T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR OFİS BİNASINDA KULLANICILARIN VARLIK MODELLERİ İLE PRİZ YÜKLERİ ARASINDAKİ KARŞILIKLI İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Mine KAYALAR GÖLÜKÇÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Eş Danışman

Prof. Dr. Ardeshir MAHDAVİ

Temmuz, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR OFİS BİNASINDA KULLANICILARIN VARLIK MODELLERİ İLE PRİZ YÜKLERİ ARASINDAKİ KARŞILIKLI İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Mine KAYALAR GÖLÜKÇÜ tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 12.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK	Prof. Dr. Ardeshir MAHDAVİ
Yıldız Teknik Üniversitesi	Viyana Teknik Üniversitesi
Danışman	Eş Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Leyla DOKUZER ÖZTÜRK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. İpek FİTÖZ, Üye
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bir Ofis Binasında Kullanıcıların Varlık Modelleri ile Priz Yükleri Arasındaki Karşılıklı İlişkinin Araştırılması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mine KAYALAR GÖLÜKÇÜ

İmza

Aileme

ve

canım eşime



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK'e, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan değerli eş danışmanım Viyana Teknik Üniversitesi Yapı Fiziği Bölümü Başkanı sayın Prof. Dr. Ardeshir MAHDAVİ'ye ve Dr. Farhang TAHMASEBİ'ye sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, bana her zaman güvenen ablam Özge KAYALAR DÜLGER, annem Sevinç KAYALAR ve babam Oktay KAYALAR 'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımını ve desteğini hiç esirgemeyen, anlayış gösteren ve bana her zaman inanan değerli eşim Gökhan GÖLÜKÇÜ'ye kalpten teşekkür ederim.

Mine KAYALAR GÖLÜKÇÜ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

1 Giriş 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 3

1.3 Hipotez 4

2 Ofis Binalarının Genel Özellikleri ve Enerji Kullanımı Eğilimleri 5

2.1 Ofis Binalarının Tanımı 5

2.2 Ofis Binalarının Sınıflandırılması 6

2.3 Ofis Binalarındaki Elektrik Enerjisi Tüketiminde Rol Oynayan Etkenler 10

3 Bina Enerji Performansı 13

3.1 Bina Enerji Performansı Simülasyon Araçları 13

3.1.1 Bina Enerji Modellerinin Kalibrasyonu 18

3.2 Priz Yüklerinin Ofis Binalarındaki Eneji Kullanımına ve Bina Enerji Performansına Etkisi 20

3.3 Bina Kullanıcılarının Enerji Tüketimi ve Bina Enerji Performansına Etkisi 26

3.3.1 Kullanım Çeşitliliği Faktörü ve Profilleri 28

3.3.2 Kullanıcı Varlık Modelleri 31

4 Örnek Bir Ofisin Kullanım Modelleri ile Elektrikli Cihaz Kullanımı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi Üzerine Bir Yaklaşım 35

4.1 Örnek Ofisin Özellikleri 35

4.1.1 Örnek Ofiste Yer Alan Elektronik Cihazlar 36
4.1.2 Örnek Ofisteki Kullanıcılar 38
4.2 Verilerin Toplanması 38
4.2.1 Priz Yükleri Verileri 39
4.2.2 Çalışma Alanlarındaki Kullanıcı Varlığı Verileri 40

5 Priz Yükleri ve Kullanıcı Varlığı Olasılığı Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi 41
5.1 Kullanıcıların Varlık Olasılığı 41
5.2 Priz Yükleri Fraksiyonu 42
5.3 Priz Yükü Fraksiyonu ile Kullanıcı Varlık Olasılığı Arasındaki İlişkinin Doğrusal Regresyon Analizi 43
5.4 Sadeleştirilmiş Model 45
5.5 Olasılık Yöntemi 46
5.6 Önerilen Priz Yüklerinin İlgili Standartlardaki Değerlerle Karşılaştırılması 48
5.7 Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi ve Kurulu Güç 50

6 Değerlendirme 52
6.1 Sadeleştirilmiş Modelin Doğrulanması 52
6.2 Sadeleştirilmiş Model ile Olasılıksal Modelin Performans Karşılaştırması 55

7 Sonuç ve Öneriler 57

A Veri Analizleri 60

Kaynakça 73

Tezden Üretilmiş Yayınlar 80

SİMGE LİSTESİ

i	Zaman Aralığı
q	Gerçek Priz Yükü Değeri
Qe	Çalışma Alanındaki Etkin Kurulu Cihaz Gücü
T	Zaman Aralığının Uzunluğu

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Birliği (American Society Of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers)
BCO	İngiliz Ofis Konseyi (British Council of Offices)
BEP	Bina Enerji Performansı
BLC	Bina Yaşam Döngüsü (Building Life-Cycle)
BOMA	Bina Sahipleri ve Yöneticileri Kuruluşu (Building Owners ans Managers Association)
BSRIA	Bina Tesisleri Araştırma ve Danışma Derneği (Building Services Research and Information Association)
CBECS	Ticari Binalar Enerji Tüketimi Araştırması (Commercial Building Energy Consumption Survey)
CIBSE	Yetkili Bina Tesisleri Mühendisleri Enstitüsü (Charted Institution of Building Services Engineers)
DOE	ABD Enerji Bakanlığı (Department of Energy)
ECG 19	Enerji Tüketim Kılavuzu 19 (Energy Consumption Guide 19)
EIA	Enerji Enformasyon İdaresi (Energy Information Administration)
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
EPDK	Enerji Piyasası Değerlendirme Kurumu
FEMP	Federal Enerji Yönetimi Programı (Federal Energy Management Program)
HVAC	Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme, Soğutma (Heating, Ventilation, Air-conditioning, Cooling)
IPMVP	Uluslararası Performans Ölçümleri ve Doğrulama protokolü (International Performance Measurements and Verification protocol)

JSD	Jensen-Shannon Mesafesi (Jensen-Shannon Divergence)
KLD	Kullback-Leibler Mesafesi (Kullback-Leibler Divergence)
MBE	Ortalama Eğilim Hatası (Mean Bias Error)
MSE	Ortalama Kare Hata (Mean Square Error)
M&V	Ölçüm & Doğrulama (Measurement & Verification)
PIR	Pasif Kızıl Ötesi (Passive Infra Red)
PLE	Priz Yüklerine İlişkin Enerji Kullanımı
PLF	Priz Yükü Fraksiyonu (Plug Load Fraction)
POE	Kullanım Sonrası Değerlendirme (Post Occupancy Evaluation)
PP	Bulunma Olasılığı (Presence Probability)
R	Regresyon
RE	Bağıl Hata (Relative Error)
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Hücresel düzenli plan tipi örneği [34] 7
Şekil 2.2 Grup düzenli plan tipi örneği [34] 7
Şekil 2.3 Açık plan tipi örneği [34] 8
Şekil 2.4 Serbest düzenli plan tipi örneği [34] 8
Şekil 2.5 Karma düzenli plan tipi örneği [34] 9
Şekil 2.6 A.B.D.'de tipik bir ofis binasındaki enerji tüketimi dağılımı [2] . . . 11
Şekil 2.7 2017 Yılı Son Enerji Kullanımının Enerji Kaynağı Bazında Dağılımı [40] 11
Şekil 2.8 2017 Yılı Türkiye'de Faturalanan Elektrik Enerjisi Tüketiminin Sektörel Dağılımı [41] 12
Şekil 3.1 Bina enerji simülasyon programlarının genel veri akışı şeması [7] . 14
Şekil 3.2 Öngörülen ve gerçek enerji performansı arasındaki farkların nedenleri [10] 16
Şekil 3.3 2001-2014 yılları arasında enerji sertifikası alan binaların tiplerine göre dağılımı [60] 21
Şekil 3.4 Enerji verimliliği bakımından farklı ofis yaklaşımlarında, priz yüklerinin ofislerde kullanılan toplam elektrik enerjisine etkisinin karşılaştırılması [61] 22
Şekil 3.5 Ticari binalarda priz yüklerine bağlı enerji tüketimi analizi [65] . . . 23
Şekil 3.6 Ofis binalarında priz yüklerine bağlı elektrik enerjisi kullanımının elektronik cihaz türlerine göre dağılımı [67] 23
Şekil 3.7 Ticari binalarda enerji tüketimi artışının bina enerji yükleri bazında 2050 yılı projeksiyonu [68] 24
Şekil 3.8 Kullanıcıların bina sistemlerine doğrudan ve dolaylı etkileri [22, 23] 27
Şekil 3.9 ASHRAE 90.1-2004'te önerilen, gün tipine göre kullanım çeşitliliği faktörü [15] 29
Şekil 4.1 Örnek ofisin konumu 35
Şekil 4.2 Örnek ofisin yerleşim planı ve sensörlerin konumları 36
Şekil 4.3 Örnek ofisin görselleri 38
Şekil 4.4 Priz yükleri enerji sayacı 39
Şekil 4.5 Hareket sensörü 40

Şekil 5.1 Sekiz kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için varlık olasılığı 41
Şekil 5.2 Sekiz kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için priz yükleri fraksiyonu 42
Şekil 5.3 Bir kullanıcının (U7) varlık olasılığı ile priz yükleri fraksiyonu arasındaki ilişki 43
Şekil 5.4 Sekiz kullanıcının varlık olasılığı ile priz yükleri fraksiyonu arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi 44
Şekil 5.5 Sekiz kullanıcının her biri için varlık olasılığı ile priz yükleri fraksiyonu arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi 45
Şekil 5.6 Yıllık elektrikli cihaz kaynaklı elektrik enerjisi kullanımı ile kurulu cihaz gücü arasındaki ilişki 51
Şekil 6.1 İzlenen değerlerle birlikte farklı model yaklaşımlarından elde edilen yıllık priz yükü [98] 55
Şekil 6.2 İzlenen değerlerle birlikte farklı model yaklaşımlarından elde edilen maksimum priz yükü [98] 56
Şekil 6.3 2013 yılı için farklı modelleme senaryolarından elde edilen priz yükü fraksiyonunun izlenen ilgili değerlerle birlikte kümülatif dağılımı [98] 56

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 BEPS modellerinin kalibrasyonu için uluslararası değerlendirme kriterleri [13–15] 20
Tablo 4.1 Kullanıcılarla eşleştirilen kurulu ekipman güçleri ve seçilen ofis bölümü alanları 36
Tablo 4.2 Kullanıcılarla eşleştirilen kurulu ekipman güçleri ve seçilen ofis bölümü alanları 37
Tablo 5.1 Literatürde bildirilen ve önerilen ofis için priz yükleri ile tez çalışmasında elde edilen priz yükü yoğunluğunun karşılaştırılması . 49
Tablo 5.2 2014 verilerine dayanarak oluşturulan, kullanıcılar ve çalışma alanlarıyla ilgili priz yükleri (yıllık ortalamalar, iş günleri) tablosu . 50
Tablo 6.1 Sadeleştirilmiş priz yükü modeli tahminleri ile 2013-2015 yıllarına ait kaydedilen priz yükleri kaynaklı elektrik enerjisi kullanımının istatistiksel olarak karşılaştırılması [98] 53
Tablo A.1 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki varlık durumu verileri 61
Tablo A.2 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki priz yükleri verileri 65
Tablo A.3 Bir kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için varlık olasılığı analizi 69
Tablo A.4 Bir kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için priz yükü fraksiyonu analizi 70
Tablo A.5 Kullanıcılara İlişkin Kurulu Ekipman Güçleri ve Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi 72

ÖZET

Bir Ofis Binasında Kullanıcıların Varlık Modelleri ile Priz Yükleri Arasındaki Karşılıklı İlişkinin Araştırılması

Mine KAYALAR GÖLÜKÇÜ

Mimarlık Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK
Eş-Danışman: Prof. DI. Dr. Ardeshir MAHDAVİ

Ofis binalarının küresel elektrik tüketimindeki payı, hızla gelişen teknoloji ile birlikte artmaktadır. Enerji verimliliği yüksek binalara olan talep arttıkça, bina enerji performansı tahminleri de daha önemli hale gelmektedir. Enerji simülasyon araçları, binaların enerji performans analizlerinde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu simülasyon programlarında; yapı malzemeleri, inşaat, HVAC sistemleri, hava koşulları, aydınlatma, kullanıcı ve priz yükleri gibi çeşitli parametreler kullanılır. Ayrıca; aydınlatma, bina kullanıcıları ve elektronik cihaz kullanımından kaynaklanan iç ısı kazanımları, binaların iç ortam çevre şartları ve enerji kullanımı açısından önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, binaların karmaşık yapısı ve çok çeşitli bağımsız değişkenlerin etkileşimi nedeniyle, bina enerji performansının gerçekçi tahminlerini yapmak zordur. Bu nedenle, modellenen ve ölçülen enerji tüketimi arasında büyük tutarsızlıklar meydana gelmekte ve bu bina enerji performansı simülasyonları için ciddi bir sorun teşkil etmektedir.

Kullanıcıların binadaki varlığı ve kontrol eylemleri, binalardaki enerji tüketiminin önemli belirleyicilerindendir ve enerji hesaplamaları ile gerçek enerji kullanımı arasındaki farkın nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Genel olarak enerji simülasyonlarında, binalardaki gerçek kullanıcı varlık durumunu yansıtmakta yetersiz kalan, ortalama bir kullanıcı varlığı profili kullanılmaktadır.

HVAC ve aydınlatma sistemlerinin standartlar ve düzenlemelere bağlı olarak giderek artan verimlilikleri nedeniyle, priz yükü ofis binalarındaki enerji tüketiminin yüzde

20'sinden fazlasını oluşturabilmektedir ve önümüzdeki 20 yıl içerisinde ticari sektördeki enerji tüketiminin en hızlı büyüyen kısmı olacağı öngörülmektedir. Genel olarak, enerji simülasyon araçlarındaki priz yükleri için cihaz arkalarında yer alan etiket bilgileri veya standartlarda önerilen değerler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, birçok çalışma gerçek priz yüklerinin bu değerlerden çok daha düşük olduğunu göstermektedir. Priz yükü kapasitesinin fazla öngörülmesi, elektrik altyapısının ve soğutma sistemlerinin aşırı boyutlanmasına neden olmakta ve sonuç olarak, binaların enerji verimliliğini olumsuz etkilemektedir.

Binalarda kullanıcı varlık profilleri ve priz yüklerinin daha iyi anlaşılması, bina enerji performans simülasyonlarının güvenilirliğini artırabilir ve soğutma sistemleri için doğru kapasitelerin seçimini sağlayabilir. Bu amaçla bu tez çalışmasında, ofis binalarındaki ağırlıklı olarak bilgisayar ve diğer elektronik cihaz donanımına bağlı priz yüklerine odaklanılmıştır. Kullanıcıların varlığı, elektronik cihazlar için kurulu güç ve bu cihazlardan kaynaklanan elektrik enerjisi kullanımı arasındaki ilişkiyi araştırmak için Viyana'daki sürekli izlenen bir ofis binasından elde edilen uzun vadeli gözlemsel veriler analiz edilmiştir.

Sonuçlar, elektronik cihazların kullanımıyla ilgili olarak ofis kullanıcıları arasında farklılıklar olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kullanıcıların gerçek zamanlı izlenen elektrik enerjisi kullanımı verilerinden kullanıcı varlık olasılığını elde etme potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasındaki bulgular ile, ofis priz yüklerini tahmin etmek için sadeleştirilmiş yöntemin formülasyonu oluşturulmuştur. Sadeleştirilmiş modelin doğrulama sonuçlarına göre, modelin priz yüklerine ilişkin yıllık enerji kullanımının oldukça uygun tahminlerini sağladığı görülmektedir. Ayrıca, bu tez çalışmasında elde edilen priz yükü güç yoğunluğu ölçümleri, standartlardaki ilgili değerlerin yüksek kaldığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kullanıcı varlığı, bina içi ortam ısı kazancı, priz yükleri, elektronik cihazlar, elektrik enerjisi kullanımı

ABSTRACT

Exploring The Interrelationships Between Occupants' Presence Patterns and Plug Loads In An Office Building

Mine KAYALAR GÖLÜKÇÜ

Department of Architecture
Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDIK
Co-advisor: Prof. DI Dr. Ardeshir MAHDAVI

The share of office buildings in global electricity consumption is increasing with the rapidly developing technology. With the ascending demand for more energy efficient buildings, more attention needs to be paid to the building energy performance predictions. Energy simulation tools are increasingly preferred in the analysis of energy performance of buildings. These tools use multiple parameters such as building materials, construction, HVAC systems, weather conditions, lighting, occupants and plug loads. Besides, internal heat gains resulting from lighting, occupants and equipment usage play an important role with regard to the buildings' indoor environmental conditions and energy use. However, due to the complex nature of the built environment and wide range of independent interacting variables, it is difficult to provide a realistic prediction of building energy performance. Therefore, large disperancies between simulated and measured energy consumption represents a common issue in building energy performance simulation.

Occupants' presence and control actions are considerable determinants for the energy consumption in buildings that may be one of the reasons of the difference between the energy calculations and actual energy use. Prevalently, an average value of occupancy is being used in energy simulations that may be deficient to reflect the actual occupancy patterns in buildings.

By the steadily increasing efficiencies of HVAC and lighting systems due to standards and regulations, plug load may account for more than 20 percent of energy

consumption in office buildings and is projected to be the fastest-growing part of commercial energy consumption over the next 20 years. Commonly, nameplate data or recommended values in standards are used for plug loads in energy simulation tools. However, many studies show that actual loads are much lower than these values. Overestimating plug load capacity leads to oversize electrical infrastructure and cooling systems and consequently, the actual energy efficiency of buildings are badly affected.

A better understanding of occupancy patterns and plug loads can enhance reliability of building performance simulations and ensure the choice of accurate capacities for cooling systems. For this purpose, this thesis study focuses on plug loads in office buildings associated mainly with computers and peripherals. Long-term empirical data obtained from continuously monitored office building in Vienna to investigate the relationship between occupants' presence, installed power for equipment and electrical energy use for equipment.

The results are evaluated in the aspects of the diversity amongst the occupants concerning their use of electric equipment and the potential to derive the presence probability of office users from real-time monitored electrical energy use data. The findings in this thesis study generate the formulation of simplified office plug loads prediction method. Thereby, the evaluation results of simplified model suggest that the model provides fairly reasonable predictions of annual energy use associated with plug loads. In addition, plug load power density measurements obtained in this thesis study reveal that the relevant values in the standards remain high.

Keywords: Occupancy, internal heat gains, plug loads, equipment, electrical energy use

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Ticari bina sektörü, daha sürdürülebilir enerji korunumu sağlayabilmek için enerji çalışmalarının ve enerji tasarrufu politikalarının odağı haline gelmiştir. Ofis binalarındaki elektrik enerjisi tüketimi, giderek artan elektronik cihaz kullanımıyla beraber ciddi boyutlara ulaşabilmektedir. Avrupa'da ofis binalarının yıllık toplam enerji tüketimi; konum, inşaat ve çevre kontrol sistemlerinin yanı sıra, cihaz tipleri ve kullanım biçimleriyle ilgili etkenlere bağlı olarak yaklaşık 100 ila 1000 kWh/m^2.yıl arasında değişmektedir [1].

Bu bağlamda, ofis binalarının genel planlama özellikleri, sınıflandırması, bina sektörünün enerji tüketimindeki yeri ve ofis binalarının enerji kullanım eğilimleri, kullanılan sistemler ile elektronik cihazların elektrik enerjisi tüketimine etkileri incelenmiştir. Son yıllarda hızla gelişen teknolojiyle birlikte, özellikle ofis binalarında çalşma alanları çoğunlukla bilgisayarlar ve diğer elektronik cihazlarla donatılmıştır. Dolayısıyla bu alanlarda elektrik enerjisi tüketimi yoğundur. Ofis binalarındaki bu yoğun enerji kullamını irdeleyebilmek için uygun sınıflandırma önem taşımaktadır. Sınıflandırma yöntemlerine bakıldığında ofis binaları; kat sayısına, kaliteye, işleve, planlama biçimine ve enerji kullanımına göre farklı şekillerde kategorize edilmektedir.

Genellikle ofis binalarının enerji ihtiyacı, hem uygun iç mekan konfor koşullarını sağlayan ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme sistemleri ve aydınlatma elemanlarından hem de ofisteki elektronik cihazların çalışmasından kaynaklanır [2].

Bir binanın enerji kullanımını azaltmak için binaların tasarım aşamasında doğru kararlar verilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, binaların tasarım aşamasında enerji kullanımını öngörmek ve tasarımcıların en uygun bina sistemlerini seçmesine ve boyutlandırmasına yardımcı olmak için binaların enerji performansını öngören enerji modellemeleri ve simülasyon araçları kullanılmaktadır [3–5]. Bu simülasyon programlarının genel yapısı ve işleyişi, örnek durum çalışmaları ve referans bina

modelleri olarak tanımlanan temel yaklaşımlar [6], simülasyona girilen veriler (bina geometrisi, hava durumu, HVAC sistemleri, aydınlatma, priz yükleri, kullanıcılar, bina operasyonu) [7] ve performansları araştırılmıştır. Bununla birlikte, simülasyon programlarında öngörülen ve gerçekleşen bina enerji performansları arasında büyük farklılıklar olduğunu gösteren araştırmalara örnekler [5, 8, 9] verilmiştir. Ayrıca, bu performans açığını oluşmasına neden olan tasarım aşamasındaki yanlış varsayımlar, basite indirgenmiş enerji simülasyon araçlarının kullanımı, bina yapım kalitesi, bina sistemlerinin operasyonu, kullanıcı varlığı ve davranışı etkenleri [10] irdelenmiştir.

Enerji modellemelerinin tahminlerini iyileştirmek ve simülasyonlar sonucu öngörülen ile gerçekte ölçülen enerji performansı arasındaki uyuşmazlığı gidermek için, kalibrasyon yöntemleri kullanılmaktadır [11, 12]. Bu kalibrasyon yöntemleri, kalibrasyon aşamasındaki sorunlar ve uluslararası kalibrasyon değerlendirme kriterleri ASHRAE Kılavuz 14, Uluslararası Performans Ölçümleri ve Doğrulama protokolü (IPMVP) ve Federal Enerji Yönetimi Programı (FEMP) için Ölçüm ve Doğrulama (M&V) Kılavuzu [13–15] incelenmiştir.

Priz yükleri, ofis binalarının en büyük ve en hızlı büyüyen enerji kullanımı kollarından birini oluşturur [16]. Bu bağlamda, priz yüklerinin ofis binalarındaki elektrik enerjisi tüketimine etkileri ve priz yüklerine bağlı enerji kullanımının elektronik cihazlara göre dağılımı incelenmiştir. Ayrıca, priz yükleri binanın iç ortam ısı kazanımına katkıda bulunmaktadır [17]. Ancak, priz yükleri için belirlenen güç yoğunluğunun standart ve yönetmeliklerde genelde fazla tahmin edilmesi sonucunda, bina sistemleri olması gerekenden daha yüksek kapasiteli olarak seçilmektedir [18, 19]. Literatürde priz yüklerinin fazla öngörüldüğünü ve bunun bina sistemlerinin seçimine ve bina enerji performansına etkilerini ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır [20].

Ofis binalarında elektronik cihazlar kullanıcılar tarafından kontrol edilmektedir. Bu bağlamda, kullanıcıların bina enerji performansına etkilerini incelemek için, kullanıcıların bulundukları bina ile etkileşimini anlamak gerekir. Kullanıcılar bulundukları bina ile pasif ve aktif olmak üzere iki farklı biçimde etkileşime girerler. Kullanıcılar, vücut ısıları ve solunum sonucu bina içi ortam ısısı ve iç ortam hava kalitesinin değişimine katkıda bulunur. Bunun yanı sıra kullanıcılar, HVAC ve aydınlatma sistemlerinin operasyonu, su tüketimi ve elektronik cihazların kullanımı gibi aktif eylemleri bina enerji performansını doğrudan etkiler [21–23].

Kullanıcı varlığı ve davranışı binanın enerji performansında önemli derecede etkilidir. Ayrıca, kullanıcı davranışı priz yüklerinden kaynaklanan elektrik enerjisi tüketimini doğrudan etkileyebilmektedir [24–26]. Kullanıcı varlığının bu etkilerini enerji simülasyonları hesaplarına gerçekçi olarak yansıtabilmek için kullanıcı varlığı profilleri

ve kullanıcı varlık modelleri kullanılmaktadır [27].

Tez çalışmasında, bina enerji performansı simülasyonlarına doğru veri girilebilmesine katkı sağlamak amacıyla, ofis binalarında kullanıcı varlığı ile bu kullanıcılara ilişkin elektronik cihaz kullanımı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Tez yazarı, Ekim 2014 - Haziran 2015 tarihleri arası Erasmus kapsamında olmak üzere, Haziran 2016'ya kadar Viyana Teknik Üniversitesi Yapı Fiziği ve Yapı Ekolojisi Bölümü'nde bulunduğu süre içerisinde, eş danışmanı Prof. Dr. Ardeshir Mahdavi yürütücülüğünde sürdürdüğü ofis binasında kullanıcıların varlık modelleri ile priz yükleri arasındaki ilişkiyi araştıran tez çalışması çerçevesinde, "21. Yüzyılda Binaların ve Kamusal Alanların Kontrol ve Otomasyon Yönetimi" (CAMPUS21) ve "Kamu Düzenlemesinde Enerji Verimliliğinin Artırılması için Çözümler ve Hizmetler" (RESSEEPE) projelerinden sağlanan fonlarla desteklenen bir araştırmaya gönüllü olarak yardımda bulunmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Ofis binalarındaki priz yükleriyle ilgili standartlarda yer alan değerler ve genel olarak bina enerji simülasyonlarında kullanılan varsayımlar tam anlamıyla yeterli değildir. Son dönemde, kullanıcıların tipik varlık kalıpları ile eylem modellerini ve bunların bina enerji performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Ancak, ofis binalarında elektronik cihaz kullanımının yoğunluğu ve dağılımı ile ilgili çok az çalışma vardır. Bu durumdan yola çıkarak, bu tez çalışmasında, deneysel olarak seçilen bir ofisteki sınırlı sayıdaki kullanıcıların çalışma alanlarındaki varlık durumları ve çalışma alanlarındaki elektronik cihazlardan kaynaklı priz yükleri incelenmiştir.

Tez çalışmasının amacı, ofis binalarındaki priz yüklerini, kullanıcıların varlık durumu modellerinin varsayımlarına ve kurulu elektronik cihaz gücüne dayanarak öngörebilme olasılığını araştırmaktır. Bu bağlamda, bu çalışmada, bir ofis binasındaki elektronik cihazlara bağlı elektrik enerjisi tüketiminin, ofis kullanıcılarının kullanım modellerine ve ilgili kurulu elektronik cihaz gücüne dayanarak tahmin edilebileceği varsayılmaktadır. Bu amaçla, Viyana'da sürekli izlenen bir ofis binasından elde edilen uzun vadeli gözlem verileri, ofis kullanıcılarının varlık durumları ile elektronik cihazlardan kaynaklanan elektrik enerjisi kullanımları arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılmıştır. Böylelikle, kullanıcılar arasındaki elektronik cihazlara bağlı elektrik enerjisi tüketimiyle ilgili farklılıklar ve kullanıcıların gerçek zamanlı izlenen elektrik enerjisi tüketimi verileri kullanılarak, çalışma alanlarındaki varlık olasılıklarını ortaya çıkarma potansiyeli değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının temelini oluşturan deneysel verilerin çok küçük kapsamlı olmasından dolayı, önerilen tahmin yönteminin spesifik formülasyonunun genel geçerliliği iddia

edilmemektedir. Aksine bu tez çalışmasının amacı, önerilen yaklaşımı belgelemek ve bu yaklaşımın ileride daha kapsamlı araştırmalarla test edilebilecek, gelecek vaat eden potansiyelini göstermektir.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında, ofis binalarında genelikle yoğun olarak kullanılan bilgisayarlar ve elektronik cihazlardan dolayı oluşan elektrik enerjisi kullanımı ile kullanıcıların çalışma alanlarında bulunma sıklıkları arasındaki ilişki sorgulanmıştır. Bu bağlamda, kullanıcılara ilişkin priz yükleri ile mevcudiyet oranları dikkate alınarak, kulanıcılar arasındaki farklılıklar irdelenmiştir. Ayrıca kurulu elektrikli cihaz gücü ile elektrikli cihaz kaynaklı yıllık enerji tüketimi arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Bu doğrultuda, ofiste kullanılan elektronik cihazlar ve bilgisayarlardan kaynaklanan priz yükleri veya elektrik enerjisi ihtiyacının, kurulu elektronik cihaz gücüne ve ofis kullanıcılarının ofisteki varlık modellerine dayanarak öngörülebileceği varsayılmaktadır. Ayrıca kullanıcılarla ilişkilendirilen ve alana bağlı priz yüklerinin toplam büyüklüğü irdelenmiş ve bu değerler ilgili standartlarda varsayılan değerlerle karşılaştırılmıştır.

2
Ofis Binalarının Genel Özellikleri ve Enerji Kullanımı Eğilimleri

2.1 Ofis Binalarının Tanımı

19. yüzyılda çalışma işlevi için farklı mekanlara ihtiyaç duyulmasıyla ortaya çıkan ofis binaları [28], günümüzde gelişen teknoloji ve meslek kollarıyla birlikte farklılaşan, çeşitli çalışma işlevlerinin gerçekleştiği bir bina tipidir. Ofis bloğu veya iş merkezi olarak da adlandırılan ofis binalarının temel amacı, öncelikle çalışanlar için elverişli bir çalışma ortamı sağlamaktır. Genellikle, ofis binası içerisinde bilgisayar ve diğer elektronik donanımların bulunduğu çalışma alanları belirlenmiştir. Bir binanın ofis binası olarak tanımlanabilmesi için iç mekanların en az %75'i ofis alanı olarak kullanılmalıdır [29]. Bunun yanı sıra, ofis binalarının hemen hepsinde çekirdek (merdiven, asansör), yatay (koridor) ve düşey sirkülasyon alanları ve tuvaletler, otopark, yemekhane, arşiv, depo gibi servis alanları bulunur. Bir ofis binası farklı firmalar için bölümlere ayrılabilir veya tek bir firmaya tahsis edilebilir. Her iki durum için de, her firma için genellikle bir karşılama alanı, bir veya daha fazla toplantı odası, hücresel veya açık plan ofisler planlanır. Bazı çalışan sayısı fazla ofislerde, binanın çekirdeği etrafında planlanan servis alanlarının haricinde, mutfak nişi, depo, fotokopi odası, tuvaletler vb. alanlar ofis alanı içerisinde yer alabilir.

