

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE FREKANS
DENGESİ İÇİN TALEP TARAĞI YÖNETİMİ**

Behiye Sefa AKIN

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Teknolojileri Programı

Elektrik Tesisleri Bilim Dalı

AĞUSTOS 2020

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE FREKANS DENGESİ İÇİN TALEP TARAĞI YÖNETİMİ

Tez Yazarı
Behiye Sefa AKIN

Danışman
Prof. Dr. Zafer AYDOĞMUŞ

İkinci Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıda TÜR

AĞUSTOS 2020
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Teknolojileri Programı
Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Güç Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Frekans Dengesi İçin Talep Tarafı Yönetimi

Yazarı: Behiye Sefa AKIN

İlk Teslim Tarihi: 21.07.2020

Savunma Tarihi: 18.08.2020

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Prof. Dr. Zafer AYDOĞMUŞ
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Onayladım

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıda TÜR
Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Onayladım

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıda TÜR
Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Onayladım

Üye: Doç. Dr. Çetin GENÇER
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “ Güç Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Frekans Dengesi İçin Talep Tarafı Yönetimi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

18.08.2020

Behiye Sefa AKIN



ÖNSÖZ

Elektrik enerjisi, günlük hayatta insan hayatının vazgeçilmez unsurlarındandır. Günümüzde gelişen teknoloji, nüfus artışı, kısa zamanlar için ortalamanın oldukça üzerinde seyreden puant yük elektrik enerjisinde yenilikleri zorunlu kılmıştır. Bu nedenlerle sadece üretim ve hizmet sağlayıcı tarafında değil; aynı zamanda tüketim ve kullanıcılar tarafında da bazı çözümlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Talep Tarafı Yönetimi (TTY- Demand Side Management) yöntemleri olarak isimlendirilen bu çözümler, tüketicilerin kullanım profillerinin şebekenin yararlarına göre değiştirilmesiyle ilgili doğrudan veya dolaylı birçok yöntemi kapsamaktadır. Bu tez çalışmasında tüketicilerin elektrik tüketim alışkanlıkları ve cihazlarını değiştirerek daha az güç tüketmeye teşvik edilmiştir. Böylece arz-talep arasındaki denge sağlanarak frekans değerinin nominal seviyede tutulması sağlanacaktır.

Bu tez çalışmasının başarıya ulaşması için tüm bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Zafer AYDOĞMUŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıdâ TÜR 'e aynı zamanda maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Behiye Sefa AKIN
ELAZIĞ, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Talep Tarafı Yönetimi	4
1.2. Talep Yanıtı (TY).....	7
1.3. Talep Tarafı ile İlgili Literatür Özeti	8
1.4. Tezin Amacı	13
2. TALEP TARAFI YÖNETİMİ VE ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİ.....	15
2.1. Talep Tarafının Frekans Kontrolüne Katılma Yeteneği	16
2.2. Talep Tarafı Yönetim Tekniklerine Genel Bakış.....	18
2.2.1. Enerji Verimliliği.....	19
2.2.1. Talep Yanıtı.....	20
2.2.2. Stratejik Yük Artışı	21
3. TALEP TARAFI YÖNETİMİNİN GÜÇ SİSTEMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	22
3.1. Elektrik Piyasası	22
3.2. Çevre	22
3.3. Güç Sistemi Çalışması.....	23
3.3.1. Gerilim Kararlılığı.....	23
3.3.2. İletim Tıkanıklığı.....	23
3.3.3. Koruyucu Bakım	23
3.3.4. Tesis Yükseltme	23
3.3.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	24
3.3.6. Güç Sistemi Esnekliği	24
3.4. Güç Sistemi Güvenilirliği	24
3.4.1. TTY 'nin Güç Sisteminde Güvenilirliğin HL1 Değerlendirmesi Üzerine Etkisi	25
3.4.2. TTY 'nin Güç Sisteminde Güvenilirliğin HL2 Değerlendirmesi Üzerine Etkisi	26
3.4.3. TTY 'nin Güç Sistemi Dağıtım Şebekesi Üzerindeki Etkisi	29
3.5. Frekans Yönetiminde Talep Tarafı Katılımının Değeri	34
3.5.1. Yöntem.....	35
3.5.2. Stokastik Birim Taahhüt Modeli	35
3.5.3. Gelecekteki Güç Sisteminde Frekans Düzenleme Hizmetleri İçin Gereksinimler	36
3.5.4. Frekans değişim oranı (RoCoF)	37
3.5.5. Frekansın En Alt Noktası	38
3.5.6. Yarı Kararlı Durumda Frekans.....	38
3.6. Durum Çalışmaları	38
4. MATERYAL VE METOT.....	45
4.1. Talep Tarafı Yönetiminde Led Aydınlatma Kullanarak Enerji Verimliliğini Gösteren Uygulama	45

4.2. Mesken Aydınlatmasında Enerji Verimliliği	46
5. SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Güç Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Frekans Dengesi İçin Talep Tarafı Yönetimi

Behiye Sefa AKIN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Teknolojileri Programı

Ağustos 2020, Sayfa: xi+61

Elektrik enerjisi, günlük hayatta insan hayatının vazgeçilmez unsurlarındandır. Günümüzde gelişen teknoloji, nüfus artışı, kısa zamanlar için ortalamanın oldukça üzerinde seyreden puant yük elektrik enerjisinde yenilikleri zorunlu kılmıştır. Bunun yanı sıra büyük bir kısmı dışarıdan ithal edilen fosil kökenli; doğalgaz, kömür ve petrol gibi enerji kaynaklarının da azalması elektrik enerjisinin verimli kullanılmasını önemli kılmıştır. Gelişen teknolojiyle yeni ürünlerin sisteme dahil edilmesi, verimi düşük elektrikli cihazların kullanılması ve tüketici tercihlerinden dolayı elektrik enerjisine olan talepte dalgalanmalar meydana gelmektedir. Artan elektrik enerjisi talepleri ve verimi düşük elektrikli cihazların kullanımı şebekenin dengesiz yüklenmesine, düşük yük faktörünün oluşmasına ve şebekede oluşan kayıpların artmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerle sadece üretim ve hizmet sağlayıcı tarafında değil; aynı zamanda tüketim ve kullanıcılar tarafında da bazı çözümlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Talep Tarafı Yönetimi (TTY- Demand Side Management) yöntemleri olarak isimlendirilen bu çözümler, tüketicilerin kullanım profillerinin şebekenin yararlarına göre değiştirilmesiyle ilgili doğrudan veya dolaylı birçok yöntemi kapsamaktadır. Bu tez çalışmasının amacı tüketicilerin elektrik tüketim alışkanlıklarını, cihazlarını değiştirerek daha az güç tüketmeye teşvik etmek ve enerji kullanımını talep eğrisini düzleştirmek için yoğun olmayan saatlere kaydırmaktır. Böylece arz-talep arasındaki denge sağlanarak frekans değerinin nominal seviyede tutulması sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Talep Tarafı Yönetimi, Verimli Cihaz, Yük Kontrolü, Frekans Kontrolü, Enerji Verimliliği

ABSTRACT

Demand Side Management for Energy Efficiency and Frequency Balance in Power Systems

Behiye Sefa AKIN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Science Institute

Department of Electrical Electronics Engineering
Electrical Electronics Engineering Technologies Program
August 2020, Pages:xi+61

Electrical energy is one of the indispensable elements of human life in daily life. Today, developing technology, population growth has made innovations in electrical energy, which is quite above the average for short times. In addition to this, most of the fossil origin; The decrease in energy resources such as natural gas, coal and petroleum made it important to use electrical energy efficiently. Fluctuations in demand for electrical energy occur due to the inclusion of new products in the system with the developing technology, the use of electrical devices with low efficiency and consumer preferences. Increasing electrical energy demands and the use of low-efficiency electrical devices cause unbalanced load of the network, the formation of low load factor and increase in losses in the network. For these reasons, not only on the production and service provider side; At the same time, some solutions were needed for consumption and users. These solutions, which are named as Demand Side Management (DSM) methods, cover many direct or indirect methods of changing the usage profiles of consumers according to the benefits of the network. The aim of this thesis is to encourage consumers to consume less power by changing their electricity consumption habits, and to shift energy use to off-peak hours in order to flatten the demand curve. Thus, it will be ensured that the frequency value is kept at the nominal level by ensuring the balance between supply and demand.

Keywords: Demand Side Management, Efficient Device, Load Control, Frequency Control, Energy Efficiency

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Enerji ağlarının karşılaştırılması	3
Şekil 1.2. TTY temel yük şekillendirme teknikleri	5
Şekil 1.3. Arz ve elektrik talebi	6
Şekil 1.4. Alan kontrol hatası ile üretim tüketim dengesi.....	14
Şekil 2.1. Çeşitli TTY teknikleri	19
Şekil 3.1. TTY programı tarafından sağlanan faydalar	32
Şekil 3.2. Stokastik değişken için senaryo ağacı	36
Şekil 3.3. Bir acil (beklenmedik) durumdan sonra sistem frekans gelişimi (Ulusal Şebeke)	37
Şekil 3.4. Gelecekteki test sistemindeki DSR değeri.....	40
Şekil 3.5. Farklı duyarlı talep senaryoları için frekans düzenleme sağlayıcılarının bileşimi.....	41
Şekil 3.6. Mevsime karşılık gelen talebin değeri.....	42
Şekil 3.7. Günün zamanlarında duyarlı talebin değeri.....	43
Şekil 3.8. DSR tarafından frekans yanıtı ve sentetik atalet eşzamanlı sağlanması değeri	44
Şekil 4.1. Beş kişilik bir ailenin aylık elektrik tüketimi yüzdeleri.....	47
Şekil 4.2. Kullanılan tasarruflu ve LED ampul	48
Şekil 4.3. Frekans tepkisi	51

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Faturalanan tüketimin Elazığ iline ait ayrıntılı dağılımı.	18
Tablo 3.1. TTY ‘nin HL1 üzerindeki etkileri üzerine önemli çalışmaların karşılaştırılması.	25
Tablo 3.2. TTY ‘nin HL2 üzerindeki etkileri üzerine önemli çalışmaların karşılaştırılması	27
Tablo 3.3. TTY ‘nin dağıtım şebekleri üzerindeki etkileri üzerine önemli çalışmaların karşılaştırılması. ..	30
Tablo 4.1. Örnek meskene ait elektrikli ev aletleri tüketim hesaplamaları	46
Tablo 4.2. Elektrikli ev aletleri için ödenen tutar	47
Tablo 4.3. Meskende kullanılan tasarruflu ve LED ampullerin özellikleri	49
Tablo 4.4. Aydınlatma da LED ampul kullanılıncaya elektrikli ev aletleri tüketim hesaplamaları	49
Tablo 4.5. Meskendeki cihazların 1 aylık elektrik tüketimi pay değişimleri	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

D	: Yük sönümlleme oranı
H	: Sistem ataleti
P^D	: Yük seviyesi
$\Delta P_{(g,s)}$	: Jeneratör (g) veya depolama (s) üniteleri tarafından sağlanan ek güç
ΔP_L	: Üretim kaybı

Kısaltmalar

AKH	: Alan Kontrol Hatası
CCGT	: Birleşik Çevrimli Gaz Türbini Teknolojisi (Combined Cycle Gas Turbine Technology)
Coal CCS	: Karbon Yakalama ve Depolama
DGP	: Dengeleme Güç Piyasası
DSR	: Talep Tarafı Yanıtı (Demand Side Response)
EMU	: Enerji Yönetim Birimleri (Energy Management Units)
GÖP	: Gün Öncesi Piyasası
GİP	: Gün İçi Piyasası
HLs	: Hiyerarşik Seviyeler (Hierarchical Levels)
MYTM	: Milli Yük Tevzi Merkezi
OCGT	: Açık Çevrim Gaz Türbinleri (Open Cycle Gas Turbines)
PFC	: Birincil Frekans Kontrolü (Primary Frequency Control)
ROCOF	: Frekans Değişim Oranı (Rate Of Change Of Frequency)
TTY	: Talep Tarafı Yönetimi (Demand Side Management)
TY	: Talep Yanıtı
UC	: Birim Taahhüt (Unit Commitment)

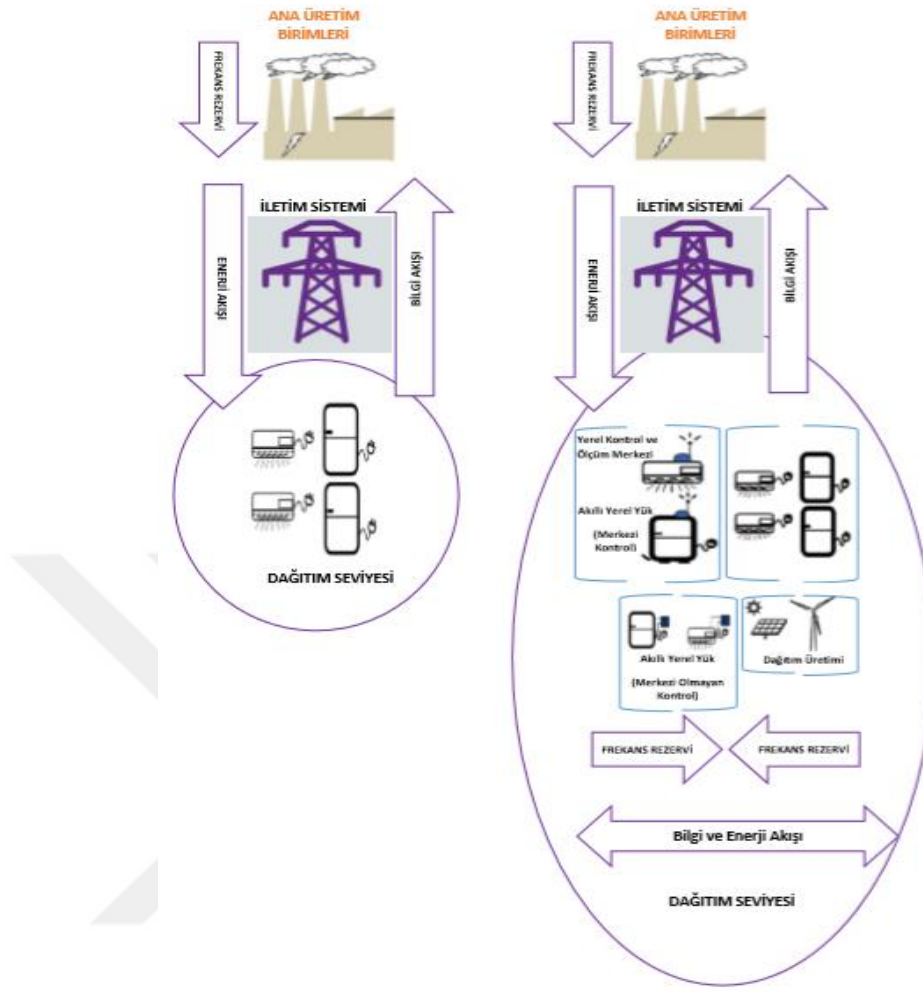
1. GİRİŞ

Bir elektrik santralinin kararlı çalışabilmesi için frekansın 50 Hz 'de sabit olması gerekmektedir. Sistemde üretilen enerji, kayıplar dahilinde tüketilen enerjiye eşit ise referans frekans değeri sabit tutulmaktadır. Ancak ani yük artışları (tüketim artışı) veya güç azalmaları frekansın düşmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, ani yük düşümleri (tüketim azalışı) veya güç artışları da frekansın yükselmesine neden olmaktadır. Belirli bir değerin altına düştüğünde veya üstüne çıktığında, sistemlerde kullanılan jeneratör ve türbinlerin minimum ya da maksimum çalışma frekanslarının dışına çıkılmaktadır. Bunun sonucunda sistemin kilitlenmesinden, çökmesine kadar birçok sorunla karşılaşılabilinmektedir [1].

Güç sistemlerinde frekans kontrolü kavramı, güç üretimi ve güç tüketimi arasındaki denge ile ilgilidir. Fazla üretilen güç, senkron jeneratörlerin dönüş hızında ivmeye ve dolayısıyla pozitif güç frekansı sapmasına yol açmaktadır. Öte yandan, elektrik talebinde bir artış veya eşdeğerde bir üretimin ani kaybı, ünite sistem frekansında bir düşüşe sebep olmaktadır. Elektrik enerjisi şebekesinin güvenliği ve güvenilirliği, sistemdeki iyi düzenlenmiş bir güç frekansı sinyaline yakından bağlı olduğundan, güç şartlarıyla baş edebilmek için yeterli miktarda rezervin dikkate alınması ve tahsis edilmesi gereklidir. Güç şebekelerinde frekans düzenlenmesinin çözümü, sisteme ek miktarda rezerv enjekte ederek sorun kaynağını (güç dengesizliğini) aşmaktır. Geleneksel olarak, enerji sistemlerinde rezerv sağlanması yalnızca üretim birimlerinin görevidir. Bu nedenle, bir beklenmedik güç durumu karşısında, senkron jeneratörler çıkış güçlerini sistemdeki frekans sapmasının büyüklüğüne ve işaretine göre değiştirir. Bu değişiklik işlemi; güç sisteminde üç farklı frekans kontrol seviyesi oluşturan, üç zamana ayrılmış aşamada gerçekleşmektedir [2,3].

Birincil frekans kontrolü (PFC), beklenmedik bir durum gerçekleştikten hemen sonra frekans bozukluklarına cevap vermek için tasarlanmış ilk düzenleme önlemidir. PFC hız sınırlayıcısı tarafından uygulanır. Yapısı gereği lokal ve merkezi olmayan yani kontrol eylemi lokal jeneratör hız ölçümlerine dayanmaktadır. PFC nadiren frekansı sınırlamada etkili olsa da orantılı davranışı nedeniyle (sarkma, düşme (droop) olarak bilinir), güç frekansı sinyalindeki sürekli durum hatasını ortadan kaldıramaz [4]. Bu nedenle, sürekli durum hatasını ortadan kaldırmak ve sistemi beklenmedik durum öncesi haline geri getirmek için ikincil bir frekans düzenlemesi gereklidir. PFC 'den birkaç dakika sonra gerçekleşen ikincil kontrol seviyesi, yük frekansı kontrol hiyerarşisindeki daha yüksek bir kontrol varlığı tarafından otomatik veya manuel olarak uygulanan merkezi bir kontrol algoritmasıdır. Bu frekans kontrol seviyesi için çeşitli tasarım süreçleri sunulmaktadır [5]. Yük-frekans kontrolünün üçüncü seviyesi ise üretim birimleri arasında yükün ekonomik ve uzun süreli yeniden dağıtılmasını amaçlamaktadır.

Büyük senkron jeneratörler tarafından sağlanan üç kontrol seviyesi, geleneksel enerji şebekelerinde yeterli bir verimlilikle sistem frekansını yeterince düzenleyebilmektedir. Ancak gelecekteki güç sistemlerinde bunun doğru olmayacağı düşünülmektedir. Mevcut güç sistemleri genellikle gerekli elektrik gücünün büyük bir kısmını üretme görevini üstlenen senkron makinelerle sahip büyük termal ünitelerden oluşmaktadır. Üretilen güç daha sonra uzun mesafelerde iletilip, tüketicilere götürülmektedir. Bununla birlikte, enerji şebekelerinin bu tipik resmi, son yıllarda temelinden hızlı bir şekilde değiştirilmiştir. Rüzgar enerjisi jeneratörleri ve fotovoltaik teknolojisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının artan nüfuzu, modern elektronik iletişim cihazlarıyla birlikte, modern enerji şebekelerinin yapısında bir dönüm noktası oluşturmuştur (Şekil 1.1). Çevresel kaygılar ele alınarak, yenilenebilir kaynakların geniş bir şekilde kullanılması, büyük bir enerji deposu olarak fosil yakıtlara daha az bağımlılığa yol açmıştır. Diğer yandan, modern veri işleme tekniklerinin bir güç sisteminde kullanılması, yeni bir kontrol edilebilirlik düzeyi ve daha karmaşık bir enerji yönetimi araçlarını oluşturmaktadır. Buna bağlı olarak birbirine bağlanmış dağınık yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturmuş olduğu bir grubun temel şebekeye entegre edilerek senkronize bir şekilde çalışabilmesini sağlayan mikroşebeke adlı sistemler geliştirilmiştir.



Şekil 1.1. Enerji ağlarının karşılaştırılması [6].

Bir mikroşebeke, küçük ölçekli elektrik enerjisi kaynakları (dağıtılmış üretim birimleri) ve yakından birbirine bağlı yükler kümesi olarak düşünülebilir. Bir mikroşebeke, kontrol ve yönetiminin karmaşıklığına neden olan adalı modda (ulusal şebekeden kopuk) karalı bir şekilde çalışabilmelidir. Geleneksel sistemlerin aksine bir mikroşebekede, üretim ve talep tarafları ortak yollarla bağlantılıdır. Böylece, her iki tarafta herhangi bir bozukluk (stokastik güç çıkışı, tüketim düzenindeki ani değişiklikler), doğrudan diğer tarafı etkilemektedir. Bundan dolayı, mikroşebekelerin stabilizasyonu ve yönetimi kritiktir.

Gelecekteki güç sistemlerinde frekans kontrolü ciddi bir zorluk oluşturacaktır. Yenilenebilir kaynakların artan miktarı ve buna bağlı olarak güç sisteminde senkron makine istihdamının düşen yüzdesi sistemde dönme ataletinin azalmasına yol açmaktadır. Dönen jeneratör kütlelerinin doğrudan bir sonucu olan bu dönme ataleti, sistemdeki bir elektriksel durumun ortaya çıkmasından hemen sonra frekans değişim oranını (ROCOF) kısıtlamak için çok önemli bir faktördür [7]. Bu nedenle, büyük kapasiteye sahip güç sistemlerdeki rezervler, büyük

bir dengesizlik sonrasında çökmeyi önleme konusunda önemli bir role sahiptir. Öte yandan, termal ünitelerin düşük nüfuzuna sahip daha küçük sistemler (mikro şebekeler gibi) olasılıklara daha duyarlıdır. Birçok küçük ölçekli dağıtık üretim sistemleri (fotovoltaikler gibi) sistem üretimine katkıda bulunabilecek bir dönme kütlesi olmadığından ve dönme kütlelerine sahip olmasına rağmen diğer jeneratörler, güç elektronik dönüştürücüler aracılığıyla güç sistemlerinden tamamen ayrılmaktadır. Bu nedenle, sistem ataletini etkili bir şekilde arttırmakta başarısız olmaktadır. Böylece frekans sapmalarının daha yüksek büyüklükleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük nüfuzuna sahip gelecekteki güç sistemlerinde tahmin edilebilir. Bu yaklaşan güvenlik tehlikesi, güç sistemlerinde frekans rezerv kontrol mantığını gözden geçirmek için bilimsel çalışmalara teşvik etmiştir.

Mikroşebekelerde ve gelecekteki enerji şebekelerinde frekans rezerv kontrol üç ana gruba ayrılmıştır. Yenilenebilir kaynakların frekans kontrolüne katkısı (rüzgar jeneratörleri ve elektrikli araçlar gibi) [8-10], enerji depolama sistemlerinin frekans kontrolüne katkısı [11,12] ve son olarak frekans kontrolüne katkı talep tarafıdır. İlk iki grup, üretim taraflarının frekans kontrolüne katkısının daha genel ve geleneksel kategorisinin her iki alt grubudur. Başka bir deyişle, her ikisi de kontrol edilebilir bir jeneratör ünitesinin (dağıtılmış bir jeneratör veya bir enerji depolama ünitesi) çıkış gücünü düzenleyerek sistemdeki güç dengesizliğini ortadan kaldırma eğilimindedir. Diğer yandan, frekans düzenlemesine talep tarafı katılımı, güç sistemlerine ve mikroşebekelere oranla yeni, gelişmemiş bir rezerv sağlama yoludur. Bu nedenle kapsamlı bir araştırmayı esas almaktadır.

1.1. Talep Tarafı Yönetimi

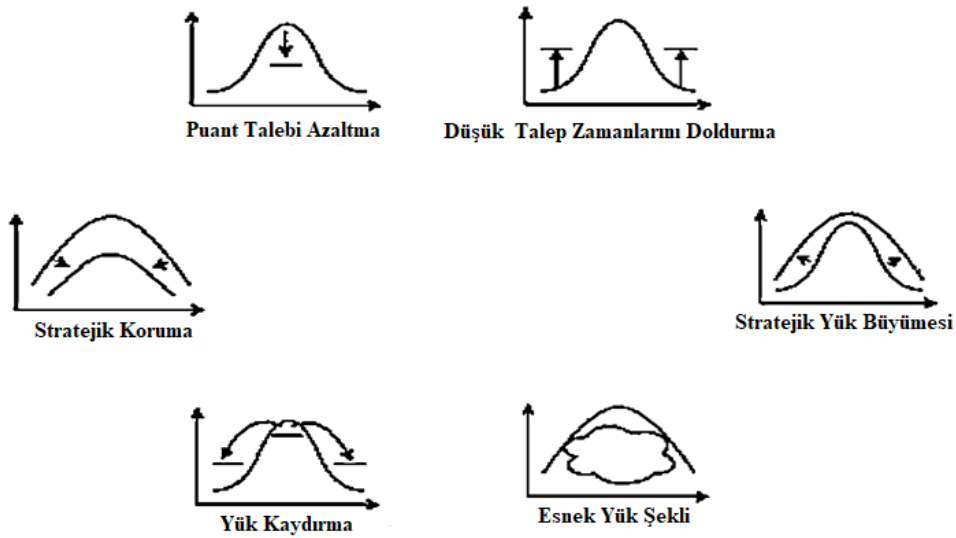
Talep Tarafı Yönetimi (TTY), müşterinin elektrik kullanımını etkilemek için tasarlanmış hizmet faaliyetlerinin planlanması, uygulanması ve izlenmesidir. Sonuç olarak, talep tarafı yönetimi için gerekli hizmet programının gerçekleşmesi, yüklenme zamanını ve büyüklüğünü değiştirir. Genellikle, talep tarafı yönetiminin asıl amacı, kullanıcıları yoğun zamanlarda daha az güç tüketmeye teşvik etmek veya enerji kullanımını talep eğrisini düzleştirmek için yoğun olmayan saatlere kaydırmaktır. Bazen eğriyi düzleştirmek yerine, üretim şeklini takip etmek daha tercih edilmektedir. Her zaman, müşterinin enerji kullanımının kontrol edilme ihtiyacı vardır [13].

