

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TALEP CEVABINA KATILIM ORANININ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİ
İŞLETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tarık TAŞPINAR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

EYLÜL 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TALEP CEVABINA KATILIM ORANININ ELEKTRİK DAĞITIM
SİSTEMİ İŞLETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tarık TAŞPINAR
(504131025)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

EYLÜL 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131025 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tarık TAŞPINAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TALEP CEVABINA KATILIM ORANININ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİ İŞLETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ömer Gül**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gürkan Soykan
Bahçeşehir Üniversitesi

Teslim Tarihi : 05.09.2018
Savunma Tarihi : 24.09.2018

Desteklerini esirgemeyen aileme ve emeği geçen tüm ğretmenlerime,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen sayın hocam Prof. Dr. Mustafa Bağrıyanık'a gösterdiği yoğun ilgi, sevgi ve güven için sonsuz teşekkür ederim.

Eylül 2018

Tarık TAŞPINAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. REKABETÇİ ELEKTRİK PİYASALARI	5
2.1 Toptan Satış Piyasaları	6
2.2 Perakende Piyasaları	9
2.2.1 Perakende piyasası göstergeleri	10
2.2.1.1 Tedarikçi sayısı	11
2.2.1.2 Tedarikçi değiştirme oranı	11
2.2.1.3 Fiyat marjı	13
2.2.1.4 Piyasa yoğunlaşma endeksi.....	13
2.3 Talep Cevabı Katılımının Gelişim Süreci	14
2.3.1 Toptan satış piyasalarında talep cevabı.....	17
2.3.1.1 Baz yük tayini	18
3. MODELLEME ÇALIŞMALARI.....	19
3.1 Örnek Şebeke Modeli.....	19
3.2 Ev Aletleri Modelleri	21
3.2.1 İletim hatlarının modeli.....	26
3.2.2 Transformatörlerin modeli	26
3.2.3 AG bağlantı ölçüm noktalarının modeli.....	26
3.2.4 Ev modeli	26
3.2.5 Çamaşır makinesi modeli.....	28
3.2.6 Çamaşır kurutma makinesi modeli	29
3.2.7 Elektrikli su ısıtıcısı modeli	30
3.2.8 Elektrikli ocak ve elektrikli fırın modelleri.....	30
3.2.9 Bulaşık makinesi modeli.....	31
3.2.10 Buzdolabı modeli	32
4. TALEP CEVABI KONTROL MEKANİZMALARI	35
4.1 Talep Cevabı Yönetimi Kontrolör Yapıları	35
4.1.1 Termostat rampa kontrolü.....	35
4.1.2 Olasılıksal kontrol	37
4.1.3 Çevrimsel kontrol.....	37
5. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİ	39
5.1 Piyasa Fiyatlarının Talep Cevabı Katılımına Etkileri	39
5.2 Farklı Sayıda HVAC Kontrolünün Talep Cevabı Katılımına Etkisi.....	42

5.3 Piyasa Satış Miktarı Kısıtının Talep Cevabı Katılımına Etkileri	44
5.4 Talep Cevabına Katılım Oranının Elektrik Şebekesi Üzerindeki Etkileri.....	47
5.5 Genel Değerlendirme.....	48
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	51
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR

AMI	: Advanced Metering Infrastructure
CPP	: Critical Peak Pricing
DOE	: U.S. Department of Energy
DR	: Demand Response
EDP	: Extreme Day Pricing
ETP	: Equivalent Thermal Parameter
FERC	: The Federal Energy Regulatory Commission
HHI	: Herfindahl-Hirschman Index
HVAC	: Heating, Ventilation, and Air Conditioning
PNNL	: Pacific Northwest National Laboratory
PV	: PhotoVoltaic
RTP	: Real-Time Price
TCL	: Thermostatically Controlled Load
TOU	: Time-of-Use
ZIP	: Constant Impedance, Current, and Power Model

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Ev tipleri özellikleri	27
--	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Rekabetçi elektrik piyasa yapısı.....	6
Şekil 2.2 : Avrupa ülkelerindeki HHI değerleri	8
Şekil 2.3 : Avrupa ülkelerinde en büyük güçlü üretim santrallerinin piyasa payları	8
Şekil 2.4 : Detaylı toptan ve perakende piyasa yapısı.....	10
Şekil 2.5 : Avrupa ülkelerinde tedarikçi değiştirme oranı	11
Şekil 2.6 : Yıllar itibariyle serbest tüketici limiti ve piyasa açıklık oranı (kWh-%)	12
Şekil 2.7 : Piyasa fiyatı oluşum mekanizması	13
Şekil 2.8 : ABD potansiyel puant güç düşüş tahmini	16
Şekil 2.9 : ABD DR programlarının puant güç düşüşü payları.....	16
Şekil 2.10 : DR katılımının piyasa uzlaş fiyatına etkisi	17
Şekil 2.11 : DR olayı baz yük tayini.....	18
Şekil 3.1 : Değiştirilmiş IEEE 13 test fideri tek hat şeması	20
Şekil 3.2 : Değiştirilmiş IEEE 13 test fideri GridLAB-D modeli	21
Şekil 3.3 : Ev tipi HVAC'a ait ETP modeli.....	23
Şekil 3.4 : Yalnız HVAC yüklenme profili.....	28
Şekil 3.5 : HVAC ile tüm ev aletleri birlikte yüklenme profili.....	28
Şekil 3.6 : Yalnız HVAC ve çamaşır makinesine ait günlük yüklenme profili...	29
Şekil 3.7 : Yalnız HVAC ve bulaşık makinesine ait günlük yüklenme profili....	32
Şekil 3.8 : Yalnız HVAC ve buzdolabına ait günlük yüklenme profili	33
Şekil 4.1 : Termostat soğutma modu kontrolü	35
Şekil 5.1 : Sabit piyasa fiyatı ile talep katılımı	40
Şekil 5.2 : Üç zamanlı tarifiede talep katılımı.....	41
Şekil 5.3 : TOU saatlik piyasa fiyatı ile talep katılımı	42
Şekil 5.4 : HVAC kontrolör sayısının talep cevabı katılımına etkisi.....	42
Şekil 5.5 : HVAC aktiflik oranının talep cevabı katılımına etkisi	43
Şekil 5.6 : HVAC soğutma ayar değerlerinin değişimi	43
Şekil 5.7 : Piyasa takas fiyatı ve miktarının oluşumu	45
Şekil 5.8 : 1750 kW kapasite sınırlamalı talep cevabı katılımı	46
Şekil 5.9 : Kapasite sınırının piyasa fiyatına etkisi	47

TALEP CEVABINA KATILIM ORANININ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİ İŞLETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Elektrik hizmetinin üreticiden tüketiciye ulaşmasında önceleri üretim, iletim ve dağıtım sistemleri dikey bütünleşik yapıdaydılar. Bu yapılarda görülen çapraz sübvansiyonlar, tekelleşme, altyapı yatırımlarında yetersizlikler, teşebbüsler arası koordinasyon bozukluğu, uyumlu eylemde bulunma ve birlikte hakim durumda bulunma gibi nedenlerden ötürü piyasa rekabetini engelleyici gelişmeler yaşanmıştır. Üstelik verimsizlik nedeniyle hizmet kalitesinde de düşüşler görülmüştür. Bu nedenle 90'lı yılların sonuna doğru dünyada elektrik sektöründe serbestleşme süreçlerine girilmiş ve dikey bütünleşik yapıların yeniden yapılandırma yoluyla elektrik üretim, iletim, dağıtım, ticaret ve düzenleyici kurumları birbirinden ayrılarak çapraz sübvansiyonlar engellenmiş ve daha verimli çalışan bir sisteme geçilmiştir. Ayrıca elektrik enerjisini üreten, tüketen ve aracılık yapanlar arasında rekabetçi piyasalar oluşturulmuştur.

Avrupa ülkelerindeki elektrik toptan satış piyasalarının yoğunlaşma endekslerinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu ülkelerinin yarısından fazlasında, en büyük güçlü üretim santrallerinin piyasa paylarının yüzde ellinin üzerinde olması piyasada rekabet ortamının düşük olduğunu göstermektedir.

İskandinav elektrik piyasasında düzenleyici kuruluş olan NordREG, piyasaları izlemek ve geliştirmekle sorumlu olup perakende piyasalarında rekabetin ölçülmesi ve karşılaştırılması amacıyla; tedarikçi sayısı, tedarikçi değiştirme oranı, fiyat marjı ve piyasa yoğunlaşma endeksi olmak üzere dört adet gösterge belirlemiştir. Tüketicilerin tedarikçisini değiştirebilme serbestliğini gösteren piyasa açıklık oranı ise rekabetin izlenmesi açısından bir diğer önemli göstergedir. Avrupa'da ve Türkiye'de teorik piyasa açıklığı yüksek olmasına karşın, serbest tüketici hakkını kullanan tüketicilerin toplam tüketimdeki oranı düşüktür. Bunun nedenleri ise tedarikçilerin yerleşik şirketler olmasından kaynaklanan avantajlar, tedarikçiler arası geçiş maliyetlerinin yüksekliği ve piyasa katılımcıları arasındaki rekabet kültürünün henüz tam anlamıyla gelişmemiş olmasıdır. Dolayısıyla perakende piyasadaki rekabetin bir süre daha bölgesel nitelikte olacağı söylenebilir.

ABD Federal Enerji Düzenleme Kurumu (FERC) 2009 yılında yaptığı 10 yıllık talep cevabı katılım potansiyeli araştırmasıyla 2019 yılı için %20 oranında puant güç düşüşü potansiyeli öngörmüştür. Ancak bu artış teknoloji ile özellikle akıllı termostatlı HVAC sistemleri ve diğer ev aletlerinin fiyatlara otomatik cevap verdiği bir yapıda gerçekleşmektedir.

Bu tez kapsamında dağıtım şebekesi ve tüketicisi tarafında öncelikli olarak HVAC sistemlerinin piyasa fiyat tabanlı talep katılımını incelemek için içerisindeki ev aletlerinin de olduğu toplam 320 adet birer ailenin yaşadığı evler olan bir elektrik şebekesi GridLAB-D programında analiz edilmiştir. Ev aletlerinin enerji tüketimi

terminal gerilime, kullanıcıların sayısı, konfor seviyesi ve sosyal ve ekonomik verilere de bağlıdır. Örneğin, dış ortam sıcaklığı evin termal yalıtımına göre iç ortam sıcaklığını değiştirmektedir. Ayrıca ortamdaki cihazlar, insanlar ve ev hayvanlarının yaydığı ısı da iç ortam sıcaklığını değiştirmektedir. Bu sebeple GridLAB-D programı ile dairelerin enerji tüketimleri için çevresel etkenleri de içeren termal ısııl modelleri (ETP) kullanılmıştır.

Piyasada ihale yöntemiyle alıcı ve satıcılar uzlaştırılmaktadır. HVAC cihazlarının piyasa fiyatına göre enerji tüketimini değiştirmesi ve piyasaya alış teklifi vermesi için GridLAB-D içindeki uygun kontrolör yapıları kullanılmıştır.

İlk olarak sabit, üç zamanlı ve saatlik kullanım zamanlı tarifeler (Time of Use Pricing, TOU) kullanılarak kontrolör sahibi olmayan ev aletlerinin ve kontrolör sahibi olan HVAC sistemlerinin bu tarifelerdeki talep cevabı katılımları neticesinde evlerin günlük yüklenme eğrilerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, piyasa fiyatının gün boyu değişmediği sabit tarifelerde beklendiği gibi kontrolörlerin tepkisiz kaldığı görülmüştür. Bu durumda HVAC ve diğer ev aletlerinin yüklenme profilleri yalnız sıcaklığa bağlı olarak oluşmaktadır.

Diğer TOU tarifelerde ise fiyatın düşük olduğu dönemlerde HVAC sistemleri talep cevabı katılımıyla tüketimi arttırmıştır. Ancak fiyat değişiminin ani ve çok büyük olduğu durumlarda talep katılımının yüksek olması nedeniyle puant gücün de aşıldığı gözlenmiştir. Puant gücün aşılması elektrik şebekesi üzerinde arz güvenliği ve iletim sorunlarına yol açmaktadır. Literatürde TOU tarifelerdeki bu sorunun çözümüne yönelik pek çok çözüm sunulmuştur. Bunlardan biri olan piyasa mekanizmasına satış miktarı kısıtı koyulması bu tez kapsamında incelenmiştir. Analiz sonuçlarında piyasa satış kapasitesi kısıtı sayesinde TOU tarifelerdeki puant aşımı sorununun ortadan kalktığı görülmüştür. Ancak hava sıcaklığının HVAC kontrolörlerinin üst limitlerini aşması durumunda kontrolörler en yüksek fiyattan alış teklifi vermektedir. Bu nedenle piyasa fiyatları belli bir süre en yüksek seviyede kalmaktadır. Analizler sonucunda kapasite kısıt miktarı ile fiyatların en yüksek seviyede kalma süresinin ters orantılı olduğu görülmüştür. Sonuçta elektrik tüketicilerine ait fatura bedelleri yükselmiştir.

