelen ampul üreticilerini temsil eden bir federasyondur. Bu birlik Avrupa’da bir çok küçük ve büyük ölçekli üye şirkete ve yıllık 5 milyar dolarlık bir ciroya sahiptir. ELC’nin misyonu, küresel çevrenin, insan konforunun, tüketicilerin sağlığı ve güvenliğinin sağlanması için verimli aydınlatma uygulamalarının geliştirilmesi olmuştur. Şekil 2.10’a göre 1970’lerde klasik floresan ampul ile aydınlatma enerji talebinin %100 olduğunu düşünürsek, günümüz teknolojisi ve alacağımız önlemler ile enerji talebini %25’lere indirebileceğimiz ve tasarrufu %75 seviyesine çıkarabileceğimiz tahmin edilmektedir[34].



Şekil 2.10. İç Mekan Aydınlatmada Tasarruf Potansiyeli [34]

Avrupa Birliği IEA'nın yaptığı çeşitli senaryolara göre aydınlatma kaynaklı elektrik talebindeki değişim Şekil 2.11'de görülmektedir. Senaryo 2015B ve 2030B'de LED ampul difüzyonu 2015 ve 2030'a göre daha hızlıdır. Senaryo 2015 ve 2015B akkor ampul piyasasının %25 ve floresan ampul piyasasının %75'e yakın küçülmesine dayanır. 2015B senaryosunda aydınlanma talebi aynı kalmakta ve boşluklar LED ampul ile dolmaktadır. Bu senaryoda LED'lerin ışık verimliliği 100lm/W'dir. 2030B senaryosunda akkor ampuller ve halojen ampuller piyasadan kaldırılır ve LED dışında diğer ampul türlerinde küçülme görülür. 2030 ve 2030B senaryolarında aydınlanma talebi aynıdır fakat 2030B senaryosunda LED ampullerin verimliliği 160 lm/W olarak hesaplanmıştır. Bu hesaba göre de 2030B senaryosunda kişi başı aydınlatma talebi dörtte bir seviyesine kadar düşebilecektir [16].



Şekil 2.11. IEA'nın Yıllara Göre Aydınlatma Talebi Senaryoları[16]

Aydınlatma enerjisi verimliliği, insan kaynaklı iklim değişikliğini ele alma bağlamında önemli bir politika eylemi olmuştur. Uzmanlara göre gelecekte de son kullanıcı aydınlatma talebi giderek artacaktır fakat daha verimli aydınlatma ürünlerinin hızlı adaptasyonu ile aydınlatma için harcanan kişi başı elektrikte düşüş olacağı öngörülmektedir. Avustralya’da 2015 yılında yapılan bir çalışmada, zorunlu bina enerji düzenleme standartları ile konutlarda aydınlatma için elektrik tüketimi talebinde %61 tasarruf sağlanabileceği ve aydınlatma talebinin mevcut 5W/m²’nin ötesinde geliştirilebileceğini belirtilmektedir [37].

Timmer vd.’nin 2017’de sistem dinamiği modeli kurularak yaptığı çalışmada Letvanya’daki konutlarda kullanılan akkor ve KFL ampullerin LED ampul ile değiştirilmesi ile 2015 yılından 2040 yılına konutlardaki elektrik tüketiminde %14 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceği bulunmuştur [38].

2.3.3. Dünyada Enerji Tasarruflu Aydınlatma Teşviki İçin Mevcut Politikalar

AB-27 üye ülkeleri ve aday ülkelerdeki elektrik tüketimi AB ve ulusal seviyedeki çok sayıda enerji verimliliği politikaları ve programlarına rağmen büyümeye devam etmiştir[32]. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) iklim değişikliği sorununa karşı küresel tepkinin temelini oluşturmak üzere 1992 yılında 194 ülke tarafından kabul edilmiş ve 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Böylece birçok ülkeye, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek düzeyde durdurma amacıyla sera gazı salınımı sınırlaması ve azaltılması yükümlülüğü getirilmiştir.

Küresel ölçekte enerji verimliliği politikalarının hedef unsurlarından biri aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminin azaltılmasıdır. Bu noktada halihazırda hem kullanıcı davranışlarının değiştirilmesi hem de aydınlatma teknolojilerinin verimliliğinin artırılması ve daha verimli lambaların piyasaya difüzyonunu teşvik amacıyla, hükümetler çok sayıda proje, plan ve yol haritası geliştirmişlerdir. AB düzeyindeki ilk politika eylemlerinden biri, ampuller için zorunlu enerji etiketini getirmek olmuştur. İlgili yönerge Avrupa Komisyonu tarafından 1998’de kabul edilmiştir ve 1999’da yürürlüğe girmiştir. Bununla birlikte, enerji etiketinin piyasayı dönüştürmede çok açık kanıtı olan beyaz eşyalardan farklı olarak ampul etiketi çok daha az etkili olmuştur. Bu etiketler, kamuoyunda bildiği gibi KFL ampullerin akkor ve halojen ampullerden daha verimli olduğunu göstermekteydi. Daha sonra evsel aydınlatmadaki ulusal programların ve politikaların çoğu aydınlatma kaynaklarının ve KFL ampullerin tanıtılması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu programlar son yirmi yıldır devam etmektedir.

Ülkelerin uyguladığı programlardan bazıları ulusal yada bölgesel KFL ampullerin faydalarını tanıtmaya amaçlı yapılmıştır. Bu tanıtımlar kamuyu bilinçlendirme adına çeşitli yollarla ve değişen sürelerde uygulanmıştır. Çizelge 2.5'te sunulduğu gibi bilinen en eski KFL ampul tanıtım kampanyası 1986'da İsviçre'de yapılmıştır. Bunu takiben 1988-1992 yılları arasında altı kampanya daha yürülmüştür. Buna rağmen 1997 yılında AB-15 ülkesinde hane başına en düşük KFL'ye sahip ülke olmuştur [39].

Hükümetlerin uyguladığı ilk politikalardan bazıları KFL'lerin başta yüksek olan fiyatlarını azaltmaya yöneliktir. Kullanıcıların daha verimli olan KFL ampul adaptasyonunu sağlama amaçlı olan bu politikalar, bir çok farklı mekanizma kullanılarak uygulanmıştır. Üretici indirimleri, vergi iadeleri ve ücretsiz KFL dağıtımı uygulama yollarından bazılarıdır. Örneğin Almanya'da 500000 KFL doğrudan müşterilere verildi yada kupon yoluyla satın alındı. Aynı zamanda kullanıcıların KFL satın alması için kullanıcılar programlarla motive edildi. Sonuç olarak, Almanya'daki kullanıcılar KFL ampul satın almayı artırmışlardır [26].

Dünyada bir çok ülke KFL aydınlatma tanıtım programlarına ve adaptasyon politikalarına başvurmuştur. Fakat daha fazla enerji tasarrufu için hükümetlerce yaptırımlar uygulama zorunluluğu doğmuştur. İlk olarak, yüksek elektrik tüketen ve kısa ömürlü akkor ampullerin satışı Küba tarafından yasaklanmıştır. 2005'de yapılan bu yaptırımdan sonra hükümet 2006-2007 yılları arasında akkor ampullerin KFL ile değiştirilmesi için çeşitli program ve politikalar yürütmüştür. Kamuda KFL ampule geçişi sağlarken okullarda öğrencileri de bu programa dahil etmiştir. Küba'dan sonra Avustralya 2007'de yüksek elektrik tüketen akkor ampulleri yasaklayacağını duyurmuştur ve 2008'den 2012'ye kademeli olarak yasaklamıştır. Özellikle bir çok Avrupa ülkesi ve Asya ülkeleri bu yaptırımı ülkelerinde uygulamışlardır. Kademeli olarak önce 100 W sonra 75 W ve sırasıyla 60 W ve 45 W akkor ampuller tamamen piyasadan kaldırılmıştır. Buna rağmen ülkemizde hala satışı yapılmaktadır.

Konutlarda aydınlatma piyasasına LED ampuller girdikten sonra yüksek enerji tasarrufu ve ömrü nedeniyle bazı ülkelerde LED ampul tanıtımına yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Amerika ve Hindistan LED ampule geçiş için programlar yürüten ilk ülkelerdendir. Hükümetlerin bundan sonraki enerji tasarruf programlarının, verimlilik açısından 'nihai ampul' olarak görülen LED ampul üzerine olması kaçınılmaz olmuştur.

Türkiye'de enerji verimliliği süreci ilk olarak 2004 yılında başlamıştır. Türkiye, bir OECD üyesi olarak, 24 Mayıs 2004'te 189. Taraf olarak BMİDÇS'ne katılmıştır. 2007 yılı Mayıs ayında Enerji Verimliliği Kanunu yürürlüğe girmiştir. Bu kapsamda 2008'in Ağustos ayında

kamuda akkor flamanlı ampullerin KFL ile değiştirilmesi hakkında Başbakanlık Genelgesi yayınlanmıştır[40]. Başbakanlık Genelgesi doğrultusunda, ülke genelinde yapılan bu uygulama sonucunda, toplam 1.828.742 adet akkor ampul 1.758.954 adet KFL ile değiştirilmiştir. Diğer taraftan, “Ulusal Enerji Verimliliği Hareketi” kapsamında, ilköğretim okullarında enerji verimli KFL ampul dağıtımı ve bilinçlendirme kampanyaları yapılmaya başlanmıştır. Yayınlanan “Enerji Verimliliği Genelgesi”ne bağlı olarak, kamuda sensörlü yada günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi kullanılması, ışık geçirgenliğini önemli ölçüde engelleyen armatürler yerine, yüksek yansıtıcı armatürlerin kullanılması da uygulama kapsamında yer almıştır. Dış mekanlar için ise; reklam panoları aydınlatmalarında azaltılmaya gidilmesi, park ve bahçe aydınlatmalarının da saat 24.00’den sonra % 50 azaltılması kararlaştırılmıştır [41].

Çizelge 2.5: Dünyada Enerji Tasarruflu Aydınlatma İçin Uygulanan Politikalar ve Alınan Önlemler

Ülke	Enerji tasarruflu aydınlatma eylem planları, tanıtımlar, destekler	Yıl	Kaynak
Amerika	Ampuller için zorunlu enerji etiketi yürürlüğe girdi. Kademeli olarak önce 100 W sonra 75 W ve en son 60 W ve 40 W akkor ampul üretimi ve satışı yasaklandı.	1999 2012-2014	[26]Bertoldi ve Atanasiu, 2008 [24]U.S. Department of Energy
Chicago	KFL ampul tanıtımı ve bölgesel raf indirimi yapıldı.	2008’den itibaren	[33]Hicks ve Theis, 2014
Houston	Üretici desteği, kullanıcı indirimi, web sayfasından bilgilendirme yapıldı ve eşantıyon verildi.	2012’den itibaren	
New York	Ücretsiz KFL ampul sağlama, KFL-LED kampanyaları ve eğitici web sitesi hazırlandı.	2012’den itibaren	
San Francisco	Bölgesel raf indirimi ve KFL ampul kampanyaları yapıldı.	2004’den itibaren	
Avrupa Birliği Genelinde	Kademeli olarak akkor ampul üretimi ve satışı yasaklandı. Halojen ampul satışı yasaklandı. Daha verimli olan KFL veya LED ampul ile değiştirilmesi hedeflendi.	2009-2012 2016 2018’e kadar	[42]Schade vd., 2015 [43]Express.co.uk
Almanya	KFL ampul kampanyaları, tanıtımları ve indirimleri yapıldı.	1997’den itibaren	[44]Thomas vd., 1997 [26]Bertoldi ve Atanasiu, 2008
Arjantin	Akkor ampul satışı yasaklandı. Kamu binalarında aydınlatma kullanımına ilişkin programlar yürütüldü.	2008-2012 2016	[45]IEA,2010 [23]IEA,2017
Avustralya	Kademeli olarak akkor ampul üretimi ve satışı yasaklandı.	2008-2010	[45]IEA,2010
Birleşik Krallık	KFL ampul üretici indirimleri, ücretsiz dağıtım yapıldı.	1994-1997	[46]Martinot ve Borg, 1998

	KFL ampul kullanımına teşvik için fon ayrıldı ve her kullanıcı için £1 indirim yapıldı. KFL ampul promosyonları yapıldı. Kademeli olarak akkor ampul satışı ve ithalatı kademeli olarak yasaklandı. Halojen ampul satışı yasaklandı. LED ampul fiyatlarında indirimler ve LED'e geçiş için kampanyalar yapıldı.	1998-2002 2005-2008 2008-2011 2016	[26]Bertoldi ve Atanasii, 2008 [47]Monreal vd.,2016 [20]IEA,2010 [43]Express.co.uk
Bolivya	Konut sektöründeki akkor ampulleri değiştirme programını destekledi.		[45]IEA,2010
Brezilya	KFL ampul ile ilgili kamu bilinçlendirme programları, raf indirimleri yapıldı, KFL ampul dağıtıldı. Akkor ampülü yasaklayacağını duyurdu. Akkor ampul satışı kademeli olarak yasaklandı.	1993-1996 2010 2012-2016	[46]Martinot ve Borg, 1998 [20]IEA, 2010 [48]Baumgartner vd., 2012
Çek Cumhuriyeti	KFL ampul kampanyaları yapıldı.		[26]Bertoldi ve Atanasii, 2008
Çin	KFL ampul program ve promosyonları yapıldı. Aydınlatmada enerji tasarrufu hedeflendi. Kademeli olarak akkor ampul üretimi ve satışı yasaklandı.	2007 2006-2010 2012-2016	[45]IEA, 2010 [49]eia.gov [48]Baumgartner vd.,2012
Danimarka	KFL kampanyaları, tanıtımları ve indirimleri yapıldı, enerji tasarrufu politikaları yürütüldü. Akkor ampule vergi uygulaması Yeni binalarda enerji tasarruflu aydınlatma politikaları uygulandı.	1990'lerden itibaren 2012'ye kadar 2015	[26]Bertoldi ve Atanasii, 2008 [31]REMODECE, 2006 [23]IEA,2017
Endonezya	Akkor ampullerin KFL ampul ile değişmesi için hükümet programları yürütüldü.	2007-2016	[23]IEA,2017
Filipinler	Akkor ampulleri kademeli olarak piyasadan çıkaracağını duyurdu. Enerji tasarruflu aydınlatma programları uygulandı.	2008-2010	[20]IEA,2010
Finlandiya	Akkor ampul yasaklanması için parlamento bir taslak yayınladı.	2011	[20]IEA,2010
Fransa	KFL ampul tanıtımları, bölgesel indirimler uygulandı. Konutlarda kullanım için KFL promosyonları yapıldı. Akkor ampul üretimi ve satışı yasaklanacağı duyuruldu.	 2010	[26]Bertoldi ve Atanasii, 2008 [31]REMODECE [45]IEA,2010
Güney Kore	Akkor ampul üretimi ve satışı yasaklandı.	2014	[50]Ryness.co.uk
Hindistan	KFL programları uygulandı. Enerji koruma planları ve devlet binaları, okullar, sokak aydınlatmaları ve konutlardaki akkor ampulleri LED	2007 2014	[20]IEA,2010 [23]IEA,2017

	ile değiştirmeyi hedefleyen bir paket program yapıldı. Bazı bölge yöneticileri akkor ampul kullanımını yasakladı		[48]Baumgartner vd., 2012
Hollanda	KFL ampul programları, enerji tasarruflu aydınlatma tanıtımları, indirimler uygulandı.	1997'den itibaren	[26]Bertoldi ve Atanasıu, 2008
İran	Akkor ampul üretimi ve ithalatı yasaklandı.	2016	[51]Barghnews.com
İrlanda	KFL ampul satıcılarıyla KFL tanıtımı için işbirliği, tanıtımlar yapıldı. Akkor ampülü yasaklayacağını duyurdu. AB direktiflerine göre kademeli olarak akkor ampülü yasakladı. Enerji tasarruflu aydınlatma için özel firmalar ile işbirliği yapıldı.	2000 2007 2009-2012 2017	[26]Bertoldi ve Atanasıu, 2008 [52]Irishexaminer.com [23]IEA,2017
İspanya	KFL ampul tanıtım kampanyaları uygulandı. Kullanıcılara KFL dağıtıldı. Aydınlatmada enerji tasarrufu kampanyaları yapıldı.	1991-1995 2006 2005-2007	[26]Bertoldi ve Atanasıu, 2008
İsrail	60 W ve üstü akkor ampul yasaklandı.	2012	[53]Theguardian.com
İsveç	KFL tanıtım kampanyaları yapıldı.	1986-1998	[26]Bertoldi ve Atanasıu, 2008
İsviçre	Akkor ampulleri tamamen kaldıracağını duyurdu.	2012'e kadar	[45]IEA,2010
İtalya	Elektrik dağıtıcıları KFL kampanyaları yaptı.	2001	[26]Bertoldi ve Atanasıu, 2008
Jamaika	Kamu eğitimleri, KFL kampanyaları yapıldı.	1995'den itibaren	[46]Martinot ve Borg, 1998
Japonya	Hükümet ve üretici firmaların işbirliği ile KFL kampanyaları yürütüldü. Akkor ampul kullanımını tamamen yasakladı. Yüksek enerji tüketen KFL ampul üretimini ve ithalatını yasaklamayı ve LED ampul kampanyaları yapmayı planlıyor.	2007 2008-2012 2020'e kadar	[45]IEA,2010 [48]Baumgartner vd., 2012
Kanada	Enerji tasarruflu aydınlatma kampanyasına başladı. Akkor ampul adım adım yasaklandı.	2007 2012-2014	[54]OSRAM, 2008 [43]Express.co.uk
Kore	KFL ampul promosyonları yaptı. Akkor ampul satışının yasaklanmasına karar verildi.	2008-2013	[45]IEA,2010
Kolombiya	Kamu binalarındaki akkor ampulleri KFL ampul ile değiştirildi. Akkor ampul üretim ve satışı yasaklandı.	2007 2010	[45]IEA,2010
Kuveyt	Akkor ve halojen ampullerin yasaklanması için direktif verildi.	2008-2009	[55]Tuv.com
Küba	Akkor ampul satışını yasakladı. Ülkedeki akkor ampulleri KFL ampul ile değiştirmek için kampanya yapıldı.	2005 2006-2007	[45]IEA,2010

Litvanya	KFL ampul kamu eğitimi ve kampanyalar yapıldı.		[26]Bertoldi ve Atanasiu, 2008
Macaristan	Üretici tarafından KFL ampul tanıtım ve kampanyaları yürütüldü.		[26]Bertoldi ve Atanasiu, 2008
Malezya	Tüm akkor ampullerin yasaklanması için direktif verdi.	2014	[56]Malaysiandigest.com
Meksiko	KFL ampul kampanyaları, elektrik dağıtıcıları direkt kullanıcıya satış yaptı, raf indirimleri uygulandı. LED ampuller için daha sıkı minimum enerji performans standartlar yayınlandı.	1993-1995 2017	[46]Martinot ve Borg, 1998 [57]CONUEE,2017
Peru	Kamu eğitimi, KFL ampul satış kampanyaları yapıldı.	1995-1996	[46]Martinot ve Borg, 1998
Polonya	KFL ampul raf indirimi, bölgesel indirimler, kamu eğitim programları uygulandı.	1995-1997	[46]Martinot ve Borg, 1998
Portekiz	Akkor ampule ekstra vergi ekledi.	2008	[45]IEA,2010
Romanya	KFL ampul kampanyaları yapıldı.	1997	[26]Bertoldi ve Atanasiu, 2008
Rusya	Akkor ampul adım adım yasaklandı.	2011-2014	[48]Baumgartner vd., 2012
Tacikistan	Akkor ampul satış ve ithalatı yasaklandı.	2009	[58]Cnnturk.com
Tayland	Kamu eğitimi, KFL ampul kampanyaları yapıldı. Ücretsiz KFL ampul dağıtıldı. Akkor ampulleri yasaklayacağını duyurdu. Enerji tasarrufuna yönelik yönetmelik ve programlar yapıldı.	1993 2007 2008 2013	[46]Martinot ve Borg, 1998 [45]IEA,2010 [59]IEA,2014
Tayvan	Akkor ampul satışı ve üretimi yasaklandı.	2010-2012	[60]Taiwantoday.tw
Türkiye	Kamuda KFL ampule geçildi. İlköğretim okullarında KFL ampul kampanyaları yapıldı.	2008	[40]EMO,2012
Venezuela	Akkor ampülü yasaklamaya başladı Ticaret sektöründe akkor ampulleri KFL ampul ile değiştirecek programları destekledi.	2006 2007	[45]IEA,2010
Vietnam	60 W akkor ampuller yasaklandı.	2014	[61]Thegef.org
Yeni Zelanda	Akkor ampuller yasaklandı.	2008	[62]Mills,2013

Dünyada farklı ülkelerde enerji tasarruflu aydınlatma adaptasyonunu hızlandırma amaçlı birçok politika geliştirilmesine rağmen bu politikaların çoğu belirli bir temele dayanmamaktadır. Çoğu ülkede kapsamlı bir aydınlatma karakterizasyonu bilgisi olmadığı için uygulanan politikalarında yeterince etkin olup olmadığı bilinmemektedir. Literatürde de enerji tasarruflu

aydınlatma teşviki için uygulanan politikaların etkinliğinin değerlendirildiği çok az sayıda çalışma bulunmaktadır.

2.4. Son Kullanıcı Aydınlatma Envanteri için Yapılan Çalışmalar ve Yöntemleri

Konut sektöründe aydınlatma kaynaklı elektrik talebini ve enerji tasarruflu aydınlatma adaptasyonunu tahmin etme amaçlı çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıdan-yukarı yöntemle son kullanıcıdan bir bölge ya da ülkenin genelini doğru temsil etmek için yapılır. Diğer kategoride ise yukarıdan-aşağı yöntemle ulusal veriler ile mühendislik modelleri birlikte kullanılarak son kullanıcı tüketim tahminlerinde bulunulur.

Literatürde son kullanıcı aydınlatma verileri farklı şekillerde elde edilebilmektedir. Elektrik faturası, cihaz bilgileri, ölçüm (logger, Wattmetre, ampulmetre) ve anket çalışmaları bu araştırmaları destekleyecek verilerdir. Tüm örneklem tek tek ölçülemeyeceği için yardımcı veriler ile mühendislik modelleri beraber kullanılarak aydınlatma talebini tahmin etmekte kullanılırlar.

Literatürde Çizelge 2.6’da yer alan farklı mekansal ölçekleri kapsayan KFL ve LED ampul adaptasyon düzeyi, adaptasyon faktörleri, verimli aydınlatma teknolojisi bilincini irdeleyen ve aydınlatma talebini tahmin etmeyi hedefleyen çalışmalar yer almaktadır. Yapılan bu çalışmalarda araştırmacılar farklı yöntemlerle konutlardaki aydınlatma karakterizasyonu bilgilerini edinmeye çalışmışlardır. Bu yöntemlerden biri aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimini direkt olarak konutta cihazlarla ölçmektir ve dünyada bu yöntemle yapılan mevcut çalışmalar çok azdır. Birleşik Krallık’ta aydınlatma seçimi ve kullanımını araştıran bir çalışmada, araştırmacılar evlerdeki akkor ampullerin KFL ile değişimi sonucu tahmini enerji tasarrufunu ortaya koymak için ölçümlerde veri kaydedici (data logger) kullanmışlardır. Bir hafta süren bu ölçümlerde 18 evde hane başına ortalama 21,7 ampul kullanıldığı ve yıllık ortalama tüketimin 195,3 kWh olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan bu tüketimin, hanenin toplam elektrik talebinin %6,55’ine karşılık geldiği analiz edilmiştir[63].