Elektrik şebekesinin güvenilir çalışması öncelikle her bir zamanda kaynak ve yük arasındaki ideal dengeye bağlıdır [14]. Talep tarafında çok az kontrol olduğunu varsayarak dengeyi korumak kolay bir iş değildir. Dağıtılmış enerji üretimi arttıkça daha da zorlaşmaktadır. Yenilenebilir üretim; hava koşullarına göre değişir ve belirli bir yük şeklini takip etmek için yenilenebilir çıkışı ayarlamak genellikle kolay değildir [15]. Sistem, tepe noktaları boyunca fosil yakıtlara bağlı kalmaya devam edebilir ancak üretimdeki değişkenlik nedeniyle tesisatlar, toplam elektrik maliyetini önemli ölçüde artıracak olan daha büyük kaynak toleranslarını tutmaya

zorlanacaktır. Dengeyi sürdürmenin alternatifi özellikle kullanıcının katılımına dayanan yeni yöntemler ve teknolojiler kullanmaktır. Özetle; klasik yaklaşım ne zaman olursa olsun, istenen tüm talebi sağlamaktadır. Ancak yeni strateji talebin sistemin mevcut durumuna cevap vermek için kullanıcıları da dahil ederek kontrol edilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Talep yanıtı (TY), gelecekteki elektrik dengeleme hareketinde önemli bir rol oynayacaktır. TY tekniklerinin temel amacı, puant yükün azaltılması ve tüketimin üretime göre kontrol edilebilmesidir [16].

TTY 'nin sistem varlıklarının verimliliğini ve kullanımını artırmaya katkıda bulunmak için önemli bir alanı vardır. TTY 1980 'lerin başından beri göz önünde bulundurulmuştur. Kırpıcı, yük değiştirme, stratejik koruma, stratejik yük artışı ve esnek yük şekli gibi farklı yük şekillendirme hedeflerini gerçekleştirmek için bir araç olarak kullanılabilir [17] (Şekil 1.2). Bahsedilen tekniklerin kombinasyonu, elektrik enerjisi üretimini mümkün olduğu kadar yakın takip etmesi için yük şekline olanak vermektedir. Mevcut güç üretim yöntemlerini (çoğunlukla fosil yakıtı) kullanarak mevcut talebi karşılamak için gereken varlık miktarını azaltabilir ve yük faktörünü önemli ölçüde artırabilir [15].

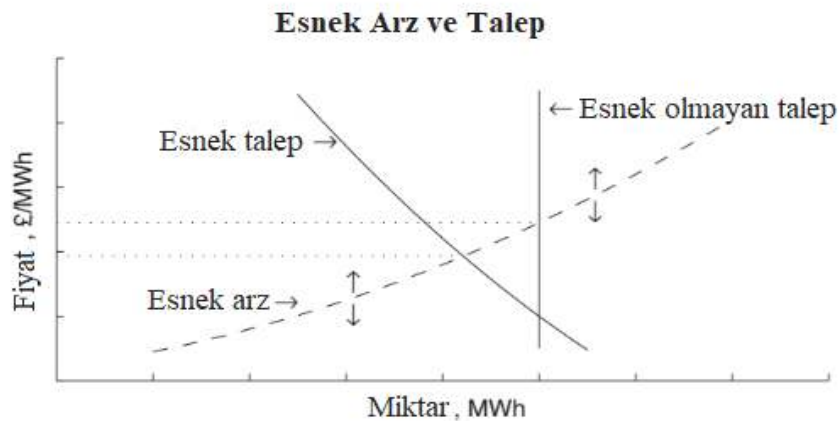


Şekil 1.2. TTY temel yük şekillendirme teknikleri [13].

Kaynakların kullanımı elektrik fiyatı üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Puant taleplerini karşılamak için elektrik enerjisi üretimi, iletim ve dağıtım kaynaklarının inşa edilmesi gerekir, bu nedenle pikler elektrik fiyatının en büyük kısmına katkıda bulunmaktadır [15].

Enerji sektörü, karbon alanı için büyük bir katılımcıdır. Özellikle, elektrik sisteminin fosil yakıtlı elektrik santrallerinden kaynaklanan kirliliği azaltmada önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Düşük karbonlu yenilenebilir enerji üretiminin yaygınlaşması başlamış ve gelecekte artması beklenmektedir. Gösterilen yenilenebilir kaynaklarının doğasında var olan değişkenlik, TTY 'nin devreye girebileceği tedarik talebini eşleştirerek yönetilebilir.

Dağıtım sisteminin modernizasyonu için bir başka itici güç, müşterileri gerçek zamanlı elektrik fiyatı ile şarj edebilmektir. Elektriğin şu anki satılma şekli modern pazar ilkelerine uymamaktadır [18]. Ürün miktarı düşük olduğu zaman fiyatlar artar, bu durumda tedarikçiler daha fazla ürün satmak ister, fakat tüketiciler tüketimini azaltır. Elektriğin çok kısa vadeli bir hammadde olması ve ekonomik olarak depolanmaması nedeniyle üretildiği anda tüketilmesi gerekir. Piyasalar, talep edilen saatlik ve günlük dalgalanmalardan dolayı fazlalıktan azlığa, kapasite dalgalanmaları olarak sürekli kısa vadeli değişimler yaşamaktadır. Sabit elektrik tarifesi çok eskidir ve müşteriler arasında çapraz destek sağlamaktadır [19]. Şekil 1.3, fiyat temelli teşviklerin ve artan yenilenebilir değişim fiyat esnekliğinin sayısının nasıl olduğunu göstermektedir. Dikey talep eğrisi, müşterilerin elektriğin gerçek zamanlı piyasa fiyatına tepki verememesini temsil etmektedir. Gerçek zamanlı fiyatlandırma uygulandığında, fiyat sabit fiyat tarifesine göre talep tarafında esnekleşir. Öte yandan, yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısının artması da kaynak yani tedarik eğrisini yeniden şekillendirecektir. Yenilenebilir enerjinin az olduğu zamanlarda, aynı miktarda enerjinin fiyatı artar ve eğri yükselir. Bunun nedeni rüzgar veya güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerjinin işletme maliyetlerinin çok düşük olmasıdır. Sonuç olarak, talep cevap teknikleri müşterilerin hem tasarruf sağlamaya hem de daha çevre dostu olmaya katılmasını sağlar [13].



Şekil 1.3. Arz ve elektrik talebi [13].

1.2. Talep Yanıtı (TY)

Talep yanıtı, son kullanımlı müşterileri normal elektrik kullanım alışkanlıklarını değiştirerek fiyat veya elektriğin kullanılabilirliğindeki değişikliklere yanıt olarak motive etmek için belirli bir tarife veya programdır. Şebeke güvenilirliği tehlikeye girdiğinde elektrik kullanımını azaltmak için teşvik ödeme programı olarak da tanımlanabilir (ABD Enerji Bakanlığı, 2006) [20].

Bir müşterinin yanıt olarak alabileceği üç eylem vardır. Müşteriler, yükü yalnızca kritik puant süre (peak time) boyunca azaltabilir ve puant olmayan (off-peak time) süre boyunca normal yük şeklini koruyabilir. Bu belirli zamanlarda elektrik kullanımını kısıtlamak zorunda kaldıkları için müşterilerin konforunda bir azalmaya neden olurp genel tüketimi azaltır. Böylece elektrik faturasını daha da azaltır. Yüksek elektrik fiyatlarına veya düşük kullanılabilirliğe cevap vermek için alınabilecek ikinci eylem, elektrik kullanımını en yüksek noktadan en düşük zamana (peak to off-peak time) kadar dengelemektir. Bu yöntem, hem puant yükünü (peak load) azaltarak hem de düşük tüketim vadilerini doldurarak yük şeklini düzleştirecektir. Son kullanıcılar tarafından kullanılan ortalama enerji miktarını azaltmaz ancak sistem daha kararlı modda çalıştığı için iletim ve dağıtım verimliliğini artırır. Son olarak, müşteriler tesisin gördüğü talebi azaltmak için saha üretimini kullanabilirler. Bu kullanıcı özerkliğini artıracak, üretimi merkezden uzaklaştırarak dağıtım ve iletim şebekeleri üzerindeki ortalama yükü azaltacaktır [13].

Yük şekillendirmeyi gerçekleştirmek için ertelenebilir yük cihazlarına ihtiyaç vardır. Ramchurn, Vytelingum, Rogers ve Jennings (2011) [21], tüm konut yüklerini dört gruba ayırmayı önermektedir: ıslak, soğuk, su ısıtma ve alan ısıtma. Bu kategorideki cihazlar çok farklı davranırlar. Bu dört cihaz tipi, termal yükler ve kaydırılabilir statik yükler (SSL- Shiftable Static Loads) olarak kategorize edilebilir. Örneğin ıslak tipler SSL olarak sınıflandırılmalıdır. Çünkü genellikle belirli bir süre boyunca çalışırlar ve belirli bir miktarda enerji tüketirler. Oysa termal yükler kullanım ve çevre sıcaklıkları gibi dış faktörlere daha bağımlıdır.

Kullanıcıların hızlı bir şekilde yanıt vermesi için donanım uygulaması gereklidir. Enerji Yönetim Birimleri (EMU- Energy Management Units), tüketimi koordine etmek için tüm konut akıllı cihazlarıyla iletişim kurabilir. Yardımcı programdan son kullanıcıya iletişim, çeşitli bilgi türlerini içerebilir. Müşteri ile yardımcı program arasında pasif, aktif, etkileşimli ve transaktif olarak kurulabilecek dört kontrol stratejisi vardır (Charles River Associates, 2005; Fuller, Schneider, & Chassin, 2011; Global Smart Energy, 2008).

Bu görevleri yerine getirmek için pek çok farklı TTY ve TY metodu Strbac (2008) ve Albadi ve El-Saadany (2007) anlatmaktadır. Bu yöntemler iki ana gruba ayrılabilir: teşvik tabanlı programlar ve fiyat tabanlı programlar. Teşvik temelli programlar ayrıca klasik veya pazar temelli olarak sınıflandırılabilir. Klasik teşvik tabanlı programı kullanarak son kullanıcı, belirli cihazların kontrolünü bırakmayı veya toplam elektrik kullanımını sınırlayarak (yük sınırlayıcı veya

kesintiye uğratan program) tepki vermeyi kabul ederek yük şekillendirmede yer alır. Katılmayı kabul eden ancak yanıt vermeyen kullanıcılar, program hüküm ve koşullarına göre cezalarla karşı karşıya kalacaklardır. Piyasa tabanlı programlar, kullanıcıların yük indirimlerini ve geri alım elektriğini teklif edebilecekleri, acil TY 'na katılabilecekleri çeşitli teşvik tabanlı yük azaltma programlarında kullanıcılara izin verecektir. (ABD Enerji Bakanlığı, 2006). Fiyat temelli programlar, gerçek zamanlı olarak elektriğin fiyat ve kullanılabilirliğini yansıtacak dinamik elektrik fiyatlandırma oranları kullanılarak çalışacaktır. Fiyat temelli programlarının en basit şekli kullanım süresidir. En yüksek ve en düşük oranlardan oluşur (Gellings & Chamberlin, 1988) [22]. Zaten mümkün olan en az teknolojiye ihtiyaç duyduğu için uygulanmaktadır. Kullanım süresine ek olarak aşırı durumlar sırasında tepe noktalarını kırmak için aşırı fiyatlandırma kullanılabilir. En karmaşık (hem donanım hem de ICT) yöntemi gerçek zamanlı fiyatlandırma (Real Time Pricing-RTP). Son kullanım yükünü şekillendirmek için fiyatı gerçek zamanlı olarak kontrol eder. TY programlarının uygulanması ve deneysel sonuçları hakkındaki bilgiler Charles River Associates (2005) 'te bulunabilir [23]. Gerçek zamanlı fiyatlandırma en umut verici TY tekniğidir. Standart ekonomik kuralları takip eder. Diğer teşvik tabanlı programlara karşı, kullanıcıların tüketimini doğrudan sınırlamaz. Böylece kullanıcılar her zaman yük şekillerini seçerler. Gerçek zamanlı fiyatlandırmalar, teşvik temelli programlara karşı vaat eden müşterilere yardımcı taraftan herhangi bir müdahale içermediğinden, büyük politika sorunları gündeme getirmez.

Talep tepkisi hem teknik hem de politika açısından zordur. TTY tekniklerinin çoğu, fiyat sinyalleri, teklif verileri vb. iletmek için kullanıcılar ve yardımcı programlar arasında iki yönlü iletişim kurmak için güvenilir, yüksek bant genişliği bağlantısı gerektirir. Ayrıca TY, donanım açısından yoğundur. Katılan kullanıcılar, insan etkileşimi olmadan zamanında cevap verebilmek için mesken enerji yönetim birimleri ve akıllı cihazlar kurmalıdır. TTY ve TY hem kullanıcılara hem de yardımcı programlara fayda sağlayacak ve genel sistemi daha güvenli hale getirecek ve sosyal refahı en üst düzeye çıkaracaktır.

1.3. Talep Tarafı ile İlgili Literatür Özeti

Talep Tarafı Yönetimi teşvikler veya eğitim yoluyla tüketici talebinin değiştirilmesidir. TTY, elektrik firmaları tarafından doğrudan veya dolaylı olarak tüketici üzerindeki elektrik talebini etkilemesi için amaçlanan, planlanan ve uygulanan bir süreçtir. Enerji sektörüne göre, artan elektrik talebi için elektrik üretimini arttırmak yerine elektrik talebini azaltmanın daha uygun maliyetli olması TTY ile mümkün olmaktadır. Elektrik firmaları için elektrik talebini azaltmak amacıyla tedbirler almak her ne kadar satışı azalttığı için uygun görünmese de puant periyotlarda işletimsel ve ekonomik yarar sağlamaktadır [24].

TTY, tüketicinin elektrik talebini değiştirme amacı ile elektrik firmaları tarafından uygulanan teşvikler, indirimler, müşteriye özel programlar gibi birtakım eylemleri ele alır. Bu eylemler elektrik tüketiminin en yoğun olduğu zamanlarda talebi azaltmak veya puant olmayan zamanlara kaydırmak olabilir. Tüketici faturalarının ve hizmet maliyetlerinin en aza indirgenmesi için arz-talep dengesi sağlanmalıdır. TTY, müşterilerin elektriği daha verimli kullanabilmeleri için yapılan uygulamaların tamamıdır.

Talep Tarafı Yönetimi uygulamalarının genel amacı talebi azaltmak, puant zamanlarda yükleri kesmek veya ötelemek ve enerji verimliliğini arttırmaktır. Bununla birlikte yük faktörü iyileşme sağlayacaktır. Yük faktörünün yüksek olması elektriğin verimli kullanıldığı göstermektedir. Elektrik enerjisinde verimliliğin artması ile yük faktörü artacaktır. TTY uygulamaları yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil edilmesi gibi seçenekleri de içermektedir. Etkili bir TTY programı hem enerji verimliliğini hem de teşvik tabanlı talebin ötelenmesini birlikte sağlayarak uygulanabilir. Gelecekteki temiz enerji ihtiyacı için de rüzgar ve güneş enerjisinin uygulamalara eklenmesi gerekmektedir.

Elektrik, ağırlıklı olarak mesken, sanayi, ticarethane ve tarımsal sulamada tüketilmektedir. Elektrik firmaları, ilk yatırımları yaparak ve ek teşvikleri vererek tüketicilere yeni fikirleri benimseyebilsinler ve bunlara uyum sağlayabilsinler diye TTY 'i uygulamaya çalışmışlardır. Enerji verimliliği ihtiyacı 1973 ve 1979 petrol krizi sırasında fazlaca hissedilmiştir. Kriz sebebiyle petrol fiyatlarının artması üretim maliyetlerinin de artmasına neden olmuştur. Bu nedenle ek yollar denenmeye çalışılmıştır. ABD 'de enerji verimliliği programları denenmiş ve 1974 'te Kaliforniya 'dan başlanarak, kullanılan elektrikli cihazların ne kadarlık kWh harcayacağı gibi standartlar devlet tarafından belirlenmiştir. Devlet tarafından uygulanan bazı programlar için çıkan sonuçlar oldukça ümit verici olmuştur ve TTY yatırımlarını haklı kılmışlardır [25].

Yapı yönetmeliği de devletin politik kararlarıyla birlikte enerji verimliliği adıyla ABD 'de kurulmuştur [26]. Enerji verimliliği programları gereksiz yere tüketilen enerjiyi minimum seviyeye indirmek için tasarlanmıştır. Enerji dostu cihazların kullanılmasıyla da verimliliğin artması amaçlanmıştır. Bakımı iyi yapılmış bina duvarları, pencereler ve yeterli gün ışığı sayesinde aydınlatmadan maksimum derece de fayda sağlanarak evde kullanılan aydınlatma yükleri azaltılabilir. Verimli elektrikli cihazların kullanılması enerji verimliliğini arttıracaktır. Benzer şekilde ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanımı da duvarlara, tavanlara ve çatıya bağlı olarak değişecektir. Aynı ışıık renginde LED ampullerin diğer ampuller yerine kullanılmasıyla da enerji verimliliği artacaktır [27].

1994 'te İngiltere 'de Elektrik Düzenleme Kurulu Enerji Verimliliği Standartları olarak bilinen bir girişim başlatmışlardır. Bu girişim adı altında Elektrik Düzenleme Kurulu, elektrik tedarikçilerinin her tüketicie evlerindeki enerji tasarrufu tedbirleri için 1 Sterlin ödeme yapmaları istemiştir. Sonra tedarikçiler tarafından enerji tasarruf hedefleri belirlenmiştir. Bu

program 1995 yılında İskoçya 'ya ve 1997 yılında da Kuzey İrlanda 'ya kadar genişletilmiştir. Bu program, 2000 yılında Düzenleme Kurulu tarafından Birleşik Krallık 'taki tüm elektrik ve gaz tedarikçilerinin en az elli bin tüketiciye ulaştırılacak şekilde genişletilmiştir [28]. Sonuçlar, TTY 'nin ekonomik getiriler düşünülerek tasarlanması durumunda başarılı olabileceğini göstermektedir. Bu programlar aynı zamanda yüklerin kaydırılmasını ve ötelenmesini de içermektedir [29].

Yük değişiminin amacı puant zamanlarda yükün azaltılması veya puant olmayan zamanlarda yüklerin arttırılmasıdır. Yük yönetimi, puant zamanlarda önemlidir çünkü talebi karşılamak için ilave kapasiteye ihtiyaç duyulabilir. Tüketicilere maliyet açısından daha uygun ve güvenilir bir güç kaynağı sağlamak için ve de şebekenin rahatlaması için puant yüklerin azaltılması önemlidir. Düşük talep zamanlarını doldurma yani puant olmayan zamanlarda yükün oluşturulması sayesinde yük faktörü bire daha yakın hale getirilebilir.

1979 yılında Kaliforniya 'da Sacramento elektrik şebekesinde meydana gelen puant yükler en çok yaz aylarında meydana gelmekteydi. TTY sayesinde yazın öğleden sonraki zaman diliminde, merkezi klimaların uzaktan kapatılması; yük azaltımını ve yük değişimini sağlamıştır. Daha sonra meskenlerde yaşayan tüketiciler “Peak Corps” programına kaydolmuşlardır. Bu programa göre Sacramento Elektrik Şirketi tarafından belirlenen zamanlara göre tüketicilerin merkezi klimaları, çevrimiçi radyo sinyalleri gönderilerek puant zamanlara göre kapatılıp açılmaya başlanmıştır. Uzaktan açıp kapamaya yarayan cihaz Sacramento Elektrik Şirketi tarafından müşteriye ücretsiz olarak kurulmuş ve cihazların bakımları herhangi bir ücret alınmadan yapılmıştır. Peak Corps programına kaydolun tüketicilere ise Haziran, Eylül elektrik faturalarında indirimler yapılmıştır. Peak Corps programı günümüzde halen çalışmaktadır [30].

İlk kez 2012 Ağustos ayında İngiltere Enerji ve İklim Değişikliği Bölümü 'ne sunulan Sınır Ekonomisi ve Sürdürülebilirlik Raporunda, dünyanın birçok ülkesinde çeşitli yük kaydırma veya yük değişimi programlarının olduğu ve tüketicilerin ekonomik taleplere karşılık yük kaydırma veya yük değişimi yaptıkları yer almıştır [31].

Florida 'daki Gulf Power Şirketi tarafından uygulanan “Good Cents Select” programı yakın zamanda geliştirilen ve kısa vadeli talep tepkisini kullanan Talep Tarafı Programına bir örnektir. Gulf Power Şirketi, meskenlerde yaşayan müşterilerinin enerji yönetim sisteminin ve iletişim ağ geçidinin kurulmasını ödemektedir. Müşteriler elektrik fiyatları belli seviyelere ulaştığında seçilen cihazları otomatik olarak kapatmak veya kapatmak için enerji yönetim sistemini programlayabilmektedirler. Ağ geçidi ise sistem bileşenleri arasındaki iletişimi kolaylaştırmakta, enerji kullanımını kaydetmekte ve bu bilgileri Gulf Power Şirketi 'ne göndermektedir [32].

Talebi yönetmek için birçok çeşitli etkili araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır. Yük azaltma veya yük öteleme, elektrik şirketleri tarafından gerçekleştirilmelidir. Talep Tarafı

Yönetimi programlarının başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için o bölgedeki arz ve talep eğrisi ile ilgili doğru bir verinin mevcut olması gerekmektedir [33].

Bazı tüketiciler elektrik kesintisine karşı acil durum talebini karşılamak için acil durum generatörlerini kurabilir. Ayrıca tüketiciler rüzgar ve güneş enerjisinden üretilen elektriği sistemlerine entegre edebilirler. Ticari veya endüstriyel elektrik kullanıcıları toptan elektrik piyasasında yüksek gerçek zamanlı fiyatlara tepki olarak kendi elektrik üretim tesislerini işletirlerse veya elektrik tüketimlerini azaltırlarsa teşvik ödemeleri alabilirler [34].

Talep Tarafı Yönetimi programlarına ilgi duyulan en önemli sektörlerden biri de çeşitli elektrikli ev aletlerinin kullanıldığı mesken sektörüdür. TTY, enerji verimliliği ve yük değiştirme önlemleri ile son kullanıcıdan veya tüketiciden gelen elektrik yüklerini azaltmayı amaçlamaktadır. 2012 yılında yapılmış olan çalışma, bulaşık makinesindeki yük değişiminin, rüzgar enerjisini sisteme entegre etmek için başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir [35]. TTY programlarında yapılan çalışmalar genelde meskenlerdeki veya ticarethanelerdeki soğutma taleplerini değiştirmeye yöneliktir [36-37].

Devlet teşviklerinden, ödeneklerden müşteriye özel indirim ve özel programlardan başarıyla uygulanmış bir TTY programı; elektrik şirketlerinin sağlaması gereken elektrik miktarını azaltılarak yeni üretim kaynaklarına olan gereksinim azaltılmış olacaktır [38]. Elektrik talebindeki azalma ise sera gazı emisyonlarının azalmasını sağlayacaktır. Ekonomik açıdan büyümenin avantajı ise yeni üretilecek olan cihazlara verimlilik katmanının mevcut ekipmanların geliştirilmesinden daha ekonomik olmasıdır. Enerji verimliliği açısından bu fırsatı kaybetmenin gelecekte ciddi finansal, çevresel ve sosyal sonuçlar doğuracağı kesindir [39].

Loganthiran, Srinivasan ve Shun (2012), sezgisel optimizasyona dayalı yük değişimi için talep tarafı yönetimi stratejisini sunmaktadır. Önerilen optimizasyon algoritması, nihai yük eğrisini istenen yük eğrisine mümkün olduğunca yakın şekillendirmeyi amaçlamaktadır. Bu stratejinin kısıtlanması, kullanıcıların farklı bir zamanda kullanmak istedikleri, sistemdeki değiştirilebilir yüklerin sayısına uygundur. Kullanıcı bakış açısından, bu ani bir konfor kaybı anlamına gelir. Denklem 1.1 'de formüle edilen minimizasyon tekniği istenilen hedefe ulaşmak için kullanılır.

$$\text{Minimise } \sum_{t=1}^N (P_{load}(t) - Objective(t))^2 \quad (1.1)$$

Denklem 1.1 'de Objective (t) ve $P_{load}(t)$ sırasıyla istenen yük ve gerçek yük eğrileridir.

Doğrusal ve dinamik programlama çok sayıda kontrol edilebilir cihazı yönetemediğinden sezgisel bir evrimsel algoritma kullanılır [40]. Evrimsel algoritma, Denklem 1.2 'deki gibi hesaplanan ertesi gün için en iyi uygunluğu sağlar.

$$\text{Uygunluk} = \frac{1}{1 + \sum_{t=1}^{24} (P_{load}(t) - Objective(t))^2} \quad (1.2)$$

Bu stratejinin sonuçları olumludur ve %5-%10 işletme maliyet azalması ve %14,2-18,3 tepe talep azalması göstermektedir.

Benzer TTY tekniği Ramchurn ve arkadaşları tarafından önerilmektedir (2011). Merkezi olmayan Talep Tarafı Yönetimi mekanizması için, temsilcilerin birbirinden bağımsız bir şekilde koordine etmelerini sağlayan yeni bir model açıklamaktadır. Temsilciler, yüklerin ertelenmesini yardımcı program tarafından gönderilen fiyatlara göre uyarlayarak yükü kontrol eder. Temsilcinin amacı, kullanıcı tarafından ödenen maliyeti en aza indirecek şekilde ısıtmayı optimize etmektir. Düzleştirilmiş yük şeklinin aksine tepe noktalarının kaymasına neden olabilir. Bu sorunun üstesinden gelmek için temsilciler, termal yüklerini herhangi bir günde küçük bir olasılıkla optimize eder yani temsilcilerin sadece küçük bir kısmı aynı anda yük eğrisini yeniden hesaplar. Toplam yük eğrisinin optimal yük faktörüne yaklaşmasını sağlar. Bu teknik, yerli tüketicilerin yük profillerinin tepe değerlerini %17 azaltır. Böylece karbon emisyonlarını %6 'ya kadar azaltarak çok yüksek sonuçlara ulaşmayı başarır [13].