Bu çalışmada elektrik dağıtım bölgelerindeki tüketicilerin talep cevabı katılımlarının dağıtım sistemi işletimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla örnek sistem üzerindeki tüketicilerin farklı oranlarda talep cevabı katılımları ile analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçta talep cevabının etkisinin katılım oranının büyüklüğüne, kullanılan piyasa ve tarife yapılarına bağlı olarak elektrik şebekesinde eşzamanlılığın bozulmasına yol açtığı gözlenmiştir.

THE STUDY ON IMPACTS OF THE DEMAND RESPONSE PARTICIPATION OF THE ELECTRICITY CUSTOMERS IN ELECTRIC DISTRIBUTION SYSTEM OPERATION

SUMMARY

Before the introduction of liberalization and regulatory reforms, electric power industries were vertically integrated which a company controls generating, transmission, distribution and consumer services. In these situations, integrated utilities had cross subsidies of their unregulated activities, inadequacy of infrastructural investments, ineffective coordination between firms, collective dominance and the constitution of concerted practice by direct or indirect contact between firms were likely to affect negatively on competition of markets. Moreover, firms decreased consumer service quality caused by operational inefficiencies. In the late 90s, in many countries liberalization processes began with unbundling of vertically integrated structures. Thus, cross subsidies are eliminated. Liberalisation of electricity industry delivered some efficient operations like deferral of infrastructure investments, decreased capacity constraints and elastic demand between consumers via new wholesale and retail competitive market programs that created for demand response participating. Grid storage systems and demand response offer a solution to market price volatilities due to production uncertainty of wind and solar systems. This study aims to contribute to this growing area of grid flexibility using demand response forms including supplier changing, product offerings, demand time-shifting or reducing demand by direct or indirect ways of demand side operators.

In this thesis, firstly this questionnaire investigated how much competition exists in electricity retail and wholesale markets. Investigations are showed that in European countries, the market concentrations, the Herfindahl-Hirschman indexes are quite high and as well as more than half of them have a dominant power plant whose market share is more than fifty percent.

For the purpose of assessing the retail market functioning and competition, NordREG has developed a set of indicators. These are number of suppliers, switching rates, price spreads, concentration indexes. With these indicators NordREG monitors the markets and identify the stronger and weaker positions of countries and the enhancement requirements of each market. In Europe, the switching rates are less than %14. Because of the some barriers to supplier switching the rates are quite low. Firstly, it is obvious that the monetary gain of switching should be higher than transactions costs. Second, Consumers tend to be willing to switch suppliers more if the switching process is easy. Also, lack of trust to contract terms and policies inhibits long-term contracts. Last, customers behave irrationally when over satisfied with local suppliers. Hence, it is presumable that for a while the competition in retail markets remains locally small.

U.S. Federal Energy Regulatory Commission (FERC) published National Assessment of Demand Response Potential Assessment in order to estimate a nationwide demand response potential in 5 or 10 years horizons. The Assessment develops four scenarios:

Business-as-Usual, Expanded Business-as-Usual, Achievable Participation and Full Participation. In 2019, the report foresees that with the Full Participation scenario which of 100 percent of demand response participators have all incentive and price enabling technologies, especially HVAC systems, twenty percent reduction is possible in the peak demand.

In this research, primarily HVAC systems investigated for price-based demand response programs. Thermostatically Controlled Loads that respond to real time price is proposed and Time-of-Use daily utility rate plans are designed. For this purpose, an electric low voltage distribution feeder with three hundred twenty home simulated in GridLAB-D software. It is obvious that the energy consumption of home appliances and HVAC systems depend on terminal voltage, number of users and comfort level of them, briefly the social and economic factors. Home appliances are composed of clotheswasher, dishwasher, dryer, waterheater, range, lights, refrigerator, plugload and occupants with detailed loadshape models. In this work, only the HVAC and waterheater are modeled to have an ability as price incentive demand responses and other appliances are in passive mode.

In the next section, the heat balance of home analyzed due to bases of temperature control of HVAC systems in demand response programs. Initially, the equivalent thermal parameter model (ETP) is analyzed heat gains and losses and the effects of thermal mass, as a function of solar radiation, thermostat temperature settings and heat gains by occupants and appliances. The most comprehensive thermal integrity model of house with the insulations configured in GridLAB-D. Each house modeled in GridLAB-D has two primary sources of internally generated heat. First, is the waste heat given off by other devices in the house. Second, there are devices in the home that are not explicitly modeled but that have sufficient aggregate impact that their heat contribution to the house and their aggregate impact on the home's electricity must be accounted for.

The auction based market implements by submitting seller and bidder bids of price for a set of quantity simultaneously. The market clears by intersection point of the supply and demand curves. Double auction market simulates a merit order as buyers are sorted from highest price to lowest price and sellers are sorted from lowest price to highest price. But, in this work we used only pre-prepared Time-of-Use tariff prices with the buyers/bidders in the day-ahead market. We only deal with consumers and generators are out of scope of this thesis. Anyway, it is observed that the limited power quantity behaved like buyers in the capacity constrained market scenario. In addition, observations showed that the HVAC systems do not have any demand response with flat price rates. On the other hand, hourly price and three TOU price tariffs result more demand response participations.

Transactive controllers are used to modify cooling setpoints of HVAC's in a range based on difference between market clearing and average prices. Price responsive controllers are the key components of price-based demand response programs. These controllers changes the loading profiles of appliances according to market prices. Thus, consumers avoid energy consuming during peak demand times. So the lower electricity bills are paid without reducing energy consumption. But if the TOU price volatility is high and sudden, e.g. very low prices following very high prices in peak hours, then suddenly the load diversity corrupts and peak demand overshoots which known as rebound effect. So that, the principal reasons for demand response participation disappear. In the literature, there are many advices about solving the

rebound effect. One of them is supply capacity constraint solution in market auction mechanism that we analyzed within the scope of this thesis. However, even if the results verify the solution, another very high market clearing price (price cap) problem arose. The supply capacity limitation also causes the disruption of supply and demand equilibrium. The market clears when just reached to limited power of aggregated bids but still have buyers who must consume energy at whatever the prices are. So unhealthy price formation occurs and clearing prices goes through the highest point. At the end of work different factors to influencing the demand response participation and different participation ratios to influencing the grid scenario results are discussed.

1. GİRİŞ

Dünyada petrol krizlerinden sonra yaşanan maliyet enflasyonu nedeniyle enerji talebi kısılmaya zorlanmaktadır. Bir taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinde azalmalar görülse de hem petrole olan bağımlılığın sürmesi hem de yenilenebilir kaynakların gün içerisindeki üretimlerinin kesin bir şekilde kestirilememesi (non-dispatchable) nedeniyle talep tarafında özellikle puant dönemi fiyatlarının iyileşmediği görülmektedir. Bu gelişmeler nedeniyle talep tarafında dinamik fiyatlandırma sistemine geçilmesiyle tüketicilerin talep esnekliği kullanılabilir hale getirilerek fatura bedellerinin düşmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla dünyada elektrik toptan satış ve perakende piyasalarında pek çok sayıda talep cevabı katılımı programı hayata geçirilerek elektriğin endüstriyel, tarımsal, ticari ve mesken yük gruplarının sahip oldukları farklı talep esnekliği potansiyellerinin elektrik piyasalarında enerji, kapasite veya yan hizmet olarak rol alması planlanmaktadır.

Bu gelişmeler ışığında bu tez kapsamında elektrik mesken tipi tüketicilerin talep cevabı katılımlarının dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu etkiler elektrik piyasa fiyatlarının ve yüklenme eğrilerinin değişimine bakılarak incelenmiştir.

Hurley, Peterson ve Whited (2013) [1] referanslı çalışmalarında PNNL ve BPA yönetiminde gerçekleştirilen Olympic Peninsula Projesi ile elektrikli ev aletlerinin elektrik piyasasına dayalı olarak kullanımını konu edinmiştir. Bina otomasyon sistemleriyle bütünleşik çalışan örnek projede ev aletleri ve bina ısıtma ve soğutma sistemleri talep cevabı katılımı yoluyla piyasa fiyatlarını etkilemektedir. Ayrıca piyasa fiyatlarına göre enerji kullanımını değiştirerek enerji bedelini düşürmektedir. Puant zamanlarında elektrik fiyatlandırmasının, kullanım süresi ve kritik en üst seviye fiyatlandırmasının toplam enerji tüketimini düşürdüğü gözlenmiştir. Bu projeye katılan ev tipi tüketicilerin talep cevabı katılımına ilgi seviyelerindeki en büyük artış çevresel faktörlerin de etkin olduğu zamanlarda olmuştur. Talep cevabı katılımı teşviklerinin yanında tüketicilere aylık enerji verimliliği raporlarının sunulması katılımlarını daha da çok arttırmıştır. Gerçek zamanlı fiyat uygulamasında talep esnekliği, en çok HVAC yüklerde görülmüştür. Proje kapsamındaki HVAC yükler

piyasa fiyatlarının ortalama ve standart sapmalarını sürekli izlemekte özellikle sabah saatlerindeki düşük fiyat uygulamalarında başarılı olmaktadırlar.

Ghaemi ve Schneider (2013) [2] referanslı çalışmalarında GridLAB-D programı ile piyasa analizleri yaparak binalarda talep cevabı katılımı potansiyellerini belirlemeyi amaçlamıştır. Analizi gerçekleştirilen binalarda öncelikli olarak HVAC sistemlerinin talep cevabı katılımına etkisi incelenmiştir. Ev sıcaklığını belirleyen ana etkenler; dış ortam sıcaklığı, binanın fiziksel özellikleri, bina ısı yalıtım yapısı ve HVAC sisteminin özellikleri olarak belirlenmiştir. Piyasa fiyatının yüksek olduğu saatlerde HVAC sistemlerinin alt ve üst limit sıcaklıkları genişletilmiş ve fiyatın düşük olduğu saatlerde ise daraltılmıştır. Böylelikle fiyatın yüksek olduğu zamanlarda HVAC sistemi daha esnek sıcaklık değerleri ile çalışarak talep katılımını arttırmıştır. Üstelik puant gücü de düşürmüştür.

Zhang ve arkadaşları (2013) [3] referanslı çalışmalarında 5000 HVAC ünitesinin bütünleşik modelini GridLAB-D programı ile oluşturarak çeşitli senaryolar ile test etmişlerdir. Frekans regülasyonu senaryosuna göre bütünleşik sistem bir yan hizmetler servisi olarak çalışmıştır. HVAC kontrol sisteminin yük tevzi merkezinden birkaç saniyede bir gelen sinyalleri takip ederek talep cevabı katılımıyla elektrik şebekesinin frekans kontrolünü sağlaması amaçlanmıştır. Bu nedenle kurulan sistem ortalama 3,5 MW güce sahip olup ayrıca 2,5 MW esnek talep cevabı kontrolüne sahiptir. Bu sisteme yük tevzi merkezinden gelen sinyal, 5000 HVAC bütünleşik kontrolörü tarafından 15 saniyelik periyotlarla izlenmekte olup bir kapalı çevrim kontrol sistemi ile 5 ya da 10 dakikalık gecikmelerle tepki verilmektedir. Simülasyon sonucunda 5'er dakikalık gecikmeler ile referans sinyalin başarılı bir şekilde takip edildiği görülmektedir. Ancak 10'ar dakikalık gecikmelerde sinyalin takip edilemediği görülmektedir. Diğer bir senaryo ise puant güç talebinin düşürülmesidir. Bu amaçla yine 5000 HVAC sisteminden oluşan bütünleşik kontrolör direk yük kontrolü uygulamasıyla bir saat boyunca sistemin %30'unu devre dışı bırakabilmiştir. Ancak devre dışı kalan dairelerde iç ortam sıcaklığının aşırı yükselmesi sonucunda direk yük kontrolü uygulaması sonlanarak HVAC sistemlerin bu daireleri soğutmak için talep gücünü eski puant gücünün de üzerine sıçratmasına (rebound etkisi) sebep olduğu gözlenmiştir. Bu ani güç sıçramasının önlenmesi için bütünleşik kontrol sisteminin direkt yük kontrolü uygulaması sona erdikten sonra belirli bir süre daha büyük bir güç

referans sinyali izlemesi sağlanmıştır. Bir diğer deyişle hat gücü kısıtlamalı işletme moduna geçilerek güç sıçraması önlenmiştir.

Tulabing ve arkadaşları (2016) [4] referanslı çalışmalarında temel olarak çeşitli ev aletlerini talep cevabı esneklik potansiyellerine göre önceliklendirmiştir. Önceliği düşük, talep esnekliği az olan yükler daha önce devreye alınarak diğer pek çok çalışmada görülen talep katılımının puant gücün aşılması (rebound etkisi) sorununun azaldığı görülmüştür. Bir senaryoda ise bir PV dağıtık üretimin hava şartları nedeniyle %80 oranında azalması durumunda talep cevabı katılımı ile sistemin dengelenmesi sağlanmıştır. Sonuçta HVAC, dondurucu ve buzdolabı aletlerinin talep cevabı katılımı ile yük atımı sağladığı görülmüştür. Son senaryoda ise talep katılımının piyasa fiyatına göre çalışması amaçlanmıştır. Bu amaçla sabit bir eşik fiyat önceden belirlenmiştir ve piyasa fiyatının bu eşik üzerine çıkması durumunda talep cevabı katılımı ile yük atılarak yüksek fiyatlı tüketimden kaçınılması sağlanmıştır.

