

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TALEP TARAFI YÖNETİMİNİN KÜMELEME VE VERİ ANALİZİ
TEKNİKLERİ KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

ERAY OĞUZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TALEP TARAFI YÖNETİMİNİN
KÜMELEME VE VERİ ANALİZİ
TEKNİKLERİ KULLANILARAK
İYİLEŞTİRİLMESİ

ERAY OĞUZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DR.ÖĞR.ÜYESİ TUBA GÖZEL

GEBZE
2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**IMPROVEMENT OF DEMAND SIDE
MANAGEMENT BY USING CLUSTERING
AND DATA ANALYSIS TECHNIQUES**

ERAY OĞUZ
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSIST.PROF.DR.TUBA GÖZEL

GEBZE
2019

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **12.../06.../2019** tarih ve **..2019../26.....** sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **16/09/2019** tarihinde tez savunma sınavı yapılan Eray Oğuz'un tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: DR.ÖĞR.ÜYESİ TUBA GÖZEL



ÜYE

: PROF.DR. MEHMET HAKAN HOCAOĞLU



ÜYE

: DR.ÖĞR.ÜYESİ İBRAHİM GÜRSU TEKDEMİR



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Her geçen gün insanların enerjiye olan bağımlılığının ve nüfusun artması sebebiyle tüm enerji kaynaklarının verimli kullanılması büyük önem arz etmektedir. Elektrik enerjisini verimli üretilmesi gibi verimli tüketilmesi de çok önemlidir. Verimli elektrik tüketim uygulamaları için talep tarafı yönetimi çalışmaları ortaya çıkmıştır.

Talep tarafını yönetebilmek için, tüketici sınıflarının oluşturulması ve her sınıfın kendine özgü tüketim profillerinin dikkate alınması, her sınıfa özgün talep tarafı yönetim stratejileri geliştirilebilmesine yardımcı olacaktır. Bu tezde talep tarafı yönetiminin iyileştirilebilmesi için kullanıcıları kümelere ayırma üzerine çalışma yapılmıştır. Tüketicilerin sınıflandırılmasında kullanılan parametreler talep tarafını yönetebilme stratejilerine hizmet etmek için seçilmiştir.

Talep tarafını yönetebilme kavramı ele alındığında, tüketicilerin tasarrufa yönlendirilerek kullandıkları tüm cihazlarını daha verimli cihazlarla değiştirmesi ve daha dikkatli kullanım sergilemesi akla gelmektedir. Bunun yanısıra, elektrik tüketim profilinin sürekli değişen halden olabildiğince stabil hale getirmek elektrik üretim santrallerinin verimliliğini arttıran temel talep tarafı yönetim stratejilerindendir.

Bu tezde talep tarafı yönetimi stratejilerinin geliştirilebilmesi için hem ticari, endüstri, kamu gibi farklı yük tiplerinin sınıflandırılabilmesi hem de konut tipi tüketicilerin kendi içerisinde sınıflandırılabilmesi amacıyla kümeleme çalışması yapılmıştır. Kümeleme çalışması yapılırken “Temel Bileşen Analizi” metodu kullanılmıştır. Yüklerin yönetilebilirliğini somut olarak gösterebilmek amacıyla Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi oluşturulmuştur. Ayrıca bu çalışmalarda kullandığımız veri setlerinde yük profilleri için Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi hesaplanarak bu yüklerin yönetilebilirliğinin uygunluğu gösterilmiştir. Son olarak, konutlar için elektrik tüketimi maliyet analizleri yapılmış, ortaya çıkan analiz sonuçları ile Talep Tarafı Yönetilebilirlik indeksi arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: talep tarafı yönetimi, kümeleme, temel bileşen analizi, yük tipleri, yük profili.

SUMMARY

Due to the increasing dependence of people on energy and the increasing population, it becomes more important to use all energy resources efficiently. Electrical energy needs to be consumed as efficiently as possible. Demand Side Management (DSM) efforts have emerged for efficient electricity consumption applications.

In order to manage the demand side, proper clustering of consumer classes and taking into account the unique consumption profiles of each cluster and managing strategies for each group should be developed. In this thesis, a study has been made on clustering the users to improve demand side management. The parameters used in the classification of consumers were chosen to serve the DSM strategies.

When the concept of DSM is inspected, the first thing occurs in mind is to lead the consumers for energy saving by replacing electronic devices with more efficient ones and use them more wisely. In addition to this, stabilizing the electricity consumption profile from an unstable state is also one of the main demand-side management strategies.

In this thesis, in order to determine DSM strategies, a clustering study has been carried out for the purpose of classifying type of load such as commercial, industrial and public, and also classifying residential consumers in itself. Principal Component Analysis method was used in the clustering study. Demand Side Manageability Index (DSMI) has been established in order to quantify the manageability of load profiles. In addition, DSMI has been calculated for the load profiles. Finally, the electricity consumption cost analysis has been made for houses.

Key words: demand side management, clustering, principal component analysis, load types, load profile.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve bu çalışmanın oluşmasında hiçbir desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Tuba GÖZEL'e

Bilgi ve tecrübesini esirgemeyerek, çalışmalarına destek olan hocam Dr.Öğr.Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR'e

Tezimde emeği geçen ve güzel bir çalışma ve dayanışma ortamı oluşturdıkları için tüm iş arkadaşlarıma,

Tüm destek ve anlayışlarıyla her zaman yanımda olan değerli eşime ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	9
1.2. Tezin Sınırları	9
1.3. Tezin Yapısı	10
2. TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ÜRETİMİ VE KURULU GÜÇ	11
2.1. Yük Talebi	13
2.2. Puant Talep	14
2.3. Türkiye’de Elektrik Abone Gruplarının Dağılımı	16
2.4. Sonuçlar	17
3. ENERJİ TÜKETİMİNE GÖRE YÜK ÇEŞİTLERİ VE KONTROLÜ	18
3.1. Yük Çeşitleri	18
3.1.1. Sabit Yük	18
3.1.2. Kaydırılabilir Yükler	19
3.1.3. Ayarlanabilir Yükler	19
3.2. Yük Kontrol Modelleri	19
3.3. Mesken Abone için Yük Yönetimi	23
3.4. Sonuçlar	26
4. TÜKETİCİLERİN SINIFLANDIRILMASI	27
4.1. Temel Bileşen Analizi Metodu	29
4.2. K-Means Algoritması Kullanılarak Yük Davranış Kümelerinin Eldesi	32
4.3. Verilerin Toplanması	34
4.4. Temel Sınıflandırma	40

4.5. Temel Bileşen Analizi Metodu Parametrelerinin Belirlenmesi	43
4.6. Temel Bileşen Analizi ile Verilerin Kümelenmesi	46
4.7. Sonuçlar	59
5. TALEP TARAFI YÖNETİLEBİLİRLİK İNDEKSİ	61
5.1. TTYİ ile Maliyet Analizi	63
5.1.1. İngiltere Mesken Abone Verileri ile Maliyet Analizi	65
5.1.2. Türkiye Mesken Abone Verileri ile Maliyet Analizi	67
5.1.3. Türkiye ve İngiltere Mesken Abone Verilerinin Kıyaslanması	76
5.2. Sonuçlar	83
6. SONUÇLAR VE YORUMLAR	84
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
A	: Gün içerisindeki maksimum elektrik tüketiminin saatini belirtir
B	: Gün içerisindeki minimum elektrik tüketiminin saatini belirtir
CREST	: Centre for Renewable Energy Systems Technology
TBA	: Temel Bileşen Analizi
TTY	: Talep Tarafı Yönetimi
TTYİ	: Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1: Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü. (30 Nisan 2019)	11
2. 2: Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi. (30 Nisan 2019)	12
2. 3: Türkiye'de elektrik üretimi. (Ocak-Aralık 2018)	13
2. 4: Türkiye elektrik sisteminde gerçekleşen puant yük ve elektrik tüketimi.	14
2. 5: Türkiye'de sistem aylık maksimum ani puant. (MW)	14
3. 1: Yük çeşitleri.	18
3. 2: Puant talebi azaltma stratejisi.	20
3. 3: Düşük talep zaman dilimi için talep arttırma stratejisi.	21
3. 4: Puant yük talebini kaydırma stratejisi.	21
3. 5: Yük talebinde tasarruf.	22
3. 6: Esnek yük lendirme stratejisi.	22
3. 7: Stratejik talep büyümesi.	23
3. 8: Talep tarafı yönetim algoritma örneği.	24
3. 9: Talep Tarafı Yönetimi öncesi örnek bir mesken yük talebi.	25
3. 10: Talep Tarafı Yönetimi sonrası örnek bir mesken yük talebi.	26
4. 1: Üç farklı kümeye ait günlük yük profil eğrileri.	28
4. 2: Orijinal veri seti.	30
4. 3: Kovaryans matrisinin özvektörleri ile normalize edilmiş veri seti.	30
4. 4: Öznitelik vektörünün varyans değerleri.	32
4. 5: K-Means kümeleme yöntemi adımları.	33
4. 6: Bir günlük veriler ile Temel Bileşen Analizi sonucu.	33
4. 7: Bir günlük veriler ile, K-Means ve Temel Bileşen Analizi sonucu.	34
4. 8: CREST programı anasayfası.	36
4. 9: Konut için yük modeli oluşturulması.	37
4. 10: Load Demand Simulator, Matlab arayüz.	40
4. 11: İki farklı parametre seçilerek kümelendirilmiş kullanıcı tipleri.	42
4. 12: Ocak Ayı, konut tipi yük profilleri (2 parametre, A.B.D).	47
4. 13: Ocak Ayı, konut tipi yük profilleri (5 parametre, A.B.D).	47
4. 14: Ocak Ayı, konut tipi yük profilleri.(11 parametre, A.B.D).	48
4. 15: Ocak Ayı Öznitelik Katsayıları ve varyans değerleri.	49

4. 16:	Ocak Ayı, Öznitelik Katsayıları-1.	50
4. 17:	Ocak Ayı, Öznitelik Katsayıları-2.	50
4. 18:	Şubat Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (A.B.D).	51
4. 19:	Şubat Ayı, konut tipi yük profilleri (A.B.D)	51
4. 20:	Nisan Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (A.B.D)	52
4. 21:	Nisan Ayı, konut tipi yük profilleri (A.B.D).	52
4. 22:	Temmuz Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (A.B.D).	53
4. 23:	Temmuz Ayı, konut tipi yük profilleri (A.B.D).	53
4. 24:	Ekim Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (A.B.D).	54
4. 25:	Ekim Ayı, konut tipi yük profilleri (A.B.D).	54
4. 26:	Ocak Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (Türkiye).	55
4. 27:	Ocak Ayı, konut tipi yük profilleri (Türkiye).	56
4. 28:	Nisan Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (Türkiye).	56
4. 29:	Nisan Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (Türkiye).	57
4. 30:	Temmuz Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (Türkiye).	57
4. 31:	Temmuz Ayı, konut tipi yük profilleri (Türkiye).	58
4. 32:	Ekim Ayı, konut tipi yük profilleri (Türkiye).	58
4. 33:	Ekim Ayı, konut tipi yük profilleri (Türkiye).	59
5. 1:	Konut tipi tüketiciye ait TTYİ' nin zamana bağlı değişimi.	63
5. 2:	İngiltere mesken verileri ile maliyet değerleri.	66
5. 3:	İngiltere mesken verileri ile kârlılık analizi.	66
5. 4:	İngiltere mesken verileri ile kârlılık analizi ve TTYİ eşik değeri.	67
5. 5:	Türkiye mesken verileri(Nisan ayı ve 1 kişi) ile maliyet değerleri.	68
5. 6:	Türkiye mesken verileri (Nisan ayı ve 1 kişi) ile kârlılık analizi.	68
5. 7:	Türkiye mesken verileri (Nisan ayı ve 5 kişi) ile maliyet değerleri.	69
5. 8:	Türkiye mesken verileri (Nisan ayı ve 5 kişi) ile kârlılık analizi.	69
5. 9:	Türkiye mesken verileri(Temmuz ayı ve 1 kişi) ile maliyet değerleri.	70
5. 10:	Türkiye mesken verileri (Temmuz ayı ve 1 kişi) ile kârlılık analizi.	70
5. 11:	Türkiye mesken verileri(Temmuz ayı ve 5 kişi) ile maliyet değerleri.	71
5. 12:	Türkiye mesken verileri (Temmuz ayı ve 5 kişi) ile kârlılık analizi.	71
5. 13:	Türkiye mesken verileri (Ekim ayı ve 1 kişi) ile maliyet değerleri.	72
5. 14:	Türkiye mesken verileri (Ekim ayı ve 1 kişi) ile kârlılık analizi.	72
5. 15:	Türkiye mesken verileri (Ekim ayı ve 5 kişi) ile maliyet değerleri.	73
5. 16:	Türkiye mesken verileri (Ekim ayı ve 5 kişi) ile kârlılık analizi.	73

5. 17:	Türkiye mesken verileri (Ocak ayı ve 1 kişi) ile maliyet değerleri	74
5. 18:	Türkiye mesken verileri (Ocak ayı ve 1 kişi) ile kârlılık analizi.	74
5. 19:	Türkiye mesken verileri (Ocak ayı ve 5 kişi) ile maliyet değerleri.	75
5. 20:	Türkiye mesken verileri (Ocak ayı ve 5 kişi) ile kârlılık analizi.	75
5. 21:	Ocak ayı, hafta içi kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.	78
5. 22:	Ocak ayı, hafta sonu kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.	79
5. 23:	Nisan ayı, hafta içi kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.	79
5. 24:	Nisan ayı, hafta sonu kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.	80
5. 25:	Temmuz ayı, hafta içi kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.	80
5. 26:	Temmuz ayı, hafta sonu kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.	81
5. 27:	Ekim ayı, hafta içi kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.	81
5. 28:	Ekim ayı, hafta sonu kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.	82
5. 29:	İngiltere mesken verileri ile kâr ve zarar profilleri.	82

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1: 2008-2017 Türkiye elektrik kurulu güç ve puant talep değerleri.	15
2. 2: 2017 yılı elektrik enerjisinin abone gruplarına göre dağılımı.	16
3. 1: Tarifelere göre mesken elektrik fiyatları-1.	25
4. 1: A.B.D'ye ait farklı kullanıcı tipleri veri seti listesi.	35
4. 2: İngiltere'ye ait konut tipi kullanıcı veri seti.	38
4. 3: Türkiye'ye ait konut tipi kullanıcı veri seti.	39
5. 1: Konutlarda yer alan cihazlar ve yük çeşitleri.	62
5. 2: Tarifelere göre mesken elektrik fiyatları-2.	65
5. 3: Konut maliyet analizi ve kârlılık oranları.	77

1. GİRİŞ

Enerji tüketimi planlaması, geleceğimiz için ulusal boyuttan küresel boyuta uzun vadeli stratejiler gerektirir. Talep Tarafı Yönetimi (TTY) temel olarak tüketicilerin enerji kullanımını etkileyen planlama şeklidir. Bir başka şekilde tanımlanırsa, TTY müşterilerin elektrik kullanımının, elektrik üretim şirketlerine katkı sağlayacak değişiklikleri yapabilecek şekilde tasarlanması ve elektrik iletim dağıtım faaliyetlerinin uygulanmasıdır [1]. TTY A.B.D. Enerji Bakanlığı tarafından ise şu şekilde tanımlanır; “Elektrik kullanıcılarının, piyasadaki fiyat dalgalanmaları veya sistem güvenliğinin tehlikede olması nedenleri ile tüketimin düşürülmesi yönünde teşvik edilmesi” (USDOE, 2006) [2].

TTY’nin amacı, çeşitli enerji tüketim davranışları üzerindeki çevresel ve ekonomik etkiyi analiz etmek, analiz sonucu maddi yönden hem tüketici hem üretici tarafına fayda sağlamaktır. Örneğin; bir elektrik şebekesinin azami yüklenme miktarını TTY ile azaltabilirsek, elektrik sistemindeki yüklenmenin hafifletilmesi, sistem güvenliğinin artırılması, yüksek yakıt maliyetinin azaltılması ve daha fazla elektrik üretim santrali inşa etmek zorunda kalınmaması gibi faydalı etkiler sağlar.

TTY, iki temel şekilde uygulanmaktadır [3],[4];

- Enerji Tüketimini Azaltma Uygulamaları - Talebi azaltabilme süreci için efektif binalar ve verimli cihazların kullanımını teşvik etmek. Konut tüketimini ele alırsak; konutta bulunan tüm elektronik cihazlar A++ sınıfı cihazlar olarak seçilmeli, aydınlatma için kullanılan enkandesan lambalar yerine kompakt flüoresan gibi tüketim miktarları daha düşük olan aydınlatma ekipmanları tercih edilmelidir. Bu şekilde yapılabilecek tüm elektrikli cihazlar yerine daha az elektrik tüketimine ihtiyaç duyan cihazlarla değiştirilmelidir.
- Yük Yoğunluğu Yönetimi Uygulamaları - Elektrik abonelerinin tüketim profilini oluşturan ve tüketim sergileyen tüm elektrikli aletler birer yük olarak tanımlanmaktadır. Yük profili; abonelerin elektrik tüketiminin zamana bağlı olarak değişimidir. Yük yoğunluğu ise elektrikli cihazların aynı anda kullanıldığı yüksek tüketimin olduğu durumlardır. Yük yoğunluğunu yönetme çalışmaları, puant zaman dilimindeki tüketimleri azaltmak, yük

yoğunluğunu değiştirmek yani pik (tüketimin en yüksek) olduğu zamanlarda daha az tüketime teşvik veya pik zamanlardaki kullanımı, kullanım yoğunluğunun daha az olduğu zaman dilimlerine dağıtmaktır.

TTY sıklıkla Demand Side Management (DSM) adıyla da anılmaktadır ve teknolojiye yaşanan ilerlemeler akıllı şebeke yapısına geçiş ile beraberinde talep tarafı yönetimi tekniklerini geliştirmiştir. Talep tarafı yönetimi, yük yoğunluğunu yönetme açısından ele alındığında teknolojik gelişmenin aşağıdaki adımları izlemeye devam ettiği söylenebilir:

- 1.Adım: Talep TTY hiç uygulanmamıştır ve kullanıcılar isteklerine göre şartsız kullanım sergilemektedir.
- 2. Adım: Elektrik dağıtım firmaları tarafından gün içi tarife uygulamasına geçilmiştir. Zamana bağlı tarifname ile tüketiciyi yönetme amaçlanmaktadır. Tüketici ise uygun ve ekonomik çözümü kendi aldığı kararlarla sağlamaktadır [1],[3].
- 3. Adım: Elektrik dağıtım firmaları tarafından gün içi tarife uygulaması mevcuttur. Tüketicinin makine ve elektrikli cihazları gün içi tarifeye uygun olarak yüklenme davranışı geliştirebilmektedir. Buzdolabı gibi termostat kontrollü yüklerin gün içi tüketim davranışları geliştirmesi buna örnek gösterilebilir [5],[6].
- 4. Adım: Şebeke tarafında zamana bağlı tarife uygulaması mevcuttur ve tüketici tarafındaki akıllı makine ve elektrikli cihazlar birbirleriyle haberleşerek ortak bir tüketim modeli üretebilmektedir [7].
- 5. Adım: Şebeke tarafında dinamik olarak değişen bir tarife yapısı mevcuttur [8], [9].Cihazlar ile şebeke arasında bir haberleşme altyapısı bulunmaktadır ve cihazlar, şebekeden gelen üretim, tüketim, enerji fiyatı gibi parametrelere uygun olarak tüketim davranışı geliştirmektedir [3],[5],[10].

Literatür taramasında yukarıda bahsedilen beş adıma uygun çalışmalar ele alınmış ve özetlenmiştir.

Clark W.Gellings' e göre [1], TTY'nin amacı, tüketicilerin yük (elektrikli cihaz) kullanımlarının değişikliğini sağlamak olsa da, asıl önemli olan bu değişiklikleri yaparken tüketicilerin minimum seviyede etkilenmesini sağlamaktır.

Çalışmasında elektrik pazarlama faaliyetlerini incelemiş ve TTY kavramını ortaya çıkarmıştır.

Mohsenian Rad ve arkadaşlarına göre [3], mevcut TTY uygulamalarının çoğu, öncelikle bir yardımcı şirket ile müşterileri arasındaki etkileşimlere odaklanmıştır. Bu çalışmada, gelecekteki akıllı şebekede öngörülen iki yönlü bir dijital iletişim altyapısından yararlanan kullanıcılar arasında özerk bir TTY sistemi anlatılmıştır. Çalışmada metot olarak oyun teorisi kullanılmıştır ve oyuncuların kullanıcılar (tüketiciler) olduğu; stratejilerinin ev aletlerinin günlük kullanımları olduğu bir enerji tüketimi planlama oyunu oluşturulmuştur. Elektrik dağıtım şirketinin, elektrik kullanım süresini ve sistemden çektiği güç tüketim düzeylerini değiştirebildiği ve uygun fiyatlandırma tarifeleri oluşturabildiği bir sistem kurulmuştur. Farklı senaryolar için kullanıcıların enerji tüketimi oyununa katılma ve abone olma konusunda teşviklere sahip olacağı belirtilmiştir. Simülasyon sonuçları, önerilen yaklaşımın toplam enerji maliyetlerini ve her bir kullanıcının günlük elektrik ücretlerini azaltabileceğini doğrulamaktadır.

P.Finn'e göre [5], İrlanda 2020 yılına kadar yenilenebilir enerji ile elektrik talebinin % 40'ını sağlama gibi iddialı bir hedefe ulaşmak için çabalamaktadır. Bu %40'ın büyük çoğunluğunun, kesintili bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisi ile karşılanmasını öngörmektedir, bu durumda bazen elektrik tüketiminin kısıtlanmasının gerektiği durumlar ortaya çıkacaktır. Bu makalede, TTY'nin potansiyeli araştırılmaktadır. Fiyatlandırma ve rüzgâr mevcudiyeti dahil olmak üzere çeşitli durumlar göz önüne alınmıştır. Elektrik tüketimini, elektrik talebinin yoğun olduğu saatlerden tüketimin az olduğu zamanlara taşıyarak yenilenebilir enerjinin entegrasyonu kolaylaştırılmaktadır. Örnek olarak, bir bulaşık makinesi seçilmiş olup, yenilenebilir enerji santrallerinin ürettiği elektrik miktarlarının yüksek olduğu zaman dilimlerinde, tüketicinin eşzamanlı kullanıma teşvik edilerek elde edilen tasarruflar tespit edilmiştir. Ayrıca, %60'dan fazla pik talebin azalması gibi ikincil faydalar gözlenmektedir. TTY'nin yoğun bir şekilde yapıldığı son dönemlerde özellikle yük yoğunluğu yönetimi çalışmaları fazlaca yapılmaktadır. Buna göre, şebekedeki toplam tüketimin çok fazla olduğu (puant zaman dilimi) zamanlarda bazı tüketicilerin akıllı makine ve cihazlar aracılığıyla tüketimlerini kısımları ya da hayati olmayan kaydırılabilir yüklerini bu saatlerde enerjisiz bırakmaları yoluna gidilebilir. Bunu sağlamak amacıyla akıllı cihaz yazılımları, haberleşme altyapısı gibi çözümler literatürde önerilmiştir.

Alparslan Zehir'in tezinde [6], yük çeşitleri içerisinde termostat kontrollü yüklerin TTY'ye nasıl katkı sağladığını anlatmıştır. TTY'nin mesken abone tipi kullanıcılarda uygulanabileceği başlıca yükler arasında termostat kontrollü yükler gelmektedir. Genel tüketimler içerisindeki büyük payları ve belirli sıcaklık değerleri aşılmadığı sürece kullanıcı konforu etkilenmeksizin yönetilebilir olmaları ile bu yükler, doğrudan yük kontrolü uygulamaları için oldukça elverişlidir. Tasarlanan yük yönetim sistemi ile buzdolaplarının bir yıllık çalışması, öncelikle çok zamanlı tarifeye göre kontrol durumunda incelenmiştir. Çok zamanlı tarife kontrolsüz ve kontrollü çalışma durumları, Tek fiyatlı tarife ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, buzdolaplarının puant periyottaki tüketimlerinin %23.08 ile %41.73 oranları arasında azaltılabileceği ve yıllık elektrik faturasında %12.54 ila %14.78'e varan tasarruflar elde edilebileceği tespit edilmiştir. Defrost (derin dondurucu) kontrolü puant zamanlardaki tüketimleri %15.04 azaltmakla beraber, yıllık elektrik faturasındaki tasarruflara %1.7 katkı sağlayabileceği analiz edilmiştir. Ekonomik hesaplamalar, Türkiye'de uygulanan mevcut tarifeler kullanılarak yapılmıştır. Ek ödemeler, özel indirimler gibi dolaylı yük kontrolü yöntemleri uygulandığı takdirde kullanıcıların bu uygulamaları kullanmaya daha çok teşvik edilmesi sağlanabilir.

Yue Wang ve arkadaşları [7], müşterilerin cihaz kullanım modellerini etkili bir şekilde ayarlayarak, talep tarafının yanıt vermesinin gelecekteki akıllı şebekeye önemli ekonomik ve çevresel faydalar getirmesini beklemektedir. Talep tarafı cihazları, bulaşık makineleri ve çamaşır makineleri gibi kaydırılabilir cihazlar ve aydınlatma cihazları ile elektrikli ısıtıcılar gibi kaydırılamayan cihazlar olarak iki grup olarak düşünülmelidir. Kaydırılabilir cihazlar TTY ile iyi bir şekilde kontrol edilebilse de, kaydırılamayan cihazların rastgele kullanım şekilleri, elektriksel taleplerde belirsizliklere yol açacak ve böylece akıllı şebekelerin verimliliğini ve güvenilirliğini etkileyecektir. Dağıtım sisteminin işletme maliyetinin, çeşitli dağıtım sistemi işletme kısıtlamaları dikkate alınarak en aza indirildiği, iki aşamalı bir stokastik programlama problemi formüle edilmiştir. Kaydırılabilir cihazların programlanması, kaydırılamayan (sabit) cihazların rastgele kullanım şekilleri dikkate alınarak, ikinci aşamada optimize edilmiştir. Dağıtım sistemlerinde çok sayıda ev aletinin neden olduğu hesaplama karmaşıklığını ve olası senaryo sayısını azaltmak için orijinal senaryo verisinin temel özelliklerini koruyarak senaryo azaltma tekniği uygulanmıştır. Rastgele cihaz kullanım şekilleri altında optimal elektrik fiyatını

bulmak için genetik algoritma yöntemi kullanılmış ve dinamik bir tarife yapısı ortaya konulmuştur.

Christopher Adika ve Lingfeng Wang'a göre [10], mesken abonelerin yük tüketimlerinin dalgalanmasını önleyebilmek için elektrik dağıtım şirketleri tarafından yukarıda anlatılan TTY stratejilerini uyguladığını söylemektedir. Bu stratejiler, müşterilerin elektriği verimli bir şekilde tüketmeleri için parasal teşvikler olarak düzenlenmiştir. Bu nedenle, TTY stratejileri mesken abonelere elektrik faturalarını düşürmeleri için sayısız fırsat sunmaktadır. Ancak, çeşitli TTY stratejilerinin enerji yönetimi faydalarını üst düzeye çıkarmak amacıyla oluşturulan sistemler maalesef müşteriler tarafından yeterli ilgi görmemiştir. Bu nedenle, bu çalışma hem enerji depolama hem de cihaz planlama şemalarını uygulamak için kullanılabilecek akıllı bir enerji yönetimi planlaması önermektedir. Elektrikli cihazlarının programlanmasını kabul eden müşteriler, düşük tüketimin olduğu saatlerde güç tüketimini uygun şekilde planlayarak maliyet tasarrufu sağlayabilirler. Elektrik depolamasını, elektrik fiyatlarının düşük olduğu ve yoğun olmayan tüketim saatlerinde gerçekleştirerek elektrik satın alımını gerçekleştirebilir ve fiyatların yüksek olduğu durumlarda depoladıkları elektrik ile taleplerini karşılayabilirler. Optimum maliyet tasarrufu için, müşterilerin elektrik şebekesi ile elektrik depolama cihazları arasında ne zaman geçiş yapılacağını belirlemek ve fiyat dalgalanmalarını sürekli izlemek gerekmektedir. Bununla birlikte, tüm tüketicilerin aynı anda, yani fiyatların düşük olduğu zaman diliminde elektrik depolama cihazlarını depolamaya çalışması başka bir probleme yol açabilir. Bu sebeple yeni pik tüketimler ortaya çıkabilir bunun sonucu olarak da pil depolama işleminde koordineye ihtiyaç duyulur. Bu makale hem elektrik şebekesinin istikrarını hem de müşteri tasarrufunu sağlayan özerk bir akıllı şarj çerçevesi önermektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar içerisinde TTY'nin gelişen teknoloji ile birlikte artık yük yoğunluğu yönetme kısmına odaklandığı ve yük yoğunluğunu yönetebilmek için öncelikle kullanıcıları kümeleme çalışması yaptığı görülmektedir [11]-[14]. Bu nedenle, makine ve cihazların akıllı tüketim davranışlarının kurgulanması, yeni tüketim modellerinin geliştirilmesi, hatta bu sistemlerin birbirleriyle ve şebeke ile haberleşmesi gündeme gelmektedir.

Ramon Granell ve arkadaşları [11], elektrik yük profillerini kümelerken zamansal değişimin etkisini analiz etmek için çalışmalar yapmıştır. Gerçek mesken aboneleri tüketiminin zaman çözünürlüğü değiştirilerek çeşitli algoritmalar ile

sistematiik olarak test edilmiştir. Ayrıca verimlilik, 5000'e kadar profile sahip sentetik veriler kullanılarak test edilmiştir ve k-means algoritmasının daha hızlı olduğunu ortaya koyulmuştur. Bu çalışmada elektrik dağıtım şirketleri için tüketicilerin zaman, g ve kullanım verileri arasındaki farkları ayırt etmeleri ve sağlıklı bir sonuç elde edebilmek için en az 30 dakika ve ideal olarak 8 veya 15 dakika aralıklarla veriye ihtiyaç duyulduğunu göstermişlerdir. Dağıtım şebekesi operatörleri, çeşitli uygulamalar için daha yüksek çözünürlükteki verilere başvurabilir fakat 8 dakikalık verilerin uygun olduğunu göstermişlerdir. 30 dakikadan daha yavaş ve kesinlikle 60 dakikadan daha düşük frekanslarda hiçbir zaman yeterince güvenilir değildir.

Hongming Yang ve arkadaşları [12], tüketicileri, marjinal maliyet, yk ayarının st limiti ve esneklik katsayısı gibi bireysel bilgilere dayanarak farklı kategorilere ayırmak için bir sınıflandırma algoritması kullanmıştır ve kullanıcıları kümeleme çalışması yapmıştır.

Sergio Valero Verdu ve arkadaşları kümeleme yapabilmek için farklı metodolojiler olduğunu söylemektedir [13]. Bazı kullanıcıların kapasitesini gözden geçirmek ve özellikle ticari, endüstriyel veya mesken müşteri elektrik talebi veri tabanlarından verileri çekip filtreleme, sınıflandırma ve ayıklama yaparak kendi kendini düzenleyen haritalar oluşturup test etmişlerdir. Müşteri sınıflandırma tekniği olarak genellikle her kullanıcının geçmiş yk eğrileri kullanılmıştır. Bu çalışmada sunulan metodolojideki ilk adım veri filtrelemedir. Tatil dönemleri, elektrik hattı ve teçhizatı bakım dönemleri ile yanlış ölçümler veri tabanından kaldırılmıştır. Son olarak, veri setine eklenen yeni müşterileri farklı kümeler halinde sınıflandırma yeteneği de incelenmiştir. Sonuçlara göre bu yaklaşım veri yönetimini iyileştirmiş ve elektrik kullanıcılarını uygun kümelere kolayca ayırabilmiştir.

Kehua Li ve arkadaşlarının makalesinde birden fazla binanın tipik günlük elektrik kullanım profillerini tanımlamak için kümelemeye dayalı bir strateji sunmaktadır [14]. Mevcut kümeleme stratejilerinin çoğundan farklı olarak, önerilen strateji iki kümeleme seviyesinden oluşur, yani bina içi kümeleme ve binalar arasında kümeleme. Bina içi kümeleme her bir binanın örnek günlük elektrik kullanım profillerini tanımlamak için Gauss model tabanlı bir kümeleme kullanmıştır. Binalar arası kümelemede, her bir bina için belirlenen örnek günlük elektrik kullanım profillerine hiyerarşik model kümeleme yöntemi kullanmıştır. Bu stratejinin başarısı, 40 adet üniversiteden toplanan iki yıllık saatlik elektrik tüketimi verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar,

üniversite binalarının ve diğer binaların enerji performansının iyileştirilmesine yardımcı olmak için kullanılabilir.

Elektrik kullanıcılarının, hem konut hem de ticari sektörlerdeki davranışlarını ayırt etme konusunda giderek artan bir ilgi vardır. Yüksek çözünürlüklü zaman serisi verileri bilgisayar açısından zahmetli ve çok işlem gerektirdiğinden popüler tekniklerden biri kümelemedir. Yük talep profillerinin kümeleme sürecinin kalitesi küme üyeliğinin tutarlılığına yani benzer davranış gösteren profiller olmasına bağlıdır. Bu çalışma ile hem konut halkı tüketim verilerinden hem de sentetik profillerden elde edilen ham veriler kullanılmıştır. Kümeleme çalışmasının yapılmasındaki amaçlar;

- Tarife tasarımına katkı sağlamak,
- Sahtekâr kullanıcıların tespiti (olağandışı kullanım),
- TTY ve enerji verimliliği önlemleri için kullanıcı türlerini ayırt etmeye yardımcı olmaktır.

TTY'yi akıllı yöntem ve algoritmalar kullanarak gerçekleştirebilmek için öncelikle tüketicilerin kullandığı makine ve cihazların tüketim istatistiklerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bazı çalışmalarda, bir konutta kullanılan elektrikli cihazların tüketim miktarları, kullanılma süreleri ve kullanım istatistikleri elde edilmiştir. Buna göre, istatistiksel kullanım verisi bilinen herhangi bir elektrikli cihaz için matematiksel olasılık dağılımı ve buna uygun bir olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilebilmektedir [9],[10]. Bu tezde, literatürde yapılan çalışmalardan yola çıkılarak, mevcut tüketicilerin istatistiksel olarak modellenmesi ve yeni tüketici davranışlarının tasarlanması ile gerçekleştirilen bir program üzerinden Centre for Renewable Energy Systems Technology (CREST) tüketim verileri elde edilmiş olup bu veriler ile elektrik tüketicilerinin özellikle konut tipi kullanıcılarının kullanım durumlarına göre sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır

Jiang Chen'in tezinde [15], bir konuttaki harmonik kaynakları ve diğer doğrusal yükleri modellemek için olasılıklı bir aşağıdan yukarıya tekniği önermiştir. Aşağıdan yukarıya tekniği cihazlardan yola çıkarak bir evin elektrik tüketiminin modellenmesi ve daha sonra n adet evin elektrik tüketim profillerinin oluşmasını sağlar. Bu teknik sadece ev aletlerinin günlük kullanım şeklini ve ev içi faaliyetleri dikkate almakla kalmaz, aynı zamanda gelecekteki pazar eğilimlerini ve politika

değişikliklerini temsil etme esnekliği sağlar. Mesken abonelerin elektrik tüketimini bu teknikle modellemiştir. Aynı modelden yararlanılarak elde edilen veriler tezde mesken abone veri setleri olarak kullanılmıştır.

Goran Strbac [16], TTY başlıca faydaları ve zorlukları İngiltere elektrik sistemi içerisinde ele almıştır. Üretim santrallerinin kapasitesinin nispeten düşük kullanımı (yaklaşık % 50), TTY'nin sistem yatırımının verimliliğini artırmaya katkıda bulunacak önemli bir alan olduğu anlamına geldiğini ve TTY'nin iletim ve dağıtım ağlarının planlanmasına fayda sağlayacağını söylemiştir. Ayrıca, gelecekteki İngiltere elektrik üretim sisteminde, stabil olmayan üretim sergileyen yenilenebilir enerji üretim santrallerinin payının artacak olması ile talep ve talebi dengelemede TTY'nin önemini vurgulamaktadır. TTY'nin özellikle konut, ticari ve küçük işletmelerde nispeten zor kabul görmesinin bazı sebepleri bulunmaktadır. Bunlar bilgi ve iletişim eksikliği, TTY'nin yararlarının anlaşılmaması, sistem operasyonunda oluşabilecek karmaşıklıklar olarak sayılabilir. Buna rağmen faydaları göz önüne alındığında kesinlikle TTY gelecekte mutlaka daha çok ön plana çıkacaktır. TTY ile aşağıda sıralanan olumlu etkilerin elde edileceği aktarılmaktadır;

- Mevcut dağıtım altyapısına bağlanabilen dağıtık üretim miktarının artırılması,
- Gerilim kısıtlı gücün azaltılması,
- Dağıtım yönetiminde tıkanıklığın giderilmesi,
- Karbon salınımının azaltılması,
- Enerji kalitesinin ve güvenilirliğin artırılması,
- Maliyetin azaltılması

TTY'nin olumlu yönlerinin yanında bu tezin başka bir boyutu ise konut tipi kullanıcılarının Talep tarafı yönetilebilirlik durumunu matematiksel olarak ortaya koymaktır ve bunun üzerine Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi (TTYİ) oluşturularak yönetilebilirlik sayısal olarak ölçülebilir hâle getirilmiştir.