Cheng (2012), kontrol prensiplerini, özellikle temsilci tabanlı kontrol ve olay tabanlı kontrolün tanımlandığını açıklar. Temsilci tabanlı kontrol, standart ekonomi kurallarını kullanarak açık arttırma piyasadaki fiyatın yerleşmesini sağlar. Bu, tüketicilerin ve üreticilerin sorumlu tarafa erişmek için miktar ve fiyat tekliflerini göndermelerini gerektirir. Olay tabanlı kontrol ise diğer taraftan sadece akıllı sayaçlar tarafından alınan fiyata yanıt verir. Ayrıca, güç dağıtım şebekelerindeki güç akışını optimize etmek için sanal temsilcileri de tanıtmaktadır. Sadece temsilci tabanlı ve olay tabanlı kontroller dağıtım sistemi çalışma parametrelerini dikkate almaz (maksimum kapasite, optimum akış, verimlilik). Bu nedenle dağıtım sistemi işletmecisine, pazarın belirlediği fiyatı dengelemek için sanal temsilcilik üzerine hareket etme sorumluluğu verilmiştir. Güç kalitesi ve kayıp minimizasyonu ile ilgili kısıtlamalarla ilgilenir. Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin gözle görülür bir gecikmeye neden olduğunu, bu nedenle kısa vadeli dalgalanmaların ayrı ayrı ele alınması gerektiğini belirtir. Bu sorunun üstesinden gelmek için süper kapasitör depolama önerilir. Değerlendirme sonuçları, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve dalgalanan yüklerin entegrasyonu durumunda ortalama güç akışının önerilen yöntemler kullanılarak optimize edilebileceğini göstermektedir [13].

Çift müzayede elektrik piyasası Fuller ve arkadaşları (2011) tarafından tartışılmaktadır. Merkezi pazara teklif göndermek için aktif denetleyicileri kullanır. Kullanıcılardan ve üreticilerden gelen tüm teklifler alındıktan sonra fiyat temizlenir. Arz ve talep eğrileri gelecek dönem için gerçek fiyatı belirler. Denetleyiciler, son kullanıcı fiyat sinyalini aldıktan sonra değişen fiyatlara yanıt vermek için cihazların ayarlarını yapar. Fuller ve arkadaşları (2011) akıllı

şebekede analiz yapmak için gereken detay seviyesini göstermiş, fiyat sinyalleri kullanarak talep yanıtının (TY) pozitif sonuçlar verdiğini kanıtlamıştır [13].

Çift müzayede ve ısıtma, havalandırma ve klima kontrol yöntemini kullanmanın bazı dezavantajları vardır. Her şeyden önce, kullanıcılardan ve üreticilerden alınan teklifler güvenilir değildir. Yenilenebilir üreticilerin çıktılarını yüksek kesinlik ile tahmin etmeleri imkansızdır. Kullanıcı tarafında, piyasa tarafından temizlenen fiyatı bozacak sahte teklifler de olabilir. Politika yapıcılar için oldukça büyük zorluklara neden olur. Bir başka dezavantaj da yüksek iletişim gerekliliğidir. Kullanıcının bir dizi fiyat-tutar teklifi göndermek istediği durumlar olabilir. İletişim teknolojilerinin artan miktarda veriyi iletmesi ve sistemin genel karmaşıklığını büyük ölçüde artırması zor olacaktır. Son olarak, yüksek fiyat sinyalinden sonra enerji kullanımının geri tepmesi büyük bir sorundur. Daha da büyük zirvelere (peaks/puant) yol açabilir, böylece başka bir güvenlik açığı sorunu yaratabilir [13].

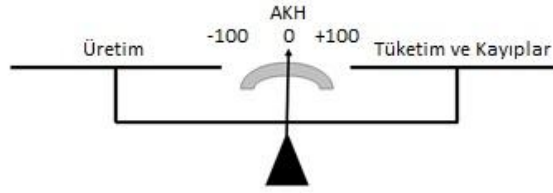
1.4. Tezin Amacı

TEİAŞ bünyesinde temel olarak iki elektrik piyasası işletilmektedir, bunlar Gün Öncesi Piyasası (GÖP) ve Dengeleme Güç Piyasası (DGP) 'dır. GÖP 'te işlemler fiziki elektrik teslimatından yirmi dört saat önce yapılmakta ve piyasa katılımcıları elektrik üretim ve tüketim planlarını bir sonraki gün için yirmi dört saat olarak sunmaktadır. Böylece Türkiye 'nin elektrik üretim ve tüketim dengesi yirmi dört saat öncesinden sağlanmaya çalışılmaktadır. DGP ise sistemde öngörülemez ve anlık olarak oluşan dengesizlikleri gidermek amacıyla yük alma ve yük atma talimatları verilerek yönetilen bir piyasadır. Gün İçi Piyasası (GİP), bu iki piyasanın yanında katılımcılara daha kısa süre içinde alış satış imkanı sunmaktadır. GİP 'te katılımcılar fiziki teslimattan iki saat öncesine kadar elektrik ticareti yapabileceklerdir. Ayrıca GÖP 'teki yirmi dört saatlik planlamanın aksine teklifler saatlik olarak verilebilecektir. Ancak GÖP (Gün Öncesi Piyasası) ile sistem üretim ve tüketim dengesini sağlamış olsa bile, tüketim ve üretim gerçekleştiği gerçek zaman dengesizlikler oluşabilmektedir. Bu dengesizliklerin temelini, üretim gerçekleştiren bir ünitenin beklenmedik bir olay veya bir arıza durumunda devre dışı olması ya da tüketim gerçekleştiren büyük ölçekli bir yükün ani devre dışı olması ve tekrar devreye girmesi oluşturmaktadır. Bu durumlar karşısında dengeleme sağlamak amacıyla Milli Yük Tevzi Merkezi (MYTM) tarafından DGP 'na iletilmiş talimatlar yönetilerek gerekli işlemler yapılmaktadır. Elektrik piyasası asıl olarak ticari faaliyet yürütmek amacıyla değil tam anlamıyla sistemin üretim ve tüketim dengesini sağlama işlevini yürütmektedir. Elektrik piyasasında ticari faaliyetlerde bulunmak oldukça risk teşkil etmektedir. Ayrıca ticari faaliyetlerin gerçekleştiği yerler GÖP ve GİP 'dir. Bu konuda önemli iki unsur bulunmaktadır. Bunlar:

- Elektrik enerjisinin üretildiği anda tüketilmesi gerekliliği.

- Alan Kontrol Hatası (AKH) değerin önerilen değerin 0 ya da olabildiğince 0 değerine yaklaşık olması gerekliliğidir.

Şekil 1.4 'de gösterildiği gibi, AKH değeri sıfırda tutmak için tüketim ve üretim dengesinin sağlanması gerekmektedir. Bu dengesizlikte, $üretim < tüketim$ durumu gerçekleşirse frekans 50 Hz değerin altına iner. İstenmeyen bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla ya tüketim azaltılır ya da üretim artırılır. Diğer istenmeyen bir durum ise, $üretim > tüketim$ durumudur, bu durum gerçekleştiğinde frekans 50 Hz değerin üstüne çıkmaktadır ve bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için de üretimin miktarını düşürmek gerekmektedir [41].



Şekil 1.4. Alan kontrol hatası ile üretim tüketim dengesi [41].

Üretim miktarını düşürmek için ya kullanıcıları yoğun zamanlarda daha az güç tüketmeye teşvik etmeli ya da tüketicilerin tüketim alışkanlıklarını değiştirerek sağlanır. Tüketim alışkanlıklarında verimli cihazlar kullanılarak değiştirilecektir. Bu tez çalışması tüketicileri verimli cihazlar kullanmaya teşvik etmektedir. Verimli elektrikli cihazların kullanılması enerji verimliliğini arttıracaktır. Çalışmamızda da belirttiğimiz gibi elektrik tüketiminde önemli bir paya sahip aydınlatmada LED ampullerin diğer ampuller yerine kullanılmasıyla enerji verimliliği arttırılmıştır. Bununla birlikte yük faktörü iyileşecektir. Yük faktörünün yüksek olması elektriğin verimli kullanıldığının kanıtıdır. Tüketim tarafında kullanılan verimli cihazlar ile değişimlere gidildikçe üretim ve tüketim arasındaki denge sağlanarak frekans değeri dengede tutulması sağlanacaktır. Aksi halde, üretim tüketimden küçük olursa frekans 50 Hz değerin altına iner. İstenmeyen bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla ya tüketim azaltılır ya da üretim artırılır. Bu çalışmada tüketim miktarını verimli cihazlar kullanarak azaltılması sağlanarak frekans değeri dengede tutulmuştur. Özetle talep tarafı yönetimi uygulamalarının asıl amacı, kullanıcıları yoğun zamanlarda daha az güç tüketmeye teşvik etmek veya enerji kullanımını talep eğrisini düzleştirmek için yoğun olmayan saatlere kaydırmak ve enerji verimliliğini arttırmaktır. Enerji verimliliğinin artması içinde yüksek verimli elektrikli cihazlar kullanılması gereklidir.

2. TALEP TARAFIGI YÖNETİMİ VE ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİ

Modern elektrik güç sistemleri, sürekli değişen güç tüketimi gereksinimlerini yeterli düzeyde güvenilir, çevre dostu ve kaliteli bir şekilde karşılamalıdır [42]. Ancak, nüfus ve endüstriyel büyümenin neden olduğu elektrik taleplerindeki artış nedeniyle bu giderek zorlaşmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı, 2030 'daki küresel elektrik talebinin, günümüzden %50 daha fazla olacağını tahmin etmektedir [43,44]. Buna ek olarak, dünya çapındaki artan elektrik talebini desteklemek için gerekli altyapı yatırımları büyük olacaktır. Çünkü eskiyen güç sistemi bileşenlerinin değiştirilmesi gerekecektir. Bu nedenle, elektrik arzını ve talebini dengelemeye yönelik olağan uygulamalar yakından incelenmelidir. Tasarruf edilen elektrik, üretilen elektrikten daha değerlidir [45]. Örneğin, hat boyunca gerçekleşen kayıplar, iletim ve dağıtım için hesaplandıktan sonra, tüketici tarafında tasarruf edilen bir birim elektrik, üretim tarafında kaydedilen bir birim elektriğin %10 daha fazla bir değerindedir.

Modern ve serbest enerji sistemlerinde, dağıtım şirketleri elektrik fiyatlarını, kârlarını en üst düzeye çıkarmak için teklif verirler. Elektrik fiyatları, gerçek zamanlı elektrik taleplerine göre dalgalanmaktadır. Özellikle, talep arttıkça elektrik fiyatları artar ve bunun tersi durumu da geçerlidir. Sürekli elektrik temini ve ticaretini sağlamak için ihtiyatlı bir güç sistemi yönetimi gereklidir. Güç sistemlerinin yönetimi, arz tarafı yönetimi ve talep tarafı yönetimi olarak sınıflandırılır. Her iki strateji de olası durumları azaltmak, şebeke yükleme kapasitesini arttırmak ve en yüksek yükleri azaltmak için kullanışlıdır.

Arz tarafı yönetimi; elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımının operasyonel verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır [46]. Arz tarafı yönetiminin faydaları şunlardır:

1. Minimum ekonomik maliyetle verimli enerji üretiminin sağlamak ve böylece tüketici önemi en üst düzeye çıkarmak.
2. Gereksiz altyapı yatırımları eklenmeden elektrik talebini karşılamak.
3. Güç sistemi varlıklarının verimli bir şekilde çalışmasıyla çevresel etkileri en aza indirmek.

Bununla birlikte, arz tarafı yönetimi termal jeneratör yönetimi stratejileri göz önüne alındığında yakıt fiyatlarının dalgalanmasından etkilenmektedir. TTY, arz tarafı yönetiminin aksine elektrik yük seviyeleri ve kullanım şekilleri ile ilgilidir. Bu nedenle dış etkenlerden etkilenmemektedir. Bu nedenle, elektrik talepleri güç sistemlerinin genişleme oranını aşan bir oranda artmaya devam ettikçe TTY, arz tarafı yönetiminden daha faydalı hale gelmektedir.

Talep yönetimi ve talep yanıtı, güç sistemi araştırma alanında yeni konulardır. Bu konular akıllı şebekeler kavramıyla yakından ilgilidir [47,48]. “Talep yanıtı” terimi, talep tarafı kontrol ve yönetim tekniklerini kullanarak enerji şebekesinin çalışma koşullarını iyileştirmeye çalışan güç sistemlerindeki program gruplarını ifade etmektedir. Modern, ucuz elektronik ve iletişim

teknolojisinin, güç sistemlerinde kullanılması daha yüksek bir kontrol edilebilirlik seviyesine olanak tanımaktadır. Yüksek kontrol edilebilirlik seviyesi, güç sistemi gereksinimlerini karşılamak için belirli yük türlerinin doğrudan veya dolaylı olarak kontrol edilmesini sağlamaktadır. Her iki yönde yani operatörden tüketicilere ve tüketicilerden operatöre bilgi akışına izin veren iki yönlü iletişim ağları aracılığıyla, enerji fiyatları gibi harici sinyallere yanıt verebilen yani tüketim seviyesini düzenleyen talep yönetim sistemlerini uygulamak mümkündür. Bu yönüyle, talep tarafındaki kuruluşların güç sistemine destekleyici hizmetler sağlamak amacıyla katılmaları ve sistemin optimum bir operasyonel moda doğru ilerlemesine yardımcı olmaları da mümkündür [49].

Güç sistemlerinde talep yanıtı beş sınıfa ayrılmıştır [50]. Bu beş sınıf aşağıdaki gibidir:

- **Enerji verimliliği hizmetleri:** Bu talep tarafı yönetim stratejileri grubu; modern, verimli cihazlar kullanarak ve tüketim faaliyetinde kesintiye uğramadan tüketilen enerji seviyesini azaltmaya odaklanır. Bu nedenle, güç sistemlerinde tüketim profilinin günün herhangi bir saatinde ayarlanması gerekir [51].
- **Fiyat yanıtı:** Fiyat yanıtı programları, fiyat duyarlı yük denetleyicileri aracılığıyla tüketim seviyelerini değiştiren yönetim stratejilerini içerir. Bu tür stratejiler yük kaymasına ve yük kısıtlamasına yol açar.
- **Tepe noktası kırpma:** Adından da anlaşılacağı gibi, tepe kırpma programları günlük tepe güç tüketimi seviyesini azaltmak ve toplam tüketim eğrisini düzleştirmek ile ilgilidir.
- **Düzenleme yanıtı:** Bu strateji grubu, bir dakikadan dakikaya kontrol esasına göre sistemde bir güç dengesi elde etmek için merkezi kontrol algoritmalarını içermektedir.
- **Döner Rezerv:** Özellikle bizim için ilgi çekici olan bu son talep yönetimi stratejileri grubu, elektrik talep tarafının güç sistemlerinin frekans düzenlemesine katılımını içerir. Bu nedenle, bu strateji grubu diğer dört stratejiye kıyasla harici sinyallere veya yerel ölçümlere en hızlı yanıt veren kontrol algoritmalarından (gerçek zamanlı talep yanıtı) oluşmaktadır [52].

2.1. Talep Tarafının Frekans Kontrolüne Katılma Yeteneği

Elektrik enerjisi şebekelerindeki güç dengesizliği, jeneratör ünitelerinin çıkış gücünü değiştirerek azaltılabilirken, tüketim modelindeki hızlı değişikliklerle de azaltılabilmektedir. Böylece, bir güç sistemindeki rezerv sağlama, elektrik yüklerinin kümelerini açıp kapatarak ele alınabilmektedir [53].

Konut gücü talebinin frekans kontrolüne katkısı ile ilgili en etkili faktör, belirli yük türlerinin enerji depolayabilme yeteneğidir. Bu özellik (enerji depolama sistemi olarak yük),

termo-elektrik konut yüklerini (alan ısıtıcıları ve buzdolapları gibi) mükemmel bir frekans rezervi kaynağıdır. Bu bağlamda, önemli termal depolama kapasiteleri nedeniyle geçici olarak fazla gücü emebilen veya daha önce depolanmış enerjilerini veren termo elektrik yükleri, bir güç kontenjanının ortaya çıkmasından hemen sonra enerji şebekesindeki güç dengesizliğini ortadan kaldırmaya yardımcı olabilmektedir. Bu şekilde, bir termostat tarafından da kontrol edilen bu tip yükler, bir güç sisteminin frekans regülasyonuna (düzenlemesine) katılabilir ve frekans sapmalarının üstesinden gelmek için ekstra rezerv sağlayabilmektedir [53].

Frekans düzenlemesinde bir mesken elektrik yükü katılımı ile ilgili ana fikir, kontrol edilebilir yükün güç frekansı sinyaline duyarlı hale getirilmesi ve sistemdeki frekans sapmalarına cevap verebilmesidir. Ancak kritik nokta, bölgesel kesintilerin aksine konut yüklerinin frekans kontrolüne katılımının, tüketicinin normal günlük faaliyetleri üzerinde en az rahatsız edici etkilere sahip olması gerektiğidir. Başka bir deyişle, frekans kontrolüne talep tarafı katkısı, güç tüketicileri tarafından fark edilmemelidir. Aksi halde, yük kontrol algoritması tüketicilerin normal günlük aktiviteleri üzerinde tatmin edici bir etkiye sahip değilse, yardımcı hizmet sunum programından çıkabilmektedirler [53].

Termo-elektrik yüklerinin toplam konut talebinin önemli bir bölümünü paylaştığını kanıtlayan olumlu istatistikler vardır. Bu nedenle, güç sisteminde uygun bir frekans rezerv kaynağıdır. Avrupa 'daki toplam talebin yaklaşık %40 'ı; %15 buzdolabı ve dondurucular, %22 elektrikli ısıtma sistemleri, %9 elektrikli depolama su ısıtıcıları ve %1 oda klimaları olan mesken kullanımlardır [53]. ABD 'deki toplam konut elektrik tüketiminin %61 'inin, termal üniteler tarafından sağlanan rezervi aşabilen rezerv sağlama amaçları için kontrol edilebileceğini belirtmektedir [53]. 2009 yılında ABD mesken konut talebi %41.5 alan ısıtma, %17.7 su ısıtma, %6.2 klima, %4.7 buzdolabı ve %29.8 diğer cihazlardan (televizyonlar, yemek pişirme aletleri, bilgisayarlar vb. dahil) oluşmaktadır [53]. Böylece, termo-elektrik yükleri, özellikle alan ısıtıcıları, ABD 'nin toplam tüketiminin önemli bir kısmıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek nüfuzuna sahip bir şebekenin bir örneği olarak, 218 MW 'lık bir frekans rezervinin, Danimarka 'daki konut yüklerinin doğru bir şekilde yönetilmesiyle temin edilebileceği tahmin edilmektedir [53]. Talep yanıt programlarını değerlendirmeyi amaçlayan bir başka çalışma, soğuk cihazların (buzdolabı ve dondurucular) Portekiz 'deki toplam yerli elektrik tüketiminin yaklaşık %32 'sini oluşturduğunu, %15 ve aydınlatma %12 ile hava ısıtma sistemlerinin ikinci ve üçüncü en yaygın kullanılan konut elektrik yükleri türleri olduğunu belirtmektedir [53].

Bu nedenle, yukarıda verilen istatistiklerle çoğu gelişmiş ülkede konut elektrik talebinin (özellikle termo-elektrik yükleri), yardımcı sistemlerin temininde umut verici olduğu açıktır. Uygulamada, frekans desteği amacıyla kontrol edilebilir yüklerin çeşitli seçkin ve başarılı istihdam durumları vardır. 2012 yılında, Birleşik Krallık 'taki toplam 1200 MW frekans rezerv

seviyesinin yaklaşık %8 'i yük yönetimi programlarından (hem yurtiçi hem de endüstriyel) tedarik edilmiştir [53].

Tablo 2.1 'de ise faturalanan tüketimin Türkiye 'de Elazığ iline ait ayrıntılı dağılımı verilmiştir. Şekilde faturalanan elektrik tüketiminin il ve tüketici türü bazında dağılımının dönemler arası karşılaştırılması (MWh-%) da verilmiştir. Tabloda yer alan negatif değerler, geçmiş dönemlere dair düzeltmelerden kaynaklanmaktadır [54].

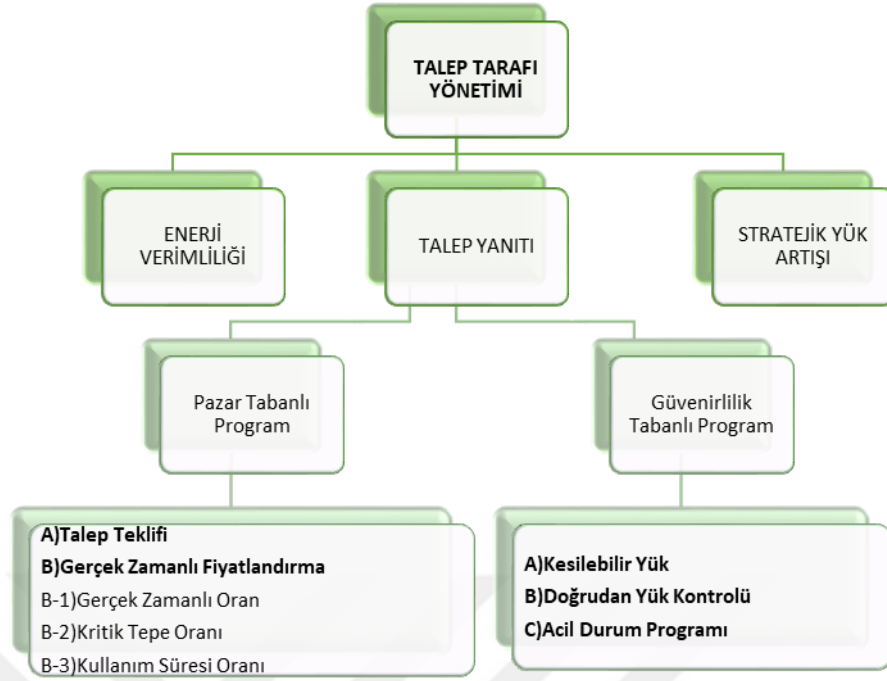
Tablo 2.1. Faturalanan tüketimin Elazığ iline ait ayrıntılı dağılımı [54].

İl Adı	Tüketici Türü	2019 Ocak		2020 Ocak		Değişim (%)
		Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	
ELAZIĞ	Aydınlatma	3.556,21	0,019	4.106,01	0,020	15,46
	Mesken	26.456,26	0,138	22.029,83	0,110	-16,73
	Sanayi	25.651,67	0,133	15.060,50	0,075	-41,29
	Tarımsal Sulama	323,01	0,002	671,10	0,003	107,76
	Ticarethane	35.035,13	0,182	35.068,20	0,175	0,09
	İl Toplam	91.022,29	0,474	76.935,65	0,384	-15,48

2.2. Talep Tarafı Yönetim Tekniklerine Genel Bakış

TTY, tüketicileri her iki taraf için de avantajlı olan prosedürleri ve uygulamaları benimsemeye teşvik etmek için elektrik şirketleri tarafından uygulanan bir girişimdir [55]. Bu uygulamalar, tüketicilerin elektrik tüketim davranışlarını etkileyerek yük şekillerini değiştirmeyi amaçlayan her türlü faaliyeti içermektedir [56]. Özellikle, TTY 'nin uygulanması mevcut güç sistemlerinin karmaşıklığını artırır. Çünkü TTY 'nin yeterli performansı, güç sistemi yüklerini ve jeneratörlerini izlemeyi gerektirir [57]. Sonuç olarak, sensörlerin yayılması, TTY programlarının katılımcılarına teşviklerin sağlanması ve TTY 'nin genel faaliyetlerinin performansı ek harcamalara neden olacaktır.

Şekil 2.1, TTY 'nin enerji verimliliği, talep yanıtı ve stratejik yük büyümesinden oluştuğunu göstermektedir. Tezimizde kullanmış olduğumuz teknik enerji verimliliğidir. Talep yanıtı tepe kırpma, vadi doldurma veya yük kayması faaliyetleri ya da bu tekniklerin herhangi bir kombinasyonu ile gerçekleştirilmektedir [55]. Talep yanıtı, faaliyetlerin sergilediği esneklik nedeniyle esnek yük şekli olarak da bilinmektedir.



Şekil 2.1. Çeşitli TTY teknikleri [63].

2.2.1. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği, enerjiden tasarruf etmeyi ve talebi azaltmayı amaçlayan uzun vadeli bir koruma stratejisi olarak tanımlanmaktadır. Enerji verimliliği programlarına örnek olarak ev aletleri verimliliğinin artırılması sayılabilmektedir [58]. Bir binayı rüzgar ve güneş ışığı gibi dış unsurlardan korumayı, enerji tüketimini ve kayıplarını azaltmak için binaları yükseltmeyi içermektedir. Enerji verimliliği programlarının uygulanması, yoğun zamanlarda ve ortalama güç sistemi maliyetlerinde talepleri azaltabilir, ayrıca güç sistemi kapasitesini genişletme ihtiyacını erteleyebilmektedir [59].

Enerji verimliliği stratejiler şunları içermektedir:

1. Enerji tüketimini optimize etmek ve kullanıcıları teşvik etmek için enerji tasarruflu binalar ve cihazlar benimsetmek [60].
2. Isı atıklarının geri kazanılması, bakım prosedürlerinin geliştirilmesi, optimize edilmiş tasarımlara sahip modern ekipmanların kullanılması, kojenerasyonun uygulanması ile elektrikli ekipmanların düzenli bakımının iyileştirilmesi ve yürütülmesi [58].
3. (1) Dağıtılmış üretim kullanarak güç iletim ve dağıtım ağlarının verimliliğini artırmak; (2) denetim kontrolü ve veri toplama sistemlerinde voltaj regülasyonu, üç fazlı dengeleme, güç faktörü düzeltilmesi, veri toplama ve analizi için gelişmiş kontrol sistemleri; (3) düşük kayıplı transformatörler, gaz tesisatı merkezleri, akıllı ölçüm ve veri toplama için fiber optik ve (4) yüksek iletim gerilimleri gibi modern teknolojilerdir [60].

2.2.2. Talep Yanıtı

Talep yanıtı (TY), enerji tüketimi davranışını etkilemeyi amaçlayan kısa süreli bir yük yönlendirme programını içermektedir. TY, “son kullanıcı tüketicilerinin elektrik kullanımında zaman içinde meydana gelen değişikliklere tepki olarak normal tüketim alışkanlıklarından veya yüksek toptan satış fiyatlarının düşük elektrik kullanım sürelerini teşvik etmek için tasarlanmış teşvik ödemeleri veya sistem güvenilirliği tehlikeye girdiğinde meydana gelen değişiklikler” olarak tanımlanmaktadır [61]. TY 'nin avantajlarından birinin yükü doğrudan etkilemesi olduğu göz önüne alındığında, diğer TTY teknikleri yavaş yavaş yeni elektrik piyasası ortamında TY programları tarafından değiştirilmektedir [62].

TY, yoğun olmayan dönemlerde yük oluşturmak için vadi dolgusu [63]; yoğun dönemlerde yükleri azaltmak için tepe kırma [63] veya vadi dolgusu ve tepe kırma aktivitelerini birleştiren yük kayması kullanılarak gerçekleştirilmektedir [55].