Mathieu ve arkadaşları (2012) [5] referanslı çalışmalarında HVAC, elektrikli su ısıtıcısı, buzdolabı vb. ısı değişimlere bağlı olarak enerji tüketimi değişen ev aletlerinin (TCL) enerji, güç depolama ve talep cevabına katılım potansiyelleri araştırılmıştır. Bu ev aletlerinin yük atma kapasitesi ortam sıcaklığı çalışma aralığında iken aletlerin kapatılabilme potansiyelidir. Ancak ortam sıcaklığı çalışma aralığının dışında ise bu potansiyel ortadan kalkmaktadır. Bu bakımdan akü ve enerji depolama sistemlerinden ayrılmaktadırlar. Enerji kapasitesi ise TCL çalışma sıcaklığının bir sınırında iken diğer sınırına geçene kadar gerekli enerji ile sürekli halde enerji tüketiminin farkıdır. Kaliforniya eyaletinde bu kapasite potansiyellerini belirlemek için 2012 yılı baz senaryo-a, 2020 yılı daha fazla ev sayısı ile baz senaryo-b ve 2020 yılı ısı ev aletlerinin daha fazla oranda elektrikli olduğu senaryo-c olmak üzere toplam üç senaryo hazırlanmıştır. Senaryo-a'da yıl içerisinde her saat ~9 GW güç kapasitesi hesaplanmıştır. Senaryo-b'de ise ev aletlerinin ısı performansları arttırılmıştır. Ancak bu gelişmenin güç kapasitesini düşürdüğü gözlenmiştir. Senaryo-c'de ise TCL ev aletlerinin daha fazla oranda elektrikli olmasıyla hem enerji kapasitesi hem de talep cevabı kapasitelerinde artış gözlenmiştir. TCL ev aletleri enerji depolama sistemi olarak regülasyon amacıyla kullanıldığında \$785-2000/kW, yük izleme amacıyla kullanıldığında ise \$600-1000/kW düzeyinde bir gelirin 10 yıl boyunca elde edilmesi öngörülmektedir.

Bu tez kapsamında ikinci bölümde öncelikli olarak elektrik piyasalarının geçmişten bugüne kadar yaşadığı değişimler ve bu değişimlerin nedenleri araştırılmıştır. Gelişmiş ülkelerde uygulanan teknoloji politikalarının olumlu ve olumsuz etkileri ortaya konulmuştur. Avrupa ülkelerindeki elektrik toptan satış ve perakende piyasalardaki rekabet yöntemleri araştırılarak mevcut rekabet düzeyi irdelenmiştir. Ek olarak talep cevabı katılımının tarihsel gelişim süreci ABD merkezli olarak araştırılmıştır. ABD Federal Enerji Düzenleme Komisyonunun talep cevabı katılımı neticesinde piyasa fiyatları oluşması ve puant talebin düşmesi için sunduğu yeni düzenlemeler irdelenmiştir.

Üçüncü bölümde ise, ev termal ısı modelleri incelenmiştir. Ev içerisinde yer alan tüm canlı ve cansız nesnelerin evin ısı dengesine etkileri bulunmaktadır. Bu yüzden, bu tez çalışmasında analizler için kullanılan GridLAB-D programıyla bir ev içinde bulunan eşyalar, elektrikli ev aletleri, insanlar ve HVAC sistemlerinden oluşan detaylı bir ısı denge modeli kurulmuştur. Bu model ile ev sıcaklığının HVAC termostat ayar sıcaklığına bağlı değişiminin matematiksel dinamik modeli oluşturulmuştur. Böylece, ev sıcaklığının ayarlanmasında HVAC sistemlerinin dinamik enerji tüketimi ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca ev aletlerinin analiz modelleri için uygun parametreler seçilmiştir.

Dördüncü bölümde ise, HVAC sistemleri ve diğer ev aletlerinin piyasa fiyatlarına karşı talep cevabı katılımları için çeşitli kontrol yöntemleri incelenmiştir. Beşinci bölümde ise çeşitli zaman kullanımı tabanlı tarifelerinde uygun kontrol mekanizmalarına sahip HVAC sistemlerinin talep cevabı katılımı ile piyasa fiyatlarına verdiği tepkiler incelenmiştir. Ayrıca, farklı oranda talep cevabı katılımı yeteneğine sahip talep toplayıcısının elektrik şebekesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. REKABETÇİ ELEKTRİK PİYASALARI

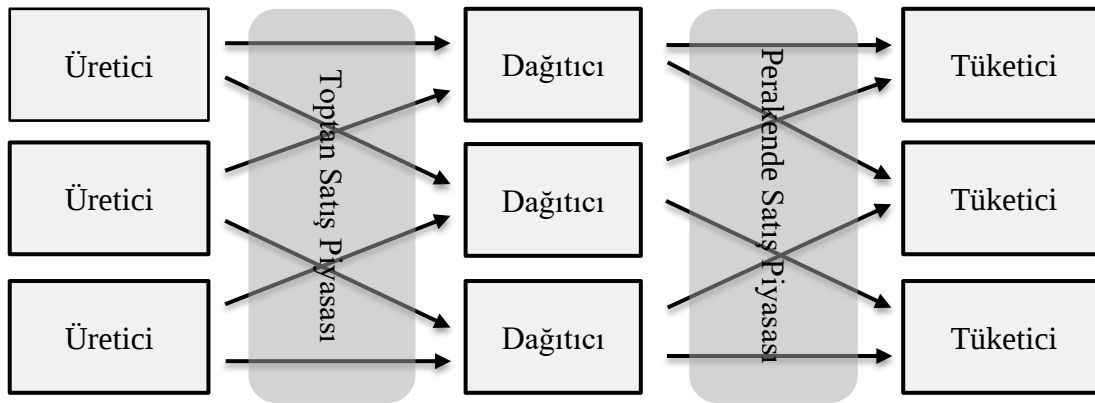
Doğal tekel teorisine göre elektrik hizmetleri sunulan endüstrilerde rekabet ortamının süreklilik sağlayamayacağı görüşü hakimdir. Ancak Walter J. Primeaux elektrik hizmeti üzerinde 20 yıldan fazla süre çalışmış ve 1986 yılında yazmış olduğu *Direct Utility Competition: The Natural Monopoly Myth* kitabında iki firmanın bazı şehirlerde 80 yılı aşkın süredir birbirlerine rakip olduğunu ve bu rekabetin fiyatlar ve hizmetler üzerinden gerçekleştiğini belirtmiştir. Böylece tüketicilerin rekabet ortamında tekele nazaran önemli avantajlar elde ettiklerini belirtmiştir. Ayrıca doğal tekel teorisinin aksine maliyetlerin iki firmanın faaliyet gösterdiği alanlarda daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra rekabetçi ortamda doğal tekele göre aşırı kapasite oluşumu da görülmediği belirtilmiştir [6].

Regülasyonlu bir elektrik piyasasından tam anlamıyla piyasa koşullarının hakim olmadığı bir durum anlaşılmaktadır. Burada ortaya koyulan durumda regülasyon durumu her daim bir müdahaleci fikir yapısını da arka planda barındırmaktadır.

Elektrik hizmetinin üreticiden tüketiciye ulaşmasında önceleri dikey bütünleşik gerçekleştirilmesi gerektiği yönünde bir anlayış hakimdi. Bu anlayışa göre de rekabetçi bir ortam olsa dahi dikey entegrasyonla birbirine bağlanmış olan üretim, iletim ve dağıtım hizmetlerinin birbirini etkilediği ve birbirine bağımlı olduğu savunulmuştur [6]. Bu düşüncenin oluşmasındaki temel faktör ise bu endüstrilerin doğal tekel özelliklerini barındırması nedeniyledir. Böylece ölçek ve kapsam ekonomileri ile birbirine bağlanmış olan endüstrilerin üretim miktarı arttıkça maliyetlerin sıfıra yakınsayacağı öne sürülmektedir. Ayrıca bu tür piyasa yapılarında rekabet oluşumunun azalan maliyetler nedeniyle engelleneceği düşünülmektedir. Bunun sebebi ise tek bir firmanın iki ya da daha fazla firmanın yapabileceğinden daha ucuza üretim gerçekleştirebileceği düşüncesinde yatmaktadır. Böylece diğer bir firmanın piyasaya girmeye çalışması durumunda tekeli firma rakibine göre daha düşük fiyatlandırmaya giderek yeni firmayı piyasadan dışlayabilmektedir [6].

2.1 Toptan Satış Piyasaları

Dünyada elektrik piyasaları tekelci yapıdan rekabetçi yapıya dönüştürülmektedir. Dikey bütünleşik yapıdan dikey ayrıştırma yoluyla elektrik iletim, üretim, dağıtım, ticaret ve düzenleyici yapılar birbirinden ayrılarak çapraz sübvansiyonlar engellenmekte ve daha verimli çalışan bir sisteme geçilmektedir. Şekil 2.1’de hem alıcıların hem de satıcıların kendi aralarında rekabet ettiği bir piyasa yapısını görülmektedir.



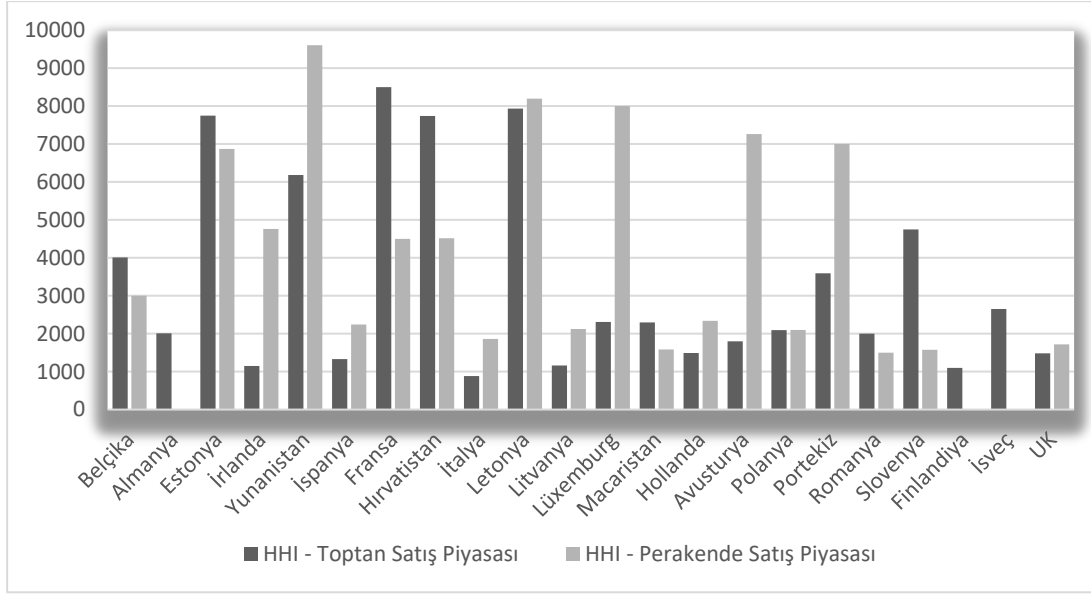
Şekil 2.1 : Rekabetçi elektrik piyasa yapısı

Bu yapıdaki toptan satış piyasalarının tam rekabet koşullarına ulaşması için birkaç engel bulunmaktadır. Elektrik endüstrisinin serbestleşme süreciyle beraber üretim santralleri özelleştirilmeye başlanmış ancak kamunun yönetimindeyken düzenleyici kurumların emirlerine şartsız uyan bu santraller özel sektörün yönetiminde önceliği piyasa fiyatlarına vermiştir. Bu sebeple elektrik şebekesinde meydana gelebilecek arıza, düşük kapasite, iletim kısıtı, vb. sorunlar oluştuğunda piyasa fiyatları özelleştirilen bu santraller nedeniyle yükselme riskiyle karşı karşıyadır. Diğer bir risk ise şebeke faaliyetleri ile piyasa faaliyetleri arasındaki çıkar çatışması nedeniyle dikey bütünleşik yapıdaki elektrik teşebbüslerinin stratejik olarak iletim ve dağıtım hatlarına yatırım yapmaktan kaçınmasına (strategic underinvestment), mevcut üretim kapasitelerini tam kullanmamasına (capacity withholding) ve çapraz sübvansiyon gibi yollara başvurmaya neden olabilmektedir. Bu davranışlar yüzünden elektrik teşebbüsleri potansiyel rakiplerini pazar dışına itebilir, tedarik edecekleri elektrik enerjisinin fiyatını yükseltebilir ve yüksek kâr getiren pazar faaliyetlerinden elde ettikleri ekonomik gücü diğer faaliyetlerin yürütülmesi için kullanabilmektedirler [7]. Bu gibi riskleri düşürmek için en önemli araçlardan biri İkili Anlaşmalar’dır. Şekil 2.4’te görüldüğü üzere toptan satış piyasası içinde elektrik ticareti çeşitli alt piyasalar

ile işlemlerinin gerçekleştiği türev ürünler bulunmaktadır. Bu türev ürünler kullanılarak tedarikçiler direkt üreticilerden vadeli anlaşmalar vasıtasıyla elektrik enerjisini temin etme imkânına kavuşmaktadır. Bu sayede fiyat risklerini yönetebilme (hedging) imkânına da erişmektedirler.