TTY'nin daha aktif bir şekilde uygulanabilmesi için elektrik üretim, iletim, dağıtım sisteminin iyi bir şekilde tanımak gerekmektedir. İkinci bölümde Türkiye'ye ait elektrik sistemini daha yakın tanıyabilmek için kurulu güç, puant talep, yük talep hakkında bilgiler verilmiştir.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı; Talep Tarafı Yönetimi (TTY)'ne katkı sağlayabilmek için elektrik abonelerinin yük tüketim profillerine göre Temel Bileşen Analizi (TBA) ve k-means yöntemi ile kümelenmesi ve her bir kümeye özgü TTY stratejisi belirlenebilmesi için zemin hazırlanmasıdır. Aynı zamanda bu çalışmada her bir mesken için yönetilebilirlik indeksi hesaplanmıştır. Yönetilebilirlik indeksi hesaplanmasının amacı ise kullanıcının yönetilebilme uygunluğunu sayısal olarak ölçmektir. İndeks oluşturulmasının sebebi kullanıcıların TTY stratejilerine uygunluğunu ölçmek ve indekse göre kullanıcıların sınıflandırılmasına imkân sağlamaktır. Ayrıca Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi (TTYİ) hesaplanan mesken abonelere uygulanan talep tarafı yönetim stratejileri ile elektrik abonelerinin faturalarında elde ettiği kâr miktarları hesaplanmış. İndeks değeri ile elde edilen kâr oranları arasındaki ilişkinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Sınırları

Elektrik enerjisinin verimli kullanılmasını amaçlayan bu tezde Talep Tarafı Yönetimi (TTY) uygulanması için öncelikle kullanıcılar kullanım profillerine göre ve TTY stratejisine uygun belirlenen parametrelere göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma çalışması yapılırken; farklı tip elektrik aboneleri ve aynı tip (mesken abone) veri setleri kullanılmıştır. Temel sınıflandırma yöntemi ile maksimum elektrik tüketim değeri ve maksimum elektrik tüketimin gün içerisinde gerçekleştiği saat dilimi parametre olarak belirlenmiş ve iki parametre ile ilk sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Çalışmanın devamında parametreler bu iki parametrenin temelinde zenginleştirilerek gün içerisindeki minimum elektrik tüketimi ve zaman dilimi, elektrik tüketimindeki maksimum ve minimum değişimler, elektrik tüketimi değerlerinin standart sapması gibi parametreler eklenmiş ve 11 adet parametre ile temel bileşen analizi ve k-means metodu uygulanarak mesken aboneler kümelerine ayrılmıştır. Mesken abone veri seti olarak A.B.D'ye ait 237 adet konutun gerçek zamanlı elektrik tüketim profilleri ve simülasyon ile elektrik tüketim profili üreten bir program ile Türkiye'ye ait 4000 adet konut veri setleri kullanılmıştır. Bu

Çalışmanın farklı bir boyutu olarak talep tarafının yönetilebilirliğini sayısal olarak ölçebilen Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi (TTYİ) mesken aboneler için hesaplanmıştır. TTYİ değeri hesabı yapılan veri seti olarak ise İngiltere'ye ait konutlar için simülasyon ile tüketim profili üreten CREST programı ve aynı şekilde Türkiye'ye ait konutlar için veri üreten program kullanılmıştır. Aynı veriler ile TTY stratejisi uygulayarak maliyet analizi yapılmış ve kâr eden mesken abonelerin TTYİ ile ilişkisi gösterilmiştir.

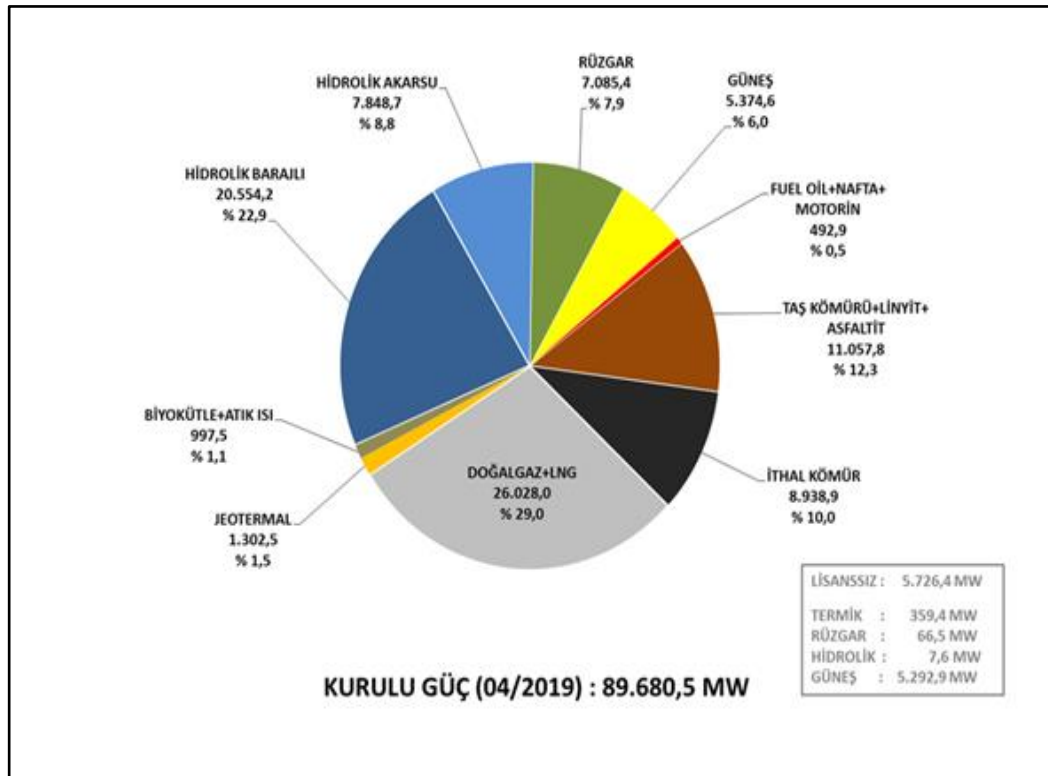
1.3. Tezin Yapısı

Tez akışı şu sıra ile devam etmektedir. Tezin giriş bölümünde Talep Tarafı Yönetimi (TTY) ve tüketicilerin kümelenmesi hakkında literatür taraması yapılmıştır. Tezin ikinci bölümünde Türkiye'de elektrik üretim santrallerinin kapasitesine, gelecek planlamasına ve elektrik tüketim taleplerine yer verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde ise tüketicilerin elektrikli cihazları sabit yük, ayarlanabilir yük, kaydırılabilir yük çeşitleri olarak anlatılmış ve bir mesken abonesine ait maliyet analizi yapılmıştır. Ayrıca TTY ve altı temel prensibi anlatılmıştır. Tezin dördüncü bölümünde, konut tipi tüketici ve farklı tiplerdeki tüketicilerin TTY'ye uygun sınıflandırılması amacıyla uygun parametreler belirlenmiş ve bu parametreler Temel Bileşen Analizi (TBA) metodu kullanılarak kümeleme çalışmaları yapılmıştır. Beşinci bölümde talep tarafı yönetilebilirlik indeksi tanımlanmıştır. Tezin son bölümünde ise TTY stratejisi ile birlikte elektrik tüketim maliyetlerinin analizleri yapılmıştır.

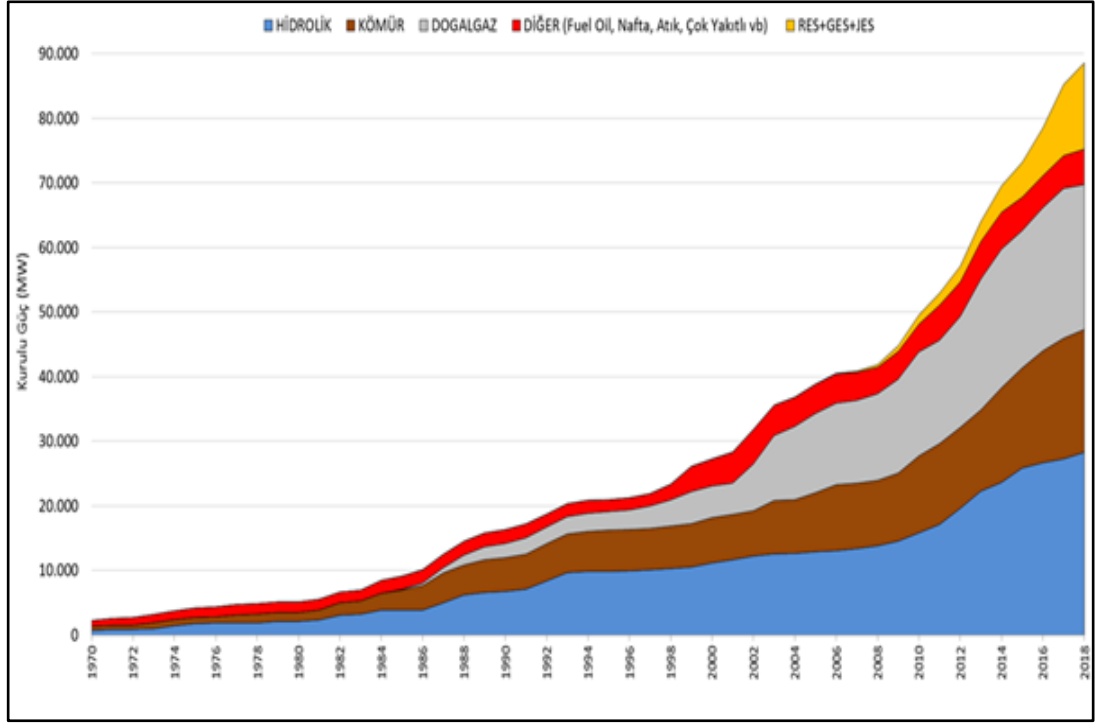
2. TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ÜRETİMİ VE KURULU GÜÇ

Türkiye’de elektrik üretiminin kapasitesine ve kurulu güç değerlerine değinmemizin sebebi, Talep Tarafı Yönetimi (TTY)’ne katkısının ne derece faydalı olacağını gösterebilmektir. Yaklaşık 80 milyon insanın yaşadığı ülkemiz Dünya’da enerji tüketim sıralamasında 15. sırada yer almakta ve Dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %1 ‘lik kısmını kapsamaktadır [17].Böylesine büyük bir kaynağı TTY ile daha verimli kullanmak büyük bir önem arz etmektedir.

Türkiye’de elektrik enerjisi birincil kaynaklardan kömür, doğalgaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından su, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ile üretilmektedir. Ülkemizdeki yıllara göre dağılımı ve kurulu güçlerin değişimi Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de görülmektedir [18].



Şekil 2. 1: Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü. (30 Nisan 2019)

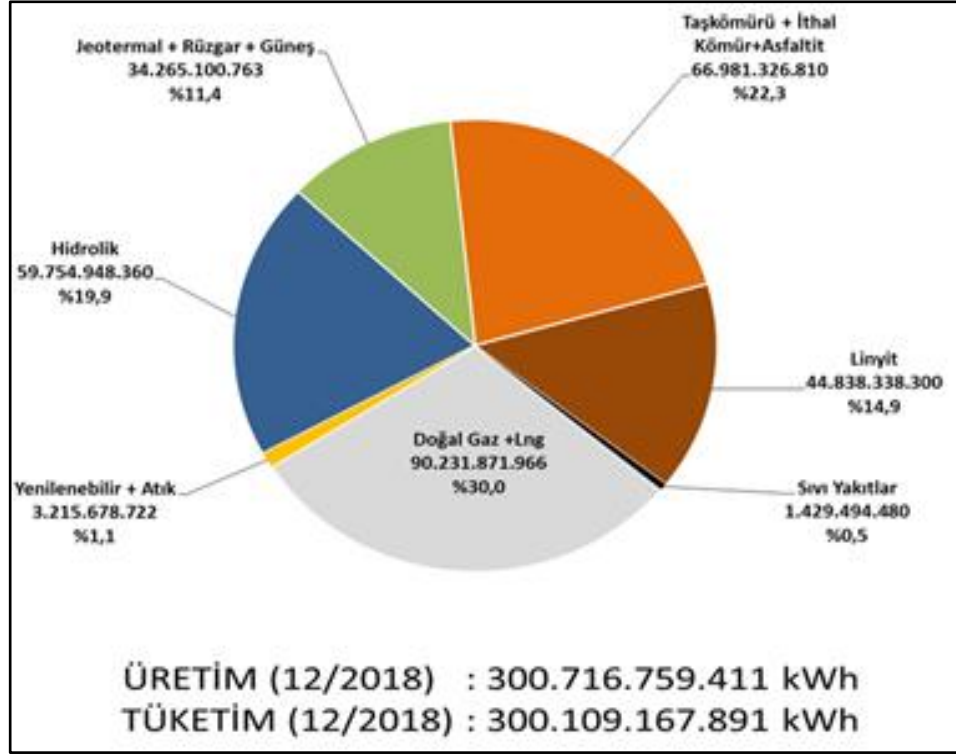


Şekil 2. 2: Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi. (30 Nisan 2019)

TTY doğru ve planlı bir şekilde uygulanırsa elimizdeki elektrik üretim santralleri daha verimli kullanılacak, yeni inşa edilmesi planlanan santrallerin inşa edilmesi ertelenebilecektir. Tüketicilerin aynı zaman dilimlerinde elektrik kullanması daha fazla elektrik üretim santraline ihtiyaç duymamıza sebep olmaktadır. Elektrik tüketim değerlerimiz ve elektrik üretim santrallerimizin büyüklükleri göz önüne alındığında, TTY stratejilerinin uygulanmasının ülke ekonomisine katkı sağladığı görülecektir.

Ülkemizde nüfusun, üretim ve sanayi faaliyetlerinin giderek artması enerji ihtiyacının da artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple yeni üretim santralleri inşa edilmekte olup taleplerin karşılanması hedeflenmektedir. Şekil 2.3’ de yıllara göre değişimi üretim ve tüketim değerleri gösterilmektedir[18].

TTY stratejilerinin ülke olarak benimsenmesi ve uygulanması ile üretim santrallerinin inşasına duyulan ihtiyaç azalacak ve ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır.

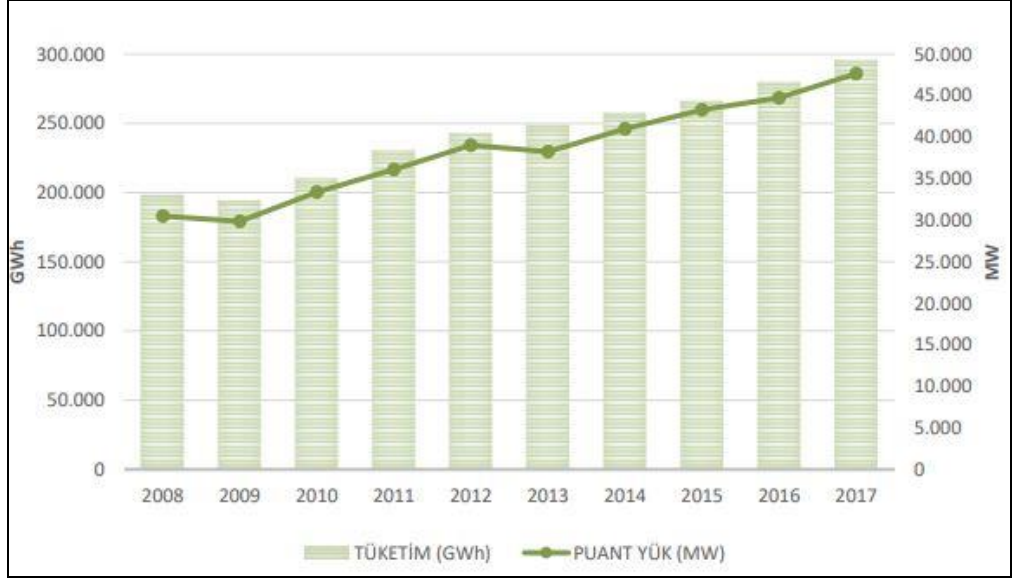


Şekil 2. 3: Türkiye’de elektrik üretimi. (Ocak-Aralık 2018)

2.1. Yük Talebi

Enerji tüketim miktarları ülkemizde ve dünyada sürekli olarak artış eğilimindedir. Dünyada 1980 ile 2015 yılları arasında elektrik tüketimi yaklaşık olarak 3 kat artmış bulunmaktadır [19]. Ülkemizde ise yaklaşık olarak her yıl %10’luk elektrik tüketimi artışı görülmektedir. Toplamda ise 2008’den 2017’ye %54’lük artış görülmüştür [20]. Genel görünüm ve gelecek planlamaları göz önüne alınırsa hiç şüphesiz enerji ihtiyacı daha da artacaktır. Türkiye’nin elektrik enerjisi ihtiyacının 2020 yılına kadar yıllık %4,9 ile 4,7 arasında büyüme göstermesi beklenmektedir. Şekil 2.4 ‘te tüketim ve puant eğrileri gösterilmektedir [21].

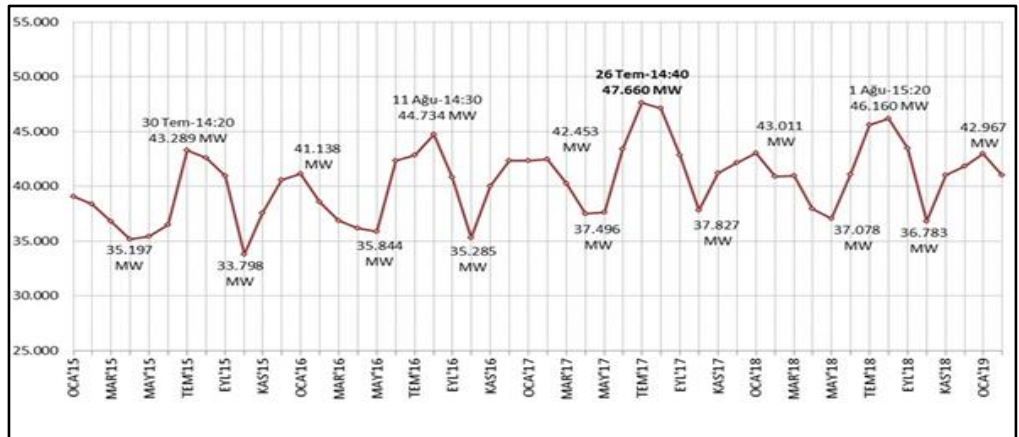
Şekilde Türkiye’nin elektrik ihtiyacının giderek arttığı görülmekte bu nedenle Talep Tarafı Yönetimi (TTY)’nin buna paralel olarak önem kazandığı ortaya çıkmaktadır. Artan elektrik tüketimi TTY’den elde edilecek faydayı da arttıracaktır.



Şekil 2. 4: Türkiye elektrik sisteminde gerçekleşen puant yük ve elektrik tüketimi.

2.2. Puant Talep

Elektrik enerjisi tüketiminin en yüksek olduğu yüklenme durumuna puant talep denir. Puant talep, kurulu gücün yeterli olup olmadığını görebilmek adına son derece önemlidir. Hiçbir tüketici tamamen aynı kullanım profilini sergilemese bile aynı tip kullanıcılar benzer tüketim profili sergilemektedir (mesken kullanıcı tipi, sanayi ve endüstri kullanıcı tipi, kamu kullanıcı tipi vs.). Puant talebe farklı bakış açılarıyla bakılırsa şöyle bir sonuç çıkarılabilir. Eğer tüketiciler mümkün olduğunca puant taleplerinin olduğu zaman aralıklarını başka zaman aralıklarına kaydırırsa kurulu güç talebi de aşağıya çekilebilir.



Şekil 2. 5: Türkiye’de sistem aylık maksimum ani puant. (MW)

Puant yük tahmini kurulu güce ihtiyacın bulunmasına direkt etki ettiği için puant yük tahmini son derece önem arz etmektedir. Şekil 2.5’de geçmiş yıllara ait Ocak, Mart, Mayıs, Temmuz, Eylül, Kasım aylarının puant talep değerleri görülmektedir. Her sene yaz mevsimine denk gelen Temmuz ayı bulunduğu senenin puant değerini göstermektedir [18].

Tablo 2. 1: 2008-2017 Türkiye elektrik kurulu güç ve puant talep değerleri.

YIL	TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ KURULU GÜÇ DEĞERLERİ	TURKIYE ELEKTRİK SİSTEMİNDE GERÇEKLEŞEN PUANT TALEP DEĞERLERİ
2008	41,957 GW	30830 MW
2009	44,783 GW	30000 MW
2010	49,130 GW	33300 MW
2011	52,826 GW	35830 MW
2012	57,391 GW	39165 MW
2013	64,130 GW	38330 MW
2014	69,348 GW	40830 MW
2015	73,261 GW	43330 MW
2016	78,261 GW	45000 MW
2017	85,000 GW	47500 MW

Şekil 2.2’ de görülen Türkiye’ye ait elektrik enerjisi kurulu gücünün yıllara göre değişimi ve Şekil 2.4’te görülen elektrik sisteminde gerçekleşen puant yüklerin yıllara göre değişiminin değerleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Kurulu güç ile puant talep arasındaki korelasyon değeri hesaplanmış olup % 98,2 olarak bulunmuştur. Talep Tarafı Yönetimi ile puant talebin azaltılabilmesi aynı zamanda yeni kurulması planlanan elektrik üretim santrallerinin gerekliliğini azaltır.

2.3. Türkiye’de Elektrik Abone Gruplarının Dağılımı

Ülkemizde yer alan tüketici gruplarının dağılımının bilinmesi, Talep Tarafı Yönetimi (TTY) açısından hangi kitleye uygun çalışma yaparak nasıl stratejiler geliştirilmesi gerektiğinin öngörülmesi açısından son derece önem arz etmektedir. Türkiye’de Elektrik Abone gruplarının dağılımı Tablo 2.2’ de görüldüğü gibi olup mesken abone grubu özellikle tez çalışmasında ilgilenilen kitleyi göstermektedir. Mesken abone grubunun %20’lik paya sahip olması çalışmanın etki oranını da göstermektedir. Bunun dışında farklı yük tipleri (otel, ofis, süpermarket, hastane, okul, lokanta gibi) için çalışmalar da yapılmıştır. Tablo 2.2’de 2017 yılına ait abone grubu tipleri ve bu grupların yüzdesel payları görülmektedir [18].

Tablo 2. 2: 2017 yılı elektrik enerjisinin abone gruplarına göre dağılımı.

Abone Grubu	Tüketim (2017)		Abone (2017)	
	MWh	Payı (%)	Sayı	Payı (%)
Mesken	54.251.308	21,8	34.781.657	81,9
Ticaret ve Kamu Hizmeti	67.093.546	26,9	6.333.684	14,9
Sanayi	116.482.599	46,8	351.834	0,8
Tarımsal Sulama	6.049.407	2,4	634.589	1,5
Aydınlatma	4.397.009	1,8	360.339	0,8
Diğer	748.778	0,3	28.557	0,1
Toplam	249.022.646	100,0	42.490	100,0

Tablo 2.2 TTY’ nin uygulanacağı kullanıcı tiplerini göstermektedir. Özellikle mesken abonelerin tüm abone grupları içerisindeki %20’lik payı, bu çalışmada yapılan mesken abonelerin TTY uygulamaları ile yapılan maliyet analizi çalışmalarının önemini göstermektedir.

2.4. Sonuçlar

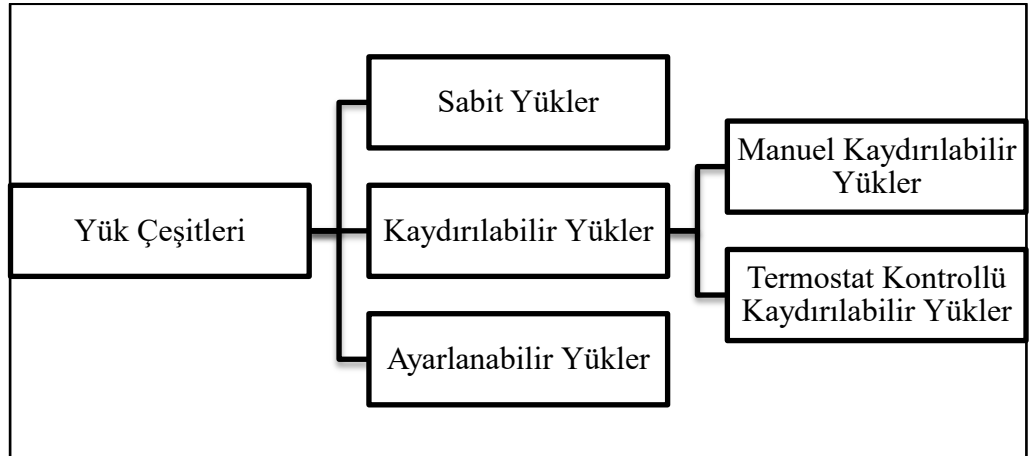
Bu bölümde Türkiye'ye ait elektrik üretim santralleri, yk talep ve puant talep değerleri belirtilerek, Talep Tarafı Yönetim (TTY) stratejilerinin ne derece önemli olduğu gösterilmiştir. Türkiye'de kurulu güç santrali ile puant talep değerlerinin doğrudan ilişkili olduğunu gösteren çalışma bu bölümde yapılmış ve iki değer arasında %98,2'lik korelasyon değeri tespit edilmiştir. Bu noktada TTY stratejilerinden olan puant yük talebini kaydırma stratejisinin başarılı bir şekilde uygulanması durumunda kurulacak olan elektrik üretim santrallerini doğrudan etkileyeceği TTY'nin ülke ekonomisine hem doğrudan hem de dolaylı olarak katkı sağlayacağı grlmştir.

3. ENERJİ TÜKETİMİNE GÖRE YÜK ÇEŞİTLERİ VE KONTROLÜ

Bu bölümde, giriş bölümünde değinilen Talep Tarafı Yönetimi (TTY)’nin gelişen teknolojiler ile beraber izlediği yolların ikinci adımı ve üçüncü adımına hizmet edebilmek adına yük yoğunluğunun yönetilebilmesi için, yük çeşitleri ve TTY stratejileri detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

3.1. Yük Çeşitleri

Elektrik abonelerinin tüketim profilini oluşturan ve tüketim sergileyen tüm elektrikli cihazlar birer yük olarak tanımlanmaktadır. Yük çeşitleri temelde üçe ayrılmış olup bunlar; sabit yükler, kaydırılabilir yükler ve ayarlanabilir yükler olarak belirtilmiştir. Kaydırılabilir yükler ise kendi içerisinde ikiye ayrılmıştır ve manuel kaydırılabilir yükler ve termostat kontrollü kaydırılabilir yükler olarak isimlendirilmiştir ve aşağıda bu yük çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 3. 1: Yük çeşitleri.

3.1.1. Sabit Yük

Sabit yükler, yönetilemeyen yükler olarak da adlandırılabilir. Bu yüklerin yönetilemez olma sebebi on-off konumunda çalışması ve off konumuna alındığında kullanıcıya hiçbir şekilde hizmet verememesidir. Talep Tarafı Yönetimi (TTY) uygulaması sabit yüklerde kullanılamaz. Bilgisayar, radyo, televizyon bu yük

çeşidine örnek olarak gösterilebilir. Eğer bir yük yönetim sistemi müdahalede bulunursa bu cihazlar doğrudan kapalı konumuna geçerler [6].

3.1.2. Kaydırılabilir Yükler

Kaydırılabilir yükler, yönetilebilen yükler olarak da adlandırılabilir. Bu yüklerin yönetilebilir olma sebebi, kullanımı için gerekli olan enerjinin başka zaman aralığında da kullanıldığında kullanıcıyı etkilememesidir. Bu yükleri iki alt kategoriye ayırdığımızda; Manuel Kontrollü Yükler ve Termostat Kontrollü Yükler olarak adlandırabiliriz [6].

Manuel kaydırılabilir yükler, kullanıcıların kullanım zaman aralığını değiştirse de aynı hizmeti alabileceği, sadece zaman değişikliği yapması gereken yüklerdir. Günümüzde yoğun kullanılsa da elektrikli arabanın şarj edilmesi buna güzel bir örnektir. Gelecekte elektrikli araçların daha yoğun kullanım ihtiyacının doğacağını düşünürsek ciddi ölçüde Talep Tarafı Yönetimi (TTY)'ne katkı sağlayacaktır. Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, ütü de bu yük tipine örnek verilebilir.

Termostat kontrollü kaydırılabilir yükler, soğutma ve ısıtma işlemi yapar ve bu işlemi yaparken sıcaklığı sürekli belirli bir aralıkta tutmaya çalışır. TTY açısından bu yüklerin öneminden bahsetmek gerekirse, kullanıcının konforu hiçbir şekilde etkilenmez. Buzdolabı, derin dondurucu, su ısıtıcısı, klima gibi yükler bu yüklere örnek olarak verilebilir.

3.1.3. Ayarlanabilir Yükler

Ayarlanabilir yükler, kullanıcıların ihtiyacını karşılarken konforundan bir miktar fedakârlık etmesi gerektiren yük çeşididir. Dimmer, havalandırma fanları (saç kurutma makinası, vantilatör) bu yük çeşidine örnek olarak verilebilir. Ekonomi modunda kullanılabilen tüm cihazlar da bu sınıfta değerlendirilebilir.

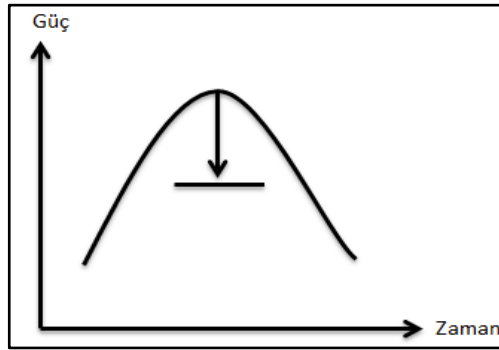
3.2. Yük Kontrol Modelleri

Mesken aboneler için Talep Tarafı Yönetimi (TTY) yapılmak istenirse öncelikle konutta bulunan yükler tanınabilir, gerekli sınıflara ayrılabilir ve son

olarak uygun talep tarafı yönetimi stratejileri uygulanabilir. TTY stratejileri aşağıdaki şekilde isimlendirilmiş olup detaylı bir şekilde anlatılmıştır [1] ;

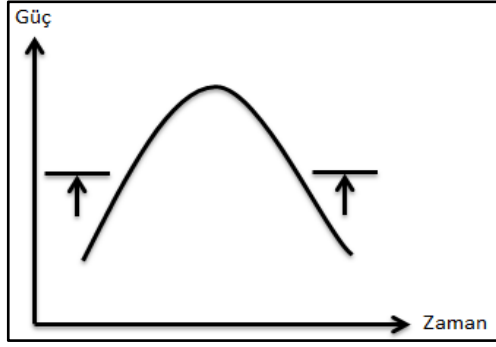
- i) Puant talebi azaltma stratejisi
- ii) Düşük talep zaman dilimindeki talebi arttırma stratejisi
- iii) Puant yük talebini kaydırma stratejisi
- iv) Yük talebinde tasarruf
- v) Esnek yük şekillendirme stratejisi
- vi) Stratejik talep büyümesi

- Puant Talebi Azaltma Stratejisi - Talep tarafının puant zaman talebindeki tüketimini azaltmak üzere bir stratejidir. Burada amaç puant zaman dilimindeki yükün tasarruf ile azaltılmasıdır. Şekil 3.2’ de puant talebi azaltma stratejisi çizilerek açıklanmıştır.



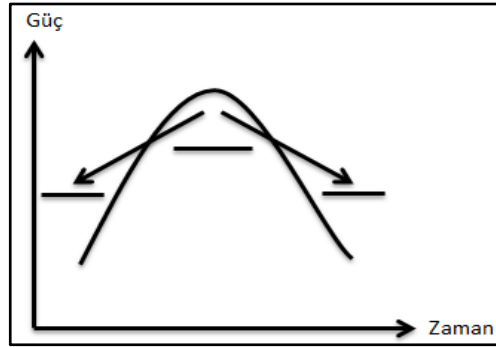
Şekil 3. 2: Puant talebi azaltma stratejisi.

- Düşük Talep Zaman Dilimindeki Talebi Arttırma Stratejisi - Kullanıcıların enerji ihtiyaçlarını düşük tüketimin olduğu zaman diliminde kullanmasına yönelik bir stratejidir. Tüketicilerin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi tüketimini puant saatten farklı saatlere kaydırmak amaçlanarak hem tüketiciyi mağdur etmemek hem de üretici tarafında tüketim profili dalgalanmasını önlemektir. Özellikle düşük elektrik tüketiminin sergilendiği saatler belirlenerek o saatlerde kullanım yoğunluğunu arttırmak amaçlanmaktadır. Şekil 3.3’ de düşük talep zaman dilimi için talep arttırma stratejisi çizilerek açıklanmıştır.



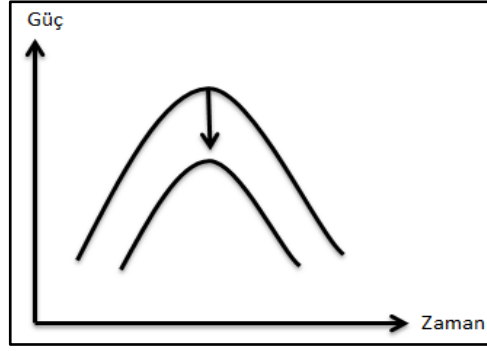
Şekil 3. 3: Düşük talep zaman dilimi için talep arttırma stratejisi.

- Puant Yük Talebini Kaydırma Stratejisi - Düşük talep zaman dilimindeki talebi arttırma stratejisine çok yakın bu stratejide farklı olarak özellikle yoğun saatlerdeki tüketimlerin daha az yoğun olan kısımlara taşınmasını amaçlamaktadır. Şekil 3.4’ de puant yük talebini kaydırma stratejisi çizilerek açıklanmıştır.



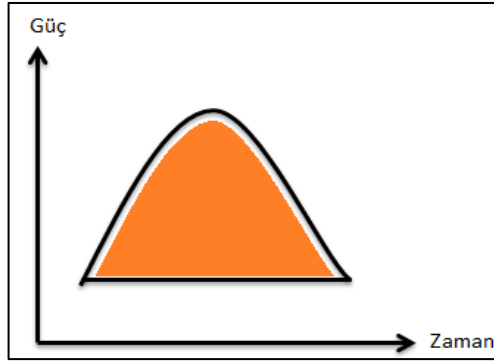
Şekil 3. 4: Puant yük talebini kaydırma stratejisi.

- Yük Talebinde Tasarruf - Bu stratejideki hedef tamamen yük tüketimi sergileyen tüm elektrikli cihazların verimli olan cihazlar ile değiştirilmesi üzerine kuruludur. Buzdolabı, televizyon gibi tüm cihazların A++ modelleriyle değiştirilmesi, tasarruflu ampullerin kullanılmasını kapsamaktadır. Şekil 3.5’ de yük talebinde tasarruf stratejisi çizilerek açıklanmıştır.



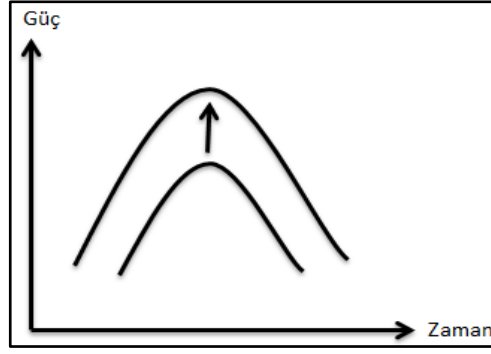
Şekil 3. 5: Yük talebinde tasarruf.

- Esnek Yük Şekillendirme Stratejisi - Tüm tüketicilerin yük profilini esnek şekilde yönetebilmesi amaçlanmaktadır. Uygulanması oldukça zor olan bu stratejinin zor olmasının sebebi, kullanıcıların tüketim alışkanlıklarına yüksek derecede müdahale ediliyor olmasıdır. Ancak güvenilir elektrik çok önemli bir kriter olmakla beraber müşterilere farklı fiyat tarifeleri ve farklı farklı güç kaliteleri sunulursa esnek yük şekillendirme formatına dönüş zamanla gerçekleşebilir. Şekil 3.6’ da esnek yük şekillendirme stratejisi çizilerek açıklanmıştır.



Şekil 3. 6: Esnek yük şekillendirme stratejisi.

- Stratejik Talep Büyümesi - Bu strateji giderek artan nüfus, sanayide kalkınmanın artması, elektrikli araçların kullanımının artması, fosil yakıt tüketiminin azaltılarak elektrikli araçlara yönelme gibi tüm faktörlerin göz önüne alınarak TTY’ye etkisinin dikkate alınması ile ilgilidir. Şekil 3.7’de stratejik talep büyümesi çizilerek anlatılmıştır.