Araştırmalarda kullanılan diğer bir ölçüm yöntemi ise ampulmetredir. Bu yöntem sabit elektrik çeken akkor, KFL, LED gibi ampul türlerinde kullanılabilir. Halojen ampul gibi değişken elektrik tüketen cihazlarda Wattmetre kullanılmaktadır. 2009’da SEA (Swedish Energy Agency)’nin İsveç’teki konutlarda toplam elektrik tüketimini hesaplamak için 400 konutta büyük ve küçük ölçekli iki ayrı çalışma yapılmıştır. Müstakil 40 konutta 1 yıl ölçüm alınırken, 360 apartman tipi konutta 1 ay süren bir ölçüm yapılmıştır. Araştırmanın aydınlatma sonuçlarına baktığımızda hane başına ortalama 42 ampul olduğu ve bu ampullerin %60’ını

akkor ampulün oluşturduğu belirlenmiştir. Araştırmanın yapıldığı yılda sektöre LED ampulün difüzyonu henüz tam olarak gerçekleşmediğinden konutlarda bulunma oranı %0'dır. 400 konutun ortalama yıllık aydınlatma kaynaklı elektrik tüketim tahmini 636 kWh'dir [64]. Bu yüksek tüketim, ortalama bir konutta kullanılan ampul sayısının fazla olması ve enerji tasarruflu ampul difüzyonunun düşük olmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 2.6: Aşağıdan-Yukarı Yöntemle Aydınlatma Envanteri Oluşturmak için Yapılan Çalışmalar

Ülke	Yıl	Yöntem	Katılımcı Sayısı	Akkor %	Floresan %	KFL %	Halojen %	LED %	Ort. ampul sayısı/hane	Yıllık ort. tüketim (kWh)/ hane
Amerika [33]	2013	Anket	476	27	25	24	-	24	-	-
Birleşik Krallık [63]	2009	Ölçüm (data logger)	18	32,1	3,3	31,4	25,8	5,6	21,7	195,3
Birleşik Krallık [47]	2016	Anket	1458	28,6	-	45,2	16,4	9,6	-	-
İsveç[64]	2009	Ölçüm (ampulmetre, Wattmetre)	40 (1yıl)/ 360(1ay)	60	10,2	13	0,16	-	42	636
Pakistan [65]	2009	Anket	3253			≥64				365x 0,20473 / ampul
Türkiye, Ankara [66]	2011	Anket	396	37,9	10,1	42,4	5,3	-	-	-
Türkiye, Ankara [67]	2012	Anket	201	38	6	48	1	3	13	220
Türkiye Ankara İstanbul İzmir Kayseri [68]	2016	Anket	Toplam* 2578 440 700 694 744	14,7 4,4 35,6 5,6 13,2	- - - - -	92,9 96,4 98,4 95,2 81,6	- - - - -	5,3 9,2 2,4 4,8 4,8	- - - - -	-

*Birden fazla seçenek işaretlendiği için toplam 100'den fazladır.

Tez çalışmasına benzer şekilde 2012 yılında Amerika'da 476 kişiye aydınlatma ile ilgili kullanıcı davranışlarını etkileyen faktörleri belirleme amaçlı bir anket yapılmıştır. Hicks ve Theis'in[33] bu çalışması, Amerika'nın dört bölgesinde uygulanmıştır. Anket çalışması bir internet sitesi üzerinden siteye üye olan tesadüfi kişilere uygulanmıştır. Katılımcılara

aydınlatma konulu 22 soru sorulmuştur. Bu çalışmada katılımcıların demografik özellikleri Amerika'nın genel özelliklerini yaklaşık olarak temsil etmektedir. Çalışma sonucunda kullanıcıların aydınlatma seçimleri ve günlük aydınlatma talebi dağılımları belirlenmiştir. Akkor, KFL ve LED ampul özellikleri karşılaştırmalı verilerek, kullanıcıların bir ampul için ödeyecekleri fiyatı ampul özelliklerinden etkilenerek nasıl seçtikleri belirlenmiştir.

Benzer kapsama sahip bir başka çalışma 2013 yılında İngiltere'de uygulanmıştır. Monreal ve vd.'nin [47] çalışması belirli bir süpermarketin internet sayfası üyelerine çevrimiçi olarak uygulanmıştır. Tesadüfi seçilen 1458 katılımcı İngiltere'nin yaş, cinsiyet, iş durumu, medeni hal gibi genel demografik özelliklerine yakın dağılım göstermektedirler. Kullanıcılar evsel aydınlatma kullanımları hakkındaki sorulara cevap vermişlerdir. Ankette, kullanıcıların ampulü edinme, aydınlatmanın nitelikleri ve ev içi alanlardaki aydınlatma tercihlerini belirleyici sorular sorulmuştur. Sonuçlarda Ki-kare testi ile yapılan değerlendirmede KFL kullanımı ve gelir arasında belirgin bir ilişki bulunamamış olsa da KFL'nin düşen ücretinin bu sonuçta etkili olduğu düşünülmektedir. Veri değerlendirmelerine göre ampulün fiyatının hangi ampulün seçileceğini etkilediği göstermiştir.

Pakistan'da yapılan geniş kapsamlı bir çalışmada KFL adaptasyonu ve etkilerini anlamak için 58 bölgede toplam 3253 konutta yüz yüze olarak anket uygulanmıştır. Çalışmanın istatistik sonuçlarına göre her evde 2,77 KFL ve 2,58 akkor ampul bulunduğu tespit edilmiştir. Konutlarda kullanılan ortalama bir ampul başına ışık yoğunluğu 85,05 lm'dir. Günlük ampul başına tüketilen ortalama elektrik 204,73 Wh olarak tahmin edilmiştir. Çalışmada genel ampul dağılımı ve tek bir konutun aydınlatma kaynaklı tüketimi hesaplanmamıştır. Farklı senaryolarla KFL adaptasyonunun ne kadar artacağı öngörülme çalışılmıştır[65].

Bu çalışma kapsamında Ankara ilinde konutlarda enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyon miktarını tahmin etme amacıyla yapılan ve anket araştırmasına dayanan bir çalışmada kullanıcılara aydınlatma soruları da sorulmuştur. 2011'de ki bu çalışmada 396 konutun % 37,9'unda KFL kullanıldığı belirlenmiştir. Enerji tüketiminin değerlendirilmesi kısmında, eksik bilgi sebebiyle verilerin güvenilirliği açısından değerlendirilmeye alınmamıştır [66].

Ankara ilinde 2012 yılında yapılmış konutlarda elektrikli cihazların bekleme konumunda elektrik tüketimini tahmin eden bir diğer çalışmada aydınlatma kısmına da yer verilmiştir. Bu çalışma 201 evde anket ve ölçüm araştırmasına dayanmaktadır. Ankete katılan hanehalklarının aydınlatma kullanımlarına göre yıllık bir evin ortalama aydınlatma talebi 220 kWh olarak hesaplanmıştır. Çizelge 2.7'de yer aldığı gibi anket uygulaması yapılan konutlarda hanehalkı

geliri beş grupta sınıflandırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre yapılan karşılaştırmalarda aydınlatmadan kaynaklanan yıllık elektrik tüketiminin hanehalkı aylık net geliriyle paralel olarak arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 2.7: Hanehalkı Geliri ve Aydınlatmadan Kaynaklanan Elektrik Tüketimi Karşılaştırması [67]

Aylık Net Gelir	Konut Sayısı	Aydınlatmadan Kaynaklanan Elektrik Tüketimi, kWh/yıl
< 1250 TL	40	208
1250 – 2500 TL	67	221
2500 – 5000 TL	59	280
5000 – 8000 TL	27	339
> 8 000 TL	7	1189

Araştırma sonuçlarına göre anket yapılan evlerde enerji tasarrufu en yüksek ampul olan LED ampullerin dağılımının %3 olduğu ortaya konmuştur [67].

Son olarak, 2016 yılında Türkiye’deki 4 ayrı ilde, konut kullanıcılarının enerji tüketimini etkileyecek davranışlarını ve konfor düzeyi algısını anlamayı amaçlayan bir anket araştırması yapılmıştır. Bu mimari çalışmada, Türkiye’nin dört ayrı iklim bölgesi göz önünde bulundurularak, Ankara’da 440 konut, İstanbul’da 700 konut, İzmir’de 694 konut ve Kayseri’de 744 konut seçilmiştir. Kullanıcıların aydınlatma davranışları ölçülürken evlerinde bulunan ampul tiplerini işaretlemeleri istenmiştir. Ankara’daki kullanıcıların %9,2’sinin, toplam dört il ortalamasında ise kullanıcıların %5,3’ünün LED ampul kullandığı belirlenmiştir [68].

Birçok ülkede aydınlatma kaynaklı elektrik talebini tahmin etmek veya enerji tasarruflu aydınlatma adaptasyonunu belirlemek için çalışmalar yapılmıştır. Fakat ülkemizde aydınlatma seçimini etkileyen faktörleri, aydınlatma bilincini, odalara göre aydınlatma tercihlerini içeren, LED ampul adaptasyonunun seviyesini, farklı politikaların adaptasyonu nasıl hızlandırabileceğini belirlemeyi amaçlayan ve konutların yıllık aydınlatma kaynaklı elektrik talebini tahmin eden geniş kapsamlı mevcut araştırmalar az sayıdadır.

2.5. Monte Carlo Metodu ile Elektrik Tüketimi Tahmini Literatür Özeti

Literatürdeki mevcut çalışmalarda birebir aydınlatma üzerine Monte Carlo metodu ile elektrik tüketim tahmini olmamasına rağmen konut genelindeki toplam elektrik tüketim tahminleri için

kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte konutlardaki tüketim tahmini için yapılan çoğu çalışmada aydınlatma tüketim verileri de kullanılmaktadır. Çizelge 2.8’de yapılan çalışmalar ve tahmin sonuçları özet halinde sunulmaktadır.

Hindistan’ın üç ayrı kırsal bölgesinde konutlardaki yaz ve kış mevsimi elektrik tüketimi farklarını genele yansıtmak için yapılan bir çalışmada, elektrik tüketen cihazlar ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen veriler tahmin verileri için kullanılmıştır. Araştırma yapılan konutlarda konut başına ortalama 4,2 adet LED ampul ve 3,4 geleneksel gazyağı lambası kullanıldığı tespit edilmiştir. Konut başına aydınlatma için tüketilen günlük elektrik yaz döneminde ortalama 86 Wh, kış döneminde ortalama 111 Wh olarak hesaplanmıştır. Çalışmada elektrik tüketen cihazların sayıları, kullanım süreleri ve cihaz güçleri kullanılarak Monte Carlo metodu ile 100 hanelik bir köy için aylık 10000 tüketim tahmini üretilmiştir ve tahmin sonuçlarına göre yaz ve kış mevsimi arasında günlük toplam 2,5 kWh elektrik tüketimi farkı bulunmuştur [69].

Japonya’da yapılan bir çalışmada ise yaz ve kış mevsiminde incelenen toplam 1227 konutta her oda tipinde tüketilen elektrik bir gün boyunca izlenmiştir. 10 ayrı hanehalkı tipi için yaz, kış ve orta sezon olmak üzere 3 ayrı elektrik tüketimi tahmin senaryosu üretilmiştir. Yapılan senaryolar enerji tasarrufu tahminleri için kullanılmıştır. Sonuçlara göre aydınlatma cihazlarının LED ampul ile değiştirilmesi ile yılda 302-405 kWh tasarruf edilebileceği tahmini yapılmıştır. Monte Carlo metodu sonuçları ile yıllık nihai elektrik tüketimi istatistikleri ile uyumlu bulunmuştur [70].

20 ayrı konutta bulunan 9 farklı elektrikli cihazın sayısı ve gücü bilgisi kullanılarak günlük tüketim modeli kurulmuştur ve 200 hanenin saatlik toplam elektrik tüketimi ve maksimum elektrik tüketimi tahminleri üretilmiştir. İngiltere’de yapılan bu araştırmanın amacı, minimal bir topluluk için elektrik talep tahmini yapabilmektir. Çalışmanın hane çeşitliliğini içermesi ve daha doğru bir değerlendirme için daha fazla konut verisi kullanılması önerilmiştir [71].

Çizelge 2.8: Monte Carlo Metodu Kullanılarak Yapılan Tahmin Çalışmaları

Ülke	Yıl	Katılımcı Sayısı	Toplam Tüketim Tahmini
Hindistan [69] Uttar Pradesh	2016	51	*Yaz dönemi: 9,5 kWh/gün *Kış dönemi: 12 kWh/gün
Japonya [70]	2018	1227 yaz dönemi: 612 kış dönemi: 615	**11,5 kWh/gün
İngiltere [71]	2015	20	***Akşam saati (mak): 24,98 kW ***Gece saati (min):7,11 kW

*100 hane için

**3 kişilik bir hane için

***200 hane için saatlik

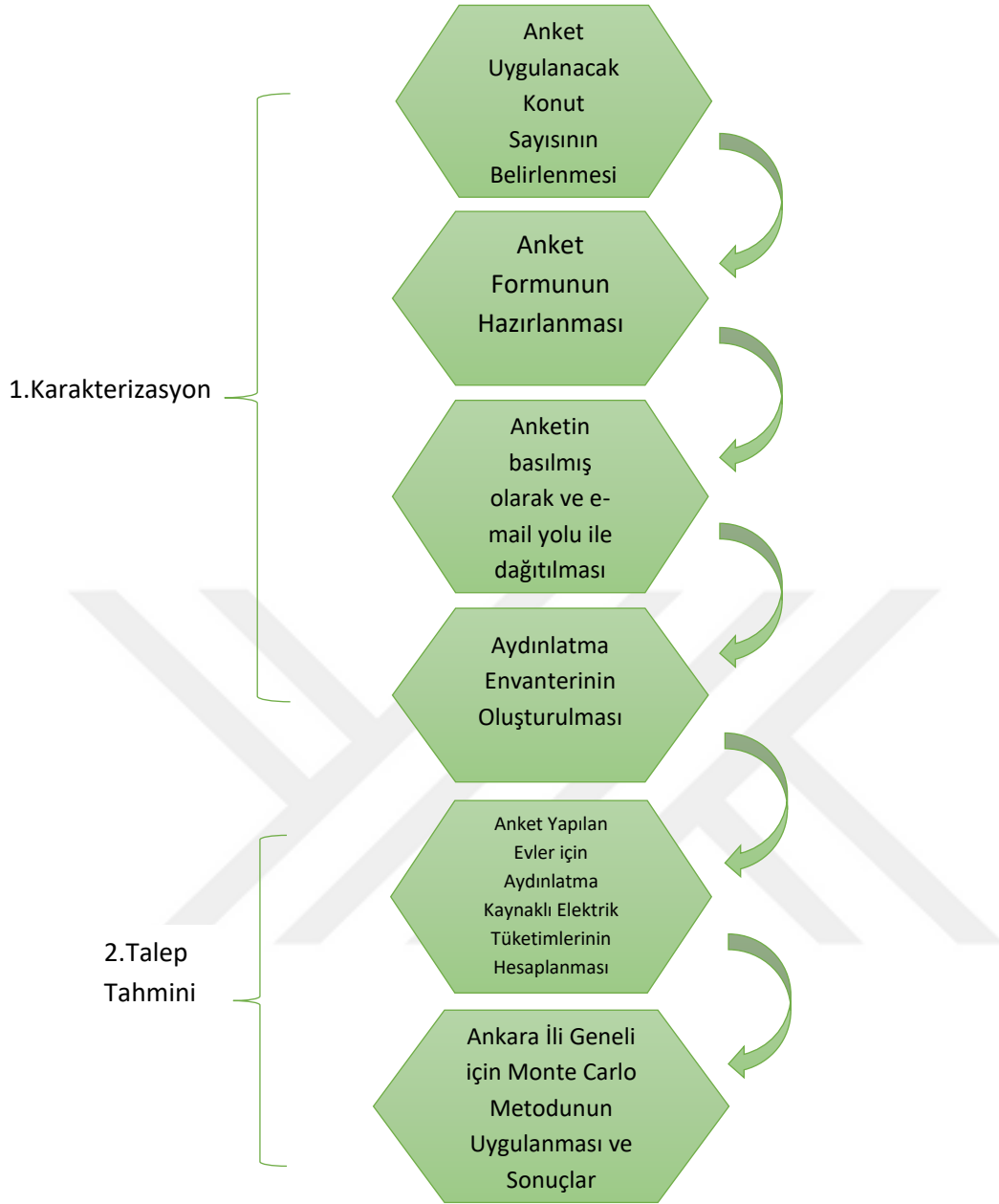
Monte Carlo metodu son yıllarda talep tahminlerinde kullanılan yeni bir yöntemdir bu sebeple literatürde çok fazla sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu yöntem özellikle büyük bir örnekleme temsil etmeyi gerektiren çalışmalarda kolaylık sağlamaktadır fakat sonuçların temsil edici olması bakımından, tahmin için oluşturulan model iyi dizayn edilmeli ve örneklem evrensel küme çeşitliliğini büyük ölçüde içermelidir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu kısımda tez çalışmasında izlenen yöntemin aşamaları 2 ana başlıkta sunulmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında aydınlatma karakterizasyonu için uygulanan anket formunun hazırlanmasından, anket uygulanacak örneklem sayısının belirlenmesinden, katılımcıların nasıl gruplandırıldığından, anketten elde edilen aydınlatma envanterinin oluşturulmasından bahsedilmektedir. İkinci aşamada ise, aydınlatma cihazı sayısı, cihaz gücü ve kullanım süreleri dağılımlarının ve aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimlerinin nasıl hesaplandığından ve elde edilen bu veriler kullanılarak Ankara ilindeki konutlar için uygulanan Monte Carlo metodu ile üretilen aydınlatma kaynaklı elektrik tüketim tahmininin nasıl uygulandığı sunulmaktadır.

3.1. Tez Çalışmasında İzlenen Yöntemin Genel Şeması

Tez çalışması kapsamında Aralık 2017 - Şubat 2018 zaman aralığında Ankara ilinde farklı semtlerdeki toplam 138 haneden 27'si yüz yüze görüşme yolu ile 111'i ise e-mail ve anket formunun dağıtılması yolu ile uygulanarak aydınlatma karakterizasyonu elde edilmiştir. Şekil 3.1'de tez çalışmasında izlenen yöntem ana hatları ile gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Tez Çalışması Yöntem Genel Akış Şeması

3.2. Aydınlatma Karakterizasyonu

Hazırlanan anket formu tez amacına yönelik olarak, Ankara ilindeki konutlarda aydınlatma teknolojisi tercihlerini, hane özellikleri ile aydınlatma kullanımları arasındaki ilişkisini incelemeyi, LED teknolojisi bilincini, LED adaptasyonunun seviyesini ve aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimini belirlemeyi amaçlamaktadır.

3.2.1. Anketin Hazırlanması

Anket uygulaması, Hacettepe Üniversitesi Etik Komisyonu 18 Aralık 2017 tarihli 35853172/431-4225 sayılı izni ile yapılmıştır (İlgili yazı EK-1 'de yer almaktadır). Oluşturulan anket

soruları, Türkiye’de ve farklı ülkelerde yapılan araştırmalardaki sorulara benzer ve tezin amacına uygun şekilde Türkiye ve günümüz için yeniden uyarlanarak hazırlanmıştır.

İlk kısımda, katılımcılara araştırmanın amacı ve ankete katılımın gönüllülük esasına dayandığı hakkında bilgi verilmiştir. Bu kısımda, katılımcılara ait kimlik bilgileri yer almaktadır ve veri tabanında kullanılmak üzere her katılımcıya bir referans numarası verilmiştir.

İkinci bölümde, konutta yaşayan hanehalkı ve konut özellikleri ile ilgili kısım yer almaktadır. Hanehalkı bilgilerinin bulunduğu kısım, hanehalkı aylık toplam gelir düzeyi, hanehalkı yaşı ve eğitim durumu bilgilerini derlemek amacı ile oluşturulan soruları içermektedir. Konut özellikleri ile ilgili bölüm ise katılımcıların konutun tipi, ev sahipliği durumu ve konutun büyüklüğü ile ilgili soruları kapsamaktadır.

Anket formunun üçüncü bölümünde aydınlatma teknolojisi tercihleri ile ilgili sorular yer almaktadır. Bu bölümde literatürde yer alan Çizelge 3.1’deki faktörler verilerek kullanıcıların aydınlatma cihazı satın alırken dikkat ettikleri özellikleri ‘en önemliden en önemsiz’e sıralamaları istenmiştir. Bu sıralama sorusunda kullanıcıların raf fiyatı, ampul özellikleri ya da farklı unsurlardan nasıl etkilendiklerini anlamak amaçlanmıştır.

Çizelge 3.1: Aydınlatma Cihazı Satın Alırken Dikkat Edilen Faktörler

Fiyatı
Enerji tasarruflu/ verimli olması
Amorti etme süresi
Yüksek ışık/ lümen vermesi
Estetik olması
Çevreci olması

Ülkemizde yeni teknoloji adaptasyonunda yenilikçi ve taklitçi oranlarını, LED teknolojisi bilinci düzeyini anlama amaçlı sorular yöneltilmiştir. Farklı ampul tipleri karşılaştırmalı değerlendirme soruları sorularak kullanıcıların raf fiyatı ve ampul özelliklerinden nasıl etkilendikleri tespit edilmiştir. Aydınlatmada enerji tasarrufuna yönelik kullanıcıların ne tür önlemler aldığı ve son olarak konutlardaki aydınlatma tercihlerini tam olarak karakterize etmek ve net bir envanter çıkarmak için konutta kullanılan aydınlatma ekipmanları ile ilgili ayrıntılı sorular sorulmuştur. Bir tablo hazırlanarak, katılımcıların her oda için kullanılan ampullerin tipleri, kullanım süreleri ve güçlerini doldurmaları istenmiştir. Bu bilgilerden ampul tipi

dağılımları, aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi hesapları yapılmıştır. Hazırlanan anket formu Ek-2’de sunulmuştur.

3.2.2. Örneklem Hesabı ve Gruplandırılması

Bilimsel araştırmalarda doğru bilgi sunmak için doğru bilgiye ulaşmak gerekir. Bazı durumlarda araştırma evreni hem zaman açısından hem de maddi açıdan tamamına ulaşılamayacak kadar büyüktür. Bu sebeple örneklem belirli kurallara göre seçilir ve elde edilen sonuçlar araştırma evrenine genellenir.

Bu çalışmada kullanılan örneklem seçimi ‘kartopu örnekleme’ye benzer özellikler taşımaktadır. Öncelikle belli sayıda kişiye anket uygulanmış ve onlardan diğer katılımcılara ulaşılmıştır. Örneklem bu sayede büyüüp istenilen sayıya ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir.

Örneklem sayısının hesaplanmasında örneklem bulunduğu evreni temsil etmesi önemlidir. Bu sayı hesaplanırken, literatürde araştırmacıların geliştirdiği bazı formüllerden yararlanılabilir [72]. Bu araştırmada örneklem sayısını belirlemek için eşitlik 3.1 kullanılmıştır.