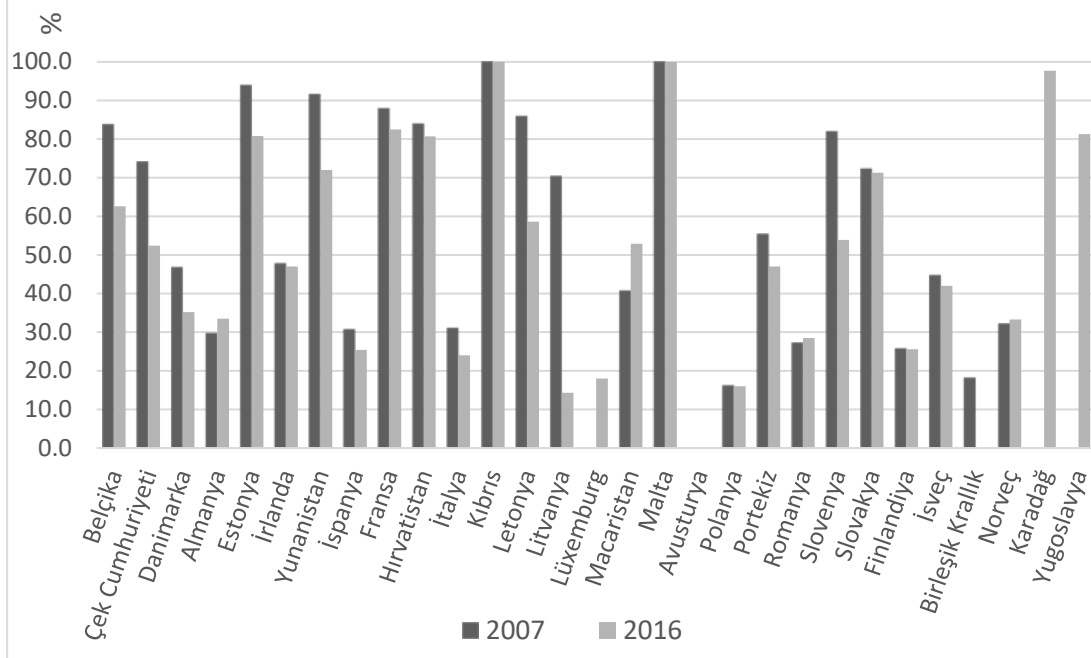
Tek taraflı pazar gücü kullanımının yanında, elektriğin homojen bir ürün olması, şeffaflık ve bilgi akışı seviyesinin diğer piyasalara göre yüksekliği, maliyet yapılarının benzerliği, yüksek giriş engelleri ve talebin esnek olmaması gibi nedenler elektrik piyasalarında; teşebbüsler arası koordinasyon, uyumlu eylem ve birlikte hâkim durum problemlerin ortaya çıkması riskini doğurmaktadır[8]. Bu sebeplerden ötürü, Türkiye elektrik piyasasının serbestleşme sürecinde etkin bir toptan satış piyasası oluşturulması aşamasında; teşebbüslerin pazar gücünü tek taraflı olarak kötüye kullanmalarından kaynaklanan sorunların hızlı ve etkin bir şekilde tespit edilmesi, pazar gücünü azaltıcı (market power mitigation) mekanizmaların tasarlanması, ilgili kurumların ve piyasa katılımcılarının spot piyasaya aşırı derecede odaklanmasından kaçınılması, etkin bir risk yönetimine imkân verilmesi ve yine pazar gücünü azaltmak amacıyla tüketicilerin fiyat değişikliklerine tepki vermesini sağlayacak olan talep cevabı katılımının hayata geçirilmesi önem kazanmaktadır [8].

Dünyada piyasa yapısı belirlenirken kullanılan birçok etken vardır. Bu etkenlerden biri az sayıda firma tarafından kontrol edilen piyasa büyüklüğüdür. İktisatçılar, bu büyüklüğü ölçmek için piyasa yoğunlaşma endeksleri kullanmaktadırlar. Bir yapının yoğunlaşma derecesi, o yapıdaki birimlerin sayısına ve iktisadi kaynak ve etkinlikler toplamının yapıyı oluşturan birimler arasındaki dağılımına bağlıdır. Piyasadaki firma sayısı ile yoğunlaşma derecesi arasında ters yönlü bir ilişki söz konusudur. Yoğunlaşma endeksi yüksek olduğunda, fiyat ve çıktıların piyasada az sayıda firma tarafından belirlendiği; düşük olduğunda ise fiyat ve çıktıların piyasada çok sayıda firma tarafından belirlendiği ortaya çıkmaktadır [9]. Kabul edilen yoğunlaşma endekslerinden biri Herfindahl-Hirschman Endeks (HHI)'dir. HHI değeri teşebbüslerin piyasa payı yüzdelerinin kareleri toplanarak hesaplanmaktadır. Buna göre en düşük endeks 0 (tam rekabet piyasası), en yüksek endeks ise 10000 (tekel piyasası) değerlerini almaktadır. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere Avrupa ülkelerinde henüz tam rekabet ortamının sağlanmadığı söylenebilir.



Şekil 2.2 : Avrupa ülkelerindeki HHI değerleri [10]

Şekil 2.3 Avrupa ülkelerindeki en büyük elektrik üretim santrallerinin piyasa payını göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere 2016 yılı için 2007'ye göre bu santrallerin piyasa güçlerinin azaldığı söylenebilir. Ancak yine de ülkelerin yarısından fazlasında piyasa payları %50'nin üzerinde olup rekabet düşüktür.

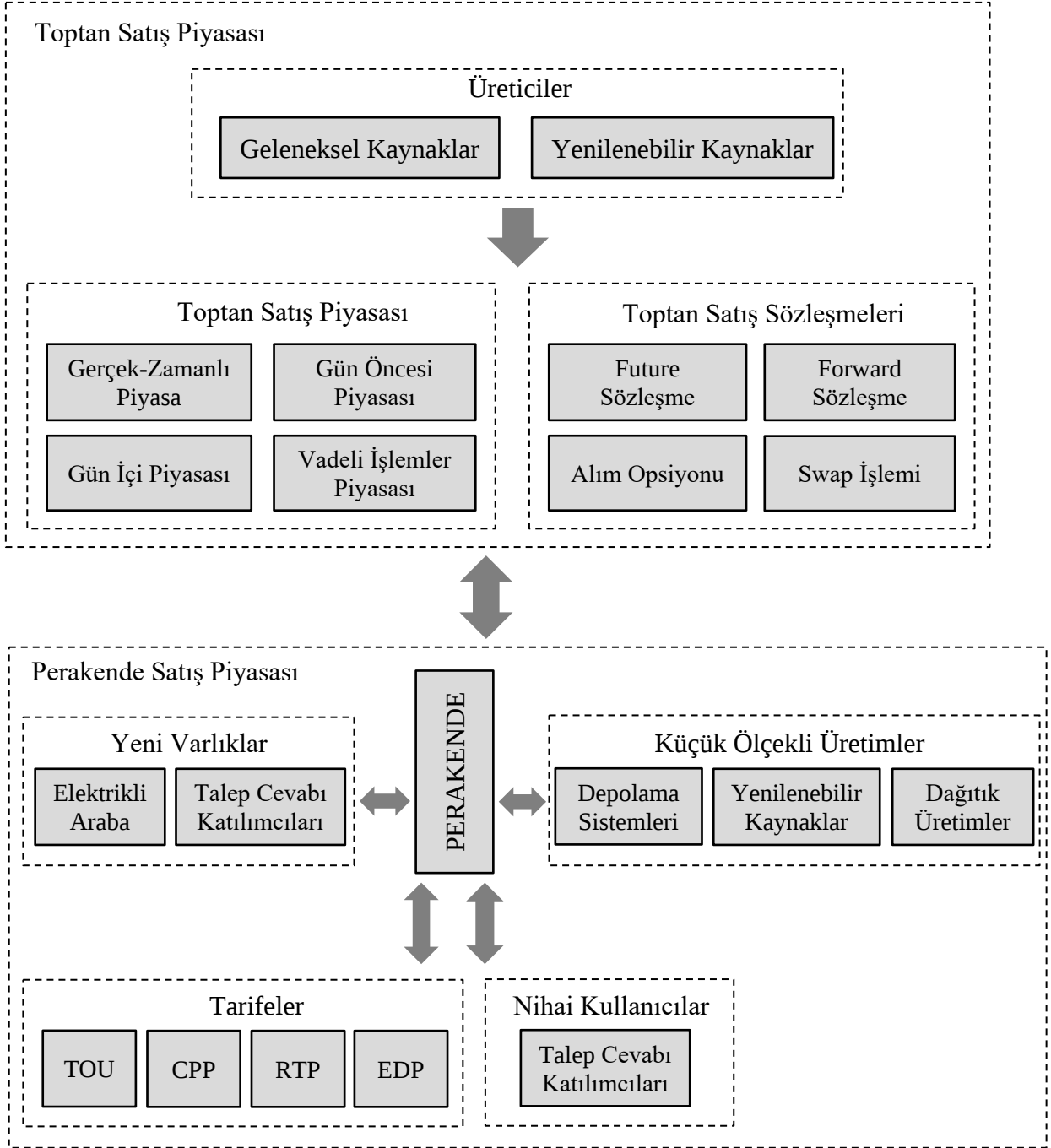


Şekil 2.3 : Avrupa ülkelerinde en büyük güçlü üretim santrallerinin piyasa payları [10]

2.2 Perakende Piyasaları

Son yıllarda elektrik üretiminde geleneksel kaynakların yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artmasıyla enerji arzında belirsizlikler oluşmaktadır. Çünkü yenilebilir enerji kaynakların iklim koşullarına bağlı olması nedeniyle enerji arzının kesintiye uğraması riski ve buna bağlı olarak da piyasa fiyatlarının belirsiz olarak yükselme riski bulunmaktadır.

Toptan satış piyasasından değişken fiyatla elektrik enerjisi tedarik eden perakendeciler henüz gelişmemiş perakende piyasalarında nihai tüketicilere sabit tarifeler üzerinden satış yaparak fiyat riskleri taşımaktadırlar. Hem doğal iklim koşulları nedeniyle hem de toptan satış piyasası araçları nedeniyle gelişmiş perakende piyasalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu piyasalar aynı zamanda elektrik arzının çeşitliliğini arttırarak arz güvenilirliğinin artmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 2.4'te görüldüğü üzere dağıtım şebekesine bağlanacak olan küçük ölçekli yenilebilir enerji kaynakları ve enerji depolama sistemleri perakende piyasası için piyasa katılımcısıdırlar. Elektrikli araçlar ve talep toplayıcıları (aggregators) ise perakende piyasasında sanal güç santralleri olarak çalışmaktadır. Bu sanal santraller depolama özellikleri ve talep cevabı sürelerine bağlı olarak perakende piyasalarında daha esnek fiyatların oluşmasını sağlamaktadır. Bu sayede enerji verimliliği de artmaktadır [11].



Şekil 2.4 : Detaylı toptan ve perakende piyasa yapısı [11]

2.2.1 Perakende piyasası göstergeleri

İskandinav elektrik piyasasında düzenleyici olan NordREG, piyasaları izlemek ve geliştirmekle sorumlu olup perakende piyasalarında rekabetin ölçülmesi ve karşılaştırılması amacıyla aşağıda açıklanan dört adet piyasa göstergesi belirlemiştir [12].