Şekil 3. 7: Stratejik talep büyümesi.

3.3. Mesken Abone için Yük Yönetimi

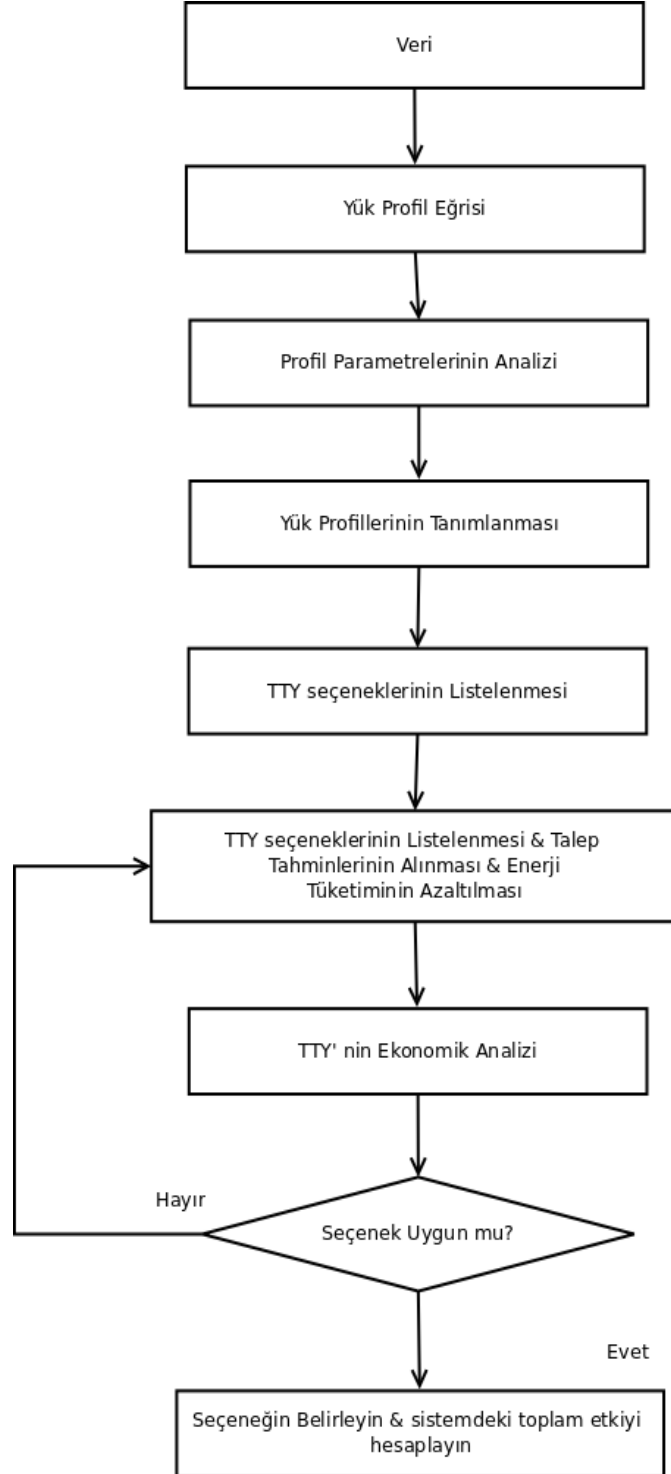
Talep Tarafı Yönetimi (TTY) uygulamalarının etkin olarak uygulandığı Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D), Danimarka, Almanya ve Japonya gibi gelişmiş ülkeler incelendiğinde bazı algoritmalar öne çıkmaktadır. Bu algoritmalar TTY stratejileri uygulayarak hem tüketiciye hem üreticiye ekonomik katkı sağlamak amacıyla oluşturulmuştur.

Bahsedilen algoritmalarından bir tanesi Şekil 3.8’ de gösterilmiştir [21],[22]. Bu algoritmaya göre, ilk olarak veri girişi sağlanır ve yük profili verisi için yük çeşitleri göz önüne alınarak müdahale edilebilecek yükler belirlenir. TTY strateji seçenekleri listelenir ve TTY stratejisi uygulanır. Ekonomik analiz yapılarak TTY stratejisinin uygunluğu kontrol edilir. En uygun TTY stratejisi tespit edilene kadar denemeye devam edilir ve en iyi sonucu veren TTY stratejisi uygulanarak toplam ekonomik etki hesaplanır.

TTY ile mesken, ticari ve sanayi tipi kullanıcılar yük profillerini gönüllü olarak değiştirebilmekte veya geliştirilen stratejik aksiyomlarla istenmeyen durumların önüne geçilebilmektedir. Böylece enerjinin yetersiz kaldığı, talep edilen enerjinin arttığı periyotlarda yakıt maliyeti yüksek ve aynı zamanda çevreye zarar veren kaynakların asgari derecede kullanılması sağlanmaktadır. Bahsi geçen yük kontrol modeli aksiyomları uygulanarak maliyet düşürülmekte ve sistemin daha güvenilir, daha verimli ve ekonomik olarak işletilmesine katkı sağlanmaktadır. [23].

Çalışmada TTY stratejilerinden üçüncüsü olan puant yük talebini kaydırma stratejisi kullanılarak ve Şekil 3.8’deki algoritma [21] baz alınarak bir ekonomik analiz yapılmıştır. Bölüm 4.3’ de detayları verilen CREST programından elde edilen

bir konutun bir günlük tüketim verileri kullanılmıştır. Temel düzeyde kişisel davranışlar ve cihazların durumu incelenmiş pik zamanda kaydırılabilecek yük miktarı tespit edilmiş ve sadece bulaşık makinesi ve çamaşır makinesinin haftada üçer kez çalıştığı varsayılarak üçlü fiyat tarifesindeki rakamlar baz alınmış ve bir hesaplama yapılmıştır.

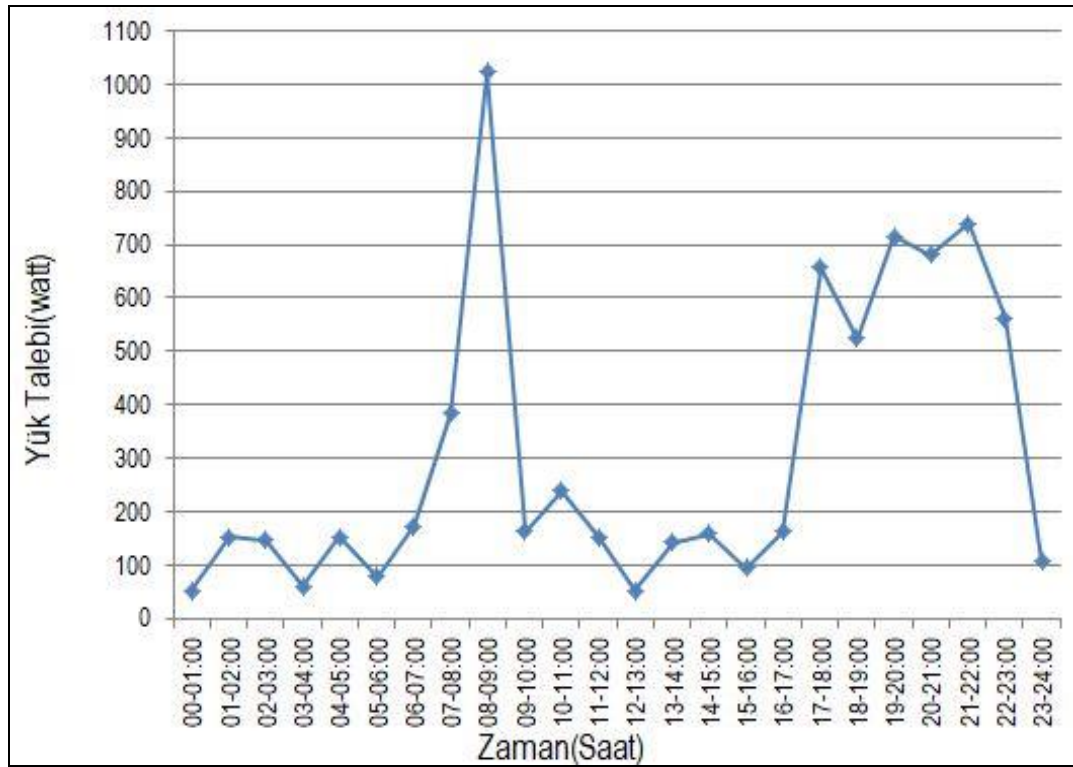


Şekil 3. 8: Talep tarafı yönetim algoritma örneği.

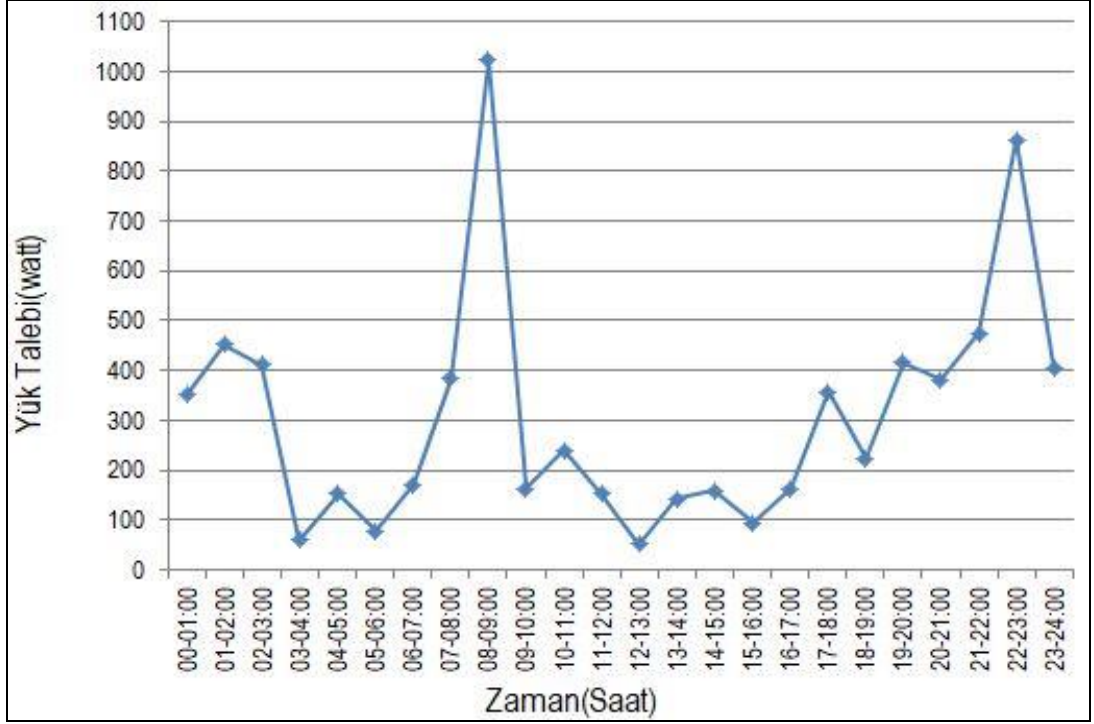
TTY'nin en yaygın kullanımı elektrik kullanıcılarına sunulan üç zamanlı tarifede görülmektedir. Bu tarifeler yardımıyla piyasa işletmecisi, tüketim yoğunluğu kullanımının en fazla olduğu puant zamandan gece ve gündüz zamanlarına kaydırmayı hedefler. Bunu sağlamak için de zamana bağlı değişen bir elektrik fiyatı tarifesini kullanılır [11]. Çalışmada kullanılan üç zamanlı tarife ücret tablosu ve tek zamanlı ücret tablosu Tablo 3.1' de görülmektedir [24].

Tablo 3. 1: Tarifelere göre mesken elektrik fiyatları-1.

Tarife Adı	Mesken		
	Gündüz (06.00-17.00)	Puant (17.00-22.00)	Gece (22.00-06.00)
Üç Zamanlı	0,4592 TL/kWh	0,7035 TL/kWh	0,2853 TL/kWh
Tek Zamanlı	0,4612 TL/kWh	0,4612 TL/kWh	0,4612 TL/kWh



Şekil 3. 9: Talep Tarafı Yönetimi öncesi örnek bir mesken yük talebi.



Şekil 3. 10: Talep Tarafı Yönetimi sonrası örnek bir mesken yük talebi.

CREST programından elde edilen yük profili üzerindeki değişiklikler Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Şekil 3.9' da yer alan yük profilinde puant zaman dilimindeki tüketimler daha yüksek iken, Şekil 3.10'da puant zaman dilimindeki yüklerin belli bir kısmı gece zaman dilimine taşınmış yani puant yük talebini kaydırma stratejisi uygulanmıştır. Şekil 3.9' a ait yük profilin hesaplanan elektrik fatura değeri 124.003 TL iken, Şekil 3.10'a ait yük profilin elektrik faturası 103.410 TL olarak hesaplanmıştır.

3.4. Sonuçlar

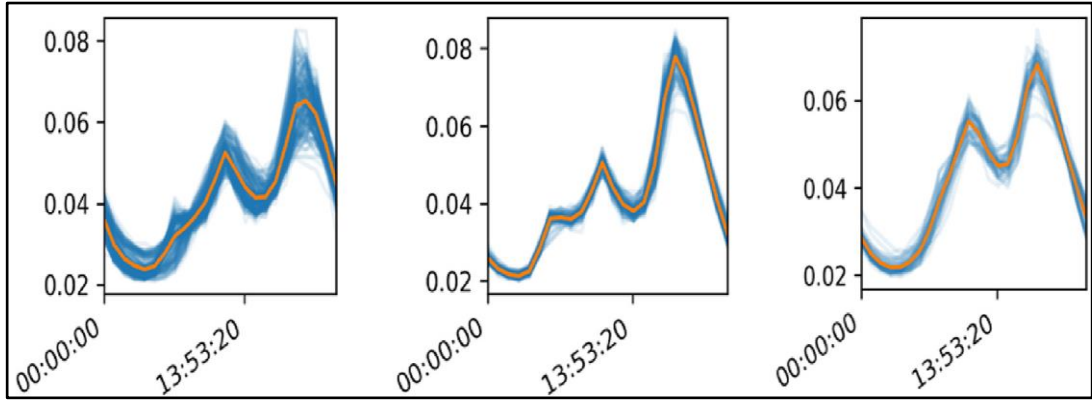
Bu bölümde sabit, kaydırılabilir ve ayarlanabilir olarak üç yük çeşidi anlatılmıştır. Talep Tarafı Yönetimi (TTY) stratejisi hakkında genel bilgiler verilmiştir. CREST programından elde edilen bir konutun tüketim verileri ve üç zamanlı fiyat tarifesine dikkate alınarak elektrik faturası hesaplanmıştır. Temel bir TTY stratejisi olan puant talebi kaydırma stratejisi uygulanarak bir konutun yük profilinin değişimi ve maliyet hesaplamaları yapılarak faturasında % 16,66 azalma olduğu gözlemlenmiştir.

4. TÜKETİCİLERİN SINIFLANDIRILMASI

Talep Tarafı Yönetimi'nin (TTY) günümüzde izlediği yollardan en önemlisi yük yoğunluğunu kaydırabilmek üzerine kuruludur. Yük yoğunluğunu kaydırırken dikkat edilecek en önemli husus kullanıcıların konfor alanına minimum müdahale etmektir. Bu durumda üçüncü bölümde bahsedilen sabit yük, kaydırılabilir yük, ayarlanabilir yüklerin müdahaleye uygun veya uygun olmadığı anlatılmıştır. Fakat bunun yanında hangi kullanıcıların, hangi ölçüde TTY' ye açık olduğunu belirleyebilmek ve bu kullanıcı tiplerinin yük profillerini belirleyebilmek için kullanıcılar sınıflandırılmalıdır. Sınıflandırma yapılırken özellikle TTY stratejilerinden puant yük talebini kaydırma stratejisi için önem arz eden parametreler seçilmiştir.

TTY stratejileri tüm tüketicilere aynı şekilde uygulanamaz. Tüm yükler kendine özgü bir karaktere sahiptir. Bu karakterler, parametrelerle uygun kümeler oluşturulmak üzere çalışarak ayrıştırılmıştır. Literatürde de görünüyor ki çok sayıda tipte yük çeşidi vardır ve her birinin dinamik yapısı ile sayısı farklılık sergilemektedir [6],[7]. Eğer kullanıcılar tek bir küme olarak ele alınıp TTY stratejileri uygulanırsa, verimli bir sonuç elde etmek mümkün değildir. Bu yüzden kümeleme çalışmaları TTY açısından son derece önem arz etmektedir.

Selin Yılmaz ve arkadaşlarına göre [25]; yük tahminini iyileştirmek ve TTY stratejilerine katkıyı arttırmak amacıyla elektrik tüketimindeki genel profil davranışlarını belirlemek için küme analizi giderek daha fazla uygulanmaktadır. Bu analiz çalışmasında, İsviçre'de yer alan 656 hanenin bir yıllık elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır. Temsili elektrik tüketim profilleri oluşturmak için örnek yük profilleri ve kümeleme yaklaşımları hassas bir şekilde değerlendirilmiştir. Ev elektrik tüketim profillerini tanımlayan beş adet parametre seçilerek bir kümeleme yöntemi uygulanmıştır. Elektrik tüketim profillerinin kümeleme analizi üç ayrı küme oluşturularak sonuçlandırılmıştır. Oluşturulan kümeler Şekil 4.1'de gösterilmiştir [25]. Kümelerin elektrik tüketim verilerinin ortalaması alınarak, her bir kümeyle ait yük profilleri oluşturulmuştur. Kümelenmiş tüketicilerin elektrik tüketim profilleri elektrik üretimi ve tüketimi planlamaları yapan kuruluşlar için çok büyük önem arz etmektedir. Özellikle gelecekte yenilenebilir enerji elektrik üretim santrallerinin sisteme dahil olacak olması bu tür çalışmaların önemini daha çok arttıracaktır.



Şekil 4. 1: Üç farklı kümeye ait günlük yük profil eğrileri.

Tez çalışmasından tüketicilerin sınıflandırılabilmesi için uygun veriler toplanmıştır, bu veriler sırasıyla; A.B.D’ ye ait 60 adet okul, hastane, lokanta gibi farklı kullanıcı tipleri yine A.B:D’ ye ait 237 adet mesken abonenin gerçek zamanlı verileri ve istatistiksel ve olasılıksal modelin kullanılması ile oluşturulmuş Jeshar Peposhi’nin yazmış olduğu “Gelecekteki Dağıtım Şebekeleri için Talep Modellemesi” adlı tez çalışması [26] ile ortaya çıkan Türkiye’ye ait 4000 adet mesken abone verileridir.

Çalışmanın ilk aşamasında sınıflandırmaya temel olması için kullanıcı tipi bilinen (okul, hastane, lokanta vs.) kullanıcılar ile 2 parametre (puan yük parametresi ve puant yük zamanı parametresi) belirlenerek kutupsal koordinat sisteminde bir sınıflandırma yapılmış ve buna temel sınıflandırma adı verilmiştir. Çalışmanın devamında matematiksel sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesi için Temel Bileşen Analizi metodu (TBA) kullanılmıştır. TBA metodu kullanılmasının amacı daha detaylı ve hassas bir sınıflandırmanın gerçekleştirilmesidir. Çalışmanın bu kısmında TBA yapılırken veri seti olarak mesken aboneler tercih edilmiş olup hem A.B.D’ye ait 237 mesken abone hem de Jeshar Peposhi’nin çalışmasından elde edilen Türkiye’ye ait 4000 adet mesken abone verileri ile sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır.

TBA metodu ile sınıflandırma yapılırken ilk olarak temel sınıflandırmada bahsedilen iki parametre kullanılmış sonrasında parametre sayıları artırılarak mesken abone veri setleri ile beş parametrelili ve onbir parametrelili analizler yapılmıştır. İki parametre ve beş parametrelili kümeleme çalışması sonucunda kümelerin belirgin olarak görülmemesi sebebiyle parametre sayısı onbir’e kadar

arttırılmıştır. TBA devamında k-means metodu kullanılarak kümeler daha belirgin hale getirilmiştir.

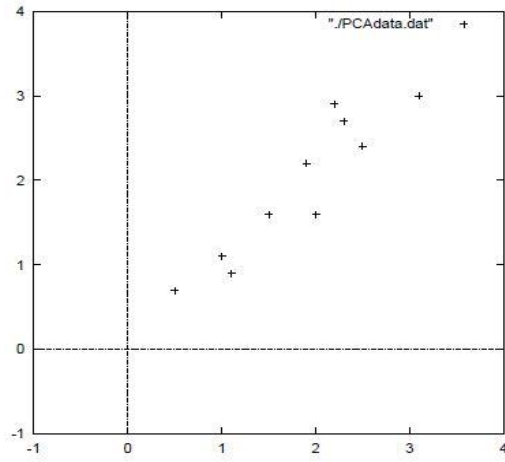
Bu bölümde öncelikle TBA ve k-means metotlarının teorik bilgileri hemen sonrasında sınıflandırma çalışmalarında kullanılan veri setleri anlatılmıştır. Temel sınıflandırma yöntemi anlatıldıktan sonra ise, TBA için belirlenen parametre ve son olarak TBA ve k-means metodu ile sınıflandırma çalışmalarının anlatımına devam edilmiştir.

4.1. Temel Bileşen Analizi Metodu

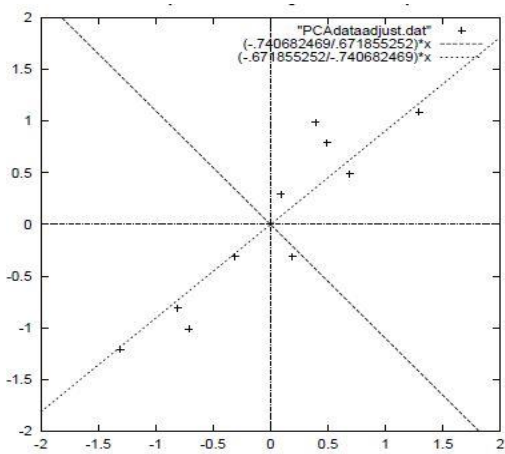
Temel Bileşen Analizi (TBA), elimizdeki verinin örgüsünü tanımlamanın ve verideki benzerlik ve farklılıklarını vurgulayacak şekilde ifade etmenin bir yoludur. Verideki benzerlik ve farklılıkların, grafiksel gösterimin mümkün olmadığı yüksek boyutlu ve karmaşık yapıdaki veriler için TBA önemli bir analiz yöntemidir. TBA'nın diğer avantajı, çok fazla boyutta incelediğimiz verinin incelediğimiz boyut sayısına indirgeyerek azaltmamıza yardımcı olur ve bu aşamada çok az bir bilgi kaybolur. TBA yapmak için gerekli adımları aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- Verilerin Toplanması - TBA yapılacak olan verilerin belirlenmesi. Bu çalışmada 1'er saatlik elektrik tüketim verilerinin eldesi bu aşamayı temsil etmektedir.
- Veri Setinin Normalize Edilmesi – TBA'nın aşamalarından birincisi veri setimizdeki değerlerin ortalamalarının hesaplanması ve normalize edilmesidir. Tez çalışmasında, bu adım ile ilgili olarak daha sonra detaylı bir şekilde anlatılmış olan 11 parametre (boyut) için ortalamaları belirleme işlemi yapılmıştır. Ortalama değerler bulunmuş ve bu bilgi ile normalizasyon işlemi gerçekleştirilerek veriler normalize edilmiştir.
- Kovaryans Matrisinin Hesaplanması - Her bir parametre için kovaryans değeri hesaplanacaktır ve tez çalışmasında 11 parametre (boyut) olduğu için 11x11'lik bir kovaryans matrisi ortaya çıkacaktır.
- Kovaryans Matrisinin Özdeğer ve Özvektörlerinin Hesaplanması - Kovaryans matrisi kare matris olduğu için özvektörleri ve özdeğerleri hesaplanabilir. Özdeğer ve özvektörler, veriler hakkında öz bilgiler verdikleri için oldukça

önemlidir. Bu özvektörlerin her ikisinin de birim özvektörler olduğunu fark etmek önemlidir. Bu TBA için çok önemlidir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki benzerlik son derece önemlidir ki; Şekil 4.2 orijinal dataları gösterirken, Şekil 4.3 kovaryans matrisinin özvektörleri ile normalize edilmiş (Xi-Xort) verilerini göstermektedir[27]. Normalize edilmiş veriler ve verilerin üzerinde özvektörler gösterilmiştir. Kesikli çizgiler özvektörleri göstermektedir. Özvektörler birbirlerine diktirler, veriler hakkında bilgi sağlar ve özvektörler noktaların ortasından geçerek en uygun çizgiyi çizer.



Şekil 4. 2: Orijinal veri seti.



Şekil 4. 3: Kovaryans matrisinin özvektörleri ile normalize edilmiş veri seti.

- Bileşenleri Seçmek ve Bir Öznitelik Vektörü Oluşturmak - Bu bölümde veri sıkıştırma ve boyut azaltma işlemi yapılır. Önceki bölümdeki özvektörlere ve özdeğerlere bakılırsa, özdeğerlerin oldukça farklı değerler olduğu

görülmektedir. En yüksek özdeğere sahip özvektör, veri kümesinin temel bileşeni olarak seçilmelidir. Seçilen bu özvektör, veriler arasındaki en önemli ilişkiyi gösterir. Genel olarak, özvektörler kovaryans matrisinden elde edilir ve bir sonraki adımda, özdeğerleri en yüksekten en düşük değere kadar sıralanır. Bu sıralama bileşenleri önem sırasına göre sıralanmasını sağlamış olur. Bu aşamadan sonra önem derecesi düşük olan bileşenler devre dışı bırakılabilir. Bazı bilgiler kaybedebilir ama özdeğerleri küçükse bu kayıp önemsemeyecek kadar azdır. Bazı bileşenleri dışarıda bırakarak final veri setimiz orijinalden daha küçük boyutlara sahip olacaktır. Bir sonraki adımda, vektörler matrisi için sadece özel bir isim olan bir öznitelik vektörü oluşturulması gerekir.

Öznitelik Vektörü= ($\text{özd}_1 \text{ özd}_2 \text{ özd}_3 \dots \text{özd}_n$)

- Yeni Veri Setinin Oluşturulması - Bu TBA'daki son adımdır, verilerde saklanmak istenen bileşenleri yani öznitelik vektörlerini (öznitelik katsayılarını) seçtikten sonra, sadece vektörün transpozisyonunu alıp, transpoze edilen orijinal veri setiyle çarpmak gerekmektedir.

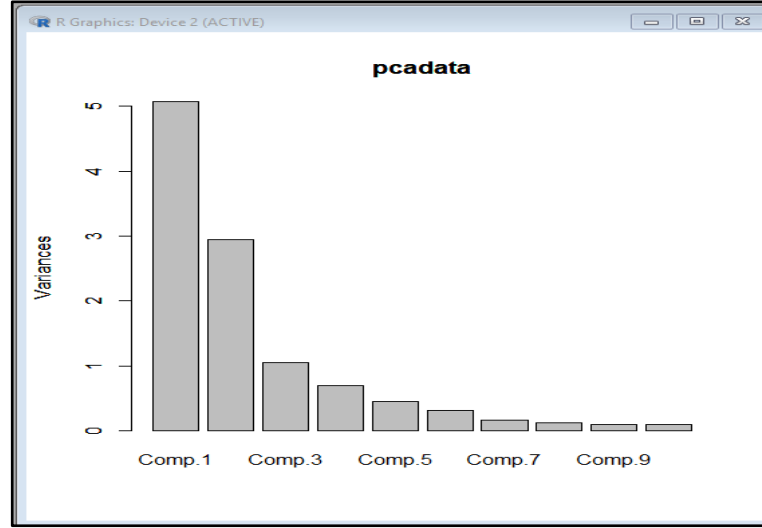
Final Verisi = Öznitelik Vektörü(Öznitelik Katsayıları) X Orijinal Veri Seti (parametreler)

Final Verisi, satır ve sütunlardaki veri öğeleriyle oluşturulur.

Final verisi yalnızca seçilen vektörler açısından orijinal verileri verecektir. Orijinal veri setinin iki eksenli vardır, x ve y, ve eksenleri birbirine diktir ve verileri seçilen iki eksen cinsinden ifade etmek mümkündür. Bu eksenler dikse, ifade en verimli olanıdır. Bu nedenle özvektörlerin her zaman birbirine dik olması önemlidir. Verileri x ve y eksenleri cinsinden değiştirilir ve bazı özvektörler dışarıda bırakılır, yeni veriler sadece tutmaya karar verilen temel bileşenlerden oluşturulur.

Bunu verilerde göstermek için, muhtemel öznitelik vektörlerinin her biriyle son dönüşümü yapılır.

Bu matematiksel işlemler RGui programında yapılmış olup Şekil 4.4'de RGui programından elde edilen temel bileşenler arasında varyans değerlerini göstermektedir. Her zaman, yani sadece tek eksenli veya iki eksenli seçildiği durumlarda varyansın en yüksek olduğu temel bileşenden itibaren seçilir.

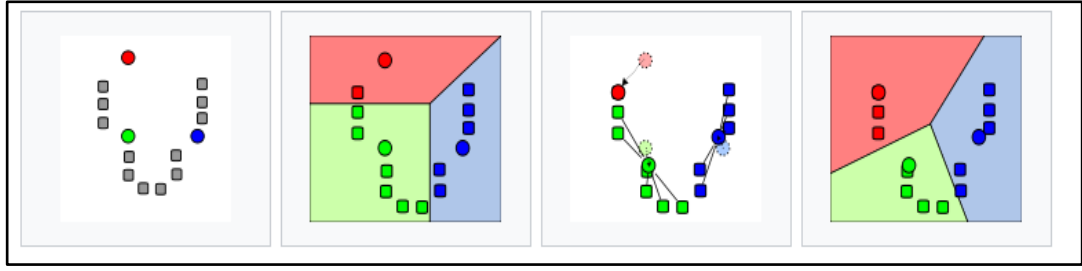


Şekil 4. 4: Öznitelik vektörünün varyans değerleri.

4.2. K-Means Algoritması Kullanılarak Yük Davranış Kümelerinin Eldesi

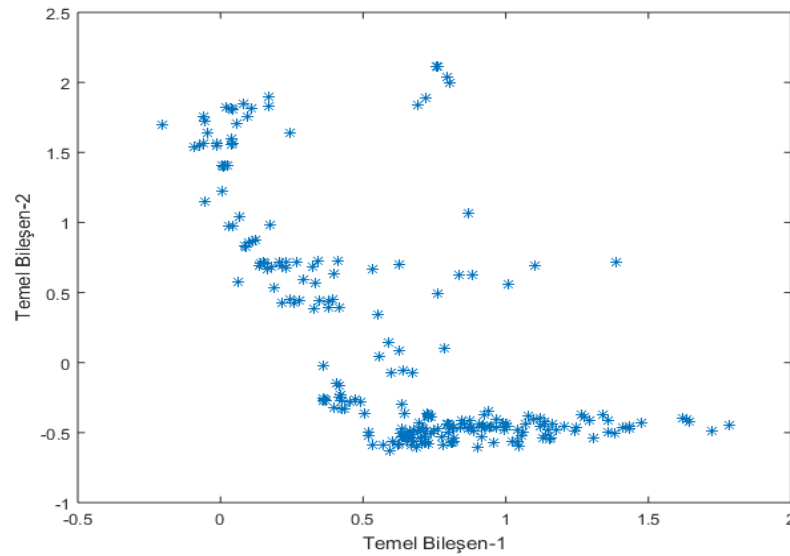
K-means kümelemesi, veri madenciliğinde kümelenme analizi için sıklıkla kullanılan bir vektör ayrıştırma yöntemidir. K-means kümeleme yöntemi prototip kümeler oluştururken rastgele seçtiği bir noktaya en yakın verileri seçerek kümeler oluşturur. K-means ile kümeleri oluşturma adımları detaylı olarak açıklanmıştır:

- 1.Adım: Küme adedine göre örneğin ($k=3$) için veriler arasından rastgele veriler seçilir. Şekil 4.5'in 1.bölümünde rastgele seçilen veriler renkli olarak gösterilmiştir.
- 2.Adım: Her küme en yakınındaki verilerle, mesafe ortalamaları ile ilişkilendirilerek k kümeleri oluşturulur. Bu bölümler, k-means tarafından oluşturulan ilk kümelenmenin oluşmuş halidir. Şekil 4.6'nın 2.bölümünde görülmektedir.
- 3.Adım: K kümelerinin her birinin merkez noktasındaki veri bulunur, bu veri üzerinden yeniden kümeleme işlemi yapılır.
- 4.Adım: Yakınsamaya ulaşılan kadar 2.ve 3. adımlar tekrarlanır ve kümenin son hali oluşturulur. Şekil 4.6' da tüm adımlar gösterilmiştir.[28]



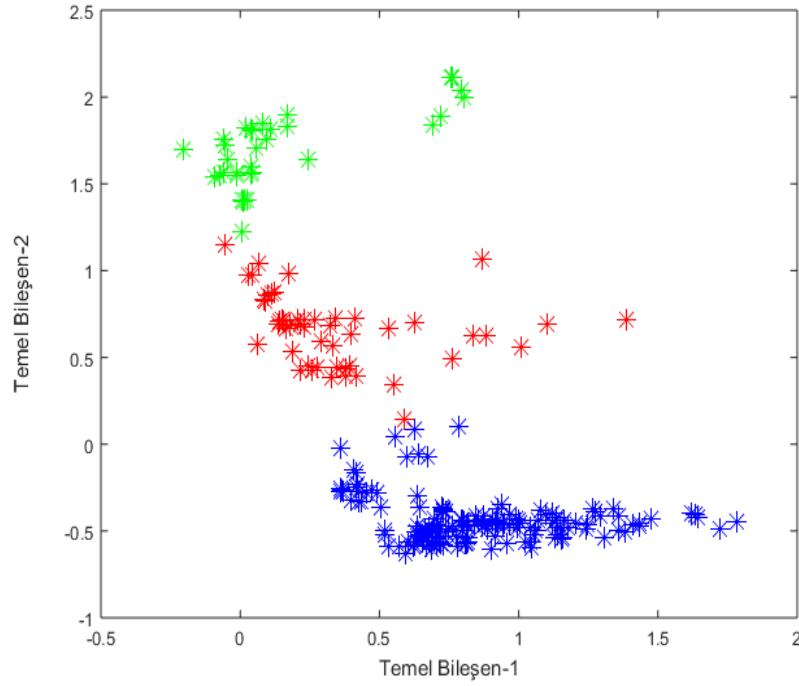
Şekil 4. 5: K-Means kümeleme yöntemi adımları. [28]

Temel Bileşen Analizi (TBA) ile veri setlerimizdeki elektrik yük tiplerinin benzerlik ve farklılıkları ortaya koyulmuştur. Gözle görünür gruplar ortaya çıkmış olsa da net bir şekilde kümeler oluşturulmak için TBA'nın devamında k-means yöntemi kullanılmıştır. Şekil 4.6' da 237 adet konut tipi tüketiciye ait bir günlük (1 Ocak) veriler alınmış ve onbir parametre ile TBA yapılmıştır ve Şekil 4.6 ortaya çıkmıştır.



Şekil 4. 6: Bir günlük veriler ile Temel Bileşen Analizi sonucu.

Yukarıdaki verilerle oluşan şeklin k-means uygulanarak oluşturulan son hali devamında görülmektedir. Şekil 4.7' de k-means ile 3 kümeye ayrılmış yük profilleri görülmektedir.



Şekil 4. 7: Bir günlük veriler ile, K-Means ve Temel Bileşen Analizi sonucu.

4.3. Verilerin Toplanması

Tez için birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmalarda çeşitlilik sağlamak amacıyla farklı veri setleri kullanılmıştır. Bu bölümde tezde kullanılan veri setleri özellikleri ile birlikte anlatılmıştır.

- 1. Veri seti: İlk olarak gerçek zamanlı olarak toplanmış olan ve A.B.D’ye ait farklı şehirlerde yer alan farklı tiplerdeki (süpermarket, okul, hastane vs.) kullanıcıların veri seti kullanılmıştır [29]. Bu veri setine ait yük profillerinin özellikleri Tablo 4.1’deki gibidir [29].
- 2. Veri seti: İkinci veri seti olarak gerçek zamanlı olarak toplanmış olan ve A.B.D’ye ait farklı şehirlerde yer alan 237 adet mesken abone tipi kullanıcıların veri seti kullanılmıştır [29]. Bu veri seti bir yıllık olup birer saatlik çözünürlüktedir. Çalışmalarda bu veri setinin farklı mevsimlerine ait aylardan bazıları seçilerek kullanılmıştır.

Tablo 4. 1: A.B.D’ye ait farklı kullanıcı tipleri veri seti listesi.