N: Evren birim sayısı, n: Örneklem büyüklüğü

P: Evrendeki X’in gözlenme oranı, Q (1-P): X’in gözlenmeme oranı

Z_{α} : $\alpha = 0.05, 0.01, 0.001$ için 1.96, 2.58 ve 3.28 değerleri

d: Örneklem hatası

$t_{\alpha, sd} =$ sd serbestlik dereceli t dağılımı kritik değerleridir ($sd = n-1$). $t_{\alpha, sd}$ kritik değerleri $sd = n-1 \rightarrow 5000$ olduğunda Z_{α} değerlerine eşit alınabilir.

$$n = \frac{N \cdot P \cdot Q \cdot Z_{\alpha}^2}{(N-1) \cdot d^2} \quad (3.1)$$

Çalışmada evren birim sayısı (N), araştırma konusu olan Ankara ilindeki hane sayısıdır. TÜİK’ten elde edilen verilere göre 2016 yılı için Ankara ilindeki hane sayısı 1.646.503’dür [73]. P sayısı, LED adaptasyonu seviyesi olarak kabul edilmiş ve daha önceki literatür çalışmalarına bakılarak 0,10 alınmıştır. Z sayısı ise, %95 güvenirlilik için Z tablosundan 1,98 olarak belirlenmiştir. Bu formüle göre örneklem sayısı %95 güvenirlilik ve %5 hata payıyla 138 hesaplanmıştır.

Literatürde bulunan hanehalkı geliri ve aydınlatma kaynaklı elektrik talebi arasındaki lineere yakın ilişki göz önünde bulundurularak, anket formunda haneler gelir gruplarına göre ayrılmışlardır. Bu ayrım Çizelge 3.2’deki TÜİK’ten elde edilen hanehalkı toplam gelir seviyesi dağılımlarının minimum ve maksimum değerlerine yakın tutulmaya çalışılmıştır. Hanehalkı geliri ve aydınlatma talebi arasındaki ilişkiyi daha doğru ortaya koymak için gelir seviyesi altı ayrı gruba ayrılmıştır. Yapılan anket çalışmasında gelir seviyesine göre konut dağılımları, Türkiye genelindeki dağılım göz önünde bulundurularak uygulanmıştır.

Çizelge 3.2: Türkiye Geneli Hanehalkı Aylık Toplam Gelire Göre Gruplandırma ve Çalışmada Uygulanan Gruplandırma [74]

	Türkiye Geneli, 2016	Çalışma
	Aylık Gelir	Aylık Gelir
İlk %20	0-1498 TL	0-1500 TL
İkinci %20	1499-2199 TL	1501-2200 TL
Üçüncü %20	2200-3093 TL	2201-3100 TL
Dördüncü %20	3094-4582 TL	3101- 5000 TL
Son %20	4583 TL'den fazla	5001-10000 TL
		10001 TL'den fazla

3.2.3. Anket Verilerinin İşlenmesi

Tez çalışması süresince elde edilen tüm anket verileri MS Excel 2013 belgesinde toplanmıştır. Ankete katılan her konut için bir referans numarası verilerek konutun tüm bilgileri o referans numarasının olduğu satıra Şekil 3.2’de sunulduğu gibi kaydedilmiştir. Hesaplanan örneklem sayısı olan 138 haneye ulaşıncaya kadar anketin devam ettirildiği süreçte, toplam 4 anket eksik bilgi sebebiyle yapılan istatistiklere dahil edilmemiştir.

Mevcut 138 konut ve hanehalkı bilgileri, ampul alırken dikkat edilen faktörler, aydınlatma tercihleri, aydınlatmada enerji tasarrufu bilinci ve LED teknolojisi bilinç düzeyi ile ilgili soruların cevapları ilk sekmede yer almaktadır. İkinci sekmede salon, yatak odası, oturma odası, mutfak, banyo, tuvalet, antre, balkon ve ‘diğer’ kategorisinde değerlendirilen bölümler olmak üzere her odada kullanılan ampul bilgileri kaydedilmiştir. Oda tipine göre kullanılan her ampul için ayrı ayrı ampul tipi, gücü ve ampulün kullanım süreleri işlenmiştir.

DOSYA

Yeni

Çap Et

Yazdır

GİRİŞ

EKLE

SAĞFA DÜZENİ

FORMÜLLER

VERİ

GÖZDEN GEÇİR

GÖRÜNÜM

FOXT PDF

Genel

Koşullu Biçimlendirme

Tablo Olarak Biçimlendir

Hücre Stilleri

Ekle

Sil

Biçim

Hücreler

Özet Otomatik Toplam

Doldur

Temizle

Sırala ve Filtre Uygula

Bul ve Seç

Düzenleme

Pano

Yazı Tipi

Hizalama

Sayı

E1

H.h sayısı

E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	
1	H.h sayısı	Yaş	Eğitim	Ev Sahip.	K.Tipi	M2	Fiyat	Enj.Tas.	Amorti	Lümen	Estetik	Çevreci	Yeni Tek.	LED bil.	Bil.Kayn.	Kul. Yer.	fiy-ömür	fiy-fat	max fiyat	fiy-amorti	Akkor	oda	sensör	daha faz	LED
2	3	58	lisans	S	A	120	3	2	5	1	6	4	b	E	İ	İÇ	25000	60	45	60	B	E	E	H	25
3	2	26	yük	K	A	80	1	2	5	4	6	3	e	K	İ	DIŞ	10000	11	15	11	H	B	H	E	1
4	2	25	yük	S	A	140	3	2	6	1	5	4	e	K	İ	ELK	10000	11	30	11	E	E	H	H	0
5	3	28	lisans	S	A	135	4	1	5	3	6	2	b	E	İ	İÇ	10000	60	30	60	E	E	E	H	14
6	4	29	lisans	S	A	120	1	3	4	2	6	5	d	E	M	TRF	10000	11	15	60	E	E	H	H	2
7	4	28	lisans	S	A	110	4	2	5	1	6	3	b	E	M	DEK	10000	60	30	60	E	E	H	E	4 2011
8	4	32	lisans	S	A	100	3	2	1	6	5	4	c	K	İ	İÇ	10000	11	30	11	E	E	H	H	12
9	4	29	lisans	K	A	165	4	2	3	1	5	6	c	E	İ	DEK	25000	60	60	60	E	B	H	H	9
10	2	67	lisans	K	A	150	5	2	6	4	3	1	e	H	H		25000	60	0	60	E	E	H	H	0
11	2	26	lisans	K	A	120	3	1	5	6	4	2	c	K	İ	ELK	25000	60	45	60	B	E	E	H	3 2011
12	1	84	ilk	S	A	90	4	1	3	5	6	2	d	H	H		10000	11	15	11	E	E	E	H	8
13	2	65	yük	S	A	150	5	1	6	4	2	3	d	E	A	DIŞ	10000	60	15	60	E	E	H	H	0
14	1	44	yük	K	A	120	5	2	4	3	6	1	b	E	İ	TRF	10000	11	60	60	E	E	H	H	6
15	3	55	lisans	S	A	100	1	6	2	5	3	4	e	K	İ	DEK	10000	11	45	60	E	E	H	H	6
16	4	41	yük	S	M	250	6	3	4	5	2	1	b	E	İ	DIŞ	10000	11	45	11	H	B	H	H	50
17	3	30	lisans	S	A	140	2	1	4	3	6	5	c	E	A	ELK	10000	60	15	11	E	E	E	H	0
18	2	30	lisans	S	A	180	1	4	2	5	6	3	c	K	A	DEK	10000	60	30	60	E	E	H	E	3
19	3	31	lisans	K	A	120	3	1	6	2	5	4	e	E	A	ELK	25000	60	45	60	E	E	H	H	0
20	3	30	lisans	K	A	107	3	1	6	2	5	4	c	E	İ	ELK	10000	11	45	11	E	E	E	H	9 2011
21	3	50	lisans	L	A	175	5	4	6	1	2	3	c	E	A	İÇ	10000	60	15	11	E	E	H	E	13
22	2	32	yük	K	A	130	1	2	4	3	5	6	c	E	M	DEK	10000	11	15	11	E	E	H	H	38
23	3	24	yük	S	A	120	2	3	6	1	5	4	e	E	İ	TRF	25000	60	0	60	E	B	H	H	6

Sayfa1

Sayfa2

Sayfa4

Sayfa3a

Sayfa5

Şekil 3.2. Aydınlatma Envanteri Ekran Görüntüsü

3.2.4. Ankete Katılan Konutlar için Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Tüketiminin Hesaplanması

Anketin aydınlatma tablosu kısmından üretilen ikinci sekmeden elde edilen ampul gücü ve kullanım süresi bilgileri çarpılarak her bir ampul için günlük elektrik tüketimi (Wh) hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalar toplanarak her konutta salon, yatak odası, oturma odası, mutfak, banyo, tuvalet, antre, balkon ve ‘diğer’ kategorisinde değerlendirilen odalar için tüketilen elektrik belirlenmiştir. Her oda için hesaplanan elektrik tüketimi toplanarak o konutun günlük aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi elde edilmiş ve yıllık toplam aydınlatma talebi tahminleri yapılmıştır.

3.2.5. Anket Verilerinin Temel İstatiksel Analizleri

Anket çalışmasının ilk değerlendirme aşaması olan konut ve hanehalkı bilgileri, gelir seviyesi dağılımlarının anketteki ağırlıkları belirlenmiş ve Türkiye genelindeki dağılıma yakınlıkları karşılaştırılmıştır. Anket verilerinin aydınlatma kısmında ise, aydınlatma cihazı alırken dikkat edilen faktörler, LED teknolojisi bilinç düzeyi, aydınlatmada enerji tasarrufu farkındalığı ile ilgili cevapların örneklemdeki yüzdelik dağılımları ortaya konmuştur.

Çalışmadaki verilerin istatistiki değerlendirilme kısmında Statgraphics Centurion XVI (Versiyon 16.1) bilgisayar paket programı kullanılmıştır. Konut ve hanehalkı özellikleri, aydınlatma tercihleri, aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi verilerinin aritmetik ortalama, geometrik ortalama, aralık, standart sapma, varyans, minimum ve maksimum gibi temel

istatistik analizleri bu program ile hesaplanmıştır. Verilerin Box grafikleri, dağılım özellikleri belirlenmiştir. Temel hesaplamalara bakılarak sonraki aşamada hane halkı ve konut özellikleri ile aydınlatma verileri ANOVA testi ile karşılaştırılmıştır.

3.2.6. Monte Carlo Metodu ile Aydınlatma için Elektrik Tüketimi Tahmin Verilerinin Üretilmesi

Tezin son aşamasında, anketten elde edilen aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi hesaplamaları kullanılarak MS Excel programı Oracle Crystal Ball eklentisi üzerinden Monte Carlo metodu ile tahmin verileri üretilmiştir. Oracle Crystall Ball eklentisi, öngörü modelleme, tahmin, simülasyon ve optimizasyon için kullanılan elektronik belge tabanlı bir uygulamadır. Monte Carlo metodu ise düzgün dağılımdan rastsal değişkenler elde etmek ve bunları uygun bir şekilde ilgilenilen dağılıma taşımaktır. Bu yöntemde bütün değerlerin meydana gelmesi eşit şansa sahiptir ve yeni değerler elde edilen önceki tüm değerlerden bağımsızdır. Planlama çalışmasından sonra arzu edilen bilgiyi elde etmek için model çalıştırılır [75].

Monte Carlo metodu ile yıllık aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminin (kWh) daha doğru tahmini için anketten elde edilen tüketim hesaplamalarının dağılım özellikleri programa girilmiş ve Crystal Ball uygulaması çalıştırılarak 10000 tahmin verisi üretilmiştir. Aynı dağılımdan üretilen veriler ile ortalamanın standart hatanın düşürülmesi ve gözlemlenmeyen verilerin kümelenedikleri alanın tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ankara ilini temsilen üretilen yıllık aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi tahminlerinin temel istatistik özellikleri ve dağılım grafiği verilmiş, son aşamada ise anket sonuçları ile Monte Carlo tahminleri ve literatürdeki tahmin verileri ile karşılaştırılmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, sonuçlar üç ana başlıkta toplanmıştır. İlk olarak, anket yapılan konutların özellikleri ve hanehalkının demografik özellikleri, kullanıcıların aydınlatma teknolojileri ve aydınlatmada enerji tasarrufu bilinç düzeyi sonuçları sunulmuştur. Daha sonra oda tipine göre aydınlatma tercihleri, anketle derlenen envantere dayalı olarak hesaplanan aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi sonuçları, aydınlatma tüketimlerini etkileyen faktörlerin incelenmesinin sonucu ve son olarak, Ankara ilindeki konutlarda aydınlatma talebini doğru temsil etmek için yapılan Monte Carlo tahminleri yer almaktadır.

4.1. Anket Sonuçlarının Analizi

Bu kısımda, Aralık 2017 - Şubat 2018 tarihleri arasında konutlardaki net aydınlatma karakterizasyonunu anlama ve aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimini daha doğru tahmin etme amaçlı yapılan tez çalışması kapsamında 138 konutta uygulanan anketin verileri değerlendirilmiştir.

4.1.1. Konut ve Hanehalkı Verilerinin Analizi

Konut ve hanehalkı özellikleri ile ilgili verilerin analizinde ilk olarak, çalışmanın temeli de olan hanelerin gelir seviyesi dağılımları sunulmuştur. Literatürde ortaya konan gelir ve aydınlatma talebi ilişkisi baz alınarak tez çalışmasında hanehalkı aylık toplam geliri altı gruba ayrılmıştır. Sonuçlarda da gelir ve aydınlatma talebi ilişkisi aranmıştır. Çizelge 4.1’de anket sonuçlarındaki gelir seviyesi dağılımının Türkiye genelindeki dağılıma benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bu dağılımda en yüksek pay, dördüncü ve beşinci en yüksek gelir seviyesine sahip gruptadır.

Çizelge 4.1: Hanelerin Gelir Seviyesine Göre Dağılımı ve Türkiye Geneli ile Karşılaştırılması

Türkiye Geneli [74]			Çalışma		
Grup	Aylık Gelir	% Dağılım	Aylık Gelir	Konut Sayısı	% Dağılım
1	0-1498 TL	6,3	0-1500 TL	5	3,6
2	1499-2199 TL	10,6	1501-2200 TL	10	7,2
3	2200-3093 TL	15,2	2201-3100 TL	25	18,1
4	3094-4582 TL	21,6	3101- 5000 TL	40	29,0
5	4583 TL'den fazla	46,3	5001-10000 TL	44	31,9
6			10001 TL'den fazla	14	10,1

Konut özellikleri verilerinden ilki Çizelge 4.2’de verilen konut tipi bilgisidir. Anket sonuçlarına göre katılımcıların %4,3’ü müstakil evde, % 95,7’si apartman dairesinde oturmaktadır.

Çizelge 4.2: Hanelerin Konut Tipine Göre Dağılımı

Konut Tipi	Konut Sayısı	% Dağılım
Apartman	132	95,7
Müstakil ev	6	4,3

Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi bu hanelerden %63,8’i ev sahibidir. 2016 yılı TÜİK [10] verilerine göre ise, Türkiye genelinde konutlar mülkiyet durumuna göre %59,7 ev sahibi %24,4 kiracı, %1,5 lojman ve kalan %14,4 diğer olarak dağılmaktadır. Çalışmadaki mülkiyet durumu verileri ile Türkiye geneli verileri birbirine yakın dağılım göstermektedir.

Çizelge 4.3: Hane Mülkiyet Durumuna Göre Dağılım

Ev sahipliği	Konut Sayısı	% Dağılım
Ev sahibi	88	63,8
Kiracı	45	32,6
Lojman	5	3,6

Ankete katılan hanelerdeki oda sayısı dağılımları incelendiğinde, %44,9 oran ile en yüksek dağılım 3 oda 1 salon olan konutlarıdır. Bu bilgilere ek olarak iki ya da daha fazla balkon, deposu ve bahçe aydınlatması gibi fazladan alanlara sahip olan konutların sayısı Çizelge 4.4’de yer almaktadır. TÜİK [10] verilerine göre Ankara ilinde yaşayan hanelerin oturduğu konutların oda sayısına göre dağılımı, 1 odalı konutlar %0,8, 2 odalı konutlar %7,6, 3 odalı konutlar %29,7, 4 odalı konutlar %56,1 ve 5 veya daha fazla odalı konutlar %5,8 şeklindedir. Ankara ili için en büyük pay 4 odalı yani 3 oda bir salon olan konutlarıdır ve bu dağılım ile çalışmadaki dağılım benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.4: Konutlarda Oda Sayısına Göre Dağılım ve Fazladan Sahip Oldukları Alanlar

Oda Sayısı	Konut Sayısı	% Dağılım	2 ya da Daha Fazla Balkon Olan Konut Sayısı	Deposu Olan Konut Sayısı	Bahçe Aydınlatması Olan Konut Sayısı
1 + 1	7	5,1	-	-	-
2 + 1	53	38,4	2	4	-
3 + 1	62	44,9	2	1	1
4 + 1	15	10,9	4	2	1
5 + 1	1	0,7	-	1	-

Konutların büyüklüğü sınıflandırmasına baktığımızda en yüksek dağılım %52,2 ile 110 ile 164 m² arası gruptadır. Sonuçlara göre 219 m²'den büyük konutlar en düşük yüzdelik dağılıma sahiptirler.

Çizelge 4.5: Konut Büyüklüğüne Göre Gruplandırma ve Dağılımı

Konut Büyüklüğü	Konut Sayısı	% Dağılım
< 55 m ²	3	2,2
56 - 109 m ²	47	34,1
110 - 164 m ²	72	52,2
165 - 218 m ²	14	10,1
> 219 m ²	2	1,4

Ankete katılan konutlarda yaşayan hanelerin demografik verilerinden ilki hanehalkı büyüklüğüdür. Çizelge 4.6'ya göre çalışmada en yüksek oran %34,8 ile 3 kişiden oluşan ailelerindir. 2016 yılı TÜİK [10] verilerine baktığımızda Türkiye'deki haneler %14,9 oranıyla 1 kişiden, %20,6 oranıyla 2 kişiden, %20,0 oranıyla 3 kişiden, %20,8 oranıyla 4 kişiden, %11,2 oranıyla 5 kişiden ve %12,4 oranıyla 6 veya daha fazla kişiden oluşmaktadır. Türkiye genelinde hanehalkı büyüklüğünde en yüksek pay 2,3 ve 4 kişilik hanelerde görülmektedir.

Çizelge 4.6: Hanehalkı Büyüklüğü Dağılımı

Hanehalkı sayısı	Konut Sayısı	% Dağılım
1	15	10,9
2	48	34,8
3	45	32,6
4	26	18,8
5	2	1,4
6	2	1,4

Araştırmaya katılan 138 hanede toplam 372 kişi yaşamaktadır. Hanehalkını temsilen ankete katılan kişilerin yaşları Çizelge 4.7'ye kategorize edilmiştir. En yüksek dağılım %26,8'lik bir payla 30-39 yaş aralığında görülmektedir. TÜİK [10] 2011 yılı Ankara verilerinde 20 yaş üstü için yüzdelik dağılımları 20 ile 29 yaş arası %25,2, 30 ile 39 yaş arası %24,7, 40 ile 49 yaş arası %20,5, 50 ile 59 yaş arası %14,9, 60 ile 69 yaş arası %8,3, 70 ve üstü %6,3 şeklindedir.

Çizelge 4.7: Ankete Katılan Kişilerin Yaş Dağılımı

Yaş Aralığı	Kişi Sayısı	% Dağılım
20-29	21	15,2
30-39	37	26,8
40-49	20	14,5
50-59	31	22,5
60-69	23	16,7
70 ve üstü	6	4,3

Katılımcıların eğitim seviyesi bilgileri daha sonra aydınlatma talebi istatistiki karşılaştırmalarda kullanılmak üzere Çizelge 4.8'de kategorize edilmiştir. Anket sonuçlarına göre eğitim düzeyinde en yüksek pay lisans seviyesinde eğitime aittir. 2016 yılı TÜİK [10] verilerinde ise 25 yaş ve üzeri bireylerin eğitim durumunu sıraladığımızda yüksek lisans veya daha üstü %1,8, lisans %16,3, lise %19,5 ve ilköğretim veya daha altı %61,5 olarak bildirilmiştir. Eğitim durumu bakımından Türkiye geneli ile çalışma benzerlik göstermemektedir.

Çizelge 4.8: Ankete Katılan Kişilerin Eğitim Durumu Dağılımı

Eğitim Durumu	Kişi Sayısı	% Dağılım
Yüksek Lisans ve üstü	29	21,0
Lisans	72	52,2
Lise	30	21,7
İlköğretim ve altı	7	5,1

4.1.2. Teknoloji Adaptasyonunu Etkileyen Faktörler

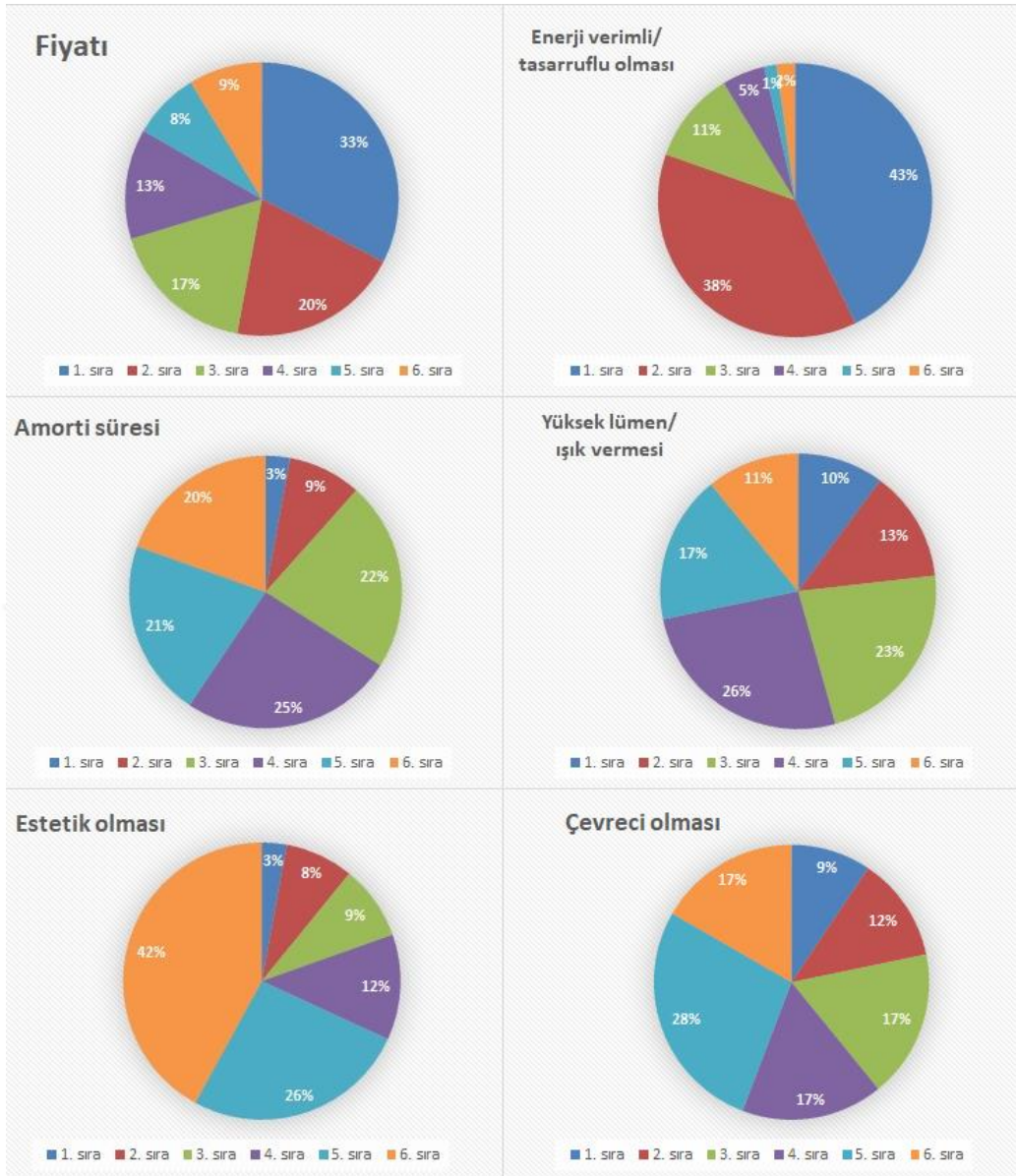
Katılımcılar aydınlatma cihazı satın alırken ampulün fiyatı, enerji tasarruflu olması, kendini amorti etme süresi, yüksek ışık vermesi, estetik olması ve çevreci olması gibi dikkat ettikleri faktörleri ‘en önemli’den ‘en önemsiz’e olacak şekilde sıralamışlardır. Şekil 4.1’e göre katılımcıların %43’ü ampulün enerji verimli/ tasarruflu olması faktörünü ilk sıraya koymuştur. Bu oran kullanıcıların adaptasyon sürecinde aydınlatma için kullandıkları elektrik miktarını düşürme yönünde hareket ettiklerini göstermektedir.