2.2.1.1 Tedarikçi sayısı

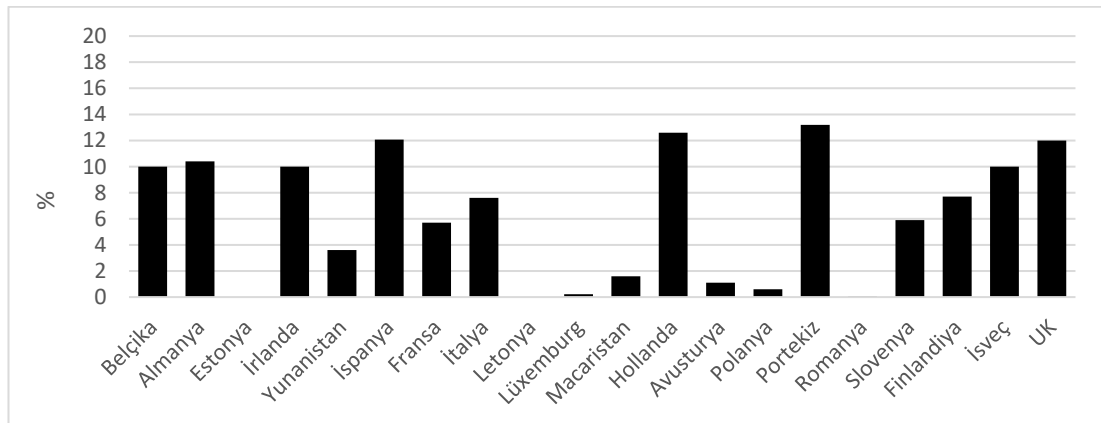
Piyasada elektrik satışı yapan firma sayısının çokluğu rekabeti olumlu etkilemektedir. Ancak toplam firma sayısı tek başına yeterli bir gösterge olmayıp piyasaya giriş ve çıkışların serbestliği, enerji üretimi ve tedarikçi değiştirme maliyetlerinin düşük olması da optimum tedarikçi sayısını belirlemede önemli etkenlerdir.

2.2.1.2 Tedarikçi değiştirme oranı

Elektrik tüketicilerin piyasa hakkında tüm bilgilere sahip olması piyasanın şeffaf olmasıyla ilgilidir. Şeffaf bir piyasada tüketiciler kendileri için en iyi tedarikçiyi kolayca bulabilirler ve geçiş maliyetlerinin azlığı ölçüsünde tedarikçilerini de değiştirebilirler. Geçiş maliyetleri ise şu şekilde sınıflandırılabilir[8]:

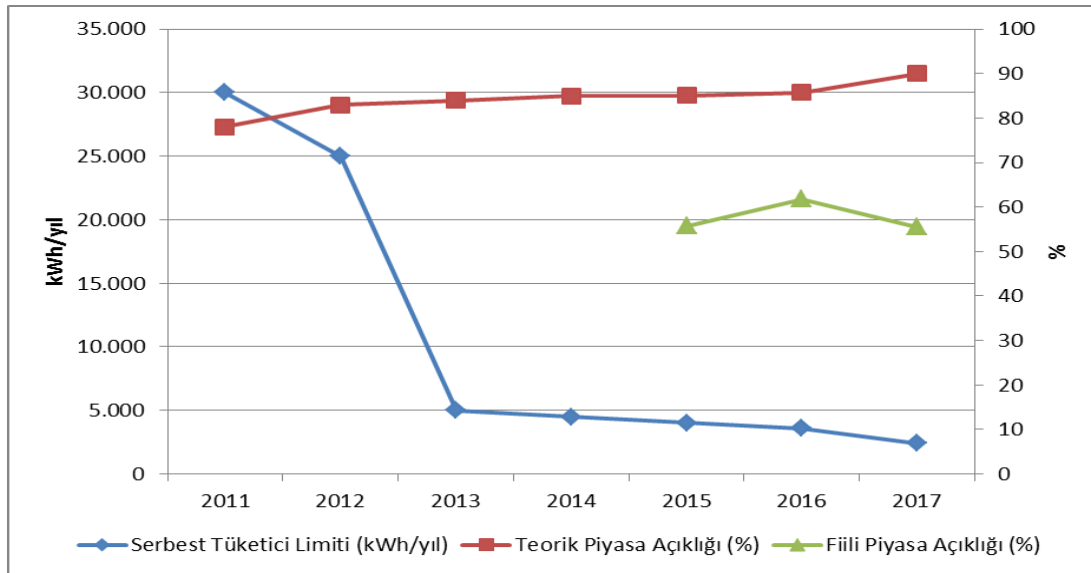
- a. **İşlem maliyetleri:** Geçiş aşamasında yapılması gereken işlerin belli bir uğraş gerektirmesi ve zaman alması nedeniyle katlanılan maliyetlerdir.
- b. **Araştırma maliyetleri:** Tüketicilerin, bölgesinde faaliyet gösteren tedarikçileri belirleme, bunlardan fiyat teklifi alma, farklı ödeme imkânlarını araştırma ve tasarruf miktarlarını hesaplama sırasında katlandığı maliyetlerdir.
- c. **Sözleşmeden doğan maliyetler:** Mevcut sözleşme gereğince cayma süresi veya bedeli gibi maliyetlerdir.
- d. **Psikolojik maliyetler:** Müşterilerin mevcut sağlayıcıdan memnun olmaları nedeniyle algılanan risklerin yükselmesi dolayısıyla katlanılan maliyetlerdir.

Şekil 2.5'te Avrupa ülkelerindeki hanehalkı tüketicilerinin bir yıl içerisinde kontratlarını değiştirme oranları görülmektedir.



Şekil 2.5 : Avrupa ülkelerinde tedarikçi değiştirme oranı [10]

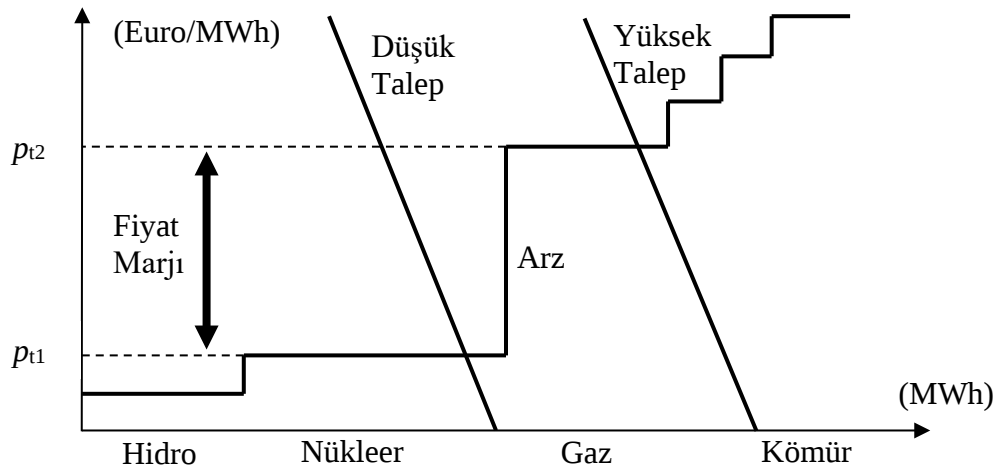
Perakende piyasalarda rekabetin oluşması için tüketicilerin tedarikçisini seçebilme özgürlüğüne sahip olmaları önemlidir. Bu doğrultuda elektrik dağıtım şirketlerinin elektrik ticareti yapan bağlı teşebbüslerinin piyasada rekabet eder halde olması, serbest tüketici limitlerinin sıfıra indirilerek tüm tüketicilere piyasaya katılım hakkı tanınması ve böylece fiyatların tam rekabet piyasası şartlarında oluşması amaçlanmaktadır. Tüketicilerin tedarikçisini değiştirebilme serbestliğini gösteren piyasa açıklık oranı rekabetin izlenmesi açısından önemli bir göstergedir. Şekil 2.6 Türkiye’deki yıllar itibariyle serbest tüketici limiti ve piyasa açıklık oranı grafiğini göstermekte olup buna göre 2017 yılında teorik piyasa açıklığı %90 gözükmemektedir. Hâlbuki bu oran fiili olarak (yalnızca serbest tüketici hakkını kazanmış müşteriler) toplam faturalanan tüketimin yaklaşık %55,5’ine karşılık gelmektedir [13]. Grafikte teorik piyasa açıklığı yüksek olmasına karşın, serbest tüketici hakkını kullanan tüketicilerin toplam tüketimdeki oranı daha düşük gözükmemektedir. Buna neden olarak ise tüm tüketicilerin tedarikçisini seçme hakkı kazanması durumunda dahi, tedarikçilerin yerleşik şirketler olmasından kaynaklanan avantajlar, tedarikçiler arası geçiş maliyetlerinin yüksekliği ve piyasa katılımcıları arasında rekabet kültürünün henüz çok gelişmediği vb. sebepler gösterilebilir. Bu sebeplerden dolayı perakende satış piyasasındaki rekabetin bir süre daha bölgesel nitelikte olacağı öngörülebilir [8].



Şekil 2.6 : Yıllar itibariyle serbest tüketici limiti ve piyasa açıklık oranı (kWh-%) [13]

2.2.1.3 Fiyat marjı

Elektrik fiyatları bilindiği gibi arz ve talebin kesiştiği noktada oluşmaktadır. Arz edenler çeşitli kaynaklardan elektrik üreten satıcılar olup kaynak maliyetleri ve dolayısıyla fiyat teklifleri birbirlerinden farklı olmaktadır. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi talebin düşük olduğu zamanlarda, örneğin sabah saatlerinde arz ve talep düşük fiyat seviyesinde (p_{t1}) kesişmekte iken talebin fazla olduğu zamanlarda ise, örneğin öğleden sonra ise daha yüksek bir fiyat seviyesinde (p_{t2}) kesişebilmektedir. En yüksek ve en düşük piyasa fiyatı farkına ise fiyat marjı (price spread) denilmektedir. Fiyat marjı düşük olduğu zaman tedarikçiler arasında piyasa gücü eşite yakın paylaşılmış olduğu düşünüldüğünden piyasa daha rekabetçi sayılmaktadır. Ancak piyasa fiyatları genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek kapasitede çalıştığı zamanlarda ucuz maliyetler nedeniyle düşebilmekte iken devam eden saatlerde yenilenebilir kaynakların kesilmesiyle fiyatlar ve marj yükselebilmektedir. Öyle ki bir spekülasyon sonucunda o gün öğleden sonra rüzgarsız ve güneşsiz olacak olan hava durumunu bilen fosil kaynaklı üreticilerin stratejik teklifler vermesiyle aşırı yüksek piyasa fiyatları ve marj oluşabilmektedir [14]. Buna karşılık piyasa marjını düşürmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kesildiği zamanlarda enerji depolamalı kaynaklar devreye alınarak fiyat zıplamaları önlenebilir. Ayrıca puant zamanlarda talep cevabı katılımını kullanarak yine yüksek fiyat oluşumlarından kaçınılabılır.



Şekil 2.7 : Piyasa fiyatı oluşum mekanizması [14]

2.2.1.4 Piyasa yoğunlaşma endeksi

Toptan satış ve perakende piyasalarında yoğunlaşmanın az olması yüksek rekabeti belirtmektedir. Az yoğunlaşma ise üreticilerin ve/veya tedarikçilerin piyasa paylarının düşük veya birbirlerine yakın olmasıyla sağlanmaktadır. Şekil 2.2’de Avrupa

lkelerindeki elektrik perakende piyasalarının HHI değerleri görülmektedir. Buna göre pek çok ülkede endeks 2000 ve üzeri değerdedir. Bu nedenle perakende piyasalarda da tam rekabet ortamının henüz gelişmediği sylenabilir.

2.3 Talep Cevabı Katılımının Gelişim Süreci

1950'lerin ortalarından itibaren bina havalandırma sistemlerinin yaygın kullanılmaya başlanmasıyla elektrik tüketicilerinin talep eğrileri değişmeye başlamıştır. Öyle ki gün ortasında daha fazla HVAC kullanımı dolayısıyla talep artmış ancak diğer saatlerde talep çok daha düşük kalmıştır [15]. Bu kısa süreliğine talep artışı yeni üretim santrallerinin sadece bu saatlerde çalışıp günün gri kalanında atıl kalmasına ve dolayısıyla santral maliyetlerinin artmasına neden olmuştur.

1973 yılında yaşanan petrol krizinden sonra artan petrol fiyatlarına bağlı olan elektrik üretim santrallerinin girdi maliyetleri de çok yükselmiştir. Buna bağlı olarak elektrik fiyatları artmış ve puant yük santrallerinin sürdürülebilirliği azalmıştır. Bu nedenle artan talebi yeni üretimlerle karşılamak yerine talep tarafında inşa edilecek piyasa koşullarıyla yeni elektrik santrallerine ihtiyaç duyulmadan tüketicilerin taleplerinin karşılanması düşüncesi tüm dünyada kabul grmştir.

Örneğin, 2000-2001 Kaliforniya elektrik krizi ele alındığında, söz konusu dönemde talep katılımının düşük oranda dahi olsa sağlanabilmesi halinde krizin önlenebileceği yönünde değerlendirmeler bulunmaktadır. Bu çerçevede, krizin yaşandığı dönemde talebin %2,5 oranında kısılması halinde toptan fiyatların %24 oranında düşürülmesinin sağlanabileceği belirtilmektedir [8]. Bu kriz aynı zamanda, toptan satış ve perakende satış seviyeleri arasındaki fiyat ilişkisinin sağlanamadığı bir piyasa tasarımınnin etkinlik ve arz güvenliği açısından getireceği riskleri de ortaya çıkarmıştır.