Semt Adı	Kullanıcı Tipi					
Birmingham	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Anchorage	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Auburn	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Montgomery	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Batesville	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Harrison	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Lemoore	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Rogers	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Jonesboro	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis
Huntsville	Süpermarket	Hastane	Okul	Lokanta	Otel	Ofis

- 3. Veri seti: Üçüncü veri seti olarak konut tipi yük profili veri oluşturabilen CREST (Centre for Renewable Energy Systems Technology) biriminin hazırladığı program kullanılmıştır. CREST programı İngiltere’ye ait mesken abonelerin yük profillerini simülasyon ile üretebilen bir programdır. CREST programı ile konut tipi yük profili oluşturabilmek adına,

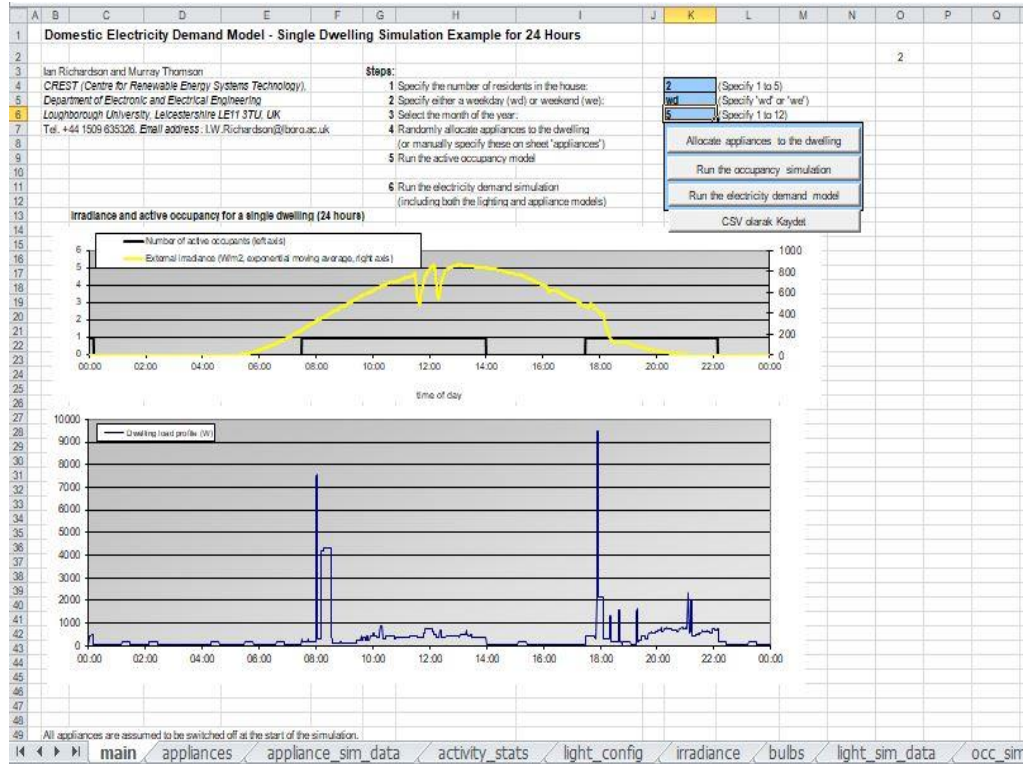
- Konutta yaşayan kişi sayısı
- Konut tüketiminin hafta içi veya hafta sonu olarak seçilebilmesi
- Konut tüketimin hangi yılın hangi ayına ait olduğunun seçilebilmesi ve buna bağlı olarak yaz ve kış mevsimlerindeki tüketim değişikliklerini dikkate alabilmesi tüm bu durumlara uygun tüketim profili üretebilmektedir.

Geçmiş çalışmalarda da konut elektrik tüketimini simüle edebilmek için farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma için gerekli veriler, cihazlar ve anlık tüketim değerleri, kullanım şekilleri ve kullanım istatistikleri, yapılan çalışmalara göre üç temel faktör vardır [30],[31].

- i) Cihazların günlük kullanım süresi olasılık profilleri kullanılarak simüle edilebilir.
- ii) Bir cihaz ne kadar süre açık kalacağı ölçülen verilerden ve toplanan diğer bilgilerden belirlenir.
- iii) Bir konut halkının alışkanlıklarının ve nüfusunun etkisinin nasıl dahil edileceği gibi faktörler, araştırmacılar tarafından geliştirilen teorilere göre birleştirilerek bir yük profili oluşturulur.

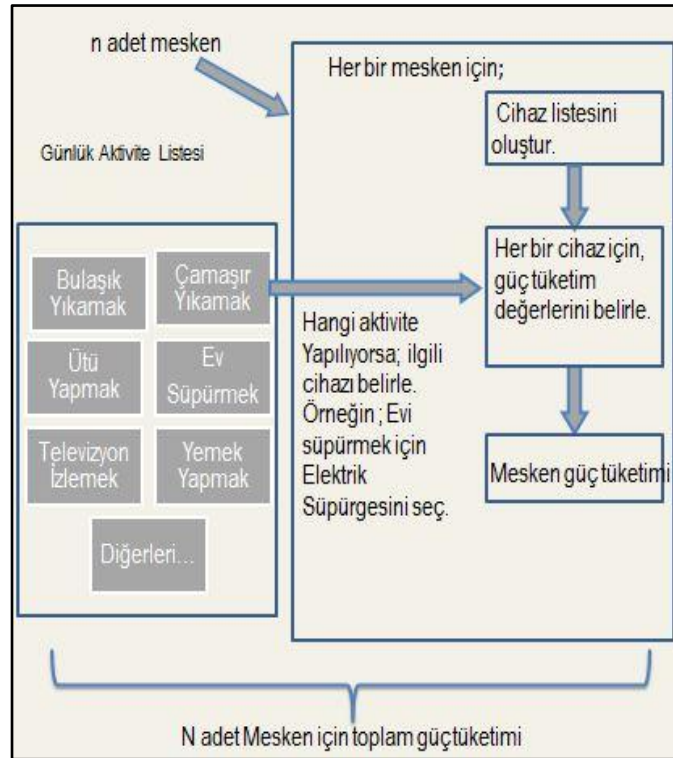
CREST programı genel olarak, her bir cihazı için kullanım sıklığı, kullanım süresi ele alınarak ayrıca konutta yaşayan kişi sayısının da cihaz kullanımına etkisini dikkate alarak konuttaki elektrik tüketim profillerini ortaya koyan bir programdır. CREST programının ana sayfası Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Bu programda temel yapıtaşları cihazlardır. Bu cihazlar televizyon, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, ütü gibi cihazlardır. Aşağıdan yukarıya modelin yapısı, bir konuta ait cihazlardan başlayarak bir konuta ait yük profili ortaya koyan sonrasında ise, n adet konut için yük profillerinin oluşturulmasına dayalı bir modeldir ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir [15].



Şekil 4. 8: CREST programı anasayfası.

Şeklin sol tarafında, bir gün boyunca farklı zamanlarda farklı aktiviteler gerçekleştirme olasılığını temsil eden bir dizi günlük aktivite çeşidi vardır; bu aktiviteler tüm konutlar için aynıdır. Şeklin sağında bireysel bir konut bulunmaktadır. Konuttaki aktif kullanıcılar ve yükler (cihazlar) atanır. Her cihazın gerçek çalışma durumu, ilgili günlük aktivite profillerinden belirlenir. Tüm konut yükü, zamanın bir fonksiyonu olarak, doğrusal veya doğrusal olmayan, rastgele bir yük topluluğudur.



Şekil 4. 9: Konut için yük modeli oluşturulması.

CREST programı altyapısı İngiltere'ye ait mesken abone bilgileri kullanılarak oluşturulmuş ve 100 adet konut tipi yük profili üretilmiştir. Bu yük profilleri Tablo 4.2'de gösterildiği şekildedir.

Kümeleme çalışması yapılırken sonuçların daha güvenilir olması için veri seti örnek havuzu içerisinde çeşitliliğin sağlanması gerekmektedir. Bu sebeple kış, ilkbahar, yaz, sonbahar mevsimleri içerisinde bazı aylar seçilmiştir. Konutta yaşayan kişi sayısı ve hafta içi zaman dilimi veya hafta sonu zaman dilimi de konut yük profilini direkt etkilediği için tüm değişkenleri içeren konut yük profilleri oluşturulmuştur.

Tablo 4. 2: İngiltere’ye ait konut tipi kullanıcı veri seti.

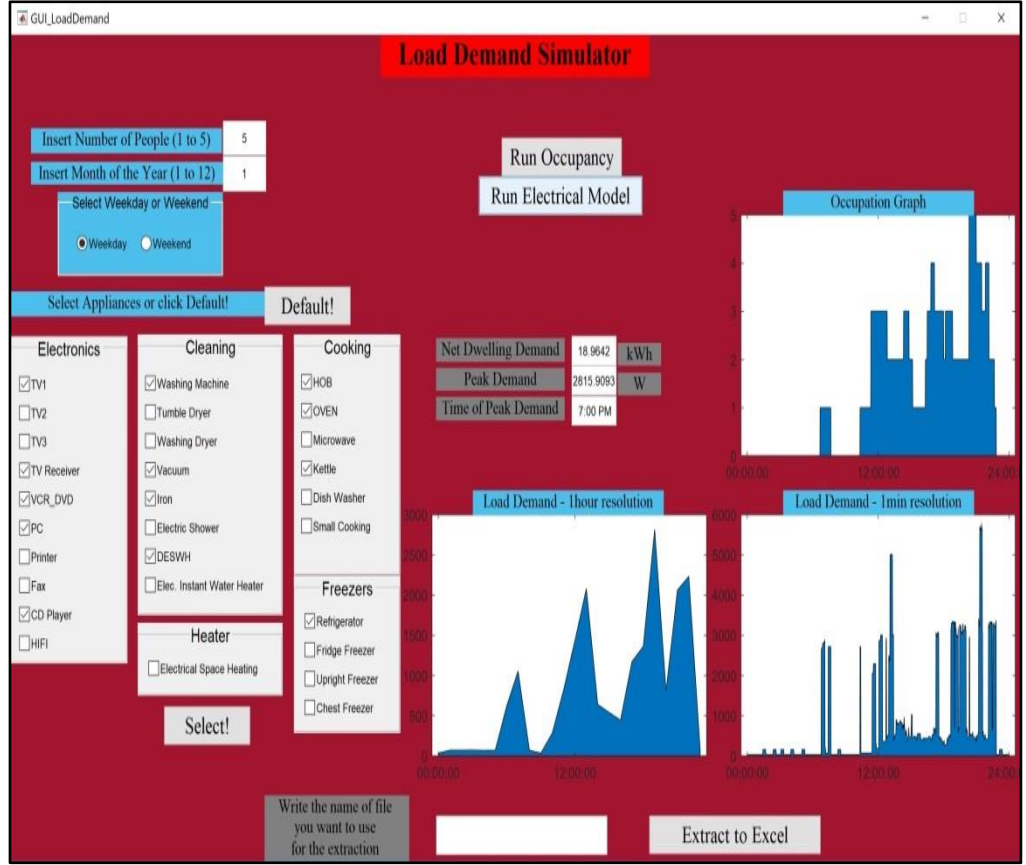
Konutta Yaşayan Kişi Sayısı	Aylara göre veri sayıları					Hafta İçi veya Hafta Sonu
	Ocak	Nisan	Temmuz	Ekim	Aralık	
1	2	2	2	2	2	Hafta İçi
1	2	2	2	2	2	Hafta Sonu
2	2	2	2	2	2	Hafta İçi
2	2	2	2	2	2	Hafta Sonu
3	2	2	2	2	2	Hafta İçi
3	2	2	2	2	2	Hafta Sonu
4	2	2	2	2	2	Hafta İçi
4	2	2	2	2	2	Hafta Sonu
5	2	2	2	2	2	Hafta İçi
5	2	2	2	2	2	Hafta Sonu
Toplam	20	20	20	20	20	100

- 4. Veri seti: Dördüncü ve son veri seti olarak Jeshar Peposhi’nin yazmış olduğu “Gelecekteki Dağıtım Şebekeleri için Talep Modellemesi” adlı tez çalışması [26] ile ortaya çıkan Türkiye’ye ait veriler kullanılmıştır ve Tablo 4.3’ te detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. 3: Türkiye’ye ait konut tipi kullanıcı veri seti.

Konutta Yaşayan Kişi Sayısı	Aylara göre veri sayıları				Hafta İçi veya Hafta Sonu
	Ocak	Nisan	Temmuz	Ekim	
1	100	100	100	100	Hafta İçi
1	100	100	100	100	Hafta Sonu
2	100	100	100	100	Hafta İçi
2	100	100	100	100	Hafta Sonu
3	100	100	100	100	Hafta İçi
3	100	100	100	100	Hafta Sonu
4	100	100	100	100	Hafta İçi
4	100	100	100	100	Hafta Sonu
5	100	100	100	100	Hafta İçi
5	100	100	100	100	Hafta Sonu
Toplam	1000	1000	1000	1000	4000

Şekil 4.10’da “Gelecekteki Dağıtım Şebekeleri için Talep Modellemesi” adlı tez çalışması sonucu ortaya çıkan Load Demand Simulator Matlab arayüzü görseli gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere cihazlar, konutta yaşayan kişi sayısı, hafta içi veya hafta sonu kullanımı gibi bilgiler ana sayfadan seçilir ve şartlara uygun tüketim profili program tarafından ortaya konulur.



Şekil 4. 10: Load Demand Simulator, Matlab arayüz.

4.4. Temel Sınıflandırma

Tezin bu bölümünde parametrelerle sınıflandırma adına ilk çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sınıflandırma ile ilgili olarak iki adet parametre seçilmiştir. Bu iki parametre seçilirken Talep Tarafı Yönetimi (TTY) stratejilerinden biri olan puant yük talebini kaydırabilme stratejisine hizmet ediyor olmasına dikkat edilmiştir.

Kümeleme çalışmalarından birincisi olan temel sınıflandırma çalışmasında, puant yük ve puant yük zamanı parametreleri ile kullanıcı tipleri ayrıştırılmıştır. Birinci adımda, parametrelerin matematiksel ifadeleri ve parametrelerin nasıl seçildiği anlatılmıştır, ikinci adımda ise çalışmada kullanılan verilerin nasıl seçildiği ve son olarak üçüncü adımda haritaya yerleşen kullanıcı tiplerinin her biri için geometrik ortaları Voronoi algoritması ile belirlenmiş ve Voronoi alanı ile kümelerin alanları belirtilerek anlatılmıştır.

- 1.Adım: Bu adımda kümeleme yapılırken seçilen parametreler anlatılmıştır. 1. parametre tüketicinin gün içindeki anlık maksimum elektrik tüketimi

(Pmaksimum) verisi, tüketicinin gün içindeki ortalama tüketim verisine (Port) bölünmesi ile hesaplanır. Burada amaç TTY için önem arz eden tüketicinin günlük yük eğrisinin, stabil (az değişiklik gösteren) ya da sık değişkenlik gösteren bir yapıda olduğunun tespit edilmesidir. Stabil bir yük tüketimi sergileyen kullanıcılardan ziyade gün içerisinde dalgalı tüketim sergileyen kullanıcılar TTY stratejilerinden daha fazla yararlanabilecek kullanıcılardır. Çünkü TTY stratejilerinin amacı yük profilindeki pik tüketimleri, tasarruf yöntemleri ile kırpma veya pik noktadaki tüketimleri daha az tüketimlerin olduğu noktalara kaydırmaktır.

1.parametre: Bu parametrenin seçilmesinin sebebi, Pmaksimum değerinin ne seviyede olduğunu görerek ne derecede yönetilebilir bir kullanıcı olduğunun tespit edilmek istenmesidir. Eşitlik (4.1)'de 1.parametre gösterilmiştir.

$$P_1 = \frac{P_{maksimum}}{P_{ortalama}} \quad (4.1)$$

Bir diğer parametre ise pik tüketim zamanı ile ilgili bir göstergedir. Gün içerisinde gerçekleşen maksimum elektrik tüketiminin (pik yük) hangi zaman diliminde olduğunu gösterir.

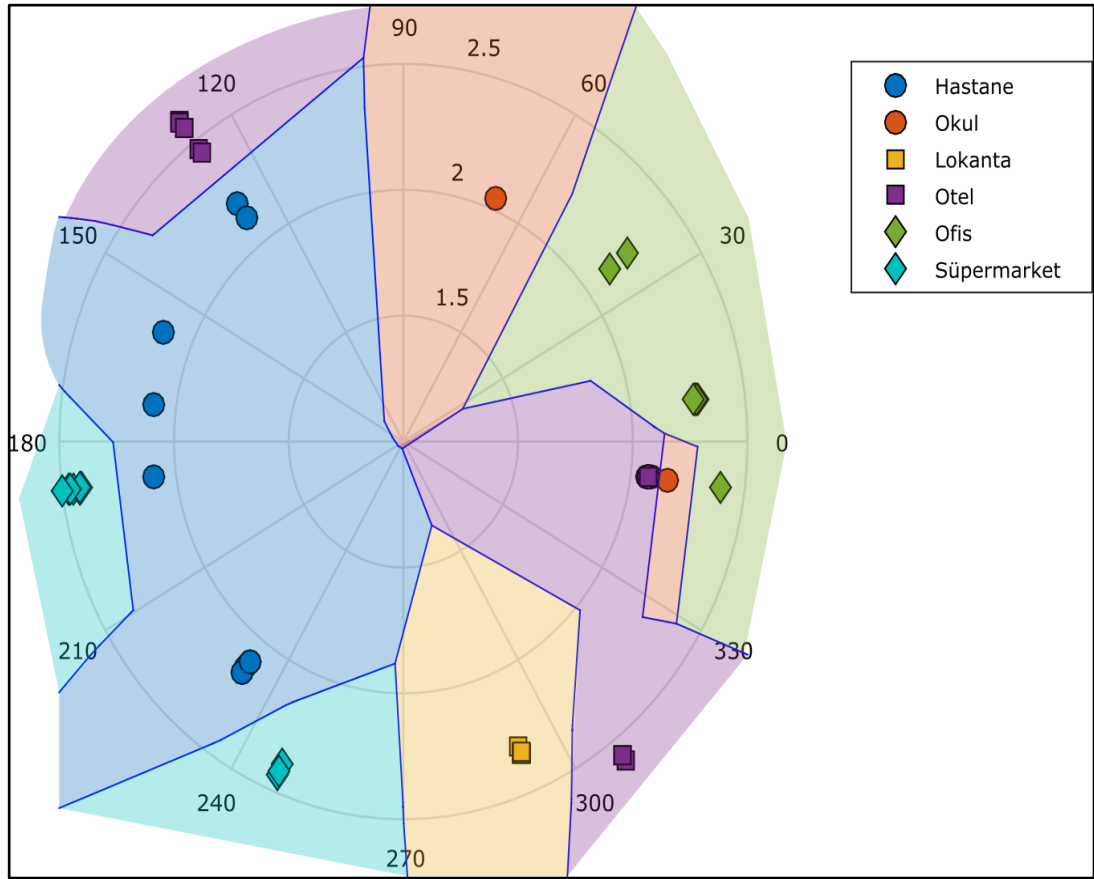
2.parametre: Bu parametrenin seçilmesinin sebebi Pmaksimum değerinin hangi saatlerde görüldüğünü tespit edebilmektir. Eşitlik (4.2)'de 2.parametre gösterilmiştir.

$$P_2 = \frac{2\pi A}{24} \quad (4.2)$$

A=Gün içerisindeki maksimum elektrik tüketiminin saatini belirtir

- 2.Adım: Kullanıcı tipi (mesken, kamu, sanayi) bilinen, günlük yük profilleri gözlemlenebilen ve tahmin edebilecek yükler için kümeleme çalışması yapılmıştır. Burada amaç bilinen kullanıcı tipleri verisi ile çalışarak kümeleme çalışmasının ne derece başarılı olduğunu görebilmektir. Belirtilen kümelerdeki kullanıcı tipleri farklı şehirlerden seçilmiş olup, süpermarket, hastane, okul, lokanta, otel, ofis tipi kullanıcılardır. Veri seti Tablo 4.1'de detaylı olarak gösterilmiştir.
- 3.Adım: Kullanıcı tipleri grafiğe yerleştirildikten sonra sınıflandırma çalışması için kümelerin ağırlık merkezleri (geometrik ortaları) belirlenmiştir.

Ağırlık merkezlerini belirleyebilmek için Voronoi algoritmasını kullanılmıştır ve kullanıcı tiplerinin Şekil 4.11'deki gibi yerleştiği görülmüştür. Voronoi, bir noktayı temsil eden en uygun bölgenin geometrik olarak sunulması işlemidir. Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesine ait herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine, o noktanın "Voronoi Alanı" denilmektedir[32].Özetle her bir kullanıcı tipi için kümeler Voronoi Alanı ile oluşturulmuştur.



Şekil 4. 11: İki farklı parametre seçilerek kümelendirilmiş kullanıcı tipleri.

Bu çalışmada kullanıcı tipleri verilerinden elde edilen parametreler, Kutupsal koordinat sistemine yerleştirilerek kullanıcı tipleri gruplandırılmıştır. Kullanıcılar kutupsal koordinat sisteminde oluşturulan grafiğe yerleşirken birinci parametrenin değeri, grafikteki yarıçap (r)' yi belirleyecektir ve $P_{maksimum}$ değeri $P_{ortalama}$ 'ya göre ne kadar büyük ise, r değeri o kadar büyük olmaktadır. Birinci parametre değeri yüksek olan kullanıcılar grafikte merkezden uzak noktaya yerleşirken, r değeri küçük olan kullanıcılar merkeze yakın noktaya düşmüştür. Şekil 4.11'de görüldüğü üzere gün içindeki süpermarket, otel gibi kullanıcılar merkezden uzak noktalara yerleşmiştir;

ofis ve okul gibi kullanıcılar ise merkeze yakın noktalara yerleşmiştir. Bu da demek oluyor ki; okul ve ofis gibi kullanıcıların günlük yük profili daha stabil iken otel ve süpermarket tipi kullanıcıların yük profilleri daha değişken ve pik tüketimler görülmektedir. İkinci parametre ise kutupsal koordinat sistemindeki açığı (Θ) belirlemektedir. Kullanıcı tiplerinin yerleştikleri açılar günün hangi saatlerinde pik yaptıklarını gösterir. Kutupsal koordinat sistemine göre hazırlanan grafiğin saate benzeyen yapısı görsel olarak kolaylık sağlamaktadır.

Şekil 4.11’de görüldüğü üzere her bir kullanıcı grafikte kendine bir yer almıştır ve her bir kullanıcı tipi için yorumlar yapılabilir; tüm hastane aboneleri için merkezden uzaklıkları (r) değerleri hemen hemen aynıdır yani hastanelerin birinci parametre değerleri birbirine çok yakındır fakat yerleşim açılarının (Θ) neredeyse hepsi farklıdır. Bu durumda yük profilleri birbirine benzerken gün içinde pik seviyeleri gördükleri saat dilimleri farklı olduğu yorumu yapılabilmektedir. Okul tipi elektrik abonelerinin bir çoğu grafikte üst üste denk gelmiş olduğu için yani büyük oranda benzerlik gösterdikleri için 10 adet okul abonesi olmasına rağmen iki adet okul tipi abone var gibi görülmektedir. Grafik hakkında genel bir yorum ise aynı tip abonelerin birinci parametre değerleri birbirine çok yakın ve (r) değerleri neredeyse aynı iken ikinci parametre değeri yani pik yaptıkları saatler farklılık göstermektedir. Verilerin farklı şehirlerden seçilmiş olmasının, farklı saatlerde pik yapıyor olmalarına sebep olma ihtimali yüksektir.

Kümeleme çalışmasının tamamlanması ile her bir küme için farklı TTY stratejileri uygulamanın daha başarılı TTY ortaya çıkarılabileceği öngörülmektedir. Kümeleme yapılmadan önce her kullanıcıya aynı TTY stratejileri uygulanması düşünülmekten kümeleme sonrası durum tespiti yapılarak her bir küme için farklı TTY stratejileri geliştirilmenin daha verimli bir sonuç çıkarılabileceği öngörülmektedir.

4.5. Temel Bileşen Analizi Metodu Parametrelerinin Belirlenmesi

Tezin bu bölümünde parametrelerle sınıflandırma adına ikinci çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sınıflandırma ile ilgili olarak 11 adet parametre seçilmiştir. Bu 11 parametre oluşturulurken temel sınıflandırma çalışmasında kullanılan iki parametre baz alınarak geliştirilmiştir. Bu iki parametre maksimum elektrik tüketim değeri ve maksimum elektrik tüketimin gün içerisinde gerçekleştiği saat dilimi

değerleri olarak belirlenmiş ve Bölüm 4.4' te anlatılmıştır. Bu bölümde parametreler bu iki parametrenin temelinde zenginleştirilerek gün içerisindeki minimum elektrik tüketimi ve zaman dilimi, elektrik tüketimindeki maksimum ve minimum değişimler, elektrik tüketimi değerlerinin standart sapması gibi parametreler eklenmiş ve 11 adet parametre oluşturulmuştur. Bu 11 parametre TTY stratejilerine katkı sağlayabilmek için seçilmiştir.

TBA ile gruplandırma yapmak için kullanılan parametrelerin belirlenmesi ve açıklamaları şu şekilde belirtilmiştir:

- 1.Parametre: Bu parametre ile puant saat dilimindeki tüketimin, günlük tüketimin oranı bulunmaktadır. Kullanıcıların kümeler ayrılırken puant saat dilimindeki tüketimlerinin farklılık olarak seçilerek ayırt edici bir nokta olması istenmiştir. Eşitlik (4.3)'de 1.parametre gösterilmiştir.

$$P1 = \frac{\text{Puant Saat Dilimindeki Ortalama Güç}}{\text{Günlük Ortalama Güç}} \rightarrow P1 = \frac{P_{\text{puant.ort}}}{P_{\text{günlük ort}}} \quad (4.3)$$

- 2.Parametre ve 3.Parametre: İçinde bulunduğu zaman dilimi ile bir önceki zaman dilimi arasındaki güç değeri farkının geçen zaman aralığına bölünmesiyle güç değerlerinin türevi bulunur. Aslında güç değerlerinin değişimini incelemek amaçlanmıştır. 2. ve 3. parametrenin seçilmesindeki amaç elektrik tüketim profillerinin stabil bir tutum sergiliyor olması ya da çok sık değişkenlik gösteren bir profil olmasına göre ayırt edilerek kümeleme yapılmak istenmesidir. Eşitlik (4.4) , (4.5), (4.6)' da ikinci parametre ve üçüncü parametre gösterilmiştir.

$$Pn' = \frac{Pn - Pn-1}{\Delta t} \quad (4.4)$$

$$P2 = \frac{\max(P')}{\text{Günlük Ortalama Güç}} \quad (4.5)$$

$$P3 = \frac{\min(P')}{\text{Günlük Ortalama Güç}} \quad (4.6)$$

- 4.Parametre: Bu parametrenin seçilmesinin amacı kritik olduğunu düşündüğümüz belirli bir eşiğin üstünde olan güç tüketimlerini belirleyerek gün içinde kaç saat boyunca kaç kere bu eşiğin üstüne çıktığını belirleyebilmektir. Bu parametre ile belli bir tüketimin üstünde olan

kullanıcılar ayrı ayrı kümelenecektir. Eşitlik (4.7), (4.8) ve (4.9), 4.parametrenin basamaklarını gösterirken Eşitlik (4.10) ise 4.parametreyi göstermektedir.

$$Kritik \text{ Çarpan} = 1.3 \quad (4.7)$$

$$P_{kritik} = Port * Kritik \text{ Çarpan} \quad (4.8)$$

$$tkritik := if(P_t > P_{kritik}, tkritik + 1) \quad (4.9)$$

$$P4 = \frac{tkritik}{24} \quad (4.10)$$

- 5.Parametre: Güç değerlerimizdeki standart sapmayı görebilmek amacıyla eklenmiştir. Elektrik tüketicilerinin yük profillerinin stabil ya da sürekli değişkenlik gösteren bir profil olduğunu belirlemeye yardımcı olan bir parametredir. Eşitlik (4.11) beşinci parametreyi göstermektedir.

$$P5 = \frac{\text{Standart Sapma}}{\text{Günlük } P \text{ ortalama}} \rightarrow P5 = \frac{\sigma}{P_{ort}} \quad (4.11)$$

- 6.Parametre ve 7. Parametre: Bu parametreleri elde etme amacı güç değerinin gün içinde hangi saatte maksimum düzeyde olduğunu bulmaktır. Zaman radyal olarak değişim gösterdiği için zamanı tespit etmek amacıyla sinüs ve cosinüs bileşenleri olarak zamanı tespit etmeye katkı sağlayacaktır. Eşitlik (4.12) ve (4.13), parametre 6 ve parametre 7'yi göstermektedir.

$$P6 = \cos \frac{(A-0.5) \times 2 \times \pi}{24} \quad (4.12)$$

$$P7 = \sin \frac{(A-0.5) \times 2 \times \pi}{24} \quad (4.13)$$

A=Gün içerisindeki maksimum elektrik tüketiminin saatini belirtir

- 8.Parametre: Gün içindeki puant (maksimum) değer, ortalama değere oranını belirlemek amacıyla eklenmiştir. Bir önceki çalışmanın birinci parametresi ile aynıdır. Bu parametrenin seçilmesinin amacı yük profilindeki pik noktaların değişiminin etkisinin kümelere ayrılırken de görülmek istenmesidir. Eşitlik (4.14)'te 8.parametre gösterilmiştir.

$$P8 = \frac{P_{maksimum}}{\text{Günlük } P \text{ ortalama}} \rightarrow P8 = \frac{P_{max}}{P_{ort}} \quad (4.14)$$

- 9.Parametre ve 10. Parametre: Bu parametreleri elde etme amacı güç değerinin gün içinde hangi saatte minimum düzeyde olduğunu bulmaktır. Zaman radyal olarak değişim gösterdiği için zamanı tespit etmek amacıyla sinüs ve cosinüs bileşenleri olarak zamanı tespit etmeye katkı sağlayacaktır.

$$P9 = \cos \frac{(B-0.5) \times 2 \times \pi}{24} \quad (4.15)$$

$$P10 = \sin \frac{(B-0.5) \times 2 \times \pi}{24} \quad (4.16)$$

B=Gün içerisindeki minimum elektrik tüketiminin saatini belirtir

- 11.Parametre: Gün içindeki minimum değer, ortalama değere oranını belirlemek amacıyla eklenmiştir.

$$P11 = \frac{P \text{ minimum}}{\text{Günlük } P \text{ ortalama}} \rightarrow P11 = \frac{P_{min}}{P_{ort}} \quad (4.17)$$

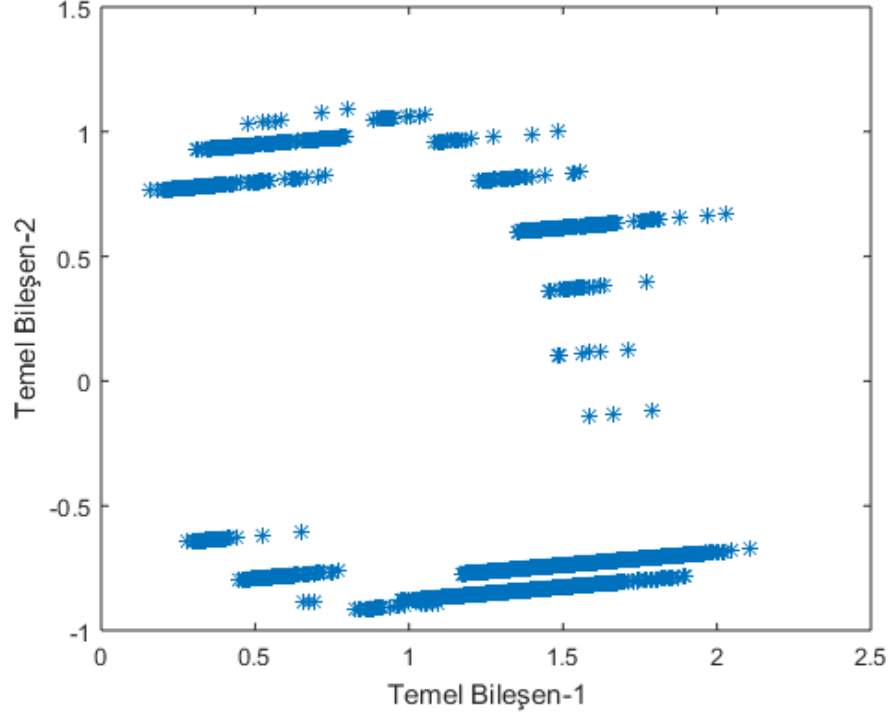
Belirlenen 11 parametre ile analiz çalışmaları bir sonraki bölümde yapılmıştır. Aynı zamanda bu parametrelerden ilk beş parametre ile de aynı analiz çalışmaları yapılmış ve parametrelerin analiz sonuçlarına etkisi görülmüştür.

4.6. Temel Bileşen Analizi ile Verilerin Kümelenmesi

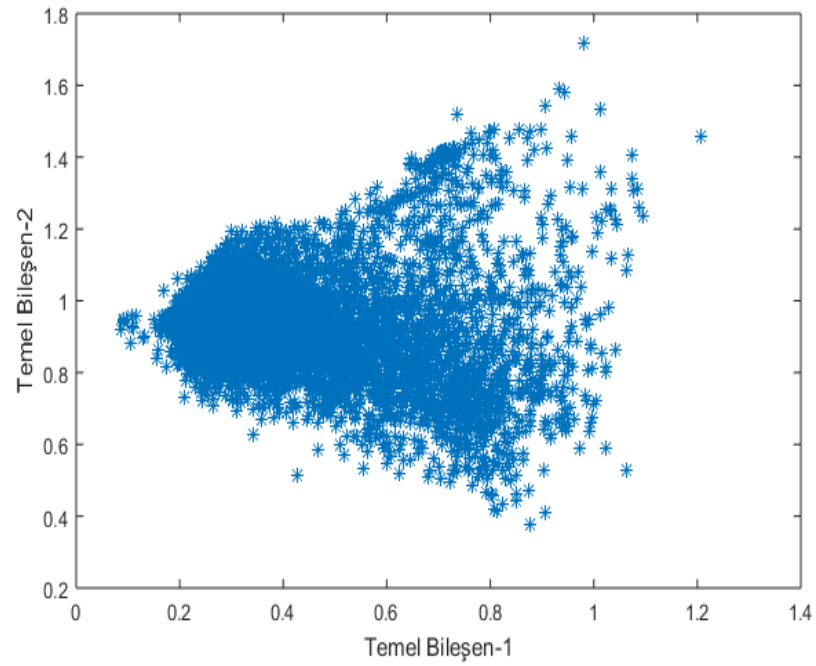
Temel Bileşen Analizi (TBA) ile konut tipi yüklerin kümelenmesi sağlanarak her bir kümenin Talep tarafı yönetilebilirliğini irdeleyebilmek üzere çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada A.B.D' nin farklı şehirlerinden alınmış 237 adet konut elektrik yük profilleri veri olarak kullanılmıştır. Her bir konutun 1 yıllık verilerinin olması TBA ile yük profillerinin mevsimsel olarak incelenmesine olanak sağlamış ve aşağıda yılın tüm ayları için TBA ve k-means uygulaması yapılarak konut tipi yükler sınıflandırılmıştır. Konut tipi yükler sınıflandırılırken belirlenen parametrelerin başarısını görebilmek için aynı analizler Bölüm 4.4'te anlatılan temel sınıflandırmanın iki parametresi ile sonrasında Bölüm 4.5'te detaylı olarak anlatılan 11 parametre içerisinde ilk beş parametre ile ve son olarak 11 parametrenin tamamı ile ocak verisi için üç defa yapılmıştır. Temel sınıflandırma bölümünde anlatılan iki parametre ile yapılan TBA sonucu Şekil 4.12'de görülmektedir.

Şekilden görüldüğü üzere iki parametre ile yapılan bu çalışmada belirgin kümeler oluşmamıştır. Bu çalışmanın devamında Bölüm 4.5'te anlatılan 11 parametre

içerisinden ilk beş parametre seçilerek TBA uygulanmış ve Şekil 4.13 ortaya çıkmıştır.

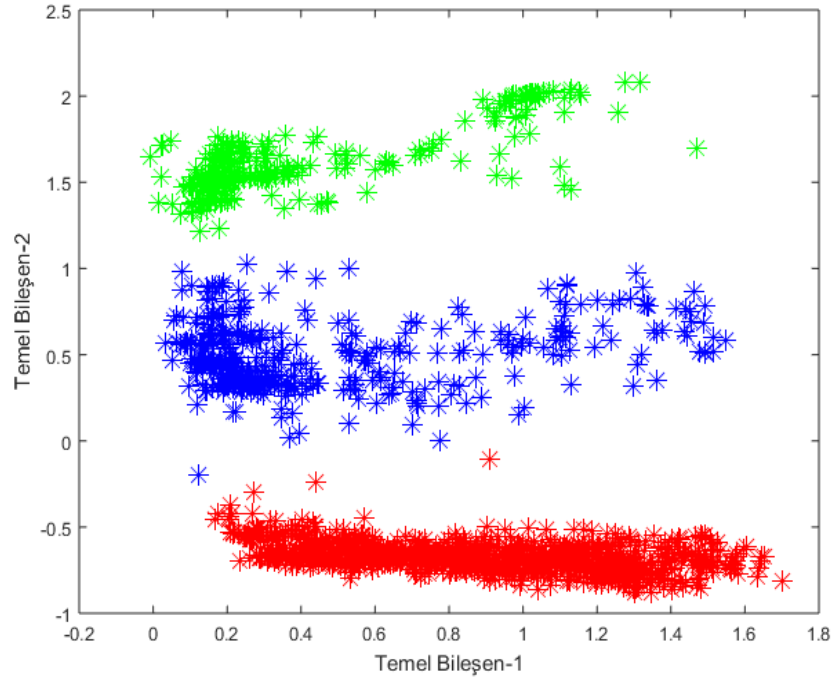


Şekil 4. 12: Ocak Ayı, konut tipi yük profilleri (2 parametre, A.B.D).