Günümüzde gelişen teknolojiyle beraber, özellikle ofis kullanıcılarının bilgisayarlar başta olmak üzere elektronik cihazlarla olan etkileşimi giderek artmaktadır. Bu doğrultuda, çalışma alanlarının da kullanıcıların artan fiziksel ihtiyaçlarına göre çeşitlenmesi beklenir. Ofis binalarında, elektronik cihaz kullanımı ve dolayısıyla priz yükleri kaynaklı enerji tüketiminin en yoğun olduğu yerler çalışma alanlarıdır. Çalışma alanlarının elektronik cihaz donanımı, kullanıcı sayısı, kullanım profili ve yüzölçümü gibi özelliklerinin doğru tanımlanması, enerji çalışmalarında bu alanların düzgün bir şekilde izlenmesi ve verilerin doğru analiz edilmesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte, enerji çalışmalarında analizlerin ve karşılaştırmaların doğru yapılabilmesi için, ofis binalarının uygun bir sınıflandırma ile ifade edilmesi gerekir.

2.2 Ofis Binalarının Sınıflandırılması

Ofis binalarının sınıflandırılmasında işlevsel, teknik ve finansal faktörler rol oynamaktadır. Bu doğrultuda, ofis binaları kat sayılarına göre;

- az katlı (7 kattan az),
- orta katlı (7-25 kat arası) ve
- yüksek katlı (25 kattan fazla) şeklinde sınıflandırılır [29].

Bina Sahipleri ve Yöneticileri Kuruluşu (BOMA) ise ofis binalarını; konum, mimari özellikler ve kiralama bedeli kriterlerini dikkate alarak ve kalitelerine göre;

- A sınıfı (prestijli ofis),
- B sınıfı (standart ofis),
- C sınıfı (klasik ofisler) olarak sınıflandırılmıştır [30].

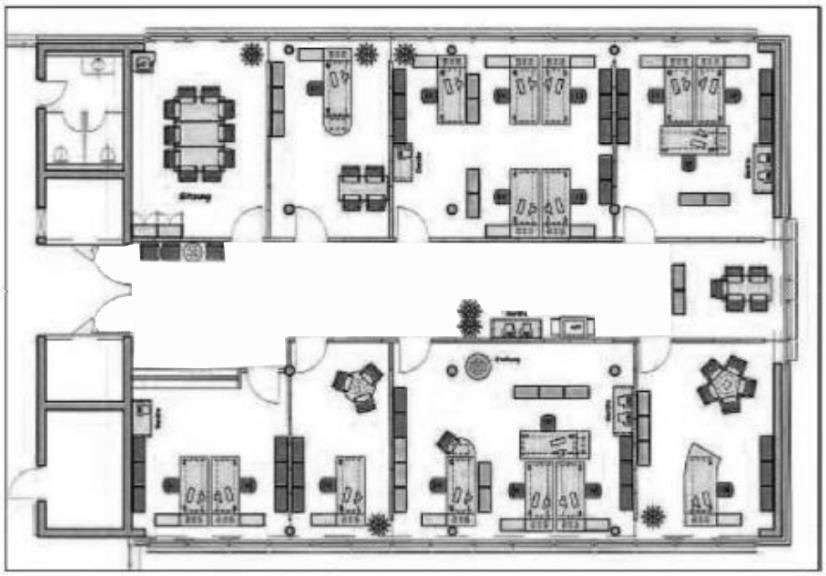
Nezih Eldem, ofis binalarını iki kategoriye ayırmıştır. İdari ofis binaları; endüstri, ticari, siyasi ve kültürel gibi alanlara hizmet eden kamu veya özel kuruluşlardır. Ticari ofis binaları ise; bölümleri kiralanabilen, uygun bir çalışma ortamı için gereken şartları sağlayan, özel bir programı olmayan yapılardır. İdari ve ticari ofis binaları planlama olarak birbirinden çok farklı olmamakla birlikte, iç mekan düzenlemesi, kapasite, gereksinim ve işlev bakımından farklılık gösterirler [31].

Ofis binalarının planlama tipleri; gerçekleştirilen işin türüne, kullanıcıların iş programına, gereksinimlerine ve kullanıcılar arası iletişime göre şekillenir. Bu planlama biçimlerine göre ofis binaları;

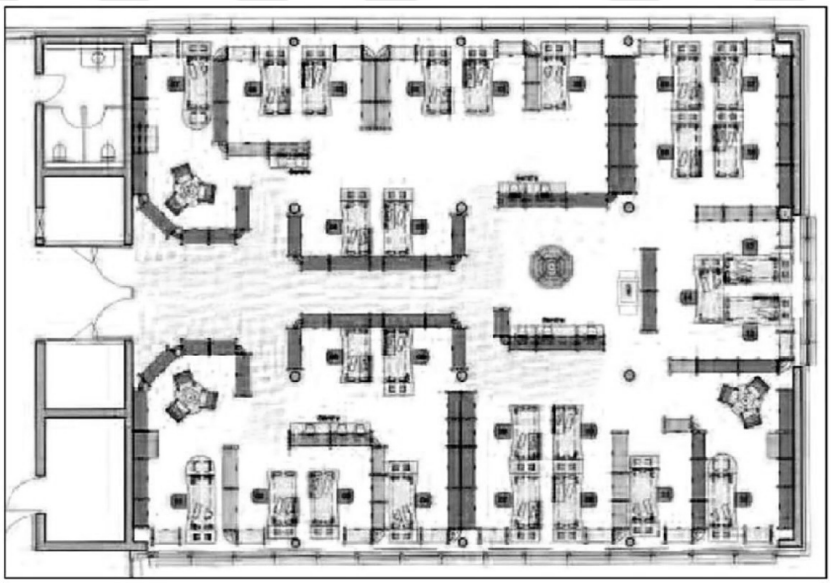
- hücre planlı,
- grup planlı,
- açık planlı,
- serbest planlı,
- karma planlı

olarak kategorize edilmiştir. Planlama düzenleri arasındaki en önemli farklılık, çekirdek ve koridorun değişik biçimlerde düzenlenmesidir [32].

Hücresel düzenli ofis plan tipi, Şekil 2.1'deki plan örneğinde görüldüğü üzere, farklı büyüklüklerdeki odalardan oluşur. Genellikle doğal aydınlatma sağlandığı için derinliği 6 metreyi geçmez. Geleneksel ofis binalarında görülen bu plan tipinde odalar sabit bir koridorun etrafında yan yana veya ayrık olarak düzenlenir. Bireysel çalışmaya uygundur. Daha çok kamu binalarında tercih edilir [33].



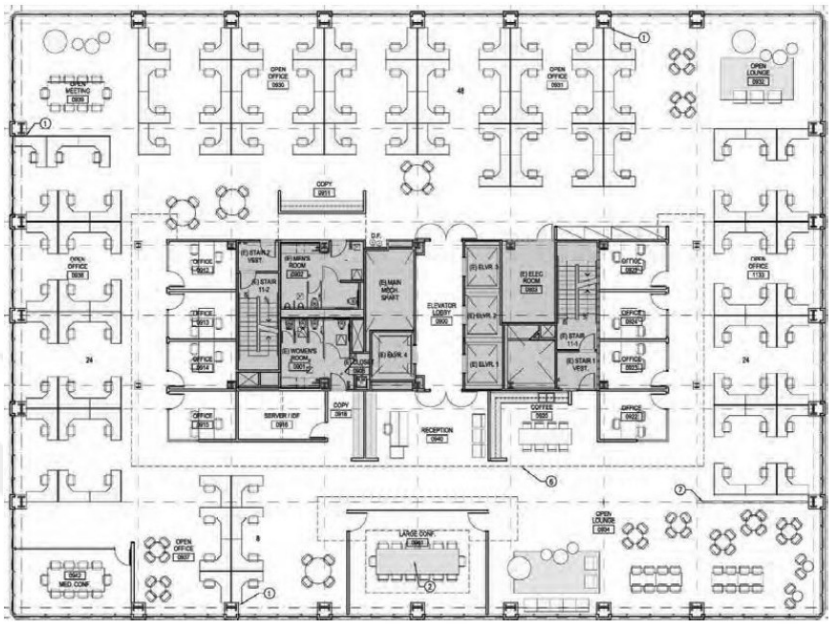
Şekil 2.1 Hücresel düzenli plan tipi örneği [34]



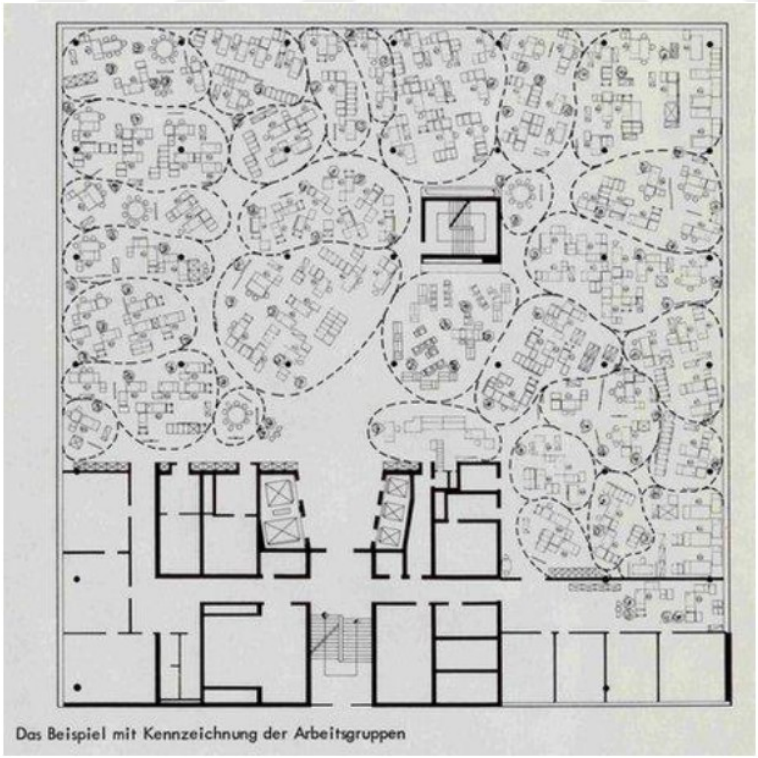
Şekil 2.2 Grup düzenli plan tipi örneği [34]

Şekil 2.2'de grup düzenli plan tipine bir örnek verilmiştir. Bu plan tipi, hücresel ofislerin ortalama 5-10 kişilik grupların çalışmasına olanak sağlayacak biçimde düzenlenmiş halidir. Günışığından yararlanmayı sağlayabilmek için derinliği en fazla 12-14 metreye kadar olabilir. Grup düzenli planlamada, istenirse koridorlar da ofis alanına dahil edilebilir [35].

Açık plan tipinde genellikle bir kattaki çekirdek alanı haricinde kalan kısımlar ofis alanına dahildir. Şekil 2.3'te gösterilen planda olduğu gibi, ayırıcı sabit bir duvar elemanı yerine mobilyalar, alçak paneller ya da saksı gibi dekoratif elemanlar kullanılarak bölümlenmeler oluşturulur. Ayrıca, bu elemanlar ses denetimine de yardımcı olurlar [34].



Şekil 2.3 Açık plan tipi örneği [34]

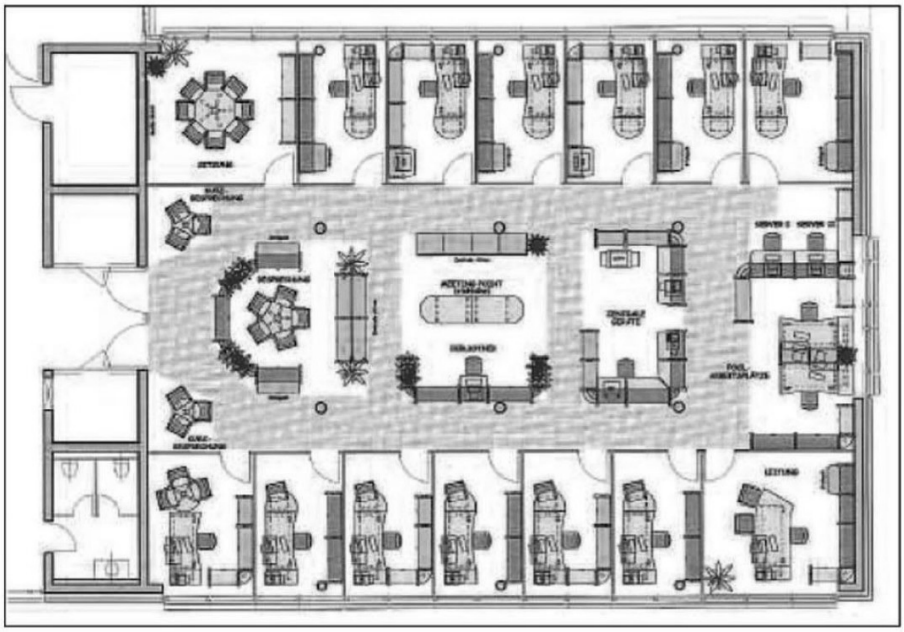


Şekil 2.4 Serbest düzenli plan tipi örneği [34]

Şekil 2.4'te gösterilen serbest düzenli plan tipi aslında açık ofis türüne bir örnektir.

Ayırıcı bölmeler tamamen ortadan kaldırılmıştır ve yerine mobilyalar, alçak paneller, dekoratif elemanlar kullanılır. Tefriş elemanları kendi içinde belli bir düzende olsa da açık ofis plan tipine göre daha düzensizdir [34].

Karma düzenli plan tipi yukarıda belirtilen ofis plan tiplerinin en az ikisinin birleşimi olan plan tipidir. Şekil 2.5'deki karma düzenli plan örneğinde hücresel ve açık plan tipleri birleştirilmiştir. Bu tipte bölücü elemanlar azaltılarak, birkaç grup aynı mekanda düzenlenmiştir. Kapalı bölmelere de ihtiyaç duyulduğundan, doğrudan çalışma alanına açılan veya bir koridorla ayrıca düzenlenen bireysel ofis odaları da yer alır [34].



Şekil 2.5 Karma düzenli plan tipi örneği [34]

Bu sınıflandırmaların yanı sıra, enerji kullanımı açısından da belirli özelliklere göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Enerji Tüketimi Kılavuzu'nda (ECG19) dört farklı ofis binası tipi tanımlanmış ve bu tipler için priz yükü değerleri verilmiştir:

- Tip 1 - doğal olarak havalandırılan hücresel düzenli ofis,
- Tip 2 - doğal olarak havalandırılan açık plan ofisi,
- Tip 3 - klimalı standart ofis,
- Tip 4, klimalı prestijli ofis (genellikle büyük mutfak ve/veya bölgesel sunucu odaları dahil).

Ofis binalarındaki tüm son enerji kullanımlarıyla ilgilenen kılavuzun daha geniş kapsamı göz önüne alındığında, belirtilen dört ofis binası tipi, esas olarak binadaki

havalandırmaya göre sınıflandırılmıştır. Ancak priz yükleri açısından bakıldığında, elektronik cihazların enerji tüketimi ve güç gereksinimi, binanın havalandırılması ile doğrudan ilişkili olmadığından, bu sınıflandırma priz yükleri için tek başına yeterli değildir. Bununla birlikte, bu kriterler, ofis binaları arasında priz yükleri için enerji tüketimindeki değişkenliği vurgulamaktadır [36]. Tez çalışmasında örnek olarak seçilen ofis tip-2 ve tip-3 sınıflarına girmektedir.

A.B.D Enerji Enformasyon İdaresi'nin (E.I.A.) Ticari Binalar Enerji Tüketimi Araştırması'nda (CBECS), binalar temel faaliyetlerine göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırmaya göre, eğitim kampüslerinde yer alan ancak derslik olarak kullanılmayan binalar, işlevlerine göre sınıflandırılır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında seçilen bina, üniversite kampüsünde olmasına rağmen ofis binası olarak tanımlanmaktadır [37].

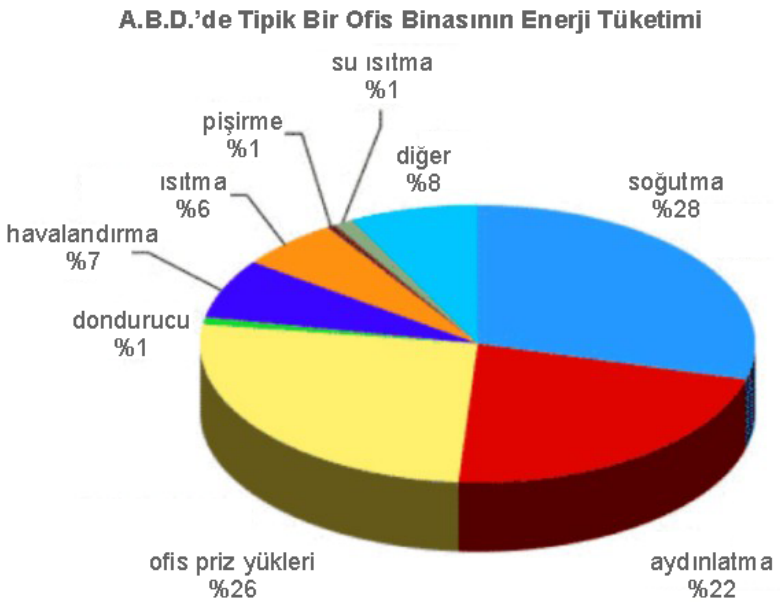
2.3 Ofis Binalarındaki Elektrik Enerjisi Tüketiminde Rol Oynayan Etkenler

Günümüzde enerji kaynakları hızla tükenmekte olduğundan, enerji sorunuyla küresel anlamda mücadele edilmektedir. Bu bağlamda, enerjinin verimli ve etkin kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Enerji tasarrufu çalışmalarında hedeflerin doğru belirlenmesi ve uygulamaların etkin yönlendirilebilmesi amacıyla, tüm sektörler için son enerji kullanımı verilerinin belirli aralıklarla toplanarak, analiz edilmesi yol gösterici olacaktır.

Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) göre, bina sektörü, IEA üyesi ülkelerin çoğunda birincil enerji kullanımının % 40'ından sorumludur [38]. Bina sektörünün küresel elektrik tüketimindeki payı ise hızla gelişen teknolojiyle birlikte % 50'i aşmıştır. Küresel karbon emisyonlarının üçte birinden de bina sektörü sorumludur [39].

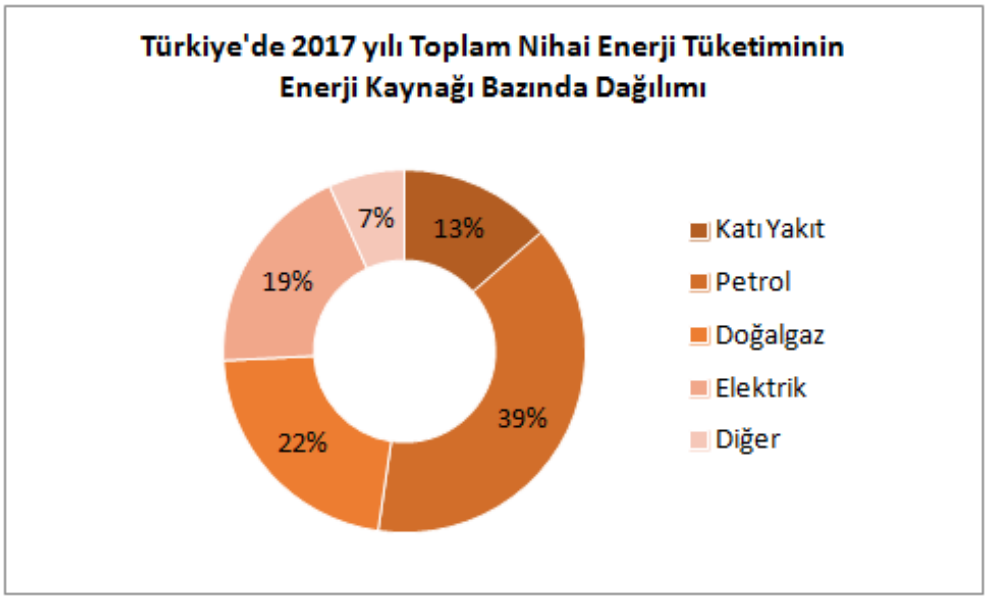
D.O.E. Enerji Verimliliği Ensititüsü'ne göre; Şekil 2.6'da[1] gösterilen A.B.D.'de tipik bir ofis binasındaki enerji tüketimi dağılımında, priz yükleri soğutma ve aydınlatmadan sonra %26'lik pay ile ikinci sırada yer almaktadır [2].

[1]Referans numarası belirtilmiş İngilizce kaynaktan alınan grafik Türkçe'ye çevrilmiştir.



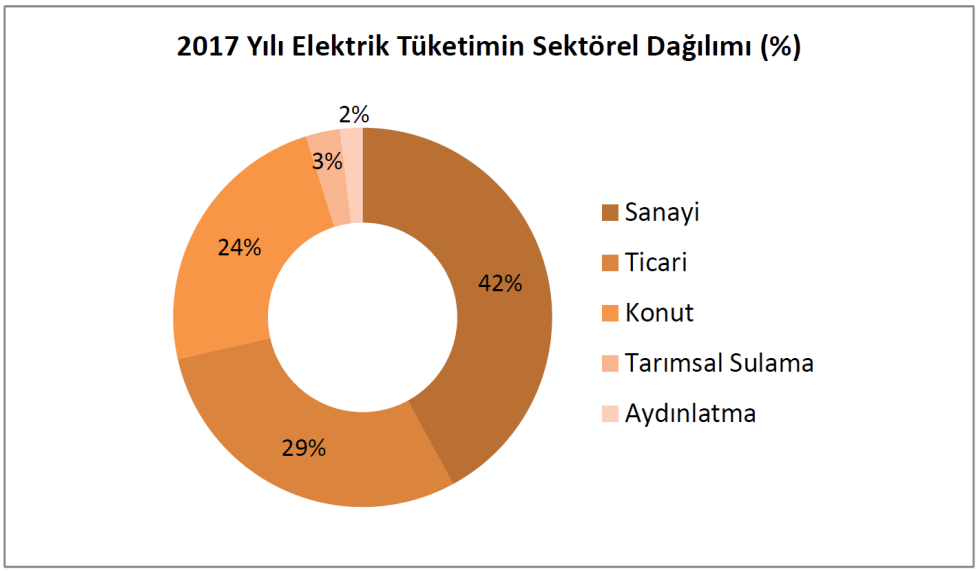
Şekil 2.6 A.B.D.'de tipik bir ofis binasındaki enerji tüketimi dağılımı [2]

Türkiye'deki elektrik enerji tüketimi; enerji kaynakları arasındaki oranı ve sektörel bazdaki kullanım dağılımı olarak ele alınmıştır. Buna göre; Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (EİGM) 2017 yılı enerji denge tablolarındaki [40] veriler baz alınarak oluşturulan Şekil 2.7'deki grafikte, Türkiye'deki son enerji kullanımının %19'unu elektrik enerjisinin oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 2.7 2017 Yılı Son Enerji Kullanımının Enerji Kaynağı Bazında Dağılımı [40]

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından ülkemizde en son 2000 yılında yapılan bina sayımına göre toplam 7.838.635 adet bina bulunmaktadır. 2001-2015 yılları arasında yapı kullanım izin belgesi alınan 1.305.667 adet bina eklendiğinde, 2016 yılı



Şekil 2.8 2017 Yılı Türkiye'de Faturalanan Elektrik Enerjisi Tüketiminin Sektörel Dağılımı [41]

itibarıyla ülkemizde yaklaşık olarak toplam 9 milyon bina olduğu düşünülebilir. Bunun yaklaşık 600 bin adedini ticari ve hizmet binaları oluşturmaktadır. Ofis binalarına ait bina enerji indeks değerleri 50–300 kWh/m^2.yıl gibi geniş bir aralıkta değişmektedir. Enerji verimli ofis binalarının bina enerji indeks değerleri ise 100 kWh/m^2.yıl'ın altında kalmaktadır [39].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)'nun 2017 yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu'na [41] göre, Türkiye'de faturalanan elektrik enerjisi tüketiminin sektörel dağılımı Şekil 2.8'de[1] gösterilmiştir. Ticari sektörün elektrik tüketimi %29 ile ikinci sırada yer almaktadır.

Ofis binalarındaki enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltma konularında A.B.D Enerji Bakanlığı'nın (DOE) uzun vadeli hedeflerine ulaşmak için, enerji verimliliği alanında çalışanlar, ofislerde kullanılan elektronik cihazlardan kaynaklanan enerji kullanımının faktörleri ve bileşenleri hakkında daha geniş bilgi sahibi olmalı ve bu kullanımı azaltabilecek verimli stratejiler geliştirmelidir. Bu hedeflere ulaşmak için geliştirilen veri toplama, izleme yöntemleri ve priz yükleri için enerji tasarrufu tekniklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir [42].

[1]Referans numarası belirtilmiş kaynaktan alınan grafiğin biçimi değiştirilmiştir.

3
Bina Enerji Performansı

Bina enerji performansı; binalardaki ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, sıcak su sistemleri ve priz yükleri için gereken enerji miktarını hesaplama veya ölçme olarak tanımlanır. Bu bağlamda, ulusal ve uluslararası enerji yönetmelikleri tarafından binalardaki enerji tüketim değerlerine göre sınıflandırma yapılır [43].

Bina enerji tüketiminin temel etkenlerinin belirlenmesi, enerji performansının iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır. Genel olarak, bir binanın toplam enerji tüketimini etkileyen yedi ana faktör vardır:

1. İklim (dış ortam hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, rüzgar hızı vb.),
2. Bina ile ilgili özellikler (bina tipi, alan, yönlendirme, vb.)
3. Bina servis sistemleri ve operasyonu (HVAC, sıcak su cihazları vb.),
4. Bina içi ortam kalitesi
5. Kullanıcı ile ilgili özellikler (kullanıcının varlığı, vb.),
6. Bina kullanıcılarının davranış ve eylemleri,
7. Sosyal ve ekonomik faktörler (eğitim derecesi, enerji maliyeti vb.)

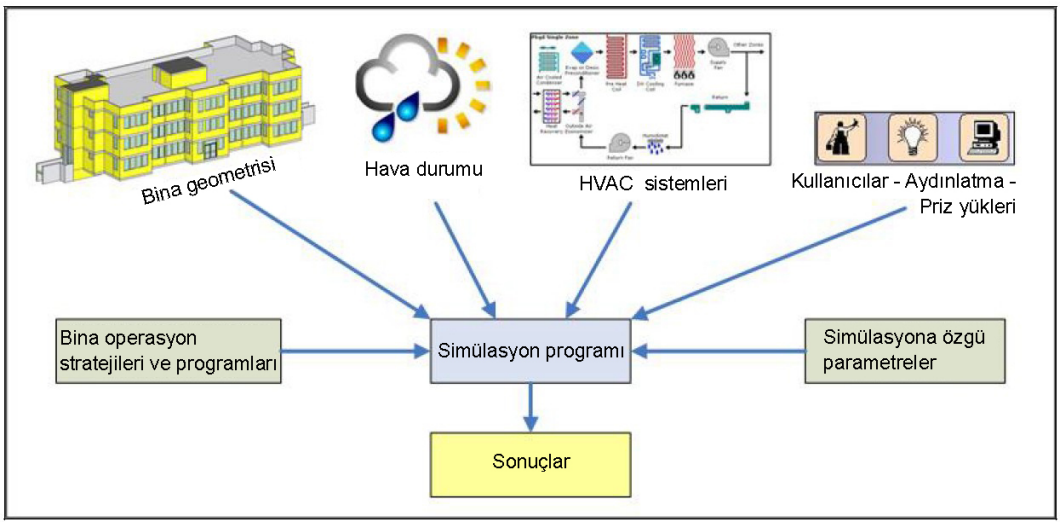
3.1 Bina Enerji Performansı Simülasyon Araçları

Bina enerji performansı simülasyon programı, binanın enerji kullanımını ve yaşam döngüsü içindeki enerji performansını öngörmek için gerekli hesaplamaları yapan çok yönlü yazılımdır. Bu simülasyon programlarında belirli veriler tanımlanarak oluşturulan sayısal veri bütünlüğü de "bina enerji modeli" olarak adlandırılır [7]. Enerji modelleyicileri tarafından sıkça kullanılan enerji modelleme yazılımlarına EnergyPlus, eQuest, IES ve Energy-10 örnek verilebilir.

Bina enerji performansı simülasyon araçları, binanın yaşam döngüsündeki yapı tasarımı, operasyon ve bakım/onarım evreleri boyunca enerji performansının değerlendirilmesini sağlar. Enerji simülasyonu çalışmalarının iki temel yaklaşımı bulunur. Bunlardan biri, enerji simülasyon verilerini ölçülen bina enerji performansıyla karşılaştıran tekil binaların örnek durum çalışmalarıdır. Diğeri ise, farklı bina tipleri ve iklim bölgeleri için tipik enerji performansını modelleyen referans bina modelleridir [6].

Her enerji simülasyonu termodinamik denklemlere, ilkelere ve varsayımlara dayanmaktadır. Bir binadaki termal süreçler karmaşık olduğu ve bugün tam olarak anlaşılmadığı için, enerji simülasyon programları tahminlerini nitelikli denklemler ve yöntemlerle tamamlar. Bu nedenle, bazı varsayımlar simülasyonda yerine getirilmezse veya gerçek hayatta eşleştirildiyse sonuçlar isteğe bağlı olarak yanlış olabilir [7].