Fiyat faktörünü ilk sıraya koyanların oranı ise %33’tür. Katılımcıların yeni bir ampul alırken dikkat ettikleri ikinci önemli faktör ampulün fiyatıdır. Yüksek raf fiyatının kullanıcının adaptasyon sürecini negatif yönde etkileyeceğini göstermektedir.

Ampulün yüksek ışık yani lümen yüksek vermesi faktörünü ilk sıraya koyanların oranı %10’dur. Büyük bir oranla katılımcılar bu faktörü 4. ve 3. sıraya almışlardır.

Ampulün kendini amorti etme süresi sıralama dağılımında yine çok düşük oranlarla ilk sıradadır. Genel olarak dağılımda 4. ve 3. sırada yer almaktadır. Bu da gösteriyor ki, kullanıcılar ampul alırken önem verdikleri fiyat faktörünün yanında bir cihaz için ödedikleri fiyat kadar elektrik faturasında kar getirdiği süreyi uzun vadede düşünmemektedirler.

Katılımcılar için ampulün estetik ve çevreci olması faktörleri %3’lük çok düşük oranlarla ilk sırada yer almaktadır. En az önem verilen faktör olarak %42’lik bir pay ile ampulün estetik olması özelliği katılımcılar için önem sıralamasında 6. sırada gelmektedir.



Şekil 4.1. Faktörlerin Önem Sırası Dağılımları

4.1.3. İnovasyon Seviyesi

Katılımcıların adaptasyon sürecini anlamak amacıyla, yeni bir teknoloji piyasaya sunulduğunda o teknolojiye hangi süreçte sahip olacakları sorulmuştur ve onlara beş şık verilmiştir. Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere ‘düşünmeden alırım’ diyenlerin sayısı 0’dır. En yüksek oranla ‘bir süre bekler ve etrafımda alıp deneyenlere sorduktan sonra alırım’ diyenler %47,8’dir. Sonuç olarak, ülkemizde yenilikçi gruptan sonra gelen erken adapte olanların oranı %14,5, erken adapte olanları takip eden erken çoğunluk %47,8, erken çoğunluğu takip eden daha şüpheli çoğunluk %15,2 ve gelenekçi olup sadece ihtiyaçları olursa yeni teknolojiyi alacak grup %22,5’tir.

Çizelge 4.9: Ankette Yeni Teknoloji Adaptasyonu Süreci İlgili Verilen Seçenekler ve Sonuçları

	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
a.Evet, düşünmeden hemen alırım	0	0
b.Teknoloji hakkında biraz bilgi edinip almak isterim	20	14,5
c.Bir süre bekler ve etrafımda alıp deneyenlere sorduktan sonra alırım	66	47,8
d.Herkes alıp kullandıktan sonra emin olur ve alırım	21	15,2
e.Hayır, teknolojiyi takip etmiyorum. Sadece ihtiyacım olursa alırım	31	22,5

4.1.4. LED Teknolojisi Bilinç Düzeyi

Ankette katılımcıların LED teknolojisi bilinç düzeyini anlamak amacıyla sorularda yöneltilmiştir. İlk olarak katılımcılara LED (Light Emiting Diode), ı ışık yayan diyot, teknolojisi hakkında bilgi sahibi olup olmadıkları ile ilgili soru sorulmuştur ve sonuçlara göre Çizelge 4.10’da görüldüğü gibi katılımcıların %59,4’ü LED teknolojisini bildiğini, %29,0’u kısmen bildiğini bildirmiştir. Bu sonuçlara göre ülkemizde LED teknolojisi bilgi düzeyi yüksektir. Fakat farklı ülkelerde yapılan araştırma sonuçları ile karşılaştırıldığında LED teknolojisini bilmeyenlerin oranı ülkemizde daha yüksektir. Amerika’da yapılan bir araştırmaya göre bu oran %1,3 iken tez çalışması sonuçlarına göre ülkemizde %11,6’dır[33].

Çizelge 4.10: Ankette LED Teknolojisi Hakkında Bilgi Sahibi Olup Olmamak ile İlgili Sonuçlar

	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
Evet	82	59,4
Hayır	16	11,6
Kısmen	40	29,0

Katılımcılara LED teknolojisi bilgi kaynağının neresi olduğu sorusu yöneltilmiştir ve beş seçenek verilmiştir. Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi yalnızca LED teknolojisini bildiğini ya da kısmen bildiğini söyleyen kişiler bu soruya yanıt vermiştir. Sonuçlara göre katılımcıların büyük bir çoğunluğu %64,8’lik bir oranla ‘internetten veya televizyondan öğrendim’ demiştir. Yüzdelik dağılımlara göre bilgi edinme bakımından internet ve televizyon faktörü büyük bir önem taşımaktadır.

Çizelge 4.11: LED Teknolojisi Bilgi Kaynağı

	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
Arkadaşlarımdan	15	12,3
Ailemden	14	11,5
İnternet/TV'den	79	64,8
Marketlerden	12	9,8
Diğer	2	1,6

Bu kısımdan sonra ankete katılanlardan kendilerine verilen beş seçenektan LED teknolojisinin en iyi kullanım alanının hangisi olduğunu seçmeleri istenmiştir. Çizelge 4.12’te görüldüğü gibi sonuçlara göre ‘iç mekanlar’ diyenlerin oranı %34,8’tür ve bu oran diğer seçeneklerden daha yüksektir. Katılımcılara göre LED teknolojisinin en iyi kullanım alanlarından bir diğeri %20,5’lik bir oranla elektronik cihazlardır. Dekorasyonu seçenler %17,4, dış mekanları seçenler %12,9 ve trafik ışıkları veya reklam panolarında kullanılmasını tercih edenler ise %6,8’dir. Ülkemizde LED cihazlarından en çok bilinen LED ampuller olduğu için katılımcılar arasında en fazla tercih edilen iç mekan seçeneğidir.

Çizelge 4.12: LED Teknolojisinin En İyi Kullanım Alanı ile İlgili Sonuçlar

Kullanım Alanları	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
İç mekanlar	46	34,8
Dış mekanlar	17	12,9
Elektronik cihazlar	27	20,5
Dekorasyon	23	17,4
Trafik ışıkları/ reklam panoları	9	6,8

4.1.5. Karşılaştırmalı Değerlendirme

Anket formunda bundan sonraki sorularda katılımcılara ampul çeşitleri özellikleri karşılaştırmalı olarak sorulmuştur ve hangi ampul olduğu söylenmemiştir. Ampul çeşitleri karşılaştırılırken bir odayı tamamen tek bir ampulle aydınlatacak ışık şiddetinde seçilmiştir (15 m²’lik bir oda için yaklaşık 1500 lümen[76]). Bu seçimlere göre akkor ampulün gücü 100 W, KFL ampulün gücü 21 W ve LED ampulün gücü 10,5 W olarak alınmıştır. Çizelge 4.13’te görülen sonuçlara göre fiyatı 4 TL olan ampulü (akkor ampul) seçenlerin oranı %3,6, fiyatı 11 TL olan ampulü (KFL) seçenlerin oranı %60,9 ve fiyatı 60 TL olan ampulü seçenlerin oranı %35,5’tir. Katılımcıların büyük bir kısmı ampulün fiyatı ile ömrü karşılaştırmasında ortalama

bir fiyat ve performans oranı sunan KFL ampulü tercih etmiştir. Hicks ve Theis'in Amerika'da yaptığı araştırmada kullanıcılara ampul çeşitlerinin benzer bir fiyat ve ömür karşılaştırması sorulduğunda %56,9 gibi yüksek bir oranla KFL ampulü seçmişlerdir. Amerika'da akkor ampulü seçenlerin oranı ise tez çalışması sonuçlarının tersine %32,6'dır[33]. Sonuçlar karşılaştırdığında ülkemizde aydınlatma ürünlerinin performansı fiyatına göre daha fazla önem taşımaktadır.

Çizelge 4.13: Ampul Çeşitlerinin Fiyat-Ömür Karşılaştırmasının Sonuçları

Soru 13: Şu an fiyatı 60 TL ve ömrü 25000 saat, fiyatı 11 TL ve ömrü 10000 saat ve fiyatı 4 TL ömrü 1500 saat olan 3 ampul çeşidinden konutunuzda kullanmak için hangisini tercih edersiniz?		
Fiyatı 4 TL olan (Akkor)	Fiyatı 11 TL olan (KFL)	Fiyatı 60 TL olan (LED)
%3,6	%60,9	%35,5

Kullanıcıların ödemeleri gereken elektrik faturası tutarının önemli bir faktör olup olmadığını anlamak amacıyla ankette ampulün fiyatı ve bir yıl içinde o ampul için ödenecek elektrik faturası tutarı verilmiştir ve hangi ampulü tercih ettikleri sorulmuştur. Soruda o ampulü günde 6 saat kullandıkları varsayılmıştır ve elektrik birim fiyatı (kWh) 2017 yılı Kasım ayı için 0,432 TL alınmıştır. Çizelge 4.14'te sonuçların dağılımlarına göre fiyatı 4 TL olan akkor ampulü seçenlerin oranı %0,72'lik bir oranla çok düşüktür. Fiyatı 11 TL olan KFL ampulü tercih edenler %43,5 ve LED ampulü seçenler %55,8'dir. Kullanıcıların akkor ampulün sebep olduğu yüksek elektrik faturasını öğrendikten sonra, bir önceki soruya oranla akkor ampulü daha az tercih ettikleri görülmüştür. LED ampulün düşük fatura getirisi ise LED ampul seçenlerin oranının artmasına neden olmuştur. Kullanıcılar fiyat ve fatura karşılaştırmasına bakarak enerji verimliliği yüksek LED ampulü daha fazla tercih etmişlerdir. Hicks ve Theis'in araştırmasında benzer bir soruda kullanıcılar arasında en çok tercih edilen ülkemizdeki sonuçlara yakın bir şekilde %53,6 oranıyla KFL ampul olmuştur[33]. Akkor ampulü tercih edenlerin oranı tez çalışmasından farklı olarak %19,5'tir. Bu sonuçlar ülkemizde enerji verimliliğine daha fazla önem verildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.14: Ampul Çeşitlerinin Fiyat-Fatura Karşılaştırmasının Sonuçları

Soru 14: Günde ortalama 6 saat kullandığınızı varsayarsak, bu üç ampulden fiyatı 60 TL olan ampul için yılda yaklaşık 9.93 TL, fiyatı 11 TL olan ampul için yılda yaklaşık 20,75 TL ve fiyatı 4 TL olan ampul için yılda yaklaşık 94,74 TL elektrik faturası ödemeniz gerekir. Bu bilgiye göre konutunuzda kullanmak için hangisini tercih edersiniz?

Fiyatı 4 TL olan (Akkor)	Fiyatı 11 TL olan (KFL)	Fiyatı 60 TL olan (LED)
%0,72	%43,5	%55,8

Anketteki karşılaştırmalı son soruda katılımcılara amorti süresinin ne olduğu açıklanmış ve ampul çeşitlerinin kendini ne kadar sürede amorti ettiği verilmiştir. Çizelge 4.15'te sonuçların dağılımları incelendiğinde fiyatı 4 TL olan akkor ampul diyenlerin payı %1,5, fiyatı 11 TL olan KFL ampul diyenlerin payı %52,2 ve fiyatı 60 TL olan LED ampul diyenlerin oranı %46,4'tür. Sonuçlara göre amorti süresi daha kısa olan 11 TL'lik ampul kullanıcıların daha fazla ilgisini çekmiştir. LED ampulün yüksek raf fiyatı ve uzun vadede getirisi bir önceki soruya oranla LED ampul seçimini negatif yönde etkilemiştir.

Çizelge 4.15: Ampul Çeşitlerinin Fiyat-Amorti Süresi Karşılaştırmasının Sonuçları

Soru 16: Bir ürünü satın alıp kullanmaya başladıktan sonra kendi fiyatı kadar size kar getirdiği süreye "amorti süresi" denir. Bu açıklamaya göre fiyatı 4 TL olan ampulü fiyatı 60 TL olan ampulle değiştirdiğinizde amorti süresi yaklaşık 8,5 ay ve fiyatı 11 TL olan ampulle değiştirdiğinizde amorti süresi yaklaşık 3,5 ay olarak hesaplanmaktadır. Bu bilgilere dayanarak hangi ampul çeşidini seçersiniz?

Fiyatı 4 TL olan (Akkor)	Fiyatı 11 TL olan (KFL)	Fiyatı 60 TL olan (LED)
%1,5	%52,2	%46,4

Katılımcıların bir LED ampul için ödeyecekleri maksimum fiyatı öğrenmek için Çizelge 4.16'daki altı farklı seçenek verilmiştir. Bir LED ampul için en fazla 60 TL öderim diyenlerin sayısı 15, 45 TL diyenlerin sayısı 25, 30 TL diyenlerin sayısı 41, 15 TL diyenlerin sayısı 36, 7,5 TL diyenlerin sayısı 15 ve almayı düşünmeyenlerin sayısı 6'dır. Bu sonuçlara göre katılımcıların çoğunluğu %29,7'lik bir oranla yüksek verimlilikteki bir LED ampul için maksimum 30 TL ödeyeceklerini belirtmişlerdir. Daha yüksek raf fiyatlarındaki bir ampulü kullanıcıların daha az tercih edecekleri ve raf fiyatının adaptasyon seviyesini etkilediği görülmüştür.

Çizelge 4.16: Katılımcıların Bir LED Ampul için Ödeyecekleri Maksimum Fiyat ve Sonuçları

Fiyat	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
0 TL	6	4,3
7,5 TL	15	10,9
15 TL	36	26,1
30 TL	41	29,7
45 TL	25	18,1
60 TL	15	10,9

4.1.6. Aydınlatmada Enerji Tasarrufu Eğilimi

Katılımcıların aydınlatmada enerji tasarrufu bilinç düzeyini anlamaya yönelik olarak katılımcılara Avrupa Birliği ülkelerinde 2009’dan 2012’ye ve Amerika’da 2012’den 2014’e yüksek elektrik tüketen akkor ampullerin adım adım yasaklandığı bilgisi verilmiştir ve ülkemizde de akkor ampullerin yasaklanmasının gerekli olup olmadığı sorulmuştur. Çizelge 4.17’ye göre katılımcıların %76,8’lik büyük bir kısmı akkor ampullerin yasaklanması gerektiğine katılmıştır. %15,9 belki yasaklanabilir derken sadece %7,2’lik bir kısım yasaklanmamalı demıştır. Anket formunda dünyadan verilen örnekler, katılımcıların ülkemizde de enerji tasarrufu konusunda alınması gereken önlemler ile ilgili ne düşündüğünü ortaya koymuştur.

Çizelge 4.17: Türkiye’de Akkor Ampulün Yasaklanmasının Gerekli Olup Olmadığı ile İlgili Sonuçlar

	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
Belki	22	15,9
Evet	106	76,8
Hayır	10	7,2

Aydınlatmada enerji tasarrufunda kullanıcıların ne kadar duyarlı olduğunu anlamak için sorulan bir başka soruda odadan çıktıklarında odanın ışığını kapatıp kapatmadıklarıdır. Ankete katılanların %83,3’ü odadan çıktıklarında odanın ışığını kapattıklarını belirtmiştir. Çizelge 4.18’deki dağılıma göre sadece %1,4’lük bir kısım kapatmadığını söylemiştir. Bu sonuçlara göre kullanıcılar konutlarında enerji tasarrufu için aydınlatma cihazları kullanımlarına dikkat etmektedirler.

Çizelge 4.18: Katılımcıların Odadan Çıktıklarında Odanın Işığını Kapatıp Kapatmadıkları ile İlgili Sonuçlar

	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
Bazen	21	15,2
Evet	115	83,3
Hayır	2	1,4

Araştırmaya katılan hanelerde katılımcıların %71'i enerji tasarrufu için aydınlatma cihazlarında kısılabilir anahtar ya da hareket sensörü kullanmadığını belirtmiştir. Çizelge 4.19'a göre konutunda kısılabilir anahtar ya da hareket sensörü kullananların oranı sadece %29'dur. Kullanıcıların büyük bir bölümü aydınlatmada alternatif enerji tasarrufu çözümlerine yönelik bir uygulamada bulunmamaktadırlar.

Çizelge 4.19: Kısılabilir Anahtar ya da Hareket Sensörü Kullanma Oranı

	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
Evet	40	29,0
Hayır	98	71,0

Yapılan anket sonuçlarına göre elektriğin daha ucuz olması durumunda kullanıcıların %20,3'ü daha fazla ampul ya da daha yüksek ışık kullanacağını belirtmiştir. Çizelge 4.20'de görüldüğü üzere katılımcıların %79,7'lik büyük bir kısmı ise konutlarında daha fazla ampul ya da daha yüksek ışık kullanmayacağını bildirmiştir. Bu sonuçlara göre kullanıcıların bir kısmının sadece yüksek faturalar sebebiyle daha az aydınlatma kullandıklarını düşündükleri söylenebilir. Yüksek fatura getirisi kullanıcıların daha fazla ışık kullanımını negatif yönde etkilemektedir.

Çizelge 4.20: Daha Fazla Ampul ya da Daha Yüksek Işık Kullanma ile İlgili Sonuçlar

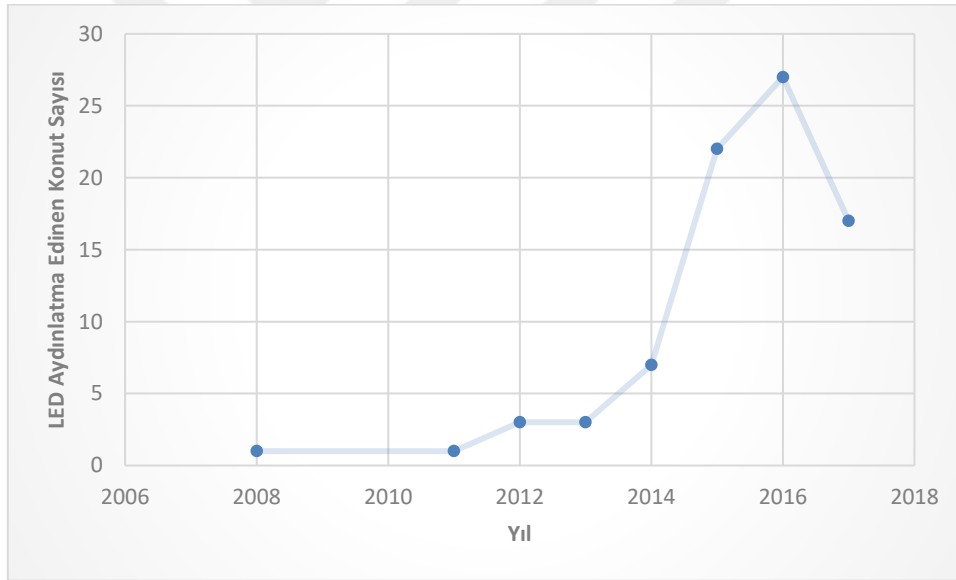
	Katılımcı Sayısı	% Dağılım
Evet	28	20,3
Hayır	110	79,7

*Evet: Elektrik daha ucuz olsaydı daha fazla ampul ya da daha yüksek ışık kullanırdım.

*Hayır: Elektrik daha ucuz olsaydı daha fazla ampul ya da daha yüksek ışık kullanmazdım.

4.1.7. LED Ampul Adaptasyonu Seviyesi

Ankete katılan toplam 138 hanede konutunda LED ampul kullananların sayısı 94, kullanmayanların sayısı ise 44'tür. LED ampul kullanan konutların sayısı ve kullanıcıların LED ampulü aldıkları yıl Şekil 4.2'de yer almaktadır. Sonuçlara göre 2008 yılından itibaren kullanıcılar LED ampul alıp kullanmaya başlamışlardır. 2011 ve 2014 yılları arasında LED ampul edinen konut sayısında çok az miktarda artış olmuştur. Grafiğe göre 2013 yılından sonra LED ampul kullanan konut sayısında hızlı bir yükselme olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçların küresel trendi yansıttığı görülmektedir. Amerika Enerji Kurumu (DOE) 2014 raporlarına göre 2013 yılında dünyada LED aydınlatma pazarı üçte bir oranında büyümüştür. Asya ve Avrupa'da LED aydınlatma yayılımı büyük bir sıçrayış yapmıştır [77]. Grafiğe göre katılımcılar arasında en çok LED ampul alınan yıl ise 2016 yılı olarak belirlenmiştir. 2016 yılındaki bu artışın sebebinin LED ampulün piyasaya ilk çıktığı zamanki fiyatına oranla zamanla düşüşünün etkili olabileceği düşünülmektedir.



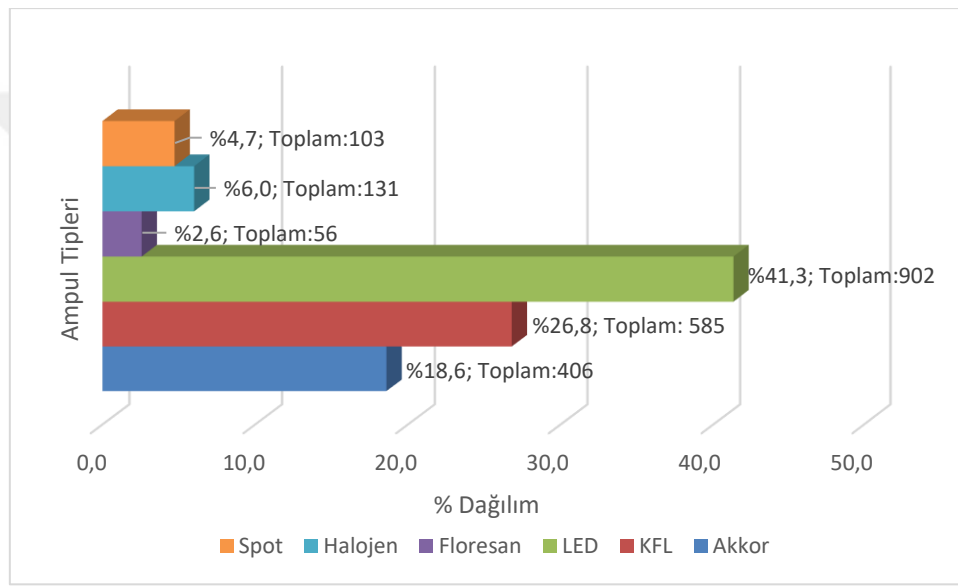
Şekil 4.2. Konut Sayısı ve LED Aydınlatma Edinme Yılı Grafiği

4.2. Konutlarda Aydınlatma Tercihlerinin Karakterizasyonu: Aydınlatma Cihazı Tipi ve Sayısı

Bu bölümde ankete katılan konutlarda kullanılan ampul çeşitleri ve özellikleri konut geneline ve oda tipine göre değerlendirilmiştir.