1990'larda dünya elektrik piyasalarındaki serbestleşme hareketleri nedeniyle yeniden yapılandırmalar başlamıştır. Bu bağlamda elektrik piyasalarında fiyatların tam rekabet piyasalarında olduğu gibi arz ve talebin keşiştiği noktada oluşması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda elektrik tedarikçilerinin de piyasa fiyatları üzerinde etkili olabilmesi arz güvenliği açısından zaruri olduğu düşünülerek bu konuda yeni düzenlemelere gidilmiştir.

2007 yılında 719 sayılı karar ile FERC, ABD'deki toptan elektrik piyasalarında piyasa işletimini ve rekabetçiliği arttırmayı hedeflemiştir. Bu reformlar talep cevabı katılımı,

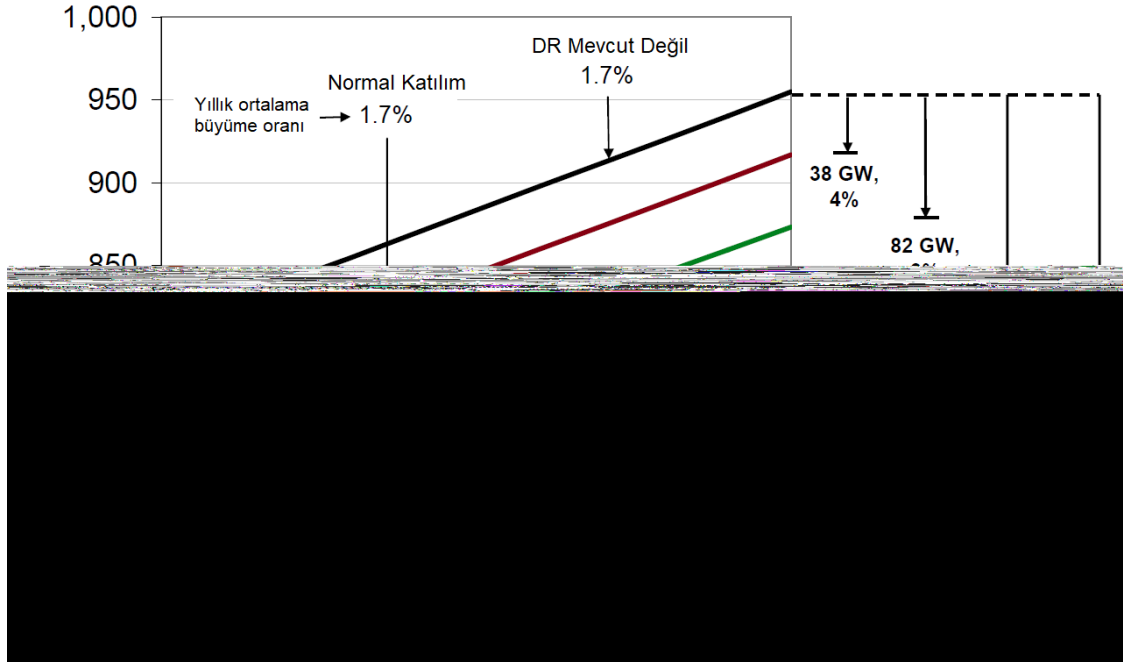
uzun dönemli güç anlaşmaları, piyasa izleme politikaları ile sistem ve bölgesel iletim operatörlerinin tepkiselliğini arttırmak üzerine kuruludur. Talep cevabı katılımına özel olarak, teklif fiyatlarının alınması, acil durumda teşvik, talep toptancısı (aggregator), piyasa fiyatının arzın ve talebin tekrar kesiştiği noktada oluşması için sistem rezervlerinin düşük olduğu dönemlerde piyasa gücünün yönetilmesi önemli görülmüştür[16]. FERC bu kararlar şunları hedeflemiştir:

- i. Talep eğrisinin esnekliğinin artırılması,
- ii. Sistem güvenliğinin artırılmasında, talebin sanal bir santral olarak hizmet vermesi,
- iii. Yenilenebilir kaynakların sistemdeki paylarının artırılması için bir yan hizmet gibi kullanılması,
- iv. Elektrik piyasasının ve bu piyasadaki fiyatların daha verimli oluşmasının sağlanması amaçlanmıştır.

FERC 2009 yılında 10 yıllık ABD ulusal talep katılımı potansiyeli araştırmıştır. Bu amaçla dört farklı tüketici profili senaryosuyla gelecek 10 yıllık tüketim tahminleri gerçekleştirmiştir. Bu senaryolar aşağıda açıklanmıştır:

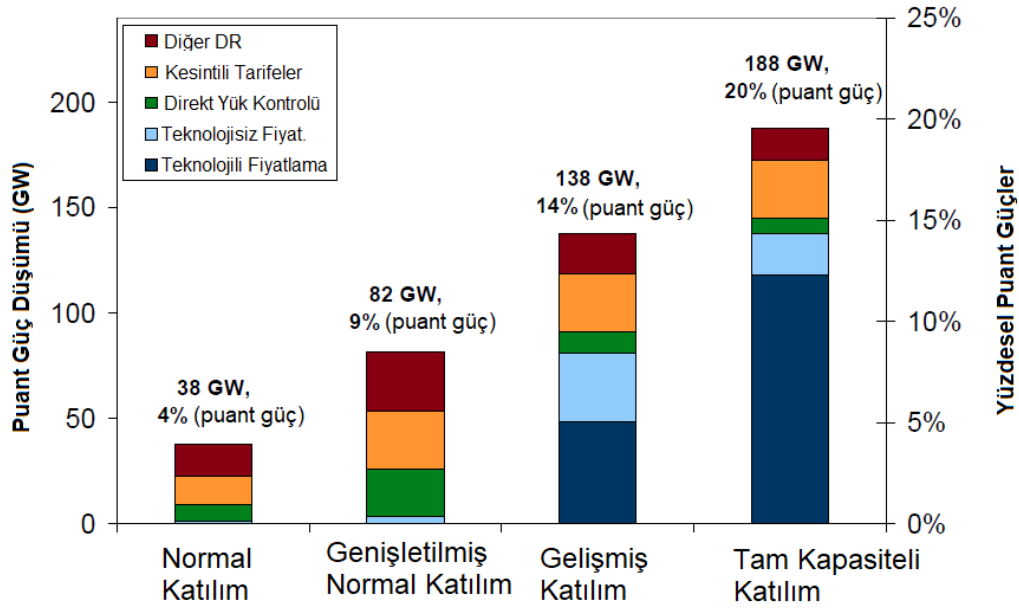
1. Senaryo (Normal Katılım): Mevcut DR programlarının devam ettiği öngörülmüştür.
2. Senaryo (Genişletilmiş Normal Katılım): Mevcut DR katılımcılarının genişletildiği, AMI teknolojisinin kısmı derecede uygulandığı ve az sayıda müşterinin dinamik fiyatlandırmaya katıldığı öngörülmüştür.
3. Senaryo (Gelişmiş Katılım): AMI teknolojisinin tamamen yaygınlaştığı, dinamik fiyatlandırmanın herkes tarafından erişilebilen bir tarife olduğu ve diğer pek çok sayıda DR programının hayata geçirildiği farz edilmiştir.
4. Senaryo (Tam Kapasiteli Katılım): Bu senaryoda tüm katılımcılar dinamik fiyatlandırmaya katılmakta ve fiyat teklifleri için son teknolojiyi kullanmaktadırlar.

Şekil 2.8’de görüldüğü üzere 2019 yılı için DR olmadığı duruma göre 1. Senaryoda %4, 2. Senaryo’da %9, 3. Senaryo’da %14, 4. Senaryo’da %20 potansiyel puant güç düşüşü tahmin edilmiştir.



Şekil 2.8 : ABD potansiyel puant güç düşüş tahmini [17]

Şekil 2.9’da 2019’daki DR programlarının dört senaryo içerisindeki yüzdesel payları verilmiştir. Teknolojisiz fiyatlandırma tüketicilerin gün içerisindeki değişen fiyatlara manuel olarak cevap verdiği yapıdır. Ancak teknolojikli fiyatlandırma ise özellikle akıllı termostatlı HVAC sistemleri ve diğer ev aletlerinin fiyatlara otomatik olarak cevap verdiği bir yapıyı belirtmektedir. DR puant güç düşüşünü en fazla teknolojikli fiyatlama programlarının devreye girdikten sonra sağlandığı şekil 2.9’dan görülebilir.



Şekil 2.9 : ABD DR programlarının puant güç düşüşü payları [17]

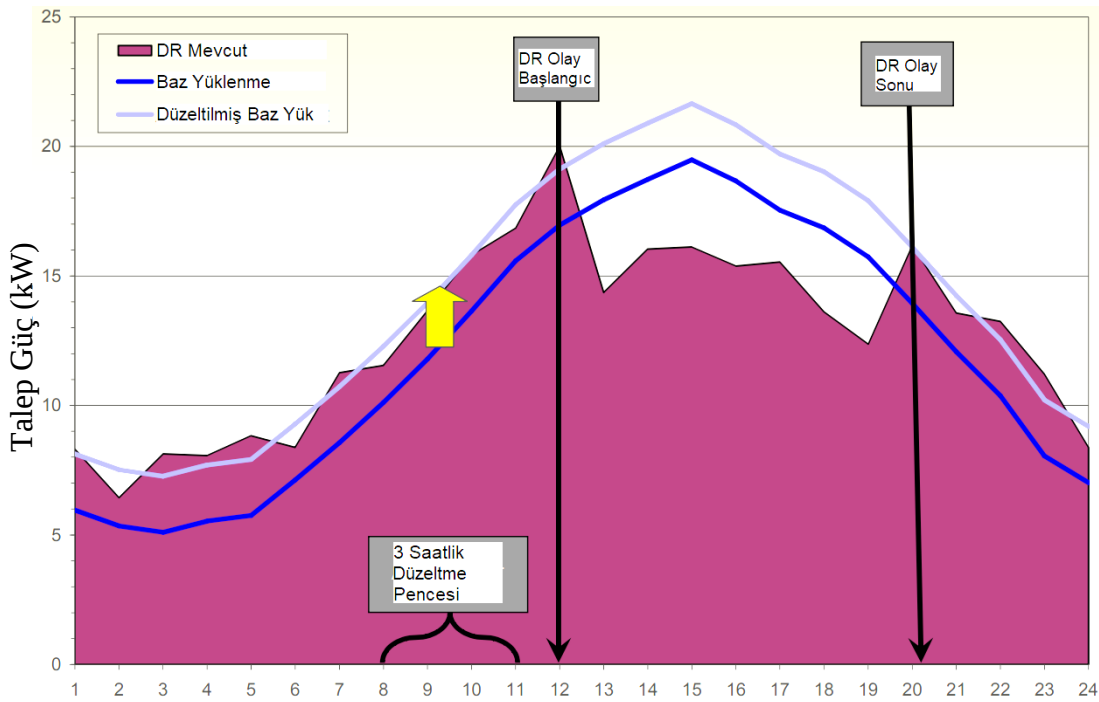
2.3.1 Toptan satış piyasalarında talep cevabı

Talep cevabı esnek olduğu için pek çok şekilde organize piyasada rol oynayabilmektedir. İlk olarak talep cevabına katılanlar talep gücü düşüş potansiyellerini organize toptan elektrik piyasalarında bir enerji kaynağı gibi kullanarak gün öncesi ve gün içi piyasalarında teklif verebilmektedirler. Sonuçta fiyat teklifleri piyasa takas fiyatının altında kalanlar işlemlerini gerçekleştirebilmektedirler. Diğer bir rol ise kapasite kaynağı olarak yer almaktır. Talep cevabı katılımcıları 30 dakika ila 2 saat aralığında azaltılabilir yük olarak kapasite piyasaları ya da mekanizmalarında işlem gerçekleştirebilirler. Ödemeler ise sabit ve değişken maliyet, piyasa takas fiyatı ve talep düşüş miktarına göre yapılmaktadır. Üçüncü olarak ise yan hizmetler şeklinde rol oynamaktadır. 30 dakikada veya daha kısa sürede talep düşüşü sağlayabilen talep cevabı katılımcıları yüklenmelerini arttırıp/azaltarak şebekenin frekans regülasyonuna yardımcı olurlar. Ayrıca yine yan hizmetlere dahil olarak şebekedeki acil bir durumda (hat kesintisi, çökme, doğal afet vb.) bir kaç dakika içinde yük azaltımı yaparak döner yedek olarak h mm □ □ e , m da a md

olmamaktadır. Bu nedenle en önemli kısım DR katılımcılarının talep düşümlerinin doğru hesaplanarak etkin bir mekanizma için uygun teşviklerin verilmesidir.

2.3.1.1 Baz yük tayini

Talep cevabı katılımcılarına verilen teşvikler tüketicilerin elde ettikleri kazancı geçtiği zaman piyasa mekanizmasının işlevi bozulmaktadır. Bu nedenle en önemli kısım DR katılımcılarının talep düşümlerinin doğru hesaplandıktan sonra uygun teşviklerin verilmesidir. Şekil 2.11’de normal baz yük eğrisi ve DR olayı esnasında ölçülen yüklenme eğrileri görülmektedir. Bu iki eğri arasındaki fark DR puant talep düşümünü vermektedir.