Bina enerji simülasyon modeline girilen temel veriler Şekil 3.1'de[1] gösterilmiştir. Bina geometrisi, enerji performansı simülasyonu için en temel veridir. Ancak, mimari tasarım sonucu ortaya çıkan bina modeli ile enerji performansı simülasyonu için gerekli olan bina modeli arasında farklılıklar bulunur. Simülasyon için oluşturulan bina modeli, mimari yapının basitleştirilmiş halidir. Enerji performansı simülasyonları için alanların, mimari bina modelindeki duvarlarla aynı olması gerekmeyen alan sınırlarıyla tanımlanması gerekir. Bu alanlar termal özelliklerine göre birleştirilir veya bölümlenir [7].



Şekil 3.1 Bina enerji simülasyon programlarının genel veri akışı şeması [7]

[1]Referans numarası belirtilmiş İngilizce kaynaktan alınan grafik Türkçe'ye çevrilmiştir.

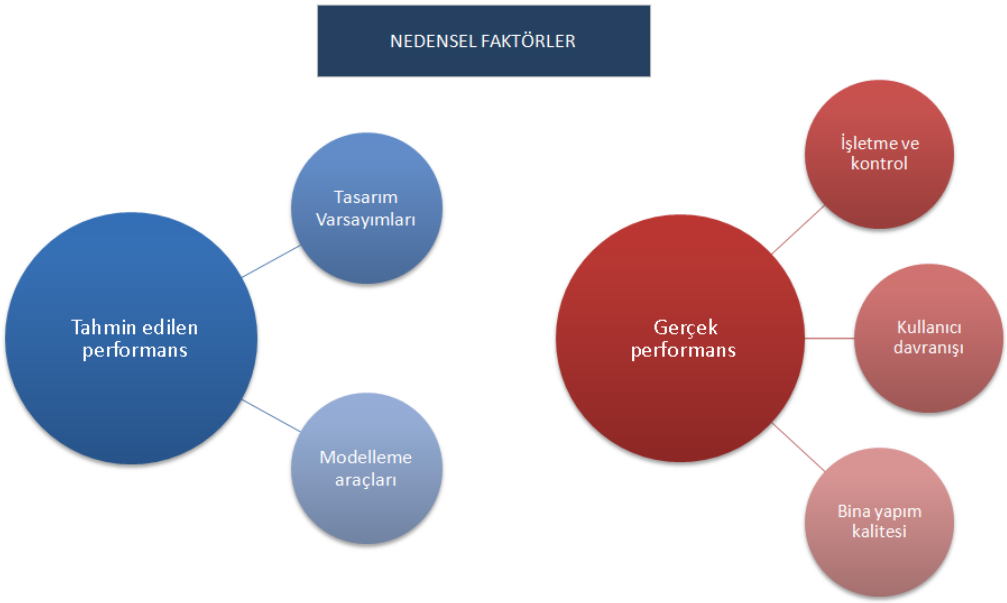
Binaların yaşam döngüsü boyunca, harcanan toplam enerjinin % 80'inden fazlası işletme süresince tüketilir ve bu enerji kullanımı bina tasarımına, özellikle mekanik ve elektrik sistemlerin seçimi ve boyutlandırılmasına büyük ölçüde bağlıdır [44]. Bu nedenle, binaların işletme aşamasına odaklanmak, uzun vadeli enerji tasarrufu için büyük önem taşır. Bu doğrultuda, binaların tasarım aşamasında tasarımcıların en uygun bina sistemlerini seçmesine ve boyutlandırmasına yardımcı olmak için, bina enerji performansı simülasyon araçları ve enerji modelleme yazılımları kullanılarak enerji performansı modellemeleri oluşturulur ve tahminler elde edilir. [3–5]. Böylelikle, binanın tamamlanmasından sonra gerekebilecek hem zor hem de maliyetli değişikliklerin büyük oranda önüne geçilmiş olur.

Ancak enerji modelleme araçlarında çoğu zaman, gerçek bina sistemlerini ve kullanıcı varlık durumunu yansıtmayan basit ve idealist veriler kullanılır. Bunun sonucunda, öngörülen ve gerçekleşen bina enerji performansları arasında genelde ortalama % 30 ve bazı durumlarda % 100'e kadar çıkabilen büyük farklılıklar gözlemlenebilmektedir [5, 8].

Örneğin, 121 binayı kapsayan geniş çaplı bir çalışmada, ölçülen ve modellenen bina enerji kullanımı arasındaki korelasyonların 0,25 ile 2,5 arasında olduğu tespit edilmiştir [9]. Bu farklılıklar, kısmen hava durumu değişiklikleri veya bina tasarımı sırasındaki yanlış varsayımlar gibi teknik nedenlerden kaynaklanır. Farklılıkların bir diğer önemli nedeni ise, mevcut enerji modelleme araçlarının modelleme sırasında bina kullanıcılarının varlık durumlarını, eylemlerini ve enerji kullanım profillerini hesaba katmamaları veya gerçekçi yansıtamamalarıdır. Bu bağlamda, enerji modelleme yazılımının tahmin kalitesini artırmak için, farklı parametrelerin girişindeki değişikliklere ve özellikle kullanıcı varlık durumuyla ilgili parametrelerdeki değişikliklere duyarlılıklarını anlamak gerekir. Kullanıcıların enerji tüketimi tahminleri üzerindeki bireysel etkilerini anlamak ve ölçmek için, enerji modellerinin parametrelerinin ayrı ayrı değiştirildiği duyarlılık analizleri yapılmalıdır [45].

Şekil 3.2'deki[1] şemada binaların öngörülen ve gerçek enerji performansı arasında farklılıklar oluşmasının nedenleri özetlenmiştir. Bu nedenleri ve etkilerini detaylı incelemek, bina enerji simülasyon araçlarının daha doğru tahminler oluşturmasına yardımcı olacaktır. Bir binanın tahmin edilen enerji performansını etkileyen faktörlerden biri tasarım varsayımlarıdır. Binanın işlev ve kullanımının birçok yönünün belirsiz olduğu tasarım aşamasında yapılan bu varsayımlar, inşaat kalitesi, kullanıcıların binadaki varlık düzeni ve davranışının yanı sıra, bina servis sistemlerinin

[1] Referans numarası belirtilmiş kaynaktan alınan bilgiler şema olarak düzenlenmiştir.



Şekil 3.2 Öngörülen ve gerçek enerji performansı arasındaki farkların nedenleri [10]

operasyonu ve kontrolü ile ilgili fazla basitleştirilmiş ve/veya gerçekçi olmayan verilerin kullanılmasına neden olabilir [10].

Modelleme araçları, tahmin edilen enerji performansını etkileyen diğer faktördür. Bina enerji modelleme yazılımı içerisindeki algoritmalarda bazı temel hatalar olabilir. Bu hatalar, yanlış tahminlere neden olabilir. Bu durumdan kaçınmak için, CIBSE TM33 [46] tarafından tanımlanan prosedürlere göre doğrulanmış modelleme araçları tercih edilmelidir. Ayrıca bina enerji modelleme yazılımları; bina tipi, kullanımı, operasyonu ile ilgili detaylı veri girişine ve modellenen binanın yeterli şekilde temsil edilmesine imkan vermelidir. Kısıtlayıcı veya fazla basite indirgenmiş modelleme araçlarının kullanımı, gerçeği yansıtmayan modellerle sonuçlanabilir [10].

Bina operasyonu; bir binanın gerçek performansı ve enerji tüketiminin (özellikle yüksek otomasyonlu binalarda) büyük bir kısmını oluşturan merkezi bina sistemleri üzerinde etkilidir. Bina operasyonu ve kontrolünün doğru yapılması bina servis sistemlerinin etkin bir şekilde çalışmasını sağlarken, yanlış stratejiler gereksiz enerji harcamalarına yol açabilir[47]. Enerji denetimlerinin sıkça yapılması ve bununla birlikte, yeniden devreye alma çalışmaları, gereksiz enerji kullanımını önleyerek bina servis sistemlerinin verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir [10].

Bina kullanıcıları, ısıtma ve soğutma gibi bina sistemlerini her zaman tümüyle ve doğrudan kontrol edemeyebilir. Ancak yüksek otomasyonlu binalarda bile kullanıcılar bina içi ortam koşullarını değiştirerek enerji tüketimini ve binanın gerçek performansını etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra, bina kullanıcıları genellikle “priz

yükleri" olarak adlandırılan çeşitli elektronik cihazları kontrol eder [3].

Bir binanın inşaat kalitesi, gerçekteki enerji performansını önemli ölçüde etkiler. Binanın yapımı sırasındaki yalıtım uygulamalarında oluşan boşluklar ve ısı köprüleri gibi durumlara sıkça rastlanmaktadır. Ancak bu durumlar, enerji kullanımı tahminlerinde nadiren dikkate alınır. Ayrıca, müşteri ve mühendislik çalışmalarından gelen taleplerin değiştirilmesi, başlangıçta belirtilen değerlerden ciddi sapmalara yol açabilir [48]. Bu değişiklikler, enerji modeline nadiren yansıtılır.

Bina enerji performansı simülasyon (BEPS) araçları genellikle ilk olarak binanın tasarım aşamasına odaklanır. Ancak günümüzde enerji modellemeleri artık, binayı işletmeye alma, bina operasyonu ve kontrolü gibi bina yaşam döngüsünün (BLC) inşaat sonrası aşamalarında da giderek önemli hale gelmektedir. Bu bağlamda, binaların gerçek enerji performansının bina inşa edildikten sonraki kullanım sürecinde de değerlendirilmesi önemlidir. Bu değerlendirmeler, hem binanın enerji verimliliği hakkında fikir verebilir, hem de enerji modellemelerinin gelişimi açısından yararlı bilgiler sağlayabilir. Kullanım Sonrası Değerlendirme (POE) uygulaması, bir binanın inşa edildikten ve kullanıldıktan sonra enerji performansını değerlendiren yapılandırılmış bir süreçtir. Bu uygulama, verileri sistematik olarak toplayıp analiz ederek ve belirtilen performans kriterleriyle karşılaştırarak binanın kullanımındaki enerji performansı hakkında bilgi verir [10]. Kullanım sonrası değerlendirmenin kapsamı üç başlıkta özetlenebilir [49]:

- Geri bildirim: Binanın işletmesine yardımcı olmak için, bina operasyonunun verimliliğinin bir göstergesi olarak bina performansını ölçmeyi amaçlar.
- İleribildirim: Elde edilen verilerle tasarımcılara ve gelecekteki çalışmalara geri bildirim sağlayarak bina üretimini iyileştirmeyi amaçlar.
- Karşılaştırma: Giderek daha sürdürülebilir yapılaşmaya ve enerji tüketimini azaltma hedeflerine sağlanan katkıları değerlendirir.

Bina enerji performans araçları için bir diğer önemli parametre de priz yükleridir. Priz yüklerinin güvenilir öngörüleri, en uygun tasarıma karar verme sürecinde önem taşır. Özellikle, binaların enerjisini ve bina içi ortamın performansını değerlendirmeye yönelik bina enerji performansı simülasyon araçları, priz yüklerinin yoğunluğunu tahmin etmek için güvenilir yöntemlerden yararlanabilirler [50]. Ofis binalarındaki priz yükleriyle ilgili mevcut bilgi birikimi, hem standartlardaki mevcut değerler hem de enerji simülasyonlarındaki tipik varsayımlar dahil olmak üzere, tam anlamıyla yeterli olamamaktadır.

Sadece birkaç yeni çalışma [26, 51–53], bina performans simülasyonu için daha detaylı bir yaklaşımla, priz yükü modelleri sunmaya çalışırken tipik priz yükü profilleri kullanımının ötesine geçebilmiştir.

3.1.1 Bina Enerji Modellerinin Kalibrasyonu

Bina enerji simülasyonu, bina sektöründeki enerji performansının analizi için en sık kullanılan ve en iyi sonuç veren uygulamadır. Ancak simülasyonlar sonucu öngörülen ve gerçekte ölçülen enerji performansı arasındaki uyuşmazlık, enerji modelleyicilerin binalarda enerji tüketimini değerlendirirken karşılaştığı en önemli sorunlarından biridir. Bu performans açığını azaltmak amacıyla, enerji simülasyonlarına kapsamlı kalibrasyon prosedürleri uygulanır. Kalibrasyon, model parametrelerini ayarlamak ve sonuçları ölçülen verilerle karşılaştırmak için kullanılan yinelemeli ve deneysel bir işlemdir [12]. Kalibre edilen enerji performansı modelleri, iyileştirme seçeneklerini detaylı analiz ederek, enerji tasarruflarını öngörmek; ve enerji tasarrufu önlemlerini (ECM) desteklemek için kullanılabilir. Bunun yanı sıra, kalibrasyon işlemi sırasında elde edilen bilgilerin enerji çalışmalarında kullanılması, simülasyon araçlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Örneğin, kalibrasyon işlemi, enerji modellerinin ortak yanlış varsayımlarını tespit ederek, gelecekteki modellerin kalitesini artırabilir [54].

Karmaşık bina geometrisini ve sistemlerini modelleyebilen enerji simülasyonu programlarında dikkate değer gelişmeler olmasına rağmen, tamamen güvenilir olmalarını engelleyen bazı sorunlar vardır. Bunlardan biri, henüz enerji simülasyon programlarının tümünü kapsayan bir standardizasyon çalışmasının olmamasıdır. Bina modelinin kalibrasyonunu değerlendirmek için istatistiksel kriterler kullanılmaktadır. Ancak modelin nasıl kalibre edileceğine dair standart bir yöntem bulunmamaktadır. Dolayısıyla, kalibre edilen simülasyonlar için resmi bir standart veya kılavuz yoktur. Bunun yerine, simülasyonların kalibrasyonu genellikle kullanıcıların karar ve deneyimlerine dayanmaktadır.[55]

Kalibre edilen modeller, kalibre edilmemiş modellerden daha maliyetli ve daha karmaşıktır. Kalibrasyon için henüz otomatik bir işlem bulunmadığından, ciddi zaman alan bir süreçtir. Süzme sayaçlarla veri toplamanın maliyeti ve bunun için harcanan zaman, simülasyon kalibrasyonlarının maliyetlerini artırmaktadır [11].

Bina modelinin sadeleştirilmesi doğrudan veri girişiyle ilgilidir. Çünkü modeller ne kadar karmaşıksa, o kadar fazla veri girişi yapılması gerekir. Bina modelleme işleminde çoğu zaman büyük miktarda veri girişi olur. Model tanımlanırken izlenen detay seviyesine ve verilerin kullanılabilirliğine bağlı olarak, giriş yapılan verilerin

büyüklüğü de değişir. Kalibre edilen modelin istatistiksel endekslerle doğrulanması sırasında, ölçülen veriler modele daha fazla bilgi sağlamak için kullanılabilir [55].

Manuel olarak kalibrasyon işlemi deterministik bir yaklaşımla yapılmaktadır. Veri girişlerinin tümü, incelenen enerji tüketimini aynı şekilde etkilemez. Bu yüzden, bina modeli üzerinde en çok etkili olan parametreleri belirlemek ve belirsizlik seviyelerini tanımlamak önemlidir. Bina modellerindeki belirsizlik, modellenen binanın veya sistemlerin eksik veya yanlış tanımlanmasından kaynaklanır. Bu, bina geometrisi, malzeme özellikleri, HVAC özellikleri, tesis ve sistem programları vb. herhangi bir parametre olabilir. Modelleme esnasında, karmaşık fiziksel işlemlerin basitleştirilmesi ve varsayımlarından dolayı da belirsizlik oluşabilir [55].

Dikkat edilmesi gereken bir diğer sorun ise, enerji modelleyicilerinin deneyimleridir. Sistematik ve otomatik bir prosedürle bile, modelleyiciler kalibrasyondan hala sorumludur. Deneyimli enerji modelleyicileri; simülasyonların kalibrasyonu sırasında, bina simülasyon becerileri ve bilgileri nedeniyle, modellenen enerji tüketimi ile ölçülen tüketim arasındaki tutarsızlığın altında yatan nedenleri tespit edebilirler. Kullanıcıların tecrübelerine ve manuel yaklaşımlarına dayanan çeşitli kalibrasyon uygulamaları bulunmaktadır ancak kalibrasyon için henüz onaylanmış otomatik bir yöntem belirlenmemiştir. Otomatik bir metodoloji, kalibrasyon maliyetlerini azaltmayı sağlayabilir ve enerji modelleyicilerden kaynaklanan hataların önüne geçilebilir [12].

Son olarak, binanın bulunduğu çevredeki iklim koşulları ve bina kullanıcılarının davranışları dahil olmak üzere binaya uygulanan dış koşullar belirsizliğe neden olabilmektedir [11].

Bina enerji performansı simülasyonlarının model kalibrasyonu için dört temel yaklaşım bulunmaktadır [11, 12]:

- Manuel, yinelemeli ve pragmatik müdahaleye dayalı kalibrasyon
- Bir dizi bilgilendirici grafiksel karşılaştırmalı göstergeye dayanan kalibrasyon
- Özel testlere ve analitik prosedürlere dayanan kalibrasyon
- Analitik / matematiksel kalibrasyon

Genellikle, kalibrasyon performansını değerlendirmek için standart istatistiksel endeksler; ortalama eğilim hatası (MBE %) ve kök ortalama kare hatası (RMSE %) kullanılır. Bina enerji simülasyonu modeli, Tablo 3.1' deki ASHRAE Kılavuz 14,

Tablo 3.1 BEPS modellerinin kalibrasyonu için uluslararası değerlendirme kriterleri [13–15]

Standard/Kılavuz	Aylık kalibrasyon		Saatlik kalibrasyon	
	MBE [%]	RMSE [%]	MBE [%]	RMSE [%]
ASHRAE Kılavuz 14	5	15	10	30
IPMVP	20	-	5	20
FEMP	5	15	10	30

Uluslararası Performans Ölçümleri ve Doğrulama protokolü (IPMVP) ve Federal Enerji Yönetimi Programı (FEMP) için Ölçüm ve Doğrulama (M&V) Kılavuzu'nda yer alan RMSE ve MBE kriterlerine uygunluğuna göre kalibre edilmiş kabul edilir.

Bununla birlikte, mevcut kalibrasyon kriterleri yalnızca öngörülen enerji tüketimini değerlendirir. Bu değerlendirmede; belirsizlik, girdi parametrelerinin veya modellenen ortamın doğruluğunun (sıcaklık profilleri vb.) hesaba katılmadığına dikkat edilmelidir [11].

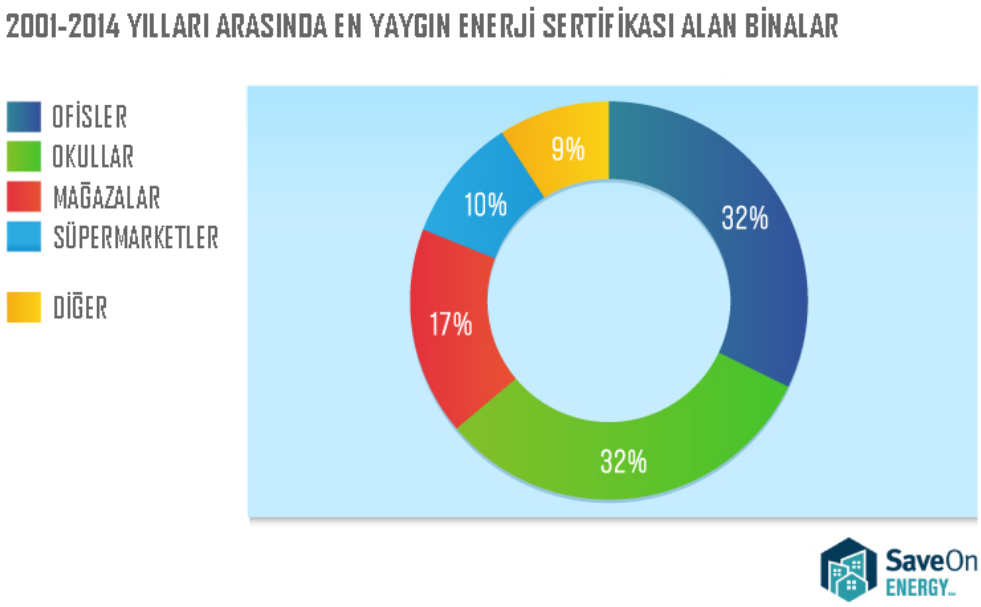
3.2 Priz Yüklerinin Ofis Binalarındaki Eneji Kullanımına ve Bina Enerji Performansına Etkisi

Literatürde "priz yükü" için standart bir tanım eksikliği bulunmaktadır. Genellikle, araştırmalarda priz yüklerinden kaynaklanan enerji tüketimi "Diğer" kategorisine dahil edilir. Fuertes [56], literatürde kullanılan terminolojiyi değerlendirmiş ve priz yüklerinin genellikle "muhtelif yükler", "fiş yükü", proses enerjisi/yükü veya "ofis donanımları" gibi terimlerle eş anlamlı olarak kullanıldığını belirtmiştir. Ancak, çalışmasında enerji modelleme uzmanlarının uygulamalarında en sık "priz yükü" ifadesini kullandıkları sonucuna varmıştır. Priz yükleri, genellikle binalarda ısıtma, havalandırma, iklimlendirme, soğutma, su ısıtma, aydınlatma kaynaklı olmayan ve tüm elektronik cihazları içeren yükler olarak tanımlanır [57, 58]. Ayrıca priz yüklerinin kapsamı, "proses enerjisi", endüstriyel, imalat veya ticari süreçte, kullanıcılar için termal konforun, havalandırmanın ve iklimlendirmenin sağlanması dışındaki tüketilen enerji olarak belirtilmiştir [59]. Konutlarda priz yükleri; buzdolabı, fırın, mikrodalga, bulaşık makinesi, elektrikli ocak, elektrikli mutfak aletleri, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi, televizyon, dizüstü ve masaüstü bilgisayarlar vb. kullanımından kaynaklı yükler olarak tanımlanabilir. Ofisler için priz yükleri ise; masaüstü bilgisayarlar, dizüstü bilgisayarlar, telefonlar, yazıcılar, tarayıcılar ve hoparlörler gibi masaüstü aksesuarlarının kullanımından kaynaklı yükler olarak kabul

edilir.

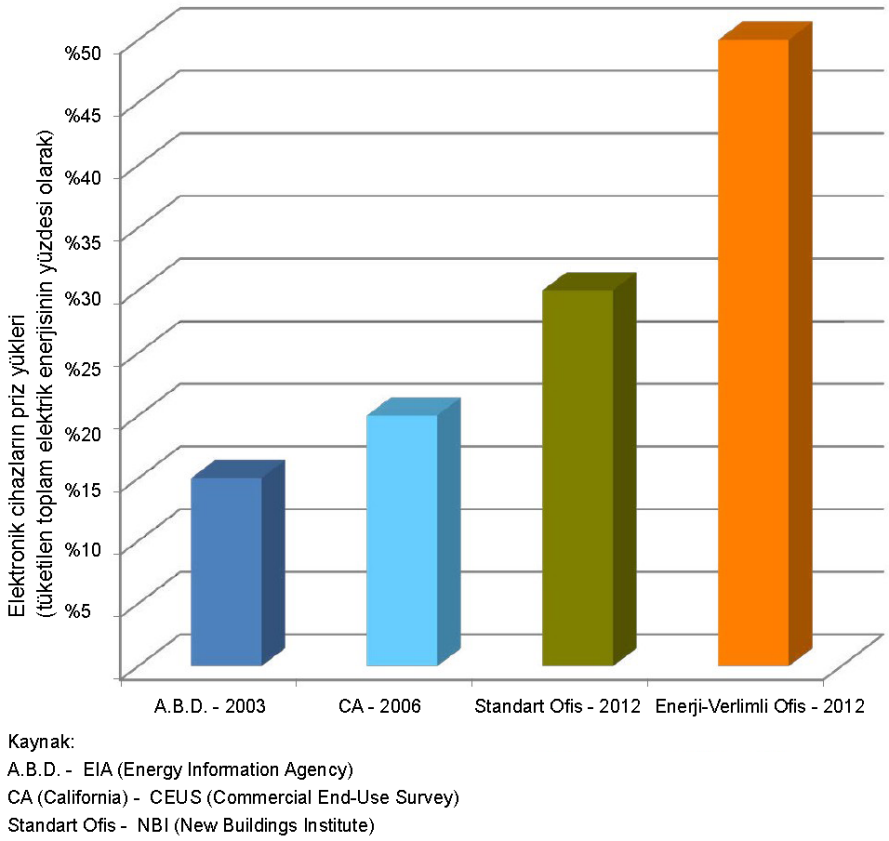
Teknolojideki gelişme, elektronik cihazların sayı ve çeşitliliğinde artışa neden olduğundan, priz yükleri giderek artan bir önem kazanmaktadır. Buna rağmen, enerji verimliliği ve tasarrufu ile ilgili standartlar, kanunlar ve yönetmelikler genellikle ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi ana yüklere odaklanmaktadır. Bu nedenle priz yükleri, yeni binalarda artan verimlilik gereksinimleri nedeniyle, mevcut binalarda ise enerji tasarrufu için enerji tüketiminin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır [42].

Enerji verimliliğine önemli katkıları bulunan A.B.D.'nin Çevre Koruma Ajansı gönüllü programı Energy Star'a göre, Şekil 3.3'de[1] gösterilen 2001-2014 yılları arasında enerji sertifikası alan binaların dağılımında ofis binaları ve okullar %32'lik oranla birinci sıradadır. Özellikle HVAC ve aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği gözetilerek tasarlanan enerji sertifikalı binalarda, priz yükleri verimsiz kullanılıyorsa ve kullanıcı davranışları değişmezse, gerçek enerji tasarrufunun sağlanamadığı görülmektedir.



Şekil 3.3 2001-2014 yılları arasında enerji sertifikası alan binaların tiplerine göre dağılımı [60]

[1]Referans numarası belirtilmiş kaynaktan alınan grafik Türkçe'ye çevrilmiştir.



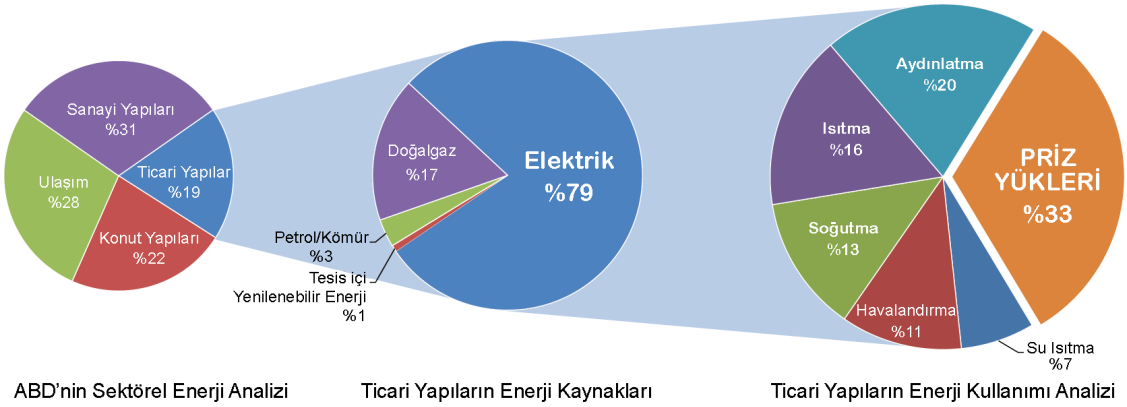
Şekil 3.4 Enerji verimliliği bakımından farklı ofis yaklaşımlarında, priz yüklerinin ofislerde kullanılan toplam elektrik enerjisine etkisinin karşılaştırılması [61]

Örneğin Şekil 3.4'de[1] görüldüğü üzere; aydınlatma, ısıtma ve soğutma için enerji verimliliğini yüksek oranda sağlayan enerji sertifikalı ofis binalarında, elektronik cihazlara bağlı priz yükleri toplam elektrik enerjisi kullanımının % 50'sini dahi temsil edebilir. Bu bağlamda, yeni yapılan ofis binaları arasında enerji sertifikalarının yaygınlaşmasıyla, priz yükleri için enerji önlemleri alınmadığı takdirde, bu oranın giderek artması beklenir.

Ofis binalarında kullanılan başlıca enerjinin % 20'sinden fazlası priz yüklerinden kaynaklanır ve 20 yıl içerisinde bu oranın % 40'a kadar artacağı öngörülmektedir [62–64]. ABD'deki ticari binalarda priz yükleri, büyük oranda masaüstü bilgisayarlar, monitörler ve diğer ofis ekipmanları nedeniyle, tüketilen toplam enerjinin %33'ini (Şekil 3.5'de[1]) oluşturur [42, 65].