Şekil 2.1 'de gösterildiği gibi, TY programları güvenilirlik tabanlı veya pazar tabanlı TY programlarına ayrılmıştır [64]. Güvenilirlik tabanlı TY programlarında, tüketiciler yüklerini azaltır ve kendi isteğiyle veya istemsiz olarak kontrollü cihaz kullanımına katılırlar. Buna karşılık, tüketiciler bu programa kayıt yaparak ekonomik teşvikler elde ederler. Gerçek zamanlı elektrik piyasası fiyatları sunarak, piyasa tabanlı TY programları tüketicilere elektrik tüketimini ayarlama seçenekleri sunar.

Güvenilirlik tabanlı TY programları aşağıdakilerden oluşur:

1. Kesilebilir yük programı: Bu program genellikle yüklerini kısa bir süre için kapatabilen büyük endüstriyel ve ticari tüketiciler tarafından uygulanır. Bu programda, tüketiciler hizmet kesintilerini kabul etmek için tazminat olarak indirimli elektrik oranları alırlar. Ancak, gerektiğinde programa katılmazlarsa cezalandırılabilirler.

2. Doğrudan yük kontrol programı: Bu programda yardımcı programdır. Tüketicilere bildirildikten sonra en yüksek talep süreleri boyunca tüketici güç kaynağını doğrudan kesintiye uğratabilir veya azaltabilir. Buna karşılık, kesintiye uğramış tüketiciler tazminat alırlar [61].

3. Acil durum programı: Tüketicilere sistem beklenmedik durumları sırasında taleplerini azaltmak için teşvikler verilir. Kesilebilir yük programının aksine, tüketiciler katılamazsa bu program herhangi bir ceza uygulamamaktadır [65].

Pazar tabanlı TY programları aşağıdakilerden oluşur:

1. Talep teklif programı: Bu program, büyük tüketicilerin belirli yük azaltmaları için teklif vermesine olanak tanır. Tüketiciler sabit bir oranda kalmakta ve toptan elektrik fiyatları yüksek olduğunda yüksek ödeme almaktadırlar [61].

2. Gerçek zamanlı fiyatlandırma programı: Elektrik üretim maliyetleri zaman içinde dalgalanır. Ortalama sistem maliyetleri özellikle büyük ticari ve endüstriyel tüketiciler için

istenmezliğini dikkate almadan sabitlenir. Bu sorunları ele almak için, gerçek zamanlı fiyatlandırma programı aşağıdakiler yoluyla tanıtılır ve uygulanır [64]:

a. Kullanım süresi oranı: Bu oran çok çeşitli zaman dilimlerinde yani mevsimsel, aylık, haftalık veya günlük olarak sunulan önceden tanımlanmış bir elektrik fiyatıdır. Bu oran isteğe bağlıdır ve yüksek fiyat dönemlerinde tüketici taleplerini azaltmak için temel üretim maliyetlerini yansıtmaktadır [61].

b. Kritik tepe oranı: Bu oran, tüketicilere kritik tepe sırasında gerçek piyasa maliyetlerini yansıtan dinamik fiyatlandırma sunmaktadır. Bu oran genellikle beklenen tepe (peak) bir gün önce sunulur. Önceden tanımlanmış ancak gerektiğinde dinamik olabilmektedir. Kritik tepe fiyatlandırma oranları, sistem durumunu yansıttıkları için güç sistemi güvenilirliğini artırmak için kullanılabilir. Bu nedenle, eğer uygun kritik tepe fiyatlandırma sinyalleri gönderilirse, tüketiciler sistem stres olayları sırasında yükü azaltarak katılabilmektedirler [64].

c. Gerçek zamanlı oranı: Bu programda tüketiciler, gerçek piyasa oranlarının bir fonksiyonu olan oranları öderler. Fiyatlar, önceden planlamayı etkinleştirmek için genellikle saatlik veya bir gün önceden verilir. Dolayısıyla, elektrik arzındaki dalgalanmalara bağlı olarak oranlar değişecektir [65].

2.2.3. Stratejik Yük Artışı

Stratejik yük büyümesi, artan elektrik enerjisi yükü olarak tanımlanır. Normalde çift yakıtlı ısıtma, ısı pompaları, termal depolama (termal enerji, yoğun dönemlerde kullanım için yoğun olmayan zamanlarda saklanır) ve promosyon oranları yoluyla yardımcı programlar tarafından indüklenir. Stratejik yük büyümesi, elektrik taleplerindeki genel artış, özellikle de modern güç sistemlerinin [55] elektrikli araçlarının ya da sıcak ülkelerde klima [66] ortaya çıkması nedeniyle kaçınılmaz olmuştur.

3. TALEP TARAFI YÖNETİMİNİN GÜÇ SİSTEMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

TTY 'nin güç sistemleri üzerindeki etkisi, elektrik piyasası, çevre ve güç sistemi işletimi ve güvenilirliği açısından incelenmektedir.

3.1. Elektrik Piyasası

Tüketiciler çoğunlukla çeşitli TTY programlarına katılmaktan teşvik ödemeleri şeklinde ekonomik faydalar elde ederler [61]. Yarar tarafında, bu ekonomik faydalar genellikle azaltılmış işletme maliyetleri, azalmış yük kayıpları ve artan sistem verimliliği biçimindedir [67]. TTY 'nin Elektrik Piyasası modeli üzerindeki etkileri de yaygın olarak araştırılmıştır. Ekonomik gönderim ve TY sistem verimliliğini artırmak için entegre edilmiştir [68]. Elektrik piyasası performansını iyileştirmek ve operasyonel sistem maliyetini düşürmek için birim taahhüt ve TTY birleştirilmiştir [69,70]. Rüzgar enerjisinin farklı nüfuz seviyelerini içeren dinamik ekonomik dağıtım, TTY 'nin işletme maliyeti üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır [71]. Kullanım süresi oranı, büyük endüstriyel ve ticari yüklere sahip dağıtım şebekelerinde, aynı anda fayda ve tüketici maliyetlerini azaltmak için uygulanmıştır [72]. TY programı, sınırlı güç kaynağı ve iletim hattı kısıtlaması ihlalleri durumunda piyasa gücünü rahatlatabilmektedir [73]. Ayrıca, TY programı, tüketicilerin ve tedarikçilerin piyasa riskini, fiyatların belirsizliğini ve dalgalanmasını da azaltır [60].

3.2. Çevre

Enerji üretimindeki azalma, sera gazı emisyonlarını azaltır. Böylece çevresel zararı azaltır. [74–79]. Böyle bir azalma, temel üretim ünitelerinin optimum programlaması ve çalışması sağlanarak jeneratörlerin kapanma ve çalışma sıklığını azaltarak elde edilebilir. Çünkü jeneratörün çalıştırılması ve rampalanması, elektrik üretimi olmadan yakıtın yanmasını gerektirir. Bu nedenle, çalıştırma ve rampa frekanslarını azaltmak emisyonları azaltabilir [80,81]. TTY 'nin çevresel performans üzerindeki etkisi literatürlerde de ele alınmıştır. Örneğin, İsveç elektrik hizmetleri tarafından yük yönetiminin olası çevresel faydaları belirlenmiştir [81]. TTY 'ni kurulu güç kapasitesi ve enerji çıkışı ile ilişkili çevresel etkinin objektif fonksiyonları ile birleştiren güç üretimi genişleme planlaması sunulmuştur [74]. TY programları ile ilişkili maliyet ve emisyon tabanlı bakım planlaması için yeni bir karma tamsayı programlama tabanlı yapı önerilmiştir [75,76].

TTY programlarının çevresel hasarı azaltmak için elektrik güç sistemlerinin planlanması ve işletilmesine entegre edilebileceğini göstermektedir.

3.3. Güç Sistemi Çalışması

TTY 'nin güç sistemi çalışmaları üzerindeki etkisi aşağıdaki bakış açıları ile tartışılmaktadır:

3.3.1. Gerilim Kararlılığı

Gerilim kararlılığı, güç sistemlerinin normal çalışma koşullarında ve arızalardan sonra tüm veri yollarında kabul edilebilir gerilimleri koruma kabiliyetini ifade eder [82]. Öte yandan, TY frekans kararlılığını da koruyabilir [83].

3.3.2. İletim Tıkanıklığı

TTY, yük profilini düzleştirmeyi ve pik yük periyodlarının süresini azaltmayı amaçladığından, gerekli iletim kapasitesi azalır ve bu etki dolaylı olarak iletim tıkanıklığını hafifletir [84,85]. İsteğe bağlı kaynakların optimal tahsisinin değerlendirilmesi yoluyla sistem faydalarını en üst düzeye çıkarmak için optimal güç akışı uygulanmıştır [86]. Daha sonra, güç transferi dağıtım faktörleri, mevcut transfer kapasitesi ve dinamik DC optimum güç akışı temelinde talep yanıtı için en uygun veri yollarının belirlenmesi için bir prosedür geliştirilmiştir [85].

3.3.3. Koruyucu Bakım

Koruyucu bakım planlanan bakımdır ve önceden yönetilen ve planlanan bir kesintidir; gerekirse ertelenebilir ve bileşen çıkarılmasını içerir [87]. Koruyucu bakım, sistem bileşenleri yararlı ömürlerinin sonuna yaklaştığında veya arızaların beklenmesi durumunda yapılmalıdır [88]. Önleyici bakım periyodik olarak hizmet dışı olma riskini azaltmak için birimler, iletim hatları ve dağıtım şebekeleri oluşturmak için planlanmaktadır. Emisyonları en aza indirmek ve bakım, yakıt ve rezerv maliyetlerini azaltmak için üretim birimlerinin en uygun kesintisi zamanlamasını belirlemek için talep yanıt programları ile ilişkili güvenlik kısıtlı önleyici bakım planlaması kullanılmıştır [75,76].

3.3.4. Tesis Yükseltme

En yüksek talep süresi, yük döngüsünün yaklaşık %5 'ini oluşturur ve toplam sistem enerjisinin yaklaşık % 1 'ini tüketir. Bu nedenle, bu ihtiyacı karşılamak için yeni üretim birimleri oluşturmak ekonomik değildir. TTY ve zirve üreten birimler bu sorunu verimli bir şekilde çözebilse de [89], TTY programları yeni nesil birimlerdeki yatırımları [74,90,91] ve iletim ve dağıtım ağlarının genişletilmesini [92,93] erteleyebilir.

3.3.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları doğada değişken, kesintili, öngörülemeyen ve kontrol edilemez. Birçok çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının arz tarafında toplu birimler olarak veya talep tarafında orta birimler olarak aralıklı olduğunu değerlendirmiştir. Güneş fotovoltaik ile enerji üretiminin kesikliğine aşmak için güneş fotovoltaik sistemler için öncelikli bir talep yanıt yönetimi ve enerji depolama sistemi önerilmiştir [94]. TTY, Portekiz 'de artan sayıda yenilenebilir enerji kaynağını entegre etmek için kullanılmıştır [95]. Akıllı mikro şebekeler için olasılıksal bir programlama, talep yanıtını rüzgar ve güneş enerjisi üretiminin neden olduğu belirsizlik için bir telafi olarak değerlendirerek uygulanmıştır [96].

3.3.6. Güç Sistemi Esnekliği

TTY, gelişmekte olan esnek bir kaynak yönetimi stratejisidir ve elektrik talebini azaltmanın ve verimli esnek sistem yönetimine izin vermenin ikili etkisini uygular [97]. Son derece karışık yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip güç sistemlerinin, yalnızca fosil yakıtlı jeneratörlere sahip geleneksel sistemlere göre tüketici taleplerini karşılama olasılığı daha düşüktür. Bu durum, enerji depolama sistemlerinin sağladığı yardımcı hizmetler nedeniyle nadiren meydana gelse de, elektrik kesintisinin ve olası elektrik kesintisinin mali etkileri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür.

Bu bağlamda, TTY son derece değerli olabilir çünkü yenilenebilir enerji kaynakları tarafından en yüksek talep ve düşük enerji üretimi dönemlerinde elektrik tüketimini azaltır. TTY, yeni başlatılan nükleer santrallerin esnekliğini artırmak için alternatif bir araçtır [98].

3.4. Güç Sistemi Güvenilirliği

Güç sistemi güvenilirliği tasarım, planlama ve işletme aşamaları için çok önemlidir. Sistem güvenliği ve sistem yeterliliği, güç sistemi güvenilirliğinin iki temel özelliğidir. Sistemin yeterliliği, tüketici talebini karşılamak için sistemde yeterli ekipman ve tesislerin varlığı ile ilgilidir. Sistem güvenliği, sistemin bozukluklara cevap verme yeteneği ile ilgilidir [87]. Güç sistemi güvenilirliğinin analizi üç hiyerarşik seviyeye ayrılmıştır (HLs- hierarchical levels/hiyerarşik seviyeler) [87]. HL1 üretim tesisinin analizini içerir, HL2 üretim ve iletim tesislerinin analizini dikkate alır ve HL3 ek bir dağıtım tesisinin analizini dikkate alır. Tam HL3 çalışmalarının büyük problem ölçeği nedeniyle oldukça karmaşık olduğu göz önüne alındığında, sadece HL1 ve HL2 çalışmaları düzenli olarak yapılmaktadır. Böylece, dağıtım şebekesi normal olarak ayrı ayrı üretim ve iletim sistemlerinden ayrı olarak analiz edilir.

3.4.1. TTY 'nin Güç Sisteminde Güvenilirliğin HL1 Değerlendirmesi Üzerine Etkisi

HL1 güç sistemi çalışmalarında, sadece güç üretimlerinin yük taleplerini karşılama kabiliyeti araştırılmaktadır. Bu durumda, iletim ve dağıtım şebekeleri tamamen güvenilir kabul edilir. TTY bağlamında çeşitli dikkate değer HL1 güvenilirlik analizleri Tablo 3.1 'de verilmiştir. Bu tabloda, çalışmaların katkıları, faydaları ve sınırlamaları karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.1. TTY 'nin HL1 üzerindeki etkileri üzerine önemli çalışmaların karşılaştırılması [63].

Kaynak	Katkı	Yararları	Sınırlama
[99]	İşletim hususları modelini kullanarak sistem güvenilirliğini sağlamada TTY etkisi değerlendirildi.	Birim görev döngüsü, işletme rezerv politikası, kesinti ertelenebilirlik ve birim taahhüt politikası gibi çeşitli birim ve sistem işletim konuları modellenmiştir.	Enerji geri kazanımı ve yük çeşitliliği gibi diğer senaryoları dahil etmek için genişletme gerektiren yetersiz TTY modeli.
[100]	Doğrudan yük kontrolünün üretim sisteminin güvenilirliği üzerindeki etkisini değerlendirdi.	Sistem yükü ve mevcut üretim kapasitesi arasındaki geçici korelasyon korunmuştur.	Kısmi kesinti, yük belirsizliği ve bakım gereksinimleri gibi dinamik sistem performansını dikkate almadı.
[101]	TTY 'nin üretim sisteminin güvenilirliği ve birbirine bağlı iki sistemin üretim maliyetleri üzerindeki etkisini değerlendirdi.	Enerji depolama sistemlerini TTY etkinliği olarak uygulamış ve ekonomik ve güvenilirlik etkilerini değerlendirmiştir.	Enerji depolama sistemlerinin çeşitliliğini ve türlerini kapsamlı bir şekilde araştırmadı; güvenilirlik ve üretim maliyeti açısından optimum yük yönetimi performansı sağlamadı ve enerji bazlı güvenilirlik endeksini kullanmadı.
[102]	TTY 'nin üretim sisteminin güvenilirliği ve enerji tüketimi üzerindeki etkisini değerlendirdi.	Analitik olarak modellenmiş TTY ve yük eğrisi modelini yük süresi eğrisi modellenmesine tabi tuttu.	TTY 'nin kronolojik saatlik yük eğrisi üzerindeki etkilerini ölçmedi.
[103]	Güvenilirlik maliyet ve güvenilirlik değer analizi arz tarafı ve talep tarafı planlama entegrasyonu gösterilmiştir.	TTY 'nin kronolojik saatlik yük eğrisi üzerindeki etkilerini belirledi. Simüle 20 yeni yük modelleri. Esnek yük şekli dışında farklı TTY faaliyetlerinin uygulanmasının, üretim sisteminin değeri, güvenilirliği ve maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır.	Üretim maliyetini ve çevresel etkiyi içermiyordu ve çoğunlukla tek tek yük sektörü bileşimlerini doğrudan içermeyen toplam bir sistem yük profiline dayanıyordu.
[104]	TTY etkilerinin, gelecekteki pazar nüfuz seviyeleri ve TTY uygulamalarının güç/enerji indirimleri temelinde üreten sistemin güvenilirliği üzerindeki etkilerini tahmin etmektedir.	TTY öncelikli nüfuz ve belirsizliklerin dikkate alınarak modellenmiş enerji geri kazanımı.	TTY faaliyetlerinin çeşitliliğini ve bireysel yük sektörü kompozisyonlarını dikkate almadı.
[105]	Olasılıksal üretim maliyetleme metodolojisinde TTY 'nin kapasite gereksinimleri ve enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemek için analitik bir yöntem kullandı.	Entegre kaynak planlama gereksinimlerini araştırdı ve esnek yük şekli dışındaki tüm TTY faaliyetlerini modelledi.	Çevresel etkiyi dikkate almadı.
[106]	TTY 'nin yük kaybı olasılığı, hizmet verilmeyen enerji, enerji tüketimi ve enerji santrallerinin döngüsel maliyetleri üzerindeki etkisi olasılıksal olarak analiz edilmiştir.	TTY programlarının maliyet etkinliği analizinde santrallerin dngü maliyetlerinin birleştirilmesinin önemini sundu. Kaçınılması gereken başlangıç maliyetini inceledi. Esnek yük şekli hariç tüm TTY faaliyetlerini modelledi.	Güvenilirlik çerçevesinde pik ve aralıklı olarak çalışan birimleri modellemedi.
[107]	Yük değişiminin, yük tahmini belirsizliği varlığında, üretim sisteminin güvenilirliği ve tepe yükünün taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi değerlendirildi.	Sunulan yük tahmini belirsizliği.	Üretim maliyeti etkisi, bireysel yük sektörü kompozisyonları ve müşteri zarar fonksiyonunu dikkate almadı.
[108]	Yük değişiminin, üretim sisteminin güvenilirliği ve yük şekilleri üzerindeki etkisini değerlendirdi.	Kabul edilen yük çeşitliliği (yedi farklı müşteri yük sektörü).	Yük değişiminin müşteri zarar fonksiyonu, TTY faaliyet çeşitliliği ve üretim maliyeti üzerindeki etkilerini dikkate almadı.

Tablo 3.1. (Devamı)

[109]	Kesintili yüklerin uygulanmasının bir elektrik tedarik sistemindeki rezerv tahsisi üzerindeki etkisi değerlendirildi. Ceza planının etkisinin elektrik tedarik sisteminin işleyişini sürdürüp sürdüremeyeceği ve / veya iyileştirip iyileştiremeyeceği değerlendirildi.	Elektrik Piyasası ortamı, kayıp yük değeri ve birim taahhüdü. Yükleri kesintiye uğraması gereken kesintiye uğratılan servis sağlayıcılara ceza maliyeti uygulanır.	Gerçek zamanlı üretimi, maliyeti ve müşteri hasar fonksiyonunu modellemedi.
[110]	Talep yanıtının ve akıllı ölçüm altyapısının uygulanmasının piyasa fiyat dalgalanmaları ve sistem güvenilirliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek için elektrik piyasasının uzun vadeli analizi için bir çerçeve önerdi.	Talep ve arz belirsizliklerini olasılıklı bir şekilde analiz edildi. Fiyatlara duyarlı talep altındaki üreticiler arasındaki etkileşimleri araştırıldı. Jeneratörler ve akıllı ölçümleme tarafından sağlanan fiyatlara cevap veren talep arasındaki stratejik etkileşimler çerçevede ele alındı. 2010 yılında Kore elektrik piyasalarının durumu hakkında bir vaka çalışması sunuldu.	Yük tahmini ve akıllı ölçüm belirsizliği dikkate almadı.
[111]	Üreticinin güvenilirliğine ilişkin güvenilirlik odaklı ve piyasa odaklı TY ölçümlerinin araştırılması sistem ve sistem maliyeti.	Talep tarafı kaynaklarının uygulanması için en uygun şemayı, birimlerin optimal taahhüt durumunu ve sistemin optimal risk seviyesini belirledi. Kayıp yükün değerini, duyarlı yüklerin ekonomik modelini ve talep tarafındaki kaynaklarla karıştırılan risk maliyetine dayalı birim taahhüt probleminin modelini sundu.	Kesinti süresini ve sıklığını güvenilirlik endeksleri olarak kullanmadı.
[112]	TTY ve enerji depolama sistemlerinin yeterliliğini sağlamak için katkılarını ve enerji geri ödemesinin özelliklerinin etkilerini, TY 'nın esnekliğini ve enerji depolama sisteminin kapasitesini ve verimliliğini değerlendirdi.	TY ve enerji depolama sistemlerinin operasyonel esnekliği, enerji geri ödemesi ve kısıtlamaları modellenmiştir.	Enerji depolama sistemlerinin çeşitliliği ele alınmadı.
[113]	Üretim genişleme planlamasında entegre TTY ve tedarik tarafı yönetimi.	Hindistan, Tamil Nadu'da mevcut bir zirve açığı güç sistemi üzerindeki RES, TTY ve arz tarafı yönetiminin ekonomik, esneklik seviyesi, arz yeterliliği ve çevresel etkisi değerlendirildi.	Enerji depolama sistemlerinin nüfuzunu, faaliyetlerin çeşitliliğini ve esnek kaynakların belirsizliğini dikkate almadı.

3.4.2. TTY 'nin Güç Sisteminde Güvenilirliğin HL2 Değerlendirmesi Üzerine Etkisi

HL2 veya kompozit elektrik güç sistemleri, iletim hatlarının elektrik enerjisini üreten taraftan tüketici tarafına aktarma kabiliyetini göz önünde bulundurur. Bu görev, hatlardan güç akışı ve rasgele hat ve jeneratör arızaları gibi sistem davranışlarını içerir. TTY tekniğinin HL2 üzerindeki etkisi yaygın olarak araştırılmıştır ve Tablo 3.2 'de gösterildiği gibi katkıları, yararları ve sınırlamaları açısından karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.2. TTY ‘nin HL2 üzerindeki etkileri üzerine önemli çalışmaların karşılaştırılması [63].

Kaynak	Katkı	Yararları	Sınırlama
[114]	İşletme rezervinin uzun vadeli değerlendirilmesi için uygulanan TTY. Kesilebilir yük TTY uygulaması için olası senaryoları değerlendirildi.	Kesilebilir yük ve müşteri kesintisi maliyeti temelinde elde edilen sistem ve toplumsal maliyet tasarruflarını değerlendirerek TTY 'nin yeni rekabetçi elektrik piyasasında maliyet tasarrufu fırsatı olarak önemini göstermiştir.	Münferit yük sektörü bileşimleri ile sıklık ve süreye dayalı güvenilirlik endeksleri hariç tutulmuştur.
[115]	TTY ‘nin kompozit üretim ve iletim sistemi güvenilirliği üzerindeki etkilerini değerlendirdi.	Esnek yük şekli hariç tüm TTY faaliyetlerini sundu. Modellenen kompozit TTY, güç sisteminin çeşitli alanlarında hareket eder.	İstihdam edilen DC optimal güç akışı tabanlı optimal yük azaltma hedefi. Müşteri zarar fonksiyonunun değerlendirilmesi gereklidir.
[116]	Hibrit güç piyasalarının güvenilirlik değerlendirmesinde arz ve talep tarafı beklenmedik durum yönetimi uygulandı.	Yönetilen arz ve talep yönlü beklenmedik durum. Bağımsız bir sistem operatörünün beklenmedik durumlara yönelik rezerv ve yük azaltma tekliflerini koordine etmesini ve güvenilirlik değer ve maliyetini dengelemesini sağlayan bir model sundu. Bir optimizasyon tekniği ile piyasa kesinti maliyetini en aza indirerek bir beklenmedik durum için belirlenen yük kısıtlamaları ve üretim yeniden dağıtımı.	Tüm teklif maliyetlerinin sabit olduğu varsayılmış ve bu nedenle pratik olmayan ve yanlış maliyet modelleri ortaya çıkmıştır. Üretim yeniden gönderme maliyetleri ve iletim hattı olasılıkları nesnel işlevden hariç tutulmuştur.
[117]	Poolco pazar yapısıyla yeniden yapılandırılmış güç sistemlerinin güvenilirlik değerlendirmesinde her bir beklenmedik durum için yük azaltma ve üretim yeniden dağıtımını belirlemek için bir optimizasyon tekniği önerildi. Üretim, rezerv ve kesinti maliyetlerini içeren ve pazar ve ağ kısıtlamalarına tabi olan toplam sistem maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.	Yeniden yapılandırma ve serbest bırakma sırasında bir güç sisteminin güvenilirlik yönetimini uyguladı. Poolco güç piyasasının beklenmedik durum yönetimi için bir model sundu. Güvenilirlik değerlendirmesine üretim ve yedek teklifler, güvenilirlik hususları ve iletim ağı kısıtlamaları dahil edildi.	Yükümlülüklerden sonra düzeltici bir eylem olarak yük atma uygulandı. Yük atma arasında karıştırmayı düzeltici ve önleyici faaliyetler olarak görmedi. Ceza planını modellemedi.
[118]	Sistemin ve yük noktasının güvenilirlik endekslerini geliştirmek için bir üretim alternatifi olarak Talep Yanıtı uygulandı.	Müşteri davranışlarına dayalı bir talep kaynağı güvenilirlik modeli oluşturdu. Basit iki durumlu model ile ilişkili Talep Yanıtı kullanılabilirliği ve kullanılamazlığı.	Kısmi Talep Yanıtının kullanılmaması, büyük test sistemleri, bireysel yük sektörü bileşimleri ve müşteri hasar fonksiyonu değerlendirilmesini dikkate almadık.