Şekil 2.11 : DR olayı baz yük tayini

Kaliforniya Bağımsız Sistem Operatörü (CAISO) DR olayı süresince normal baz yüklenme eğrisi tayini; olay başlangıç gününden önceki 10 gün (tatil günleri, diğer DR olaylı günler ve anormal seviyede yüklenmenin yaşandığı günler hariç) boyunca aynı saatlerdeki tüketimlerin ortalamasını alarak yapmaktadır. Ancak katılımcıların ölçüm doğruluğunu arttırmak için bir düzeltme oranı seçeneği yıllık sözleşme ile beraber sunulmaktadır. Düzeltme oranı ise DR olayından önceki dört saatin ilk üç saatinin ortalamasının, aynı saatlerdeki önceki 10 günlük ortalama oranıdır. Bu oran kestirimle hesaplanmış olan baz yük eğrisi ile çarpılarak düzeltilmiş baz yük eğrisini oluşturulmaktadır [19]. Bu düzeltme oranının ancak birden büyükse katılımcılar için kârlı olduğu ortadadır.

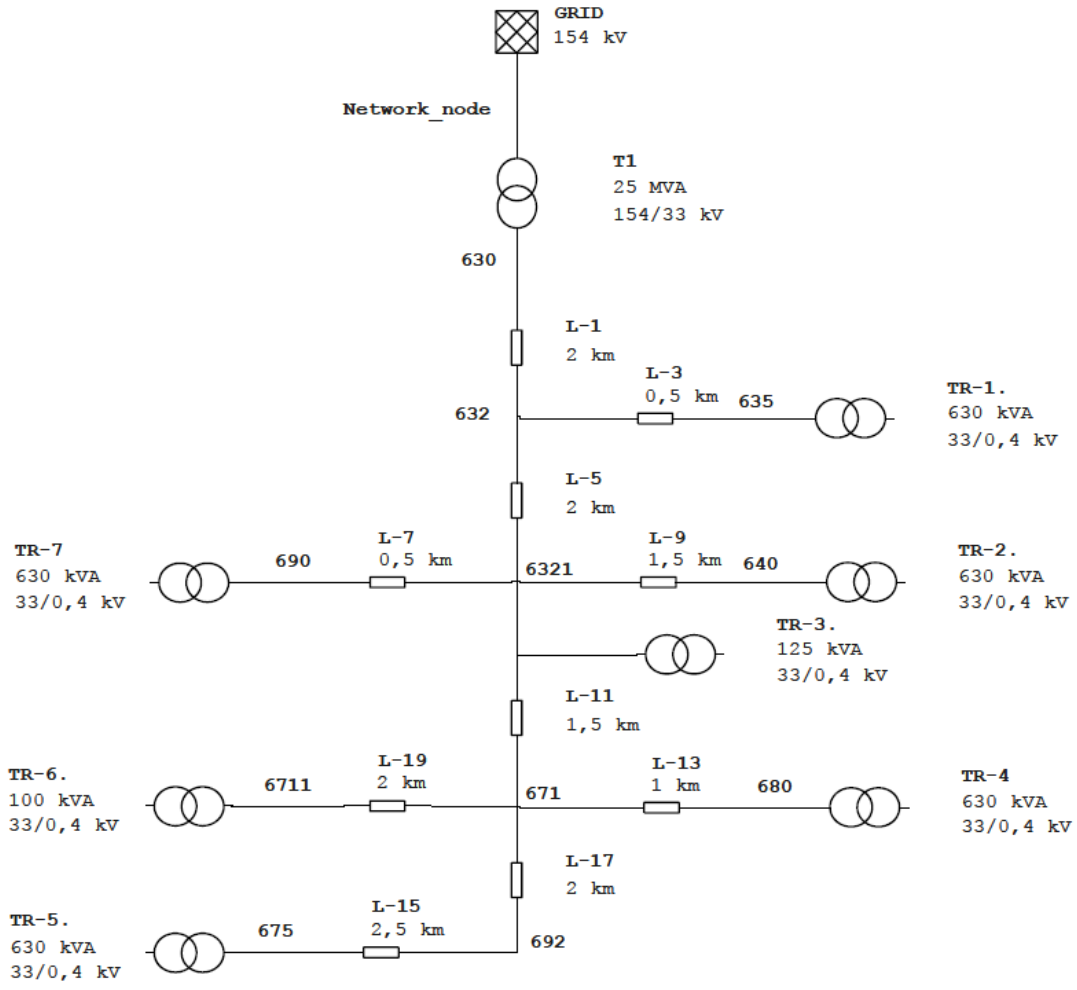
3. MODELLEME ÇALIŞMALARI

Dağıtım şebekesinde transformatör istasyonu, besleme hatları ve tüketici bağlantılarından oluşur. Tüketiciler ise tarımsal, ticari, sanayi ve mesken tipi gibi sınıflandırılabilir. Bu çalışmada mesken tipi tüketiciler göz önüne alındığından, modelleme çalışmalarında, bir meskende yer alabilecek tüketici cihazlar üzerinde durulmuştur. HVAC sistemleri ve diğer ev aletlerinin talep cevabı katılımı analizlerinde ihtiyaç duyulan yüklenme eğrilerinin elektriksel ve iklimsel parametrelere bağlı modelleri GridLAB-D programı vasıtasıyla oluşturulmuştur.

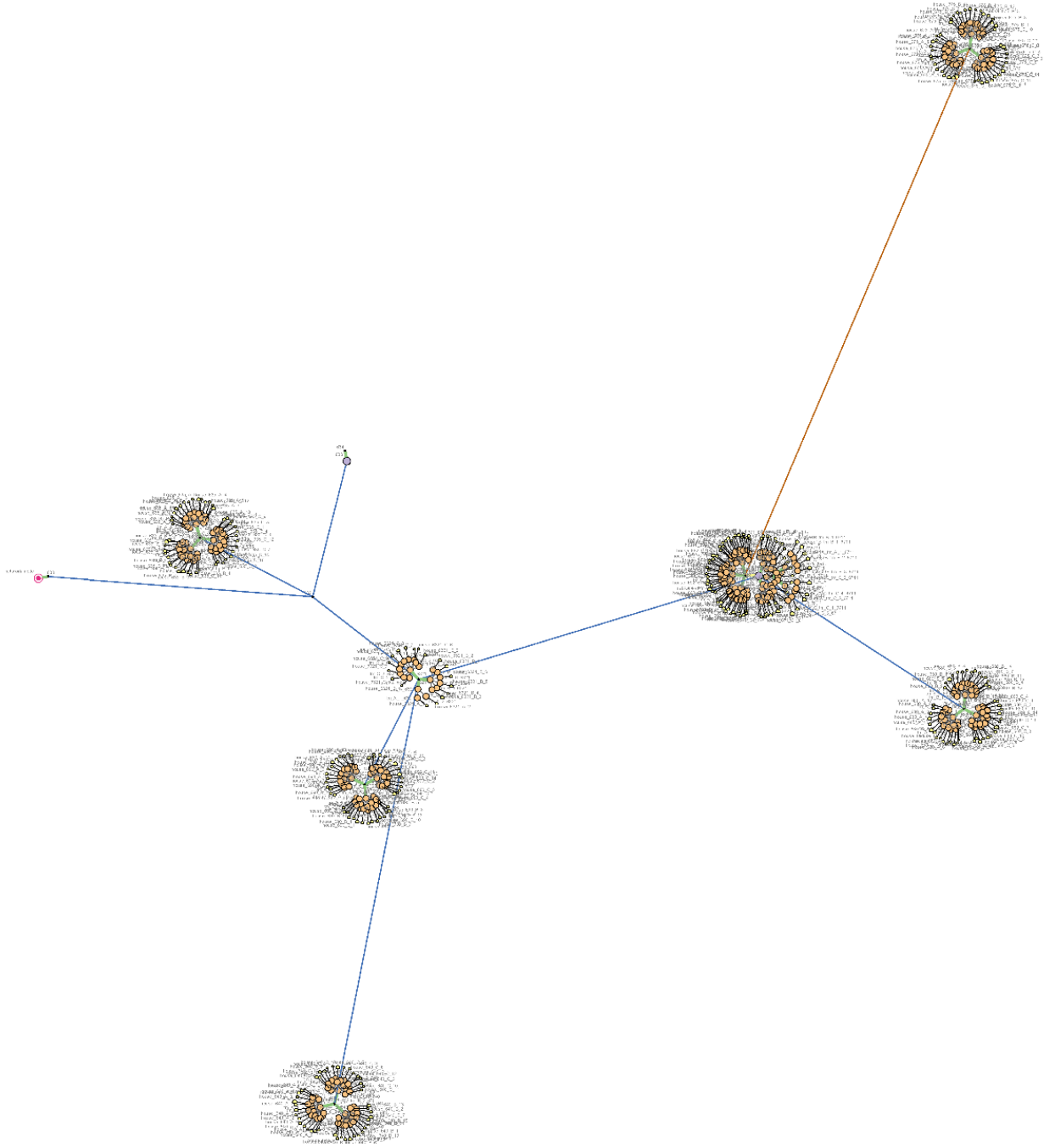
GridLAB-D programı Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'nın (DOE) destekleriyle Pasifik Kuzeybatı Ulusal Laboratuvarı (The Pacific Northwest Ulusal laboratory, PNNL) tarafından açık kaynaklı olarak geliştirilen, elektrik dağıtım şebekelerinde temelde yük akışı ve piyasa ekonomisi alanlarında hesaplama yeteneğine sahip bir analiz programıdır. Yük akışına bağlı olarak iletim kayıpları, gerilim düşümleri vb. alt analizler ile elektrik piyasalarında üretici ve tüketicilerin birlikte katıldıkları ya da tek taraflı katılımlı gün öncesi, iletim kısıtlamalı, gerçek zamanlı vb. analizler gerçekleştirilebilmektedir.

3.1 Örnek Şebeke Modeli

Bu çalışmada, dağıtım şebekesi ve tüketici tarafındaki çeşitli özellikleri incelemek için şekil 3.1'de görülen değiştirilmiş IEEE-13 test fideri kullanılmıştır. Bu kapsamda şekil 3.2'deki içerisinde toplam 320 adet daire bulunan değiştirilmiş IEEE-13 test fideri GridLAB-D programıyla modellenmiştir.



Şekil 3.1 : Değiştirilmiş IEEE 13 test fideri tek hat şeması



Şekil 3.2 : Değiştirilmiş IEEE 13 test fideri GridLAB-D modeli

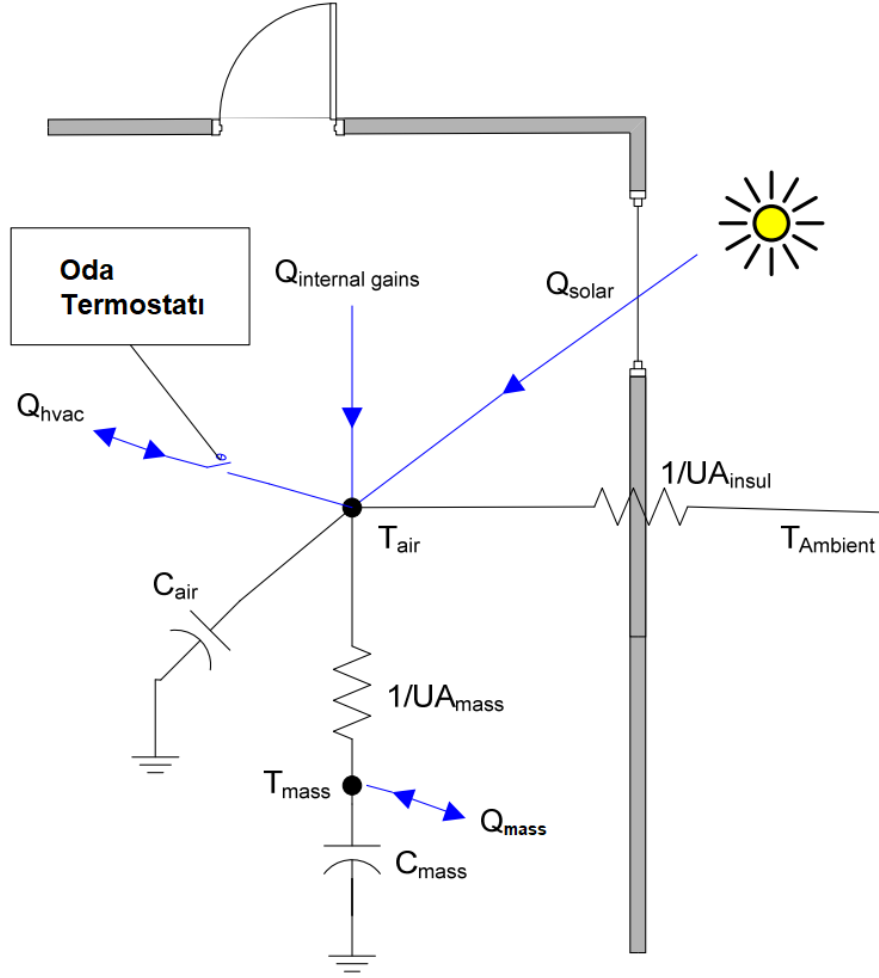
3.2 Ev Aletleri Modelleri

Talep cevabına katılan ev aletlerini analiz etmek için aletlerin günlük, haftalık ve hatta aylık olarak güç tüketimi şemalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Aletlerinin içerisinde bulunan elektrik motorları ve pasif devre elemanlarının güç tüketimi eğrilerinin modellenmesi ya da toplam enerji tüketim verilerinin kaydedilmesi yoluyla tüketim profilleri elde edilebilir.