Ticari sektördeki kişisel bilgisayarlar için enerji kullanımının yılda ortalama % 4,5 oranında ve diğer ofis ekipmanları için enerji kullanımının da yılda % 4,8 oranında artması beklenmektedir [24]. Kişisel bilgisayarlardan kaynaklanan elektrik kullanımı (örneğin dizüstü bilgisayarlar, masaüstü bilgisayarlar, monitörler)

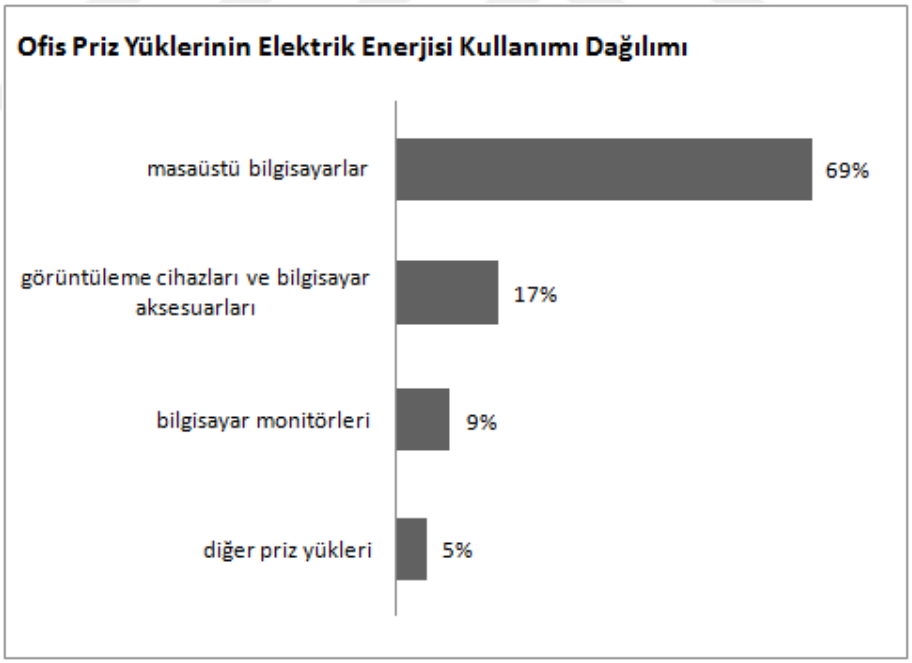
[1]Referans numarası belirtilmiş kaynaklardan alınan grafikler Türkçe'ye çevrilmiştir.



Şekil 3.5 Ticari binalarda priz yüklerine bağlı enerji tüketimi analizi [65]

verimliliğin iyileştirilmesinden dolayı azalma eğilimi gösterirken, diğer çeşitli elektronik donanımın kontrolsüz kullanımının yaygınlaşmasıyla, enerji yoğunluğunun 2012 ile 2040 yılları arasında % 21,4 oranında (birim alan başına enerji kullanımı) artması beklenmektedir [66].

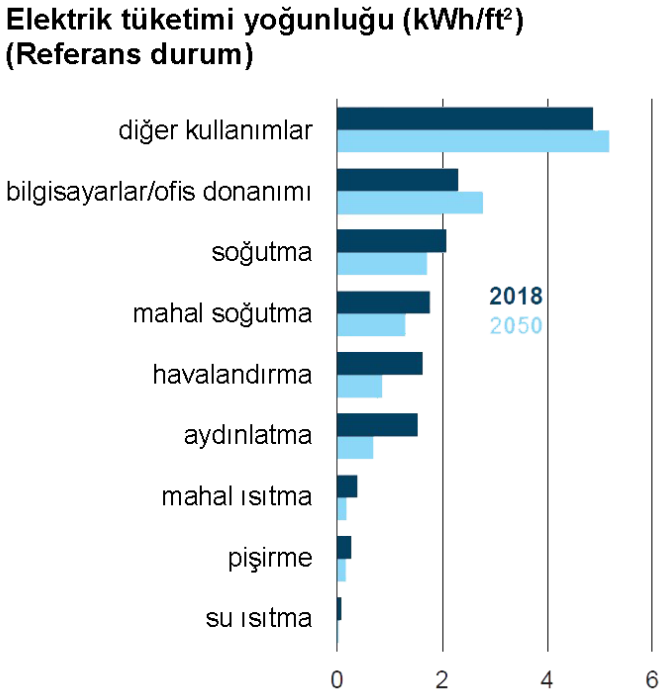
Ofis binalarında elektronik cihaz türlerinin, priz yüklerinden kaynaklanan enerji kullanımındaki payları Şekil 3.6'da[1] gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Ofis binalarında priz yüklerine bağlı elektrik enerjisi kullanımının elektronik cihaz türlerine göre dağılımı [67]

[1]Referans numarası belirtilmiş kaynaktan alınan grafik Türkçe'ye çevrilerek, biçimi değiştirilmiştir.

Ticari binalarda enerji tüketimi artışının bina enerji yükleri bazında gösterildiği 2050 yılı projeksiyonu grafiğinde (Şekil 3.7[1]) görüldüğü üzere, diğer bina enerji yükleri ilerleyen yıllarda azalma eğilimi gösterirken, elektronik cihazlardan kaynaklanan priz yükleri artıştadır.



Şekil 3.7 Ticari binalarda enerji tüketimi artışının bina enerji yükleri bazında 2050 yılı projeksiyonu [68]

Bu eğilimler, binaların toplam enerji tüketimini azaltma hedefine ulaşmak için, priz yüklerinden kaynaklanan enerji kullanımını azaltmanın önemine işaret etmektedir.

Priz yükleri, iç ortam ısı kazanımına katkıda bulunmaktadır. Ofis binalarının iklim değişikliği nedeniyle gelecekte daha yüksek soğutma talepleri olması beklenmektedir. Bu da, elektronik cihazlardan elde edilen iç ısı kazanımlarının etkisini daha iyi anlamayı ve azaltmayı gerektirir [17]. Bina içerisindeki sistemlerin en verimli şekilde tasarlanıp çalıştırılmasını sağlamak için, iç ısı kazanımlarının doğru olarak tahmin edilmesi önemlidir. Elektronik cihazların etiketlerinde yer alan elektriksel güç değerlerinin kullanılması, iç ısı kazanımlarının çok daha fazla öngörülmesine neden olur ve bu da tasarımcıları gerekenden daha yüksek kapasiteli soğutma sistemleri seçmeye yönlendirir [18]. Bunun sonucunda yatırım maliyetlerinin artmasının yanı sıra; uzun vadede, verimsiz kısmi yükte çalışma nedeniyle, binanın işletme giderleri de yükselir [19].

[1]Referans numarası belirtilmiş kaynaktan alınan grafik Türkçe'ye çevrilmiştir.

Priz yükleri tahminleri, çoğunlukla bina soğutma sistemlerinin boyutlandırılması için kullanılır. Ofis alanlarının yarısından fazlasında artık sunucular (server) bulunmaktadır ve bunlar genellikle süzme sayaçlı priz yüklerine dahil edilir. Ancak bu tür sunucuların çoğunlukla, bina ana donanımından ayrı olarak, kendi soğutma sistemleri bulunur. Bu nedenle, ana bina soğutma donanımını boyutlandırırken priz yükü tahminlerine sunucular dahil edilmemelidir [37].

Priz yüklerinin beklenen maksimum yükü karşılaması için, yeterli elektrik gücünün bulunması gerekir. Bu nedenle, genellikle ofis kiralama kitapçıkları ve teknik şartnamelerde priz yükleri için 53.8 ila 107.6 W/m^2 değeri belirlenmiştir. Bununla birlikte, ölçülen veriler, gerçek yüklerin bu değerlerden çok daha düşük olduğunu göstermektedir. Ancak potansiyel kullanıcıların ve bina işletmelerinin genel olarak talep edilen güç kapasitesinde bir değişikliğe gitmesi için yeterli referans yoktur.

Enerji Tüketimi Kılavuzu 19 (ECG 19)'a göre, ofiste bulunan elektronik donanım için elektrik tüketimi yılda 12 kWh/m^2 (tip 1 ofisler için) 32 kWh/m^2 (tip 4 ofisler için) arasında değişmektedir. Bu değerler, her ofis tipi için toplam elektrik tüketiminin sırasıyla % 36 ve % 9'unu temsil etmektedir. Ayrıca ECG 19'da, 10 ila 18 W/m^2 arasında değişen güç yükü yoğunluğu değerleri de yer alır. Bu değerler, çalışma saatlerinin sayısıyla (günlük, aylık, yıllık, vb.) birleştiğinde elektrik kullanımını öngörmek için kullanılabilir. Ancak bunun yerine priz yükü güç yoğunluğu çoğunlukla, soğutma sistemlerinin tasarımını etkileyen iç ısı kazanımlarını hesaplamak için kullanılır [36].

İngiliz Bürolar Konseyi'ne (BCO) göre, halihazırda kullanılan binalarda gözlenen gerçek küçük güç yükleri ile bina tasarımında varsayılanlar arasında önemli bir fark bulunmaktadır. Ayrıca konsey, mevcut ölçütlerin kullanıcı çeşitliliğini hesaba katmadığını ve bu yüzden ofis binalarındaki küçük güç donanımlarının mevcut ve gerçekçi kullanımını yansıtan daha ayrıntılı ölçütlere ihtiyaç duyulduğu vurgulamıştır [69].

92 enerji modelleyicisi ile yapılan bir anket çalışmasında, priz yükü varsayımlarının 10.8 ile 32.2 W/m2 aralığında olduğu görülmüştür. Aynı ankette, enerji modelleyicilerinin yaklaşık % 80'inin yük değerlerini seçerken sadece yaşadıkları deneyimleri kullandıkları tespit edilmiştir [56].

Ofis binalarında elektronik cihazların bekleme veya uyku modundayken de önemli miktarda enerji harcayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ofislerde priz yükleri ve elektronik cihaz kullanımı ile ilgili Hindistan'da yapılan çalışmada [52], bir akademik enstitüde kullanılan elektronik cihazlara 93 adet enerji sayacı yerleştirilmiş ve ölçüm verileri, her ölçülen cihaz için 10 dakikalık aralıklarla 4 ay boyunca

toplanmıştır. Bu priz yükü verileri analiz edildiğinde, elektronik cihazların enstitüde önemli miktarda enerji kullanımına neden olduğu görülmüştür. Cihazların bekleme veya uyku modundayken harcadıkları hayalet priz yükleri de izlenmiştir. Buna göre, bilgisayarlar ve monitörler başta olmak üzere elektronik cihazların çoğunun, tamamen kapatılmadıkları uyku modunda önemli miktarda enerji harcadıkları görülmüştür.

Konutlarda priz yüklerinden kaynaklı enerji kullanımı ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmış olmasına rağmen, ofislerdeki priz yüklerinin enerji tüketimini araştırmak için sadece birkaç araştırma yapılmıştır [70].

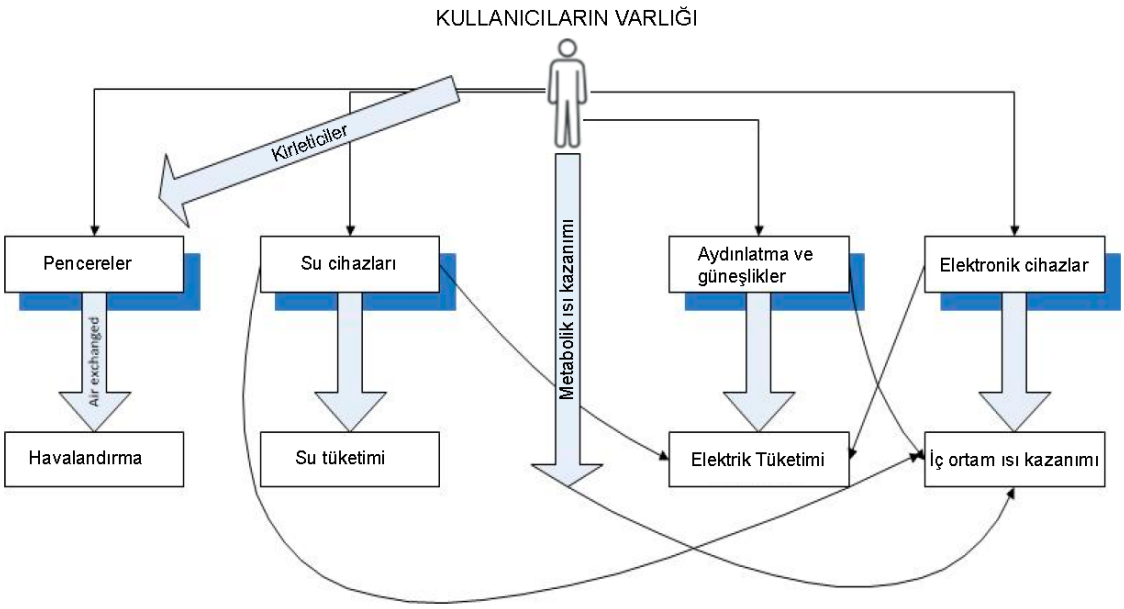
3.3 Bina Kullanıcılarının Enerji Tüketimi ve Bina Enerji Performansına Etkisi

Kullanıcıların bulundukları bina ile etkileşimi, bina enerji performansı ve bina içi ortamın performansı olmak üzere iki yaklaşımla ele alınır. Kullanıcıların bina içindeki varlıklarıyla birlikte, vücut ısılarıyla iç ortam ısısının değişimine katkıda bulunurken, "kirletici maddeler" (su buharı, karbondioksit, kokular vb.) yayarak havalandırma gereksinimini de artırırlar. Kullanıcı varlığının bu pasif etkileri bina içi ortamın performansını değiştirir. Bununla birlikte kullanıcıların; ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma için bulunan bina sistemlerinin operasyonu, su tüketimi ve elektronik cihazların kullanımı gibi eylemleri bina enerji performansını doğrudan etkiler. Bu eylemler, aynı zamanda kullanıcıların kişisel konforlarını artırmak için bina ile etkileşime girdiğinde gerçekleştirdiği aktif eylemlerdir. Örneğin, termal konforlarını iyileştirmek için bulundukları ortamı ısıtır, soğutur veya havalandırır, görsel konforlarını optimize etmek için aydınlatma sistemlerini veya panjurları ayarlarlar [21–23].

Bunlara ek olarak, kullanıcıların bulundukları bina ile etkileşimleri aynı zamanda binanın işlevi yani kullanıcıların binadaki görevleriyle de ilgilidir. Örneğin bir ofis binasında, kullanıcılar iç ortam ısı kazanımlarına ve elektrik tüketimine katkısı olan çeşitli elektronik cihazlar kullanabilirler. Şekil 3.8'de[1] kullanıcıların varlığının binanın enerji performansına ve bina içi ortamın performansına etkileri özetlenmiştir.

Kullanıcılar bulundukları ortamı, enerji tasarrufuna dikkat etmek yerine, öncelikle kendi konforlarını sağlayacak şekilde değiştirme eğilimindedirler [71]. Bu iç ortam düzenlemeleri, pencere/kapı açma, perde/panjur konumlandırma, ışık açma/kapama, halı/parke zemin kaplaması, vantilatör açma/kapatma ve termostat ayarı gibi kararları içerebilir. Bazı binalarda bu eylemler kullanıcılar tarafından kontrol

[1] Referans numarası belirtilmiş kaynaktan alınan grafik Türkçe'ye çevrilmiştir.



Şekil 3.8 Kullanıcıların bina sistemlerine doğrudan ve dolaylı etkileri [22, 23]

edilemeyebilir. Bunun sonucunda, bulundukları ortamı daha az kontrol edebilen kullanıcıların konfor algısının olumsuz yönde etkilendiği belirtilmiştir [3, 72].

Enerji modelleme uzmanları ve araştırmacıları üzerine bir çalışmada, katılımcıların % 44'ü, bina enerji modeli ile gerçek bina elektrik kullanımı arasındaki uyumsuzluğun kullanıcı davranışına bağlanabileceğini düşünmektedir [73].

Gerçek bina operasyonu sırasında yürütülen birçok gözlemsel çalışma, kullanıcıların davranış özelliklerinin enerji kullanımı üzerindeki önemli etkilerini doğrulamıştır. Örneğin, bir çalışmada [24] ABD'deki farklı ticari binalarda mesai sonrası ofisteki elektronik donanım kullanımını araştırmış ve elektronik cihazların % 50'sinden azının çalışma saatleri dışında bina kullanıcıları tarafından kapatıldığı sonucuna varmıştır. Başka bir çalışmada [25], toplam bina enerjisinin yarısından fazlasının genellikle çalışma saatleri dışında tüketildiğini göstermiştir. Cihazları geceleri kapatmak veya güç yönetimini sağlamak gibi kullanıcı davranışları, enerji kullanımını büyük ölçüde etkilemektedir [24]. Bir araştırmada, masaüstü bilgisayarların kişi başına en fazla gücü tükettiği ve kullanıcıların çoğunda, hafta boyunca gecelere oranla daha uzun süre mola verecekleri zaman elektronik cihazları tamamen kapatma eğiliminin daha yüksek olduğu belirtilmiştir [51]. Elektronik cihazların, kullanılmadıkları zamanlardaki enerji tüketiminin, priz yükü kaynaklı toplam elektrik kullanımındaki payı % 75'e kadar artabilir [26]. Kullanıcıları bilgisayarları kapatmaya teşvik etmek, bilgisayarların sürekli açık kaldığı ofislerde elektrik enerjisi tüketiminin azalmasını sağlayabilir. Ancak bu durumun, gerektiğinde çalışanların masaüstü bilgisayalarını uzaktan kullanmalarına engel olacağı da düşünülmelidir.

Bu gibi gözlemsel çalışmalar, çoğu zaman ticari binaların enerji kullanımı konusunda kullanıcıların önemli rol oynadığını doğrulasa da; literatürde, bunun enerji modellerinin öngörülerine ve sonrasında bina tasarım kararlarına nasıl yansıdığını ölçen çalışmalara az rastlanmaktadır [45].

Kullanım sonrası değerlendirme (POE) aracılığıyla ofis priz yüklerinin daha iyi anlaşılması, modellenmiş ve gerçekteki elektrik kullanımı arasındaki farkı % 6'ya kadar azaltabilir [10]. Ancak, kullanıcılar ve elektronik cihaz donanımları belirsiz ise, bina tasarımı için önceden bu tür ayrıntılı bir çalışmanın yapılması mümkün değildir. Son yıllarda, çalışanların dörtte birinin evden yarı zamanlı çalıştığı düşünüldüğünde, tipik çalışma saatlerinin daha az tutarlı hale gelmesiyle; ofislerde priz yükü profillerinin öngörülmesi zorlaşmıştır [74].

Kullanıcıların enerji kullanım davranışları, yük tipi ve elektrik kullanım modellerini belirleyen kesintisiz izleme sistemleri ile tanımlanabilir [75]. Ayrıca kullanıcıların çalışma alanlarındaki varlık durumlarını tespit eden hareket sensörleri elektrik kullanımı hakkında daha fazla bilgi edinilmesini sağlayacaktır. Ancak kullanıcıların mahremiyeti bu noktada sınırlayıcıdır [76]. Ayrıca, her ne kadar bu izleme sistemleri enerji tasarrufu fırsatlarını belirlemede yardımcı olsa da, binayı sürekli izleyen bu sistemler pahalı olabilir ve enerji azaltma müdahaleleri doğrultusunda her bir kullanıcı davranışını analiz etmek çok zaman alabilir. Bu nedenle bina enerji simulasyonlarında kullanılmak üzere, kullanım modelleri ve priz yükü profilleri kullanılarak, ofis binalarında elektronik cihazlara bağlı elektrik enerjisi tüketimini az hata payıyla öngörebilecek tahmin modelleri geliştirilmesi daha uygun olacaktır.

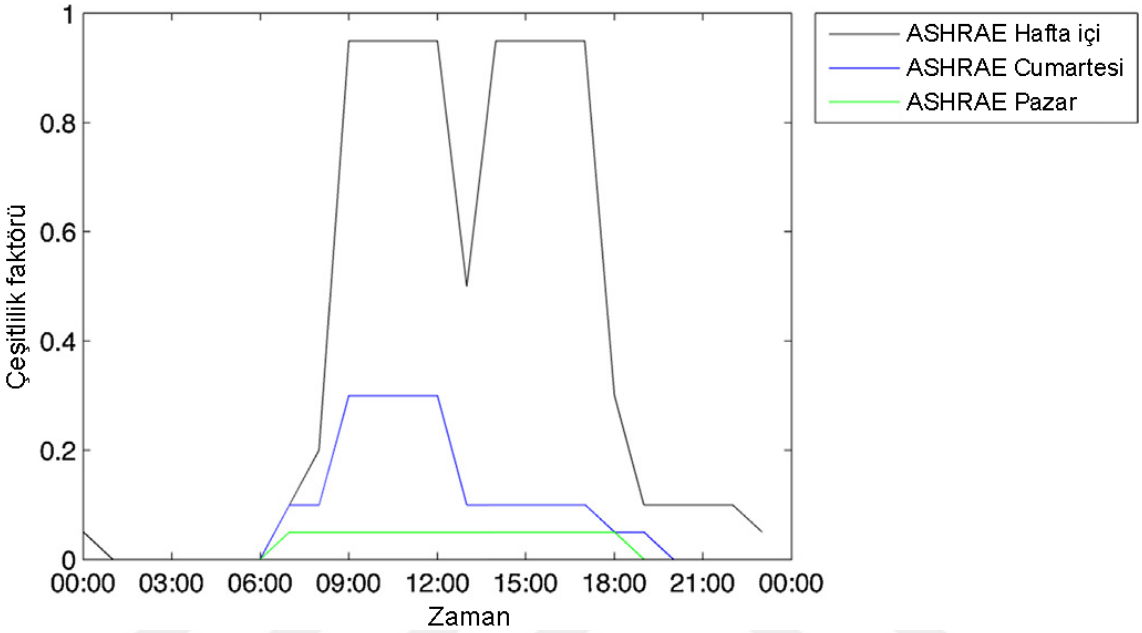
Binalardaki kullanıcı faaliyetleri, sosyal ve kültürel normlar, fonksiyonel ihtiyaçlar veya bu davranışların insan davranış modellerini oluşturan bir kombinasyonu çerçevesinde analiz edilebilir. Bu tez çalışmasında, sadece ofislerdeki elektronik cihazlardan kaynaklanan enerji tüketimini etkileyen kullanıcıların çalışma alanlarındaki varlık durumları irdelenmiştir.

Ofis binalarındaki priz yüklerini azaltmayla ilgili literatürün büyük kısmı teknoloji tabanlı çözümlere odaklanırken, kullanıcı davranışını değiştirme hakkındaki literatür büyük oranla konut kullanıcılarına eğilmektedir [51].

3.3.1 Kullanım Çeşitliliği Faktörü ve Profilleri

Kullanıcı varlığı, bina enerji performansı simülasyonlarının hesaplamalarına "kullanım çeşitliliği profilleri" ile dahil edilmektedir. Bu profiller genellikle; kullanıcılar, ofis elektronik donanımı ve aydınlatmadan kaynaklanan iç ortam ısı kazanımlarının

binanın enerji ve soğutma yükü hesaplarına etkisini doğru tahmin edebilmek için kullanılır [27]. Çeşitlilik profilleri, deneysel olarak veya olasılıksal modellerden elde edilebilir, ya da standartlara dayalı profiller kullanılabilir. Çeşitlilik profilleri, binanın tipine (konut, ticari vb.) ve bazen kullanıcı türüne bağlıdır. Özellikle ofis binaları değerlendirilirken, kullanım programından dolayı, hafta içi ve hafta sonları/tatil günleri farklı şekilde ele alınmalıdır.



Şekil 3.9 ASHRAE 90.1-2004'te önerilen, gün tipine göre kullanım çeşitliliği faktörü [15]

Enerji modelleyicileri tarafından çoğunlukla, Ashrae 90.1 standardında [77] yer alan farklı bina türleri için tipik kullanıcı varlığı profilleri tercih edilmektedir. Şekil 3.9'da[1] bu kullanım çeşitliliği profillerinden biri gösterilmiştir. Bu grafikte, hafta içi günleri için bir profil ve haftasonu günleri için ise ayrı ayrı iki profil bulunmaktadır. Haftaiçi günlerinin kullanım profilinde 06:00-20:00 arasında kullanıcı yoğunluğunun arttığı görülürken, 12:00-13:00 saatleri arasındaki radikal düşüşün, öğle arasını temsil ettiği düşünülebilir. Haftasonu kullanım profilleri incelendiğinde ise; cumartesi gününde pazar gününe göre daha fazla kullanıcı yoğunluğu olduğu görülür. Cumartesi günü profilinde, saat 13:00 itibariyle grafikteki radikal düşüş ve sonrasındaki sabit ilerlemenin yarım gün çalışmayı temsil ettiği düşünülebilir. Haftaiçi günlerinde neredeyse maksimum %100 olan kullanıcı yoğunluğunun, cumartesi günü maksimum %30 olduğu ve pazar günü ise maksimum %5 olduğu görülmektedir.

Çeşitlilik faktörleri, 24 saatlik bir günün saatlik fraksiyonları olarak tanımlanır. Haftanın her günü için bir profil oluşturularak, binadaki genel kullanıcı varlığı veya belirli cihaz kullanımı profillerinin temsili bir haftasını oluşturmak için bir araya

[1]Referans numarası belirtilmiş kaynaktan alınan grafik Türkçe'ye çevrilmiştir.

getirilebilir. Hafta içi veya hafta sonu için günlük profiller 24 saatlik değerlerden oluşur. Bunların her biri, verilen en yüksek yükün bir fraksiyonuna karşılık gelmektedir. Belirli bir bina tipi ve ısı kazancı türü (metabolik ısı kazancı, priz yükü, aydınlatma yükü) ile ilişkili kullanıcı profilleri ve maksimum yük; çok sayıda izlenen binadan elde edilen verilere dayanabilirler. Diğer bir yöntem de, enerji simülasyon aracının kullanıcısının, söz konusu binaya en uygun olduğunu düşündüğü kullanıcı profilini tercih etmesidir. Her bir ısı kazancı türü için yıllık yük profili, günlük profillerin tekrarlanması ve maksimum yük ile çarpılmasıyla oluşturulur. Bu yöntemi basitleştirmek için, her bireye özgü varlık profilleri ortalama bir davranışla değiştirilerek, çeşitlilik azaltılabilir. Buna ek olarak, izlenen verilerde görünen; hafta içi günler arasındaki davranış farklılıkları ve atipik davranışlar (ortamdan erken ayrılma, yoğun var olma ve toplam bulunmayış, ofis binaları için hafta sonlarında öngörülemeyen varlık) gibi zamana bağlı değişimler de ihmal edilebilir [22]. Ancak bu yöntem, bir ya da iki profilin tekrarlanmasından veya oluşan profilin bir binanın tüm kullanıcılarının davranışını temsil etmesinden dolayı yeterli olmayabilir.

HVAC cihazları söz konusu olduğunda, gün boyunca değişen ısı kazanımlarını hesaba katmak için, kullanım çeşitliliği faktörü enerji simülasyonunda tasarlanan soğutma / ısıtma yükünü çoğaltmak için kullanılır. Bunun nedeni, kullanıcı varlığının her zaman planlanan maksimum düzeyde olmamasıdır. Çeşitlilik faktörleri, kullanıcıların bulunmadığı saatlerde daha düşük, en çok bulunduğu saatlerde veya bazı HVAC cihaz tipleri ya da hava durumu tahminlerinde aşırı sapma olduğu saatlerde maksimum değere yükselir [78].

Bireysel ofisleri analiz eden bir çalışmada [26], seçilen elektronik cihazlardan ve kullanım biçimlerinden dolayı, 10 kullanıcı arasındaki priz yüklerinin 40 etkene göre çeşitlilik gösterdiği bulunmuştur. Bir ofis ortamında, bireysel elektrik kullanım biçimleri büyük ölçüde farklılık gösterebilir. Ancak bireysel davranışlar bir araya getirildiğinde, priz yükü profilleri tutarlı bir kullanım modeline yaklaşabilir [79]. Ayrıca, bireysel elektrik tüketiminin eş zamanlı gerçekleştiği ve anlık elektrik kullanımının maksimum talebe yaklaştığı tipik mesai saatleri boyunca (9:00-18:00 saatleri arasında), priz yükü çeşitliliği azalabilir [80].

Wilkins ve McGaffin tarafından yapılan bir araştırmada [81], ABD'deki beş ofis binasında küçük güçler için izlenen enerji tüketimi sonuçları kullanım çeşitliliğinin önemini vurgular niteliktedir. Çalışmada güç yoğunluğu, kullanım çeşitliliği hesaba katılmadan 18.8W/m^2, hesaba katıldığında ise 8.6W/m^2 olarak belirtilmiştir. Bu değerler bilgilendirici olmalarına karşın, kullanım çeşitliliği, çalışma alanı yoğunluğu, elektronik cihazlardaki güç yönetimi ayarları ve ofiste gerçekleştirilen faaliyet türü farklılıkları hesaba katılmadığı için dikkatli kullanılmalıdır.

3.3.2 Kullanıcı Varlık Modelleri

Kullanıcıların bir binadaki bulunma durumlarını yansıtan varlık modellerini elde etmek amacıyla üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır [82].:

- deterministik yaklaşım
- olasılıksal yaklaşım
- stokastik (rastlantısal) yaklaşım

Deterministik yaklaşımda varlık oranı, kullanıcıların binada bulunduğu durumlar için "1" ve binada olmadıkları durumlar için "0" arasında değişen düzenli bir günlük programa göre belirlenir [80]. Genellikle tüm hafta içi günleri için geçerli standart bir iş günü profili ve her iki hafta sonu gününün de aynı profille temsil edildiği deterministik programlar oluşturulur. Deterministik modellerde, benzer binaların varlık oranının simülasyonu için mevcut binaların varlık profilleri de kullanılabilir.

Üniversite binalarında yapılan bir çalışmada [83], kullanıcıların binadaki varlık durumlarını tespit ve analiz etmek için, bina güvenlik kameraları, kapıların üzerine yerleştirilen elektronik insan sayaçları ve sınıf ders programları kullanılmıştır. Gözlemlenen sekiz üniversite binasında; sınıf, ofis, ortak alanlar, laboratuvar ve servis alanları izlenmiştir. Ancak alan tipine göre kullanım çeşitliliği faktörü belirlemek yerine; tüm bina yönetim, kütüphane, beden eğitimi, mimarlık, araştırma ve sınıf olmak üzere kategorize edilmiştir. Her binanın günlük kullanıcı varlık profillerini elde etmek için, her binada bulunan toplam kullanıcı sayısı saatlik olarak hesaplanmış ve ilgili binanın maksimum varlık kapasitesine bölünmüştür. Eğer varlık profilleri farklı günler için aynıysa, profillerin ortalamaları alınmıştır. Sonuç olarak, her iş günü için 6:00-18:00 saatleri arasında, maksimum 0.7 veya maksimum % 70'lik bir kullanıcı varlığı izlenirken, bu oranın hafta sonu günlerinde % 10'a kadar düştüğü tespit edilmiştir.