Tablo 3.2. (Devamı)

[119]	Güvenilirliği artırmak için düğüm değerlendirmenin üstünlüğünü ve Talep Yanıtı programlarının önceliklendirilmesini göstermek için güvenilirlik tabanlı TY planlama programları sunulmuştur.	TY programlarının küresel ve düğüm önceliklendirme için kullanılmasının etkilerini değerlendirdi.	Gerekli büyük test sistemleri ve bireysel yük sektörü bileşimleri.
[120]	Kesilebilir yük konumunun, kanat gücünün varlığında güvenlik kısıtlaması olan birim taahhüdünü kullanarak sistemin ekonomik performansı ve güvenilirliği üzerindeki etkisini değerlendirdi.	Kesintiye uğrayan yüklerin ve rüzgar enerjisi üretiminin eşzamanlı katılımının sistem maliyetleri ve güvenilirliği üzerindeki etkisini değerlendirdi. Rüzgar enerjisi belirsizliğinin ekonomik değerlendirmesi, rüzgar çiftliği yerleri ve üretim birimlerinin döndürme rezervi tartışıldı.	Frekans ve süreye dayalı güvenilirlik endeksleri içermiyordu.
[70]	Acil durum Talep Yanıtı programlarının güvenilirlik üzerindeki etkisini değerlendirdi.	Talep Yanıtının hem sosyal refah hem de güvenilirlik endekslerini iyileştirmek için güvenliği kısıtlı birim bağlılığı sorununa entegre edilmesinin etkinliğini araştırdı. Kayıp yükün değeri dikkate alınmıştır.	Geri ödeme enerjisinin kayıp yükün değeri üzerindeki etkisini değerlendirmede. Frekans ve süreye dayalı güvenilirlik endeksleri ve TY belirsizliği içermiyordu.
[121]	TY programlarının rüzgar entegre güç sistemlerinin kısa vadeli güvenilirlik değerlendirmesi üzerindeki etkilerini inceledi.	Kısa vadeli güvenilirlik değerlendirmesi için yeni bir algoritma sundu. Algoritma, zamanın etkilerini ve bileşenlerin başlangıç durumlarını içerir ve TY ve rezerv kaynaklarının teslim süresini modellemek ve TY programlarıyla ilgili belirsizlikleri hesaba katmak için çok segmentli bir optimal güç akışı yaklaşımını içerir.	Rüzgar enerjisi belirsizliğini göz ardı etti.
[122]	TY planlamasının güvenilirlik ve ekonomik endeksler üzerindeki etkilerini, özellikle acil durum enerji fiyatlarının yük geri kazanımını artırdığı durumlarda inceledi.	Ekonomik ve güvenilirlik etkilerini değerlendirmek için rüzgar üreten birimlerin varlığında dinamik termal değerler ve TY arasındaki sinerjiyi tanımladı. İletim ağlarının gün öncesi planlamasında optimum TY zamanlaması için olasılıksal bir çerçeve önerdi.	TY 'nin belirsizliğini görmezden geldi.
[123]	Rüzgar enerjisi ile entegre yeni bir ekonomik sevk modeli önerdi. Bu model, teşvik edici TY ve güvenilirlik önlemlerini dikkate alır. Yük ve rüzgar enerjisi tahmin hatalarının olasılık dağılımını ve ünitelerin kesinti değiştirme oranlarını birleştirir.	Rüzgar enerjisi ve yükün tahmin hatalarını, tüm birimlerin kesinti değişim oranını ve teşvik fiyatına müşteri güç tüketimi yanıtını dikkate alan bir model önerdi. TY ile yük profilini optimize etti. Ekonomi ve güç sisteminin çalışmasının güvenilirliği arasında en uygun denge noktasını elde etmek için hedefe sağlanmayan beklenen enerjinin maliyeti eklendi.	TY çeşitliliği göz ardı edildi.

Tablo 3.2. (Devamı)

[124]	Enerji tüketimini azaltmak isteyen düğüm tüketicileri için enerji kesintilerini telafi etmek için düğüm tarafından kesintiye uğrayan yükleri tanımlamak için pratik bir metodoloji tanımlanmıştır.	İletim hatları için N-2 siparişlerinin acil durum değerlendirmesine ilişkin bir düğüm güvenilirlik hizmetinin fiyatlandırma uygulamasına dayanıyordu.	Rüzgar gücünün belirsizliğini ve kayıp yükün değerini dikkate almadım. DC optimum güç akışlı matematiksel formülasyon kullanılır.
[73]	Güvenilirlik maliyetini ve kayıplarını azaltmak, piyasa gücünü azaltmak ve voltaj profilini ve sistem yüklenebilirliğini artırmak için kapasite piyasası ortamında yenilenebilir enerji (rüzgar kuşakları ve fotovoltaik) ve TTY kaynaklarını uyguladı.	TTY kaynaklarının optimum konumu, kapasitesi ve fiyatı ile rüzgar santralleri ve fotovoltaik kurulumların optimum konumu modellenmiştir. Sistem operatörü açısından güvenilirlik ve maliyetlerin en aza indirilmesi belirlenir. Güç kaybı, gerilim profili ve sistem yük kapasitesi dikkate alınır.	Güvenilirlik endeksleri hesaplanmadı.
[125]	TTY ve dinamik termal derecelendirme sistemi arasındaki etkileşimlerin kompozit bir güç sistemi üzerindeki güvenilirlik etkisini ölçtü. Yük kaymasının yük talep eğrileri üzerindeki etkisini sistem, veri yolu ve yük sektörü seviyelerinden değerlendirdi. Modifikasyonu sağlamak için her bir veri yolundaki yük sektörleri perspektifinden başlayarak bir yük modeli geliştirildi ve tüm veri yollarındaki yüklerin birleştirilmesiyle sistem için yeni bir kolektif saatlik yük eğrisi elde edildi.	İletim ağındaki çeşitli TTY ölçümlerini ve dinamik termal derecelendirme sistemlerini araştırdı. Dinamik termal derecelendirme sistemini modellerken hat derecelendirmelerinin ve hava koşullarının korelasyon etkileri göz önünde bulunduruldu.	DC-optimal güç akışlı matematiksel formülasyon kullanılır. TTY faaliyetlerinin çeşitliliğini dikkate almadı.

3.4.3. TTY ‘nin Güç Sistemi Dağıtım Şebekesi Üzerindeki Etkisi

HL3 ve dağıtım şebekesi güvenilirliği ile ilgili çalışmalar, dağıtım şebekesinin giriş değerleri olarak HL2 'nin yük noktası indekslerini kullanır. Dağıtım şebekesi örgülü ve radyal olmak üzere iki konfigürasyona sahiptir. Örgülü dağıtım şebekeleri HL2 ile aynı yaklaşımla değerlendirilir. Bir radyal dağıtım şebekesinin değerlendirilmesi, arıza modunun analizine dayanır ve arızaları ve restorasyon uygulamalarını dikkate alır [126]. TTY ‘nin HL1 ve HL2 'de uygulanması esas olarak yük noktası güvenilirlik endekslerini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Buna karşılık, dağıtım şebekesinin güvenilirlik değerlendirmesinde TTY ‘nin uygulanması esas olarak tüketici tarafında hizmet kesintilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Dağıtım şebekesindeki TTY ‘nin güvenilirliği ile ilgili birçok önemli çalışma, Tablo 3.3 'te gösterildiği gibi katkıları, faydaları ve sınırlamaları açısından karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.3. TTY ‘nin dağıtım şebekeleri üzerindeki etkileri üzerine önemli çalışmaların karşılaştırılması [63].

Kaynak	Katkı	Yararları	Sınırlama
[127]	TY ‘nın bir Finlandiya dağıtım ağındaki hizmet güvenilirliğinin temel özellikleri üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirildi.	Konut dağıtım şebekesindeki hizmet güvenilirliğinin başlıca özellikleri üzerindeki TY ‘nın potansiyel etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Elde edilen TY modelini bir Finlandiya dağıtım şebekesinin güvenilirlik değerlendirmesine dahil etti. Aktif müşteri nüfuzu ve müşteri rahatsızlığı için farklı seviyeler önerdi.	Dengeli bir ağın ideal bir durum olduğu varsayılmıştır. Dağıtılmış jeneratör nüfuzunu, TY belirsizliği ve adacık operasyonu dikkate alınmadı.
[128]	TY ‘nın bir Finlandiya dağıtım şebekesinin işleyişinin temel özellikleri üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirdi. TY ‘nın şebeke kayıpları, gerilim profilleri ve servis güvenilirliği gibi şebeke operasyonunun farklı yönleri üzerindeki etkilerini inceledi.	TY potansiyellerinin yük ve gerilim profilleri üzerindeki etkilerini, şebeke kayıplarını ve servis edilebilirliğini, bireysel duyarlı cihazların potansiyel etkilerini inceledi.	Dengeli şebekenin ideal bir koşul olduğu varsayılmıştır. Dağıtılmış jeneratör nüfuzunu, reaktif güç, TY mevcudiyeti, kesinti maliyeti ve ada işletimi dikkate alınmamıştır.
[129]	Bir talep yanıt programının bir parçası olarak bir mikro şebekedeki enerji depolama sistemlerinin optimum yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için biyoobjektif bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Önerilen objektif optimizasyon modeli iki farklı objektif işlevi içeriyordu: (1) toplam yatırım maliyetinin en aza indirilmesi, toplam mikro şebeke maliyeti ve işletme maliyeti ve (2) yük beklentisinin kaybının en aza indirilmesi.	Karışık tamsayı doğrusal olmayan bir program ile mikroşebekedeki enerji depolama sistemlerinin optimal yerleştirme ve boyutlandırma problemini modelledi. Bu sorunu çözmek için genel cebirsel modelleme sistemi yazılımı uygulanır. Önerilen iki amaçlı optimizasyon modelini çözmek için ε-kısıtlama yöntemini kullandı. Bulanık tatmin edici teknik ile elde edilen çözümler arasında en iyi çözümü belirledi.	Dağıtılmış jeneratör birimlerinin birlik güç faktörü ile çalıştığı varsayılmıştır.
[130]	Dağıtım sistemlerinde dağıtılmış depolama birimlerinin tahsisi yoluyla Sistem güvenilirliğinin uygun maliyetli bir şekilde iyileştirilmesi için bir metodoloji önerilmiştir. Her şeyden önce, monte edilecek depolama birimlerinin ve dökülecek yüklerin en uygun kombinasyonunu belirlemek amaçlanmıştır.	Enerji depolama kurulum maliyetleri, müşterilerin güç kesintilerini önlemek için ödeme yapma isteği olarak ifade edilen güvenilirlik değerine göre optimize edilmiştir. Sistem bileşenlerinin stokastik doğasını açıklayan olasılıklı bir yaklaşım benimsedi. Dağıtım sistemlerine dağıtılmış depolama birimlerinin sistem güvenilirliğini artırmanın uygun maliyetli bir yolu olarak tahsis edilmesi için iki aşamalı bir model önerildi. Müşterilerin ödeme istekliliğini, gelişmiş sistem güvenilirliği açısından güvenilirlik değeri olarak gören, değer temelli bir güvenilirlik yaklaşımı benimsemiştir. Kurulacak dağıtılmış depolama birimlerinin optimum kombinasyonunu ve olası tüm olasılıklar sırasında dökülecek yükleri	Enerji geri ödemesi, enerji depolama sistemlerinin kullanılabilirliği ve DR belirsizliği dikkate alınmamıştır. Tüm düşüş denetleyici parametrelerinin aynı olduğu ve dağıtılan her depolama biriminin terminal gerilimin birim başına 1'e ayarlandığı varsayılmıştır. Dağıtılmış jeneratör senkron jeneratörünün

Tablo 3.3 (Devamı)

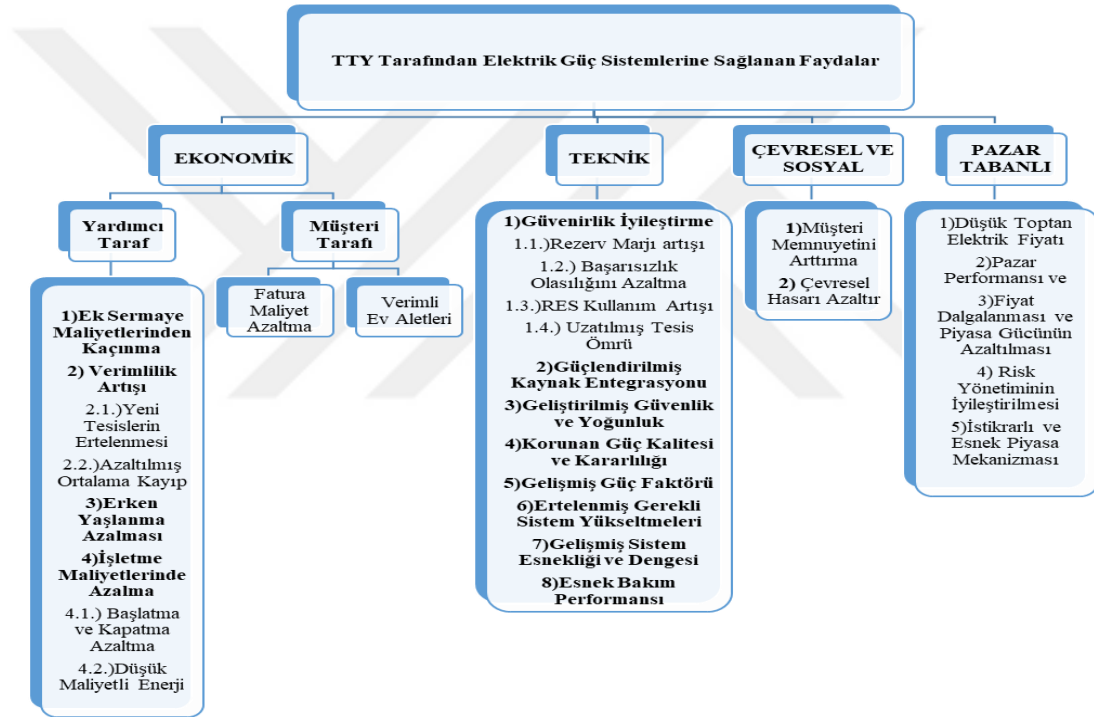
		belirlemek için dağıtılmış depolama kurulumu, bakım ve kesinti maliyetlerini içeren toplam yıllık maliyetleri en aza indirmiştir. Tahsis edilen TY birimlerinden güç gereksinimlerini hesaplamak için olasılıksal bir yaklaşım kullanılır. Bu yaklaşım, yükler ve mevcut TY dahil olmak üzere tüm sistem bileşenlerinin stokastik doğasını dikkate aldı.	şebekeye bağlı modda bir birlik güç faktörüne sahip olduğu varsayılmıştır.
[131]	Teşvik temelli TY'nın akıllı dağıtım sistemlerinin tedarik yeterliliğine katkısı değerlendirildi. Önerilen yaklaşımı, Çin'deki küçük ölçekli bir test senaryosu ve gerçek bir bölgesel dağıtım şebekesi kullanarak açıkladı.	Yeni bir TY modeli önerdi ve talep tarafı katılımındaki değişimi dikkate aldı. İletişim sistemlerinin TY 'nın uygulanması üzerindeki etkisi göz önünde bulunduruldu. Operasyon optimizasyonu ve güvenilirlik analizini birleştiren hibrit bir algoritma kullanılır. Müşteri yeteneklerinin mevcudiyetinde ve kullanıcıların katılmaya istekli olmasında farklılıklar göz önünde bulundurulur.	İletim hatlarının %100 güvenilir olduğu ve ağda olası bir olasılık olmadığı varsayılmıştır. Dağıtılmış jeneratör kullanılabilirliğini dikkate almadı.
[132]	Dağıtılmış jeneratör ve TY kaynaklarının varlığında endüstriyel mikro ızgaraların güvenilirliğini değerlendirdi.	Rüzgar ve fotovoltaik gibi yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji üretim teknolojileri uygulanır. Saat başına DG çıkış miktarını belirlemek için bir dizi senaryo düşünülür. Önerilen yöntemi IEEE-RBTS BUS 2 standart ağına ve İran'ın İsfahan kentindeki Mahmoud-Abad Sanayi Bölgesi ağına uyguladı.	İletim hattı arızası ve TY kullanılabilirliği dikkate alınmadı.

TTY 'nin potansiyel faydaları, etki alanına (örneğin, ekonomik, çevresel, pazar çapında temelli ve teknik etkiler) uygun olarak gözden geçirilmiştir. Buna göre, TTY 'nin elektrik güç sistemlerinin güvenilirliği üzerindeki etkileri üzerine bir literatür araştırması yapılmıştır. TTY tarafından sağlanan ekonomik, çevresel, piyasa performansı ve genel teknik faydalar arasında

- (1) Voltaj kararlılığının korunması.
- (2) İletim sıklığının giderilmesi.
- (3) Koruyucu bakım planlamasının esnekliğini arttırmak.
- (4) Elektrik güç sistemi tesislerinin gerekli iyileştirmesinin ertelenmesi.
- (5) Enerji kaynağının dengelenmesi.
- (6) Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili olmasının getirdiği dezavantajları azaltmak.
- (7) Elektrik güç sisteminin çalışmasının esnekliğinin artırılması.
- (8) Entegre kaynak planlamasının güçlendirilmesi.
- (9) Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak.
- (10) Aşırı başlangıç maliyetleri gerektiren termal ünitelerin başlatılması ve kapatılması.
- (11) Elektrik güç sistemlerinin güvenilirliğini korumak ve hizmet dışı kalma riskini azaltmak.
- (12) Sermaye maliyetlerinden kaçınmak.

- (13) Etkinliği arttırmak.
- (14) İşletme maliyetlerini azaltmak.
- (15) Güç kalitesini, güvenliğini ve güç faktörünü arttırmak.
- (16) Tüketici memnuniyetini arttırmak.
- (17) Elektrik güç sistemlerinin piyasa performansını iyileştirmek.
- (18) Çevresel hasarı azaltma.

Bu iyileştirmeler, kayıp ve erken yaşlanmanın azaltılması gibi önemli ikincil faydalar sağlayabilir ve etkili konut aletlerinin ve endüstriyel ekipmanların benimsenmesine yol açabilir. Bu faydalar Şekil 3.1 'de özetlenmiştir.



Şekil 3.1. TTY programı tarafından sağlanan faydalar [63].

TTY 'nin elektrik güç sistemleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek, entegre kaynak planlama alanı için yararlıdır. Çünkü bu alan TTY tarafından elde edilen potansiyel karşılıklı faydaların kapsamlı bir şekilde araştırılmasını gerektirir. Bu nedenle, elektrik güç sistemleri hakkındaki son araştırmalardan haberdar olmak için TTY 'nin güvenilirlik üzerindeki genel etkilerini dikkate aldık.

Güvenilirlik tabanlı TTY programları; yük hızla arttığında ve yeterlilik sınırlarını aştığında ve beklenmedik durumlardan sonra (örneğin, arızaların ortaya çıkması ve operasyonel sınırların

ihlal edilmesi) uygulanabilir. Bu iki durumda yük yönetim programı, buna göre yükü değiştirmeye veya azaltmaya karar verir. Böylece, yük yönetimi programları sistem yeterliliğini ve güvenliğini korur.

Yük değiştirme, yük yönetimine ana katkıda bulunur. Yük eğrisini etkiler. Maliyeti ve güvenilirliği önemli ölçüde artırır. Yük değiştirme, yük yönetimine ana katkıda bulunur. Bu faktörlere uygun olarak, yük değiştirme programları önleyici ve düzeltici yük değişimi olarak sınıflandırılabilir. Düzeltici yük değiştirme programı, hata oluştuktan sonra uygulanır ve ön risk yük değiştirme programı, sistem yüksek risk altındayken veya elektrik güç sistemleri tehlikeye girdiğinde uygulanır. Bu program türlerinin her ikisi de, optimum düzeyde güvenilirlik ve üretim maliyetleri sağlamak için uygulanabilir.

Müşteri hasar fonksiyonu veya kayıp yük değeri de TTY programından etkilenir. Pik kırpm riski azaltır. Ancak enerji geri kazanımı olmadan uygulanırsa tüketici memnuniyetsizliğini büyük ölçüde artırır. Vadinin doldurulması, elektrik sisteminin güvenliğini ve tüketici memnuniyetini biraz etkiler. TTY, modern elektrik şebekelerinin yönetimi için tamamlayıcı bir bileşen ve oldukça esnek bir araçtır. TTY programları, en yoğun ve aralıklı olarak çalışan birimlerin başlatma ve kapatma eylemleriyle bütünleştirilmişse, özellikle yedek bir marjın korunmasında risk seviyelerinin sınırlarını azaltabilir. Yük şekillendirme, yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintisi ve enerji depolama sistemlerinin sınırlı kapasitesi gibi dezavantajlarının üstesinden gelmek için iki veya daha fazla operasyonel performansı birbirine bağlar.

TTY 'yi uygulamak için birçok tesis ve ekipman (ör. sensörler, iletişim ortamı, ölçüm ve izleme cihazları) kurulmalıdır. Her ne kadar bu kurulumlar yüksek başlangıç maliyetleri gerektirse de, şebeke ve tüketicilere karşılıklı yarar sağlarlar. Bu faydalar şebekenin kontrol edilebilirliğini ve gözlenebilirliğini arttırmayı içerir. Buna ek olarak, modern ve sürekli gelişen trendleri ve (örneğin; akıllı şebeke, microgrid, dinamik ısı dereceleri, enerji depolama sistemleri, plug-elektrikli araç, esnek AC iletim sistemleri ve yüksek gerilim DC iletim hattı sistemleri) teknolojileri ile TTY entegre sistem verimliliğini arttıracaktır. Yük profilinin sürekli izlenmesi, elektrik fiyatlarını gerçek zamanlı olarak belirlemenize yardımcı olacaktır. Buna göre, havai hatların termal değerleri gerçek zamanlı olarak izlenebilir.

Araştırılması gereken önemli konular şunlardır:

1. TTY, elektrik güç sistemlerinin ekonomik, çevresel ve pazar çapında performanslarını etkiler. Bununla birlikte, TTY 'nin elektrik güç sistemlerinin ekonomik, çevresel ve pazar çapında performansları üzerindeki etkilerini elektrik güç sistemlerinin güvenilirliği ile karşılaştırarak TTY 'nin sağladığı karşılıklı faydaları değerlendiren çok az çalışma vardır. Bu nedenle, TTY 'nin birçok potansiyel avantajı henüz tam ve nicel olarak araştırılmamıştır.

2. Elektrik enerjisi sistemi hizmetleri ve Elektrik Piyasası son zamanlarda verimliliği artırmak için kaynak entegrasyonuna odaklanmıştır. Enerji kaynaklarının entegrasyonunda TTY 'nin potansiyel olarak önemli rolü dikkate alınmalıdır.
3. Enerji verimliliği, uzun vadeli enerji maliyetlerinin azaltılmasına katkısı ve güvenilirliğin artırılması üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle umut verici bir gelişmedir.
4. Yüksek voltajlı DC iletim hattı sistemleri, güç akışı, arıza oranı ve beklenmedik durumlar gibi birçok açıdan yüksek voltajlı AC iletim hatlarından farklıdır. TTY 'nin elektrik güç sistemlerinin güvenilirliği üzerindeki etkileri bu açıdan incelenmemiştir.
5. TTY faaliyetlerinin uygulanmasının maliyeti, TTY varlığında güvenilirlik değeri/maliyetinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi açısından ayrıntılı olarak değerlendirilmemiştir. TTY 'nin kendi avantaj ve dezavantajlarını sergilediği göz önüne alındığında, TTY 'nin olası kusurları dikkatle incelenmelidir.
6. Güç sistemlerinin davranışı ile ilgili varsayımlar (örneğin, yaşlanma etkisi, üretim birimlerinin kısmi kesintisi, görev döngüsü ve zirve, aralıklı işletim birimlerinin arızaya başlaması, belirsizlikler, çok alanlı sistemler, doğal afetler, dinamik termal değerler ve programlı bakım) dikkate alınmamıştır.
7. TTY programları, elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı için alternatif bir araç sağlayarak planlamacıların ve karar vericilerin seçimlerini artırır. Bir TTY programının uygulanmasına karar verirken, genişleme planlaması sırasında yeni üretim birimleri, iletim hatları inşa ederken doğru bir değerlendirme yapılmalıdır.
8. TTY programları, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak, zirve ve aralıklı işletme birimlerinin başlatılmasını, kapatılmasını azaltarak ve en yüksek talebi karşılamak için ilave altyapının geliştirilmesini erteleyerek çevresel hasarı azaltır. Bununla birlikte, çok az çalışma TTY 'nin çevresel etkilerini değerlendirmiştir.
9. Yük paylaşımı varlığında diğer sorunlar da araştırılmalıdır. Bu sorunlar, üretim maliyeti ve tüketici memnuniyetini optimum seviyeye MW iplik rezerv üzerinde dönen bir rezerv olarak TY en iyi yardımcı hizmet uygulama keşfetmek yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemi türleri ve uygulamaları çeşitlilik adresleme ve elektrik piyasasının ortamında TY programı çerçevesinde adil bir oran bulma karşılık; güvenilirlik en yüksek düzeyde bulgu vardır.

3.5. Frekans Yönetmeliğinde Talep Tarafı Katılımının Değeri

Gelecekteki Avrupa elektrik sistemi, özellikle rüzgar gibi yenilenebilir enerjinin nüfuzunu arttırma hedeflerinin bir sonucu olarak önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Yüksek rüzgar enerjisi penetrasyonu ve daha az esnek düşük karbonlu üretimden artan katkı ile verimli gerçek zamanlı talep-arz dengelemesi büyük bir zorluk haline gelecektir. Bu öncelikle

rüzgar rezervi belirsizliği ve azaltılmış sistem ataleti ile başa çıkmak için çeşitli rezerv ve frekans düzenleme hizmetlerine olan artan ihtiyaçtan kaynaklanacaktır.

Bu, özellikle yüksek rüzgar gücü ile birleştirildiğinde düşük talep dönemlerinde önemli bir sorun haline gelir. Eğer üretim tarafı, yan hizmetlere olan ihtiyacı arttırmak için tek kaynak olarak kalırsa; bu sadece sistem işletiminin verimliliğini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda sistemin rüzgarı emme yeteneğini de sınırlayabilir.

Bu nedenle, esneklik için artan gereksinimlerin, örneğin enerji depolama ve talep tarafı yanıtı (DSR) gibi diğer esnek seçenekler tarafından karşılanması gerekebilir. Elektrik sisteminde talep tarafı yanıtı en büyük faydaları ve zorlukları tartışılmıştır [133]. Talep tarafı yanıtının temel faydaları, üretim marjını azaltmak, iletim şebekesini ve dağıtım ağı yatırım ve işletme verimliliğini artırmak ve aralıklı yenilenebilir sistemlere sahip sistemlerde talep-arz dengesini yönetmek olarak tanımlanır. Talep tarafı yanıtının frekans yanıtı sağlama olasılığı simüle edilerek test edildi [133].