Şekil 4. 13: Ocak Ayı, konut tipi yük profilleri (5 parametre, A.B.D).

Şekil 4.13'te görüldüğü üzere yük profilleri hiçbir kümeye ayrılmamış olup tüm profiller aynı küme içerisinde görülmektedir. Bunun üzerine 11 parametrenin tamamı ile TBA uygulanmış yapılan çalışmada kümelerin belirgin bir şekilde görülmesi üzerine çalışma k-means ile desteklenmiştir. Şekil 4.14'te çalışmanın sonucu görülmektedir.



Şekil 4. 14: Ocak Ayı, konut tipi yük profilleri.(11 parametre, A.B.D).

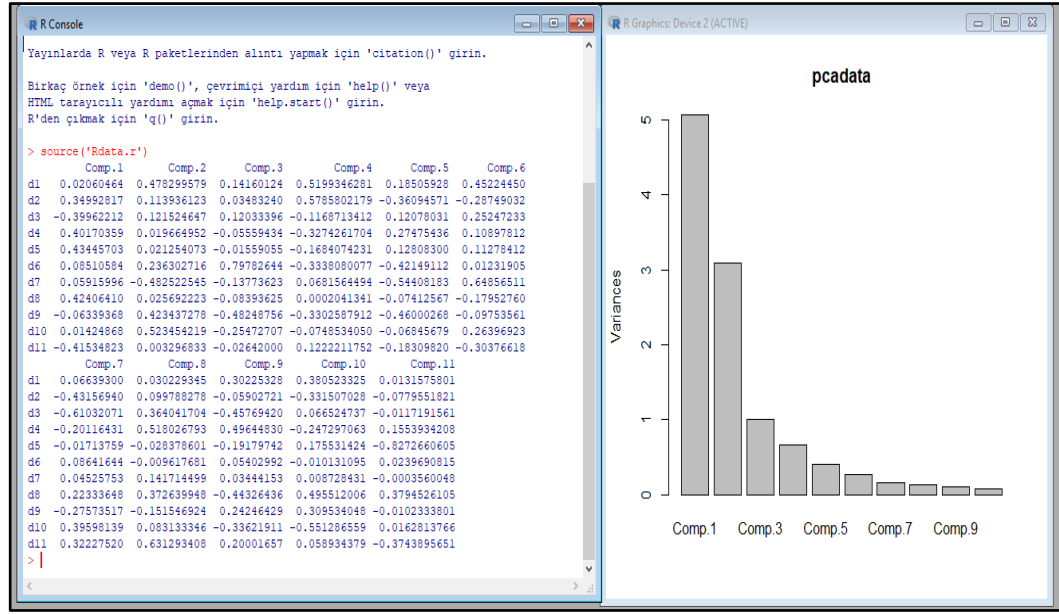
Çalışmada iki bileşen ile sınıflandırma yapılmış olup, Temel Bileşen-1 ve Temel Bileşen-2 değerlerinin, x ve y eksenleri olarak kullanılması sebebiyle Öznitelik Katsayıları-1 ve Öznitelik Katsayıları-2 Rgui'den alınır. Öznitelik Katsayılarının transpozesi ve elde edilen parametreler çarpılarak Temel Bileşenler oluşturulur. Çalışmada oluşturulan Temel Bileşen eşitlikleri; eşitlik (4.18) ve (4.19)'da gösterilmiştir.

$$\text{Temel Bileşen}_1 = \sum_{i=1}^{11} \text{Öznitelik Katsayıları}_{1,i} * \text{Parametre}_i \quad (4.18)$$

$$\text{Temel Bileşen}_2 = \sum_{i=1}^{11} \text{Öznitelik Katsayıları}_{2,i} * \text{Parametre}_i \quad (4.19)$$

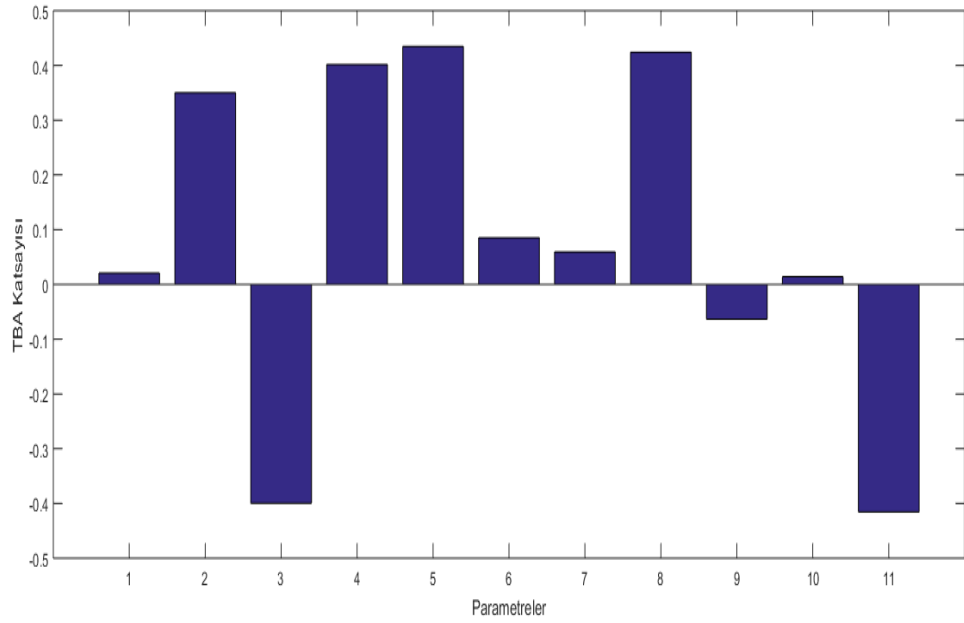
Şeklinde 11 adet temel bileşen oluşturulabilir.

Şekil 4.15'in sol tarafında görülen değerler Öznitelik Katsayılarının tamamını göstermektedir. Eşitlik (4.18) ve (4.19)' da ilk iki Öznitelik Katsayıları kullanılmıştır. Aynı zamanda Şekil 4.15'in sağ tarafında 11 Temel Bileşen'in varyans değerleri görülmektedir. Varyans değerinin yüksek olduğu Temel Bileşenler seçilerek daha yüksek oranda ayırt edicilik kazandırılır ve sınıflandırma daha başarılı olarak gerçekleştirilir. Çalışmada varyans değeri en yüksek olan iki temel bileşen oluşturulmuştur.

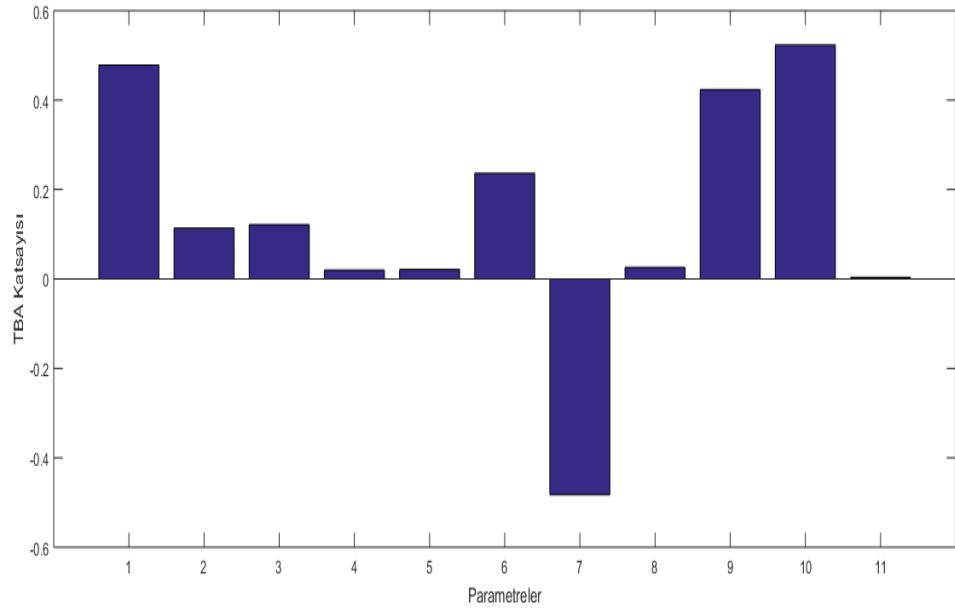


Şekil 4. 15: Ocak Ayı Öznitelik Katsayıları ve varyans değerleri.

Şekil 4.16 ve 4.17'de Öznitelik Katsayıları (Temel Bileşen Katsayıları) içerisinde birinci ve ikinci katsayı değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.16 birinci Temel Bileşene ait Öznitelik Katsayılarını gösterirken, Şekil 4.17 ise ikinci Temel Bileşenin Öznitelik Katsayılarını göstermektedir. Yukarıda anlatılan tüm ara işlemler A.B.D'ye ait 237 konutun yıl boyunca her bir ayın ilk 28 günü seçilerek Öznitelik katsayıları RGui'de elde edilmiş olup Matlab'de hesaplanan parametre değerleri ile çarpılarak analiz sonuçlandırılmıştır. Bu çalışmaya ek olarak yine Matlab'de k-means algoritması uygulanmış ve kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

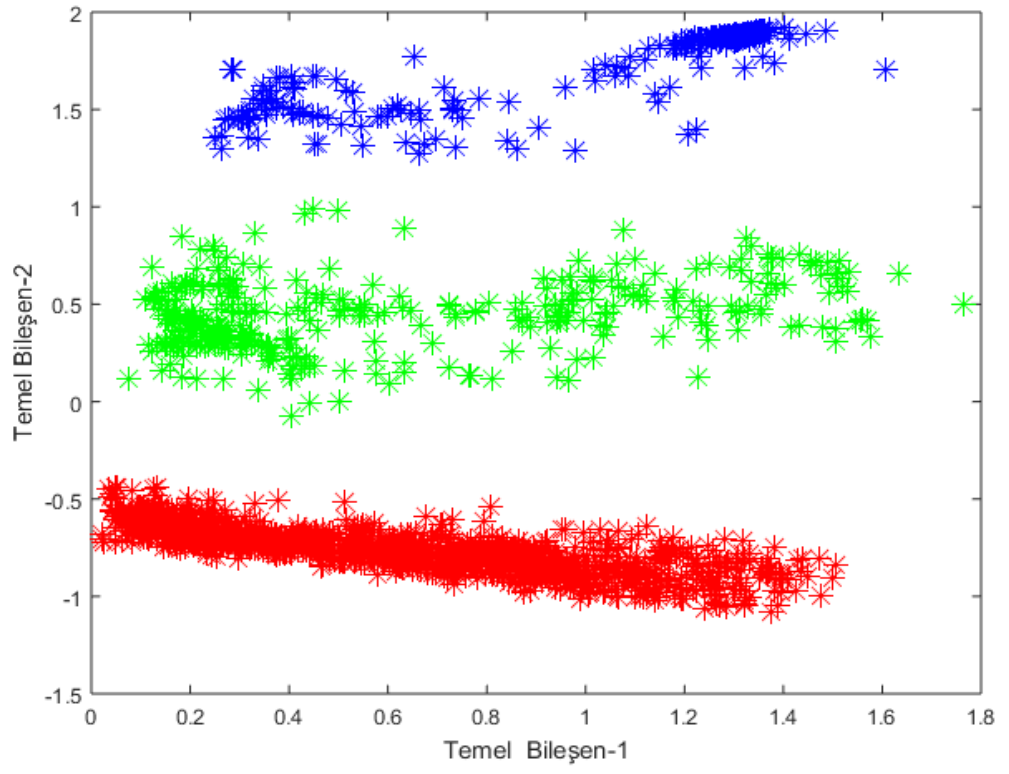


Şekil 4. 16: Ocak Ayı, Öznitelik Katsayıları-1.

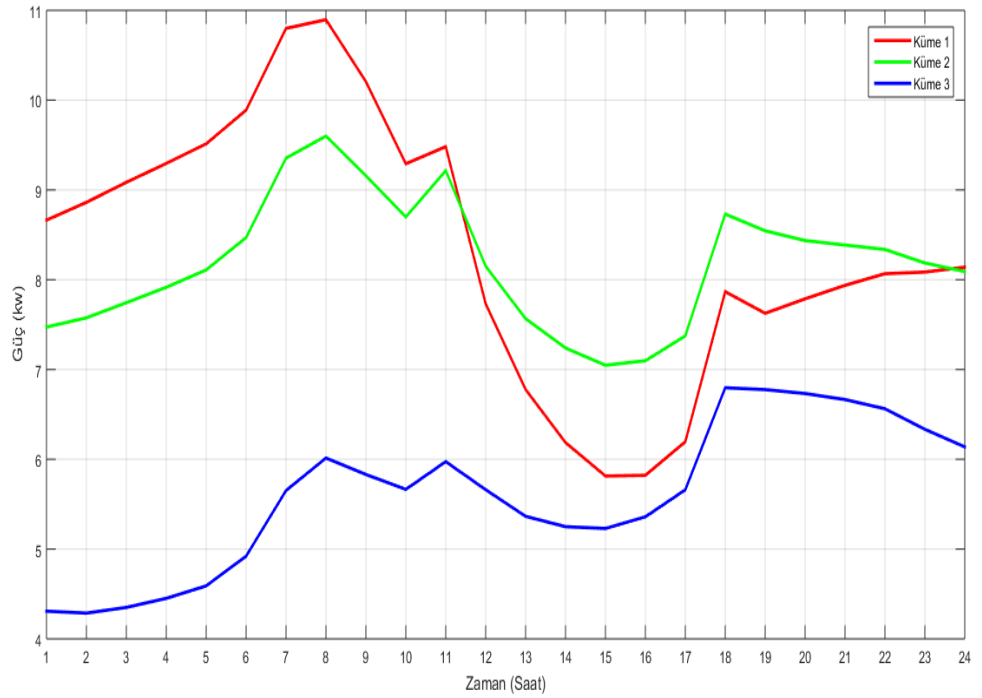


Şekil 4. 17: Ocak Ayı, Öznitelik Katsayıları-2.

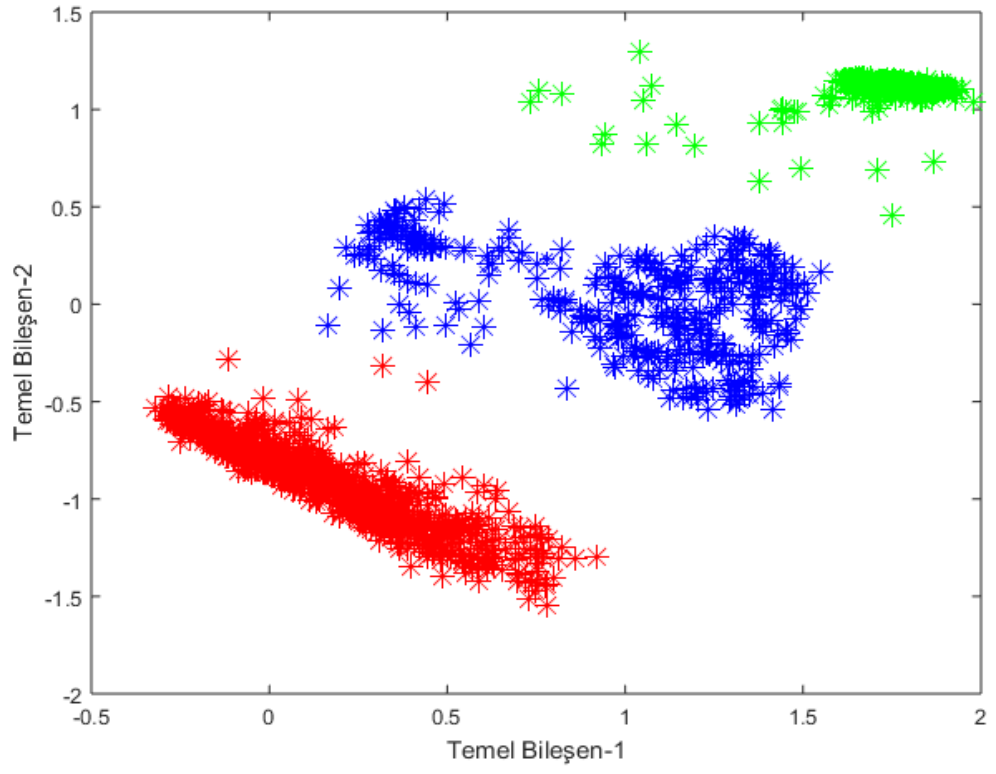
Kümeleme işleminden sonra ise her bir kümenin günlük yük profilleri çizdirilmiştir. Kümelerin yük profilleri çizilirken kümeye ait A.B.D'ye ait konutların tüketim değerlerinin ortalamaları alınarak çizdirilmiştir. Şekil 4.18'den Şekil 4.25'e kadar farklı mevsimlerden seçilmiş ayların analiz sonuçları gösterilmiştir.



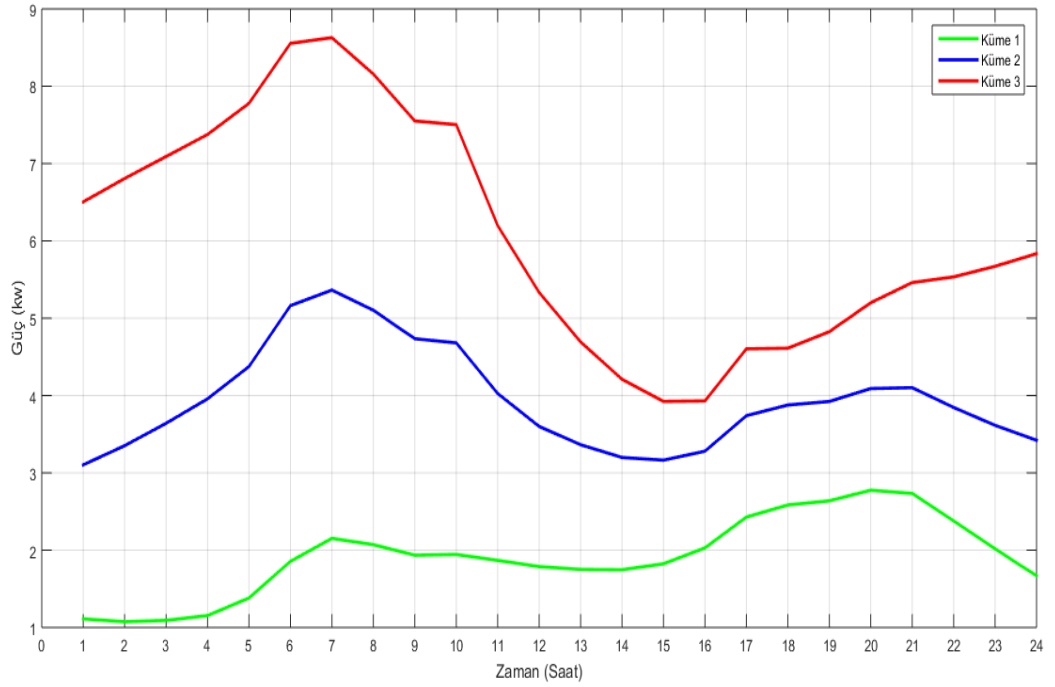
Şekil 4. 18: Şubat Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (A.B.D).



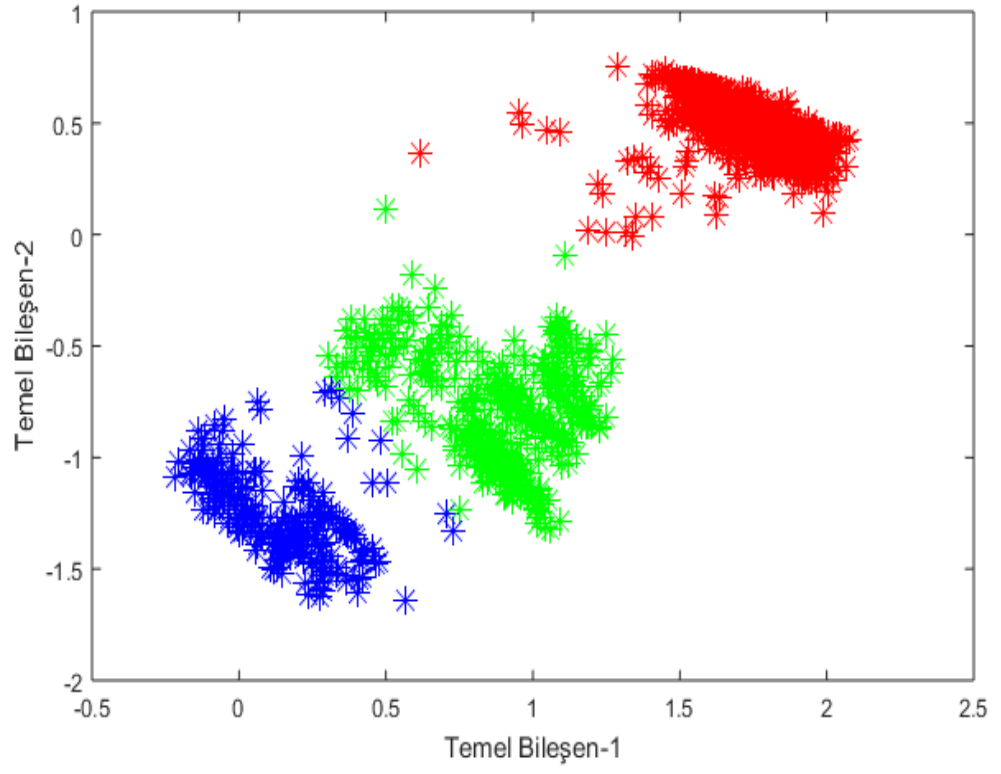
Şekil 4. 19: Şubat Ayı, konut tipi yük profilleri (A.B.D)



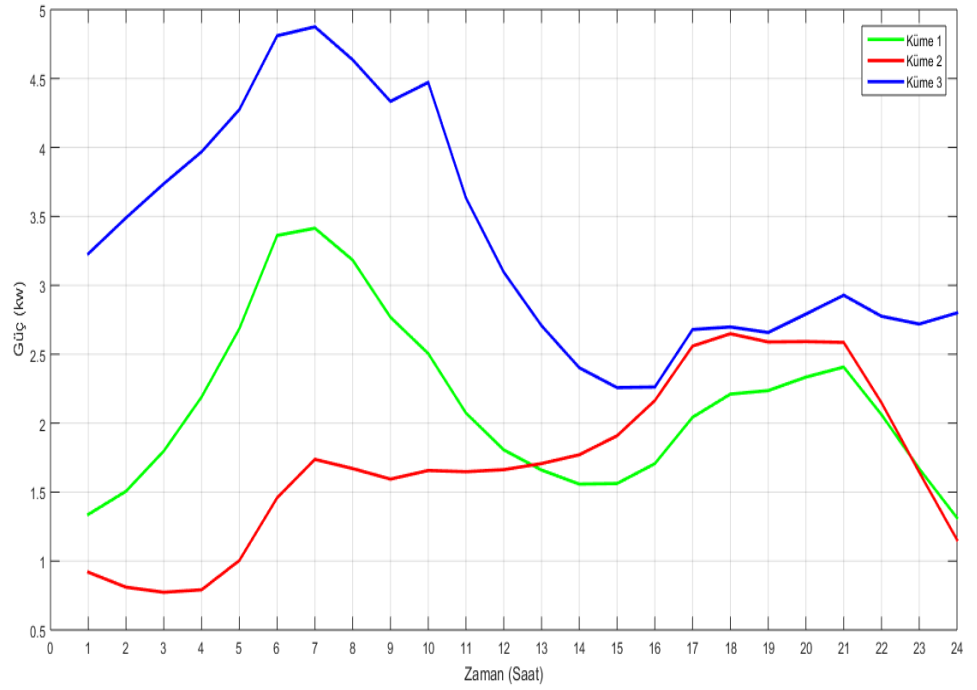
Şekil 4. 20: Nisan Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (A.B.D)



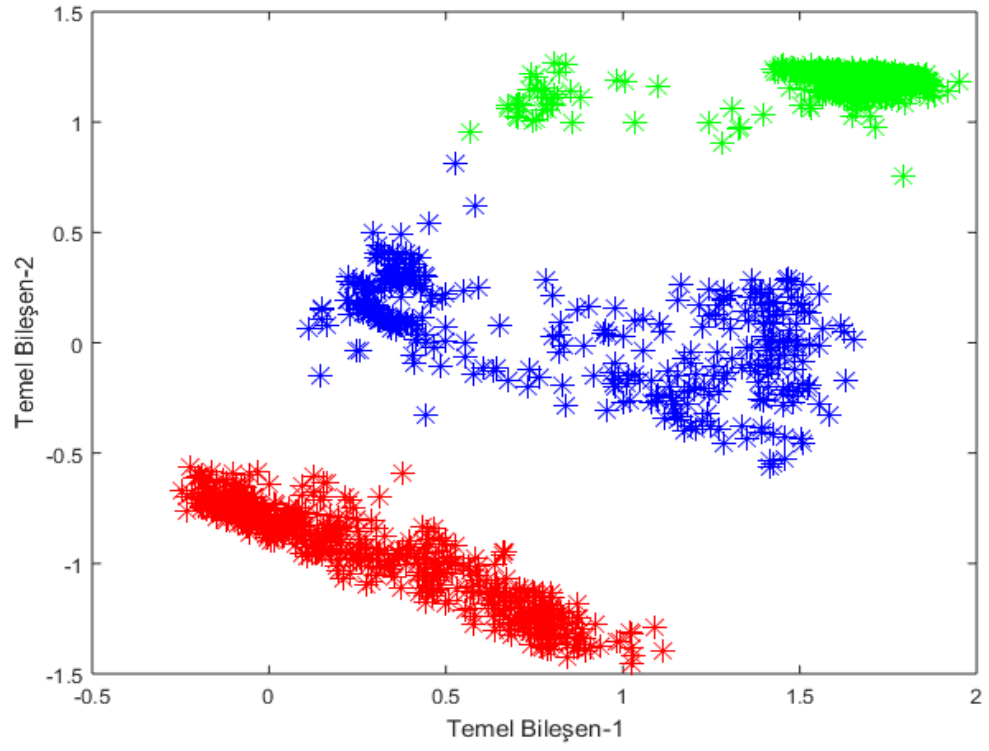
Şekil 4. 21: Nisan Ayı, konut tipi yük profilleri (A.B.D).



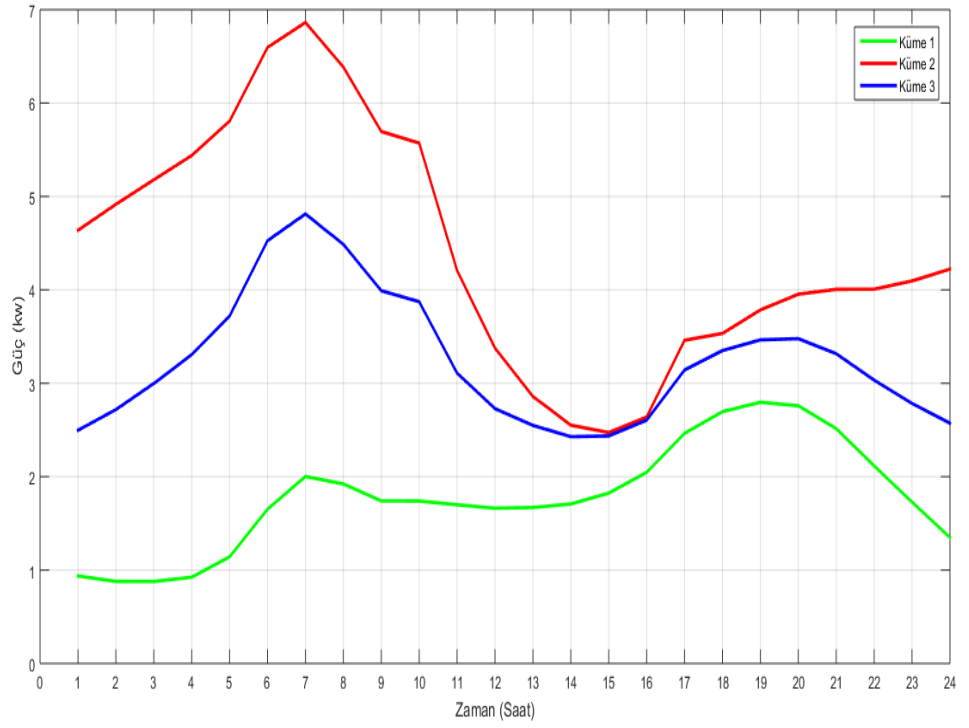
Şekil 4. 22: Temmuz Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (A.B.D).



Şekil 4. 23: Temmuz Ayı, konut tipi yük profilleri (A.B.D).



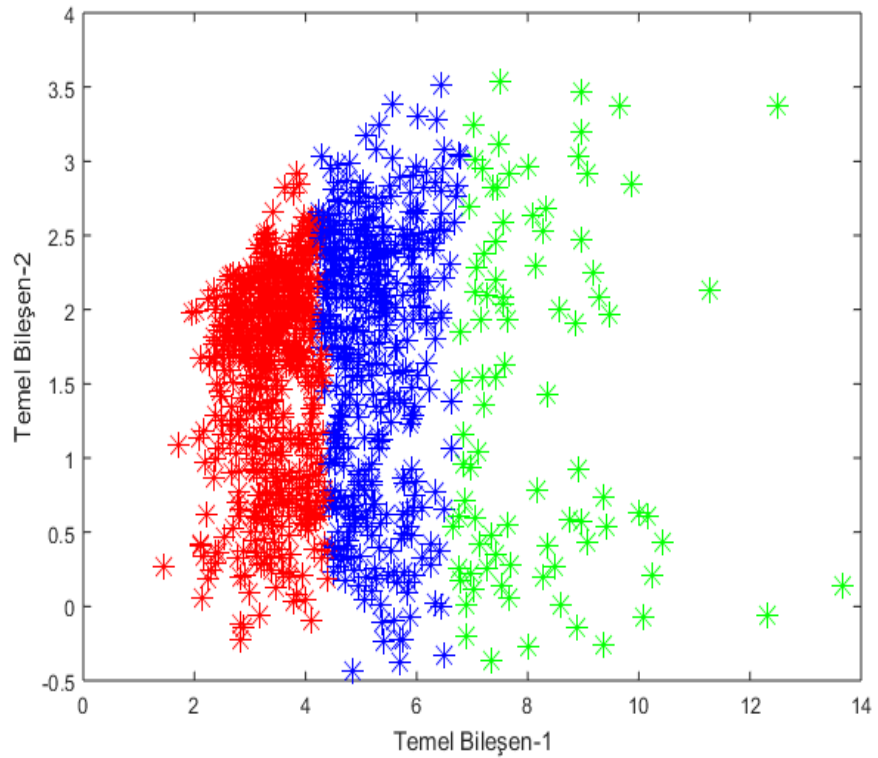
Şekil 4. 24: Ekim Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (A.B.D).



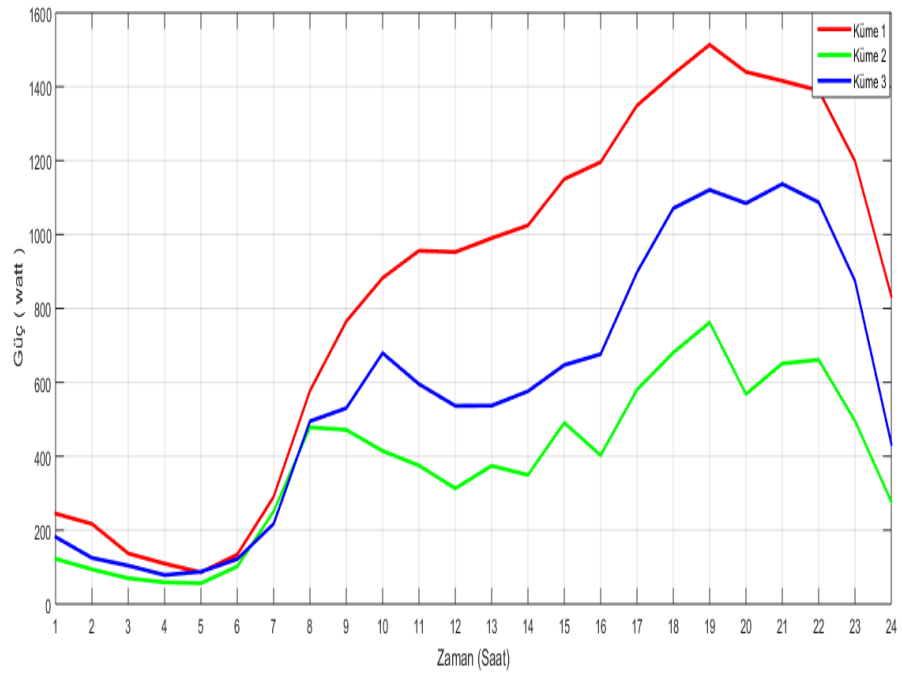
Şekil 4. 25: Ekim Ayı, konut tipi yük profilleri (A.B.D).

Şekil 4.18 ile Şekil 4.25 aralığında A.B.D’ye ait 237 adet konutun gerçek zamanlı verileri ile hem kümeleme yapılmış olup hem de kümelerin yük profilleri çizdirilmiştir. Böylece kümelerin yük profil kimliği ortaya koyulmuş ve TTY stratejilerinin kümelere özgü uygulanabilmesi için uygun zemin hazırlanmıştır.

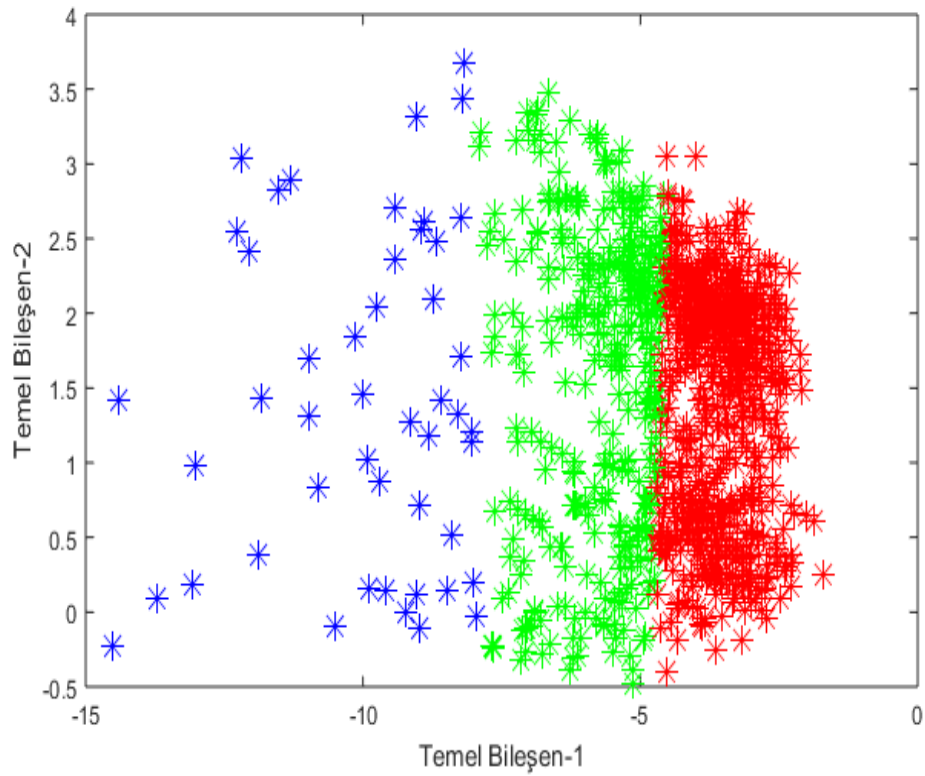
Çalışmanın devamında TBA ve k-means metodu ile ikinci bir veri seti ile analizler tekrar yapılmıştır. Bu veri seti ile kullanıcılar kümelenebilir ve her bir kümenin yük profilleri gösterilmiştir. Analiz çalışmaları yapılırken Bölüm 4.3’te detaylı olarak anlatılan Jeshar Peposhi’nin tez çalışmasında oluşturulan program ile veri seti oluşturulmuştur. Veri setinin detayı Tablo 4.3’te gösterilmiştir. Bu veri setlerinden elde edilen bilgiler ile farklı mevsimlerden seçilmiş aylar için kullanıcılar TBA ve k-means yöntemi ile kümelenebilir ve Şekil 4.26’dan Şekil 4.33’e kadar kullanıcı kümeleri ve yük profilleri gösterilmiştir.