Mahdavi'nin bir çalışmasında [84], binadaki kullanıcı varlığı yerine, bina kullanıcılarının çevreleriyle olan etkileşimlerine odaklanılmıştır. Ayrıca, iki binada bulunan özel ofisler için kontrol odaklı kullanıcı davranışı tanımlanmıştır. Kullanıcıların varlığı, sıcaklık, bağıl nem, aydınlatma şiddeti, hava akış hızı, güneş radyasyonu, elektronik cihazlar ve güneşliklerin konumunu izlemek için çeşitli sensörler kullanılmıştır. Çalışmada kullanıcı varlığını izlemek için, 5 dakikalık aralıklarla veri aktarımı yapan, 84 adet hareket sensörü kullanılmıştır. Kullanıcı varlığı verileri, 08:00 ile 20:00 saatleri arasında bir varlık profilini gösterir ve çeşitlilik faktörü tipik ticari ofisler için maksimum 0.6 ve bilimsel personel ofisleri için yaklaşık

0.48 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, kullanıcıların çevreleriyle etkileşiminin hem iç hem de dış koşullara bağlı olduğu görülmüştür.

Deterministik yöntem, mevcut veriler ışığında, yıl boyunca kullanıcı varlık profillerinde değişiklik olmadığını varsaymaktadır. Ancak kullanıcıların bir yerdeki varlık durumları, insan davranışının rastlantısal ve istikrarsız yapısının bir sonucu olarak, değişken olabilir. Deterministik modeller, kullanıcı varlığı için tüm farklılık faktörlerini hesaba katamaz [82]. Literatürdeki bazı çalışmalara göre, ASHRAE 90.1-2004 standardının [15] sağladığı deterministik referans verileri ile ölçülen veriler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, bir çalışmada ASHRAE referans verileriyle karşılaştırıldığında tek kişilik ofis ve paylaşımlı ofis odaları için günlük ortalama varlık zirvelerinde, % 45 ve % 12 azalma olduğu görülmüştür [78]. Bu nedenle, simülasyon sonuçları ile binanın gerçek performansı arasındaki farklılığı azaltmak için, kullanıcı varlığının belirsizliğini, davranışının rastlantısallığını ve zaman içindeki değişkenliğini hesaba katabilecek daha gerçekçi bir model gerekmektedir [82].

Olasılıksal yaklaşım; binalardaki belirli faaliyetlerin meydana gelişini tahmin etmek için istatistiksel verileri kullanır. Olasılıksal modeller, gelecekteki varlık oranını öngören modeller oluşturmak için geçmişteki gözlemlenen verileri kullanır [85]. Kullanıcıların varlık oranını, belirli eylem veya zaman ve varlık oranının doğrudan korelasyonu ile belirleyen deterministik yaklaşımla karşılaştırıldığında, olasılıksal modeller varlık oranlarında daha fazla çeşitlilik yakalayabilir. Olasılıksal yaklaşımla önerilen 3 farklı model bulunmaktadır. Bir çalışmada [86], tek kişilik bir ofisteki varlık oranını hesaplayabilmek için olasılıksal bir model kullanılmıştır. Bu çalışmada, bir yıl boyunca 35 adet tek kişilik ofisten elde edilen varlık verilerinin istatistiksel özellikleri incelenmiştir . Diğer bir çalışmada [87]; bir konuttaki "uyanık", "uykuda" ve "yok" olarak tanımlanan üç olası varlık durumunu içeren olasılıksal bir varlık modeli geliştirilmiştir. Bu model, iki farklı anketten elde edilen istatistiksel verileri kullanarak her bir kullanıcı için varlık dizisi olasılığını öngörebilmektedir. Ajan tabanlı bir modelde [88] ise, bina kullanıcılarının varlık simülasyonu için en yaygın faaliyete dayalı bir sistem önerilmiştir. Bu model, diğer ajan tabanlı modellerin aksine, değişen sayıdaki ajanı simüle edebilir. Bu çerçevede, sınıflandırılmış olaylar bir algoritmanın girdileri olarak kullanılmış ve bunun sonucunda, kullanıcı günlüğü ile bina kullanıcılarının varlık listesi elde edilmiştir.

Son dönemde yapılan çalışmalar, binadaki kullanıcıların varlık oranını daha doğru modelleme amacıyla, varlık profilini stokastik yaklaşımlarla modellemeye odaklanmıştır. Stokastik bir modelde, varlık durumu rastgele bir değişken olarak kabul edilir ve belirli bir zamanda yapılan tahmin, uzun vadeli geçmiş verilere

göre değil, bir önceki duruma göre yapılır. Bu yaklaşımın esas temeli olan Markov zincirinin belleğinin olmaması, stokastik yaklaşımı bir öncekinden başka varlık durumlarından bağımsız kılar. Bu nedenle, başlangıç durumu ve devir olasılığı stokastik bir süreçte önemli parametrelerdir. Bununla birlikte, her stokastik model farklı parametreleri vurgular. Bazı modellerde, sınırlı varlık durumları binalardaki varlık oranını tahmin etmek için kullanılırken, diğerleri tüm olası olayları kapsayacak şekilde daha fazla durum hesaba katar [82]. Hareket bazlı stokastik varlık modeli, binanın içinde ve dışında meydana gelen kullanıcı hareketinin bir sonucu olarak varlık oranını öngörmektedir. Binanın varlık oranını modellemek için homojen Markov zinciri yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemdeki ana prensipler, mevcut durum ve bir durumdan diğerine geçiş olasılığıdır [89]. Ajan tabanlı stokastik model ise, bir bölgede birden fazla kişinin varlığını içerir. Bu nedenle, model her bir kullanıcının yeri için bir zaman serisi oluşturur. Daha sonra bu bilgiler kullanılarak farklı bölgelerdeki varlık oranı elde edilir [90]. Başka bir çalışmada ofis binalarında düzenli varlık durumu için stokastik bir model geliştirilmiştir. Bu model; "çoklu kullanıcı, tek bölgeli" ve "çoklu kullanıcı, çoklu bölgeler" olmak üzere iki senaryo içerir. Bu modelin temeli de Markov zinciri teorisine dayanmaktadır. "Çoklu kullanıcı, tek bölgeli" senaryosu, bir bölgede varlık durumundaki artışı Markov zincirinin bir durumu olarak belirtmektedir [91]. Başka bir çalışmada, bir zaman kullanım anketine dayanarak aktif kullanıcılar için stokastik bir varlık modeli oluşturulmuştur [92]. Diğer bir modelde ise, aktif/aktif olmayan ve olmayan/mevcut olan varlık durumlarının ayrı ayrı ele alındığı dört durumlu bir bina kullanım modeli sunulmuştur [93]. Bu model, konuttaki tüm kullanım döngüsünü dikkate almaktadır.

Bina enerji simülasyon araçları, son dönemde yapılan araştırmalar sayesinde, binaların belirleyici fiziksel davranışlarını giderek daha detaylı şekilde oluşturabiliyorken; bina kullanıcılarının davranışları, hala kullanıcı varlığı ile aydınlatma ve elektronik cihazlar için var olan standart kullanım modelleri tekrarlanarak yansıtılmaktadır. Bu şekilde yapılan varsayımlar, bina sistemlerinin maksimum enerji ihtiyacı tahminlerinde önemli hatalara neden olmaktadır. Dolayısıyla, bu ihtiyacı karşılamak için kullanılan cihaz ve sistemlerin (HVAC sistemleri, su ve güç cihazları) seçimi ve boyutlandırılması da ciddi anlamda etkilenmektedir. Kullanıcıların bir binayı kullanma ve onunla etkileşime girme çeşitliliği bina simülasyon araçlarına doğru entegre edilirse, enerji tasarrufu sağlamak ve kullanıcıların konforunu artırmak için yeni yöntemler geliştirilebilir [22].

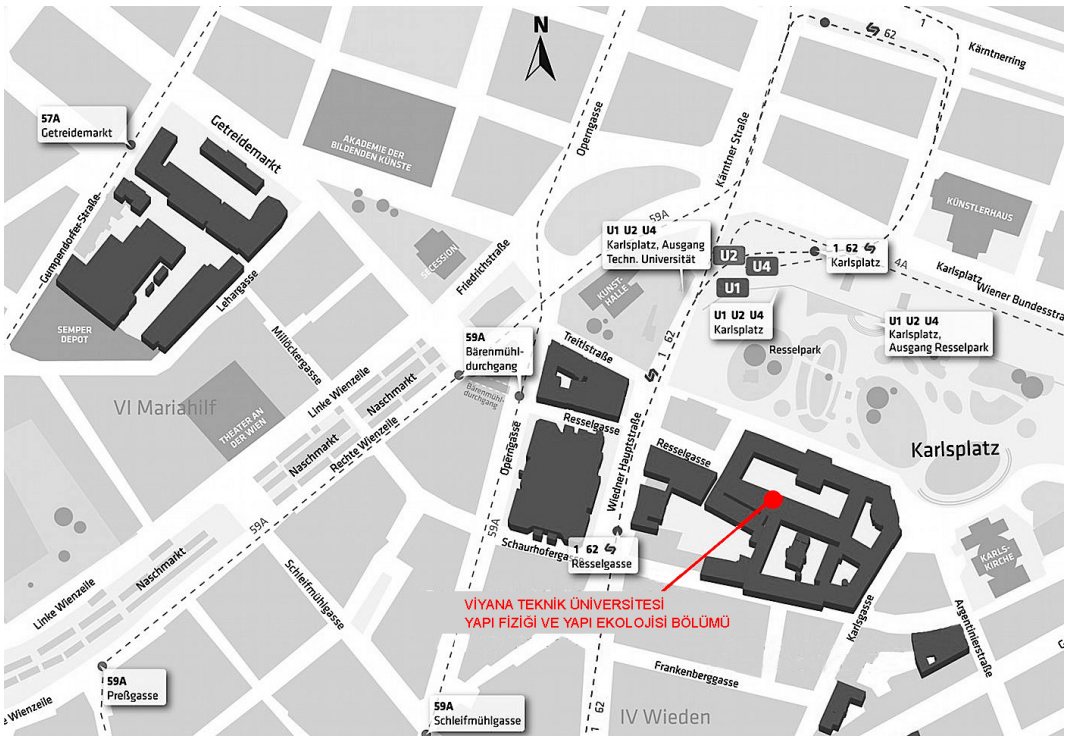
Ofis binalarında, çalışma alanlarındaki elektronik cihazlar ofis kullanıcıları tarafından belirlenir ve kontrol edilir. Dolayısıyla kullanım modelleri ve kullanıcı davranışları, priz yüklerini doğrudan etkileyen büyük bir değişkendir. Ancak literatürdeki çalışmaların çoğunda, enerji modellerinin binaların teknik tasarım parametrelerine

duyarlılığı kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, kullanıcıların enerji tüketim davranışları ile ilgili parametreler dikkate alınmamış ve bunun enerji modellemesi üzerindeki etkileri bilinmemektedir. Son dönemde, tipik kullanıcı varlığı ile eylemlerini ve bunların bina performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için birkaç çalışma [3, 94–98] yapılmıştır.

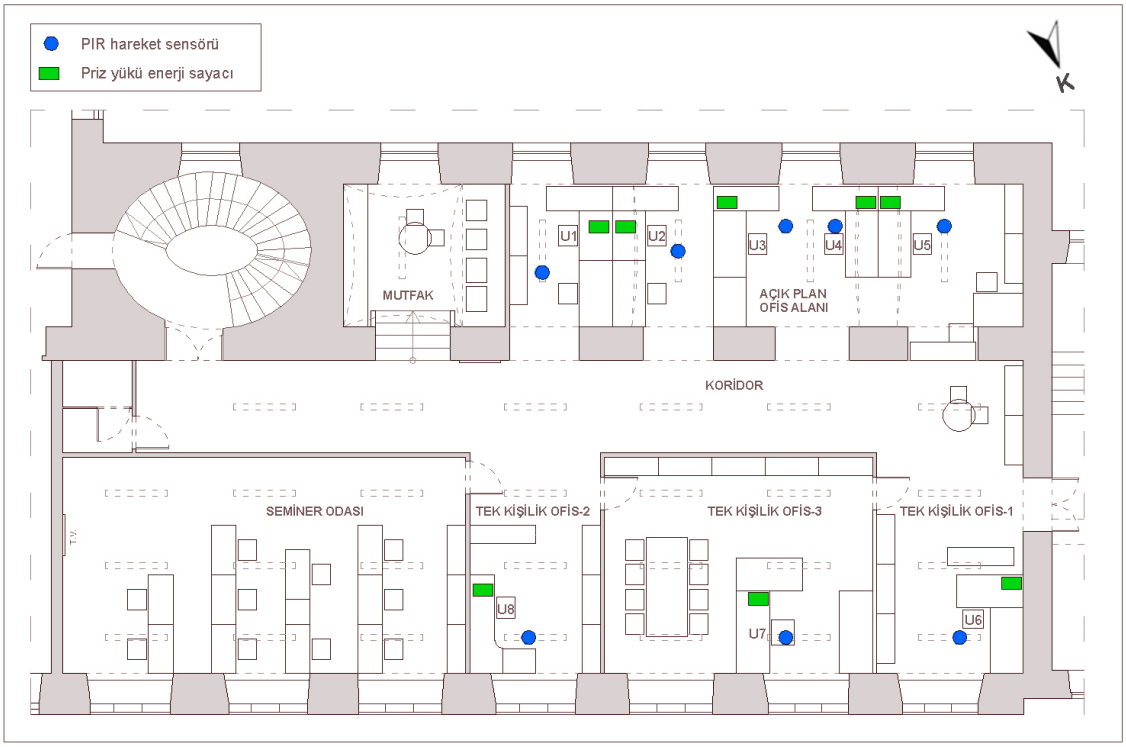
4
Örnek Bir Ofisin Kullanım Modelleri ile Elektrikli Cihaz Kullanımı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi Üzerine Bir Yaklaşım

4.1 Örnek Ofisin Özellikleri

Örnek ofis Avusturya'nın Viyana kentinde Viyana Teknoloji Üniversitesi'nin (Technische Universität Wien) ana binasında bulunmaktadır (Şekil 4.1). Ofis mevcut durumda Yapı Fiziği ve Yapı Ekolojisi Anabilim Dalı olarak kullanılmaktadır. Eğitim kampüsünde yer alan ofisin incelenen bölümleri tamamen çalışma alanı olarak, çalışma işlevi için kullanılmaktadır. Ofisin güney cephesinde tek kişilik ve kuzey cephesinde açık plan ofis bölümleri yer almaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Örnek ofisin konumu



Şekil 4.2 Örnek ofisin yerleşim planı ve sensörlerin konumları

4.1.1 Örnek Ofiste Yer Alan Elektronik Cihazlar

Bu tez çalışması için, sekiz adet çalışma alanı seçilmiştir ve bu bölümler kullanıcıların varlık durumları ile priz yükü verilerini gözlemlemek için her bir kullanıcı ile ayrı ayrı ilişkilendirilmiştir. Diğer çalışma alanları ve seminer salonu farklı ziyaretçiler tarafından düzensiz olarak kullanıldığı için çalışmaya dahil edilmemiştir. Seçilen çalışma alanlarında bulunan, her bir kullanıcıyla ilişkilendirilmiş enerji sayaçlarıyla gözlemlenen bilgisayarlar ve elektronik cihazlar Tablo 4.2'de listelenmiştir. Bu ofis ekipmanlarının güçleri ve ilişkilendirilen kullanıcılarıyla ilgili bilgiler ise Tablo 4.1'de görülebilir.

Tablo 4.1 Kullanıcılarla eşleştirilen kurulu ekipman güçleri ve seçilen ofis bölümü alanları

Ofis Alanı	Kullanıcılar	Top. etkin kurulu güç [W]	Alan [m^2]
Açık Plan Ofis	U1,U2,U3,U4,U5	880	43
Tek Kişilik Ofis-1	U6	180	19
Tek Kişilik Ofis-2	U7	90	34
Tek Kişilik Ofis-3	U8	130	17

Tablo 4.2 Kullanıcılarla eşleştirilen kurulu ekipman güçleri ve seçilen ofis bölümü alanları

Kullanıcılar	Bilgisayar Kasası	Ekran	Laptop	Hoparlör	Yazıcı	W-LAN Router	Kablosuz Modem
U1	■	■					
U2	■	■				■	
U3	■	■	■			■	■
U4	■	■ ■			■	■	
U5		■ ■	■				
U6	■	■ ■					
U7		■	■	■			
U8	■ ■	■ ■					



Şekil 4.3 Örnek ofisin görselleri

4.1.2 Örnek Ofisteki Kullanıcılar

Örnek ofiste çalışan sekiz tam zamanlı personel bulunmaktadır. Kullanıcılar bölüm direktörü, sekreter, akademik görevliler ve araştırmacı bilim insanları gibi farklı meslek gruplarından gelmektedir. Tek kişilik ofisler bir akademik görevli, bölüm direktörü ve sekreter tarafından, açık plan ofis alanı ise diğer akademik görevliler ve araştırmacı bilim insanları tarafından kullanılmaktadır. Tez çalışmasında kullanıcılar U1-U8 olarak adlandırılmıştır. Ofislerin genel görselleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

4.2 Verilerin Toplanması

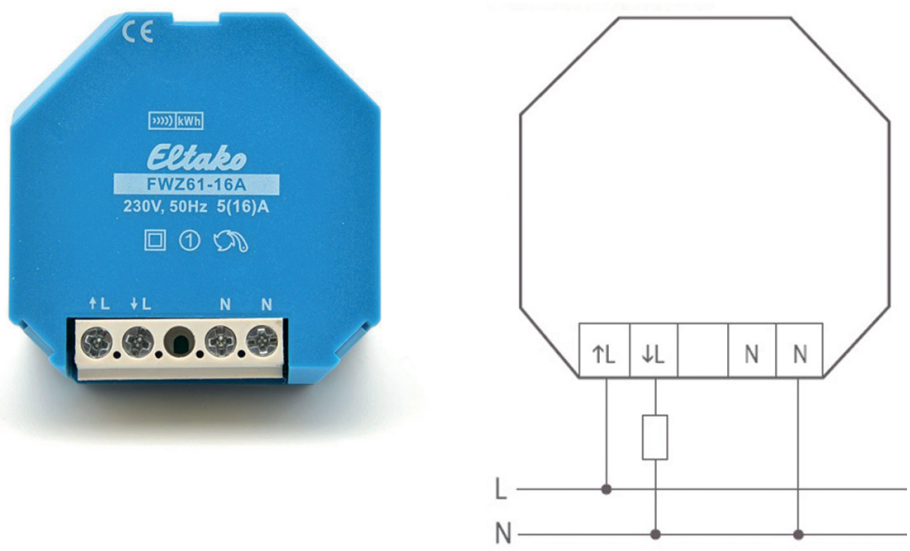
Ofis alanı kapsamlı izleme cihazları ile donatılmıştır. Tez çalışması için önemli olanlar, hareket sensörleri (Şekil 4.4) ve priz yüklerini ölçen enerji sayaçlarıdır (Şekil 4.5). Çalışma alanlarına, kullanıcı varlığı ve priz yükleri (bilgisayarlar, elektronik cihazlar, telefonlar, vb.) için her bir kullanıcı ile eşleştirilen sekizer sensör yerleştirilmiştir. Ofis ekipmanları için kullanıcı varlığı oranı ve elektrik enerjisi kullanımı verileri, 2013, 2014 ve 2015 yılları olmak üzere, üç yıllık bir süre boyunca düzenli olarak kaydedilmiştir. Bu tez çalışmasının amacı doğrultusunda, 2014 yılına ait bir yıllık ölçülen veriler 15 dakikalık aralıklarla işlenmiş ve bu veriler analiz edilerek, tez çalışması kapsamında sadeleştirilmiş bir model geliştirilmiştir. Bu model kullanılarak, ölçülen 2014 yılı verilerinin tahminleri oluşturulmuştur. Bunun yanı sıra, geliştirilen sadeleştirilmiş modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmek için 2013 ve 2015 yıllarına ait iki ayrı deneysel veri seti kullanılmıştır. Böylece, modelin oluşturulduğu 2014 yılı verileri haricinde de, modelin tahmin potansiyeli ölçülen iki

farklı veri setiyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Önceki çalışmalar incelendiğinde, masaüstü bilgisayarlar, gerçek değerlerinde, etiket değerlerinin ortalama % 14 ila 36'sını tükettiği görülmektedir [99–101]. Bu nedenle, bu tez çalışmasına dahil edilen masaüstü bilgisayarların kurulu ekipman gücü ile ilgili veriler doğrudan etiket değerlerini göstermemektedir. Bunun yerine, masaüstü bilgisayarların kurulu gücünün etiket değerlerine uygulanan 0.3 katsayısı tanımlanmıştır.

4.2.1 Priz Yükleri Verileri

Priz yüklerini gözlemlemek için kablosuz tek fazlı enerji sayaçları kullanılmıştır (Şekil 4.4). Düzenli bir izleme için, her bir kullanıcının çalışma alanında bulunan tüm elektronik cihazların bağlı olduğu prize takılan sekiz adet enerji sayacı bulunmaktadır. Bu enerji sayacı, aktif elektrik enerjisini giriş ve çıkış arasındaki akım aracılığıyla ölçmekte ve kablosuz ağ üzerinden tüketim ve sayaç okumalarını iletmektedir. Enerji sayacının dahili güç tüketimi maksimum 0,5 Watt'tır ve ölçümlere dahil edilmemiştir. Ölçümler, bir elektrik kesintisinden sonra hemen devreye giren ve silinmeyen bir belleğe kaydedilmiştir. Bu enerji sayaçları, eğer güç durumu en az % 10 değişiyorsa, 20 saniye içinde bir veri iletir.



Şekil 4.4 Priz yükleri enerji sayacı

Veri analizini kolaylaştırmak amacıyla, elde edilen priz yükü veri yığınları 15 dakikalık zaman aralıklarıyla işlenmiştir. 15 dakikalık zaman aralığı elde etmek için ağırlıklı ortalama / örnekle-tut adı verilen bir veri işleme prosedürü uygulanır. Bu prosedür, aralıkta çeşitli ölçümler olduğunda, değerlerin ağırlıklı ortalamalarının aralık değeri

olarak alınması şeklinde açıklanabilir. Bir aralıkta ölçüm bulunmadığı durumlarda, önceki aralıktaki son değer aralık değeri olarak kullanılmıştır.

4.2.2 Çalışma Alanlarındaki Kullanıcı Varlığı Verileri

Kullanıcıların çalışma alanlarındaki varlık durumlarını tespit etmek için, EnOcean teknolojisine sahip kablosuz tavana monte edilen PIR (pasif kızıl ötesi) hareket sensörleri kullanılmıştır (Şekil 4.5). Bu hareket sensörleri, bulunduğu çevreyi 360° algılama özelliğine sahip olmakla birlikte, çalışması için ihtiyacı olan enerjiyi içindeki güneş pilleriyle sağlamaktadır. Hareket sensörünün düzgün çalışabilmesi için, bulunduğu ortamda her gün en az 3 ila 4 saat boyunca, yapay veya gün ışığı olarak minimum 50-100 Lx değerinde aydınlık düzeyine maruz kalmalıdır. Ofislerde verimli çalışma koşulları açısından minimum 500 Lx aydınlık düzeyi gerektiği ve örnek ofisteki tüm çalışma alanlarının yapay ışığın yanı sıra günışığı erişiminin de olduğu göz önünde bulundurulduğunda, hareket sensörlerinin düzgün çalışması için uygun koşullar sağlanmıştır.



Şekil 4.5 Hareket sensörü

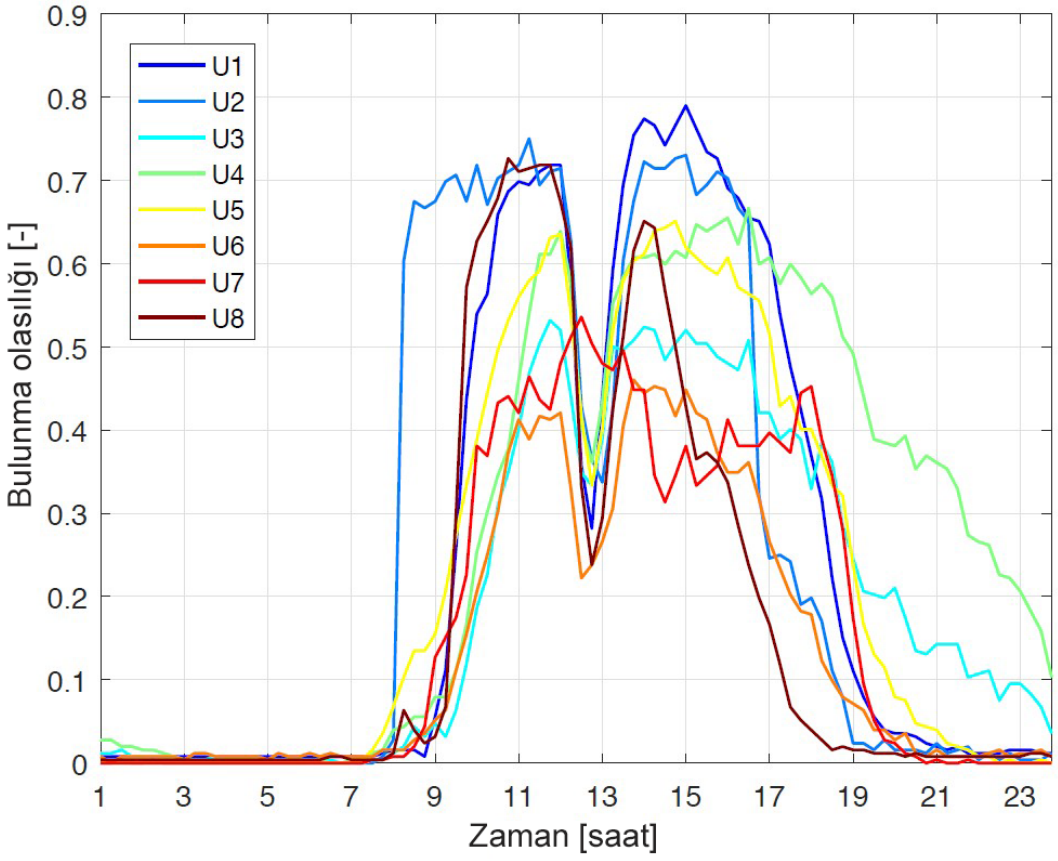
PIR hareket sensörü, bir hareket algılandığında 1 değerini gönderir. Algılama alanında herhangi bir hareket yoksa, sensörler her 100 saniyede 0 değerini kullanır.

Veri analizini kolaylaştırmak amacıyla, elde edilen kullanıcıların çalışma alanlarındaki varlıklarının veri yığınları 15 dakikalık zaman aralıklarıyla işlenmiştir. Bu amaçla, ardışık iki değer 1 veya 1 değeri arasındaki zaman aralığı, ardından 0 değeri, mevcut olunan süreleri temsil eder. Akabinde, 15 dakikalık bir zaman aralığı içindeki süreklilik eşiği aşarsa, zaman aralığının durumu "mevcut" olarak ayarlanır. Bu çalışmanın amacı için, her zaman aralığı mevcut olunan fazın zaman aralığı sürekliliğinin en az % 50'sine ulaşması durumunda eşiğin aşıldığı varsayılmaktadır. Tam bir yıla ait mevcut kullanıcı varlığı verileri gözlem temelli kullanıcı varlığı profillerini türetmek için kullanılmıştır.

5
Priz Yükleri ve Kullanıcı Varlığı Olasılığı Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi

5.1 Kullanıcıların Varlık Olasılığı

Şekil 5.1, tüm yılı temsil eden bir referans gün için, her bir kullanıcının çalışma alanındaki varlık olasılığını göstermektedir. Kullanıcılara ilişkin varlık olasılıklarında belirgin bir çeşitlilik olduğu görülmektedir.