Talep tarafı yanıtı ile ilgili önceki araştırmalar, ani elektrik santrali kesintilerine cevap vermek ve böylece bu tür olaylarla başa çıkmak için gereken yedek güç maliyetini azaltmak için uygulanabileceğini göstermiştir. Talep tarafı yanıtının elektrik sisteminin ekonomik, çevresel performansı için sağladığı fayda müdahale ve rezerv gereklilikleri dikkate alınarak yıllık sistem işletimi simülasyonu ile tahmin edilmiştir [133].

Bu çalışma atalete bağlı frekans tepkisi ile gelişmiş bir stokastik birim yorum modeli sunmaktadır. Model, gelecekte Avrupa düşük karbonlu elektrik sisteminde frekans düzenleme hizmetleri sağlamada talep tarafı yanıtının sistem faydalarını analiz etmek için uygulanır.

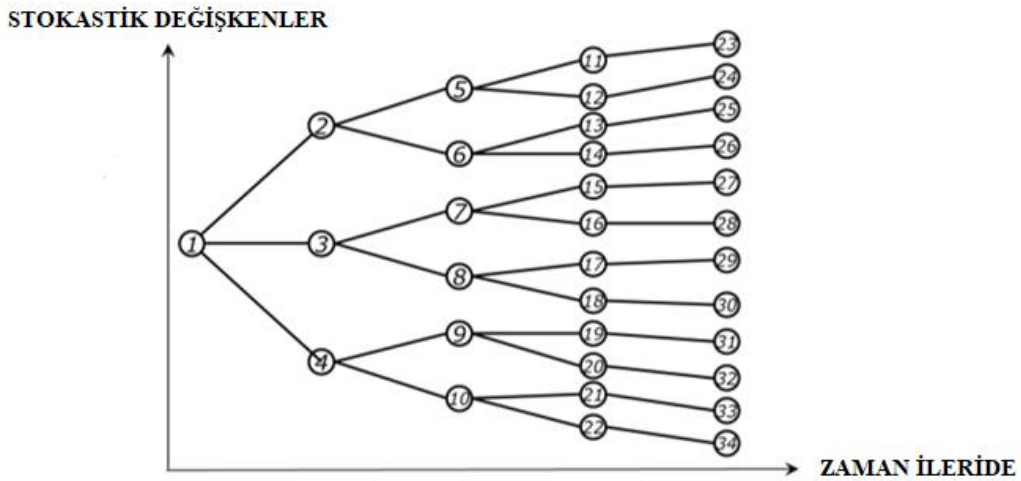
3.5.1. Yöntem

DSR 'nin değerini değerlendirme yöntemi hem enerji dağıtımını hem de rezerv ve frekans düzenleme hizmetlerinin sağlanmasını göz önünde bulundurabilen, en düşük maliyetli yıllık üretim sistemi programlama yaklaşımına dayanmaktadır. Üretim planlaması, bir güç sistemindeki jeneratörlerin çeşitli rezerv ve frekans yanıt hizmetlerine duyulan ihtiyacı dikkate alarak taahhüt ve dağıtım kararlarını belirler. Maliyet minimizasyonu, çeşitli dinamik çalışma kısıtlamalarına, örneğin termal üniteler için başlatma sürelerine tabidir. DSR değerinin ölçülmesi, DSR 'nin frekans yanıt provizyonuna katkısı olan ve olmayan sistem işletme maliyetinin karşılaştırılması ile sağlanır [133].

3.5.2. Stokastik Birim Taahhüt Modeli

Stokastik zamanlama simülasyon aracı; rüzgar, talep ve jeneratör kesintisi belirsizlikleri ışığında optimize edilmiş üretim programları sağlamak için tasarlanmıştır. Rüzgar

gerçekleşmeleri, rüzgar tahmini hataları ve jeneratör kesintileri modellerden sentezlenir. Belirsizlikler, kısıtlamalar göz önüne alındığında en uygun taahhüt ve sevk kararlarını bulan bir zamanlama aracına beslenir. Kararlar, olası bir senaryoyu temsil eden ağaç boyunca her bir yol ile stokastik değişkenlerin (örneğin mevcut rüzgar çıkışı) sonuç aralığının bir ayrıklığını temsil eden bir senaryo ağacı kullanılarak bulunur. Basitleştirilmiş bir senaryo ağacı Şekil 3.2 'de gösterilmiştir [133].



Şekil 3.2. Stokastik değişken için senaryo ağacı [133].

Ağaçtaki her düğüm için bir dizi uygulanabilir kontrol kararı elde edilir, böylece beklenen toplam işletme maliyeti en aza indirilir. Bu nedenle, 24 saate kadar uzanan tüm ağaç her adımda çözülmelidir. İşletme rezervi gereklilikleri model içinde endojen olarak optimize edilmiştir. Buna ek olarak, model saniyeden on dakikaya kadar kısa zaman çizelgeleri üzerinde frekans düzenleme hizmetleri sağlayabilen alternatif teknolojileri düşünebilir. Bunlar hem geleneksel jeneratörleri hem de DSR gibi alternatif frekans düzenleme sağlayıcılarını içerebilir. Modelin verimlilik kaybını, yani frekans regülasyonu sağlayan geleneksel jeneratörlerin sonucu olarak işletme maliyetindeki artışı yakaladığı göz önüne alındığında, bu modelleme çerçevesi, geleneksel jenerasyonun bu hizmetleri sağlama ihtiyacını azaltarak alternatif frekans regülasyon sağlayıcılarının değerini belirlemek için kullanılabilir. Sistem işletim maliyetinde ortaya çıkan azalma, DSR değerini belirlemek için kullanılır [133].

3.5.3. Gelecekteki Güç Sisteminde Frekans Düzenleme Hizmetleri İçin Gereksinimler

Bu bölüm, frekans düzenleme hizmetleri için gereklilikleri ölçmek için kullanılan sistem frekans değişimlerinin modellenmesini sunmaktadır [133].

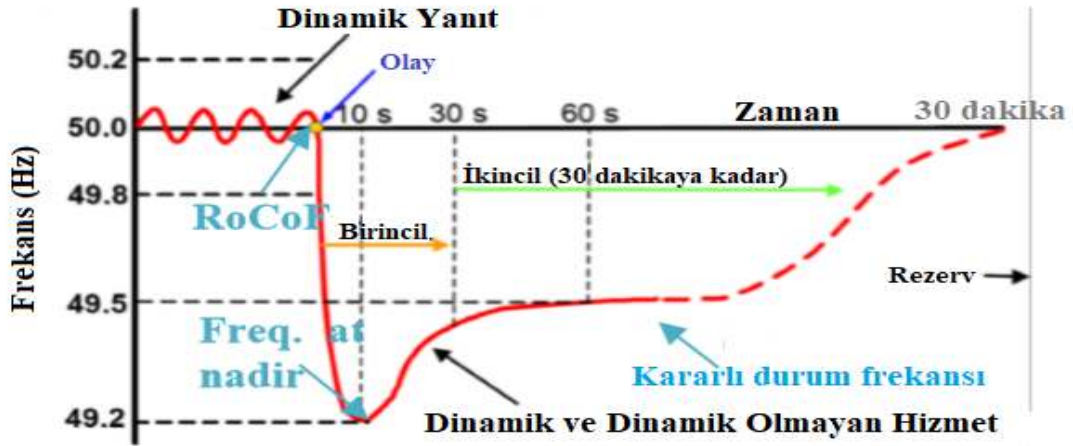
Sistem frekans sapmasının zaman evrimi birinci dereceden bir ODE ile tanımlanabilir:

$$2H \frac{\partial \Delta f(t)}{\partial t} + \times P^D \Delta f(t) = \sum_{g,s \in G,S} \Delta P_{g,s}(t) - \Delta P_L \quad (3.1)$$

Burada H [MW s^2] sistem ataleti, D [% / Hz] yük sönümleme oranını, P^D [MW] yük seviyesini ve $\Delta P_{g,s}$ [MW] jeneratör (g) veya depolama (s) üniteleri tarafından sağlanan ek gücü tanımlar. ΔP_L [MW] ise üretim kaybını temsil eder.

Frekans kontrolünün amacı, frekansın dinamik gelişimini (örneğin jeneratör kesintisinden sonra) belirli güvenlik eşikleri dahilinde tutmaktır.

Şekil 3.3 'de gösterildiği gibi, diferansiyel denklem (3.1), ilişkili kısıtlamalar biçiminde üç karakteristik dönem göz önüne alınarak SUC modeline eşlenir [133]:



Şekil 3.3. Bir acil (beklenmedik) durumdan sonra sistem frekans gelişimi (Ulusal Şebeke) [133].

3.5.4. Frekans değişim oranı (RoCoF)

RoCoF kısıtlamasını içeren zaman ölçeği, jeneratör arızasından sonraki ilk birkaç saniye ile sınırlıdır. Belirli bir üretim kaybı için, maksimum RoCoF gereksinimini karşılamak için gereken minimum atalet seviyesi şu şekilde elde edilebilir [133]:

$$H = \frac{\sum_{g=1}^{G_{conv}} H_g P_g^{max} N_g^{up}(n)}{f_0} \geq \left| \frac{\Delta P_L}{2RoCoF_{max}} \right| \quad (3.2)$$

3.5.5. Frekansın En Alt Noktası

Frekansın en alt noktası, sistem frekans evriminin geçici dönemde minimum değerine ulaştığı nokta olarak tanımlanır; bu aralık için zaman ölçeği, jeneratör arızasından sonra 2 saniyeden 10 saniyeye kadar gider. Sistem ataletine ve regülatörlerin (düzenleyicilerin) tepkisine bağlıdır [133].

$$\begin{cases} \frac{\sum_{g \in G_{CONV}} H_g * P_g^{max} * y_g}{50} \geq k^* \\ -M(1 - N_g^{up}(n)) \leq y_g - R \leq M(1 - N_g^{up}(n)) \\ -M * N_g^{up}(n) \leq y_g \leq M * N_g^{up}(n) \end{cases} \quad (3.3)$$

Burada M büyük bir sayıdır ve k benzersiz bir çözümdür.

$$\frac{2k^*}{T_d} \times \log\left(\frac{2k^*}{T_d * D \Delta P_L' + 2k^*}\right) = -D^2 \Delta f_{min} - D \Delta P_L' \quad (3.4)$$

3.5.6. Yarı Kararlı Durumda Frekans

Yarı-kararlı durum koşulu esas olarak jeneratörler ve depolama birimleri tarafından verilentoplam frekans cevabı miktarına bağlıdır. Bu nedenle, herhangi bir üretim kaybı ΔP_L genliği için, RoCoF 'un etkili bir şekilde sıfır olduğu, yani frekansın sabit bir seviyeye ulaştığı varsayılarak, yarı-kararlı durum frekans sapması bulunabilir [133]:

$$\Delta f^{SS} = \frac{R - \Delta P_L}{D} \geq \Delta f_{min}^{SS} \quad (3.5)$$

Bu, yarı-kararlı hal frekans kriterini aşağıdaki gibi karşılamak için gerekli cevabın ölçülmesine izin verir [133]:

$$r \geq \Delta P_L + D \Delta f_{min}^{SS} \quad (3.6)$$

3.6. Durum Çalışmaları

Test Sistemi için Simüle Senaryolar

Programlama frekansı düzenlemesi ile ilgili olarak iki farklı yaklaşım düşünülmektedir:

1. Sabit yanıt gereksinimi
2. Atalet bağımlı yanıt gereksinimi

Sabit yanıt gereksinimi ile sistemde gereken frekans yanıtı hacminin, geleneksel jeneratörlerin egemen olduğu bugünün sistemiyle aynı şekilde belirlendiği ve dolayısıyla saatten saate değişmediği varsayılmaktadır. Bu rüzgar üretiminin eşzamanlı geleneksel üretim ile benzer atalet düzeyi sağladığını varsaymaya benzer. Atalet bağımlı yanıt gereksinimi, rüzgar üretimi tarafından hiçbir atalet sağlanmadığı varsayılarak, çalışmamızdaki her zaman aralığı için o saatteki senkronize konvansiyonel kapasite seviyesine göre ölçülmüştür. Dolayısıyla bu yaklaşım, gün içinde ve yılın mevsimleri arasında yanıt gereksinimlerinde önemli değişikliklere neden olur [133].

Bunlara ek olarak, DSR tarafından sağlanan birincil frekans regülasyonunun hacmi ile ilgili çeşitli senaryolar dikkate alınmaktadır [133]:

1. Herhangi bir zamanda toplam talebin %1 seviyesinde birincil yanıt
2. Herhangi bir zamanda toplam talebin %5 seviyesinde birincil yanıt
3. Ortalama talebin %1 'inin sabit seviyesinde birincil yanıt (2020 'de 385 MW, 2030 'da 435 MW)
4. Ortalama talebin %5 'inin sabit seviyesinde birincil yanıt (2020'de 1,923 MW, 2030'da 2,180 MW)

Senaryo 3 ve 4 'teki sabit frekans yanıtı, yıllık bazda ortalama saatlik talebin % 1 'ini ve % 5 'ini yansıtabilecek şekilde oluşturulmuştur. Buna karşılık, 1 ve 2 senaryolarında DSR 'nin frekans regülasyonu sağlama yeteneği, anlık sistem talebine göre saatten saate değişir.

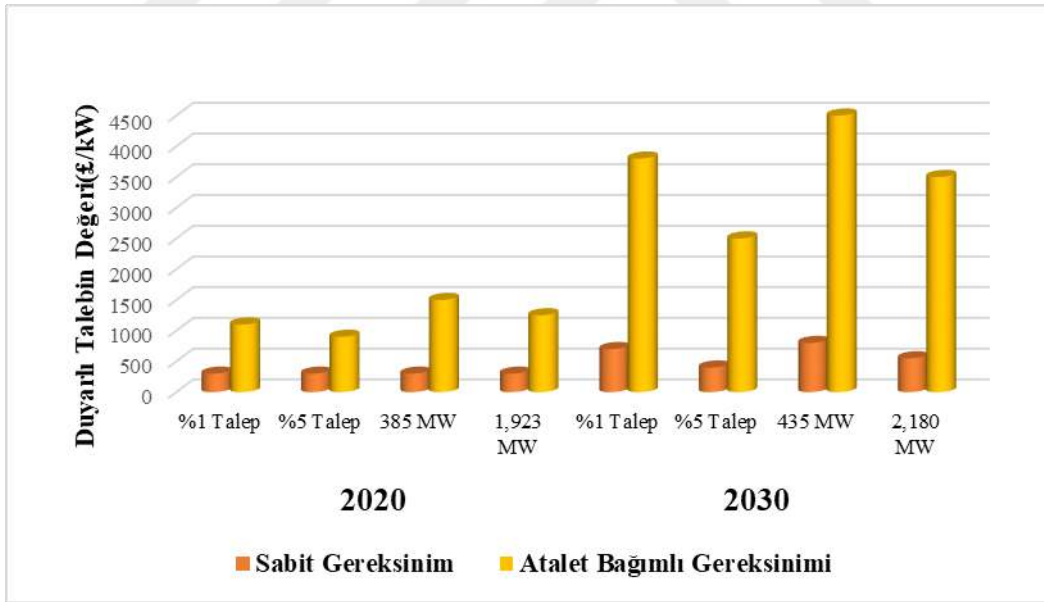
Değer, DSR 'nin frekans düzenlemesine katkısı olsun ya da olmasın yıllık sistem işletim maliyeti karşılaştırılarak değerlendirilir. Ortaya çıkan işletme maliyeti tasarrufu, daha sonra esnek talep kapasitesinin kW başına yıllık değeri olarak ifade edilir ve %7 'lik iskonto oranı varsayımıyla aktifleştirilir [133].

Gelecekteki Test sistemi için üretim ve talep arka planına ilişkin varsayımlar, Enerji ve İklim Değişikliği Departmanı (DECC) tarafından analiz edilen dengeli EMR senaryosuna dayanmaktadır [134]. 2020 'de üretim kapasitesi yaklaşık 92 GW olup, bunların yaklaşık 20 GW 'si rüzgar üretmektedir. 2030 yılında toplam kurulu güç, çeyrek rüzgar kapasitesiyle katkıda bulunan 109 GW civarındadır. Yıllık elektrik talebini karşılamada rüzgarın nüfuzu 2020 ve 2030 'da sırasıyla % 21 ve % 26 'dır. 2020 yılında yıllık elektrik talebi 337 TWh seviyesinde kabul edilirken, 2030 yılında bu varsayım 381 TWh seviyesinde gerçekleşmiştir. İngiltere 'deki saatlik profiller rüzgar ve talep dalgalanmaları için kullanılır. 2020 ve 2030 yıllarında yanıt veren talebin

sağladığı değeri analiz ederek, frekans düzenlemesi için DSR 'nin zaman içinde dağıtılmasının potansiyel faydalarının gelişimini geniş ölçüde belirlemek mümkündür.

Test Sistemindeki DSR değeri

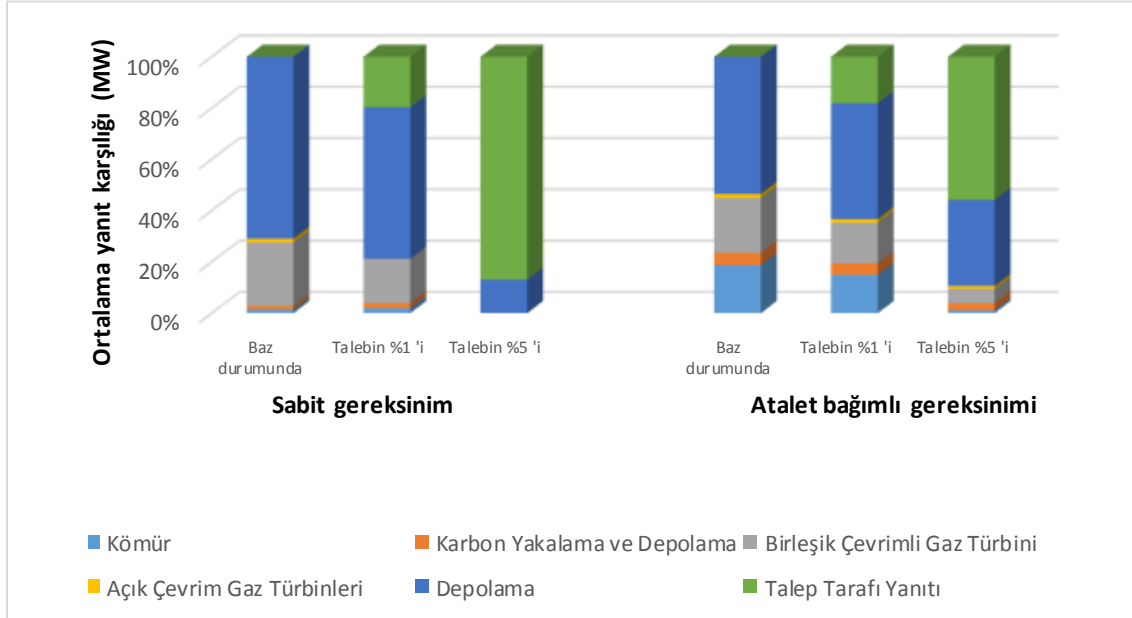
Bu değerlendirmenin sonuçları Şekil 3.4 'te sunulmaktadır. Atalete bağlı yanıt gereksinimi durumunda DSR değeri birkaç kat daha yüksektir. Bu, yanıt veren dört talep senaryosunun tümü için geçerlidir. Ayrıca, duyarlı talebin hacmi arttıkça, esnek kapasitenin kW başına duyarlı talebin değerinin azaldığını da not ediyoruz. Başka bir deyişle, DSR 'nin ilk megawatt 'larının sistem için en yüksek değeri oluşturduğu bir doyumluk etkisi vardır ve daha sonraki kapasite daha düşük faydalarla sonuçlanır. Bununla birlikte, atalete bağlı durumda kW başına değer 2030 'da 2.500 £ / kW ile 4.500£ / kW arasında değişen tüm senaryolar için yüksektir ve frekans tepki pazarının hacmi 5GW 'yi aşmaktadır. Sabit yanıt gereksinimi olan değer hala önemli olmasına rağmen daha düşüktür (1.000 £ / kW'a kadar). Hem %1 hem de %5 durumunda, 2020 'deki değerler 2030 sisteminden önemli ölçüde daha düşüktür (2030 değerinin kabaca yarısı). Bununla birlikte, mutlak terimlerdeki değerin, özellikle atalete bağlı durumda, hala oldukça önemli olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 3.4. Gelecekteki test sistemindeki DSR değeri [133].

Frekans düzenleme hizmetlerinin hacimlerinin DSR 'den frekans yanıtı sağlanmasıyla nasıl değiştiğini göstermek için Şekil 3.5 çeşitli üretim, depolama veya DSR teknolojileri tarafından sağlanan frekans düzenleme hizmetinin dökümünü göstermektedir. Arıza göreceli (yüzde)

terimlerle sunulur; ortalama sabit yanıt gereksiniminin 1.8 GW olduğunu, ataletle bağımlı gereksinim için bunun 2.7 GW civarında olduğunu not ediyoruz.



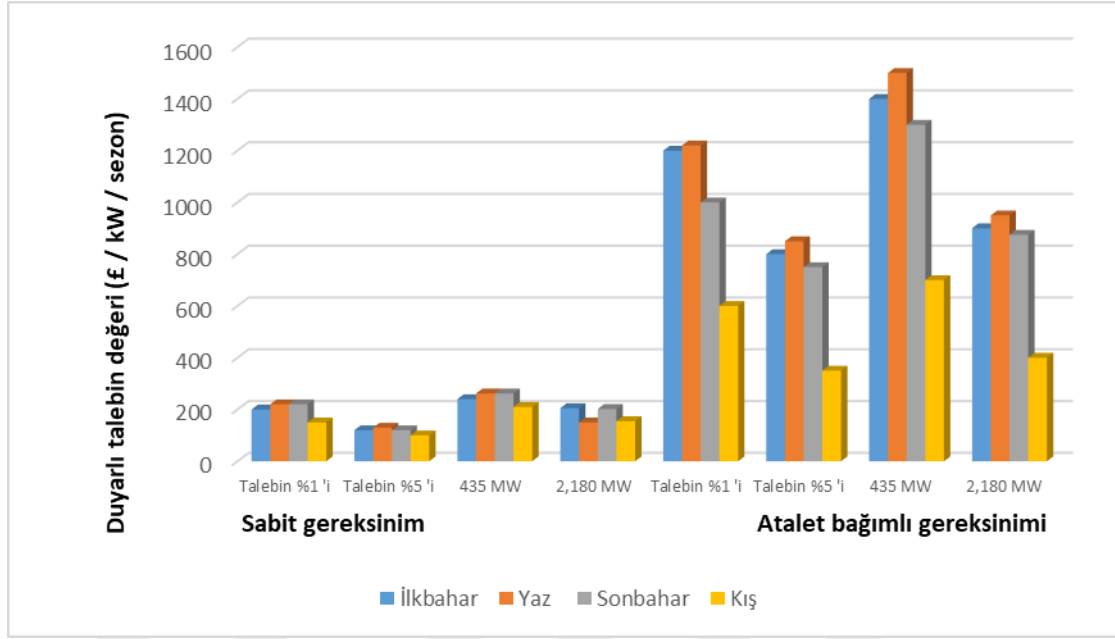
Şekil 3.5. Farklı duyarlı talep senaryoları için frekans düzenleme sağlayıcılarının bileşimi [133].

Sabit yanıt gereksinimi durumunda (Şekil 3.5 sol) depolama ve CCGT üniteleri, temel durumda (yani DSR olmadan) frekans tepkisini sağlar, ana kısım depolama ile katkıda bulunur (ortalama olarak yaklaşık 1.5 GW). DSR 'yi sistem talebinin %1 seviyesinde tanıttıktan sonra, depolama ve CCGT ile yanıt sağlanması düşer. DSR penetrasyonunun %5'e çıkarılması, diğer frekans düzenleme sağlayıcılarını kullanma ihtiyacını neredeyse tamamen ortadan kaldırır.

Ataletle bağlı durumda (Şekil 3.5 sağ), sistemin temel durumda yeterli frekans yanıtı seviyeleri sağlamak için kömür üretimini (hem geleneksel hem de CCS) kullanması gerekir. Kısmi yüklü üretim düşük verimlilikle çalışacak ve dolayısıyla ek yakıt ve karbon maliyetine neden olacaktır. Bu ataletle bağlı yanıt gereksinimi durumunda frekans tepkisinin sağlanmasının önemli ölçüde daha pahalı olacağı sonucuna yol açar.

Talep Tarafı Yanıtının Günlük ve Mevsimsel Değeri

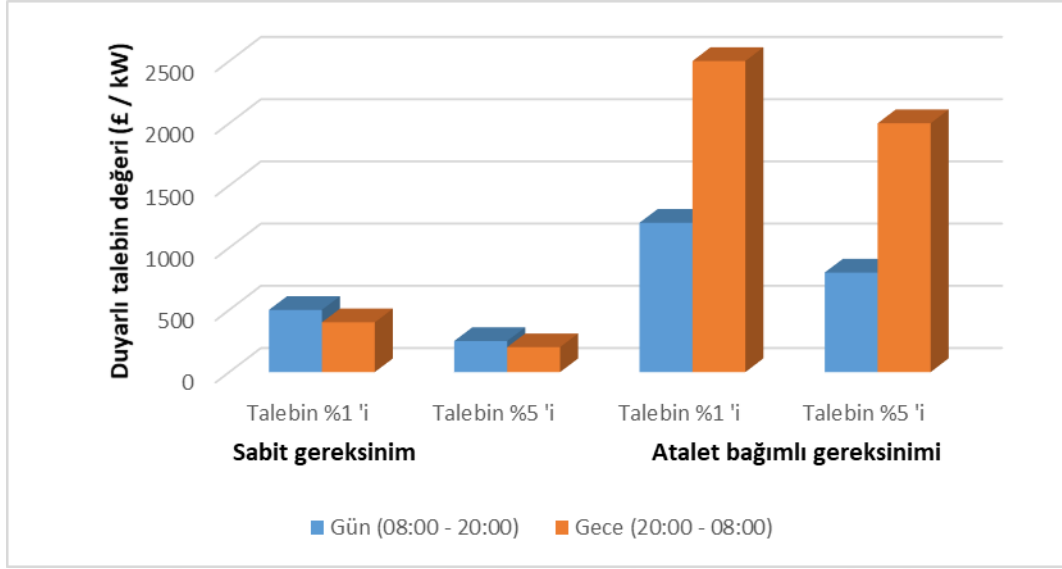
Şekil 3.6 ayrıca, Şekil 3.4 'de sunulan duyarlı talebin değerini, bu değer üretildiği yılın mevsimine göre bileşenlerine ayırmaktadır.