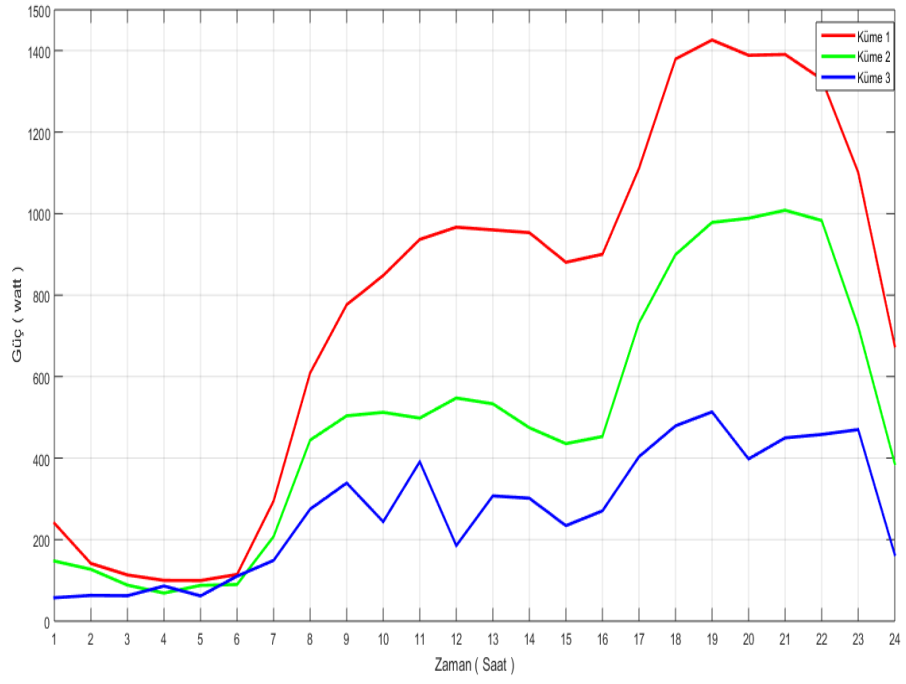
Şekil 4. 26: Ocak Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (Türkiye).



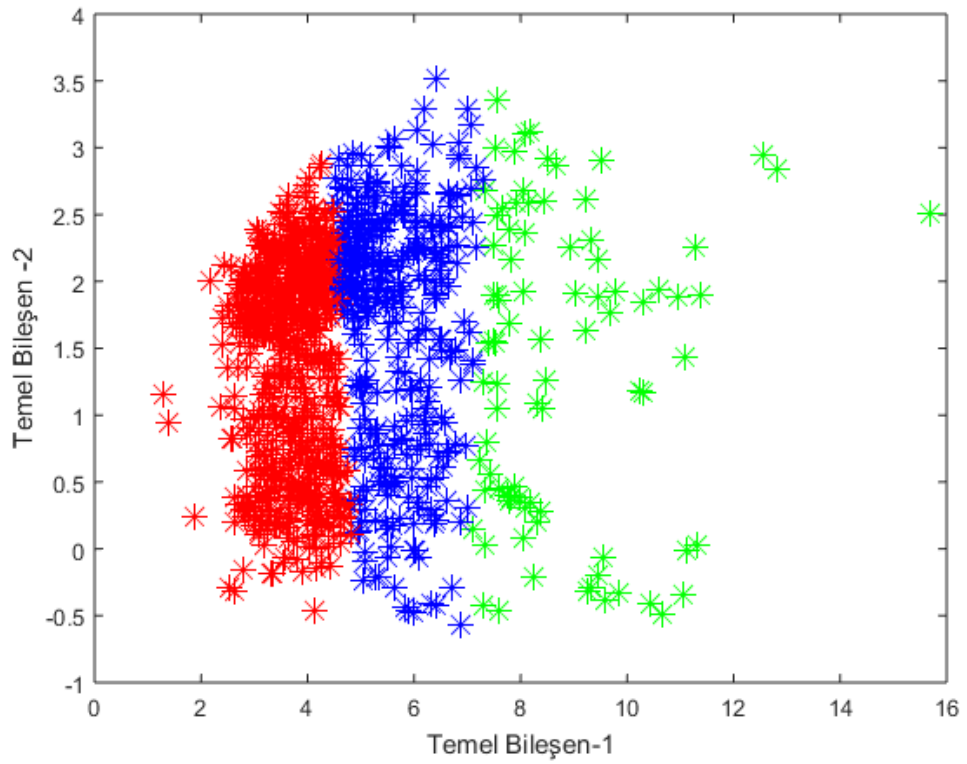
Şekil 4. 27: Ocak Ayı, konut tipi yük profilleri (Türkiye).



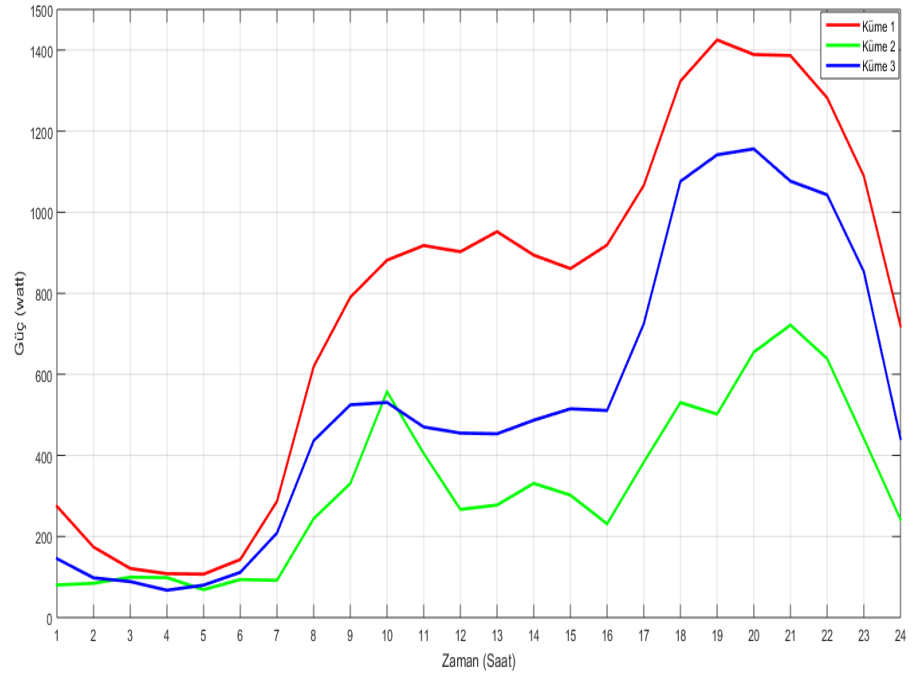
Şekil 4. 28: Nisan Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (Türkiye).



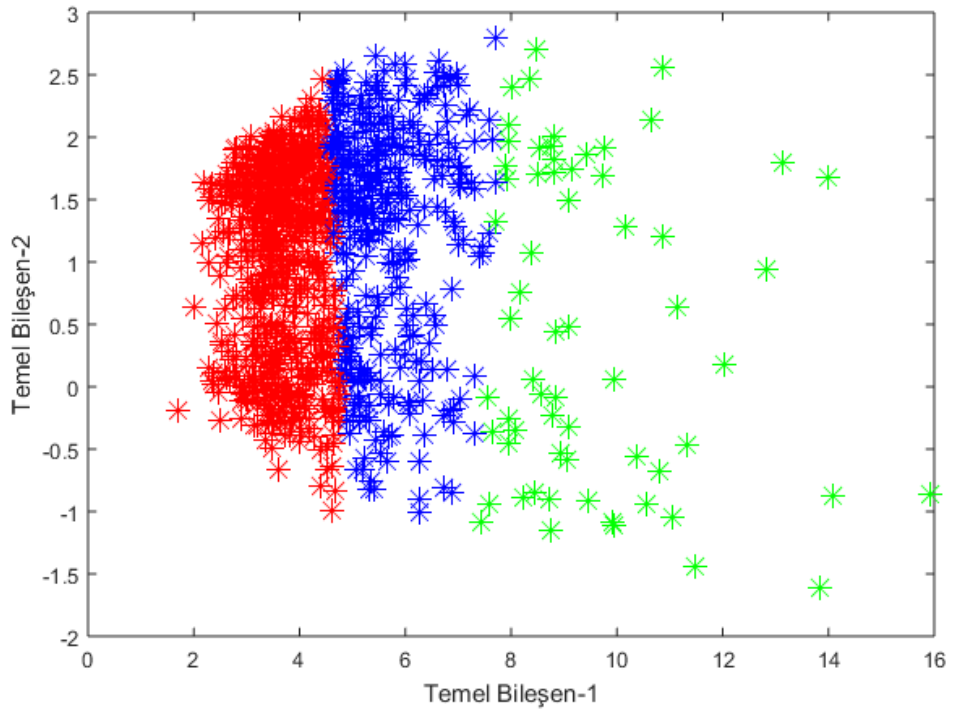
Şekil 4. 29: Nisan Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (Türkiye).



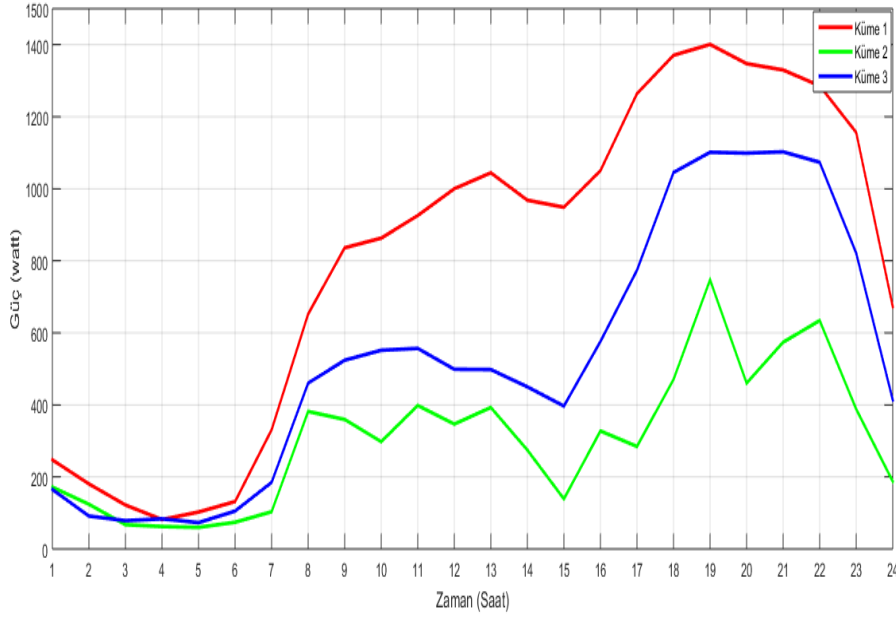
Şekil 4. 30: Temmuz Ayı, konut tipi kullanıcı kümeleri (Türkiye).



Şekil 4. 31: Temmuz Ayı, konut tipi yük profilleri (Türkiye).



Şekil 4. 32: Ekim Ayı, konut tipi yük profilleri (Türkiye).



Şekil 4. 33: Ekim Ayı, konut tipi yük profilleri (Türkiye).

Şekil 4.26 ile Şekil 4.33 aralığında Türkiye’ye ait 4000 adet konutun simülasyon programı ile elde edilmiş; verileri ile hem kümeleme yapılmış olup hem de kümelerin yük profilleri çizdirilmiştir. Böylece kümelerin yük profil kimliği ortaya koyulmuş ve TTY stratejilerinin kümelere özgü uygulanabilmesi için uygun zemin hazırlanmıştır. Aynı çalışma hem A.B.D hem de Türkiye verileri ile yapılarak farklılıklar ve benzerlikler ortaya konulmuştur. Gerçek zamanlı veriler ile yapılan çalışmalarda kümeler daha belirgin iken; simülasyon verilerinde kümeler aynı belirginlikte değildir. Kümelerin yük profilleri çizdirildiğinde her bir kümenin yük profili belirlenen 11 parametrenin etkisi ile oluştuğu görülmüştür.

4.7. Sonuçlar

Bölüm boyunca tüketicileri sınıflandırabilmek için temel sınıflandırma metodu, ve Temel Bileşen Analizi (TBA) metodu kullanılmıştır. Temel sınıflandırma metodu farklı tip kullanıcıların (süpermarket, okul, hastane vs.) veri seti ile gerçekleştirilmiş ve voronoi grafiği ile desteklenmiştir. TBA metodu kullanılarak aynı tip kullanıcılar (mesken aboneler) sınıflandırılmıştır. TBA metodu ile yapılan analizler iki parametre, beş parametre ve on bir parametre ile tekrarlanmıştır. 11 parametre ile yapılan analizlerin başarılı olması sebebiyle analiz sonuçları k-means kümeleme

metodu ile desteklenmiştir. 11 parametre ile yapılan TBA farklı bir ülkeye ait mesken abone veri seti ile de tekrarlanmıştır. Üç farklı kümeye ayrılan mesken abonelerin her bir kümesi için, kümelere ait yük profilleri çizdirilmiştir.

Bu çalışma kümelere özgü TTY stratejisi oluşturabilmek için zemin hazırlamıştır. Kümeleme çalışmasının dinamik yapısı ile, her bir konutun hangi kümeye dahil olduğunun tespiti dinamik tarife yapısı için de fayda sağlayacaktır, diğer bir yandan, kümelenmiş tüketicilerin, elektrik tüketim profillerinin belirlenmiş olması elektrik üretimi ve tüketimi planlamaları yapan kuruluşlar için çok büyük önem arz etmektedir.

5. TALEP TARAFI YÖNETİLEBİLİRLİK İNDEKSİ

Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi (TTYİ) ya da başka bir isimlendirme ile Demand Side Manageability Index (DSMI) bir elektrik tüketicisinin dışarıdan müdahaleye ne kadar açık olduğunu yani Talep Tarafı Yönetimi (TTY) açısından yönetilebilirliğini sayısal olarak ölçen bir indekstir.

TTYİ değerleri belirlenen mesken abonelerde indeks değerinin yüksek çıkması TTY açısından uygun olduğunu göstermektedir. TTY stratejisi uygulanan abonelerin faturaları azalacaktır. Bu yüzden indeks değerleri belirlenen mesken abone verileri ile maliyet analizi yapılmıştır.

Tezin bu bölümünde Türkiye ve İngiltere için örnek teşkil edecek mesken abone tipi tüketici verileri ile her bir konut için TTYİ değerleri hesaplanmıştır. Veri setleri olarak Bölüm 4.3’ te anlatılan üçüncü ve dördüncü veri seti kullanılmıştır. Hesaplanan TTYİ değerlerinin hesaplama yöntemi ve TTYİ ile elektrik faturası maliyeti ilişkisi tespit edilmiştir.

Konutlar için yük talep yönetimi yapılmak istenirse öncelikle konutta bulunan yük çeşitleri tanınmalıdır (Şekil 3.1), ve gerekli sınıflara ayırarak nasıl yönetilebileceği üzerine kurgular tasarlanmalıdır. Konut halkının kullandığı yükleri yönetebilmek için uygun görünen TTY stratejisi seçilmeli ve uygulanmalıdır.

TTYİ ile bir tüketicinin yönetilebilirliğini sayısal ölçüde belirleyebilmek amaçlanmaktadır. Eşitlik (5.1)’ de formül ile gösterilmiştir. Bir elektrik tüketicisinin yönetilebilirliğini ölçmek için kullanıcının yük tiplerini Sabit Yük, Kaydırılabilir Yük, Ayarlanabilir Yük olarak belirlemek ve bu yüklerin yüzdesel oranlarını bilmek gerekmektedir. Belirttiğimiz üzere bir konutta kaydırılabilir yük ve ayarlanabilir yük tipleri ne kadar fazla ise TTYİ’ de o kadar yüksektir.

$$TTYİ = \frac{Kaydırılabilir\ Yük + Ayarlanabilir\ Yük}{Sabit\ Yük + Kaydırılabilir\ Yük + Ayarlanabilir\ Yük} \quad (5.1)$$

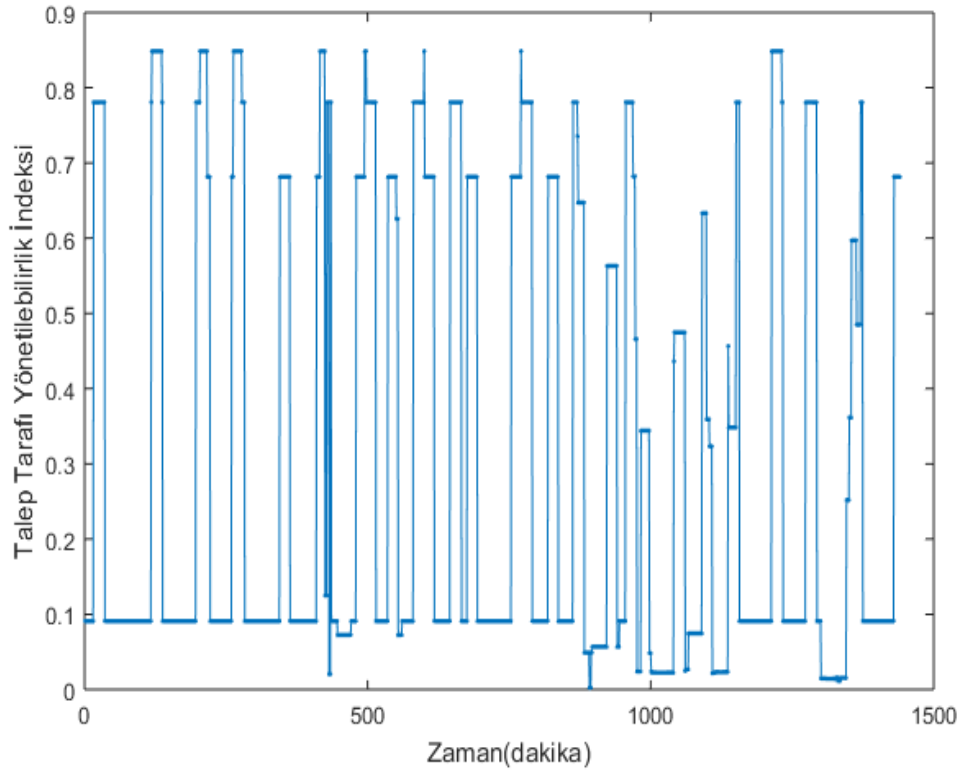
TTYİ bugüne kadar literatürde kullanılmamış olup her kullanıcı tipi için hesaplanabilecek, somut ve sayısal olarak yönetilebilirlik sonucu verebilecek bir indekstir. Bu indeksin doğru tespit edilebilmesindeki hassas nokta yük çeşitlerinin hatasız belirlenmesidir.

CREST programında yer alan yükler ve yük çeşitleri Tablo 5.1’ de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. CREST programı hakkında detaylı bilgi Bölüm 4.3’ de detaylı olarak verilmiş olup, bu programda yer alan cihazlar ve yük tipleri bilgisi çalışmalarda kullanılmıştır.

Tablo 5. 1: Konutlarda yer alan cihazlar ve yük çeşitleri.

Cihazlar	Yük Tipleri		
	Sabit Yük	Kaydırılabilir Yük	Ayarlanabilir Yük
Derin Dondurucu	X		
Buzdolabı	X		
Telesekreter	X		
Cd Player	X		
Saat	X		
Ev Telefonu	X		
Müzik Sistemi	X		
Ütü		X	
Elektrikli Süpürge		X	
Fax		X	
Bilgisayar		X	
Yazıcı		X	
Televizyon		X	
Dvd Oynatıcı		X	
Elektrikli Ocak		X	
Fırın			X
Mikrodalga Fırın			X
Elektrikli Su Isıtıcısı	X		
Bulaşık Makinesi		X	
Çamaşır Makinesi		X	
Çamaşır Kurutma Makinesi		X	
Elektrikli Isıtma Sistemi	X		
Elektrikli Şofben	X		

CREST programından elde edilen beş kişinin yaşadığı bir konuta ait, Aralık ayı, hafta sonu bir güne ait TTYİ indeksinin dakikalık değişimlerini gösteren grafik Şekil 5.1’de gösterilmiştir. CREST programından elde edilen bir konuta ait TTYİ dakikalık olarak hesaplanmış ve TTYİ verilerinin gün içerisindeki değişimi günlük olarak gösterilmiştir. İndeksin 0-1 skalası aralığındaki değişimi Şekil 5.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 5. 1: Konut tipi tüketiciye ait TTYİ’ nin zamana bağlı değişimi.

5.1. TTYİ ile Maliyet Analizi

TTYİ bir kullanıcının yönetilebilirlik seviyesini sayısal olarak göstermektedir. TTYİ ve tüketicilerin güncel fiyatlandırma ile hesaplanan faturaları karşılaştırıldığında kâr oranlarının TTYİ ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Maliyet hesaplamaları yapılırken Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’te yer alan CREST verileri ve Jeshar Peposhi’nin yazmış olduğu “Gelecekteki Dağıtım Şebekeleri için Talep Modellemesi” adlı tez çalışması [26] ile ortaya çıkan Türkiye’ye ait veriler kullanılarak maliyet analizi ayrı ayrı hesaplanmış böylelikle iki

ayrı ülke ve veri seti için kıyaslama imkanımız oluşmuştur. Maliyet hesaplamaları yapılırken Tablo 5.2’de yer alan 2019 yılının Temmuz ayına ait mesken abone ücret tarifesini kullanılmıştır.

Elektrik üretim santralleri kullanıcıların ihtiyacını karşılayabilmek için üretim santrallerinin işletme planlamasını belirlemek zorundadır. Tüketicilerin kullanım profillerinin çok değişken olması veya bazı saat dilimlerinde çok yoğun bazı saat dilimlerinde çok düşük olması üreticiler için çok istenen bir durum değildir. Çünkü bu gibi durumlarda planlamanın yapılması zorlaşmaktadır. Bu yüzden üç zamanlı tarife ortaya çıkmıştır. Elektrik tüketicilerinin yoğun tüketim sergilediği puant zaman dilimlerinde fiyatlar yüksek tutulup düşük tüketimin sergilendiği gece saat dilimlerinde fiyatlar düşük tutulmuştur. Sonuç olarak yük kaydırma yöntemiyle puant zaman diliminde konut kaynaklı enerji talebinde yaşanacak olan düşüş, enerji üretiminde % 50 seviyelerinde dışa bağımlı olan ülkemiz açısından, üretimde yerli kaynakların payının artmasına ve puant üretim santralleri gereksiniminin azalmasına yarar sağlayacaktır. Aynı şekilde konut tüketicilerinin enerji tüketim duyarlılığı artacak, evdeki elektrikli cihazların daha verimli kullanılması ile birim enerji ile yapılan iş miktarı artacak ve enerjinin daha ucuz olduğu zamanlara tüketimin kaydırılmasının tüketicilere sağlayacağı ekonomik kazançlar, ülkenin ekonomik gelişimine ve canlılığına katkı sağlayacaktır [33].

Fiyat tablosundaki veriler ve kullanıcı yük profili elde edilerek, öncelikle tek zamanlı tarifiede olmaları halinde her bir konuta ait fatura maliyetleri hesaplanmıştır. Bu ilk maliyet, “Tek Tarife ve TTY yok” olarak isimlendirilmiştir bu hesaplama sonrasında bu kullanıcının üç zamanlı tarife sistemine geçtiği varsayılarak yeniden aynı kullanıcının faturası hesaplanmıştır ve “3’lü tarife ve TTY yok” olarak isimlendirilmiştir. Kullanıcıların çok büyük bir kısmı hiçbir strateji kullanmadan direkt üç zamanlı tarifeye geçiş yaptığında faturalarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu noktada üç zamanlı tarifeye geçiş yapan kullanıcılarının Talep Tarafı Yönetim (TTY) stratejisine ihtiyacı bulunmaktadır. Bu strateji kaydırılabilir yüklerin tamamını gece zaman dilimine kaydırma ve ayarlanabilir yükleri de %50 oranında azaltma şeklinde belirlenmiştir.

Tablo 5. 2: Tarifelere göre mesken elektrik fiyatları-2.

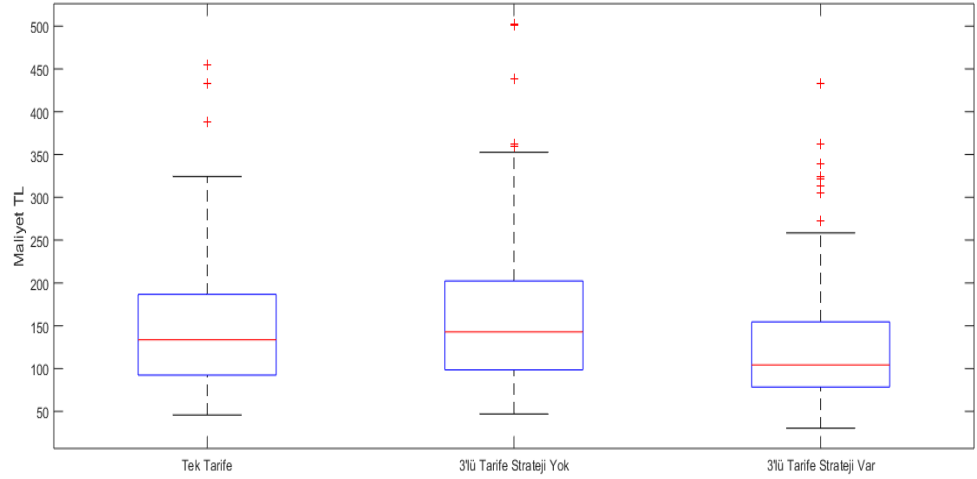
Tarife Adı	Mesken		
	Gündüz (06.00-17.00)	Puant (17.00-22.00)	Gece (22.00-06.00)
Üç Zamanlı	50,4972 kuruş/kWh	73,5259 kuruş/kWh	32,081 kuruş/kWh
Tek Zamanlı	49,8648 kuruş/kWh	49,8648 kuruş/kWh	49,8648 kuruş/kWh

Bu şekilde elde edilen fatura ise “3’lü tarife ve TTY var” olarak isimlendirilmiştir. Analiz sonucuna göre “3’lü tarife ve TTY var” olarak belirlenen fatura bir çok konutta en ekonomik fatura olarak görülmüştür. Analiz çalışmalarında kullanılan konutlarda yer alan cihaz isimleri ve yük tipleri Tablo 5.1’ de gösterilmiştir.

5.1.1. İngiltere Mesken Abone Verileri ile Maliyet Analizi

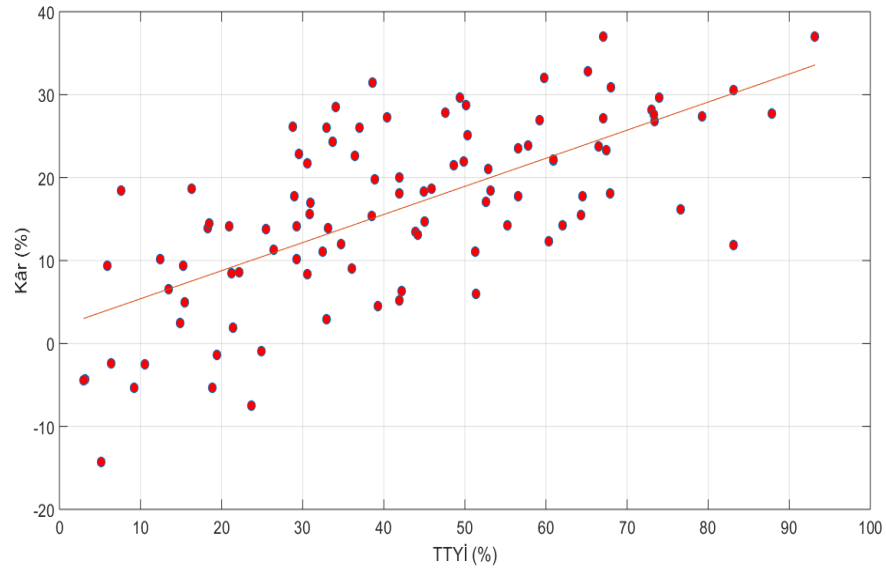
CREST (İngiltere Mesken) verileriyle farklı mevsimlerden ve farklı kişi sayılarının yaşadığı 100 adet konuttan elde edilen yük tüketim profilleri dikkate alınarak ortaya çıkarılan, üç farklı maliyetin dağılımı aşağıdaki Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Maliyet dağılımı gösterilirken kutu-bıyık yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemle dağılımlar daha net görülmektedir. En alttaki nokta minimumu gösterirken bir üst nokta 1.çeyreği, bir üst nokta ikinci çeyreği göstermektedir bu şekilde maksimum noktaya kadar her bir çeyrek bölünmüş şekilde görünmektedir.

Şekil 5.2’ de yer alan grafikten anlaşılacağı üzere tek zamanlı tarifeden üç zamanlı tarifeye herhangi bir strateji uygulamadan geçiş yapan kullanıcıların maliyetleri artmıştır. Fakat bir strateji belirleyerek kullanım sergilediklerinde maliyetlerde ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir.



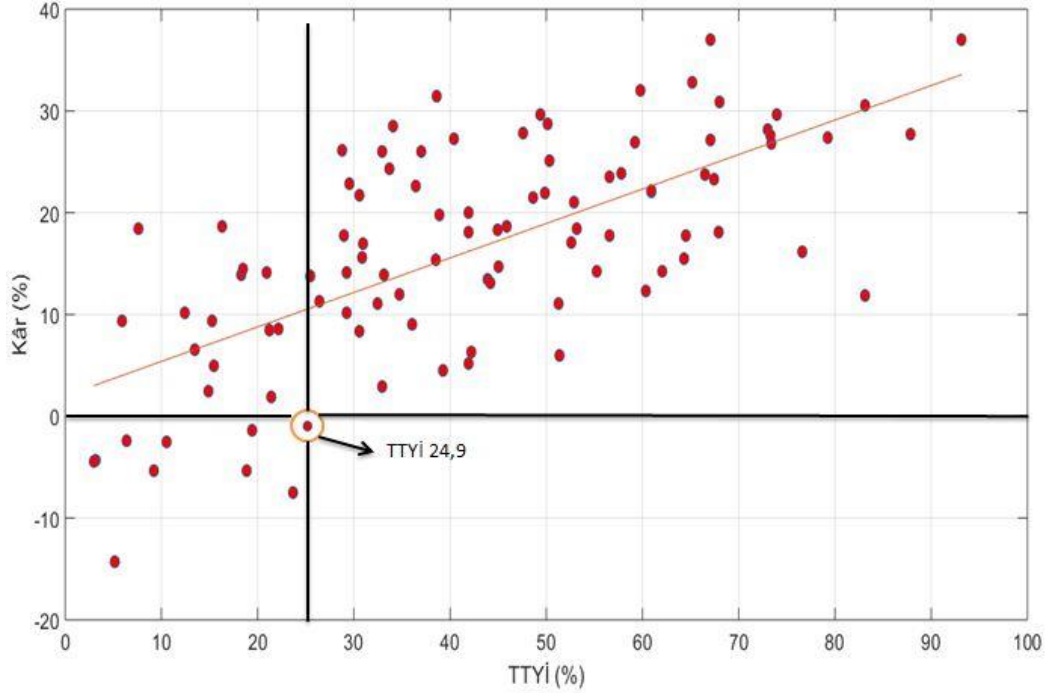
Şekil 5. 2: İngiltere mesken verileri ile maliyet değerleri.

İngiltere mesken abone verilerinin üç zamanlı tarifeye geçilmiş ve TTY stratejileri uygulanmış hali ile elde edilen kâr oranları ve Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi (TTYİ) aşağıdaki Şekil 5.3’ te gösterilmiştir. TTYİ hesaplanırken; sabit, kaydırılabilir ve ayarlanabilir yüklerin 17:00 ve 22:00 saatleri arasındaki (puant zaman dilimindeki) büyüklükleri dikkate alınmıştır. Üç zamanlı tarifeye geçerek belirtilen stratejileri uygulayan konutların %91’i kâr elde etmiş ve kâr eden evlerin kâr oranları %40’lara yaklaşmaktadır. Kâr oranları Şekil 5.3’ te detaylı olarak görülmektedir. TTYİ ile kârlılık arasındaki doğru orantılı ilişki net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5. 3: İngiltere mesken verileri ile kârlılık analizi.

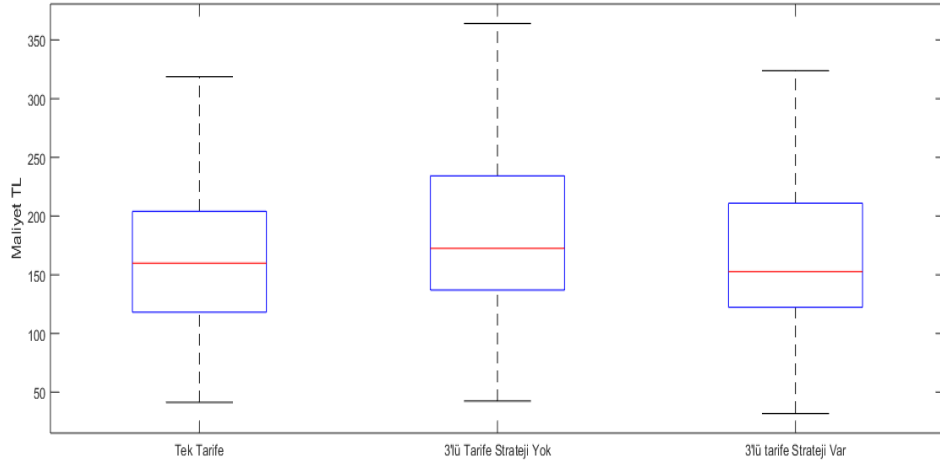
TTYİ değeri % 24,9'dan büyük olan tüm meskenler kesin olarak kâra geçmiş olup, bu değer kâr eşik değeri olarak isimlendirilmiştir. Eşik değeri TTYİ değerinin zarar ettiği son değerdir ve gerçekleştirilen analizler sonucunda, tüm konutların % 77'sinin eşik değeri (%24,9) geçtiği, yani TTY stratejisi uygulandığı durumda hiç zarar etmeyeceği görülmüştür. Eşik değeri ve analiz sonuçları Şekil 5.4' te gösterilmiştir.



Şekil 5. 4: İngiltere mesken verileri ile kârlılık analizi ve TTYİ eşik değeri.

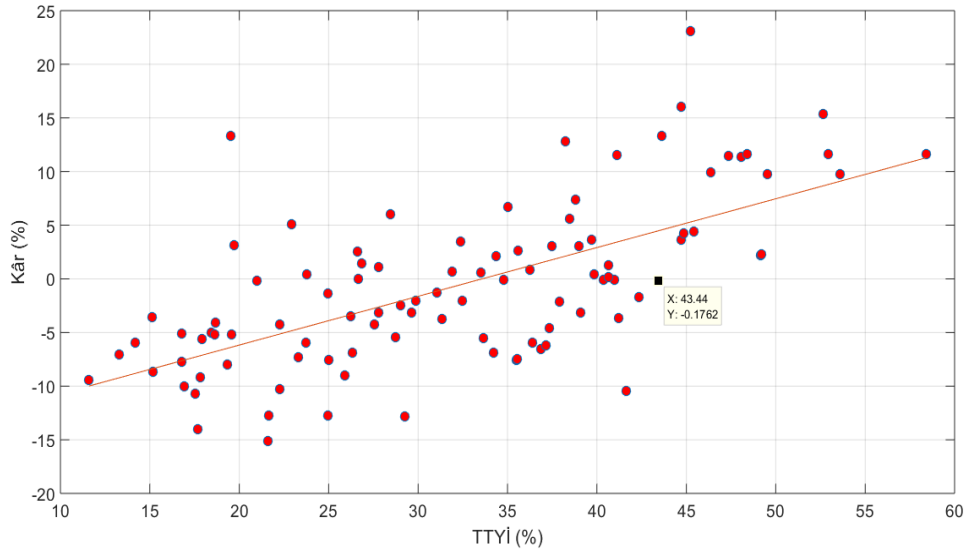
5.1.2. Türkiye Mesken Abone Verileri ile Maliyet Analizi

Jeshar Peposhi'nin tez çalışması [26] ile elde edilen ve Türkiye'ye ait mesken abone verileriyle farklı mevsimlerden ve farklı kişi sayılarının yaşadığı 4000 adet konuttan elde edilen yük tüketim profilleri dikkate alınarak ortaya çıkarılan, üç farklı maliyetin dağılımı her bir ay ve konutta yaşayan kişi sayısına göre ayrı ayrı elde edilmiştir. Maliyet analiz çalışmaları yapılırken Bölüm 5.1.2'de anlatılan stratejilerin aynısı kullanılmış olup bu veri setinde meskenlerde yaşayan kişi sayısına göre meskenler filtrelenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.5' te Nisan ayına ait ve 1 kişinin yaşadığı mesken abone verileriyle elde edilen maliyet değeri sonuçları gösterilmiştir.