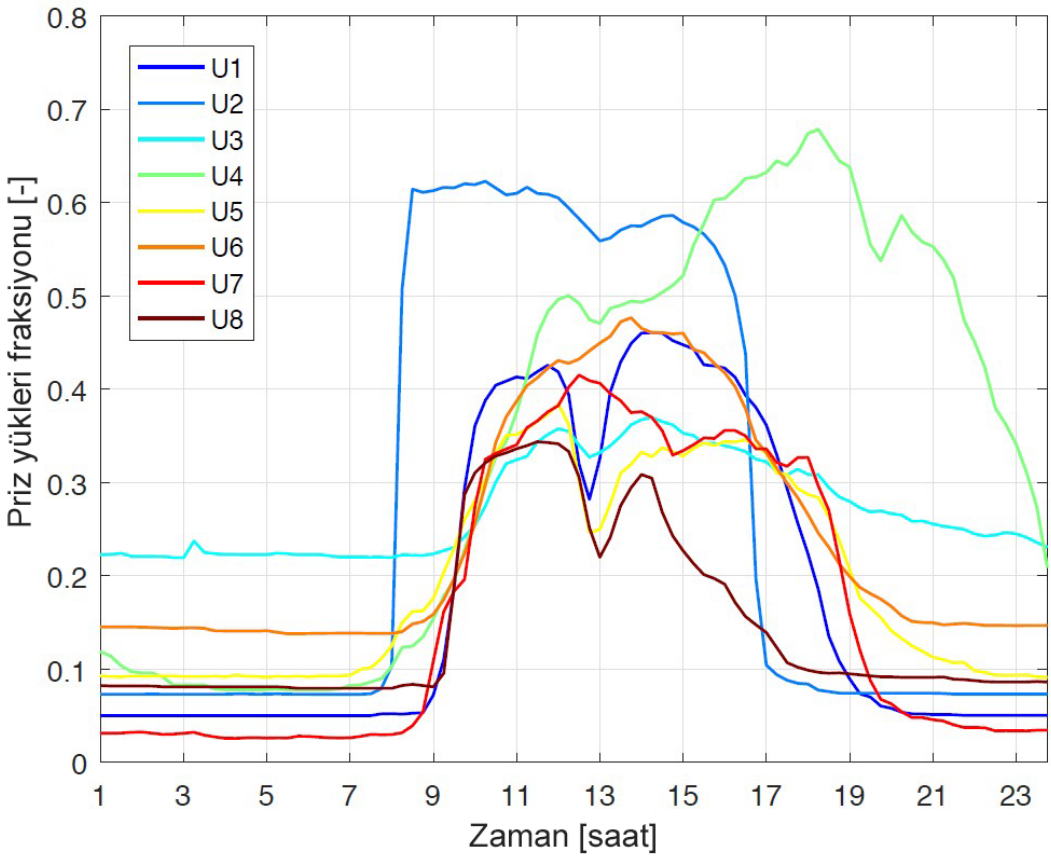
Şekil 5.1 Sekiz kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için varlık olasılığı

Profiller incelendiğinde, kullanıcılar arasında genel olarak saat 08:00'da ofise gelme eğilimi olduğu söylenebilir. Her ne kadar saat 20:00'dan sonra U3 ve U4 kullanıcıları

hariç olmak üzere kullanıcıların varlık olasılıkları %10'un altına düşüyor olsa da, kullanıcıların ofisten ayrılma saatlerinin çeşitlilik gösterdiği görülmektedir. Grafikte 12:00-13:00 saatleri arasında kullanıcıların çalışma alanlarındaki varlık olasılıklarının (U7 hariç) ortalama %30 oranına düşmesi, öğle yemeği için verilen kısa süreli ara olarak yorumlanabilir. Birinci bölümde bahsedilen Ashrae standardının haftaiçi günleri için önerdiği kullanıcı varlığı profili ile karşılaştırıldığında, U7 hariç olmak üzere kullanıcıların varlık profilleri grafiksel anlamda benzerlik gösterse de, tüm kullanıcılar için maksimum varlık olasılığı değerleri, standarttakinden daha düşüktür.

5.2 Priz Yükleri Fraksiyonu

Şekil 5.2, tüm yılı temsil eden bir referans gün için, her bir kullanıcının çalışma alanlarındaki priz yükü fraksiyonunu göstermektedir. Şekil 5.2-5.5'de yer alan priz yükü fraksiyonları mutlak değerler değil, gerçek priz yükü değerinin (q) çalışma alanındaki etkin kurulu cihaz gücüne (Qe) bölünmesiyle elde edilen priz yükü fraksiyonudur (F).

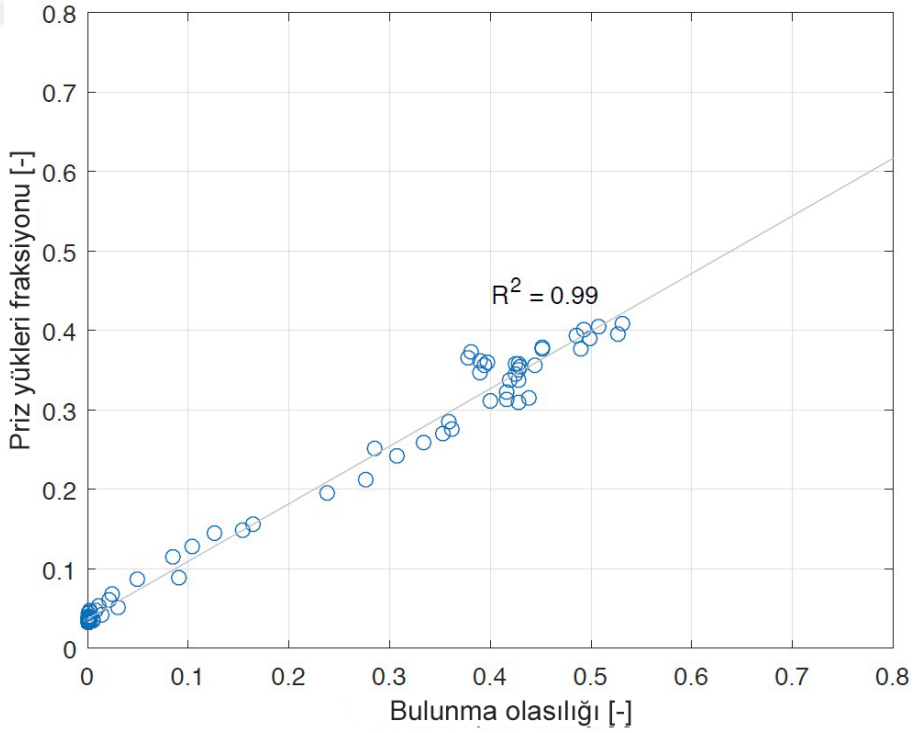


Şekil 5.2 Sekiz kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için priz yükleri fraksiyonu

Kullanıcılarla ilişkilendirilen priz yükü fraksiyonlarında dikkate değer bir farklılık gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, priz yükü fraksiyonu grafiklerinin hiçbirinde, 24 saat boyunca, priz yükü fraksiyonunun sıfır olmadığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak, elektronik cihazların hiçbir kullanıcı tarafından kapatılmadığı veya uyku modunda da belli miktar enerji harcadıkları sonucuna varılabilir. U3 ve U4 kullanıcıları hariç olmak üzere, kullanıcıların priz yükü fraksiyonu profillerinin, varlık profilleriyle grafiksel anlamda paralellik gösterdiği söylenebilir. Kullanıcıların saat 08:00 itibarıyla çalışma alanlarında bulunma durumlarındaki artış, priz yükü fraksiyonunda da görülmektedir. Kullanıcı varlığı profillerindeki öğle arası olarak yorumlanan saat 12:00-13:00 arası varlık olasılığındaki azalma eğilimi, priz yükü fraksiyonu profillerinde (U6 ve U7 hariç) de gözlemlenmiştir.

5.3 Priz Yükü Fraksiyonu ile Kullanıcı Varlık Olasılığı Arasındaki İlişkinin Doğrusal Regresyon Analizi

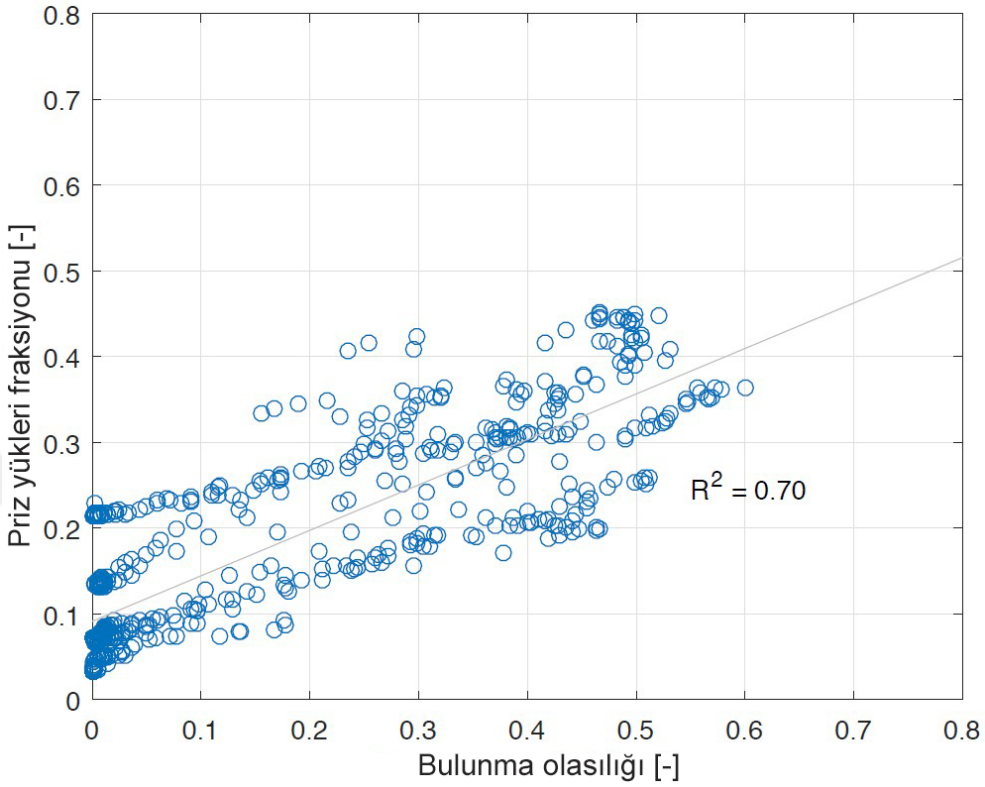
Bir kullanıcının çalışma alanındaki varlık olasılığı ile bu kullanıcıya ilişkin priz yükleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Şekil 5.3'te bir kullanıcı (U7) örneği üzerinden priz yükü fraksiyonları kullanıcı varlık olasılığının bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Sekiz kullanıcının tamamı için aynı ilişki Şekil 5.4'te görülebilir.



Şekil 5.3 Bir kullanıcının (U7) varlık olasılığı ile priz yükleri fraksiyonu arasındaki ilişki

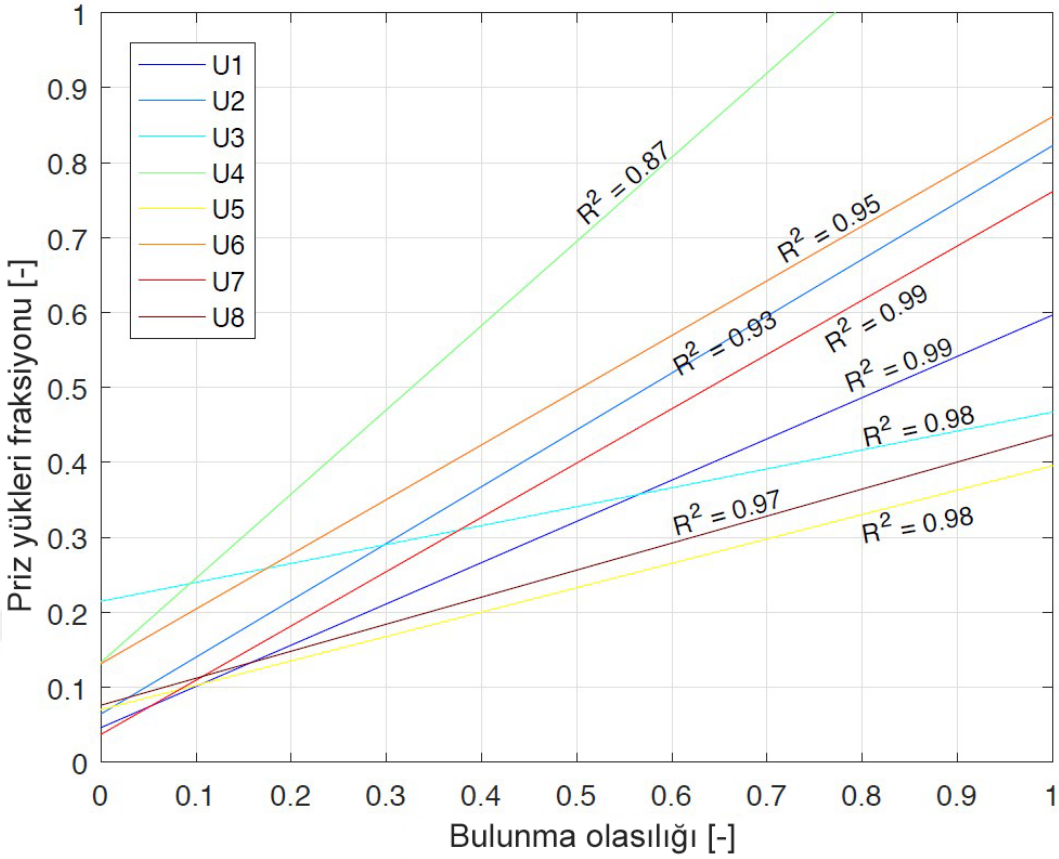
Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilen her bir nokta, referans bir gün boyunca (yılın

tüm günleri için ortalama değer) belirli bir 15 dakikalık intervali belirtmektedir. Priz yükü fraksiyonları ve 15 dakikalık kullanıcı varlık olasılıklarının saçılım grafiği, uygun regresyon çizgisi ile birlikte Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Sekiz kullanıcının varlık olasılığı ile priz yükleri fraksiyonu arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi

Priz yükü fraksiyonları ve kullanıcı varlık olasılığı arasındaki ilişkiyle ilgili olarak, Şekil 5.5'de görüldüğü üzere kullanıcılar arasında büyük bir farklılık bulunmaktadır. Buna rağmen, her bir kullanıcıyla ilgili korelasyonların yüksek olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak, priz yükü değerleri bilindiğinde kullanıcı varlığı oranı veya kullanıcı varlığı değerleri bilindiğinde priz yükü ihtiyacının hesaplanmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.5 Sekiz kullanıcının her biri için varlık olasılığı ile priz yükleri fraksiyonu arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi

5.4 Sadeleştirilmiş Model

Sadeleştirilmiş model, bir ofis alanındaki genel kullanıcı varlık modelleri (örneğin, kullanıcı çeşitlilik profilleri cinsinden) ve kurulu elektrikli cihaz gücü gibi belirli temel veriler girildiğinde, bu ofis alanındaki yıllık priz yükleri öngörülerini elde etme amacıyla oluşturulmuştur. Priz yükü fraksiyonun kullanıcı varlık olasılığının bir fonksiyonu olduğu varsayılmaktadır. Aşağıda bu ilişki lineer bir denklem ile ifade edilmiştir:

$$PLF_i = aPP_i + b \tag{5.1}$$

Bu denklemde, PLF_i, "i" zaman aralığındaki priz yükü fraksiyonu, PP_i, "i" zaman aralığındaki ortalama varlık olasılığı ve "a" ile "b", deneysel olarak elde edilebilecek katsayıları belirtmektedir.

Bu varsayımlar göz önünde bulundurulduğunda, bir ofis için priz yüklerine ilişkin T uzunluğunda ve n intervalinden oluşan bir zaman periyodu boyunca tüketilen enerji

aşağıdaki denklem ile tahmin edilebilir:

$$PLE = T \sum_{i=1}^{n} PLF_i x Q_e \tag{5.2}$$

Bu eşitlikte "Q_e" ofis alanındaki kurulu elektrikli cihazın etkin gücünü belirtmektedir. Bu model, eğer kullanıcıların bireysel olarak çalışma alanlarındaki varlık durumları ve ilgili priz yükü profilleri biliniyorsa, ofis kullanıcıları için bireysel bazda da kullanılabilir. Bununla birlikte, model bina enerji performansı simülasyon çalışmalarında farklı bina tipleri için genel olarak tahmin edilen ortalama kullanıcı varlık profilini (iş günleri ve haftasonu) baz almak amacıyla sadeleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında incelenen ofis alanı için ve deneysel 2014 verilerinin analizi sonucunda, priz yükleri fraksiyonu (PLF) ile kullanıcıların varlık durumları (PP) arasındaki ilişki Şekil 5.4'te gösterilen regresyon analiziyle değerlendirilmiştir. Tüm kullanıcıların priz yükü fraksiyonları ve varlık olasılıklarını birlikte değerlendiren bu regresyon analizinde, şekilde de görüldüğü üzere, lineer bir doğru elde edilmiştir. Bu lineer doğrunun denkleminden, (5.1) eşitliğine dayanarak a ve b katsayıları için elde edilen değerler aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir:

$$PLF = 0.53PP + 0.09 \tag{5.3}$$

Bu eşitlikte ifade edildiği üzere, tüm kullanıcılar için, Priz yükü "PLF" (gerçek priz yüklerinin kurulu priz yüklerine oranı), kullanıcıların çalışma alanlarındaki varlık olasılığı "PP" nin bir fonksiyonu olarak tahmin edilebilir.

5.5 Olasılık Yöntemi

Bir doktora tezi çalışmasında [102], priz yüklerini tahmin etmek amacıyla olasılıksal bir yaklaşım ile, kullanıcıların çalışma alanlarında bulunduğu veya bir saatten daha kısa aralarla bulunmadıkları süreler boyunca; bir saatten daha uzun bulunmadıkları süreler sırasındaki ve çalışma saatleri dışındaki priz yükü fraksiyonlarını karakterize etmek için üç belirli Weibull dağılımını kullanan olasılıksal bir priz yükü modeli oluşturulmuştur. Bu olasılıksal modelde, priz yükü fraksiyonları, varlık durumu bu üç olasılıklardan biri olduğunda, tersine dönüşüm örnekleme yöntemiyle rastgele seçilir. Böylelikle, sadeleştirilmiş modele benzer şekilde, elektrik enerjisi kullanımı aynı (5.2) eşitliği ile hesaplanabilmektedir. Olasılıksal yaklaşım, yük dalgalanmalarının olasılıksal niteliğini benzetmeyi amaçlar. Bu amaçla, ofis kullanıcılarının yüksek

çözünürlüklü (deneysel tabanlı veya olasılıksal olarak üretilen) zaman serisi kullanılmaktadır.

Weibull dağılımlarının değişkenlerini elde etmek için, sadeleştirilmiş modelde olduğu gibi, seçilen ofis alanındaki 2014 yılına ait kullanıcı varlık durumları ve priz yüklerine ait izlenen veriler kullanılmıştır. Bu verilerden yararlanırken, maksimum benzerlik tahmin yöntemi uygulanmıştır.

Olasılıksal model oluşturulurken, deneysel dağılım fonksiyonları yerine, en uygun Weibull dağılımları kullanılmıştır. Bu sayede model, kullanıcı varlık durumları ve elektronik cihaz kullanımı izlem verilerine bağlı olmadan da kullanılabilir ve test edilebilir.

Bu modelin kullanılması için, her bir zaman aralığında kullanıcıların varlık durumlarının (var veya yok) bilgisi sağlanmalıdır. Bu bağlamda, tüm çalışma süresi boyunca yüksek çözünürlüklü izlenen verilerin kullanımı (A) ve varlık durumları hakkında sınırlı bilgiye dayanan tekrar etmeyen günlük kullanıcı varlığı profilleri oluşturmak için olasılıksal bir modelin kullanılması (B) olarak iki senaryo belirlenmiştir.

İlk senaryo, modelin potansiyelini göstermek için ideal bir durumu temsil etmektedir. İkinci senaryo ise görece daha basit girdi bilgisini, yani gözleme dayalı veya standartlarda yer alan çeşitlilik profillerini kullanabilen bir takım olasılıksal varlık durumu modellerini ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla, bir araştırmada [22] geliştirilen olasılıksal varlık modeli kullanılmıştır. Bu model varlık olasılığının bir profilini ve durum değişimi olasılığının durum sürekliliği olasılığına oranı olarak tanımlanan mobilitenin ortalama parametresini (μ) kullanmaktadır. Ayrıca sadeleştirilmiş modelin uygulanmasına benzer şekilde, olasılıksal model hafta içi ve hafta sonları için ortalama kullanıcı varlığı profilleriyle oluşturulmuştur. Modelin kendisinin - potansiyel olarak oldukça etkili - mobilite faktörü için varsayılan değerler içermediğine dikkat edilmelidir. Olasılıksal yöntemin tahmin performansına ilişkin sonuçları araştırma amacıyla, mobilite faktörü için iki değer 0.5 ve 0.1 olarak belirlenmiştir. Bunun sonucunda, B1 ve B2 senaryoları ortaya çıkmıştır. Bu değerler, kullanıcıların varlık durumları üzerine yapılan önceki modelleme çalışmalarındaki deneyimlere dayanarak seçilmiştir. Teorik olarak, kullanıcıların izlenen varlık durumu verilerine dayanarak da bu parametre değerleri hesaplanabilirdi. Ancak sadeleştirilmiş ve olasılıksal modellerdeki asıl amaç, kullanıcıların varlık profilleri hakkında sınırlı bilgi olduğu durumlar için bir model geliştirebilmektir.

5.6 Önerilen Priz Yüklerinin İlgili Standartlardaki Değerlerle Karşılaştırılması

Genel olarak binalarda enerji performansı ile ilgili uluslararası standartların birçoğu elektronik cihazların priz yüklerini ayrıca ele almak yerine, aydınlatma donanımlarıyla birlikte değerlendirmektedir. Bundan dolayı standartlarda yer alan bu değerlerle karşılaştırma yapmak her zaman mümkün olamamaktadır. Örneğin, Türkiye'de uygulanan Bina Enerji Performansı Yönetmeliği'nde genellikle ısıtma ve soğutma sistemlerinin verimi ile ısı yalıtımı üzerine yoğunlaşılmış, elektrik enerjisinin verimli kullanımı, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma konuları çerçevesinde ele alınmış, elektronik cihaz kaynaklı elektrik enerjisi kullanımı göz ardı edilmiştir. Binanın minimum enerji gereksinimi, enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içeren enerji kimlik belgesini (EKB) düzenlemek için kullanılan yazılım programı BEP-TR'de elektronik cihazlara bağlı priz yükleri ile ilgili veri girişi bölümü bulunmamaktadır. Dolayısıyla, Enerji Kimlik Belgesi'nde de (EKB) binanın enerji tipine göre yıllık tüketimler kısmında, ısıtma, sıhhi sıcak su, soğutma, havalandırma ve aydınlatma bölümleri yer alırken, elektronik cihazlardan kaynaklı priz yükleri ayrıca belirtilmemiştir [43, 103].

Binalarda enerji verimliliği konusunda en çok bilinen kaynaklarından biri CIBSE Kılavuz F'tir. Bu kılavuzun 2. yayınına göre, kurulu yükler için 15W/m^2 değeri, en yoğun kullanımlar hariç her durum için yeterlidir [104]. Aynı kılavuzun 3. yayınında ise çoğu ofis binaları için, çeşitlilik dikkate alındığında 15W/m^2, genel durumlar için ise 25W/m^2'lik kurulu yükün yeterli olduğu belirtilmiştir. Aynı 15W/m^2 değeri, BSRIA tarafından genel ofislerdeki tipik küçük güç yükü olarak da yayınlanmıştır [105]. BCO tarafından 2009 yılında yayınlanan gerçek enerji tüketimi verilerinde, tipik ofis binalarının üçte birinde 15W/m^2'den daha yüksek kurulu yükler gözlemlenmiştir [69]. Enerji Tüketim Kılavuzu (ECO 19)'nda ise, 10 ila 18 W/m^2 arasında değişen priz yükü güç yoğunluğu değerleri yer alır. Günümüzde kullanılan bina enerji modellemesi uygulamaları incelendiğinde, elektronik donanım seçimi, elektronik cihazların güç yükü yoğunluklarına dayanılarak, dolaylı yansıtıldığı görülmektedir. Modelleme kılavuzları ofis binalarında elektronik donanım yükü yoğunluğu için çok geniş bir aralık önermektedir. Örneğin, DOE'nin referans ofis binası modeli için 10.76 W/m^2'lik priz yükü yoğunluğunu verilirken, bina enerji performans simülasyon aracı eQUEST 16.1 W/m2'yi önermektedir [6, 77]. Bina enerji modellerinde yaygın olarak kullanılan ASHRAE'nin 2009 yılı kılavuzunda [106] ofis binalarında priz gücü yoğunluğu için 10.8 W/m^2 değeri yer alırken, 2013 yılında yayınlanan ASHRAE 90.1–2013 Performans Derecelendirme Yöntemi'nde ise [77], bu değer 8.1 W/m^2'e azaltılmıştır. ASHRAE Kılavuz Esasları'nda [107], 5.4 ile 21.5 W/m2 arasında değişen dört farklı priz yükü güç yoğunluğu belirtilmiştir.

Literatürde yer alan bazı priz yükü güç kapasiteleri Tablo 5.1'de listelenmiştir. Orijinal kaynaklarda W/ft^2 olarak yer alan birimler W/m^2'ye dönüştürülmüştür. Wilkins ve Hosni'nin priz yükü tasarım faktörleri çalışmasında [20] ofis binaları için, çok yoğun bir elektronik cihaz kullanımının ve çeşitliliğin olmadığı varsayımıyla, maksimum priz yükünün ASHRAE (2009) tarafından önerilen 10.8 W/m^2'den daha düşük olduğu, aşırı kullanım olan durumlarda ise 21.5 W/m^2'ye kadar çıkabileceği belirtilmiştir. Ayrıca tabloda yer alan Ashrae'nin Tablo 5.1'de listelenen literatürdeki priz yükü yoğunluğu değerleri göz önünde bulundurulduğunda, tez çalışmasında ölçüm verilerinden elde edilen priz yükü yoğunluğunun hem değer aralığı hem de ortalama değeri tabloda yer alan literatür değerlerinin oldukça altında kalmaktadır. Ancak, tez çalışmasında elde edilen ölçüm verilerine en yakın değerin, Ashrae'nin 2013 yılı standardında önerdiği priz yükü güç yoğunluğu 8.1 W/m^2 değeri olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1 Literatürde bildirilen ve önerilen ofis için priz yükleri ile tez çalışmasında elde edilen priz yükü yoğunluğunun karşılaştırılması

Referans Çalışma	**Yıl**	**Priz Yükü Güç Yoğunluğu [W/m^2]**
NRDC	2011	80.7 (istenen minimum kapasite)
GSA	2011	43 (istenen minimum kapasite)
Haun, GSA	2013	43 (istenen minimum kapasite)
eQUEST	2013	16.1
DOE	2013	10.76
Metzger et al.	2011	9.7 (ortalama yoğunluk)
ASHRAE	2009	10.8 (minimum kapasite)
ASHRAE	2013	8.1
Wilkins & Hosni	2011	2.7-21.5 (minimum kapasite)
Tez çalışması	**2014**	**1-7 (ortalama değer 3)**

Tablo 5.2, tahmini kurulu cihaz gücüyle birlikte 2014 yılında izlenen ve iş günlerini kapsayan, kullanıcı ve çalışma alanına ilişkin yıllık priz yüklerinin bir özetini göstermektedir. U4 olarak adlandırılan kullanıcı için, masaüstü aydınlatma elemanına bağlı enerji tüketimi kullanıcı ve çalışma alanına ilişkin priz yüklerine dahil edildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Seçilen ofis alanlarındaki izlenen priz yüklerinin, maksimum ve minimum değerler hariç, yaklaşık olarak 16 ila 48 W/kişi (ortalama = 22 W/kişi) arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Bu değerler, çalışma alanlarına ilişkin terimlerle, 1 ile 7 W/m^2 arasındaki yük aralığına denk gelmektedir (ortalama değer = 3 W/m^2).

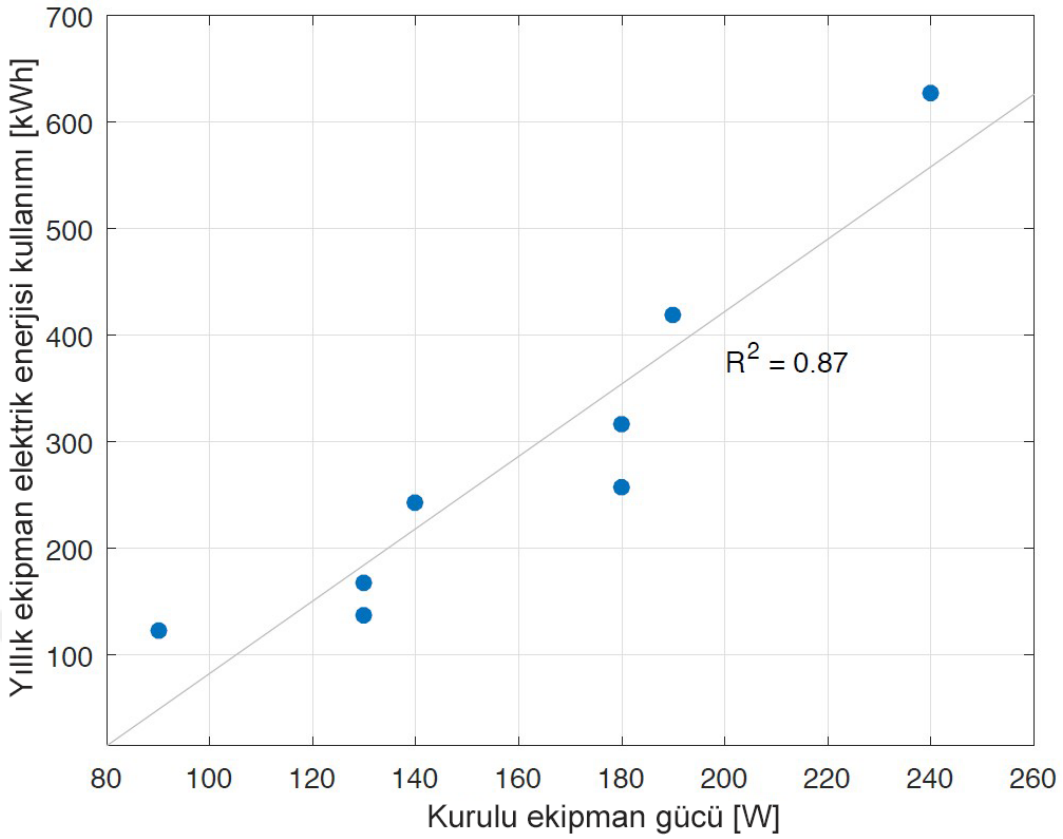
Tablo 5.2 2014 verilerine dayanarak oluşturulan, kullanıcılar ve çalışma alanlarıyla ilgili priz yükleri (yıllık ortalamalar, iş günleri) tablosu

Kullanıcılar	**Kurulu Ekipman Gücü [W]**	**Kullanıcıların İlgili Priz Yükleri [W]**	**Çalışma Alanları [m^2]**	**Alanla İlgili Priz Yükleri [W/m^2]**
U1	130	19.1	8.6	2.2
U2	140	27.7	8.5	3.3
U3	190	47.9	6.9	6.9
U4	240	71.6	6.9	10.4
U5	180	29.3	12.1	2.4
U6	180	36.1	19.0	1.9
U7	90	14.0	34.1	0.4
U8	130	15.7	17.0	0.9

5.7 Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi ve Kurulu Güç

Her bir kullanıcının kurulu cihaz gücü (W cinsinden) ile yıllık elektrikli cihaz kaynaklı enerji tüketimleri (kWh cinsinden) arasında dikkate değer bir ilişki olduğu Şekil 5.6 'da görülmektedir. Buna dayanarak, ofis kullanıcılarının varlık modelleri ile kurulu elektrikli cihaz güçleri bilinirse, elektrikli cihazların hem zamana bağlı hem de yıllık enerji tüketimlerini öngörmek mümkün olabilir. Böylece kullanıcıların varlık modelleri ve kurulu cihaz güçleriyle ilgili temel varsayımlar göz önüne alındığında, ortaya çıkan elektrik enerjisi kullanımı 5.1 eşitliği kullanılarak doğru tahmin edilebilir ve enerji modellemeleri açısından kullanışlı bir araç olabilir.