Şekil 3.6. Mevsime karşılık gelen talebin değeri [133].

Sabit yanıt gereksinimi için DSR değerinin sonbaharda en yüksek olma eğiliminde olduğunu ve bu mevsimde daha yüksek rüzgar çıkışı ile tahrik edildiğini not ediyoruz. Öte yandan, yanıt gereksinimi ataletle bağlı ise, DSR değeri, düşük talebin yüksek hacimlerde frekans düzenleme hizmetleri gerektirdiği yaz aylarında en yüksektir. Her iki durumda da DSR 'nin değeri, yüksek talep nedeniyle kışın en düşük seviyededir.

DSR 'nin mevsimsel değerlerine benzer şekilde, değeri günün farklı saatlerinde kırmak da ilginçtir. Gündüz ve gece dönemleri için ilgili sonuçlar Şekil 3.7 'de sunulmuştur. Sürekli yanıt gereksinimi ile yanıt veren talebin değerinin gündüzleri biraz daha yüksek olduğunu not ediyoruz. Gece boyunca, depolama için normalde gerekli yanıtı toplu sağlayan yeterli olan pompalama olmasıdır. Ataletle bağlı yanıt gereksinimi ile yanıtlanan talebin değeri, senkronize kapasitenin düşük olduğu gece saatlerinde çok daha yüksektir. Bu nedenle daha fazla frekans yanıtı gerektirir.



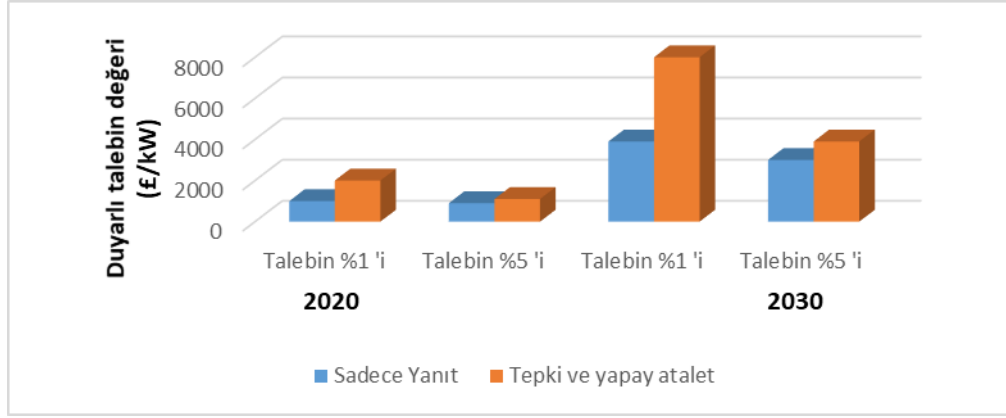
Şekil 3.7. Günü zamanlarında duyarlı talebin değeri [133].

Talep Tarafı Yanıtı ile Eşzamanlı Yanıt ve Sentetik Atalet Sağlanması Değeri

Şimdiye kadar sunulan örnek çalışmalarda, DSR 'nin birincil Frekans tepkisi sağlayabileceği, yani bir jeneratör kesintisi sonrasında frekans düştükçe talebi kademeli olarak azaltabileceği, ancak sistem ataletine, geleneksel jeneratörlerin senkronize edilmiş döner makinelerine benzer şekilde katkıda bulunamayacağı varsayılmaktadır.

DSR tarafından sağlanan ek atalet, hızlı talep düzenleme kapasitesinin kW başına daha fazla katma değerine yansıtılacak olan hızlı frekans düzenleme hizmetleri gereksinimlerini azaltacaktır. Bu, yanıt ve ataletin kombine sağlanması değeri, DSR tarafından yalnızca yanıtın sağlandığı durumlarda önceki sonuçlarla karşılaştırıldığı Şekil 3.8 'de nicelleştirilmiştir. Sunulan sonuç, ataletle ilgili yanıt gereksinimine dayanmaktadır.

Sentetik atalet sağlanmasının sistem için önemli ek faydalar sağladığını not ediyoruz. Örneğin, 2030 Test sisteminde ve talebin %1 'inin DSR 'ye katıldığı durumlarda, değer en fazla £ 3,600 / kW 'dan £8,100 / kW 'a yükselir. Diğer durumlarda da önemli artışlar gözlenir. Bu sonuçlar, DSR tarafından sentetik ataletin sağlanmasının sistem için önemli bir değer kaynağı olabileceğini ve atalet sağlamak için teknolojinin gerekli işlevselliğinin geliştirilmesinin gelecekteki araştırmalar için büyük ilgi gösterebileceğini göstermektedir.



Şekil 3.8. DSR tarafından frekans yanıtı ve sentetik atalet eşzamanlı sağlanması değeri [133].

4. MATERYAL VE METOT

Bilim insanları, az enerjiyle daha çok ışık akısı elde etmek için çalışmaktadırlar. Bunun nedeni sürekli artan aydınlatma talebi ve aynı zamanda enerji maliyetlerinin artmasıdır. Bu nedenle az enerji tüketen aydınlatma armatürleri, tüketicilerin ilgi odağı olmuştur. Günümüz dünyasında ise LED tabanlı aydınlatma armatürleri tercih sıralamasında ilk sıraya yerleşmiştir. Şüphesiz eski nesil aydınlatma sistemlerinin yüksek enerji sarfıyatı ve verimsiz oluşu, bu tercihin temel nedeni olmuştur. LED aydınlatma sistemlerinin diğer aydınlatma ürünlerine kıyasla insan sağlığına zararlı materyalleri içermemesi de kullanıcıların tercih nedenleri arasındadır [135].

4.1. Talep Tarafı Yönetiminde Led Aydınlatma Kullanarak Enerji Verimliliğini Gösteren Uygulama

Şebekede puant yüklenmenin önüne geçebilmek ve tüketicilerin bilinçli elektrik tüketimi yaparak elektrik faturalarında tasarruf yapabilmeleri için mesken tipi enerji tüketiminin kontrol edilebilmesi önemlidir. Türkiye 'de toplam elektrik tüketiminde aydınlatma, büyük bir yüzdeye sahiptir. Belirlenen örnek meskende bir ay boyunca akıllı prizler ile ölçüm değerleri alınarak aydınlatmanın elektrik tüketimindeki oranı bulunacaktır. Belirlenen meskendeki aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminin fazla olması durumunda ise bu oranı azaltmaya yönelik enerji verimliliği kapsamında birtakım yöntemler uygulanacaktır [135].

Enerji verimliliği yalnız tüketicilerin fatura bedellerini azaltmasına ek olarak aynı zamanda puant yüklenmelerin azalmasına ve şebekenin daha kararlı bir yapıya ulaşmasını sağlayacaktır [135].

4.2. Mesken Aydınlatmasında Enerji Verimliliği

Tablo 4.1 'de örnek meskene ait kullanılan ev aletlerinin verileri verilmiştir. Ortalama aylık tüketim Tablo 4.1 'de de görüldüğü gibi 251,60 kWh yıllık tüketim ise 3019,2 kWh 'dır. Elektrik maliyeti = 0,574033 TL/kWh olarak alındığında aylık ödenen toplam tutar 144,43 TL ; yıllık ödenen tutar ise 1733,12 TL 'dir.

Tablo 4.1. Örnek meskene ait elektrikli ev aletleri tüketim hesaplamaları

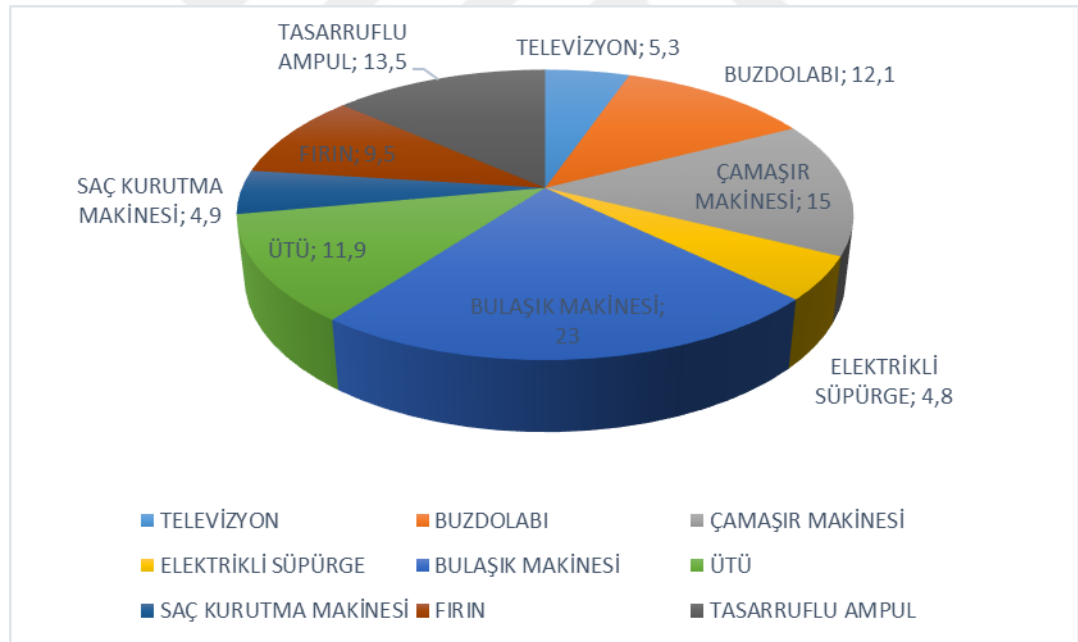
ÜRÜN	ADET	TÜKETİM (W)	ÇALIŞMA SÜRESİ (SAAT)	HAFTALIK KULLANIM (DEFA)	YILDA KAÇ AY KULLANILI YOR	AYLIK TÜKETİMİ (kWh)	YILLIK TÜKETİMİ (kWh)
Tasarruflu Ampul	12	20	5	7	12	33,6 kWh	403,2 kWh
Çamaşır Makinesi(A+)	1	800	3	4	12	38,40 kWh	460,80 kWh
Elektrikli Süpürge	1	1500	1	2	12	12 kWh	144 kWh
Bulaşık Makinesi(A+)	1	1800	2	4	12	57,60 kWh	691,2 kWh
Ütü	1	2500	1	3	12	30 kWh	360 kWh
Saç Kurutma Makinesi	1	2200	0,2	7	12	12,32 kWh	147,84 kWh
Fırın	1	2000	1,5	2	12	24 kWh	288 kWh
Buzdolabı (Büyük Boy/A+)	1	45	24	7	12	30,24 kWh	362,88 kWh
Televizyon(47 inç LED Ekran)	2	80	3	7	12	13,44 kWh	161,28 kWh

Mesken' e ait kullanılan her bir ev aleti için ödenen tutar ise Tablo 4.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Elektrikli ev aletleri için ödenen tutar

ÜRÜN	ADET	AYLIK ÖDENEN TUTAR	YILLIK ÖDENEN TUTAR
Tasarruflu Ampul	12	19,29 TL	231,48 TL
Çamaşır Makinesi(A+)	1	22,04 TL	264,48 TL
Elektrikli Süpürge	1	6,89 TL	82,68 TL
Bulaşık Makinesi(A+)	1	33,06 TL	396,72 TL
Ütü	1	17,22 TL	206,64 TL
Saç Kurutma Makinesi	1	7,07 TL	84,84 TL
Fırın	1	13,78 TL	165,36 TL
Buzdolabı(Büyük Boy/A+)	1	17,36 TL	208,3 TL
Televizyon(47 inç LED Ekran)	2	7,71 TL	92,58 TL

EMO verilerine göre Türkiye mesken elektrik tüketimi, Türkiye 'de toplam elektrik tüketiminin %22 'sini oluşturmaktadır [135]. Beş kişilik bir aileye ait aylık elektrikli ev aletlerinin kW gücü ve tüketim süreleri baz alınarak tüketim yüzdeleri Şekil 4.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Beş kişilik bir ailenin aylık elektrik tüketimi yüzdeleri

Tüketim verileri göz önüne alındığında buzdolabı, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi ve aydınlatma için kullanılan elektrik tüketiminin diğer cihazlara oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Aydınlatma için kullanılan elektrik tüketimi için bir ölçüm imkanı olmadığından aydınlatmanın seçilen meskende yaşayan kişiler tarafından ne kadar zaman kullanıldığı not

edilerek ve ampullerin Watt değerleri ile çalışma süreleri çarpılarak kWh değerleri bulunmuştur. rnek meskende aydınlatmadan yapılacak enerji verimliliği, aile bireylerinin bütçesine katkı sağlayacaktır. Bir meskende aydınlatmadan yapılan enerji verimliliği Türkiye’deki tüm meskenlere uyarlandığında ise önemli bir enerji verimliliği potansiyelinden bahsedilebilir. Tez çalışmasının bu bölümünde sadece örnek meskendeki aydınlatmadan kaynaklı enerji tüketiminde var olan enerji verimliliği potansiyeli üzerinde durulacaktır [100]. Seçilen rnek evde 20 Watt gücünde 12 adet tasarruflu ampul kullanılmıştır. Kullanılan tasarruflu ampuller yerine tüketicinin konforunu bozmayacak aynı ışık rengi ve lümen değerinde LED (Işık Yayan Diyot, “Light Emitting Diode”) ampullerin kullanılmasıyla önemli ölçüde enerji verimliliği sağlamak mümkündür [135].

Talep Tarafı Yönetimi kapsamında hem enerji verimliliği hem de yk öteleme için tüketicilerin konfor şartlarının bozulmaması önemlidir. Bu yüzden değiştirilecek olan tasarruflu ampullerin yerine aynı ışık miktarında ve ışık rengine de led ampuller seçmek önemlidir [135].

Bu meskendeki toplam 12 adet 20W gücündeki tasarruflu ampuller, aynı ışık rengine ve ışık miktarında toplam 10W gücündeki LED ampuller ile değiştirilmiştir. Kullanılan tasarruflu ampul ve tasarruflu ampullerle değiştirilen LED ampul şekil 4.2 ’de gösterilmiştir.



şekil 4.2. Kullanılan tasarruflu ve LED ampul

Kullanılan tasarruflu ampuller ve tasarruflu ampullerle değiştirilen LED ampullerin zellikleri Tablo 4.3 ’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Meskende kullanılan tasarruflu ve LED ampullerin özellikleri

Özellikler	Ampul Markası	
	A Marka	B Marka
Ampul Türü	Tasarruflu	LED
Güç	20W	10W
Lümen	1220	1200
Işık Rengi	6500K (Beyaz Işık)	6500K (Beyaz Işık)

Tablo 4.3 'de görüldüğü üzere tasarruflu ampullerin led ampullerle olan ışık rengi ve ışık şiddetini gösteren lümen değeri birbirine oldukça yakındır.

Bu meskende 20W gücünde tasarruflu ampuller yerine 10W gücünde LED ampuller kullanıldığında meskene ait toplam elektrik tüketimi Tablo 4.4'deki gibi olacaktır.

Tablo 4.4. Aydınlatma da LED ampul kullanılıncaya elektrikli ev aletleri tüketim hesaplamaları

ÜRÜN	ADET	TÜKETİ M (W)	ÇALIŞ MA SÜRESİ (SAAT)	HAFTA LIK KULLANIM (DEFA)	YILDA KAÇ AY KULLANILIYO R	AYLIK TÜKETİMİ (kWh)	YILLIK TÜKETİMİ (kWh)
LED Ampul	12	10	5	7	12	16,80 kWh	201,60 kWh
Çamaşır Makinesi(A+)	1	800	3	4	12	38,40 kWh	460,80 kWh
Elektrikli Süpürge	1	1500	1	2	12	12 kWh	144 kWh
Bulaşık Makinesi(A+)	1	1800	2	4	12	57,60 kWh	691,2 kWh
Ütü	1	2500	1	3	12	30 kWh	360 kWh
Saç Kurutma Makinesi	1	2200	0,2	7	12	12,32 kWh	147,84 kWh
Fırın	1	2000	1,5	2	12	24 kWh	288 kWh
Buzdolabı(Büyük Boy/A+)	1	45	24	7	12	30,24 kWh	362,88 kWh
Televizyon(47 inç LED Ekran)	2	80	3	7	12	13,44 kWh	161,28 kWh

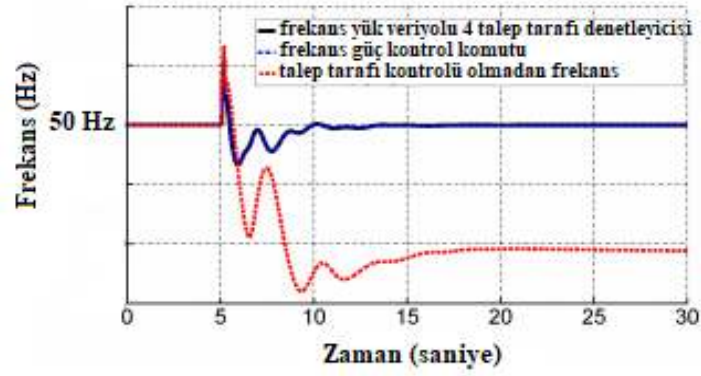
Ortalama aylık tüketim Tablo 4.4 'de de görüldüğü gibi 234,80 kWh yıllık tüketim ise 2817,60 kWh 'dır. Elektrik maliyeti = 0,574033 TL/kWh olarak alındığında aylık ödenen toplam tutar 134,78 TL ; yıllık ödenen tutar ise 1617,39 TL 'dir. Tasarruflu ampul yerine LED ampul kullanılarak toplam aylık elektrik tüketimi 251,60 kWh değerinden 234,80 kWh değerine gelerek toplam bu meskendeki elektrik tüketimi %6,6 azalmıştır. Aydınlatma olarak bakılırsa tasarruflu ampuller değiştirilmeden önce aydınlatma için elektrik tüketimi aylık 33,6 kWh iken tasarruflu ampuller led ampullerle değiştirildiğinde aydınlatma için elektrik tüketimi 16,8 kWh olmaktadır. Aydınlatmada verimlilik sağlamak amacıyla değiştirilen ampullerin aylık elektrik tüketimi üzerindeki payları Tablo 4.5 'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Meskendeki cihazların 1 aylık elektrik tüketimi pay değişimleri

Cihaz	A Marka Tasarruflu Ampul 20W		B Marka LED Ampul 10W	
	Tüketim(kWh)	Pay(%)	Tüketim(kWh)	Pay(%)
Aydınlatma	33,60	13,5	16,80	7

Tasarruflu ampullerin maliyeti LED ampullerin maliyetine göre düşüktür. Verimsiz ve fazla elektrik tüketimine sebep olan ampullerin hepsinin birden LED ampullerle değiştirilmesi başlangıçta pahalı olacağı için mantıksız gözükse de fiyat farkı belli bir süre sonra kendini amorti edecektir. 20W gücünde 1220 lm ışık gücüne ve 2000 saat ömre sahip A marka tasarruflu ampul ile 10W gücünde 1200 lm ışık gücüne ve 25000 saat ömre sahip B marka LED ampulün maliyet hesabı için gerekli verileri bölüm sonunda gösterilmiştir. Led ampullerin tasarruflu ampullere ve diğer çeşit ampullere göre ömürleri de dikkate alındığında ampulleri led ampullerle değiştirmek aile bütçesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca diğer aydınlatma elemanları çektikleri gücün önemli bir kısmını ısı olarak yayarlar. Çünkü diğer aydınlatma elemanları elektrik deşarj prensibine veya tungsten telinin ısınmasıyla ışık yayarlar. Fakat ledler fazla ısınmaz çektikleri gücün büyük bir kısmını ışık olarak verirler. Böylelikle led aydınlatma ile enerji verimliliği sağlanmış olur. Böylelikle aydınlatma amacıyla LED ampul kullanılarak elektrik tüketimini önemli ölçüde azaltacaktır. Aynı sürelerde kullanılan LED ampuller aylık elektrik tüketimini azaltacaktır. LED ampullerin fiyatlarının tasarruflu ampullere göre pahalı görünselerde Watt başına verdikleri ışık miktarları, güç tüketimleri ve çalışma saatleri göz önüne alındığında fiyat farkı çok kısa sürede amorti olabilecektir. Elektrik tüketimi aydınlatma için, mevsimden mevsime veya tüketici alışkanlıklarına göre değişmekle beraber genellikle akşam saatlerinde başlamaktadır ve 17:00-22:00 saat aralıklarındaki Türkiye puant saatleri ile çakışmaktadır. Aydınlatmadan yapılacak enerji verimliliği, hem toplam elektrik tüketiminin fazla olduğu zaman dilimlerinde puant yüklenmenin azalmasını sağlayacak hem de tüketici bütçesine katkı sağlayacaktır [100]. Aynı zamanda üretim ve tüketim dengede tutulması sağlanarak frekans değeri de dengede olacaktır. Üretim ve tüketimin dengede olması da tüketicilerin tüketim alışkanlıkları değiştirilerek sağlanmış olacaktır. Tüketim alışkanlıklarında verimli cihazlar kullanılarak değiştirilecektir. Çalışmamızda da belirttiğimiz gibi elektrik tüketiminde önemli bir paya sahip aydınlatmada LED ampullerin diğer ampuller yerine kullanılmasıyla enerji verimliliği arttırılmıştır. Bununla birlikte yük faktörü de iyileşecektir [135].

Şekil 4.3 'de görüldüğü gibi talep tarafı kontrolü olan ve olmayan frekans değeri incelendiğinde; talep tarafı kontrolüyle frekans değerinin dengede tutulduğu görülmektedir. Bu da tüketim tarafında yapılacak olan enerji verimliliği ile sağlanacaktır.



Şekil 4.3. Frekans tepkisi [136].

Led Ampuldeki Enerji Tasarrufunun Hesaplanması:

Enerji maliyeti = Güç x Ampul adedi x Çalışma saati x Elektrik maliyeti

Toplam maliyet = Toplam ampul maliyeti + Enerji maliyeti

Elektrik maliyeti = 0,574033 TL/kWh

12 adet tasarruflu ampul için;

$20 \times 12 = 240W$

5 saatlik kullanım için $240 \times 5 = 1,2 \text{ kWh}$

28 gün için $1,2 \times 28 = 33,6 \text{ kWh}$

Elektrik faturası = $33,6 \times 0,574033 = 19,29 \text{ TL}$

Tasarruflu ampul fiyatı = $5 \times 12 = 60 \text{ TL}$

12 adet LED ampul için;

$10 \times 12 = 120W$

5 saatlik kullanım için $120 \times 5 = 0,6 \text{ kWh}$

28 gün için $0,6 \times 28 = 16,8 \text{ kWh}$

Elektrik faturası = $16,8 \times 0,574033 = 9,64 \text{ TL}$

Aylık kâr = $19,29 - 9,64 = 9,65 \text{ TL}$

LED ampul fiyatı = $10 \times 12 = 120 \text{ TL}$

Amorti etme süresi = $60/9,65$

$\approx 6 \text{ ay}$

Bu hesaplamalar 5 kişilik bir ailenin yaşadığı meskene göre yapılan hesaplamalardır. Bir meskende aydınlatmadan yapılan enerji verimliliği Türkiye'deki tüm meskenlere uyarlandığında ise önemli bir enerji verimliliği potansiyelinden bahsedilebilir. Bu çalışma sadece aydınlatma

ürünü değiştirilerek elde edilen tüketim verimliliğidir. Aydınlatma dışında diğer elektrikli ev aletlerinde de değişime gidilerek talep tarafı yönetilmiş olacaktır. Talep tarafı yönetiminde sadece ürün değişimi yapılması yanı sıra cihazların bakım- onarımı yapılarak ta tüketim tarafı dengelenecektir. Örneğin sanayi işletmelerinde kullanılan motorların bakım-onarımı uzun süre yapılmayınca motorlar toz ve kirden kaynaklı daha çok ısınacak sargılar ısınca şebekeden daha çok güç çekmeye başlayarak tüketim dengesizliği oluşacaktır. Bunu tüm işletmeler için düşününce önemli bir tüketim olacak ve üretim tüketimi karşılamayarak frekans düşümüne neden olacaktır. Çalışmamızda da belirttiğimiz gibi elektrik tüketiminde önemli bir paya sahip aydınlatmada LED ampullerin diğer ampuller yerine kullanılmasıyla enerji verimliliği artırılarak tüketim azaltılmıştır. Bununla birlikte yük faktörü de iyileşecektir.



5. SONUÇ

Bu çalışma, 2020 ve 2030 yıllarında düşük karbonlu elektrik sisteminde frekans regülasyonunu desteklemede DSR değerini ölçmeyi amaçlayan durum çalışmalarını sunmaktadır. Sonuçlar, DSR 'nin frekans regülasyonunun sağlanmasına katkısının sisteme önemli faydalar sağlayabileceğini göstermektedir.

Frekans tepkisi için DSR değeri, azaltılmış sistem ataletinin frekans tepkisi talebine olan etkisinin tanınması durumunda çok daha yüksektir. DSR 'nin değeri düşük talebin yüksek hacimli frekans düzenleme hizmeti gerektirdiği yaz aylarında en yüksek iken, yüksek talep nedeniyle kışın en düşük olduğu zamandır. Benzer şekilde, DSR değeri senkronize kapasitenin düşük olduğu gece saatlerinde çok daha yüksektir.