4.2.1. Konut Genelinde Ampul Tipi Dağılımları

Analizi yapılan tüm konutlarda kullanılan 2183 ampulün tiplerine göre dağılımları incelendiğinde yüksek bir oranla en çok kullanılan LED ampuldür ve payı %41,3'tür. LED ampulden sonra en çok kullanılan %26,8 payla KFL'dir. En az kullanılan ise %2,6 payla floresan ampuldür.



Şekil 4.3. Konutlarda Ampul Tiplerinin Genel Yüzdelik Dağılımları

Şekil 4.3'teki genel dağılımda konutlarda kullanılan en yaygın ampul tipleri LED, KFL ve akkordur. Hicks ve Theis'in 2012 yılındaki çalışmasına göre Amerika'da ankete katılan konutlarda LED kullanım oranı %24 ve 2016'da İngiltere'de yapılan bir anket çalışmasına göre bu oran %9,6'dır[33][47]. Farklı ülkelerde yapılan araştırmalarla kıyaslandığında tez çalışmasından elde edilen %41,3 oranı ile ülkemizde LED ampul kullanımının daha yaygın olduğu sonucuna varılmıştır.

Ankara ilinde 2011 yılında yapılan bir çalışmada araştırma yapılan konutlarda LED ampul kullanım oranı %0 iken 2012 yılında yapılan çalışmada %3 olarak tespit edilmiştir[66][67]. 2016 yılında dört ayrı ilde yapılan bir araştırmada ise Ankara ilinde araştırmaya katılan kişilerin %9,2'sinin konutlarında LED ampul kullandığı sonucuna varılmıştır [76].

Daha önce yapılan literatür çalışmaları gösteriyor ki zaman içerisinde konutlarda LED kullanımı gözle görülür biçimde artmıştır. Tez çalışması sonuçları, önceki çalışmaların aksine LED aydınlatma teknolojisi adaptasyonu seviyesinin çok daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

4.2.2. LED Aydınlatma Teknolojisi Adaptasyonu Seviyesi ile Hanehalkı Özelliklerinin Karşılaştırılması

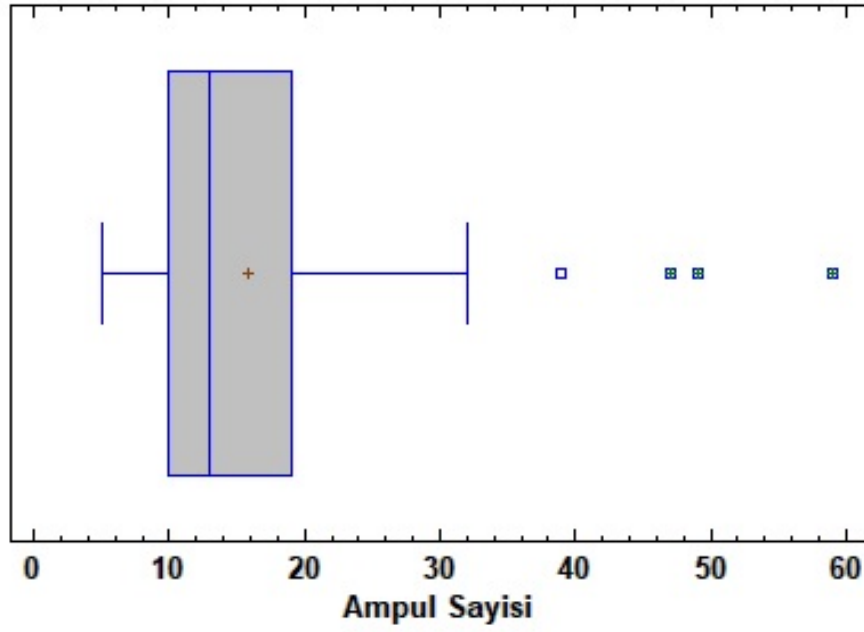
Konutlardaki LED aydınlatma teknolojisi adaptasyonu seviyesini hangi faktörlerin etkilediğini anlamak amacı ile sahip olunan LED ampul sayısı ile hanehalkı özellikleri ANOVA testi ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.21'e göre bulunan tüm *P* değerleri 0.05'ten büyük olduğu için konutlarda kullanılan LED ampul sayısı ile eğitim seviyesi, gelir seviyesi, yaş grubu ve ev sahipliği grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir.

Çizelge 4.21: LED Aydınlatma Teknolojisi Adaptasyonunu Etkileyen Hanehalkı Özellikleri

Grup	Veri	<i>P</i> Değeri
Eğitim Seviyesi	LED Ampul Sayısı	0,1206
Gelir Seviyesi	LED Ampul Sayısı	0,0927
Yaş Grubu	LED Ampul Sayısı	0,1923
Ev Sahipliği	LED Ampul Sayısı	0,1109

4.2.3. Konut Geneline Ampul Sayısının Dağılımı

Ankete katılan toplam 138 hanede her bir konutta kullanılan toplam ampul sayısının istatistiki analizi yapılmıştır. Konutlarda bulunan ampul sayısının Box & Whisker diyagramı Şekil 4.4'de sunulmaktadır. Bu diyagrama göre konutlarda bulunan ampul sayısı 10 ile 19 arasında yoğunlaşmıştır.



Şekil 4.4. Konutlarda Bulunan Toplam Ampul Sayısı Dağılımının Box&Whisker Diyagramı

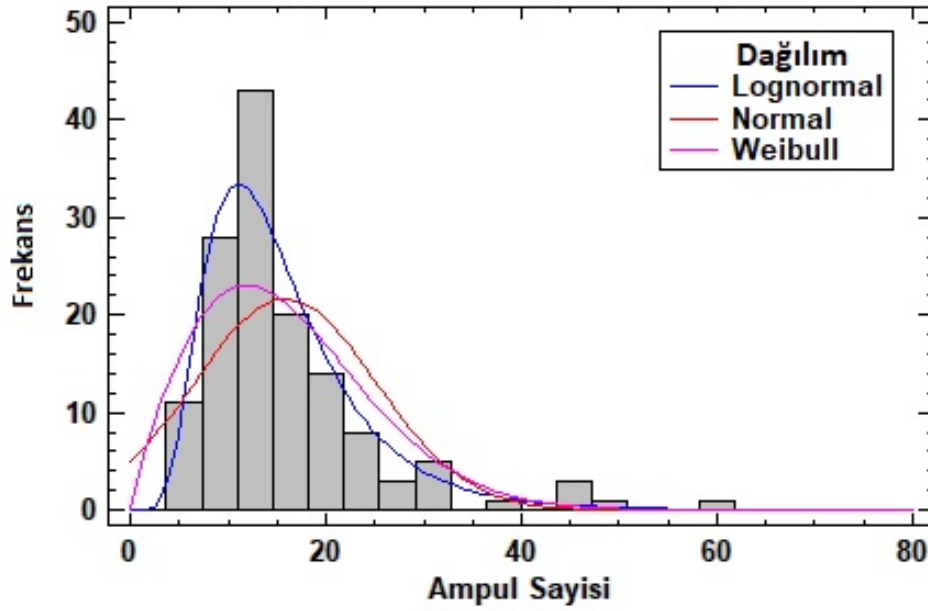
Çizelge 4.22’de analizi yapılan konutlarda bulunan toplam ampul sayısının aritmetik ortalamasının 16 olduğu görülmektedir. Bir konutta bulunan en düşük ampul sayısı 5 ve en yüksek 59’dur.

Çizelge 4.22: Konutlarda Bulunan Toplam Ampul Sayısının İstatistikî Özellikleri

İstatistikî Özellik	Değer
Örneklem Sayısı	138
Aritmetik Ortalama	16
Geometrik Ortalama	14
Medyan	13
Varyans	85,7
Standart sapma	9,3
Aralık	54
Minimum	5
Maksimum	59

Şekil 4.5’te yer alan konutlarda bulunan toplam ampul sayısı dağılımının Kolmogorov-Smirnov testi sonucunda P değerinin 0.05’ten küçük olması sebebi ile dağılımın normal ve Weibull dağılımına uymadığı ve 0,215 olarak bulunan P değeri ile lognormal dağılıma uyduğu görülmüştür. Bu sebeple, Ankara ilindeki konutlarda kullanılan ortalama ampul sayısı temsilen

dağılımın orta değerine aritmetik ortalamaya göre daha yakın olduğu için geometrik ortalama alınmıştır ve değeri 14'tür.



Şekil 4.5. Konutlarda Ampul Sayısı Dağılımı

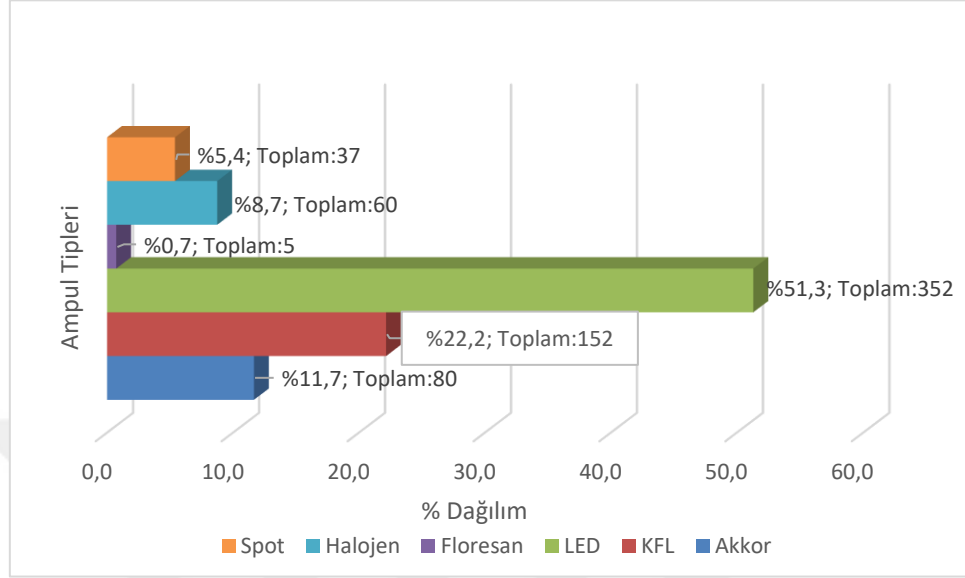
4.2.4. Oda Tipine Göre Ampul Sayısı ve Ampul Tipi Dağılımları

Anket uygulamasına katılan 138 konutta kullanılan toplam 2183 ampulün her birinin tipi, gücü ve kullanım süresi bilgileri oda tipine göre gruplandırılmıştır. Çizelge 4.23'e göre konutların en fazla ampul kullanılan bölümü salondur ve toplam ampul sayısındaki payı %31,4'tür (toplam 686 adet). Salondan sonra en fazla ampul kullanımı %14,3'lük oranla yatak odasında kullanılmaktadır. En az ampul kullanılan alan ise konutların diğer kategorisinde değerlendirilen depo, çamaşır odası vb. alanlarıdır.

Çizelge 4.23: Oda Tipine Göre Kullanılan Ampul Sayısı ve Dağılımları

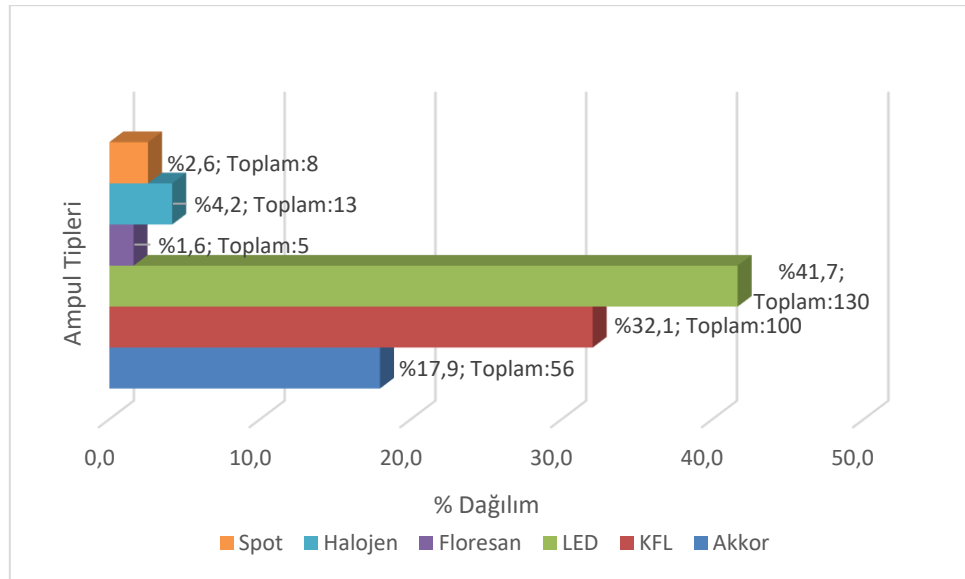
Oda Tipi	Ampul Adedi	% Dağılım	Ortalama
Salon	686	31,4	5
Yatak Odası	312	14,3	1
Oturma Odası	239	10,9	2
Mutfak	230	10,5	2
Banyo	202	9,3	2
Tuvalet	120	5,5	1
Antre	251	11,5	2
Balkon	126	5,8	1
Diğer	17	0,8	2
TOPLAM	2183	100,0	16

Konutlarda kullanılan ampul tipleri oda tipine göre yakın bir dağılım göstermektedir. Şekil 4.6’da konutların salon bölümünde kullanılan ampul tipleri ve yüzdelik dağılımları sunulmuştur. Bu grafiğe göre en çok kullanılan ampul %51,3 oranı ile LED ampuldür.



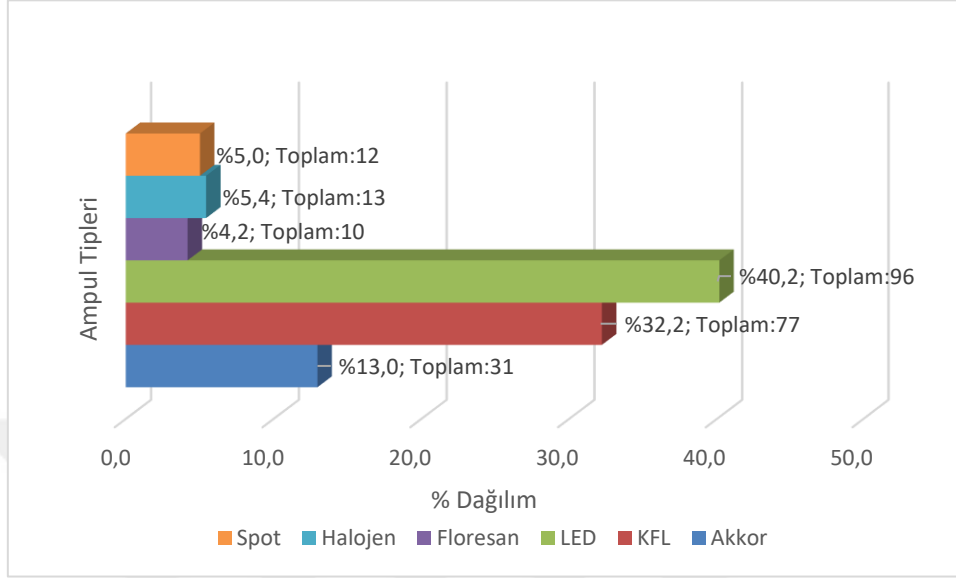
Şekil 4.6. Salon Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Analizi yapılan 138 konutun 82’sinin ikinci yatak odası bulunmaktadır ve tüm bu yatak odalarında toplam 312 adet ampul kullanılmaktadır. Bir yatak odası için ortalama ampul sayısı 1’dir. Şekil 4.7’de yer aldığı gibi konutların yatak odası kısmında %41,7 oranıyla en fazla kullanılan ampul tipi LED ampul, en az kullanılan ampul tipi ise floresan ampuldür.



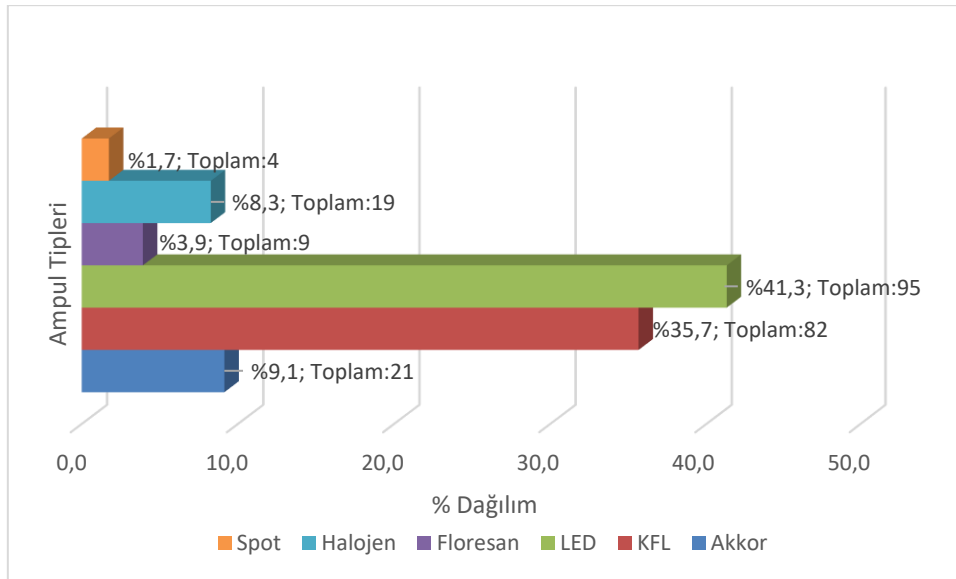
Şekil 4.7. Yatak Odası Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Konutların 25'inde oturma odası hiç bulunmamakta iken 27'sinde ise ikinci oturma odası bulunmaktadır. Bir oturma odası için ortalama ampul sayısı 2'dir. Şekil 4.8'e göre oturma odalarında bulunan toplam 239 ampulden %40,2'si LED ampuldür.



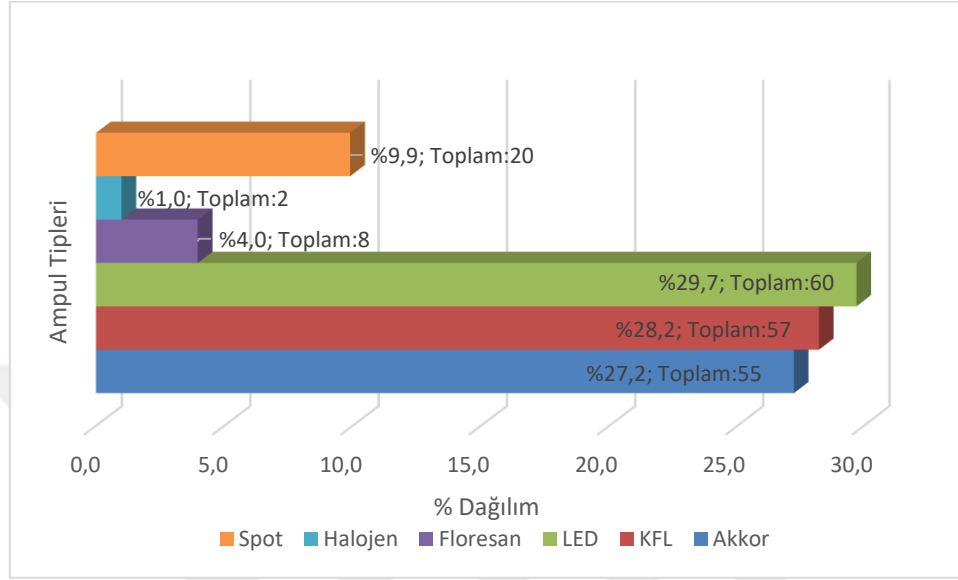
Şekil 4.8. Oturma Odası Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Ankete katılan hanelerin mutfak bölümünde toplam 230 adet ampul kullanılmaktadır. Şekil 4.9'da en fazla kullanılan ampulün %41,3 oranla LED ampul olduğu görülmektedir. Mutfak bölümünde KFL kullanımının oranı LED ampule yakındır ve %35,7'dir. Bir mutfakta kullanılan ortalama ampul sayısı 2'dir.



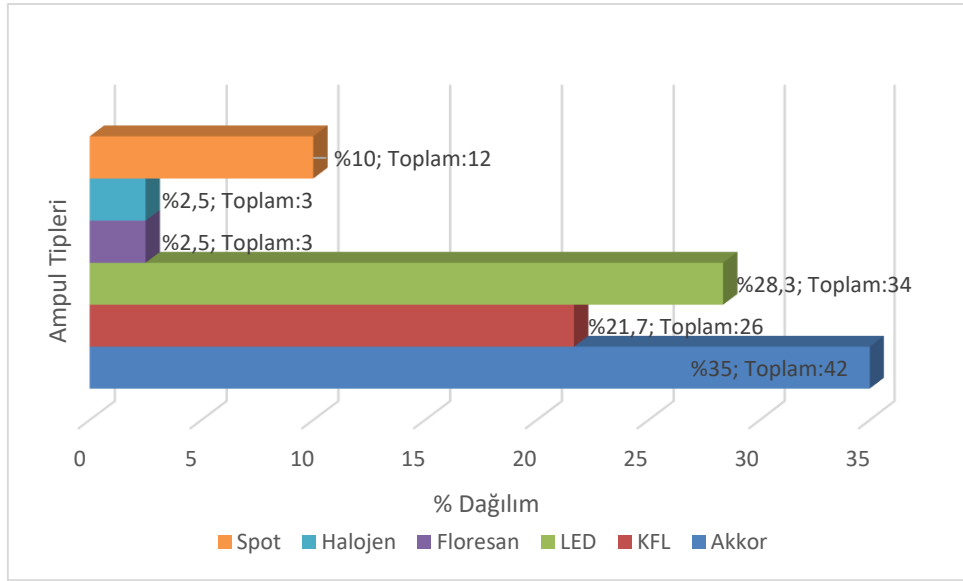
Şekil 4.9. Mutfak Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Konutların banyo bölümünde toplam 202 adet ampul kullanılmaktadır ve bir banyoda kullanılan ortalama ampul sayısı 2'dir. Konutların sadece 1 tanesinde ikinci banyo bulunmaktadır. Şekil 4.10'da sunulduğu gibi konutların banyo bölümünde daha fazla kullanılan akkor ampul, KFL ve LED ampulün oranları birbirine çok yakındır.