Kullanıcıların metabolik ısıları ve ofiste yer alan elektronik cihazlardan kaynaklanan ısı, kış mevsimi boyunca binanın ısıtma talebine katkıda bulunur. Ancak, yaz mevsiminde soğutma cihazları tarafından karşılanması gereken büyük bir soğutma yükü vardır [17, 21]. Bunun dışında, tez çalışması kapsamında incelenen kullanıcıların ofisteki varlık durumları ile elektronik cihazlara bağlı priz yükleri arasındaki korelasyonun mevsimsel durumlarla ilişkisi tespit edilmemiştir. Bu yüzden, bu korelasyon tüm yılın verileri analiz edilerek irdelenmiştir.



Şekil 5.6 Yıllık elektrikli cihaz kaynaklı elektrik enerjisi kullanımı ile kurulu cihaz gücü arasındaki ilişki

6
Değerlendirme

6.1 Sadeleştirilmiş Modelin Doğrulanması

Daha önce de belirtildiği gibi, bu tez çalışması kapsamındaki analizlerin temeli deneysel olduğu ve önerilen yöntem, belirli bir ofis alanı ve az sayıda kişi için geçerli olduğu için sınırlıdır. Bununla birlikte, sadeleştirilmiş modelin geliştirilmesi için kullanılan veriler, izlem süresi ve tüm yıl verilerinin 15 dakikalık aralıklarla incelenmesi açısından kapsamlıdır. Dolayısıyla, bu model tüm ofis binalarına uygulandığında önerilen yaklaşımın sağlamlığı değerlendirilemez. Ancak modelin deneysel temelindeki izlem verilerinden tamamen ayrı bir zaman dilimindeki izlem verileri uygulandığında modelin geçerliliğini incelemek mümkündür. Bu amaçla, modelin sonuçları 2014 yılındaki modelin ampirik izlem verileriyle birlikte, 2013 ve 2015 yıllarına ait tamamen ayrı iki veri seti ile karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra, modelin performansını enerji modellemelerinde daha bilinen bir çerçevede ortaya koymak için, ASHRAE 90.1 standardında ofis binaları için belirtilen priz yükü profilleri kullanılarak elektrik enerjisi tüketimi tahminleri elde edilmiştir.

Tablo 6.1, seçilen ofis alanlarında sensörlerle izlenen 2014, 2013 ve 2015 yıllarına ait elektronik cihaz kaynaklı en yüksek elektrik enerjisi tüketimi ile toplam elektrik enerjisi tüketimini, ölçümlere göre tahminlerin bağıl hatalarıyla (RE) birlikte özetlemektedir.

Tablo 6.1 Sadeleştirilmiş priz yükü modeli tahminleri ile 2013-2015 yıllarına ait kaydedilen priz yükleri kaynaklı elektrik enerjisi kullanımının istatistiksel olarak karşılaştırılması [98]

Model	Zaman Aralığı Dönemi	Zaman Aralığı Dönemi Top.		Zaman Aralığı Dönemi Maks.		Dağılım	Zaman Aralığı Değerleri		
		Değer [kWh]	RE %	Değer [W]	RE %	JSD [-]	MBE [W]	RMSE [W]	NRMSE [%]
Ölçülen	2014	2289.7	-	1190.9	-	-	-	-	-
Sadeleştirilmiş Model	2014	1960.4	-14.4	510.3	-57.2	0.44	-37.6	162.8	14.4
Ölçülen	2013	1978.0	-	1157.8	-	-	-	-	-
Sadeleştirilmiş Model	2013	1958.1	-1.0	513.5	-55.6	0.51	-2.3	129.3	12.0
Ölçülen	2015	1801.5	-	1058.4	-	-	-	-	-
Sadeleştirilmiş Model	2015	1863.1	3.4	503.6	-52.4	0.42	7.0	138.1	13.7
ASHRAE 90.1 priz yükü profilleri	-	3724.0	106.7	1152.0	8.8	0.40	219.5	415.2	41.1

Bunun yanı sıra, öngörülen ve izlenen priz yüklerinin dağılımını karşılaştırmak için Jensen-Shannon mesafesi metriği (6.1-6.3) kullanılmıştır [108]. Bu metrik, iki olasılık dağılımı arasındaki mesafeleri hesaplamak için kullanılır ve 0 ile ln(2) arasında sınırlandırılır. İki olasılık dağılımında P ve Q, Jensen-Shannon mesafesi (JSD) ve Kullback – Leibler mesafesine (KLD) dayanarak aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanır:

$$M = \frac{1}{2}(P + Q) \tag{6.1}$$

$$KLD(P,Q) = \sum_i P(i) \ln \frac{P(i)}{Q(i)} \tag{6.2}$$

olduğu yerde,

$$JSD(P,Q) = \frac{1}{2} KLD(P,M) + \frac{1}{2} KLD(Q,M) \tag{6.3}$$

Ayrıca, izlenen priz yüklerine bağlı enerji tüketiminin her bir intervalde karşılaştırması için kullanılan istatiksel göstergeler, Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE), Normalize Kök Ortalama Kare Hata (NRMSE) ve Ortalama Eğilim Hatası (MBE) değerleri Tablo 6.1'de gösterilmiştir. Buna ek olarak, bu istatiksel göstergelerin değerlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler aşağıda [109] belirtilmiştir. Bu eşitliklerdeki "y" değeri priz yükünü ifade eder. Normalize Kök Ortalama Kare Hata (NRMSE) için ifade edilen eşitlikte $y_{\max}$ ve $y_{\min}$ değerleri ölçülen priz yükü değerleridir.

$$RE = 100x\frac{y_{tahmin} - y_{\text{ölçülen}}}{y_{\text{ölçülen}}} \tag{6.4}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum(y_{tahmin} - y_{\text{ölçülen}})^2} \tag{6.5}$$

$$NRMSE = 100x\frac{RMSE}{y_{\max} - y_{\min}} \tag{6.6}$$

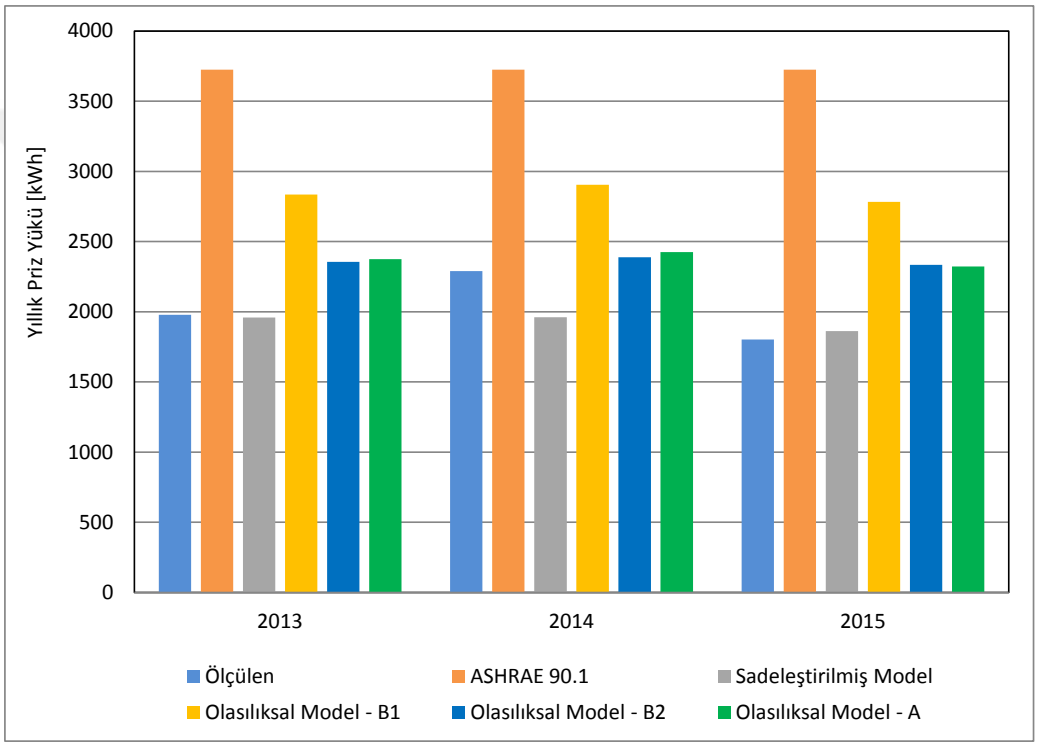
$$MBE = \frac{1}{N}\sum(y_{tahmin} - y_{\text{ölçülen}}) \tag{6.7}$$

Sonuçlar değerlendirildiğinde, bu tez çalışmasında seçilen ofis alanı için önerilen sadeleştirilmiş modelin, kurulu elektronik cihaz gücü ve kullanıcı varlık profilleri hakkında güvenilir bilginin olduğu dikkate alınarak, ofisteki elektronik cihazlar için yıllık elektrik enerjisi kullanımı tahminlerinin iyi olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, model 2014 verilerine dayanarak geliştirilmesine rağmen, modelin tahminlerinin 2013 ve 2015 yılları için daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak, maksimum priz yükleri ve çalışma süresi tahminlerinin dağılımına bakıldığında, model ortalama referans gün kullanıcı varlığı oranlarına ve priz yükü profillerine dayandığından, nispeten büyük hatalar vermektedir.

Önerilen sadeleştirilmiş model, yıllık elektrik enerjisi kullanımı ve priz yüklerinin zaman aralığı tahminleri bakımından, ASHRAE 90.1 standardında belirtilen priz yükü profilleri kullanımına nazaran, çok daha iyi performans göstermektedir. Ancak incelenen ofis için, ASHRAE 90.1 listelerinin yıllık değerde % 106.7'lik bir bağıl hata ile olduğundan çok daha fazla tahmin edilmesi, yüksek maksimum değerlerinin daha iyi tahmin edilmesiyle sonuçlanır.

6.2 Sadeleştirilmiş Model ile Olasılıksal Modelin Performans Karşılaştırması

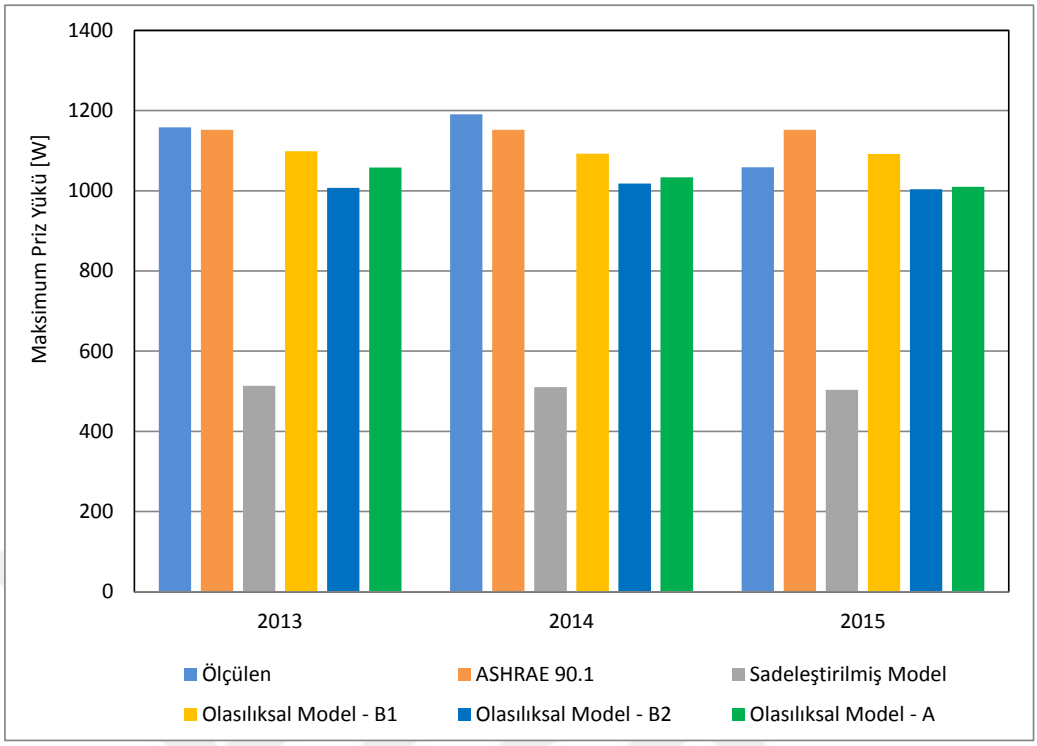
Sadeleştirilmiş yöntem, priz yüklerinden kaynaklanan yıllık enerji tüketimi ile ilgili oldukça uygun tahminler sağlamıştır. Şekil 6.1'deki grafikte yıllık priz yükü için ölçülen yükler, sadeleştirilmiş model, olasılıksal modelin senaryoları ve Ashrae 90.1 standardı tahminleri karşılaştırılmıştır. 2013 ve 2015 yıllarına ait verilerle sağlama yapıldığında, sadeleştirilmiş model bu açıdan olasılık modellerine kıyasla daha iyi sonuç vermiştir.



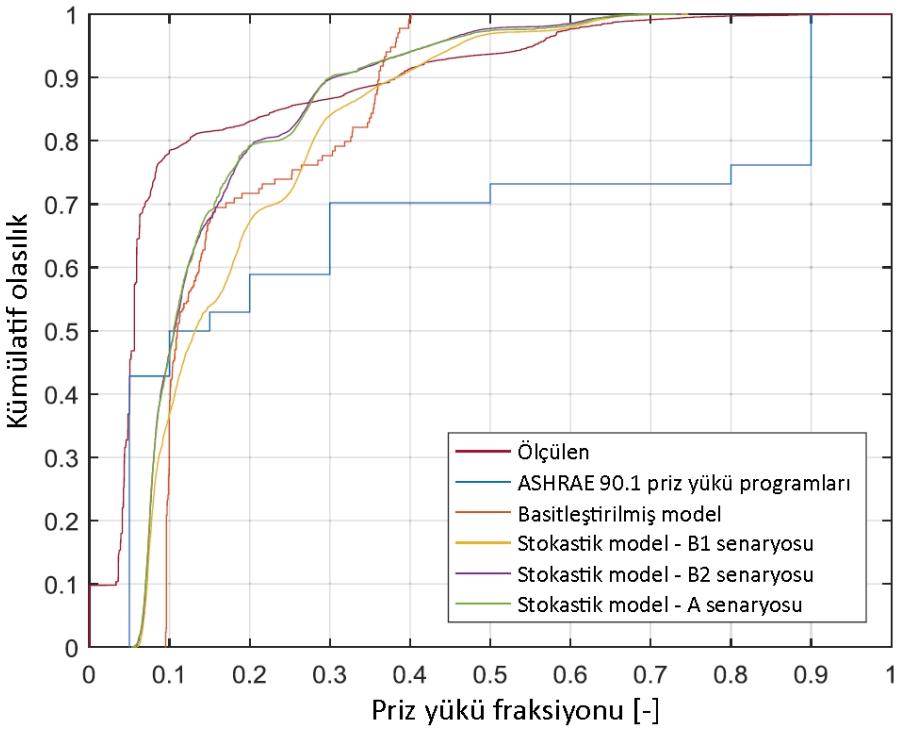
Şekil 6.1 İzlenen değerlerle birlikte farklı model yaklaşımlarından elde edilen yıllık priz yükü [98]

Bununla birlikte, Şekil 6.2'de görüldüğü üzere uygulanan değişkenlerden bağımsız olarak, olasılıksal priz yükü modeli, maksimum priz yükü bakımından sadeleştirilmiş modelden daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca Şekil 6.3'te olasılıksal modelin, tahminlerin dağılımı olarak da sadeleştirilmiş modelden daha iyi sonuç verdiği açıkça görülmektedir.

Priz yüklerinin zaman aralığıyla ilgili olarak, aynı veri bilgisine sahip olan olasılıksal modelin B1 ve B2 senaryoları ile sadeleştirilmiş model karşılaştırıldığında, sadeleştirilmiş modelin daha iyi bir performans ortaya çıkardığı söylenebilir.



Şekil 6.2 İzlenen değerlerle birlikte farklı model yaklaşımlarından elde edilen maksimum priz yükü [98]



Şekil 6.3 2013 yılı için farklı modelleme senaryolarından elde edilen priz yükü fraksiyonunun izlenen ilgili değerlerle birlikte kümülatif dağılımı [98]

7
Sonuç ve Öneriler

Bina kullanıcılarının binalardaki varlıkları ve davranışları hakkında daha kapsamlı bilgi edinilmesi, enerji kullanımına ilişkin simülasyon bazında daha iyi tahminler sağlayabilir ve yapı tasarımı ile yapının işletme sürecini iyileştirebilir.

Bu tez çalışması priz yükleri ile ilgili olarak; kullanıcıların varlığı, ilgili kurulu ekipman gücü ve ortaya çıkan elektrik enerjisi kullanımı arasında potansiyel olarak faydalı bir ilişkiye işaret etmektedir. Bu ilişki kullanılarak, ofis ekipmanlarının çalışmasından dolayı binalarda elektrik enerjisi kullanımının tahmini için sadeleştirilmiş olasılıksal olmayan bir yöntem önerilmiştir ve test edilmiştir. Ayrıca doktora tezi [102] kapsamında önerilen olasılıksal yöntem ve Ashrae 90.1 standardının tahminleri ile sadeleştirilmiş yöntemin performans karşılaştırması yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında, ofis binalarındaki priz yükleriyle ilgili belirlenen araştırma sorularını irdelemek için gerçek izlem sonuçları kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, seçilen ofisteki gözlemlenen priz yüklerinin, simülasyonlarda kullanılan veriler ve enerji standartlarında yer alan genel varsayımlar ile uyuşmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, kullanıcıların çalışma alanlarındaki varlık oranları ve priz yükü gereksinimleri, ofis kullanıcıları arasında bireysel bazda büyük ölçüde farklılık göstermektedir.

Ayrıca bu sonuçlar, kullanıcıların varlık oranları, kendilerine ilişkin elektronik cihaz gücü ve ortaya çıkan elektrik enerjisi kullanımı arasında ilginç ve faydalı olabilecek bir ilişkiyi vurgulamaktadır. Tez çalışmasında, bu ilişkinin potansiyeli kullanılarak, ofisteki elektronik cihazların çalışmasından kaynaklanan binalarda elektrik enerjisi kullanımının tahminleri oluşturulmuştur.

Bu tez çalışmasının asıl amacı ofislerdeki priz yükleri için tahmin yöntemlerinin genel yapısını kavramak ve uygulamaktır. Sadeleştirilmiş yöntem ile ofislerde priz yüklerini öngörme bakımından umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Bu bağlamda, sadeleştirilmiş modelin tahminleri, yıllık enerji kullanım değerlerine daha yakın

gözükmektedir. Ancak, doktora tez çalışmasında geliştirilen olasılık modelleri [102] maksimum priz yükü tahmininde ve zamana bağlı (interval) veri dağılımlarının benzetiminde daha iyi performans göstermiştir.

Daha önce de belirtildiği üzere, bu tez çalışması bir ofis alanından elde edilen sınırlı deneysel verilere dayandırılmıştır. Bu yüzden, önerilen tahmin yönteminin matematiksel formülünün hem tutarlı hem de umut verici olmasına rağmen genel olarak uygulanması önerilmemektedir. Bu yöntemin uygulanabilir olması için, örneğin dahil edilen farklı katsayıların ve parametrelerin değerlerine ilişkin uygun ayarlama ve kalibrasyon önlemleri gerekmektedir.

Bu alanda devam eden ve gelecekteki daha kapsamlı araştırmaların daha geniş bir deneysel temel kullanması beklenmektedir. Böylece, yüksek çözünürlüklü bina performans modellemesi ve enerji simülasyonu uygulamalarına dahil edilebilecek daha kapsayıcı model yinelemeleri geliştirilebilir. Daha geniş kapsamlı bir örnekleme ile, farklı kullanıcı kapasiteli ofis yapıları veya diğer bina tipleri için deneysel çalışmalar yapılarak, farklı katsayı ve parametrelerle farklı model önerileri oluşturulabilir.

Günümüzde hızla gelişen teknoloji ile birlikte, özellikle ofis binalarında elektronik cihaz kullanımı giderek artmaktadır. Buna rağmen, bina enerji performansı çalışmaları ve modellemelerinin ağırlıklı olarak HVAC ve aydınlatma için kullanılan enerjiye odaklanması göz önünde bulundurulduğunda, geliştirilen bu sadeleştirilmiş model, bina enerji simülasyonlarına doğru veri girilebilmesi ve binalarda enerji verimliliği açısından önemli ve geliştirilmeye açık bir çalışmadır. Ayrıca kullanıcı varlığının enerji tüketimine etkisinin önemini, elektronik cihazlardan kaynaklı elektrik enerjisi kullanımı üzerinden vurgulamaktadır. Bunun yanı sıra, bu çalışmanın enerji simülasyonlarının güvenilirliğinin artmasına sağladığı katkı doğrultusunda, priz yükü kapasitelerinin gerçekçi belirlenmesi ve bunun sonucunda, seçilen soğutma cihazları gibi cihazların verimliliklerinin artması sağlanabilecektir. Böylece, bina enerji performansının iyileştirilmesi beklenmektedir.

Bu tez çalışması; priz yükleri ile ilgili olarak; kullanıcıların varlığı, ilgili kurulu ekipman gücü ve ortaya çıkan elektrik enerjisi kullanımı arasında potansiyel olarak faydalı bir ilişkiye işaret etmektedir. Tez yazarının, Ekim 2014 - Haziran 2015 tarihleri arası Erasmus kapsamında, Haziran 2016'ya kadar Viyana Teknik Üniversitesi Yapı Fiziği ve Yapı Ekolojisi Bölümü'nde, eş danışmanı Prof. Dr. Ardeshir Mahdavi yürütücülüğünde sürdürdüğü ofis binasında kullanıcıların varlık modelleri ile priz yükleri arasındaki ilişkiyi araştıran tez çalışması çerçevesinde oluşturulan bu ilişki kullanılarak, ofis ekipmanlarının çalışmasından dolayı binalarda elektrik enerjisi

kullanımının tahmini için sadeleştirilmiş olasılıksal olmayan bir yöntem önerilmiştir ve test edilmiştir. Ayrıca doktora tezi [101] kapsamında önerilen olasılıksal yöntem ve Ashrae 90.1 standardının tahminleri ile sadeleştirilmiş yöntemin performans karşılaştırması yapılmıştır.

A
Veri Analizleri

Tablo A.1'de örnek bir gün için gösterilen bir kullanıcının varlık durumu verileri ve Tablo A.2'de örnek bir gün için gösterilen bir kullanıcıya ilişkin priz yükü verileri, tüm kullanıcılar ve bir yılın tüm çalışma günleri için aynı şekilde, 15'er dakikalık zaman aralıklarıyla analiz edilmiştir. Analiz sonucunda bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için elde edilen, kullanıcıların varlık olasılıkları Tablo A.3 ve kullanıcılara ilişkin priz yükü fraksiyonları A.4'te yer almaktadır. Tez çalışmasının 3. bölümünde yer alan sekiz kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için, varlık olasılığı (Şekil 3.1) ve priz yükleri fraksiyonu (Şekil 3.2) grafikleri sırasıyla Tablo A.3 ve Tablo A.4'teki verilerle oluşturulmuştur.

Ayrıca; Tablo A.3 ve Tablo A.4'teki verilerin bir kullanıcı (U7), her bir kullanıcı ve sekiz kullanıcı için regresyon analizleri yapılarak, tez çalışmasının 3. bölümünde yer alan sırasıyla Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 grafikleri oluşturulmuştur. Bu regresyon analizleri, tez çalışması kapsamında incelenen ofisteki kullanıcıların varlık durumları ile priz yükü fraksiyonları arasındaki korelasyonları ortaya koymaktadır.

Tez çalışmasının 3. bölümündeki Şekil 3.6'da yer alan grafik Tablo A.5'teki verilerle oluşturulmuştur.

Tablo A.1 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki varlık durumu verileri

Tarih / Saat	Saat Dilimleri																						
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**
7.1.2014 / 00:00	0																							
7.1.2014 / 00:15	0																							
7.1.2014 / 00:30	0																							
7.1.2014 / 00:45	0																							
7.1.2014 / 01:00		0																						
7.1.2014 / 01:15		0																						
7.1.2014 / 01:30		0																						
7.1.2014 / 01:45		0																						
7.1.2014 / 02:00			0																					
7.1.2014 / 02:15			0																					
7.1.2014 / 02:30			0																					
7.1.2014 / 02:45			0																					
7.1.2014 / 03:00				0																				
7.1.2014 / 03:15				0																				
7.1.2014 / 03:30				0																				
7.1.2014 / 03:45				0																				
7.1.2014 / 04:00					0																			
7.1.2014 / 04:15					0																			
7.1.2014 / 04:30					0																			
7.1.2014 / 04:45					0																			
7.1.2014 / 05:00						0																		
7.1.2014 / 05:15						0																		
7.1.2014 / 05:30						0																		
7.1.2014 / 05:45						0																		

Tablo A.1 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki varlık durumu verileri (Devamı)

Tarih / Saat	Saat Dilimleri																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7.1.2014 / 06:00							0																	
7.1.2014 / 06:15							0																	
7.1.2014 / 06:30							0																	
7.1.2014 / 06:45							0																	
7.1.2014 / 07:00								0																
7.1.2014 / 07:15								0																
7.1.2014 / 07:30								0																
7.1.2014 / 07:45								0																
7.1.2014 / 08:00									0															
7.1.2014 / 08:15									0															
7.1.2014 / 08:30									0															
7.1.2014 / 08:45									0															
7.1.2014 / 09:00										0														
7.1.2014 / 09:15										0														
7.1.2014 / 09:30										0														
7.1.2014 / 09:45										1														
7.1.2014 / 10:00											1													
7.1.2014 / 10:15											1													
7.1.2014 / 10:30											1													
7.1.2014 / 10:45											1													
7.1.2014 / 11:00												1												
7.1.2014 / 11:15												1												
7.1.2014 / 11:30												0												
7.1.2014 / 11:45												1												

Tablo A.1 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki varlık durumu verileri (Devamı)

Tarih / Saat	Saat Dilimleri																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7.1.2014 / 12:00													1											
7.1.2014 / 12:15													0											
7.1.2014 / 12:30													0											
7.1.2014 / 12:45													0											
7.1.2014 / 13:00														0										
7.1.2014 / 13:15														0										
7.1.2014 / 13:30														1										
7.1.2014 / 13:45														1										
7.1.2014 / 14:00															1									
7.1.2014 / 14:15															1									
7.1.2014 / 14:30															0									
7.1.2014 / 14:45															0									
7.1.2014 / 15:00																0								
7.1.2014 / 15:15																0								
7.1.2014 / 15:30																0								
7.1.2014 / 15:45																0								
7.1.2014 / 16:00																	1							
7.1.2014 / 16:15																	1							
7.1.2014 / 16:30																	0							
7.1.2014 / 16:45																	1							
7.1.2014 / 17:00																		1						
7.1.2014 / 17:15																		1						
7.1.2014 / 17:30																		1						
7.1.2014 / 17:45																		0						

Tablo A.1 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki varlık durumu verileri (Devamı)

Tarih / Saat	Saat Dilimleri																							
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**
7.1.2014 / 18:00																			0					
7.1.2014 / 18:15																			0					
7.1.2014 / 18:30																			0					
7.1.2014 / 18:45																			0					
7.1.2014 / 19:00																				0				
7.1.2014 / 19:15																				0				
7.1.2014 / 19:30																				0				
7.1.2014 / 19:45																				0				
7.1.2014 / 20:00																					0			
7.1.2014 / 20:15																					0			
7.1.2014 / 20:30																					0			
7.1.2014 / 20:45																					0			
7.1.2014 / 21:00																						0		
7.1.2014 / 21:15																						0		
7.1.2014 / 21:30																						0		
7.1.2014 / 21:45																						0		
7.1.2014 / 22:00																							0	
7.1.2014 / 22:15																							0	
7.1.2014 / 22:30																							0	
7.1.2014 / 22:45																							0	
7.1.2014 / 23:00																								0
7.1.2014 / 23:15																								0
7.1.2014 / 23:30																								0
7.1.2014 / 23:45																								0
Kullanıcı varlığı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	1	1	2	2	0	3	3	0	0	0	0	0	0
Varlık olasılığı [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	100	25	25	50	50	0	75	75	0	0	0	0	0	0

Tablo A.2 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki priz yükleri verileri

Tarih / Saat	Saat Dilimleri																						
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**
7.1.2014 / 00:00	0																							
7.1.2014 / 00:15	0																							
7.1.2014 / 00:30	0																							
7.1.2014 / 00:45	0																							
7.1.2014 / 01:00		0																						
7.1.2014 / 01:15		0																						
7.1.2014 / 01:30		0																						
7.1.2014 / 01:45		0																						
7.1.2014 / 02:00			0																					
7.1.2014 / 02:15			0																					
7.1.2014 / 02:30			0																					
7.1.2014 / 02:45			0																					
7.1.2014 / 03:00				0																				
7.1.2014 / 03:15				0																				
7.1.2014 / 03:30				0																				
7.1.2014 / 03:45				0																				
7.1.2014 / 04:00					0																			
7.1.2014 / 04:15					0																			
7.1.2014 / 04:30					0																			
7.1.2014 / 04:45					0																			
7.1.2014 / 05:00						0																		
7.1.2014 / 05:15						0																		
7.1.2014 / 05:30						0																		
7.1.2014 / 05:45						0																		