Elektrik enerjisi santralde üretilip tüketicilere ulaştırılırken enerji iletim hatları kullanılmaktadır. Bu esnada tüketicilerin istediği belli standartlar vardır. Bunlar; enerjinin kesintisiz olması, gerilim-frekans değerinin sabit olması ve şebekenin güvenilir olmasıdır. Yeni tüketiciler arttıkça elektrik şebekemiz bunlara cevap vermelidir. Bu da güç kalitesi ile mümkün olacaktır. Ancak teknolojinin hızla gelişmesi ile tüketicilerin neden olduğu bozucu etkiler giderek artmaktadır. Bu da güç kalitesi problemlerine neden olmaktadır. Bu problemlerin önüne geçebilmek için tüketici tarafında kullanılan cihazlar değiştirilmesi gerekmektedir. Bu tezde Talep Tarafı Yönetimi adlı hizmet programı kullanılarak enerji verimliliği sağlanmıştır. Talep tarafı yönetimi kapsamında enerji verimliliği yöntemi uygulanmıştır. Enerji verimliliği yönünden seçilen meskende kullanılan 12 adet 20W gücünde tasarruflu ampul, aynı ışık renginde ve lümen değerinde 12 adet 10W gücünde LED ampul ile değiştirilmiştir. Değiştirilen lambalarla bu meskende aydınlatma için elektrik tüketimi 33,60 kWh 'dan 16,80 kWh 'a düşmüştür. Sadece daha verimli lambaların kullanımı bile evin toplam elektrik tüketimindeki düşüşte büyük bir rol oynamıştır. Elektrik şirketleri tarafından lambaların kullanımı ve verimliliği konusunda tüketicilere yapılacak olan eğitimler ve teşvikler büyük önem taşımaktadır. Aydınlatma için kullanılan elektriğin genelde akşam saatlerinde tüketildiği göz önüne alındığında, aydınlatmadan yapılacak tasarruf ve verimlilik özellikle akşam saatlerinde puant yüklenmelerin önüne geçecektir. Üretim ve tüketim dengede olup frekans değerinde dengede olacaktır. Üretim ve tüketimin dengede olması da tüketicilerin tüketim alışkanlıkları değiştirilerek sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/frekans-kontrol-sistemleri/21900#adimage-0>, Erişim 5 Eylül 2019.
- [2] Pandey, S.K., Mohanty, S.R., Kishor, N. (2013). A literature survey on load-frequency control for conventional and distribution generation power systems. *Renew Sust Energ Rev*;25:318–34.
- [3] Rebours, Y.G., Kirschen, D.S., Trotignon, M., Rossignol, S. (2007). A survey of frequency and voltage control ancillary services-part 1: technical features. *IEEE T Power Syst*;22(1):350–7
- [4] UCTE Operation handbook. Appendix 1, 2004.
- [5] Kumar, P., Kothari, D.P. (2006). Recent philosophies of automatic generation control strategies in power systems. *IEEE T Power Syst*;20(1):346–57.
- [6] Dehghanpour, K., Afsharni, S. (2015). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 1267-1276.
- [7] Delille, G., Francois, B., Malarange, G. (2010). Dynamic frequency control support: a virtual inertia provided by distributed energy storage to isolated power systems. *IEEE PES (ISGT Europe)*.
- [8] de Almeida, R.G., Pecas, Lopes G.A. (2007). Participation of doubly fed induction wind generation in system frequency regulation. *IEEE T Power Syst*;22 (3):944–50.
- [9] Ullah, N., Thiringer, T., Karlsson, D. (2008). Temporary primary frequency control support by variable speed wind turbines potential and application. *IEEE T Power Syst*;23(2):601–12.
- [10] Galus, M.D., Koch, S., Andersson, G. (2011). Provision of load frequency control by PHEVs, controllable loads and a cogeneration unit. *IEEE T Ind Electron* ;58 (10):4568–82.
- [11] Kottick, D., Blau, M., Edelstein, D. (1993). Battery energy storage for frequency regulation in an island power system. *IEEE T Energy Conver*;8(3):455–9.
- [12] Mercier, P., Cherkaoui, R., Oudalov, A. (2009). Optimizing a battery energy storage system for frequency control application in an isolated power system. *IEEE T Power Syst*;24(3):1469–77.
- [13] Gelazanskas, L., Gamage, K.A.A. (2014). Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction. *Sustainable Cities and Society* 11 22-30.
- [14] Kothari, D. P., Nagrath, I. J. (2009). *Modern power systems* (3rd ed.). New Delhi: McGraw-Hill.
- [15] Strbac, G. (2008). Demand side management: Benefits and challenges. *Energy Policy*, 36(12), 4419–4426.
- [16] Palensky, P., Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. *Industrial Informatics*, 7(3), 381–388.
- [17] Gellings, C.W. (1985). The concept of demand-side management for electric utilities. *Proceedings of the IEEE*, 73(10), 1468–1470.
- [18] Schuler, R. E. (2004). Self-regulating markets for electricity: Letting customers into the game. In *Proceedings of IEEE power systems conference and exposition* 3 (pp.1524–1528).
- [19] Tiptipakorn, S., Lee, W. (2007). A residential consumer-centered load control strategy in real-time electricity pricing environment. In *Proceedings of North American 39th IEEE power symposium (NAPS-2007)* (pp. 505–510).

- [20] U.S. Department of Energy. (2006). Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them.
- [21] Ramchurn, S. D., Vytelingum, P., Rogers, A., Jennings, N. R.(2011).Agent-based control for decentralised demand side management in the smart grid. In Proceedings of the 10th international conference on autonomous agents and multi agent systems (AAMAS 2011) (pp. 5–12).
- [22] Gellings, C. W., Chamberlin, J. (1988). Demand side management: Concepts and methods. Lilburn: The Fairmont Press Inc.
- [23] Charles River Associates. (2005). Primer on demand side management with an emphasis on price-responsive programs.
- [24] Abdulfetah, S., Mbarak, H. A., Mohammed, W., Mehmet Rıda T. (2019). Overview of Big Data in Smart Grid, IEEE 8th ICRERA, 1022-1025.
- [25] Flanigan, T., Hadley, S. (1994). Analysis of successful demand-side management at publicly owned utilities (No. ORNL/CON--397). Oak Ridge National Lab., TN (United States).
- [26] Energy Policy and Conservation Act, USA, January, 2014.
- [27] Sastry, M. A. and Gadgil, A. J. (1996). Bombay Efficient Lighting Large Scale Experiment: Blue Print for Improving Energy Efficiency and Reducing Peak Electric Demand in a Developing Country, Atmospheric Environment, vol.30, (pp. 803-808), Britain.
- [28] Ofgem. (2003). A Review of the Energy Efficiency Standards of Performance 1994-2002. Great Britain: Report by Ofgem.
- [29] Weisbrod, G., Tribble, M., Deshpande, V. (1999). Learning from india: defining profitable demand-side management and energy service company programs for a utility. The Electricity Journal, 12(3), 31-39.
- [30] California Energy Commission. (2014). California Energy Demand 2014– 2024 Final Forecast. CEC Report 200-2013-004-V1-CMF.
- [31] Economics, F., First, S. (2012). Demand side response in the domestic sector-a literature review of major trials. Final Report, London, August.
- [32] Khudhair, A. M., Farid, M. M. (2004). A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. Energy conversion and management, 45(2), 263275.
- [33] Palensky, P., Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. IEEE transactions on industrial informatics, 7(3), 381-388.
- [34] Crossley, D. (2006). Review of Load Management and Demand Response in Australia. Energy Futures Australia.
- [35] Finn, P., O’Connell, 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.
- [36] Klaassen, C. J., House, J. M., Center, I. E. (2002). Demonstration of load shifting and peak load reduction with control of building thermal mass. Teaming for Efficiency: Commercial buildings: technologies, design, performance analysis, and building industry trends, 3, 55.
- [37] Xu, P., Haves, P., Piette, M. A., Braun, J. (2004). Peak demand reduction from pre-cooling with zone temperature reset in an office building. Lawrence Berkeley National Laboratory.

- [38] Williams, E., Lotstein, R., Galik, C., Knuffman, H. (2007). A Convenient Guide to Climate Change Policy and Technology. Climate Change Policy Partnership, Duke University, Durham, NC. 420p.
- [39] Levine, M. D., Koomey, J. G., Price, L., Geller, H., Nadel, S. (1995). Electricity end-use efficiency: experience with technologies, markets, and policies throughout the world. *Energy*, 20(1), 37-61.
- [40] Loganathan, T., Srinivasan, D., Shun, T. Z. (2012). Demand side management in smart grid using heuristic optimisation. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(3), 1244–1252.
- [41] Tür, M.R. (2018). “Elektrik Güç Sistemlerindeki Döner Rezerv Gereksiniminin Ekonomik Yönden İncelenmesi” Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [42] Billinton, R., Allan, R.N. (1984). *Reliability Evaluation of Power Systems* 2013 ; Plenum: New York, NY, USA.
- [43] Freeman, R. (2005). Managing energy: Reducing peak load and managing risk with demand response and demand side management. *Refocus*, 6, 53–55. [CrossRef]
- [44] Martínez-Lao, J., Montoya, F.G., Montoya, M.G., Manzano-Agugliaro, F. (2017). Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 77, 970–983. [CrossRef]
- [45] Saini, S. (2004). Conservation v. generation: The significance of Demand-Side Management (DSM), its tools and techniques. *Refocus*, 5, 52–54. [CrossRef]
- [46] United Nations Industrial Development Organization. Supply Side Management—Module 13. Sustainable Energy Regulation and Policy Making for Africa. Available online: <http://africa-toolkit.reeep.org/modules/Module13.pdf> (accessed on 5 February 2018).
- [47] Aghaei A, Alizadeh M. (2013). Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: a review. *Renew Sust Energ Rev*; 18:64–72.
- [48] Rahimi F, Ipakchi A. (2010). Demand response as a market resource under the smart grid paradigm. *IEEE T Smart Grid*;1(1):82–8.
- [49] Moura, P.S., De Almeida A.T. (2010). Multi-objective optimization of mixed renewable system with demand side management. *Renew Sust Energ Rev*; 14:1461–8.
- [50] Load Participation in Ancillary Services, Workshop report, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, U.S. Department of Energy, September 2011.
- [51] Goldman, C., Reid, M., Levy, R., Silverstein, A. (2010). Coordination of energy efficiency and demand response. Berkeley, California: Berkeley National Laboratory; (January).
- [52] M.R. Tür, et al., (2017). Impact of Demand Side Management on Spinning Reserve Requirements Designation. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(2).
- [53] Dehghanpour, K., Afsharnia, S. (2015). Electrical demand side contribution to frequency control in power systems: a review on technical aspects *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 1267–1276
- [54] <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-8109/2020-yili-ocak-ayi-sektor-raporlari-yayinlanmisti> Elektrik Piyasası Sektör Raporu • Ocak • 2020, Erişim 13 Ekim 2019.
- [55] Gellings, C.W. (2017). Evolving practice of demand-side management. *J.Mod. PowerSyst. Clean Energy*, 5, 1–9. [CrossRef]

- [56] Limaye, D. (1985). Implementation of demand-side management programs. *Proc. IEEE*, 73, 1503 – 1512. [CrossRef]
- [57] Sim, S. (2011) . *Electric Utility Resource Planning: Economics, Reliability, and Decision-Making*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA,; p. 332.
- [58] United Nations Industrial Development Organization. *Energy Efficiency Technologies and Benefits-Module 12. Sustainable Energy Regulation and Policy Making for Africa*. Availableonline:https://www.unido.org/fileadmin/media/documents/pdf/EEU_Training_Package/Module12.pdf (accessed on 9 February 2018).
- [59] Bellarmine, G.T. (2000). Load management techniques. In *Proceedings of the IEEE Southeastcon 2000*, Nashville, TN, USA, 9 April; pp. 139–145.
- [60] Abaravicius, J. (2007). *Demand Side Activities for Electric Load Reduction*; Department of Energy Sciences, Lund University: Skanney, Sweden,; p. 153.
- [61] Qdr, Q. (2006). *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them*; U.S. Department of Energy: Washington, DC, USA,.
- [62] Walawalkar, R., Fernands, S., Thakur, N., Chevva, K.R. (2010). Evolution and current status of demand response (DR) in electricity markets: Insights from PJM and NYISO. *Energy*, 35, 1553–1560. [CrossRef]
- [63] Jabir, H.J., Teh, J., Ishak, D. and Abunima, H. (2018). *Impacts of Demand-Side Management on Electrical Power Systems: A Review*
- [64] York, D., Kushler, M. (2005). *Exploring the Relationship between Demand Response and Energy Efficiency: A Review of Experience and Discussion of Key Issues*; American Council for an Energy-Efficient Economy: Washington, DC, USA,.
- [65] *Demand Response Discussion for the 2007 Long-Term Reliability Assessment*, North 109 American Electric Reliability Corporation of Site. Available online: <http://www.naesb.org/pdf2/dsmee052407w4.pdf>. (accessed on 19 February 2018).
- [66] Juaidi, A., Montoya, F.G., Gázquez, J.A., Manzano-Agugliaro, F. (2016). An overview of energy balance compared to sustainable energy in United Arab Emirates. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 55, 1195–1209. [CrossRef]
- [67] Delgado, R.M. (1985). Demand-side management alternatives. *Proc. IEEE*, 73, 1471–1488.
- [68] Nguyen, D.H., Narikiyo, T., Kawanishi, M.(2016). Demand response collaborative management by a distributed alternating direction method of multipliers. *Innov. Smart Grid Technol.*759–764.
- [69] Magnago, F.H., Alemany, J., Lin, J. (2015). Impact of demand response resources on unit commitment and dispatch in a day-ahead electricity market. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*,68, 142–149. [CrossRef]
- [70] Aghaei, J., Alizadeh, M.I., Siano, P., Heidari, A. (2016). Contribution of emergency demand response programs in power system reliability. *Energy* , 103, 688–696. [CrossRef]
- [71] Alham, M.H., Elshahed, M., Ibrahim, D.K., El Zahab, E.E.D.A (2017). Optimal operation of power system incorporating wind energy with demand side management. *Ain Shams Eng. J.* , 8, 1–7. [CrossRef]

- [72] Kinhekar, N., Padhy, N.P., Gupta, H.O. (2014). Multiobjective demand side management solutions for utilities with peak demand deficit. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 55, 612–619. [CrossRef]
- [73] Jalili, H., Sheikh-El-Eslami, M.K., Parsa Moghaddam, M. (2017). Reducing reliability cost in presence of renewables by demand side management resources. *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, 27. [CrossRef]
- [74] Martins, A.G., Coelho, D., Antunes, H., Climaco J. (1996). A multiple objective linear programming approach to power generation planning with demand-side management (DSM). *Int. Trans. Oper. Res.*, 3, 305–317. [CrossRef]
- [75] Mollahassani-Pour, M., Abdollahi, A., Rashidinejad, M. (2015). Investigation of market-based demand response impacts on security-constrained preventive maintenance scheduling. *IEEE Syst. J.*, 9, 1496–1506. [CrossRef]
- [76] Mollahassani-Pour, M., Rashidinejad, M., Abdollahi, A., Forghani, M.A. (2017). Demand Response Resources' Allocation in Security-Constrained Preventive Maintenance Scheduling via MODM Method. *IEEE Syst. J.*, 11, 1196–1207. [CrossRef]
- [77] Reddy, B.S.; Parikh, J.K. (1997). Economic and environmental impacts of demand side management programmes. *Energy Policy*, 25, 349–356. [CrossRef]
- [78] United Nations Industrial Development Organization. Demand Side Management-Module 14. Sustainable Energy Regulation and Policy Making for Africa. Available online: <http://africa-toolkit.reeep.org/modules/Module14.pdf> (accessed on 8 February 2018).
- [79] Shrestha, R.M., Marpaung, C.O. (1999) Supply-and demand-side effects of carbon tax in the Indonesian power sector: An integrated resource planning analysis. *Energy Policy* 1999, 27, 185–194.
- [80] Holland, S.P., Mansur, E.T. (2008). Is real-time pricing green. The environmental impacts of electricity demand variance. *Rev. Econ. Stat.* 90, 550–561. [CrossRef]
- [81] Abaravicius, J., Pyrko, J. (2006). Load management from an environmental perspective. *Energy Environ.* 17, 583–601. [CrossRef]
- [82] Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, V., Andersson, G., Bose, A., Canizares, C., Hatziargyriou, N., Hill, D., Stankovic, A., Taylor, C., et al. (2004). Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions. *IEEE Trans. Power Syst.* 19, 1387–1401.
- [83] Babahajiani, P., Shafiee, Q., Bevrani, H. (2016) Intelligent demand response contribution in frequency control of multi-area power systems. *IEEE Trans. Smart Grid* 9, 1282–1291. [CrossRef]
- [84] Kumar, A., Sekhar, C. (2012). TTY based congestion management in pool electricity markets with FACTS devices. *Energy Procedia* 2012, 14, 94–100. [CrossRef]
- [85] Dehnavi, E., Abdi, H. (2017). Determining optimal buses for implementing demand response as an effective congestion management method. *IEEE Trans. Power Syst.* 2017, 32, 1537–1544. [CrossRef]
- [86] Hayes, B., Hernando-Gil, I., Collin, A., Harrison, G., Djokic, S. (2014). Optimal power flow for maximizing network benefits from demand-side management. *IEEE Trans. Power Syst.* 29, 1739–1747. [CrossRef]

- [87] Billinton, R., Allan, R.N. (1984). Reliability Evaluation of Power Systems 2013; Plenum: New York, NY, USA.
- [88] Allan, R.N.(1983). Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques; Springer: Boston, MA,USA.
- [89] Billinton, R., Huang, D. (2006). Peaking Unit Considerations in Generating Capacity Adequacy Assessment. *Elect. Comput. Eng.* 386–389. [CrossRef]
- [90] Pina, A. (2012). Supply and Demand Dynamics in Energy Systems Modeling. Ph.D. Thesis, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal,
- [91] Pina, A., Silva,C., Ferrão, P. (2012). The impact of demand side management strategies in the penetration of renewable electricity.*Energy*,41,128–137. [CrossRef]
- [92] Hoff, T.E. (1996). Identifying distributed generation and demand side management investment opportunities. *Energy J.* 17, 89–105. [CrossRef]
- [93] Hajebrahimi, A., Abdollahi, A., Rashidinejad, M. (2015). Probabilistic multi objective transmission expansion planning incorporating demand response resources and large-scale distant wind farms. *IEEE Syst. J.*,11,1170–1181. [CrossRef]
- [94] Kandasamy, N.K., Tseng, K.J., Boon-Hee, S. (1996), A Virtual Storage Capacity Using Demand Response Management to Overcome Intermittency of Solar PV Generation. *IET Renew. PowerGener.*,11,1741–1748. [CrossRef]
- [95] Moura, P.S., De Almeida, A.T. (2010). The role of demand-side management in the grid integration of wind power. *Appl. Energy* 87, 2581–2588. [CrossRef]
- [96] Aghajani, G.R., Shayanfar, H.A., Shayeghi, H. (2017). Demand side management in a smart micro-grid in the presence of renewable generation and demand response. *Energy* 2017, 126, 622–637. [CrossRef]
- [97] Heydarian-Forushani,E., Golshan, M.E.H., Siano, P. (2017). Evaluating the benefits of coordinated emerging flexible resources in electricity markets. *Appl. Energy* 2017, 199, 142–154. [CrossRef]
- [98] Gitelman, L., Gitelman, L., Kozhevnikov, M. (2017). Fulfilling The Potential of Nuclear Power Industry through Demand Side Management. *Int. J. Sustain. Dev. Plan.* 2017, 12, 1043–1049.
- [99] Patton, A.D., Singh, C. (1984). Evaluation of load management effects using the OPCON generation reliability model. *IEEE Trans. Power App. Syst.*, PAS-103, 3229–3238.
- [100] Salehfar, H., Patton, A.D. (1989). Modeling and evaluation of the system reliability effects of direct load control. *IEEE Trans. Power Syst.*, 4, 1024–1030. [CrossRef]
- [101] Ahsan, Q. (1990) Load management: Impacts on the reliability and production costs of interconnected systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 12, 257–262. [CrossRef]
- [102] Rahman, S. (1993). An efficient load model for analyzing demand side management impacts. *IEEE Trans. Power Syst.*, 8, 1219–1226. [CrossRef]
- [103] Billinton, R., Lakhanpal, D. (1996) Impacts of demand-side management on reliability cost/reliability worth analysis. *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, 143, 225–231. [CrossRef]
- [104] Osareh, A.R., Pan, J., Rahman, S. (1996) An efficient approach to identify and integrate demand-side management on electric utility generation planning. *Electr. Power Syst. Res.* 1996, 36, 3–11. [CrossRef]

- [105] Malik, A.S. (1998). Simulation of DSM resources as generating units in probabilistic production costing framework. *IEEE Trans. Power Syst.* 1998, 13, 1528–1533. [CrossRef]
- [106] Malik, A. (2001). Modelling and economic analysis of DSM programs in generation planning. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2001, 23, 413–419. [CrossRef]
- [107] Huang, D., Billinton, R. (2011). Impacts of demand side management on bulk system reliability evaluation considering load forecast uncertainty. In *Proceedings of the 2011 IEEE Electrical Power and Energy Conference, Winnipeg, MB, Canada, 3–5 October 2011*; pp. 272–277.
- [108] Huang, D., Billinton, R. (2012). Effects of Load Sector Demand Side Management Applications in Generating Capacity Adequacy Assessment. *IEEE Trans. Power Syst.* 2012, 27, 335–343. [CrossRef]
- [109] Toh, G., Gooi, H.B. (2012). Procurement of interruptible load services in electricity supply systems. *Appl. Energy* 2012, 98, 533–539. [CrossRef]
- [110] Joung, M., Kim, J. (2013). Assessing demand response and smart metering impacts on long-term electricity market prices and system reliability. *Appl. Energy* 2013, 101, 441–448. [CrossRef]
- [111] Rahmani-andebili, M. (2015). Risk-cost-based generation scheduling smartly mixed with reliability-driven and market-driven demand response measures. *Int. Trans. Electr. Energy Syst.* 2015, 25, 994–1007. [CrossRef]
- [112] Zhou, Y., Mancarella, P., Mutale, J. (2015). Modelling and assessment of the contribution of demand response and electrical energy storage to adequacy of supply. *Sustain. Energy Grids Net.* 2015, 3, 12–23. [CrossRef]
- [113] Karunanithi, K., Saravanan, S., Prabakar, B.R.; Kannan, S., Thangaraj, C. (2017). Integration of Demand and Supply Side Management strategies in Generation Expansion Planning. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 73, 966–982. [CrossRef]
- [114] Fotuhi-Firuzabad, M., Billinton, R. (2000). Impact of load management on composite system reliability evaluation short-term operating benefits. *IEEE Trans. Power Syst.* 2000, 15, 858–864.
- [115] Zhou, M., Li, G., Zhang, P. (2006). Impact of Demand Side Management on Composite Generation and Transmission System Reliability. In *Proceedings of the 2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, Atlanta, GA, USA, 29 October–1 November 2006*; pp. 819–824.
- [116] Goel, L., Aparna, V.P., Wang, P. (2007). A framework to implement supply and demand side contingency management in reliability assessment of restructured power systems. *IEEE Trans. Power Syst.* 2007, 22, 205–212.
- [117] Wang, P., Ding, Y., Goel, L. (2009). Reliability assessment of restructured power systems using optimal load shedding technique. *IET Gener. Transm. Distrib.* 2009, 3, 628–640. [CrossRef]
- [118] Kwag, H.G., Kim, J.O. (2014). Reliability modeling of demand response considering uncertainty of customer behavior. *Appl. Energy* 2014, 122, 24–33. [CrossRef]
- [119] Moshari, A., Ebrahimi, A. (2015). Reliability-based nodal evaluation and prioritization of demand response programs. *Int. Trans. Electr. Energy Syst.* 2015, 25, 3384–3407. [CrossRef]
- [120] Ramandi, M.Y., Afshar, K., Gazafroudi, A.S.; Bigdeli, N. (2016). Reliability and economic evaluation of demand side management programming in wind integrated power systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2016, 78, 258–268. [CrossRef]

- [121] Moshari, A., Ebrahimi, A., Fotuhi-Firuzabad, M. (2016). Short-term impacts of DR programs on reliability of wind integrated power systems considering demand-side uncertainties. *IEEE Trans. Power Syst.* 2016, 31, 2481–2490. [CrossRef]
- [122] Kopsidas, K., Kapetanaki, A., Levi, V. (2016). Optimal Demand Response Scheduling with Real Time Thermal Ratings of Overhead Lines for Improved Network Reliability. *IEEE Trans. Smart Grid* 2016, 8, 2813–2825. [CrossRef]
- [123] Xu, Q., Ding, Y., Zheng, A. (2017). An Optimal Dispatch Model of Wind-Integrated Power System Considering Demand Response and Reliability. *Sustainability* 2017, 9, 758. [CrossRef]
- [124] Gonzalez-Cabrera, N., Gutierrez-Alcaraz, G. (2017). Nodal user's demand response based on incentive based programs. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy* 2017, 5, 79–90. [CrossRef]
- [125] Teh, J., Ooi, C.A., Cheng, Y.H., Zainuri, M.A., Lai, C.M. (2018). Composite Reliability Evaluation of Load Demand Side Management and Dynamic Thermal Rating Systems. *Energies* 2018, 11, 466. [CrossRef]
- [126] Li, W.(2013). *Reliability Assessment of Electric Power Systems Using MONTE Carlo Methods*; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany.
- [127] Safdarian, A., Degefa, M.Z., Lehtonen, M., Fotuhi-Firuzabad, M. (2014). Distribution network reliability improvements in presence of demand response. *IET Gener. Transm. Distrib.* 2014, 8, 2027–2035. [CrossRef]
- [128] Safdarian, A., Fotuhi-Firuzabad, M., Lehtonen, M. (2016). Benefits of demand response on operation of distribution networks: A case study. *IEEE Syst. J.* 2016, 10, 189–197. [CrossRef]
- [129] Nojavan, S., Majidi, M., Esfetanaj, N.N. (2017). An efficient cost-reliability optimization model for optimal siting and sizing of energy storage system in a microgrid in the presence of responsible load management. *Energy* 2017, 139, 89–97.
- [130] Awad, A.S., El-Fouly, T.H., Salama, M.M. (2014). Optimal ESS allocation and load shedding for improving distribution system reliability. *IEEE Trans. Smart Grid* 2014, 5, 2339–2349. [CrossRef]
- [131] Zeng, B., Wu, G., Wang, J., Zhang, J., Zeng, M. (2017). Impact of behavior-driven demand response on supply adequacy in smart distribution systems. *Appl. Energy* 2017, 202, 125–137.
- [132] Nosratabadi, S.M., Hooshmand, R.A., Gholipour, E., Rahimi, S. (2017). Modeling and simulation of long term stochastic assessment in industrial microgrids proficiency considering renewable resources and load growth. *Simul. Model. Pract. Theory* 2017, 75, 77–95.
- [133] Teng, F., Aunedi, M., Strbac, G. (2015). *Value of Demand Side Participation in Frequency Regulation*
- [134] R. Energy, (2010). "Electricity Market Reform - Analysis of policy options,".
- [135] Ayan, O. (2017). " Akıllı Şebekeler Kapsamında Meskenlerde Talep Tarafı Yönetimi Ve Enerji Verimliliği" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [136] Moya, C., Zhang, W., Lian, J. and Kalsi, K. A Hierarchical Framework for Demand-Side Frequency Control.

ÖZGEÇMİŞ

Behiye Sefa AKIN

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : Elazığ
Doğum Yılı : 1993
Uyruğu : T.C.
Adres : Merkez/Elazığ
Yabancı Diller : İngilizce (Düzey: Orta)

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü, 2016
Lise : Hıdır Sever Lisesi, Elazığ, 2011