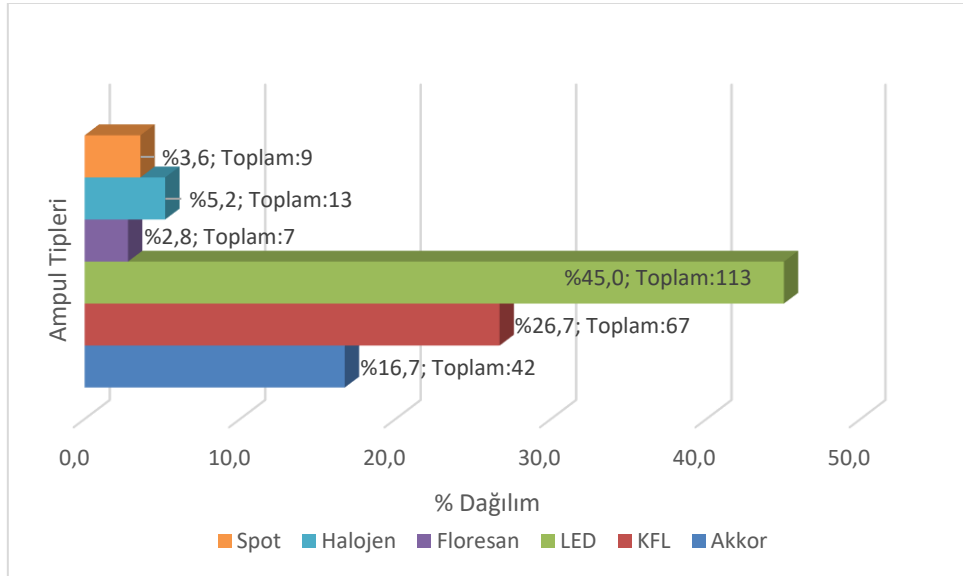
Şekil 4.10. Banyo Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Ankete katılan hanelerin tuvalet bölümünde (138 hanenin 107'sinde) toplam 120 adet ampul kullanılmaktadır. Bu bölümde kullanılan ortalama ampul sayısı 1'dir. Şekil 4.11'de yer alan grafiğe göre konutların tuvalet bölümünde en yaygın kullanılan ampul tipi %35'lik oranla akkor ampuldür. Konutların tuvalet bölümünde diğer bölümlerden farklı olarak akkor ampulün daha fazla sayıda kullanıldığı görülmektedir.



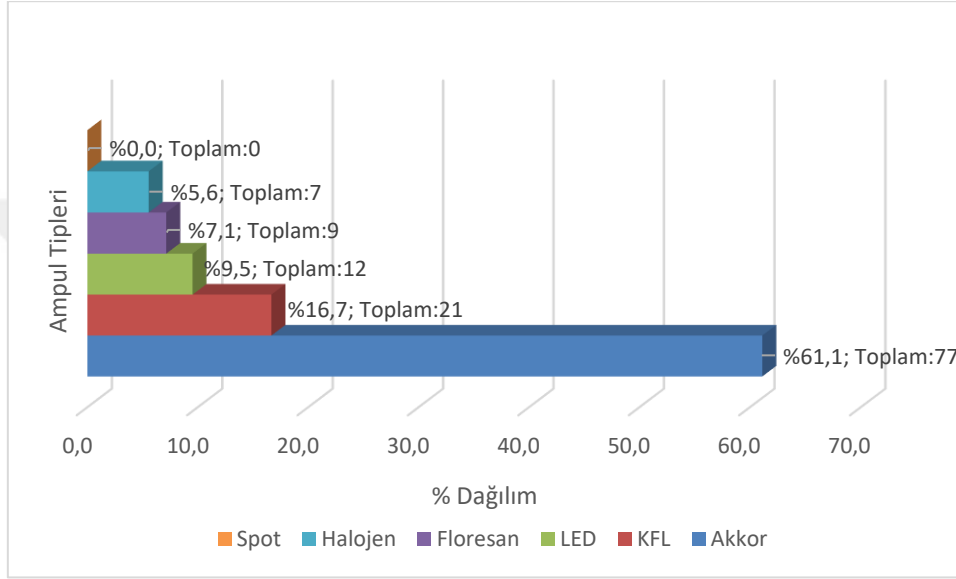
Şekil 4.11. Tuvalet Bölümünde Kullanılan Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Ankete katılan 138 konutun 8'inde antre bulunmamaktadır. Yapılan analize göre konutların antre bölümünde toplam 251 adet ampul kullanılmaktadır ve bir antrede kullanılan ortalama ampul sayısı 2'dir. Şekil 4.12'de yer alan konutların antre bölümünde en yaygın kullanılan ampul tipi %45 oranıyla LED ampuldür. Bu oranlar ile antre bölümü ampul tipi dağılımları salon, yatak odası ve oturma odası dağılımlarına yakındır.



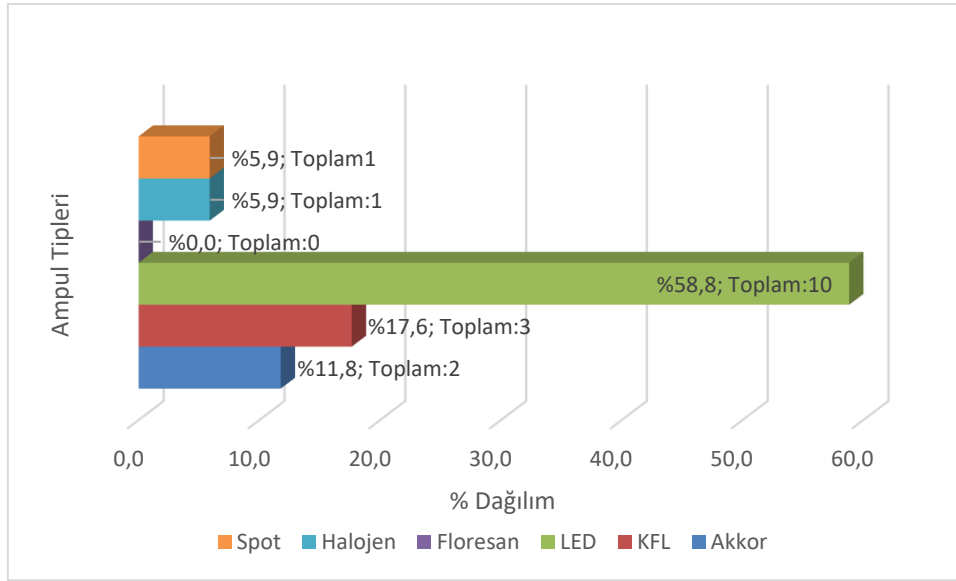
Şekil 4.12. Antre Bölümü Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Konutların 42'sinde balkon bulunmazken 10'unda ikinci balkon ve 2'sinde üçüncü balkon bulunmaktadır. Anket sonuçlarına göre konutların balkon bölümünde toplam 126 ampul kullanılmaktadır ve bir balkon için kullanılan ortalama ampul sayısı 1'dir. Anket yapılan konutlardaki balkon bölümünde spot tipi ampul bulunmamaktadır. Konutların balkon bölümündeki ampul kullanımları diğer bölümlere göre çok daha farklı bir dağılım göstermektedir. Şekil 4.13'de yer alan grafikte konutların balkon bölümünde tercih edilen ampul tipi %61,1 oranla yüksek elektrik tüketen akkordur.



Şekil 4.13. Balkon Bölümü Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Ankete katılan 138 hanenin 10'unda depo, bahçe ya da çamaşır odası gibi fazladan alan bulunmaktadır. Konutların analiz edilen depo vb. alanlarında toplam 17 adet ampul bulunmaktadır ve depo vb. alanlar için ortalama ampul sayısı 2 olarak hesaplanmıştır. Konutların çoğu bölümüne benzer şekilde bu alanlarda da en yaygın kullanılan ampul LED ampuldür. Şekil 4.14'de yer aldığı gibi tüm ampuller arasında LED ampulün payı %58,8'dir. Bu bölümde floresan ampul kullanılmamaktadır.



Şekil 4.14. Depo vb. Bölümlerin Ampul Tiplerinin Yüzdelik Dağılımları

Bu çalışma sonucunda elde edilen oda tipine göre ampul tipi dağılımı ile İngiltere’de 2016’da yapılan çalışma karşılaştırıldığında, Çizelge 4.24’te sunulduğu gibi Türkiye’de LED aydınlatma teknolojisi adaptasyon oranı daha yüksektir. Karşılaştırma sonuçlarında, Türkiye’de en yüksek kullanım oranı konutların salon bölümünde iken İngiltere’de konutların mutfak ve çalışma odası bölümüdür [47].

Çizelge 4.24: Türkiye ile İngiltere’nin Oda Tipine Göre LED Ampul Adaptasyon Oranlarının Karşılaştırılması

Oda Tipi	LED Ampul Kullanımı Oranları (Bu çalışma)	LED Ampul Kullanımı Oranları (Monreal vd. 2016) [47]
Salon	%51,3	%8
Yatak Odası	%41,7	%8
Oturma Odası/ Çalışma Odası	%40,2	%10-11
Mutfak	%41,3	%11

4.3. Aydınlatma için Elektrik Tüketimi

Bu kısımda, ankete katılan konutlarda konut genelinde ve oda tipine göre aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi hesapları değerlendirilmiştir. Aydınlatma için elektrik tüketimi ile hanehalkı sosyodemografik özellikleri arasındaki ilişkiyle ilgili araştırma sonuçları sunulmuştur.

4.3.1. Konut Genelinde Aydınlatma için Tüketim Değerleri

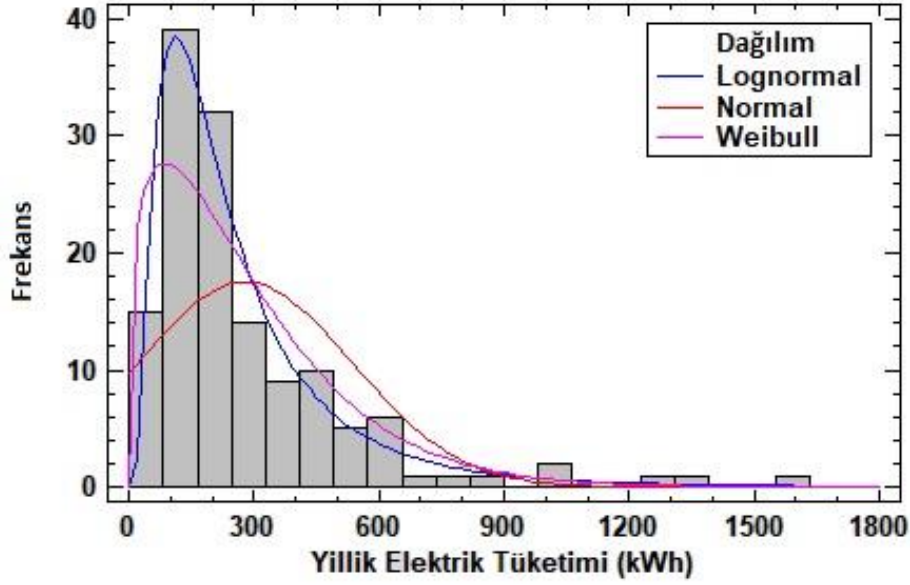
Anket yapılan 138 konutun yıllık aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi (kWh) konutlardaki tüm odalar için yapılan günlük aydınlatma hesapları toplanıp yıla çevrilerek elde edilmiştir. İncelenen 138 konutun alan başına aydınlatma için tükettiği günlük ortalama elektrik 6,3 Wh/m² olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.25’de görüldüğü gibi anket yapılan konutlarda görülen en düşük yıllık aydınlatma talebi değeri 33,8 kWh iken en yüksek yıllık aydınlatma talebi değeri 1613,4 kWh olarak hesaplanmıştır. 138 konutta ortalama 278,3 kWh tüketim söz konusudur.

Çizelge 4.25: Yıllık Aydınlatma Talebinin İstatistiksel Özellikleri

İstatistiksel Özellik	Değer (kWh/yıl)
Örneklem Sayısı	138
Aritmetik Ortalama	278,3
Geometrik Ortalama	203,6
Medyan	183,3
Varyans	66313
Standart sapma	257,5
Aralık	1579,6
Minimum	33,8
Maksimum	1613,4
Standart Hata	21,9

Konutların aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi dağılımı Şekil 4.15’te sunulmuştur. Dağılımın standart çarpıklığı 11,94 ve standart basıklığı 18,91 olarak bulunmuştur. Bu değerler -2 ile +2 arasında bir değerde olmadığı için veriler normal dağılım göstermemektedir.

Uygulanan Kolmogorov-Smirnov testi sonucunda lognormal dağılımının *P* değeri 0,48, Weibull dağılımının *P* değeri 0,06 ve normal dağılımın *P* değeri 0,00 olarak bulunmuştur. *P* değerinin yüksek olduğu dağılım en uygun dağılımdır. Bu test sonucunda Şekil 4.15’de yıllık aydınlatma talebi (kWh) dağılımının *P* değeri ile lognormal dağılım gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.15. Yıllık Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Tüketiminin Dağılımı

Yıllık aydınlatma talebi tahmini dağılımının lognormal dağılım gösterdiği için Ankara ilinde bir konut için ortalama aydınlatma talebi dağılımının geometrik ortalaması olan 203,6 kWh değeridir. Bu değer, 2012 yılında Ankara ilinde 201 evde yapılan anket araştırması sonucunda bulunan değer olan 220 kWh’a yakındır [67]. Düşüşün sebebinin 2012-2017 yılları arasında enerji verimli LED ampul difüzyonunun artışı olduğu düşünülmektedir.

4.3.2. Oda Tipine Göre Aydınlatma için Ortalama Elektrik Tüketimi Değerleri

Anket yapılan 138 konutta oda tipine göre aydınlatma kaynaklı yıllık ortalama elektrik tüketimi (kWh) dağılımları Şekil 4.16’da sunulmuştur. Oda tipine göre tüketim dağılımları incelendiğinde Çizelge 4.26’da görüldüğü gibi Kolmogorov-Smirnov testi sonucunda konutların yatak odası, mutfak, antre bölümlerindeki tüketim değerleri verilerinin lognormal dağılıma uyduğu görülmüştür. Salon, oturma odası, banyo, tuvalet ve balkon bölümdeki tüketim verileri hem lognormal dağılıma hem Weibull dağılıma uymakla birlikte lognormal dağılıma daha yakın bir dağılım olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla oda tipleri için ortalamalar değerlendirilirken geometrik ortalamalar alınmıştır. “Diğer” kategorisinde değerlendirilen bölümler için veri sayısı 10 olduğu için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır ve test sonucunda P değeri 0,0858 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,05’ten büyük olduğu için tüketim değerlerinin normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla “diğer” kategorisi için aritmetik ortalama değeri alınmıştır.

Çizelge 4.26: Oda Tipine Göre Aydınlatma Talebi Dağılımları için Kolmogorov-Smirnov Testi Sonuçları

Oda Tipi	Normal Dağılım P Değeri	Lognormal Dağılım P Değeri	Weibull Dağılım P Değeri
Salon	0,0004	0,1820	0,0610
Yatak Odası	0,0000	0,2492	0,0040
Oturma Odası	0,0050	0,6408	0,2047
Mutfak	0,0020	0,3919	0,0320
Banyo	0,0006	0,5708	0,0931
Tuvalet	0,0000	0,6529	0,1667
Antre	0,0000	0,8449	0,0010
Balkon	0,0001	0,3095	0,0890

Anket yapılan hanelerde en yüksekten en düşüğe aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi Çizelge 4.27’de sırasıyla sunulmaktadır. Konutların salon bölümünde ortalama yıllık elektrik tüketim miktarı 64,1 kWh’dir. Bu bölümde diğer bölümlere oranla daha fazla ampul kullanılmaktadır ve bu değer ortalama 5’tir. Salon bölümündeki bir ampulün günlük kullanılma süresi ortalama 5,4 saattir. Yüksek aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminin sebeplerinden biri de bu bölümde aydınlatma cihazlarının kullanım süresinin diğer odalardan daha uzun olmasıdır.

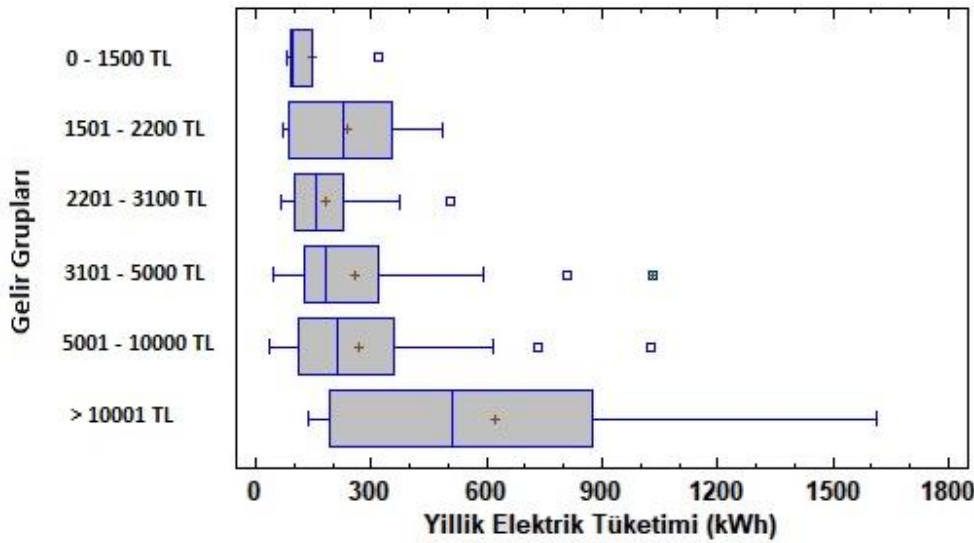
Salon bölümünden sonra en yüksek aydınlatma talebi mutfak bölümünde görülmektedir ve 25,3 kWh’dir. Çizelge 4.26’da oda tipine göre yıllık ortalama tüketim miktarları ve kullanılan ampul sayısı ve ortalama süreleri yer almaktadır. Mutfaktaki yüksek tüketimin sebebi, ampul başına günlük kullanım süresinin 3,6 saat ve bu değer salon dışında diğer bölümlere göre daha yüksek olmasıdır. Oturma odası ve mutfak bölümünde kullanılan ortalama ampul adedi aynı olmakla birlikte fakat oturma odasında ampul başına ortalama kullanım süresi mutfaktakinden daha düşüktür. Konutların depo, bahçe, çamaşır odası gibi diğer olarak kategorize edilen konutların fazladan alanlarında aydınlatma kaynaklı ortalama yıllık elektrik tüketimi 6,6 kWh’dir ve diğer bölümlere göre daha düşük elektrik tüketimi görülmektedir. Düşük tüketimin nedeni, diğer bölümlere göre günlük kullanım süresinin düşük olması ve enerji tasarruflu ampul kullanma oranının yüksek olmasıdır.

Çizelge 4.27: Oda Tipine Göre Aydınlatma Tercihleri ve Yıllık Ortalama Elektrik Tüketimi (kWh)

Özellik	Salon	Mutfak	Oturma Odası	Banyo	Yatak Odası	Antre	Balkon	Tuvalet	Diğer
Örneklem Sayısı	138	138	140	139	220	130	108	107	10
Kullanılan Ort. Ampul Adedi	5	2	2	2	1	2	1	1	2
Günlük Ort. Kullanım (sa)/ampul	5,4	3,6	2,7	2,0	2,1	1,8	0,5	1,1	0,7
Yıllık Ort. Tüketim (kWh)	64,1	25,3	19,2	16	11	9,7	9,1	8,7	6,6

4.3.3. Hanehalkı ve Konut Özelliklerinden Hangi Faktörlerin Aydınlatma Talebini Etkilediğinin İstatistiksel Analizi

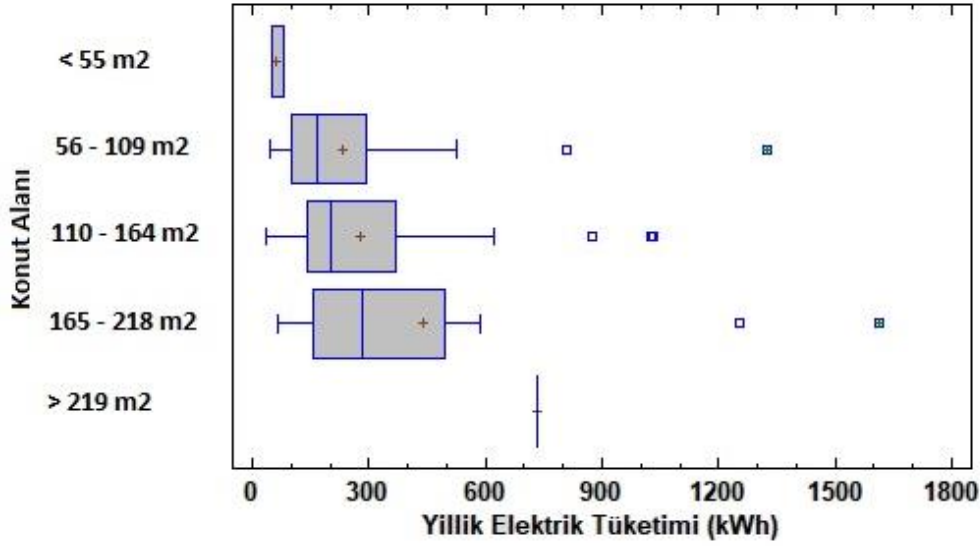
Tez çalışması sonucunda hesaplanan konutların yıllık aydınlatma talebi verileri ile anketten elde edilen hanehalkı demografik özellikleri ve konut bilgileri ANOVA testi uygulanarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.16. Gelir Gruplarına Göre Yıllık Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Tüketimi

Çalışmadaki altı ayrı gelir grubu ve yıllık aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimleri (kWh) karşılaştırıldığında yapılan ANOVA testi sonucunda P değeri 0,0000 olarak bulunmuştur. P değerinin 0,05'ten küçük olması Şekil 4.16'da yer aldığı gibi gelir grupları arasında yıllık aydınlatma talebi ortalamasında istatistiki olarak anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir.

2012’de Ankara’da yapılan çalışma sonuçlarına göre literatüre paralel olarak hanehalkı geliri arttıkça yıllık aydınlatma talebinin arttığı ortaya konmuştur[67]. Tez çalışmasında da benzer şekilde Box & Whisker diyagramında yer alan gelir grubu seviyesi yükseldikçe yıllık aydınlatma talebinin de yükseldiği görülmektedir.



Şekil 4.17. Konut Alanı Gruplarına Göre Yıllık Aydınlatma Kaynaklı Elektrik Tüketimi

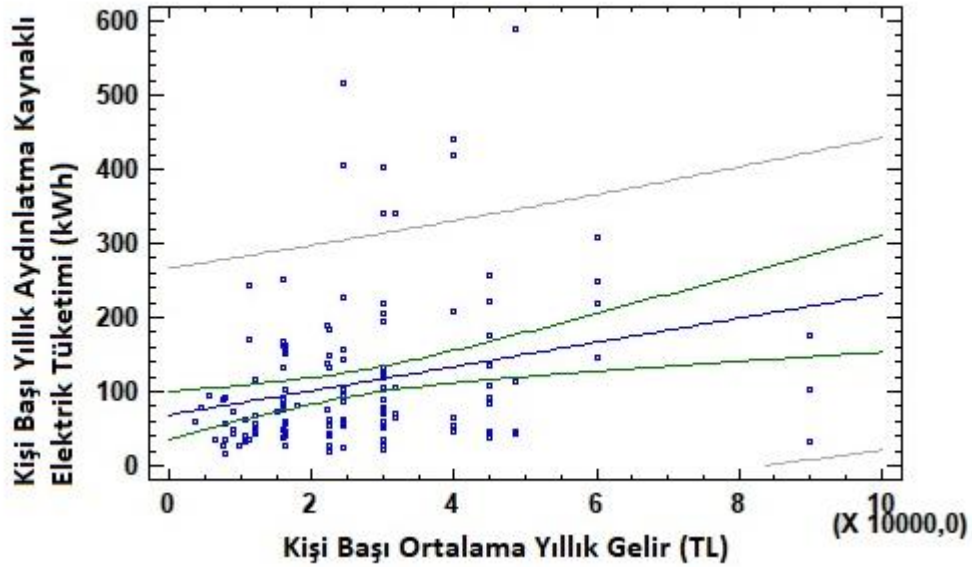
Konut alanı sınıflandırması ve yıllık elektrik tüketimi arasında yapılan ANOVA testi sonucunda P değeri 0,0137 olarak hesaplanmıştır ve konut alanı grupları arasında yıllık aydınlatma kaynaklı ortalama tüketim miktarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur. Şekil 4.17’de Box & Whisker diyagramında konut alanı arttıkça yıllık aydınlatma talebi ortalamalarının arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.28’de farklı gruplar arasında yapılan ANOVA testi sonuçları ve P değerleri verilmektedir. Yapılan testler sonucunda gelir seviyesi ve konut alanı sınıflandırması dışında bulunan P değerleri 0,05’ten büyüktür. Hanehalkı sayısı, yaş grubu, eğitim seviyesi ve ev sahipliği grupları ile yıllık aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi ortalaması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Şahin’in 2012 yılındaki çalışmasında ise konutlarda tüketilen toplam elektrik ile hanehalkı sayısı ve eğitim faktörünün ilişkili olduğu ortaya konmuştur [67].