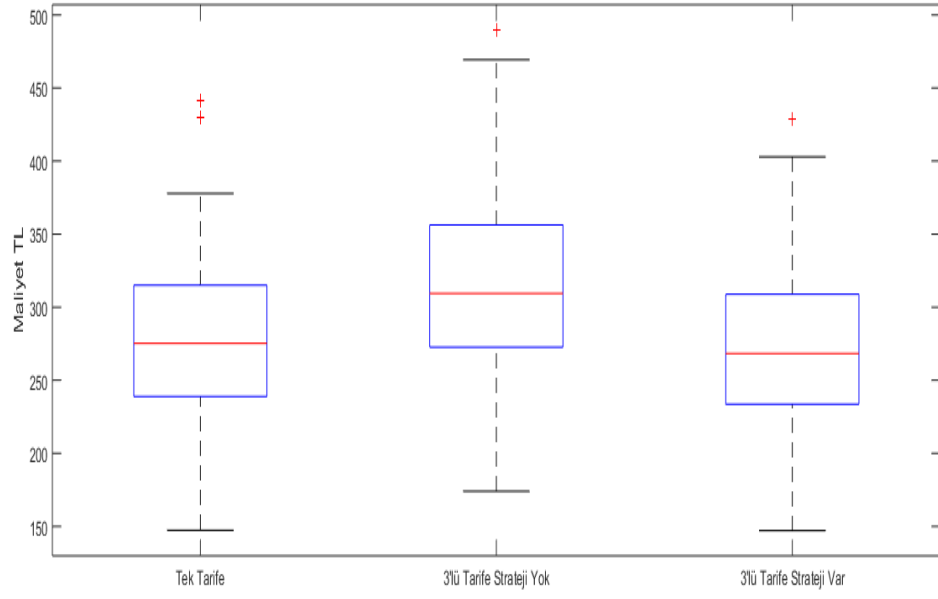
Şekil 5. 5: Türkiye mesken verileri(Nisan ayı ve 1 kişi) ile maliyet değerleri.

Türkiye Mesken verilerinin üç zamanlı tarifeye geçilmiş ve TTY stratejileri uygulanmış hali ile elde edilen kâr oranları ve Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi (TTYİ) Nisan ayına ait ve 1 kişinin yaşadığı konutlar ele alınarak aşağıdaki Şekil 5.6 elde edilmiştir. TTYİ hesaplanırken puant zaman dilimi dikkate alınmıştır. Üç zamanlı tarifeye geçerek belirtilen stratejileri uygulayan konutların %42'si kâr elde etmiş durumdayken kâr oranları aşağıdaki Şekil 5.6'da görülmektedir.

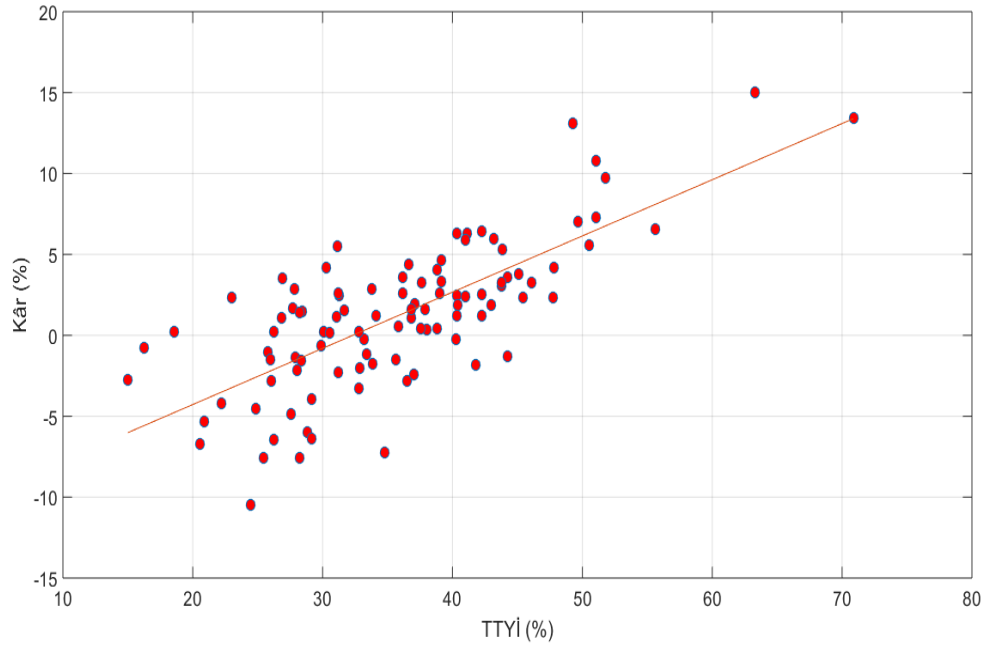


Şekil 5. 6: Türkiye mesken verileri (Nisan ayı ve 1 kişi) ile kârlılık analizi.

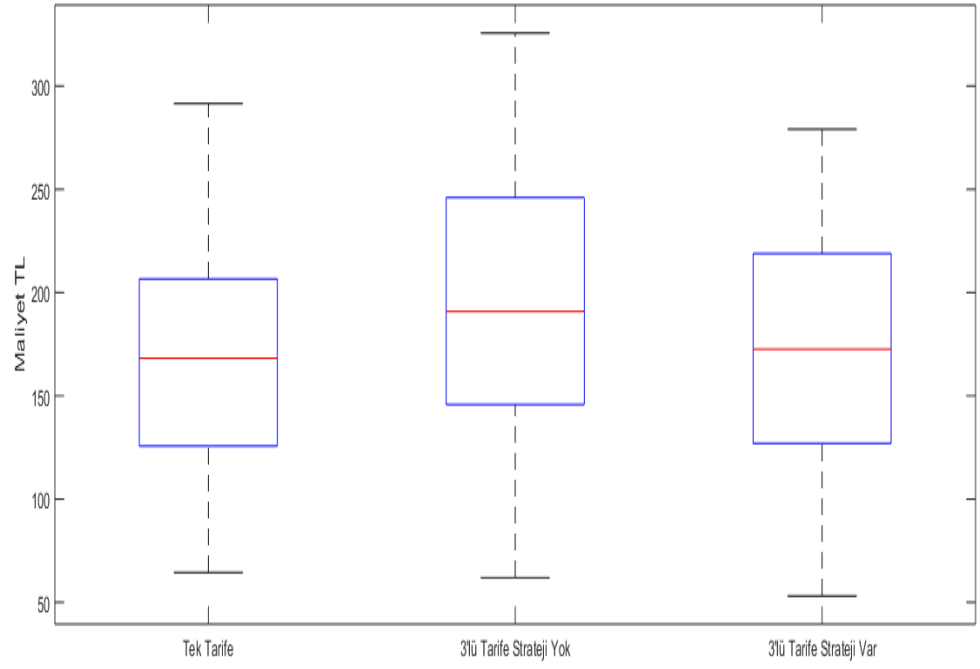
Bu çalışmalar farklı mevsimlerden olmak üzere (Nisan, Temmuz, Ekim, Ocak) ayları ve konutta yaşayan kişi sayısı (1 ve 5) senaryolarına göre sırasıyla yapılmış olup Şekil 5.7'den Şekil 5.20'ye kadar aşağıda gösterilmiştir.



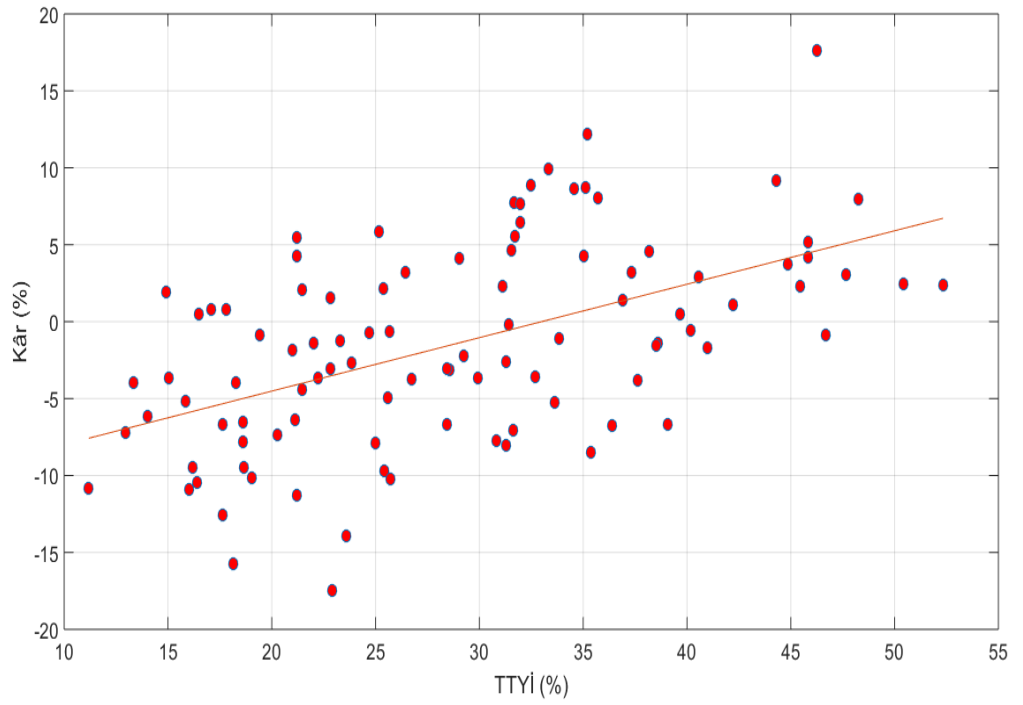
Şekil 5. 7: Türkiye mesken verileri (Nisan ayı ve 5 kişi) ile maliyet değerleri.



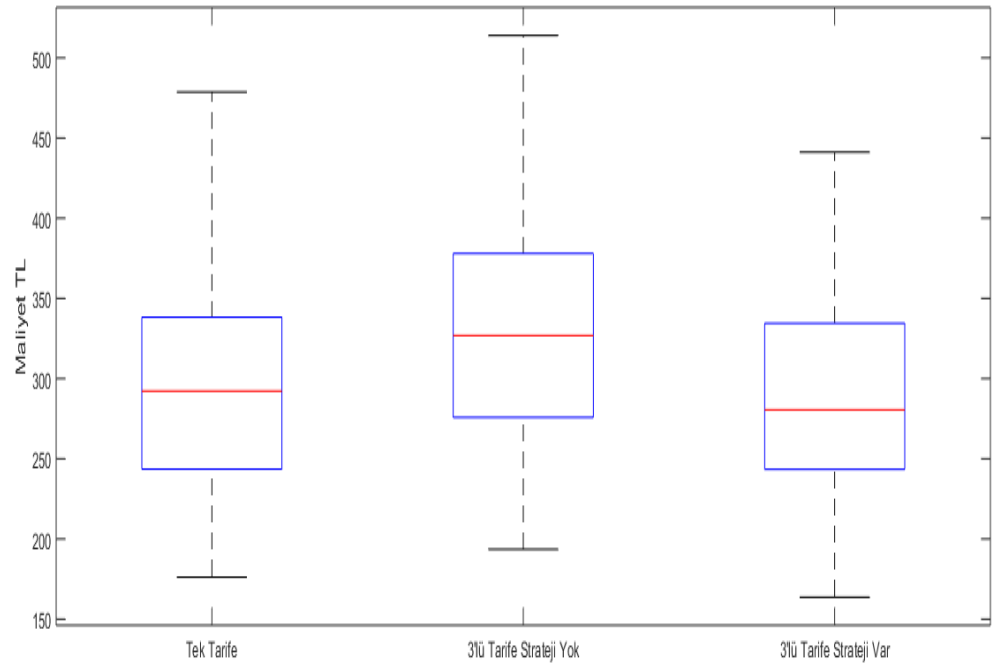
Şekil 5. 8: Türkiye mesken verileri (Nisan ayı ve 5 kişi) ile kârlılık analizi.



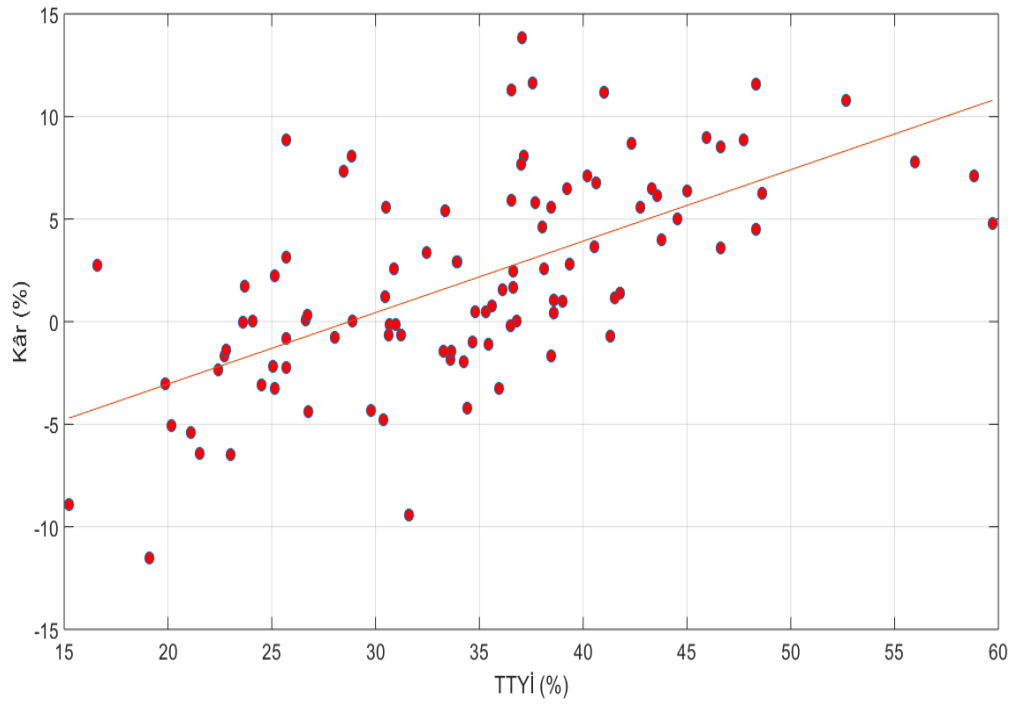
Şekil 5. 9: Türkiye mesken verileri(Temmuz ayı ve 1 kişi) ile maliyet değerleri.



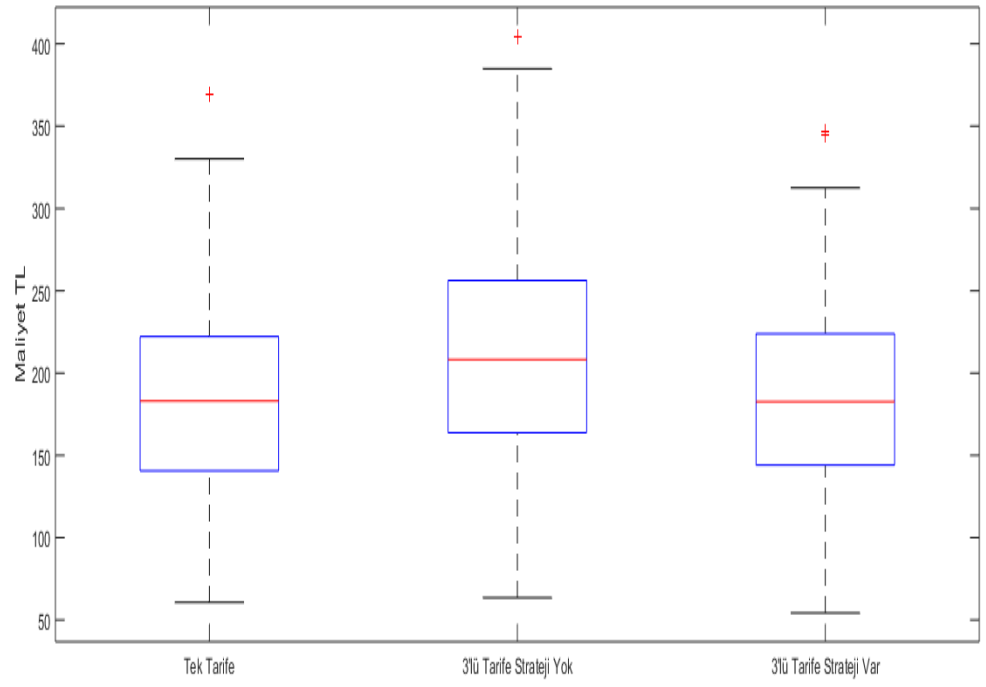
Şekil 5. 10: Türkiye mesken verileri (Temmuz ayı ve 1 kişi) ile kârlılık analizi.



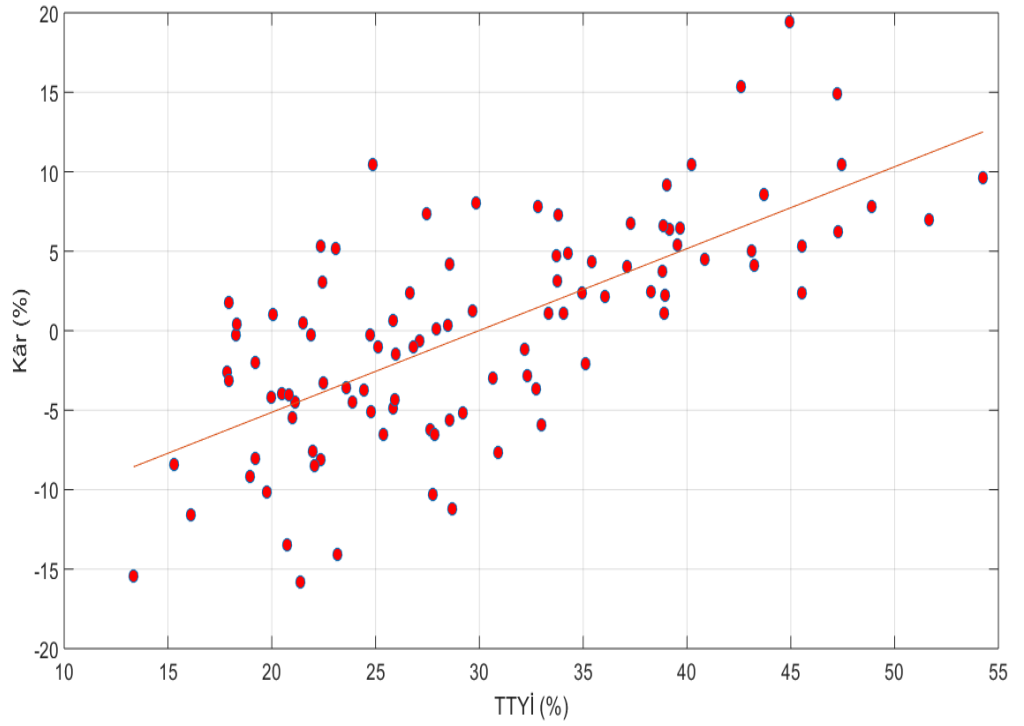
Şekil 5. 11: Türkiye mesken verileri(Temmuz ayı ve 5 kişi) ile maliyet değerleri.



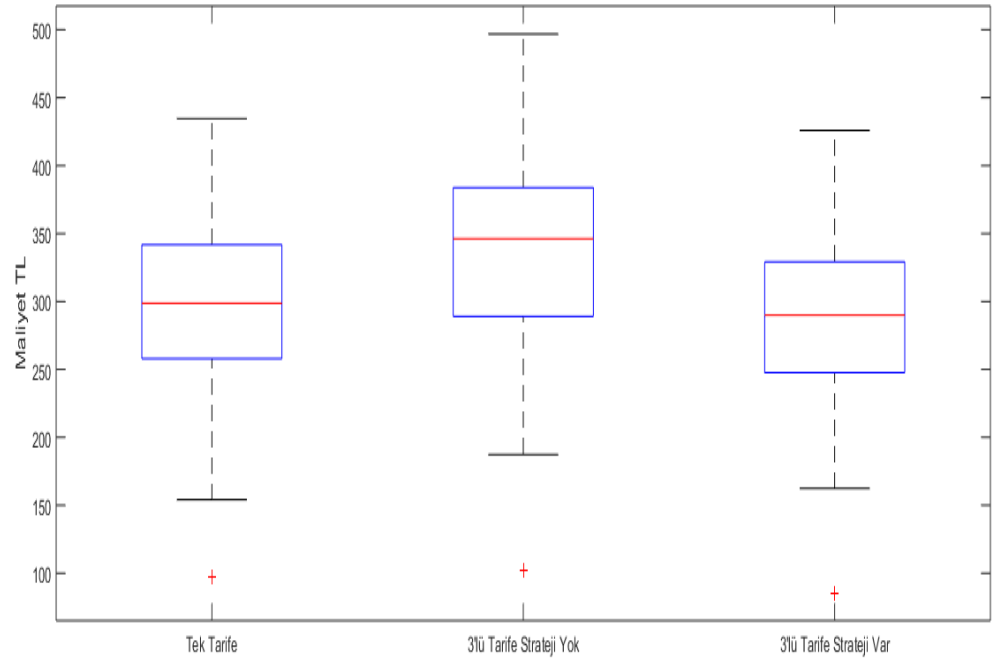
Şekil 5. 12: Türkiye mesken verileri (Temmuz ayı ve 5 kişi) ile kârlılık analizi.



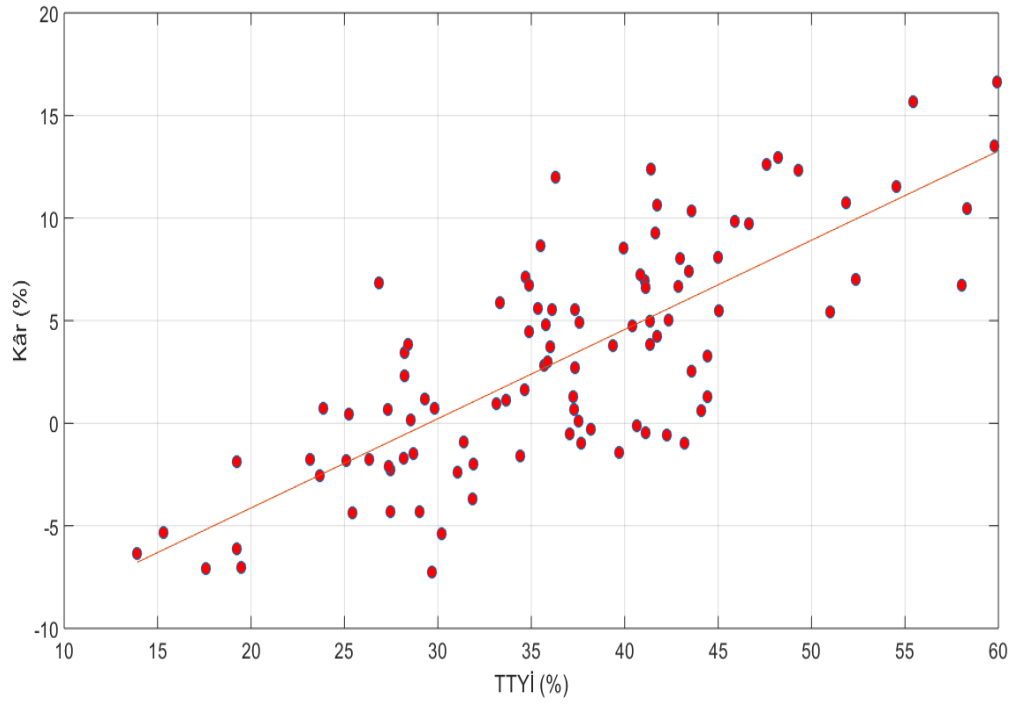
Şekil 5. 13: Türkiye mesken verileri (Ekim ayı ve 1 kişi) ile maliyet değerleri.



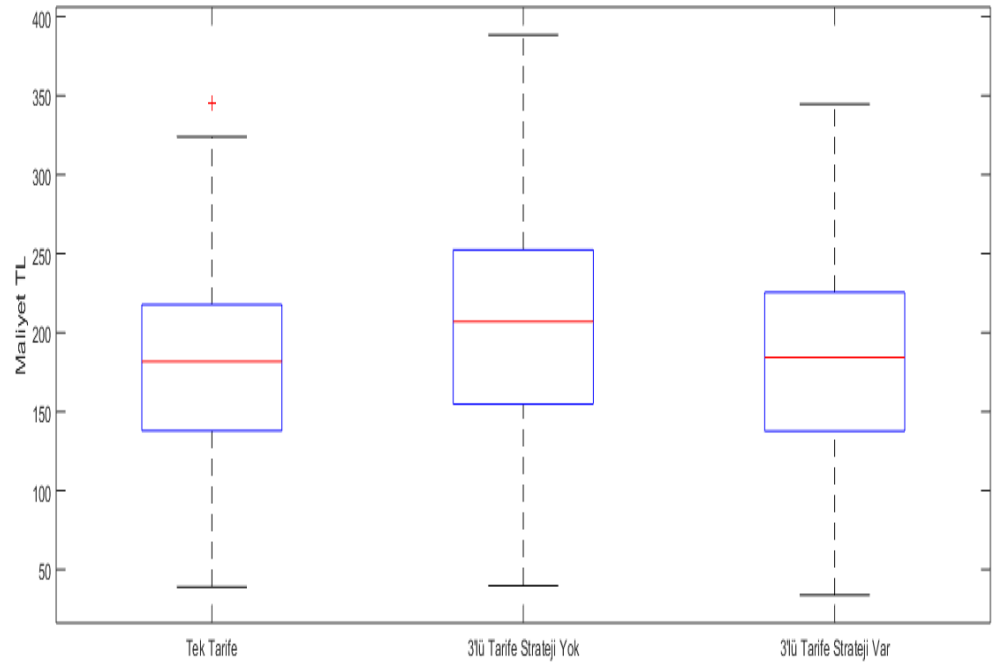
Şekil 5. 14: Türkiye mesken verileri (Ekim ayı ve 1 kişi) ile kârlılık analizi.



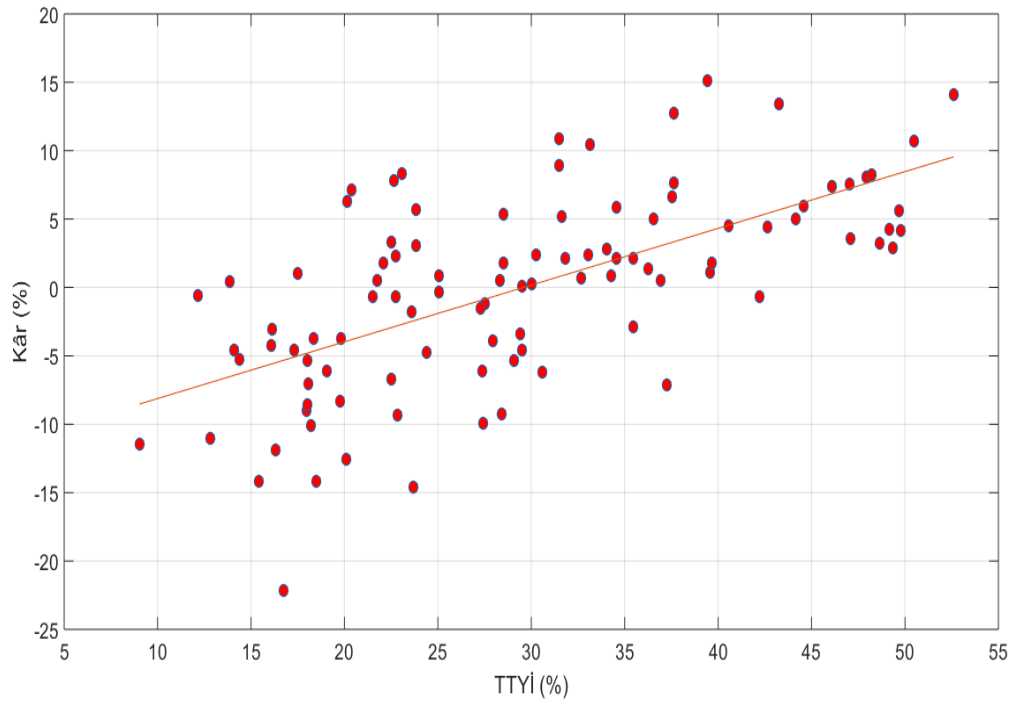
Şekil 5. 15: Türkiye mesken verileri (Ekim ayı ve 5 kişi) ile maliyet değerleri.



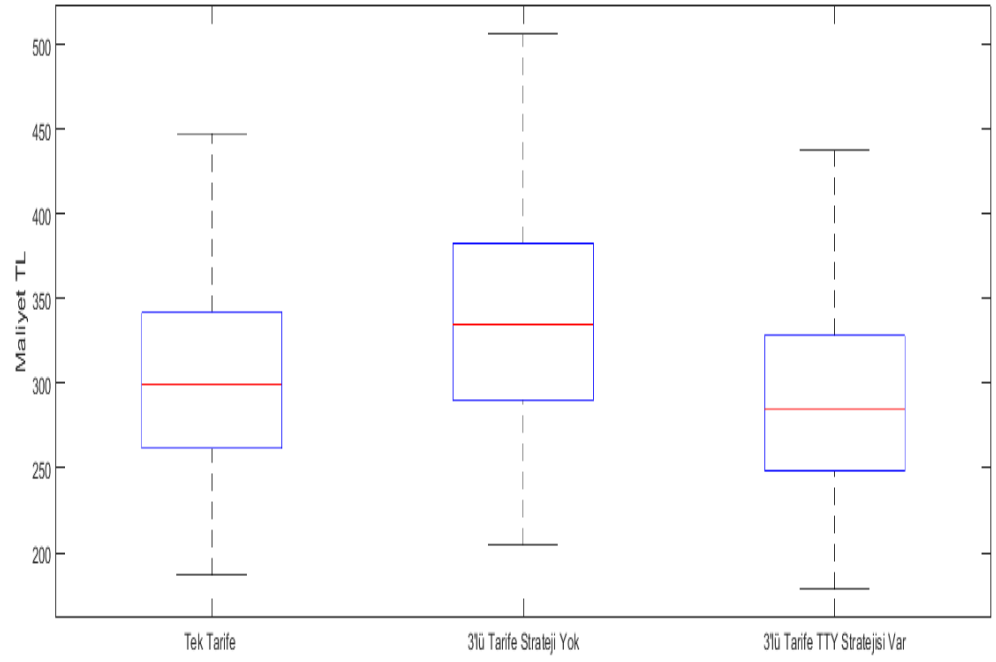
Şekil 5. 16: Türkiye mesken verileri (Ekim ayı ve 5 kişi) ile kârlılık analizi.



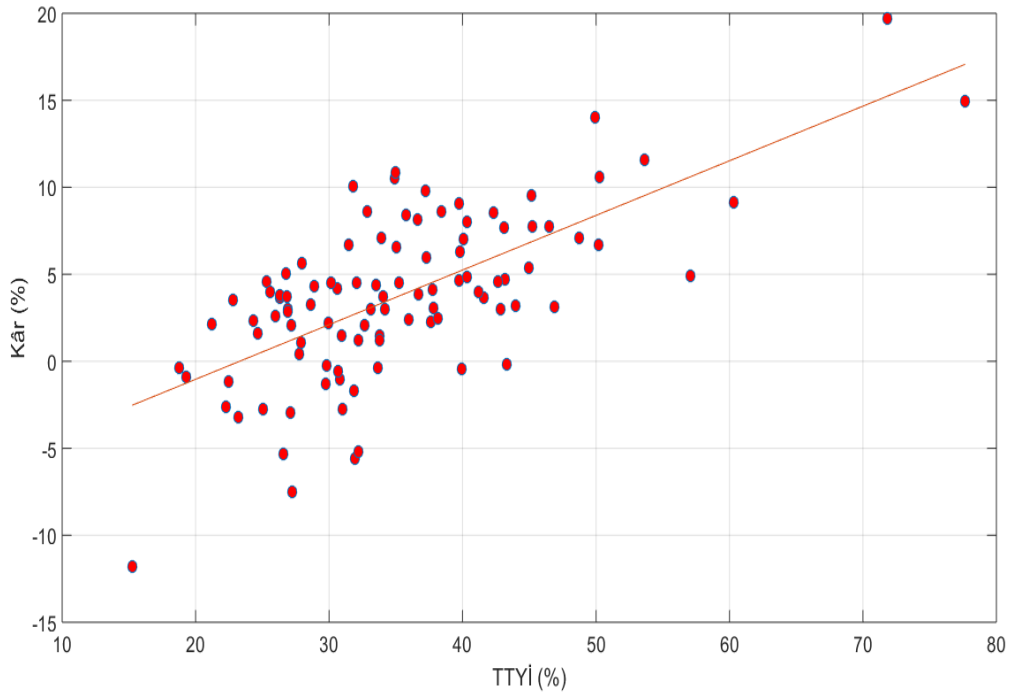
Şekil 5. 17: Türkiye mesken verileri (Ocak ayı ve 1 kişi) ile maliyet değerleri



Şekil 5. 18: Türkiye mesken verileri (Ocak ayı ve 1 kişi) ile kârlılık analizi.



Şekil 5. 19: Türkiye mesken verileri (Ocak ayı ve 5 kişi) ile maliyet değerleri.



Şekil 5. 20: Türkiye mesken verileri (Ocak ayı ve 5 kişi) ile kârlılık analizi.

5.1.3. Türkiye ve İngiltere Mesken Abone Verilerinin Kıyaslanması

Bu bölümde 5.1.1 ve 5.1.2’ de yapılan analiz sonuçları kıyaslanmış ve iki ayrı veri seti için benzerlikler ve farklılıklar ortaya konulması amaçlanmıştır. Tablo 5.3’ de farklı veriler (senaryolar) için evlerinin yüzdesel kârlılık oranları TTYİ eşik değeri ve eşik değerinin daha üzerinde olan evlerin yüzdesi gösterilmiştir. Ayrıca kâr ve zarar eden mesken aboneleri daha iyi tanıyabilmek adına kâr ve zarar eden mesken abonelerin yük profilleri çizdirilmiştir. Ayrıca aşağıda tanımları yapılan değerler tabloda toparlanmıştır.

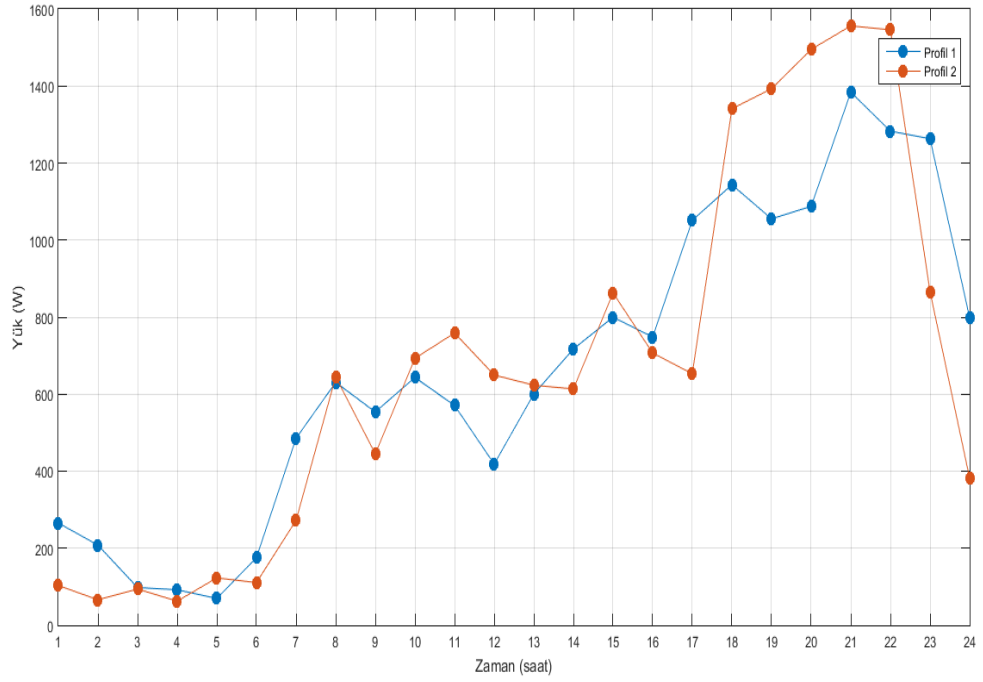
- TTY Stratejisi Sonrası Kâr’a geçen Ev Sayısı - Talep tarafı yönetim stratejisi tüm evlere uygulandıktan sonra 100 ev içerisinde kaç tanesinin kâr’a geçtiğini gösterir.
- TTY Stratejisi Sonrası Kâr Ortalaması - Uygulanan strateji sonrası tüm konutların kâr oranları hesaplanmış olup zarar veya kâr eden tüm evlerin ortalama kâr değerleri hesaplanmıştır.
- TTY Stratejisi Sonrası Kâr Ortalaması-2 - Uygulanan strateji sonrası sadece kâr eden tüm evlerin ortalama kâr değerleri hesaplanmıştır.
- TTYİ Eşik Değeri - Konutların elektrik faturasında elde edeceği kâr ile TTYİ arasındaki ilişki belirlenmiştir. Konutların belli bir TTYİ değerinin üzerinde kâr ettiği kesin olarak gözlemlenmiş ve her kullanıcı grubu için TTYİ eşik değeri bulunmuştur.
- TTYİ Eşik Değerinden Yüksek TTYİ’ne Sahip Konut Sayısı: Tüm konut grupları için TTYİ eşik değerinin üstünde yer alan konutların kesinlikle kâr’a geçeceği görülmüş olup eşik değerinin üstündeki ev sayıları ve yüzdeleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.3’ ten anlaşılacağı üzere birçok konut strateji sonrası fatura maliyetlerinde kâr ederken bazı evlerde kâr edilememiş hatta zarar ettiği durumlar olmuştur. Bunun yanı sıra tablo incelendiğinde, ocak ve nisan aylarında kişi sayıları arttığında kâr miktarları artmaktadır. Fakat Temmuz ve Ekim ayında aynı trend görülmesinde rağmen dört kişinin yaşadığı konutlar beş kişinin yaşadığı konutlara göre daha yüksek oranda kâr etmiştir. Ayrıca nispeten daha soğuk aylar olan Ocak ve Ekim aylarındaki kâr oranları Nisan ve Temmuz aylarına göre daha yüksektir.