Tablo A.2 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki priz yükleri verileri (Devamı)

Tarih / Saat	Saat Dilimleri																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7.1.2014 / 06:00							0																	
7.1.2014 / 06:15							0																	
7.1.2014 / 06:30							0																	
7.1.2014 / 06:45							0																	
7.1.2014 / 07:00								0																
7.1.2014 / 07:15								0																
7.1.2014 / 07:30								0																
7.1.2014 / 07:45								0																
7.1.2014 / 08:00									0															
7.1.2014 / 08:15									0															
7.1.2014 / 08:30									0															
7.1.2014 / 08:45									0															
7.1.2014 / 09:00										0														
7.1.2014 / 09:15										0														
7.1.2014 / 09:30										33,15														
7.1.2014 / 09:45										75,38														
7.1.2014 / 10:00											74													
7.1.2014 / 10:15											74													
7.1.2014 / 10:30											74													
7.1.2014 / 10:45											74													
7.1.2014 / 11:00												74												
7.1.2014 / 11:15												74												
7.1.2014 / 11:30												74												
7.1.2014 / 11:45												74												

Tablo A.2 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki priz yükleri verileri (Devamı)

Tarih / Saat	Saat Dilimleri																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7.1.2014 / 12:00													74											
7.1.2014 / 12:15													55,73											
7.1.2014 / 12:30													35,53											
7.1.2014 / 12:45													32											
7.1.2014 / 13:00														68,17										
7.1.2014 / 13:15														76										
7.1.2014 / 13:30														76										
7.1.2014 / 13:45														76										
7.1.2014 / 14:00															76									
7.1.2014 / 14:15															76									
7.1.2014 / 14:30															76									
7.1.2014 / 14:45															73,03									
7.1.2014 / 15:00																71								
7.1.2014 / 15:15																71								
7.1.2014 / 15:30																71								
7.1.2014 / 15:45																71								
7.1.2014 / 16:00																	71							
7.1.2014 / 16:15																	71							
7.1.2014 / 16:30																	71							
7.1.2014 / 16:45																	71							
7.1.2014 / 17:00																		71						
7.1.2014 / 17:15																		71						
7.1.2014 / 17:30																		87,82						
7.1.2014 / 17:45																		95						

Tablo A.2 Bir Kullanıcının örnek bir gündeki priz yükleri verileri (Devamı)

Tarih / Saat	Saat Dilimleri																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7.1.2014 / 18:00																			35,07					
7.1.2014 / 18:15																			0					
7.1.2014 / 18:30																			0					
7.1.2014 / 18:45																			0					
7.1.2014 / 19:00																				0				
7.1.2014 / 19:15																				0				
7.1.2014 / 19:30																				0				
7.1.2014 / 19:45																				0				
7.1.2014 / 20:00																					0			
7.1.2014 / 20:15																					0			
7.1.2014 / 20:30																					0			
7.1.2014 / 20:45																					0			
7.1.2014 / 21:00																						0		
7.1.2014 / 21:15																						0		
7.1.2014 / 21:30																						0		
7.1.2014 / 21:45																						0		
7.1.2014 / 22:00																							0	
7.1.2014 / 22:15																							0	
7.1.2014 / 22:30																							0	
7.1.2014 / 22:45																							0	
7.1.2014 / 23:00																								0
7.1.2014 / 23:15																								0
7.1.2014 / 23:30																								0
7.1.2014 / 23:45																								0

Tablo A.3 Bir kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için varlık olasılığı analizi

Saat Dilimi	Kullanıcılar							
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8
01:00	0,004329	0,004329	0,021645	0,05303	0	0,00974	0	0,004329
02:00	0,004329	0,001082	0,012987	0,025974	0,001082	0,006494	0	0,004329
03:00	0,004329	0,001082	0,007576	0,014069	0	0,008658	0	0,004329
04:00	0,004329	0	0,005411	0,003247	0	0,00974	0	0,004329
05:00	0,004329	0	0,004329	0,004329	0	0,008658	0	0,004329
06:00	0,004329	0	0,004329	0,003247	0	0,008658	0	0,004329
07:00	0,004329	0	0,003247	0,002165	0	0,00974	0	0,004329
08:00	0,005411	0,002165	0,002165	0,00974	0,015152	0,010823	0,002165	0,004329
09:00	0,010823	0,522727	0,029221	0,05303	0,111472	0,025974	0,021645	0,037879
10:00	0,219697	0,727273	0,071429	0,117965	0,243506	0,103896	0,1829	0,25974
11:00	0,636364	0,727273	0,286797	0,337662	0,472944	0,30303	0,440476	0,708874
12:00	0,741342	0,746753	0,504329	0,58658	0,608225	0,435065	0,471861	0,75974
13:00	0,507576	0,551948	0,435065	0,515152	0,505411	0,324675	0,551948	0,492424
14:00	0,648268	0,525974	0,5	0,569264	0,550866	0,38961	0,514069	0,49026
15:00	0,790043	0,754329	0,536797	0,630952	0,658009	0,478355	0,391775	0,616883
16:00	0,7868	0,73377	0,53355	0,66991	0,62987	0,44805	0,38312	0,38961
17:00	0,70022	0,61039	0,49459	0,66234	0,59416	0,37121	0,42316	0,27381
18:00	0,5368	0,2381	0,41883	0,61688	0,46212	0,23701	0,43182	0,10281
19:00	0,26299	0,13961	0,36039	0,56602	0,36797	0,12662	0,39827	0,02489
20:00	0,06385	0,02489	0,22835	0,44156	0,16342	0,05844	0,09091	0,01082
21:00	0,02489	0,01623	0,17641	0,39502	0,0671	0,02273	0,01082	0,01082
22:00	0,00974	0,01948	0,14069	0,34632	0,02706	0,01082	0,00216	0,00866
23:00	0,00541	0,00866	0,10606	0,26515	0,00541	0,0119	0	0,00866
00:00	0,00649	0,00649	0,07684	0,17749	0,00108	0,01299	0	0,01082

Tablo A.4 Bir kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için priz yükü fraksiyonu analizi

Zaman	Kullanıcılar															
	U1		U2		U3		U4		U5		U6		U7		U8	
	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.
01:00	6,54	0,05	10,71	0,08	44,33	0,23	18,03	0,10	38,04	0,16	26,26	0,15	2,87	0,03	11,07	0,09
02:00	6,54	0,05	10,71	0,08	44,01	0,23	17,87	0,10	27,12	0,11	25,98	0,14	2,87	0,03	10,83	0,08
03:00	6,54	0,05	10,71	0,08	43,57	0,23	17,91	0,10	22,72	0,09	25,81	0,14	2,81	0,03	10,75	0,08
04:00	6,54	0,05	10,71	0,08	44,77	0,24	17,85	0,10	20,20	0,08	25,63	0,14	2,72	0,03	10,70	0,08
05:00	6,54	0,05	10,73	0,08	44,03	0,23	17,90	0,10	19,13	0,08	25,15	0,14	2,34	0,03	10,69	0,08
06:00	6,54	0,05	10,73	0,08	44,16	0,23	17,82	0,10	19,17	0,08	24,84	0,14	2,39	0,03	10,69	0,08
07:00	6,54	0,05	10,70	0,08	43,83	0,23	17,89	0,10	19,19	0,08	24,68	0,14	2,42	0,03	10,69	0,08
08:00	6,60	0,05	10,95	0,08	43,46	0,23	19,61	0,11	21,09	0,09	24,69	0,14	2,53	0,03	10,69	0,08
09:00	6,86	0,05	67,96	0,49	43,78	0,23	28,33	0,16	30,48	0,13	25,89	0,14	3,57	0,04	11,04	0,08
10:00	22,11	0,17	91,41	0,65	45,70	0,24	40,62	0,23	48,00	0,20	34,58	0,19	15,72	0,17	22,44	0,17
11:00	52,72	0,41	91,43	0,65	57,05	0,30	58,85	0,33	77,97	0,32	59,66	0,33	30,65	0,34	44,59	0,34
12:00	56,86	0,44	90,73	0,65	66,95	0,35	68,14	0,38	109,87	0,46	76,68	0,43	35,10	0,39	46,86	0,36

Priz yükü fraksiyonu (p.y.frak.), her bir kullanıcı için belirtilen priz yükünün, her kullanıcıya ilişkin kurulu güce bölünmesiyle elde edilmiştir.

Tablo A.4 Bir kullanıcının, bir yılın çalışma günlerini temsil eden bir referans gün için priz yükü fraksiyonu analizi (Devamı)

Zaman	Kullanıcılar															
	U1		U2		U3		U4		U5		U6		U7		U8	
	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.	priz yükü	p.y.frak.
13:00	48,55	0,37	87,35	0,62	68,67	0,36	61,47	0,34	124,11	0,52	82,25	0,46	39,25	0,44	42,31	0,33
14:00	54,69	0,42	84,08	0,60	68,77	0,36	54,42	0,30	123,46	0,51	88,53	0,49	38,07	0,42	35,39	0,27
15:00	62,47	0,48	86,40	0,62	72,11	0,38	62,21	0,35	127,18	0,53	88,07	0,49	34,71	0,39	38,47	0,30
16:00	59,19	0,46	84,30	0,60	69,24	0,36	63,69	0,35	143,72	0,60	84,32	0,47	33,19	0,37	28,45	0,22
17:00	54,52	0,42	61,71	0,44	66,54	0,35	64,80	0,36	157,69	0,66	73,30	0,41	33,95	0,38	22,47	0,17
18:00	41,73	0,32	13,66	0,10	62,62	0,33	58,71	0,33	162,90	0,68	57,80	0,32	31,74	0,35	15,58	0,12
19:00	21,45	0,16	11,39	0,08	59,67	0,31	50,64	0,28	168,17	0,70	44,36	0,25	27,04	0,30	12,69	0,10
20:00	9,41	0,07	10,83	0,08	54,38	0,29	33,36	0,19	147,64	0,62	33,94	0,19	10,41	0,12	12,20	0,09
21:00	7,02	0,05	10,83	0,08	52,22	0,27	25,18	0,14	144,63	0,60	28,19	0,16	4,97	0,06	11,92	0,09
22:00	6,65	0,05	10,74	0,08	50,21	0,26	21,19	0,12	132,63	0,55	26,66	0,15	3,86	0,04	11,76	0,09
23:00	6,57	0,05	10,67	0,08	48,53	0,26	18,49	0,10	104,03	0,43	26,39	0,15	3,24	0,04	11,41	0,09
00:00	6,57	0,05	10,67	0,08	47,22	0,25	17,91	0,10	72,98	0,30	26,30	0,15	3,10	0,03	11,43	0,09
Kurulu Güç [W]	130		140		190		240		180		180		90		130	

Priz yükü fraksiyonu (p.y.frak.), her bir kullanıcı için belirtilen priz yükünün, her kullanıcıya ilişkin kurulu güce bölünmesiyle elde edilmiştir.

Tablo A.5 Kullanıcılara İlişkin Kurulu Ekipman Güçleri ve Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi

Kullanıcılar	**Kurulu Ekipman Gücü [W]**	**Elektronik Cihazlardan Kaynaklı Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi [kWh]**
U1	130	167,15
U2	140	242,96
U3	190	419,32
U4	240	626,96
U5	180	256,92
U6	180	316,62
U7	90	122,62
U8	130	137,14

Kaynakça

[1] D. Caccavelli and H. Gugerli, "Tobus - a european diagnosis and decision-making tool for office building upgrading," *Energy and Buildings*, vol. 34, pp. 113–119, 2002.

[2] *Plugging the plug load – the next opportunity for net zero buildings*, 2011.

[3] P. Hoes, J. Hensen, M. Loomans, B. De Vries, and D. Bourgeois, "User behavior in whole building simulation," *Energy and buildings*, vol. 41, no. 3, pp. 295–302, 2009.

[4] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert, and B. T. Griffith, "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs," *Building and environment*, vol. 43, no. 4, pp. 661–673, 2008.

[5] C. Turner, M. Frankel, *et al.*, "Energy performance of leed for new construction buildings," *New Buildings Institute*, vol. 4, pp. 1–42, 2008.

[6] M. Deru, K. Field, D. Studer, K. Benne, B. Griffith, P. Torcellini, B. Liu, M. Halverson, D. Winiarski, M. Rosenberg, *et al.*, "U.S. department of Energy commercial reference building models of the national building stock," 2011.

[7] T. Maile, M. Fischer, and V. Bazjanac, "Building energy performance simulation tools: A life-cycle and interoperable perspective," *Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) Working Paper*, vol. 107, pp. 1–49, 2007.

[8] V. Soebarto and T. Williamson, "Multi-criteria assessment of building performance: Theory and implementation," *Building and environment*, vol. 36, no. 6, pp. 681–690, 2001.

[9] G. R. Newsham, S. Mancini, and B. J. Birt, "Do leed-certified buildings save energy? yes, but...," *Energy and Buildings*, vol. 41, no. 8, pp. 897–905, 2009.

[10] A. C. Menezes, A. Cripps, D. Bouchlaghem, and R. Buswell, "Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap," *Applied energy*, vol. 97, pp. 355–364, 2012.

[11] D. Coakley, P. Raftery, and M. Keane, "A review of methods to match building energy simulation models to measured data," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 37, pp. 123–141, 2014.

[12] T. A. Reddy, "Literature review on calibration of building energy simulation programs: Uses, problems, procedures, uncertainty, and tools," *ASHRAE transactions*, vol. 112, p. 226, 2006.

[13] FEMP, *M&V guidelines: measurement and verification for federal energy projects version 3.0*. Washington, D.C.: U.S. Department Of Energy (DOE), Federal Energy Management Program, 2008.

[14] IPMVP New Construction Subcommittee, *International Performance Measurement & Verification Protocol: Concepts and Option for Determining Energy Savings in New Construction, Volume 3*. Washington, D.C.: Efficiency Valuation Organization (EVO), 2003.

[15] ASHRAE, *ASHRAE 90.1-2004: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004.

[16] S. Frank, L. G. Polese, E. Rader, M. Sheppy, and J. Smith, "Extracting operating modes from building electrical load data," in *2011 IEEE Green Technologies Conference (IEEE-Green)*, IEEE, 2011, pp. 1–6.

[17] D. Jenkins, Y. Liu, and A. Peacock, "Climatic and internal factors affecting future uk office heating and cooling energy consumptions," *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 5, pp. 874–881, 2008.

[18] P. Komor, "Space cooling demands from office plug loads," *ASHRAE journal*, vol. 39, no. 12, pp. 41–44, 1997.

[19] G. Dunn and I. Knight, "Small power equipment loads in uk office environments," *Energy and buildings*, vol. 37, no. 1, pp. 87–91, 2005.

[20] C. K. Wilkins and M. H. Hosni, "Plug load design factors," *Ashrae Journal*, vol. 53, no. 5, p. 30, 2011.

[21] A. Mahdavi, "People in building performance simulation," *Building performance simulation for design and operation*, pp. 56–83, 2011.

[22] J. Page, D. Robinson, N. Morel, and J. L. Scartezzini, "A generalised stochastic model for the simulation of occupant presence," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 83–98, 2008.

[23] V. Tam, L. Almeida, and K. Le, "Energy-related occupant behaviour and ıts ımplications in energy use: A chronological review," *Sustainability*, vol. 10, no. 8, p. 2635, 2018.

[24] C. A. Webber, J. A. Roberson, M. C. McWhinney, R. Brown, M. J. Pinckard, and J. F. Busch, "After-hours power status of office equipment in the USA," *Energy*, vol. 31, pp. 2823–2838, 2006.

[25] O. Masoso and L. J. Grobler, "The dark side of occupants' behaviour on building energy use," *Energy and buildings*, vol. 42, no. 2, pp. 173–177, 2010.

[26] H. B. Gunay, W. O'Brien, I. Beausoleil-Morrison, and S. Gilani, "Modeling plug-in equipment load patterns in private office spaces," *Energy and Buildings*, vol. 121, pp. 234–249, 2016.

[27] B. Abushakra, A. Sreshthaputra, J. Haberl, and D. Claridge, "Compilation of diversity factors and schedules for energy and cooling load calculations, ashrae research project 1093-rp, final report," 2001.

[28] Y. Birhan, "İstanbul'daki ofis binalarının performans değerlendirmesi," İstanbul, 2003.

[29] M. Sicola, "Commercial real estate terms and definitions," *NAIOP Research foundation*, pp. 30–31, 2017.

[30] *Building class definitions*. [Online]. Available: https://www.boma.org/BOMA/Research-Resources/Industry_Resources/Building_Class_Definitions/.

[31] N. Eldem, *İdari ve ticari büro binaları*. İTÜ, 1950.

[32] H. Karslı, "Sürdürülebilir mimarlık çerçevesinde ofis yapılarının değerlendirilmesi ve çevresel performans analizi için bir model önerisi," *Sanatta Yeterlilik Tezi*, 2008.

[33] Ş. Naghavi, "Büro binalarında iç mekan düzenlenmesi," PhD thesis, 1995.

[34] G. Toprak, "Ofis yapılarının, tasarım kriterleri ve mekânsal oluşumlar üzerinden incelenmesi: Ankara ili eskişehir yolu örneği," Ankara, 2014.

[35] N. Çete, "Çalışma ortamlarında verimliliğin artırılmasının büro mekânlarıyla ilişkilendirilmesi," 2004.

[36] BRESCU, *Energy Consumption Guide 19: energy use in offices*. Watford: Building Research Energy Conservation Support Unit, 2000.

[37] EIA, *Commercial buildings energy consumption survey: Office buildings*, 2010.

[38] "Modernising building energy codes to secure our global energy future," 2013.

[39] O. K. Kabakçı, *Türkiye'de bulunan farklı bina tipolojilerinde yerinde üretim olanaklarının enerji verimliliği çerçevesinde değerlendirilmesi*, 2018.

[40] Türkiye Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, *2017 yılı enerji denge tabloları*, 2017.

[41] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, "Elektrik piyasası 2017 yılı piyasa gelişim raporu," Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Tech. Rep., 2017.

[42] K. McKenney, M. Guernsey, R. Ponoum, and J. Rosenfeld, "Commercial miscellaneous electric loads: Energy consumption characterization and savings potential in 2008 by building type," U.S. D.O.E. Building Technologies Program, TIAX LLC, Tech. Rep., 2010.

[43] *Bina Enerji Performansı yazılım programı (Beptr2)*. [Online]. Available: https://beptr.csb.gov.tr.

[44] R. Bisset, "Buildings can play a key role in combating climate change," *Bulletin on Energy Efficiency*, vol. 7, no. 4, 2007.

[45] E. Azar and C. C. Menassa, "A comprehensive analysis of the impact of occupancy parameters in energy simulation of office buildings," *Energy and Buildings*, vol. 55, pp. 841–853, 2012.

[46] T. CIBSE, "Tests for software accreditation and verification," *Chartered Institution of Building Services Engineers*, 2006.

[47] B. Bordass, R. Cohen, M. Standeven, and A. Leaman, "Assessing building performance in use 3: Energy performance of the probe buildings," *Building Research & Information*, vol. 29, no. 2, pp. 114–128, 2001.

[48] B. Bordass *et al.*, "Energy performance of non-domestic buildings: Closing the credibility gap," in *in Proceedings of the 2004 Improving Energy Efficiency of Commercial Buildings Conference*, Citeseer, 2004.

[49] I. Cooper, "Post-occupancy evaluation-where are you?" *Building Research & Information*, vol. 29, no. 2, pp. 158–163, 2001.

[50] D. Yan, W. O'Brien, T. Hong, X. Feng, H. B. Gunay, F. Tahmasebi, and A. Mahdavi, "Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges," *Energy and Buildings*, vol. 107, pp. 264–278, 2015.

[51] P. Gandhi and G. S. Brager, "Commercial office plug load energy consumption trends and the role of occupant behavior," *Energy and Buildings*, vol. 125, pp. 1–8, 2016.

[52] R. Reddy, K. Niranjan, A. Swaroopa, and V. Garg, "Plug loads: Usage and energy consumption analysis," *ASim Proceedings*, pp. 196–203, 2014.

[53] A. Menezes, A. Cripps, R. A. Buswell, J. Wright, and D. Bouchlaghem, "Estimating the energy consumption and power demand of small power equipment in office buildings," *Energy and Buildings*, vol. 75, pp. 199–209, 2014.

[54] P. Raftery, M. Keane, and J. O'Donnell, "Calibrating whole building energy models: An evidence-based methodology," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 9, pp. 2356–2364, 2011.

[55] E. Fabrizio and V. Monetti, "Methodologies and advancements in the calibration of building energy models," *Energies*, vol. 8, no. 4, pp. 2548–2574, 2015.

[56] G. Fuertes and S. Schiavon, "Plug load energy analysis: The role of plug loads in LEED certification and energy modeling," *Energy and Buildings*, vol. 76, pp. 328–335, 2014.

[57] K. Roth, K. McKenny, and J. Brodrick, "Small devices, big loads," *ASHRAE Journal*, vol. 50, no. 6, p. 64, 2008.

[58] COMNET, "Commercial buildings energy modeling guidelines and procedures," *RESNET Publication*, no. 001, 2010.

[59] ASHRAE, *ASHRAE 90.1-2010: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010.

[60] *Learn about energy star buildings and certifications*, 2011. [Online]. Available: %7Bhttps : / / www . saveonenergy . com / energy - star - buildings - certifications/%7D.

[61] *Plug load best practices guide: Managing your office equipment plug load*, NBI, Ecova, PIER, 2012.

[62] *Buildings Energy Data Book*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy: U.S. Department of Energy, 2011.

[63] K. Roth, K. Mckenny, C. Paetsch, and R. Ponoum, "U.S. residential miscellaneous electric loads electricity consumption," *ACEEE Study on Energy Efficiency in Buildings*, 2008.

[64] G. Ghatikar, H. Cheung, and S. Lanzisera, "Miscellaneous and electronic loads energy efficiency opportunities for commercial buildings: A collaborative study by the U.S. and India," *Lawrence Berkeley National Laboratory and Infosys Technologies Limited*, 2013.

[65] M. Sheppy, C. Lobato, S. Pless, L. G. Polese, and P. Torcellini, "Assessing and reducing plug and process loads in office buildings," *National Renewable Energy Laboratory, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC.*, 2013.

[66] *Annual energy outlook 2014*, U.S. Energy Information Administration, 2014.

[67] "Commercial office plug load savings and assessment: Executive summary," California, Tech. Rep. CEC-500-08-049, 2011.

[68] *Annual energy outlook 2019*, U.S. Energy Information Administration, 2019.

[69] B.C.O, *Small power use in offices*. London: British Council for Offices, 2009.

[70] A. Kamilaris, J. Neovino, S. Kondepudi, and B. Kalluri, "A case study on the individual energy use of personal computers in an office setting and assessment of various feedback types toward energy savings," *Energy and Buildings*, vol. 104, pp. 73–86, 2015.

[71] H. B. Gunay, W. O'Brien, and I. Beausoleil-Morrison, "A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices," *Building and Environment*, vol. 70, pp. 31–47, 2013.

[72] M. Paciuk, "The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction at the workplace," 1990.

[73] W. O'Brien, I. Gaetani, S. Gilani, S. Carlucci, P.-J. Hoes, and J. Hensen, "International survey on current occupant modelling approaches in building performance simulation," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 10, no. 5-6, pp. 653–671, 2017.

[74] Bureau of Labor Statistics, *American time use survey—2015 results*, 2016.

[75] D. He, W. Lin, N. Liu, R. Harley, and T. Habetler, "Incorporating non-intrusive load monitoring into building level demand response," *IEEE Transactions Smart Grid.4*, pp. 1870–1877, 2013.

[76] R. H. Dodier, G. P. Henze, D. K. Tiller, and X. Guo, "Building occupancy detection through sensor belief networks," *Energy and Buildings*, vol. 38, pp. 1033–1043, 2006.

[77] ASHRAE, *ASHRAE 90.1-2013: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, Inc., 2013.

[78] C. Duarte, K. Van Den Wymelenberg, and C. Rieger, "Revealing occupancy patterns in an office building through the use of occupancy sensor data," *Energy and buildings*, vol. 67, pp. 587–595, 2013.

[79] J. Zhao, B. Lasternas, K. P. Lam, R. Yun, and V. Loftness, "Occupant behavior and schedule modeling for building energy simulation through office appliance power consumption data mining," *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 341–355, 2014.

[80] D. E. Claridge, B. Abushakra, J. S. Haberl, and A. Sreshthaputra, "Electricity diversity profiles for energy simulation of office buildings," 2004.

[81] C. Wilkins and N. McGaffin, "Measuring computer equipment loads in office building," *ASHRAE Journal*, vol. 36, 1994.

[82] A. Akhondzada, "Modelling the occupancy profile deterministically, probabilistically and stochastically," 2017.

[83] J. A. Davis and D. W. Nutter, "Occupancy diversity factors for common university building types," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 9, pp. 1543–1551, 2010.

[84] A. Mahdavi, "Patterns and ımplications of user control actions in buildings," *Indoor and Built Environment*, vol. 18, pp. 440–446, 2009.

[85] Z. Chen and Y. C. Soh, "Comparing occupancy models and data mining approaches for regular occupancy prediction in commercial buildings," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 10, no. 5-6, pp. 545–553, 2017.

[86] D. Wang, C. Federspiel, and F. Rubinstein, "Modeling occupancy in single person offices," *Energy and buildings*, vol. 37, pp. 121–126, 2005.

[87] D. Aerts, J. Minnen, I. Glorieux, I. Wouters, and F. Descamps, "A probabilistic activity model to include realistic occupant behaviour in building simulations," in *IBPSA-Canada eSim*, IBPSA, 2014.

[88] G. Gunathilak, A. Prasannakumar, N. Nazarian, and H. Naeimi, "A generalized event driven framework for building occupancy (wıp)," in *Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design, San Diego, California*, 2013.

[89] D. Wang C.and Yan and Y. Jiang, "A novel approach for building occupancy simulation," *Building Simulation*, vol. 4, no. 2, pp. 149–167, 2011.

[90] C. Liao, Y. Lin, and P. Barooah, "Agent-based and graphical modelling of building occupancy," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 5, pp. 5–25, 2012.

[91] Z. Chen, J. Xu, and Y. C. Soh, "Modeling regular occupancy in commercial buildings using stochastic models," *Energy and Buildings*, vol. 103, pp. 216–223, 2015.

[92] I. Richardson, M. Thomson, and D. Infield, "A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 1560–1566, 2008.

[93] E. McKenna, M. Krawczynski, and M. Thomson, "Four-state domestic building occupancy model for energy demand simulations," *Energy and Buildings*, vol. 96, pp. 30–39, 2015.

[94] F. Tahmasebi and A. Mahdavi, "The sensitivity of building performance simulation results to the choice of occupants' presence models: A case study," *Journal of Building Performance Simulation*, pp. 625–635, 2015.

[95] X. Feng, D. Yan, and T. Hong, "Simulation of occupancy in buildings," *Energy and Buildings*, vol. 87, pp. 348–359, 2015.

[96] Q. Wang, G. Augenbroe, J.-H. Kim, and L. Gu, "Meta-modeling of occupancy variables and analysis of their impact on energy outcomes of office buildings," *Applied Energy*, vol. 174, pp. 166–180, 2016.

[97] T. Hong and H.-W. Lin, "Occupant behavior: İmpact on energy use of private offices," Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States), Tech. Rep., 2013.

[98] A. Mahdavi, F. Tahmasebi, and M. Kayalar, "Prediction of plug loads ın office buildings: Simplified and probabilistic methods," *Energy and Buildings*, vol. 129, pp. 322–329, 2016.

[99] Y. D. Zhaoxia Wang, "An occupant-based energy consumption prediction model for office equipment," *Energy and Buildings*, vol. 109, pp. 12–22, 2015.

[100] M. H. Hosni, "Test method for measuring radiant/convective split of heat gains from equipment in buildings," *ASHRAE Research Project Report*, no. 822, 1997.

[101] B. W. Jones, "Measurement of heat gain and radiant convective split from equipment in buildings," ASHRAE, Tech. Rep. 1055, 1999.

[102] F. Tahmasebi, "Exploring the effectiveness of occupant behavior models toward more reliable building performance simulation," PhD thesis, Vienna, 2016.

[103] *Enerji Kimlik Belgesi (EKB)*. [Online]. Available: `http://www.enerjikimlikbelgesi.com/`.

[104] CIBSE, "Guide F: Energy efficiency in buildings, 2nd edition," 2004.

[105] BSRIA, *Rules of thumb: guideline for building services, 4th edition*. London: Building Services Research and Information Association, 2003.

[106] *ASHRAE Handbook-Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, Inc., 2009, ch. 18.

[107] *ASHRAE Handbook-Fundamentals (SI Edition)*. Georgia, U.S.: American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, Inc., 2013.

[108] J. Lin, "Divergence measures based on the Shannon entropy," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 37, 1991.

[109] J. M. Cimbala, *Basic statistics*, 2014.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgileri: minekayalar@gmail.com

Makale

1. Mahdavi, A., Tahmasebi, F., Kayalar, M. (2016) "Prediction of Plug Loads In Office Buildings Simplified and Probabilistic Methods", Energy and Buildings 129, 322–329.

Konferans Bildirisi

1. Kayalar, M., Tahmasebi, F. ve Mahdavi, A. (2016) "Exploring The Interrelationships Between Occupants' Presence Patterns and Plug Loads In An Office", Central Europe towards Sustainable Building (CESB16), 22-24 Haziran, Prag.