Çizelge 4.28: Aydınlatma Talebini Etkileyen Konut ve Hanehalkı Özellikleri

Grup	Veri	P Değeri
Gelir Seviyesi	Yıllık Elektrik Tüketimi (kWh)	0,0000
Hanehalkı Sayısı	Yıllık Elektrik Tüketimi (kWh)	0,5969
Yaş Grubu	Yıllık Elektrik Tüketimi (kWh)	0,6068
Eğitim Seviyesi	Yıllık Elektrik Tüketimi (kWh)	0,3302
Ev Sahipliği	Yıllık Elektrik Tüketimi (kWh)	0,0780
Konut Alanı	Yıllık Elektrik Tüketimi (kWh)	0,0137

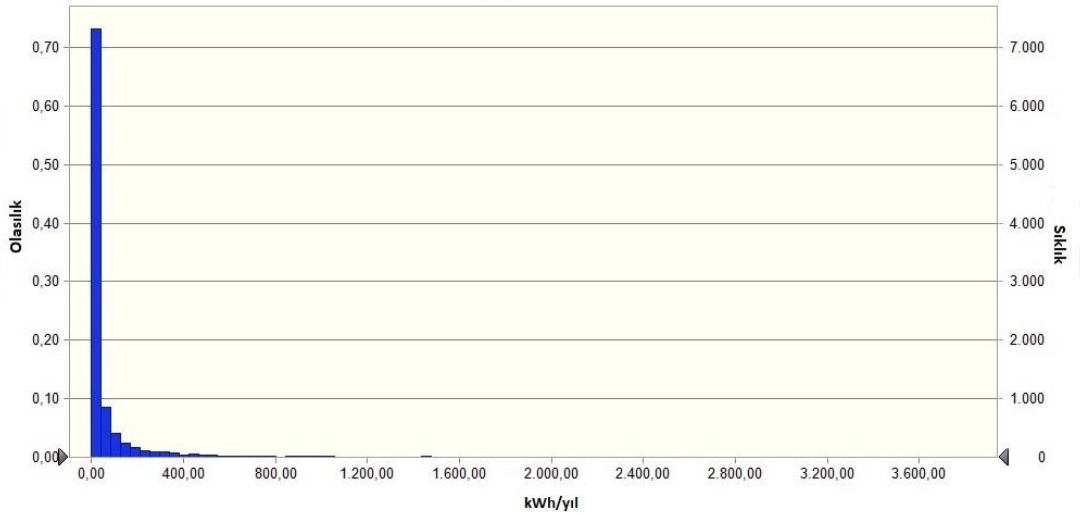
ANOVA testi ile konutlardaki aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimini etkilediği tespit edilen gelir faktörü ile aydınlatma için elektrik tüketimi tahminleri arasında regresyon testi uygulanmıştır. Şekil 4.18’de yer alan grafikte yıllık ortalama kişi başı gelir (TL) ve yıllık kişi başı aydınlatma talebi (kWh) arasında yapılan regresyon testi sonucunda bulunan P değeri 0,0023 ve korelasyon katsayısı 0,26’dır. P değerinin 0,05’ten küçük olması literatürü destekler nitelikte kişi başı gelir ve aydınlatma talebi arasında pozitif yönde ama zayıf bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur [7][78].



Şekil 4.18. Kişi Başı Yıllık Gelir ve Yıllık Aydınlatma Talebi Arasındaki Doğrusal İlişkinin Grafiği

4.3.4. Monte Carlo Metodu ile Aydınlatma için Elektrik Talebi Tahmini

Oracle Crystal Ball eklentisi ile ankete katılan 138 konuttan elde edilen yıllık aydınlatma için elektrik tüketimi dağılımları ile Monte Carlo metodu kullanılarak Ankara ilindeki konutların aydınlatma için tükettiği elektriği temsil etmek için 10000 tahmin verisi üretilmiştir ve verilerin sıklık dağılımı Şekil 4.19’da sunulmaktadır.



Şekil 4.19. Monte Carlo Metodu ile Aydınlatma için Elektrik Tüketimi Tahmin Verilerinin Sıklık Dağılım Grafiği (kWh/yıl)

Tahmin verilerinin istatistiksel özellikleri Çizelge 4.29’da sunulmaktadır. Üretilen verilerin aritmetik ortalaması, çalışmadan elde edilen ve Ankara ilindeki konutları temsil edici olarak kabul edilen 203,6 kWh/yıl’dan daha düşük bir değerdedir. Bunun sebebi, çalışma sonuçlarında aydınlatma için elektrik tüketim dağılım özelliklerinden üretilen tahmin verilerinin dağılımının 0-50 kWh arasında yoğunlaşmış olmasıdır.

Çizelge 4.29: Monte Carlo Metodu ile Üretilen Tahmin Verilerinin İstatistiksel Özellikleri

İstatistiksel Özellik	Tahmin Sonuçları (kWh/yıl)
Aritmetik Ortalama	159,8
Standart sapma	1.313,6
Standart Hata	13,1

Monte Carlo metodu ile üretilen ve Ankara ili genelini temsil eden tahmin verilerinin ortalaması 159,8 kWh olarak bulunmuştur. Çizelge 4.24’de belirtilen anket verilerinden elde edilen aydınlatma için elektrik tüketim hesaplamaları standart hatası 21,9 iken Monte Carlo metodu ile üretilen tahmin verilerinde bu değer 13,1 ile düşük bir değer elde edilmiştir. Bu değer düşürülmesi alınan örneklemin birbirlerini ve popülasyonu temsil etme yeteneğini artırmıştır. Standart hatanın düşük olabilmesi örneklemin Monte Carlo metodu ile sentetik veri üretilmesi ile büyümesi yani veri setinin 138’den 10000’e çıkarılması ile mümkün olmuştur. Anket sonuçlarından elde edilen tüketim dağılımının özelliklerinden üretilen sentetik veriler tahmin ortalamasının standart hatasının düşmesini sağlamıştır.

Ankara ilindeki konutlar için aydınlatma kaynaklı elektrik tüketim tahminin geniş bir yelpazede değerlendirilmesi gereklidir. 1.646.503 hane sayısına sahip Ankara ilini temsilen yapılacak çalışmaların hanehalkı sayısı, gelir seviyesi, konut alanı, güneşlenme süresi ve aydınlatma kullanım alışkanlıkları farkları düşünülerek tüm örneklem çeşitliliğini içermesi yapılacak tahminlerde standart hatayı düşürecektir.

5. ÖZET SONUÇLAR VE GELECEK ARAŞTIRMALAR İÇİN ÖNERİLER

Konutlarda enerji verimli LED aydınlatma teknolojisi difüzyonunu, kullanıcıların aydınlatma teknolojisi tercihlerini ve yıllık aydınlatma talebini belirlemeye yönelik yapılan tez çalışması sonuçları Türkiye’deki konutlarda net aydınlatma karakterizasyonu bilgisi ile tüketim tahmini ile Türkiye’nin bir çok metropol bölgesini de yansıtan Ankara ili için durum çalışması yapılmıştır. Daha doğru bir karakterizasyon bilgisi konutlarda enerji tasarrufu potansiyelinin doğru hesaplanması ve hükümetlerin izleyeceği politikalar için yol gösterici olması açısından önemlidir.

Bu bölümde, tez çalışmasından elde edilen ana sonuçlar özetlenmiş ve yorumlanmıştır. Genel sonuçlara göre gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Tez çalışmasındaki hanehalkı ve konut özellikleri dağılımları incelendiğinde hanehalkı büyüklüğü, hanehalkı gelir dağılımı, konut tipi ve konut mülkiyet durumu özelliklerinin Türkiye geneli dağılımı ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Aydınlatma cihazı satın alırken kullanıcıların enerji tasarrufu ve fiyat faktörüne daha fazla dikkat ettikleri anlaşılmıştır. Aynı zamanda karşılaştırmalı sorularda da uzun vadede aydınlatma için elektrik faturası tutarının kullanıcılar için önemli olduğu ve daha çok yüksek enerji tasarruflu LED aydınlatma cihazlarına yöneldikleri görülmüştür. Bu sonuçlar, ekonomik sebeplerin kullanıcıların aydınlatma cihazı tercihlerini büyük oranda etkilediğini göstermektedir.

Çalışma sonuçları incelendiğinde ülkemizde aydınlatmada enerji tasarrufu bilinç düzeyinin henüz yeterli seviyede olmadığı anlaşılmıştır. Katılımcıların çoğunluğu aydınlatmada enerji tasarrufu için herhangi bir tedbir almamakta hatta bir kısmı sadece ekonomik sebeplerle daha fazla aydınlatma cihazı ya da daha fazla ışık kullanmadıklarını düşünmektedirler.

Araştırmaya katılan konutlarda aydınlatma cihazı tipi dağılımları incelendiğinde %41,3 oranında LED ampul kullanıldığı belirlenmiştir. Bu oran ile Şekil 2.8’deki Amerika Enerji Kurumu’nun 2015’te Amerika’da yaptığı araştırma sonuçları ve Monreal vd.’nin 2016 yılında İngiltere’de yaptığı çalışma sonuçları karşılaştırıldığında ülkemizdeki LED ampul difüzyonu seviyesinin çok daha ileride olduğu görülmektedir [24][47].

Çizelge 2.6’da Ankara ilinde yapılan daha önceki araştırma sonuçları ile tez çalışması sonuçları karşılaştırıldığında LED ampul difüzyonu seviyesinde hızlı bir artış olduğu belirlenmiştir

[66][67][68]. Bu hızlı artışın sebeplerinden biri şuan ki LED ampul fiyatının ilk çıktığı zaman ki fiyatına oranla büyük oranda düşmesidir. Bir diğer sebep ise, marketlerde aydınlatma cihazı homojenitesinin zamanla değişmesi ve şuan aydınlatma sektörünün büyük oranda LED aydınlatma teknolojisine yönelmesidir. Yurt dışına benzer şekilde marketlerdeki bu yönelim kullanıcılarında LED aydınlatma teknolojisine zorunlu geçişini sağlamıştır.

Çalışma sonuçlarına göre gelir seviyesi ve konut alanı ile aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi arasında pozitif yönde bir ilişki olduğu ortaya konmuştur. Literatüre benzer şekilde hanehalkının gelir seviyesi ve konut alanı arttıkça konutlardaki aydınlatma talebi de artmaktadır.

Ankara ilinde anket yapılan konutlar için yıllık ortalama 159,8 kWh aydınlatma kaynaklı elektrik tüketildiği tahmini yapılmıştır. Bu tahmin ile Çizelge 5.1'deki IEA'ya üye 9 ülkedeki araştırma sonuçları karşılaştırıldığında zaman farkı olmakla birlikte ülkemizde aydınlatma için tüketilen elektrik miktarı tahmini diğer ülkelere oranla çok daha düşüktür [11][32]. Bu düşük tüketimin ana sebebi, konutlarda kullanılan ampul verimliliğinin günümüzde çok daha yüksek olmasıdır. Aynı zamanda diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında ülkemizde konut başına düşen ampul sayısı çoğu ülkeden daha azdır.

Çizelge 5.1: IEA'ya Üye 9 Ülke ile Türkiye Aydınlatma Envanteri Karşılaştırması

Ülkeler	Kaynak	Aydınlatmaya harcanan yıllık elektrik (kWh/hane)	Hane başına düşen ampul adedi	Ort. ampul lümen verimliliği (lm/W)	Yıllık aydınlanma talebi (Mlm/m ²)	Aydınlatma için alan başına harcanan yıllık elektrik (kWh/m ²)	Günlük kullanım (saat)
Birleşik Krallık	Palmer ve Boardman, 2002 [30]	720	20.1	25	0.21	8.6	1.60
İsveç	EURECO, 2002 [27]	760	40.4	24	0.16	6.9	1.35
Almanya	EURECO, 2002 [27]	775	30.3	27	0.22	9.3	1.48
Danimarka	EURECO, 2002 [27]	426	23.7	32	0.10	3.3	1.59
Yunanistan	EURECO, 2002 [27]	381	10.4	26	0.09	3.7	1.30

İtalya	EURECO, 2002 [27]	375	14.0	27	0.09	4.0	1.03
Fransa	EURECO, 2002 [27]	465	18.5	18	0.22	5.7	0.97
Amerika	Navigant, 2002 [29]	1946	43.0	18	0.27	15.1	1.92
Japonya	JELMA, 2005 [28]	939	17.0	49	0.49	10.0	3.38
Türkiye, Ankara	Bu çalışma	159,8	14.0	-	-	6,3	2,33

Yine Çizelge 5.1'deki ülkelerin alan başına düşen aydınlatma kaynaklı elektrik talebi ile çalışma sonuçları karşılaştırıldığında ülkemizde yıllık alan başına 6,3 kWh elektrik tüketimi zaman farkı olmakla birlikte diğer ülkelere göre ortalama bir değerdedir. Bunun sebebinin, kullanılan yüksek verimli ampullere rağmen güneşlenme süresi farkı ve aydınlatma kullanım alışkanlıklarından dolayı ampul başına daha uzun sürelerde aydınlatma kullanımı olabileceği düşünülmektedir.

Çalışma sonuçlarından elde edilen çıkarımlar değerlendirilerek gelecek çalışmalar için aşağıdaki maddelere dikkat edilmesi önerilmektedir:

1. Tez sonuçlarına göre, ülkemizde aydınlatmada enerji tasarrufu konusunda yeterli önlem alınmaması sebebi ile bazı konutlarda yüksek enerji tüketen akkor ve halojen ampuller halen kullanılmaktadır. Gerekli düzenlemelerin yapılması enerji verimli aydınlatma cihazlarının adaptasyonunu hızlandırabilir.
2. Anket çalışmasındaki fiyat ve performans karşılaştırmalı soruların kullanıcının ampul özellikleri konusunda bilinçlenmesi ile aydınlatma cihazı seçimini etkilediğini göstermiştir. Fakat ülkemizde uzun ömür vaadini karşılamayan LED ampullerin piyasada bulunması kullanıcıların güvenini azalmakta ve buna bağlı ulusal düzeyde difüzyon engellenmektedir. Bu sebeple aydınlatma piyasasında yüksek enerji tasarruflu LED ampullerin difüzyon seviyesinin artması için uzun ömür standardına uygun olduğu bilinen LED'lerin sadece piyasada bulunmasına yönelik çalışma yapılabilir.
3. Uzmanların görüşüne göre LED aydınlatma teknolojisi gelecekteki akıllı sistemlerin en yaygın kullanılan teknolojisi olacaktır. Bu teknoloji ile birlikte yeni enerji tasarruflu

teknolojilerin piyasaya gireceği bunun da geri sekme etkisiyle ışığa olan talebi artıracakı düşünülmektedir. Verimli aydınlatma teknolojilerinin gelecekteki enerji tüketimi üzerindeki genel etki belirsizdir, dolayısıyla toplumun akıllı LED aydınlatmaların difüzyonu yoluyla enerji tüketimini azaltmayı istemesi durumunda politika ile yönlendirmeye ihtiyaç olduğu ifade edilmektedir [79]. Benzer şekilde, anket araştırması sonucunda da kullanıcıların %20,3'ü elektrik faturasının daha düşük olması durumunda daha fazla ampul ya da daha yüksek ışık kullanacağını belirtmiştir. Bu sebeple, gelecekte yüksek enerji tasarruflu aydınlatma teknolojilerinin bilinçli şekilde kullanılması için yönlendirici çalışmalar yapılabilir.

4. Mevcut politikaların çoğu aydınlatmada elektrik tüketimini azaltmak için büyük ölçüde aydınlatma cihazlarını geliştirme ve verimli olanları ile değiştirme üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak aydınlatma kültürel ve sosyo-maddi bir olgu olduğu için aydınlatma kullanım yolları sadece aydınlatma teknolojilerinin özelliklerine bağlanamayacağı öne sürülmektedir [80]. Bu nedenle, aydınlatmanın belirli şekillerde neden ve nasıl kullanıldığı ve bunun elektrik tüketimi için ne anlama geldiği ile ilgili çalışmalar yapmak politikaları geliştirmek adına faydalı olacaktır.
5. Kullanıcıların büyük bir kısmının aydınlatma cihazı satın alırken dikkat ettikleri faktörlerde fiyatı ilk sıraya koyduğu görülmüştür. Bu sebeple yüksek raf fiyatı ile piyasaya sunulan LED ampullerin difüzyonu ilk başta çok düşük seviyelerde kalmıştır. LED ampuller için yapılan fiyat senaryolarında önümüzdeki on yıl içerisinde LED ampul fiyatının bir akkor ya da halojen ampul seviyesine düşeceği ve kullanıcılar için bu geri tepme etkisinin aşılacağı öngörülmektedir [36]. Ülkemizde de daha fazla yaygınlaşmasına katkı sağlamak için LED ampul promosyon ve indirimleri etkili olacaktır.
6. LED ampuller, KFL ampuller gibi doğada zehirli bir atık olan cıva gazı içermezler fakat bir akkor ve bir KFL ampule göre çok daha fazla metal ve plastik içerirler. Özellikle ampul gövdesinde bulunan alüminyum sebebi ile yaşam döngüsünde zararlarının tam olarak bilinmesi ve en aza indirgenmesi önemlidir. Günümüzde tüm dünyada yüksek enerji tasarrufu sebebi ile LED aydınlatma teknolojisi difüzyonu hızla teşvik edilirken bu teknolojinin tüm yönleriyle değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Literatürde yer alan ampullerin çevresel etkilerini karşılaştıran Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD)

alışmaları sonucu tipik olarak uzun ömrünün ve verimliliğinin verdiği avantajla LED'in düşük etkileri olduğu çıkarımlarına yer vermektedir. Bununla birlikte LED parçalarının demontaj kolaylığı düşünülerek tasarlanması ile tekrar kullanımının daha az çevresel etkilere sebep olacağı düşünülmektedir [81].

7. Anket formları değerlendirmeye alınırken tüm soruların eksiksiz doldurulmuş olması göz önüne alınmıştır. Çalışmada iki anket formunun değerlendirilmeye katılamamasının sebebi, katılımcıların konutlarında kullandıkları şerit LED aydınlatmaların ne kadar gte olduğunu bilmemeleridir. Daha doğru değerlendirmeler için günümüzde konut aydınlatma piyasasında bulunan şerit LED aydınlatmaların bilimsel çalışmalarda değerlendirilmeye katılmaları önemlidir.
8. Aydınlatma talebi tahmini için doğru örneklem büyüklüğü ile ampullerin kullanım süreleri için kullanıcı beyanını göz önüne almak yerine ölçüm cihazı vasıtasıyla alınan verinin kullanılması ile daha doğru hesap yapmak mümkündür. Böylece kullanıcının oda tipine göre ampulün kullanım süresinin tahminindeki yanılma payı ortadan kalkacaktır.
9. Aydınlatmada enerji tasarrufu için kullanıcıların davranışlarını değiştirme amaçlı tanıtım kampanyalarından daha etkin çözümler geliştirmek önemlidir. Geri bildirim teknolojileri ile görünmeyen enerjiyi görünür hale getirerek kullanıcı davranışlarını değiştirmek mümkündür. Bu sebeple, gelecekte konutlar için piyasaya sunulacak cihazlarda benzer akıllı teknolojilerin bulunması yararlı olacaktır.
10. Tez alışması Aralık ve şubat zaman aralığında yapıldığı için sadece kış dönemini kapsamaktadır. Aydınlatma talebi tahminlerinde yapılacak sonraki çalışmaların yaz aylarındaki güneşlenme süresi farkından dolayı mevsim farkını hesaba katmaları daha doğru olacaktır. Aynı zamanda yaz saati uygulamasının kaldırılmasının etkileri tam olarak bilinmediğinden sonraki çalışmalarda bu konunun göz önünde bulundurulup yaz saati uygulamasının enerji tasarrufunda etkin olup olmadığını anlamak faydalı olacaktır.
11. Tez çalışmasının kısıtlarından biri anket çalışmasının Ankara ilindeki 138 konutu kapsamasıdır. 138 ev için sunulan ortalama aydınlatma için tüketim değeri evlerin konumuna bağlı olarak yıl içinde güneş alma süresi dikkate alınmadan hesaplanan

değerdir. 1.646.503 hane sayısı ile Ankara ilindeki konutlarda aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminin anket sonuçlarından daha farklı olabileceği düşünülmelidir. Mevsim farkına bağlı güneşlenme süresi, hanehalkı büyüklükleri, konut alanı, aydınlatma kullanım alışkanlıkları ve gelir düzeyi farklılıkları gibi spesifik bilgilere dayalı olarak Ankara gibi metropoliten bir şehirde konutların aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimleri geniş bir yelpazede değerlendirilmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), “Sektörlere Göre Elektrik Tüketimi,” 2016. [Online]. Available: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029. [Accessed: 20-Dec-2017].
- [2] ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), “Elektrik,” 2017. [Online]. Available: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>. [Accessed: 13-Jan-2018].
- [3] J. Duarte, R., Mainar, A., and Sánchez-Chóliz, “The impact of household consumption patterns on emissions in Spain,” *Energy Econ.*, **2009**.
- [4] A. Druckman and T. Jackson, “Household energy consumption in the UK: A highly geographically and socio-economically disaggregated model,” *Energy Policy*, vol. 36, no. 8, pp. 3167–3182, **2008**.
- [5] W. Abrahamse and L. Steg, “How do socio-demographic and psychological factors relate to households’ direct and indirect energy use and savings?,” *J. Econ. Psychol.*, vol. 30, pp. 711–720, **2009**.
- [6] E. Mills, “Why We’re Here: The \$230-billion Global Lighting Energy Bill,” in *Proceedings from the 5th European Conference on Energy Efficient Lighting*, pp. 369–395, **2002**.
- [7] ACMR (All China Marketing Research), “Survey Report for Annual Follow-Up Evaluation of the Promotion Item of China Green Lighting Project,” China Greenlights Project Management Office, Beijing, China, **2004**.
- [8] “Worldbank.” [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.CD>. [Accessed: 22-Dec-2017].
- [9] EİGM (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü), “Kişi Başına Düşen Net Elektrik Tüketiminin Yıllar İtibariyle Değişimi,” 2014. [Online]. Available: <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Elektrik-Istatistikleri/Kisi-Basina-Dusen-Net-Elektrik-Tuketiminin-Yillar-Itibariyle-Degisimi-1975-2014>. [Accessed: 05-Jan-2018].
- [10] TÜİK, “Genel Nüfus Sayımları,” 2016. [Online]. Available: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1047. [Accessed: 05-Feb-2018].
- [11] P. Waide and S. Tanishima, “Light’S Labour’S Lost policies for energy-efficient lighting,” *Int. Energy Agency*, p. 561, **2006**.
- [12] F. G. Montoya, A. Peña-García, A. Juaidi, and F. Manzano-Agugliaro, “Indoor lighting

- techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving,” *Energy Build.*, vol. 140, pp. 50–60, **2017**.
- [13] N. Zheludev, “The life and times of the LED - a 100 year history,” *Nat. Photonics*, vol. 1, no. 4, pp. 189–192, **2007**.
- [14] B. Gayral, “LEDs for lighting: Basic physics and prospects for energy savings,” *Comptes Rendus Phys.*, vol. 18, no. 7–8, pp. 453–461, **2017**.
- [15] C. Bizzarri, E. Spuling, D. M. Knoll, D. Volz, and S. Bräse, “Sustainable metal complexes for organic light-emitting diodes (OLEDs),” *Coord. Chem. Rev.*, **2017**.
- [16] L. Halonen, E. Tetri, and P. Bhusal, “Guidebook On Energy Efficient Electric Lighting for Buildings,” *Int. Energy Agency*, vol. 45, pp. 1–48, **2010**.
- [17] U.S DOE, “Solid-State Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan,” **2013**.
- [18] A. De Almeida, B. Santos, B. Paolo, and M. Quicheron, “Solid state lighting review - Potential and challenges in Europe,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 34, pp. 30–48, **2014**.
- [19] V. Bhandarkar, “Challenges and opportunities for the LED lighting fixture market,” *Strateg. Unltd.*, no. 1, **2009**.
- [20] L. Halonen, E. Tetri, and P. Bhusal, *Efficient Electric Lighting for Buildings*. **2010**.
- [21] A. Nardelli, E. Deuschle, L. D. de Azevedo, J. L. N. Pessoa, and E. Ghisi, “Assessment of Light Emitting Diodes technology for general lighting: A critical review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, no. October 2016, pp. 368–379, **2017**.
- [22] S.-R. Bang, You-Young; Lee, Dae Sung; Lim, “Identification of Principal Design Features to Develop Environmental Friendly Light-Emitting Diode (LED) Bulbs,” *J. Nanoelectron. Optoelectron.*, vol. 12, no. 6, pp. 625–630, **2017**.
- [23] International Energy Agency (IEA), “Energy Efficiency 2017,” **2017**.
- [24] Navigant Consulting and Inc, “2015 U . S . Lighting Market Characterization,” *U.S. Dep. Energy*, no. November, p. 125, **2017**.
- [25] NASA, “Natural Hazards.” [Online]. Available: <https://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=90008>. [Accessed: 05-Jan-2018].
- [26] P. Bertoldi and B. Atanasiu, “Characterization of residential lighting consumption in the

- enlarged European Union and policies to save energy,” *Int. J. Green Energy*, vol. 5, no. 1–2, pp. 15–34, **2008**.
- [27] EURECO, “Demand-Side Management: End-use Metering Campaign in 400 Households of the European Community – Assessment of the Potential Electricity Savings. Project EURECO,” Feliness, [Available at <http://sidler.club.fr>], **2002**.
- [28] JELMA, “Residential Lighting Survey 2004,” *JELMA J.*, no. 4, **2005**.
- [29] Navigant Consulting, *U.S. lighting market characterization; Volume I: National lighting inventory and energy consumption estimate*, vol. I, no. September. **2002**.
- [30] J. Palmer and B. Boardman, “DELIGHT: Domestic Efficient Lighting for the Commission of the European Communities,” Oxford, **1998**.
- [31] A. De Almeida and P. Fonseca, “Residential monitoring to decrease energy use and carbon emissions in Europe,” *Int. Energy ...*, pp. 1–14, **2006**.
- [32] P. Bertoldi and B. Atanasiu, “Residential Lighting Consumption and Saving Potential in the Enlarged EU,” *4th Int. Conf. Energy Effic. Domest. Appliances Light. Vol.2*, no. February, pp. 545–560, **2006**.
- [33] A. L. Hicks and T. L. Theis, “Residential energy-efficient lighting adoption survey,” *Energy Effic.*, vol. 7, no. 2, pp. 323–333, **2014**.
- [34] Celma, “The importance of lighting . The quality of light . Enhancing life.,” **2011**.
- [35] U. S. Department of Energy, “Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products,” *US Dep. Energy Build. Technol. Off.*, p. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publication>, **2014**.
- [36] J. D. Bergesen, L. Tähkämö, T. Gibon, and S. Suh, “Potential Long-Term Global Environmental Implications of Efficient Light-Source Technologies,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 20, no. 2, pp. 263–275, **2016**.
- [37] D. M. Whaley and S. R. Berry, “Does energy efficient lighting result in lower energy use ? The evidence from a near zero energy housing development,” in *8th International conference on energy efficiency in domestic appliances and lighting*, pp. 1–11, **2015**.
- [38] L. Timma, G. Bazbauers, U. Bariss, A. Blumberga, and D. Blumberga, “Energy efficiency policy analysis using socio-technical approach and system dynamics. Case study of lighting in Latvia’s households,” *Energy Policy*, vol. 109, no. July, pp. 545–554, **2017**.

- [39] A. Persson, “Market Transformation Programme for Residential Lighting New Swedish Approach to Couple Design and Energy Efficiency,” **1997**.
- [40] Elektrik Mühendisleri Odası, *Enerji Verimliliği Raporu 2012*. **2012**.
- [41] Resmigazete, “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi,” 2012. [Online]. Available: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>. **[Accessed: 23-Feb-2018]**.
- [42] P. Schade, H. M. Ortner, and I. Smid, “Refractory metals revolutionizing the lighting technology: A historical review,” *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 50, pp. 23–30, **2015**.
- [43] Express, “News,” 2016. [Online]. Available: <https://www.express.co.uk/news/uk/706107/EU-interferes-again-while-still-members-bans-halogen-spotlights>. **[Accessed: 22-Dec-2017]**.
- [44] S. Thomas, P. Bertoldi, and Ed., “Evaluation of the joint DSM action ‘Bright North Rhine Westphalia’ for efficient residential lighting,” in *Proc. of the 1st International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting EEDAL*, **1997**.
- [45] P. Waide, “Phase Out of Incandescent Lamps: Implications for International Supply and Demand for Regulatory Compliant Lamps,” *Int. Energy Agency Energy Effic. Ser.*, no. April, **2010**.
- [46] E. Martinot and N. Borg, “Energy-efficient lighting programs,” *Energy Policy*, vol. 26, no. 14, pp. 1071–1081, **1998**.
- [47] A. C. Monreal, A. McMeekin, and D. Southerton, “Beyond acquisition: Exploring energy consumption through the appreciation and appropriation of domestic lighting in the UK,” *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 7, no. February, pp. 37–48, **2016**.
- [48] T. Baumgartner *et al.*, “Lighting the way: Perspectives on the global lighting market,” *McKinsey Co.*, pp. 1–58, **2012**.
- [49] EIA, “Today in Energy,” 2015. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=23492>. **[Accessed: 22-Dec-2017]**.
- [50] Ryness, “Press,” 2013. [Online]. Available: <https://www.ryness.co.uk/press/south-korea-to-ban-incandescent-lighting-from-2014>. **[Accessed: 22-Dec-2017]**.
- [51] Barghnews, “News,” 2016. [Online]. Available: https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=tr&prev=search&rurl

- =translate.g%0Aoogle.com.tr&sl=fa&sp=nmt4&u=http://barghnews.com/fa/news/31235/%25usg=ALkJrhghgsQ7zxV9y8%0A-VtdtF62ogfM_b0A. **[Accessed: 23-Dec-2017].**
- [52] Irishexaminer, “Ireland,” 2012. [Online]. Available: <https://www.irishexaminer.com/ireland/lights-out-for-classic-bulbs-200164.html>. **[Accessed: 22-Dec-2017].**
- [53] Guardian, “Environment,” 2012. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/environment/2012/aug/31/lightbulbs-incandescent-europe>. **[Accessed: 23-Dec-2017].**
- [54] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), “Dünya ve Türkiye Enerji Tabii Kaynaklar Görünümü”, *Strateji Geliştirme Başkanlığı*, Sayı: 15, **2017**, www.enerji.gov.tr
- [55] Tuv, “Greater China,” 2017. [Online]. Available: https://www.tuv.com/en/greater_china/about_us_cn/regulations_standard_updates/latest_regulations_en/latest_regulation_content_en_329487.html. **[Accessed: 28-Dec-2017].**
- [56] Malaysiandigest, “Govt to Ban Incandescent Bulbs by 2014,” 2014. [Online]. Available: <http://www.malaysiandigest.com/archived/index.php/12-news/local2/16648-govt-to-ban-incandescent-bulbs-by-2014.html>. **[Accessed: 28-Dec-2017].**
- [57] CONUEE (National Commission for the Efficient Use of Energy), “La CONUEE Updates the Standard of LED Lamps for General Lighting,” *National Commission for the Efficient Use of Energy*, 2017. [Online]. Available: www.gob.mx/conuee/articulos/%0AAla-conuee-actualiza-la-norma-de-lamparas-de-diodos-emisores-de-luz-led-para-iluminaciongeneral?idiom=es%0A. **[Accessed: 23-Dec-2017].**
- [58] Cnnturk, “Dünya,” 2009. [Online]. Available: <https://www.cnnturk.com/2009/dunya/11/17/tacikistan.akkor.ampul.uretimini.yasakladi/551945.0/index.html>. **[Accessed: 23-Dec-2017].**
- [59] International Energy Agency (IEA), “Regional Energy Efficiency Policy Recommendations for Southeast Asia Region,” p. 12, **2014**.
- [60] Taiwannews, “Incandescent lamps banned at supermarkets,” 2010. [Online]. Available: <https://taiwantoday.tw/news.php?unit=10,23,45,10&post=16195>. **[Accessed: 28-Dec-2017].**
- [61] GEF (Global Environment Facility), “Phasing out Incandescent Lamps through Lighting Market Transformation in Vietnam,” 2014. [Online]. Available: <https://www.thegef.org/project/phasing-out-incandescent-lamps-through-lighting->

market-transformation-vietnam. [Accessed: 28-Dec-2017].

- [62] B. Mills, J. Schleich, "Household transitions to energy efficient lighting", Working Paper Sustainability and Innovation, No. S5, **2013**, <http://hdl.handle.net/10419/7870>
- [63] R. Wall and T. Crosbie, "Potential for reducing electricity demand for lighting in households: An exploratory socio-technical study," *Energy Policy*, vol. 37, no. 3, pp. 1021–1031, **2009**.
- [64] J. P. Zimmermann, "End-use metering campaign in 400 households In Sweden Assessment of the Potential Electricity Savings," *Contract*, vol. 17, no. September, pp. 5–2743, **2009**.
- [65] N. Chun and Y. Jiang, "How households in Pakistan take on energy efficient lighting technology," *Energy Econ.*, vol. 40, pp. 277–284, **2013**.
- [66] M. Kuş, "Ankara İlindeki Konutlarda Enerji Tüketiminden Kaynaklanan CO2 Emisyon Miktarlarının Tahmini ve Değişime Neden Olan Etmenlerin Tespiti," Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2011**.
- [67] M. C. Şahin, "Konutlardaki Elektrikli Cihazların Bekleme Konumunda Elektrik Tüketiminin ve Buna Bağlı CO2 Emisyonunun Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2012**.
- [68] G. U. Harputlugil and T. Harputlugil, "Çevresel Konfor Ve Enerji Tasarrufu Bağlamında Konut Kullanıcıları Davranış Profilleri Üzerine Bir Araştırma," *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 31, no. 3, pp. 695–708, **2016**.
- [69] P. Sandwell *et al.*, "Analysis of energy access and impact of modern energy sources in unelectrified villages in Uttar Pradesh," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 35, pp. 67–79, **2016**.
- [70] A. Ozawa, Y. Kudoh, and Y. Yoshida, "A new method for household energy use modeling: A questionnaire-based approach," *Energy Build.*, vol. 162, pp. 32–41, **2018**.
- [71] P. Boait, V. Advani, and R. Gammon, "Estimation of demand diversity and daily demand profile for off-grid electrification in developing countries," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 29, pp. 135–141, **2015**.
- [72] K. Özdamar, "Modern bilimsel araştırma yöntemleri," *Kaan Kitabevi*, no. Eskişehir, **2003**.
- [73] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), "İllere ve Hanehalkı Tiplerine Göre Hanehalkı Sayısı," 2016. [Online]. Available: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059.

[Accessed: 10-Nov-2017].

- [74] TÜİK, “Gelir Dağılımı ve Yaşam Koşulları İstatistikleri,” 2017. [Online]. Available: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1011. **[Accessed: 10-Jan-2018].**
- [75] L. Öztürk, “Monte-Carlo Simulasyon Metodu Ve Bir İşletme Uygulaması,” *İnönü Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi*, no. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, pp. 116–122, **2004**.
- [76] Ö. Sümengen *et al.*, “Binalarda Aydınlatma Enerji Performansının Belirlenmesinde Günışığına İlişkin Değişkenlerin İncelenmesi Investigation of daylight parametres which effects lighting energy performance of buildings,” vol. 30, no. 3, pp. 135–148, **2002**.
- [77] U.S. Departament of Energy, “Solid-State Lighting Research and Development: Multi-Year Program Plan - April 2014,” vol. 2014, no. April, p. 104, **2014**.
- [78] J. Jennings *et al.*, “Residential lighting: The data to date,” *J. Illum. Eng. Soc.*, vol. 26, no. 2, pp. 129–138, **1997**.
- [79] S. Franceschini, M. Borup, and J. Rosales-Carreón, “Future indoor light and associated energy consumption based on professionals’ visions: A practice- and network-oriented analysis,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 129, no. February, pp. 1–11, **2018**.
- [80] C. L. Jensen, “Understanding energy efficient lighting as an outcome of dynamics of social practices,” *J. Clean. Prod.*, vol. 165, pp. 1097–1106, **2017**.
- [81] C. T. Hendrickson, D. H. Matthews, M. Ashe, P. Jaramillo, and F. C. McMichael, “Reducing Environmental Burdens of Solid-State Lighting Through End-of-Life Design,” *IOP Publ. Ltd., Environ. Res. Lett.*, vol. 5, no. 1, **2010**.

EK 1: H.Ü ETİK KOMİSYON İZNİ



T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
Rektörlük

Sayı : 35853172/

431-4225

18 Aralık 2017

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞINA

Fakülteniz Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Hatice ŞENGÜL danışmanlığında yüksek lisans programı öğrencisi Melis YÜKSELEN tarafından yürütülen “Ankara İlindeki Konutlarda Enerji Tasarruflu Aydınlatma Adaptasyonu Araştırması” başlıklı tez çalışması, Üniversitemiz Senatosu Etik Komisyonunun 05 Aralık 2017 tarihinde yapmış olduğu toplantıda incelenmiş olup, etik açıdan uygun bulunmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Rahime M. NOHUTCU
Rektör a.
Rektör Yardımcısı

EK 2: ANKET FORMU

GÖNÜLLÜ KATILIM FORMU

Sayın katılımcı,

Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği yüksek lisans tezi kapsamında Yrd.Doç.Dr.Hatice ŞENGÜL danışmanlığında Ankara ilindeki konutlarda aydınlatma teknolojisi tercihlerini ve buna bağlı aydınlatma için elektrik tüketimini araştırma amaçlı ve Hacettepe Üniversitesi Etik Komisyonu izni ile yapılmaktadır.

Bu ankette katılım tamamen gönüllülük esasına dayanmaktadır. Katıldıktan sonra istediğiniz anda vazgeçebilirsiniz ve bu size hiç bir sorumluluk getirmeyecektir. Kimlik bilgileri ve veriler hanehalkı bazında paylaşılmayacak, sonuçlar yayınlarda paylaşılacaktır.

Araştırma sırasında ya da sonrasında her zaman telefon ve e-posta yoluyla sormak istediğiniz herhangi bir konu varsa sormaktan çekinmeyiniz.

Çalışmaya katıldığınız için teşekkürler.

Yrd.Doç.Dr.Hatice ŞENGÜL

Yüksek Lisans öğrencisi: Melis YÜKSELEN

Tel: 05313401022

e-posta: melisyukselen@hacettepe.edu.tr

TARİH:

KATILIMCI BİLGİLERİ

İsim:

Soyisim:

Adres:

Telefon:

e-posta:

Referans Numarası:

İmza:

HANEHALKI VE KONUT BİLGİLERİ

1. Ailenizin toplam aylık geliri nedir?
0-1500 tl ☐
1501-2200 tl ☐
2201-3100 tl ☐
3101-5000 tl ☐
5001-10000 tl ☐
10001 tl ve üstü ☐
2. Oturduğunuz konutta sizinle birlikte toplam kaç kişi yaşamaktadır?

3. Kaç yaşındasınız?

4. Eğitim durumunuz nedir?
Yüksek lisans ve üstü ☐
Lisans ☐
Lise ☐
İlköğretim ve altı ☐
5. Ev sahipliği durumunuz nedir?
Sahip ☐
Kiracı ☐
Lojman ☐
6. İkamet ettiğiniz konutun tipi nedir?
Apartman dairesi ☐
Müstakil ev ☐
7. Eviniz kaç metrekaredir? _____

AYDINLATMA BİLGİLERİ

8. Ampul alırken nelere dikkat ediyorsunuz? Önem sırasına göre 'en önemli'den 'en önemsiz'e olacak şekilde 1'den 6'ya sıralayınız.

Fiyatı

Enerji verimli/tasarruflu olması

Kendini amorti etme süresi

Yüksek ışık /lümen vermesi

Estetik olması

Çevreci olması

Bundan sonraki sorularda tek bir şık seçiniz.

9. Yeni bir teknoloji çıktığında onu hemen alıp kullanır mısınız?
- Evet, düşünmeden hemen alırım. ☐
- Teknoloji hakkında biraz bilgi edinip almak isterim. ☐
- Bir süre bekler ve etrafımda alıp deneyenlere sorduktan sonra alırım. ☐
- Herkes alıp kullandıktan sonra emin olur ve alırım. ☐
- Hayır, teknolojiyi takip etmiyorum. Sadece ihtiyacım olursa alırım. ☐
10. LED “light emitted diode” (ışık yayan diyot) teknolojisini biliyor musunuz?
- Evet ☐
- Hayır ☐
- Kısmen ☐
11. Eğer biliyorsanız nereden öğrendiniz?
- Ailemden ☐
- Arkadaşılarımdan ☐
- İnternet/TV’den ☐
- Marketlerden ☐
12. Sizce LED’in en iyi kullanım alanı hangisi?
- Dış mekanlar ☐
- İç mekanlar ☐
- Dekorasyon/Mimari ☐
- Elektronik cihazlar (Örn. TV) ☐
- Trafik ışıkları/reklam panoları ☐
13. Şu an fiyatı 60tl ve ömrü 25000 saat, fiyatı 11tl ve ömrü 10000 saat ve fiyatı 4tl ömrü 1500 saat olan 3 ampul çeşidinden evinizde kullanmak için hangisini tercih edersiniz? (Ampuller bir odayı tamamen tek bir ampulle aydınlatacak ışık şiddetinde (lümende) seçilmiştir.)
- Ömrü 25000 saat olan ampul ☐
- Ömrü 10000 saat olan ampul ☐
- Ömrü 1500 saat olan ampul ☐
14. Günde ortalama 6 saat kullandığınızı varsayarsak, bu üç ampulden fiyatı 60tl olan ampul için yılda yaklaşık 9.93tl, fiyatı 11tl olan ampul için yılda yaklaşık 20,75tl ve fiyatı 4tl olan ampul için yılda yaklaşık 94,74tl elektrik faturası ödemeniz gerekir. Bu bilgiye göre evinizde kullanmak için hangisini tercih edersiniz?
- Fiyatı 60tl olan ampul ☐
- Fiyatı 11tl olan ampul ☐
- Fiyatı 4tl olan ampul ☐

15. Bir adet LED ampul için ödeyeceğiniz maksimum fiyat nedir?

- 60tl ☐
- 45tl ☐
- 30tl ☐
- 15tl ☐
- 7.5tl ☐
- Almayı düşünmüyorum ☐

16. Bir ürünü satın alıp kullanmaya başladıktan sonra kendi fiyatı kadar size kar getirdiği süreye "amorti süresi" denir. Bu açıklamaya göre fiyatı 4tl olan ampulu fiyatı 60tl olan ampulle değiştirdiğinizde amorti süresi yaklaşık 8,5 ay ve fiyatı 11tl olan ampulle değiştirdiğinizde amorti süresi yaklaşık 3,5 ay olarak hesaplanmaktadır. Bu bilgilere dayanarak hangi ampul çeşidini seçersiniz?

- Fiyatı 60tl olan ☐
- Fiyatı 11 tl olan ☐
- Fiyatı 4 tl olan ☐

17. Avrupa Birliği ülkelerinde 2009'dan 2012'ye ve Amerika'da 2012'den 2014'e yüksek elektrik tüketen akkor lambalar adım adım yasaklandı. Sizce Türkiye'de de akkor lambalar yasaklanmalı ve tamamen tasarruflu ampule geçilmeli mi?

- Evet ☐
- Hayır ☐
- Belki ☐

18. Odadan çıktığınızda odanın ışığını kapatır mısınız?

- Evet ☐
- Hayır ☐
- Bazen ☐

19. Evinizdeki lambalarda enerji tasarrufu için kısılabilir anahtar ya da hareket sensöründen herhangi birini kullanıyor musunuz?

- Evet ☐
- Hayır ☐

20. Eğer elektrik daha ucuz olsaydı daha fazla ampul ya da daha yüksek ışık kullanır mıydınız?

- Evet ☐
- Hayır ☐

21. Eğer evinizde LED ampul varsa toplam kaç adet ve hangi yıl satın aldınız?

22. Aşağıda verilen oda tiplerine göre o odada bulunan ampul tiplerini, güçlerini (watt) ve ortalama günlük kullanım sürenizi (saat) yazınız. (Ampul tipleri= akkor, floresan, kompakt floresan (CFL), spot, halojen, LED)

SALON	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								
SALON (DEVAMI)	Ampul 8	Ampul 9	Ampul 10	Ampul 11	Ampul 12	Ampul 13	Ampul 14	Ampul 15
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

YATAK ODASI1	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

YATAK ODASI2	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

OTURMA ODASI1	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

OTURMA ODASI2	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

MUTFAK	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

BANYO	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

TUVALET	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

ANTRE	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

BALKON	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

DİĞER belirtiniz	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

DİĞER belirtiniz	Ampul 1	Ampul 2	Ampul 3	Ampul 4	Ampul 5	Ampul 6	Ampul 7	Ampul 8
Ampul tipi								
Günlük ort. kullanım süresi (saat)								
Gücü (w)								

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Melis YÜKSELEN

Doğum Yeri : Altındağ / ANKARA

Medeni Hali : Evli

E-posta : melyukselen@gmail.com

Adresi : Portakal Çiçeği sok. 1/19 A.Ayrancı Çankaya / Ankara

Eğitim

Lise: : Çankaya Lisesi, 2001-2004

Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü , 2004-2010

Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 2011-2018

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : İleri Seviye

İtalyanca : Başlangıç Seviyesi

İş Deneyimi

- ❖ Assystem Company & ENVY Enerji ve Çevre Yatırım Ortaklığı, LPIS Projesi, Kalite Kontrol ve Mozaik Uzmanı, (Eylül 2015- Eylül 2017) 2 yıl

Deneyim Alanları

GIS programları (ArcGIS, QGIS) ile veri üretilmesi, kalite ve kontrolü, teslim hazırlama

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 26/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: Ankara İlindeki Konutlarda Aydınlatma Teknolojisi Tercihleri

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 83 sayfalık kısmına ilişkin, 25/06/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

26/06/2018

Adı Soyadı: Melis YÜKSELEN
Öğrenci No: N10227457
Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği
Programı: Tezli Yüksek Lisans
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Hatice ŞENGÜL