Tablo 5. 3: Konut maliyet analizi ve kârlılık oranları.

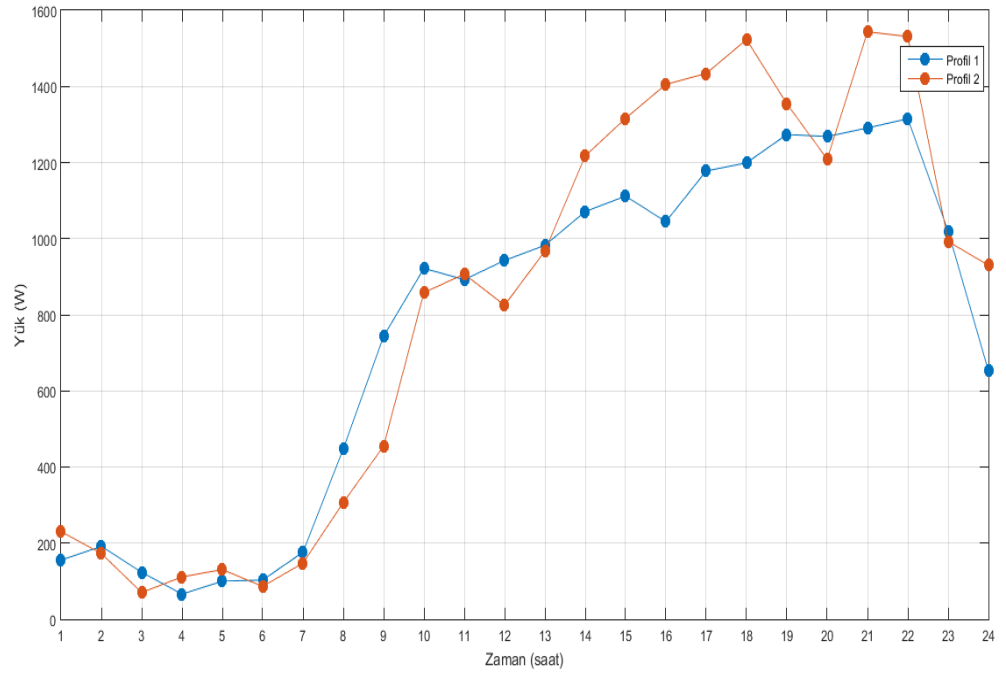
Seçilen Konut Tipi	TTY Strateji Sonrası Kâr'a Geçen Ev Sayısı	TTY Strateji Sonrası Kâr Ortalaması 1	TTY Strateji Sonrası Kâr Ortalaması 2	TTYİ Eşik Değeri	TTYİ Eşik Değerinin Üzerinde Konut Sayısı
Ocak (1 kişi)	57/100	-%0,142	%4,878	0,4222	17/100
Ocak (2 kişi)	64/100	%0,0247	%4,983	0,4615	8/100
Ocak (3 kişi)	69/100	%0,0376	%4,922	0,4464	6/100
Ocak (4 kişi)	66/100	%0,0013	%5,178	0,4740	10/100
Ocak (5 kişi)	79/100	-%0,0556	%5,465	0,4331	16/100
Nisan (1 kişi)	43/100	%0,0040	%6,296	0,4344	17/100
Nisan (2 kişi)	52/100	%0,0278	%4,976	0,4046	24/100
Nisan (3 kişi)	52/100	%0,0799	%4,204	0,5032	8/100
Nisan (4 kişi)	55/100	-%0,0331	%4,021	0,4022	22/100
Nisan (5 kişi)	66/100	-%0,0647	%3,603	0,4426	14/100
Temmuz (1 kişi)	41/100	-%0,0971	%4,859	0,4668	5/100
Temmuz (2 kişi)	47/100	-%0,0241	%5,101	0,4451	8/100
Temmuz (3 kişi)	48/100	%0,1114	%4,977	0,4419	15/100
Temmuz (4 kişi)	57/100	%0,1070	%4,384	0,4444	18/100
Temmuz (5 kişi)	41/100	%0,0899	%4,859	0,4130	21/100
Ekim (1 kişi)	52/100	-%0,0451	%5,317	0,3514	28/100
Ekim (2 kişi)	71/100	%0,0164	%4,525	0,4189	22/100
Ekim (3 kişi)	69/100	%0,0477	%5,022	0,4219	17/100
Ekim (4 kişi)	61/100	-%0,0012	%4,973	0,4188	20/100
Ekim (5 kişi)	68/100	%0,0255	%5,980	0,4319	23/100
CREST Verileri	90/100	%0,3204	%18,478	0,2490	77/100

Kâr veya zarar eden konutların yük profillerini inceleyerek kâr veya zarar eden profillerin arasındaki fark ortaya konulmaya çalışılmıştır. Şekil 5.21’de Ocak ayına ait ve üç kişinin yaşadığı konutların hafta içi verilerinden yararlanılarak kâr ve zarar eden profiller bir arada gösterilmiştir. Profil -1 kâr eden profilleri gösterirken, Profil-2 ise zarar eden profilleri göstermektedir.

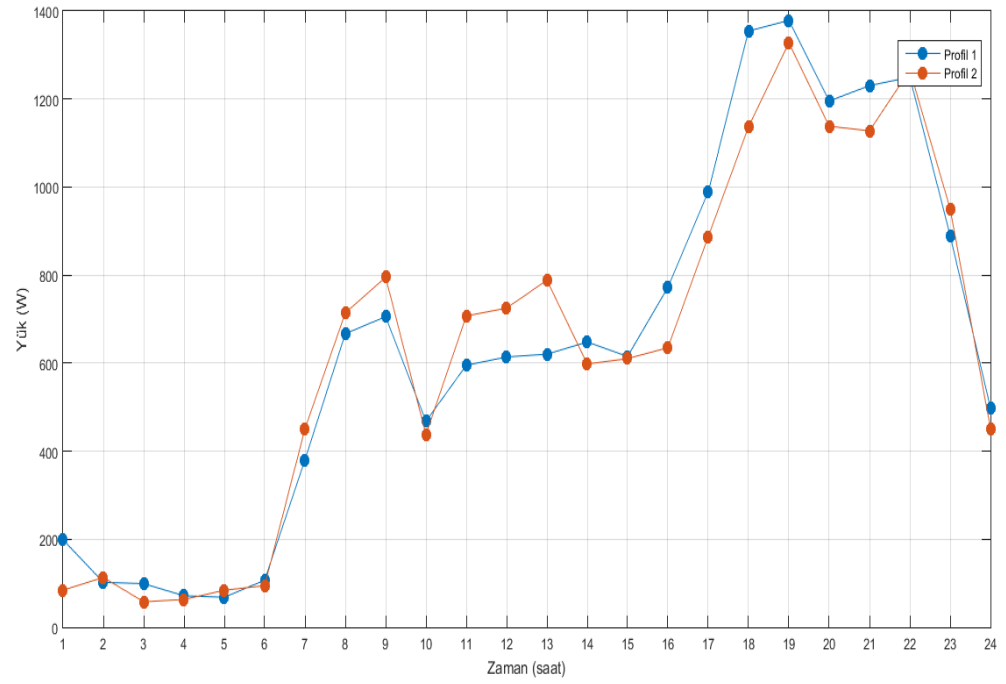


Şekil 5. 21: Ocak ayı, hafta içi kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.

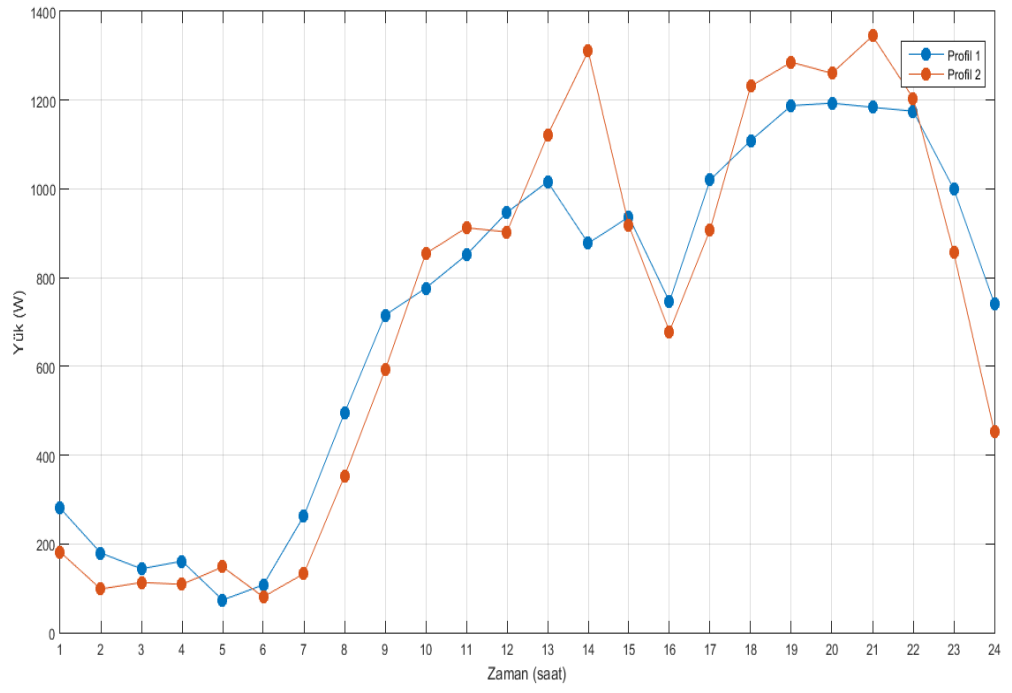
Şekilde görülmektedir ki, puant zaman dilimlerinde yüksek tüketimin olduğu mesken aboneler zarar etmiştir, aynı zaman diliminde düşük tüketim sergileyen tüketiciler kâr etmiş durumdadır. Şekil 5.22 Ocak ayı hafta sonu verileri ile üretilmiş kâr ve zarar profillerini göstermektedir. Şekil 5.23’ten Şekil 5.28’ e kadar Türkiye’ye ait Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında üç kişinin yaşadığı konutlar için Şekil 5.29’de ise CREST verisi yani İngiltere’ye ait mesken aboneler için kâr ve zarar eden abonelerin yük profilleri çizdirilmiş ve sonuçları gösterilmiştir.



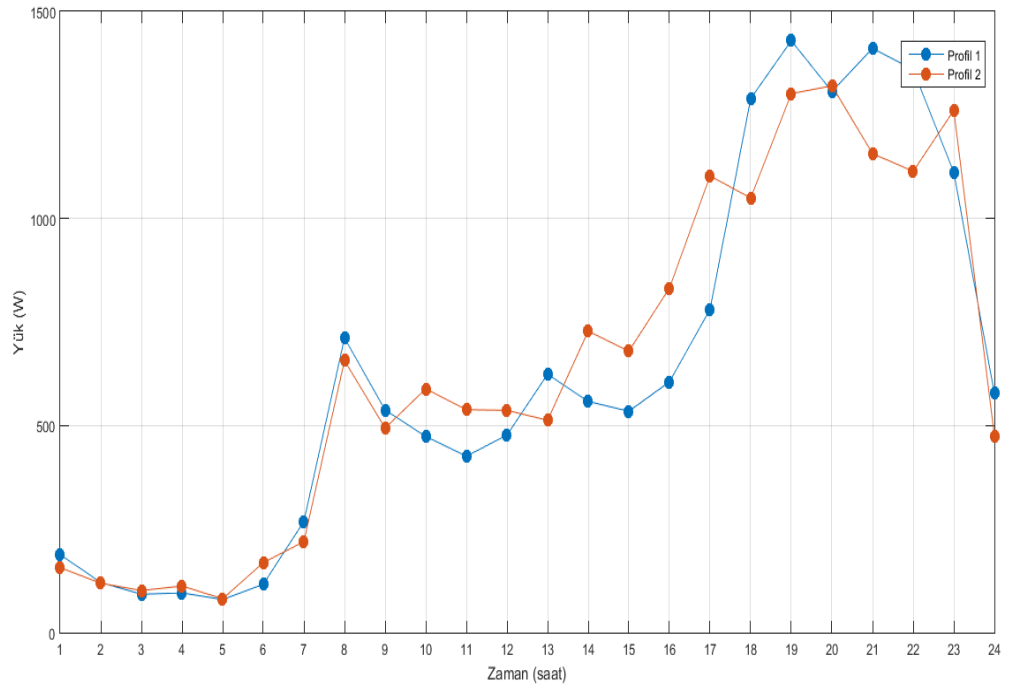
Şekil 5. 22: Ocak ayı, hafta sonu kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.



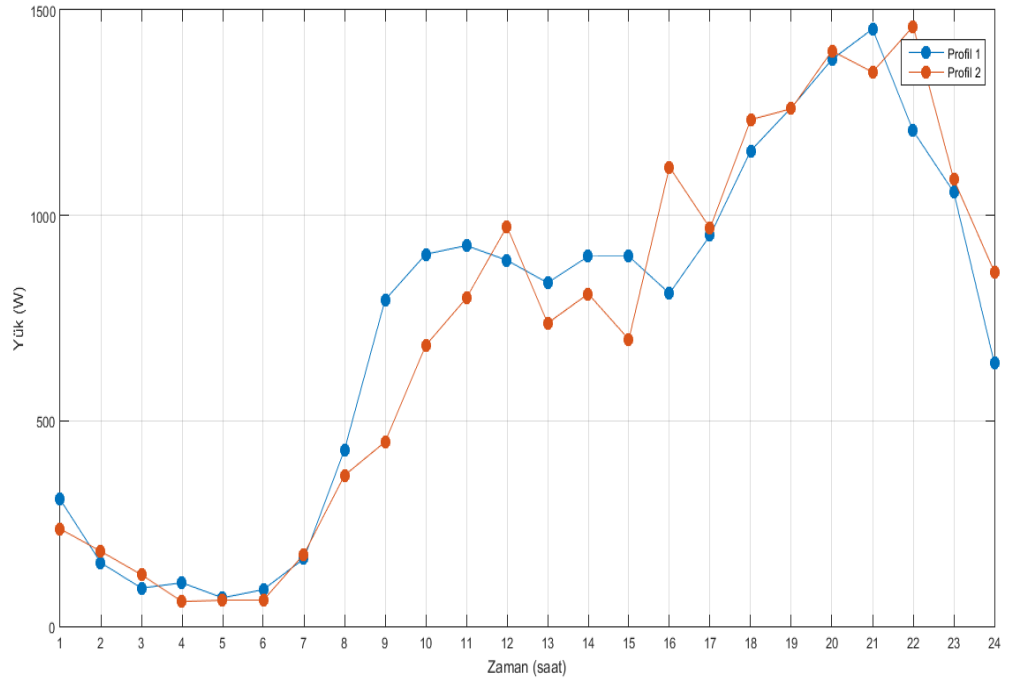
Şekil 5. 23: Nisan ayı, hafta içi kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.



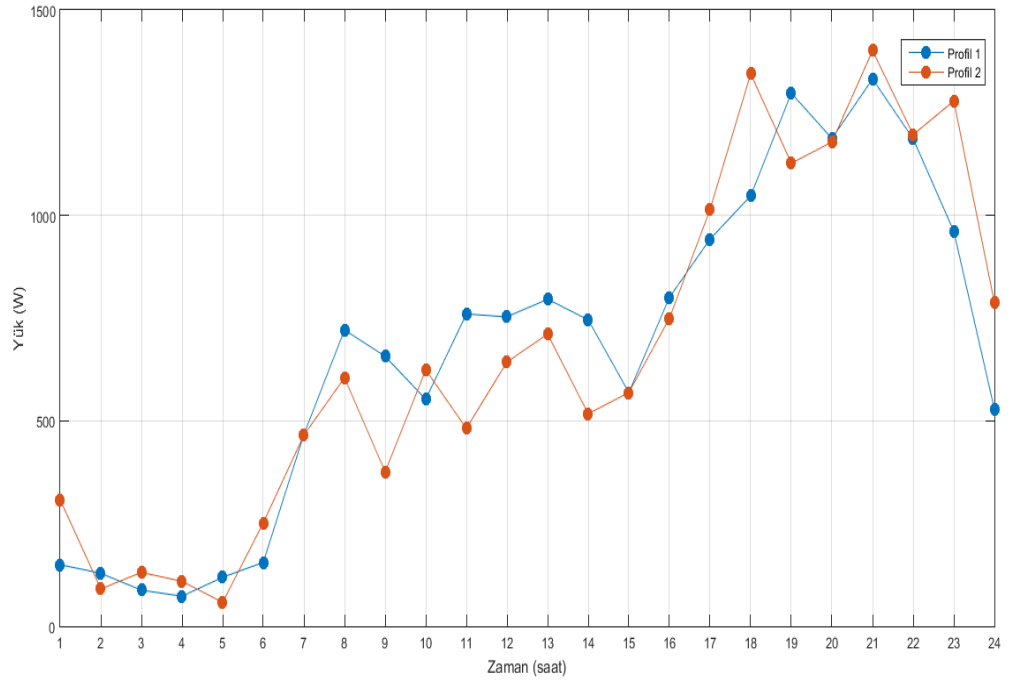
Şekil 5. 24: Nisan ayı, hafta sonu kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.



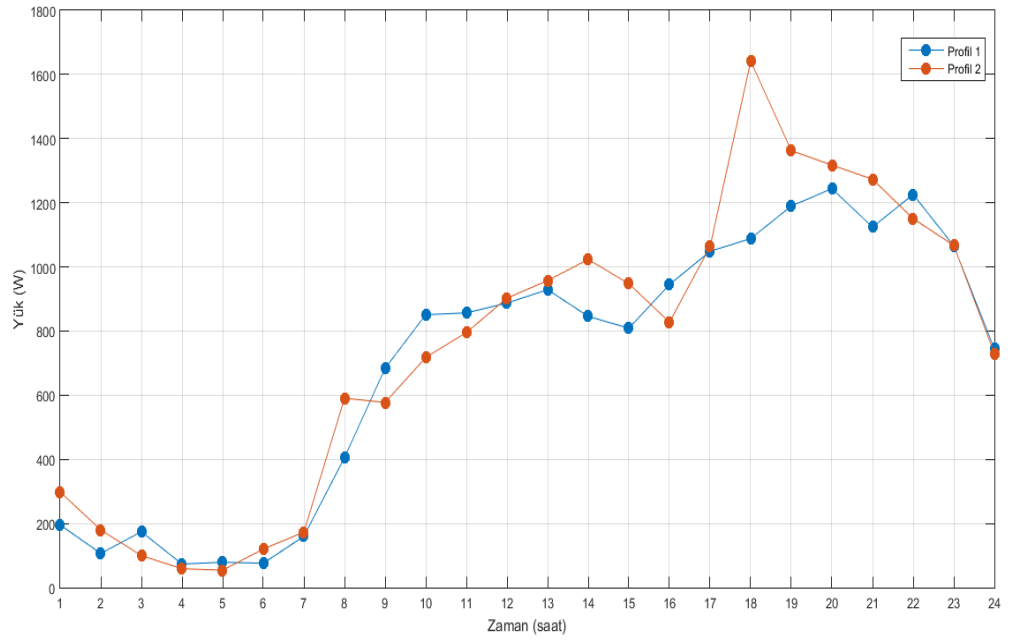
Şekil 5. 25: Temmuz ayı, hafta içi kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.



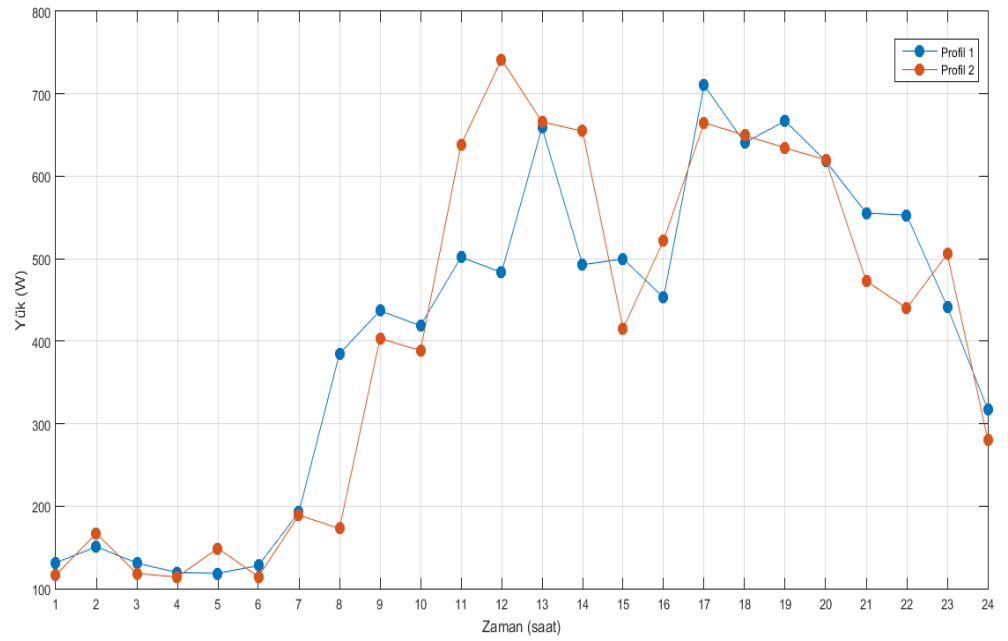
Şekil 5. 26: Temmuz ayı, hafta sonu kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.



Şekil 5. 27: Ekim ayı, hafta içi kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.



Şekil 5. 28: Ekim ayı, hafta sonu kullanım verileri ile kâr ve zarar profilleri.



Şekil 5. 29: İngiltere mesken verileri ile kâr ve zarar profilleri.

Kâr ve zarar profilleri incelendiğinde aralarındaki temel fark puant zaman dilimindeki tüketimler olarak görülmüştür. Puant zaman diliminde daha yüksek tüketim sergileyen mesken aboneler zarar etmiş olarak görülmüştür.

5.2. Sonuçlar

Bu bölümde TTYİ tanımlanmış ve nasıl hesaplanması gerektiği formül ile gösterilmiştir. İki farklı ülkeye ait yük profili üretebilen programlar ile mesken abone veri seti üretilmiştir. Hem İngiltere hem Türkiye'ye ait mesken abone verileri üzerinde TTYİ hesaplanmıştır. TTYİ ile maliyet arasındaki ilişkiyi gösterebilmek için mesken abonelerin tamamına TTY stratejilerinden puant yük talebini kaydırma stratejisi uygulanarak, TTYİ değeri yüksek mesken abonelerin daha yüksek oranda kr ettiği gösterilmiştir. Bölümün son çalışması olarak kr ve zarar eden mesken aboneler belirlenerek daha yakından inceleyebilmek amacıyla kr ve zarar eden mesken abonelerin yük profilleri çizdirilmiştir. TTYİ, Bölüm 4'te yer alan kullanıcıların kümelenmesi çalışmasını bir adım öteye taşımıştır. Gelecekte gerçekleşmesi beklenen TTY anlamında her bir elektrik abonesine özgü TTY stratejisi belirlenmesi hususunda uygun zemin hazırlamıştır.

6. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Enerji verimliliği her zaman gündemde yer almakta ve büyük önem taşımaktadır. Elektrik enerjisini kullanan tüketicilerin yönetilebilmesi için yeni stratejiler ve algoritmalar geliştirilmektedir.

Talep Tarafının Yönetimi (TTY) çalışmaları uzun yıllardan beri süregelmektedir. TTY'nin doğru bir şekilde uygulanması hem elektrik tüketiminde gerçekleşecek olan tasarruf ile enerjide dışa bağımlı olan ülkemize katkı sağlayacak hem de elektrik üretim santrallerinin verimli kullanılması ile ülke ekonomisine dolaylı olarak katkı sağlayacaktır. TTY stratejilerin geliştirilebilmesi üzerine yapılan literatür taramasında elektrik tüketicilerinin (abonelerin) kümelenmesi üzerine yapılan çalışmaların yoğunlaştığı görülmüştür. Kümeleme çalışması adına, ilk olarak iki parametre seçilmiş ve farklı tip (ticari, kamu, endüstri vb.) aboneler üzerinden kümeleme yapıldığında tüketiciler başarılı bir şekilde kümelenmiştir. Çalışmanın devamında Temel Bileşen Analizi (TBA) ve k-means metodu kullanılmış ve ilk olarak iki parametre ile aynı tip aboneler yani sadece mesken aboneler ile kümeleme çalışması yapılmış kümeleme belirgin olarak ortaya konulamamıştır, parametre sayısı artırılarak beş parametre ve on bir parametre ile tekrar yapılmıştır. On bir parametre ile yapılan analizler daha doğru ve hassas bir kümeleme yapılabilmesini sağlamış ve TBA ve k-means metodu ile aboneler, kullanım özelliklerine göre gruplandırılmıştır. Aynı analizler iki farklı ülkeye ait mesken abone veri setleri için uygulanmıştır. İlk veri seti A.B.D' ye ait gerçek zamanlı veriler olup bu veri setinde kümeleme çalışmaları daha başarılı sonuçlar vermiştir. İkinci veri seti olarak simülasyon ile Türkiye'ye ait mesken abone yük profili üreten bir programdan yararlanılmış ve ikinci veri setinde verilerin simülasyon ile üretilmesi sebebiyle aynı başarı görülememiştir; fakat iki farklı ülke verisi ile aynı analizler yapılarak kıyas imkanı oluşturulmuştur. Çalışmanın devamında oluşturulan her bir küme için yük profilleri çizdirilerek TTY stratejilerinin uygulanabilmesi adına zemin hazırlanmıştır. Mesken abonelerin davranış farklılıkları ortaya koyulmuş; dinamik, farklı ve etkin gruplar ortaya çıkarılmıştır. Ayrılmış olan her bir kümenin kendilerine özgü kullanım stilleri belirlenerek kullanıcı gruplarına uygun tarifeler geliştirilebilmesine olanak sağlanmıştır.

Çalışmanın devamında ise talep tarafı yönetilebilirliğini gösteren indeks belirlenmiş ve matematiksel olarak ortaya konulmuştur. Bu indeks özgün bir değer olup daha önce literatürde yer almamaktadır. Talep Tarafı Yönetilebilirlik İndeksi (TTYİ) adı verilen bu değer; ayarlanabilir yük ve kaydırılabilir yükün toplamının toplam yüke olan oranı ile bulunur. TTYİ, olasılıksal modellere göre konut tipi yük için yük modelleri ve yük profilleri oluşturabilen Centre for Renewable Energy Systems Technology (CREST) tarafından geliştirilen excel tabanlı program kullanarak farklı mevsim ve kişi sayısı durumları için elde edilen veri seti ve aynı altyapıyı kullanan Jeshar Peposhi'nin tez çalışmasından elde edilen [26], Türkiye'ye ait mesken abone verileriyle farklı mevsimlerden ve farklı kişi sayıları üzerinden hesaplanmıştır. Aynı verilerle belirlenen TTY stratejisi üzerinden maliyet analizleri yapılmış olup her bir mesken abone için faturalardaki değişim gösterilmiştir. Mesken aboneler içerisinde TTYİ değeri yüksek olan abonelerin daha fazla kâr ettiği görülmüş, TTYİ ile kâr oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

TTYİ farklı bir bakış açısıyla elektrik üretim ve dağıtım şirketlerine fayda sağlayabilecek bir bilgi sunmaktadır. TTYİ değerlerini bulmak talep tarafını yönetebilme çalışması için önemli bilgiler vermektedir, fakat elektrik üreticilerine TTYİ açısından ne ölçüde katkı sağlayacağı bilgisini tek başına verememektedir. Bu durumu örnekle açıklayacak olursak, örneğin bir mesken abonenin TTYİ değeri çok yüksek fakat düşük seviyede elektrik tüketim profili sergiliyor olması bu tüketicinin her ne kadar TTYİ değeri yüksek olsa da elektrik üreticisi ve dağıtıcısı açısından bu konutun TTY ile yönetilmesinin çok fazla ehemmiyeti yoktur. Öyle ise TTYİ değerinin yanı sıra tüketicinin elektrik tüketim değerlerinin yüksek olması da son derece önemlidir. Bir abonenin TTYİ değeri ile elektrik tüketim değerlerinin ikisinin birden biliniyor olması elektrik dağıtım şirketlerine ne ölçüde katkı sağlayacağı hakkında bilgi verecektir. Küçük bir kasaba ele alınırsa bu kasabada ki tüm konutlar, işletmeler, ticarethaneler ve varsa fabrikaların TTYİ ve elektrik tüketim değerlerinin bilinmesi ile elektrik dağıtım şirketi gerektiğinde TTY manevraları yapmak istediğinde tüm tüketicilerle muhattap olmak yerine sadece TTYİ ile elektrik tüketim değeri çarpanı yüksek tüketicilerle anlaşmalar yaparak manevralar yapabilecektir.

Ayrıca TTYİ, elektrik abonelerini kümeleme çalışmasını bir adım öteye taşıyarak her bir aboneye özgü geliştirilebilecek TTY stratejisi için yeni bir yol açmıştır. TTYİ' nin dinamik yapısı ile dinamik tarife tasarımı için kolaylık sağlayacaktır.

Bu tezde çalışmalar elektrik abonelerinin kümelenmesi üzerine yoğunluk kazanmış olup bu çalışmaları bir adım öteye taşıyabilmek için yapılabilecekler şu şekilde sıralanmıştır; kümelere özgü TTY stratejisi oluşturarak uygulanabilir ve elektrik üretim santralleri daha verimli şekilde kullanılabilir. Ayrıca dinamik kümelenme yapısı ile, her bir konutun hangi kümeye dahil olduğunun tespiti anlık olarak değişen dinamik tarife yapısı içinde fayda sağlayacaktır. Diğer bir yandan, kümelenmiş tüketicilerin, elektrik tüketim profillerinin belirlenmiş olması elektrik üretimi ve tüketimi planlamaları yapan kuruluşlar için büyük önem arz etmekte ve planlamalarını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bu çalışma ve analizlerin devamı niteliğinde farklı kümelerde yer alan kullanıcıların kümeye ait ortalama TTYİ değerleri hesaplanarak her bir küme için yönetilebilirlik durumu tespit edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Gellings C., (1985), “The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities”, Proceedings of the IEEE, 73 (10), 1468-1470.
- [2] Özay C.,(2019), “Stokastik Optimizasyon Metodu Kullanılarak Enerji Talep Yönetim Sisteminin Modellenmesi” Doktora Tezi, Ege Üniversitesi.
- [3] Rad M., Wang W.S., Jatskevich J., Schober R., Garcia A.L.(2010), “Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid”, IEEE Transactions on Smart Grid, 1 (3), 320-331.
- [4] Karunanithi K., Saravanan S., Prabakar B.R., Kannan S., Thangaraj C.(2017), “Integration of Demand and Supply Side Management strategies in Generation Expansion Planning”,Renewable and Sustainable Energy Reviews 73, 966–982.
- [5] Finn P., O’Connel M., Fitzpatrick C.(2013), “Demand side management of a domestic dishwasher: Wind energy gains, financial savings and peak-time load reduction” ,Applied Energy 101, 678–685.
- [6] Zehir M. A.,(2013) , “Akıllı Şebekelerde Termostat Kontrollü Yükler için Gelişmiş Yerel Talep Yönetim Sistemi Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [7] Wang Y., Liang H., Dinavahi V.(2018), “Two-stage stochastic demand response in smart grid considering random appliance usage patterns”, IET Generation Transmission & Distribution, 12 (18), 4163–4171.
- [8] Zhao Z., Wu L., Song G.(2014), “Convergence of Volatile Power Markets With Price-Based Demand Response”, IEEE Transactions on Power Systems, 29 (5), 2107–2118.
- [9] Kovacs A.,(2018), “On the Computational Complexity of Tariff Optimization for Demand Response Management”, IEEE Transactions on Power Systems, 33 (3), 3204–3206.
- [10] Adika O., Wang L.,(2014), “Smart charging and appliance scheduling approaches to demand side management”,Elsevier Applied Energy, 232-240.
- [11] Granell R., Axon C.J., Wallom D.C.H.(2015), “Impacts of Raw Data Temporal Resolution Using Selected Clustering Methods on Residential Electricity Load Profiles”, IEEE Transactions on Power Systems, 30 (6), 3217-3224.
- [12] Yang H., Zhang J., Qiu J., Zhang S., Lai M., Dong Z.Y.(2018), “A Practical Pricing Approach to Smart Grid Demand Response Based on Load Classification”, IEEE Transactions on Smart Grid, 9 (1), 179-189

- [13] Verdu S.V., Garcia M.O., Senabre C., Marin A.G., Franco F.J.G.(2006), “Classification, Filtering, and Identification of Electrical Customer Load Patterns Through the Use of Self-Organizing Maps”,IEEE Transactions on Power Systems, 21 (4), 1672-1682.
- [14] Li K., Ma Z., Robinson D., Ma J. (2018), “Identification of typical building daily electricity usage profiles using Gaussian mixture model-based clustering and hierarchical clustering”,Elsevier Applied Energy 331-342.
- [15] Jiang C. (2012), “A Probabilistic Bottom-up Technique for Modeling and Simulation of Residential Distributed Harmonic Sources”. Master of Science in Power Engineering and Power Electronics, University of Alberta.
- [16] Strbac G. (2008), “Demand side management: Benefits and challenges”, Energy Policy, 36 (12), 4419–4426.
- [17] Web 1,(2019), <http://www.gazbir.org.tr/uploads/page/Dunya-ve-Turkiye-Enerji-Gorunumu.pdf/> (Erişim Tarihi: 06.09.2019)
- [18] Web 2,(2019), <http://direnc.blog/elektrik-istatistikleri-mayis-2019/> (Erişim Tarihi: 10.05.2019).
- [19] Web 3,(2018), <https://www.statista.com/statistics/280704/world-power-consumption/> (Erişim Tarihi:14.11.2018).
- [20] Web 4,(2018), https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/201809/Kapasite_Projeksiyonu_2018_2022.pdf (Erişim Tarihi: 14.11.2018)
- [21] Aksakal A.,(2017), “Türkiye’deki Resmi Dairelerde Talep Tarafı Yönetimi ve Yapay Zeka Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi.
- [22] Rahman M.A., Islam R., Sharif K.F., Aziz T.(2016), “Developing Demand Side Management Program for Commercial Customers: A Case Study”, Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Ahsanullah University of Science and Technology.
- [23] Erenoğlu A.K.,(2018), “Mikroşebekelerde Talep Tarafının Esnekliğini Dikkate Alan Optimum İşletim Yaklaşımının Geliştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [24] Web 5,(2019), <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> (Erişim Tarihi: 03.07.2019)
- [25] Yilmaz S., Chambers J., Patel M.K.(2019), “Comparison of clustering approaches for domestic electricity load profile characterisation-Implications for demand side management”, Elsevier Applied Energy, 665-677.
- [26] Peposhi J.,(2018), “Gelecekteki Dağıtım Şebekeleri için Talep Modellemesi” Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

- [27] Smith L.,(2002), “A tutorial on Principal Components Analysis”,p.15.
- [28] Web 6,(2019), https://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering
(Erişim Tarihi: 05.03.2019).
- [29] Web 7,(2019), <https://openai.org/datasets/files/961/pub/>
(Erişim Tarihi: 10.12.2018).
- [30] Capasso A., Grattieri W., Lamedica R., Prudenzi A.(1994), “A bottom-up approach to residential load modeling,”, IEEE Transactions on Power Systems, 9, 957-964.
- [31] Richardson I., Thomson M., Infield D., Clifford C.(2010), “Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model,” Energy and Buildings, 42, 1878-1887.
- [32] Web 8, (2019), <http://portal.netcad.com.tr/display/Voronoi>
(Erişim Tarihi: 07.09.2019).
- [33] Karakaş H.,(2017), “Akıllı Sayaç Kullanımının Türkiye’de Konutlarda Elektrik Tüketimi ve Harcamaları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Eray OĞUZ 1990 yılında Denizli’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Denizli’de tamamlayıp, lisans eğitimini Gediz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde üçüncülük derecesi ile tamamladı. 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Halen İstanbul Gedik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.