Bu çalışmada kullanılan ev aletleri şöyle sıralanabilir: Su ısıtıcısı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, kurutucu, dondurucu, mikrodalga, fırın, buzdolabı, aydınlatma ve prizler. Yine de kullanıcıların isteği doğrultusunda program içerisindeki standart modellerin dışında özel modeller de oluşturulabilir. Bu tez kapsamında da özel modeller kullanılmıştır.

Pek çok ev aletinin enerji tüketiimi terminal gerilimi, kullanıcıların sayısı, konfor seviyeleri vb. sosyal ve ekonomik verilere bağlıdır. Dış ortam ısısı evin ısııl yalıtımına bağlı olarak iç ortam sıcaklığına etki etmektedir. Ayrıca ortamdaki cihazlar, insanlar ve ev hayvanlarının yaydığı ısılar da iç ortam sıcaklığını değiştirmektedir. Bu sebeple GridLAB-D programı binaların enerji tüketim hesaplamalarında çevresel etkenleri de içeren termal ısııl modelleri kullanmaktadır.

Bir örnekle açıklamak gerekirse bir evi soğutmakla görevli olduğu varsayılan bir ısı pompasının ETP modeli şekil 3.3'te görölmektedir. GridLAB-D ortama doğal ısıı yayan kaynaklar olarak yalnızca güneş, insanlar ve ev aletlerini hesaba katmaktadır. Bu ısıı ise iç ortam havası ile evin kütleli bileşenleri (duvarlar, mobilyalar vb.) arasındaki maddelerin ısııl katsayılarına bağlı olarak bölünmektedir. Böylelikle evin i ve dış ortamın sıcaklığı ile i ortamdaki kütleli ısıyı absorbe eden eşyalar arasında termal bir bağlantı modeli oluşturulmuştur. Bu nedenle öncelikle HVAC sisteminin gerçeğe yakın bir analizini yapmak için bu modeldeki tüm nesneler program tarafından modellenmiştir.



Şekil 3.3 : Ev tipi HVAC'a ait ETP modeli[20]

- C_{mass} : Daire ve eşyaların ısı kapasitesi (Btu/°F)
- C_{air} : Hava ısı kapasitesi (Btu/°F)
- UA_{insul} : Yalıtım ısı kazanç/kayıp katsayısı (Btu/°F-h)
- UA_{mass} : İç ortam eşya kütlesi ısı kazanç/kayıp katsayısı (Btu/°F-h)
- $T_{Ambient}$: Dış ortam hava sıcaklığı (°F)
- T_{air} : İç ortam hava sıcaklığı (°F)
- T_{mass} : İç ortam eşya kütlesinin sıcaklığı (°F)
- T_{set} : HVAC hedef sıcaklık ayarı (°F)
- Q_{air} : İç ortamın ısı katsayısı (Btu/h)
- $Q_{int.gains}$: Ev aletlerinin ısı katsayısı (Btu/h)

Q_{hvac} : HVAC ısıls katsayısı (Btu/h)

Q_{mass} : İç ortam kütlesinin ısıls katsayısı (Btu/h)

Q_{solar} : Güneşten gelen ısı kazancının ısıls katsayısı (Btu/h)

Şekil 3.3'teki ETP modelinde ısıls kaynaklar; güneş (Q_{solar}), elektrikli ev aletleri ($Q_{int.gains}$) ve HVAC (Q_{HVAC}) sistemleridir. Bu ısıls kaynaklar iç ortam sıcaklığını değiştirmektedir. ETP modeli iki düğümlü bir dc devredir. Bu devrenin çözümünde amaçlanan şey ise iç ortam sıcaklığını (T_{air}) denklem 3.1 [21] vasıtasıyla elde etmektir.

$$Q_{air} - U_{insul}(T_{air} - T_{ambient}) - U_{mass}(T_{air} - T_{mass}) - C_{air} \frac{dT_{air}}{dt} = 0 \quad (3.1)$$

Ancak aynı zamanda evin içindeki diğer eşyalar tarafından bu kaynaklardan ısı absorbe edilmektedir. Bu tutulan ısı daha sonra eve geri salınarak iç ortam sıcaklığını değiştirmektedir. İç ortam kütlesinin sıcaklığını (T_{mass}) elde etmek için denklem 3.2 [21] çözülmektedir.

$$Q_{mass} - U_{mass}(T_{mass} - T_{air}) - C_{mass} \frac{dT_{mass}}{dt} = 0 \quad (3.2)$$

Denklem 3.1 T_{mass} için çözümlü $\frac{dT_{mass}}{dt}$ çekilerek denklem 3.2'ye yerleştirildiğinde denklem 3.3[21]'deki ikinci dereceden bir denklem elde edilmektedir. Bu denklem verilen ısıls girdiler neticesinde iç ortamın havası ile kütsel parametreleri (duvarlar, mobilyalar vb.) birlikte hesaba katarak evin sıcaklığını zamana bağlı olarak hesaplamaktadır.

$$a \frac{d^2 T_{air}}{dt^2} + b \frac{dT_{air}}{dt} + c T_{air} = d \quad (3.3)$$

Burada,

$$a = \frac{C_{mass} \cdot C_{air}}{UA_{mass}} \quad (3.4)$$

$$b = \frac{C_{mass} \cdot (UA_{insul} + UA_{mass})}{UA_{mass}} + C_{air} \quad (3.5)$$

$$c = UA_{insul} \quad (3.6)$$

$$d = Q_{mass} + Q_{air} + (UA_{insul} \cdot T_{out}) \quad (3.7)$$

Denklem 3.3'ün çözülmesiyle evin sıcaklık bilgisi elde edilmekte ve termostat hedef sıcaklık ayarı ile soğutma sisteminin işleyişi belirlenmektedir. Soğutma sistemi iç ortam sıcaklığı istenilen değere gelinceye kadar çalışmaktadır. Denklem 3.8[21]'de görüldüğü üzere motora verilen elektrik enerjisi, $S_{comp-motor}$, soğutma bölümü boyunca oluşan ısı (Q_{hvac}) ve kompresör motorundaki elektriksel kayıp (S_{losses}) parametrelerinin bir fonksiyonudur.

$$S_{comp-motor} = [Q_{hvac}(T_{out}, COP) + S_{losses}(V_T)] \quad (3.8)$$

Performans katsayısı (COP), ısıtma pompasının soğutma oranı ile kompresör tarafından verilen sıcaklığın ve işlem zamanının bir fonksiyonu olan mekanik gücü ilişkilendiren bir skalerdir. Performans katsayısının daha yüksek değerleri daha az elektriksel gücün havayı istenilen sıcaklığa getirmek için yeteceğini göstermektedir. V_T , sistem kompresör motorunun terminal gerilimidir.

Denklem 3.6'da tüm elemanlar voltaj bağımlı olduklarından dolayı voltajdaki değişim güç tüketimini de etkileyecektir. Soğutma sisteminin ısı uzaklaştırma oranı kompresör için mevcut mekanik tork temelli ısı transfer denklemleri ile çözülebilir. Denklem 3.6 zaman serileri simülasyonunda çözüldüğünde sonuç, soğutma sisteminin enerji tüketimini iç ve dış hava sıcaklığı, ekipman parametreleri, terminal voltajı ve kullanıcı kontrollü ayar noktasının bir fonksiyonu olan bir modeldir. Sonuç itibarıyla bir dairenin ısı model ve enerji tüketimi çok sayıda parametreye bağlı olup GridLAB-D programı bu konuda çok başarılı bir model oluşturmuştur. Daha sonra diğer elektrikli ev aletlerinin modellenmesi hususu gündeme gelmektedir.

GridLAB-D ile tasarlanan şebeke modelinde ısı model yukarıda anlatılan ev modelleri "house" olarak isimlendirilmiş olup tek fazlıdır. Her bir ev objesi bir "Triplex meter" objesine bağlanmaktadır. Ayrıca, bütün house objeleri de ayrı bir

“Triplex meter” objesine bağlanarak birleştirilmiştir. Daha sonra bu objenin de tek-fazlı bir transformatöre bağlanmasıyla çok daireli bir konut modeli tamamlanmış olmaktadır. Transformatörler yeraltı veya havai iletim hatlarıyla “node” ile isimlendirilen üç fazlı baralara bağlanmaktadır. Yük akışı modelinin tamamlanabilmesi için şebekedeki bir ve tek bara objesinin salınım (swing) özelliğinin bulunması gerekli koşuldur.

3.2.1 İletim hatlarının modeli

İletim hatları; havai (overhead_line_conductor), yeraltı (underground_line_conductor) ve tek fazlı (triplex_line) olarak modellenmiştir. Örnek sistem incelemelerinde kullanılan GridLAB-D modelleri ve parametreler Ek-A.1’de verilmiştir.

3.2.2 Transformatörlerin modeli

Örnek sistem incelemelerinde kullanılan trafoların parametreleri Ek-A.3’te tablo halinde verilmiştir.

3.2.3 AG bağlantı ölçüm noktalarının modeli

Ev modelleri tek fazlı olduğundan “triplex_meter” objesine bağlanması zorunludur. Ev modellerinin güç ve enerji ölçümleri bu obje üzerinden yapılmaktadır. Örnek sistem incelemelerinde kullanılan GridLAB-D modeli Ek-A.2’de verilmiştir.

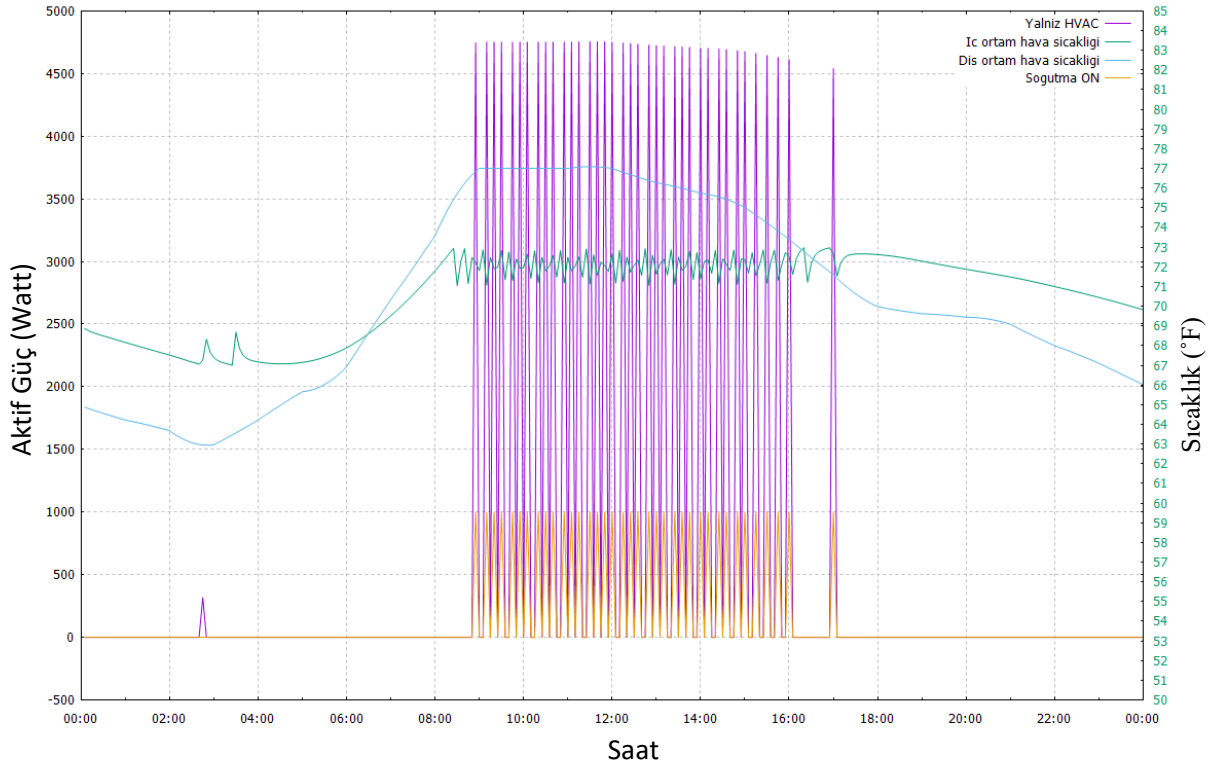
3.2.4 Ev modeli

GridLAB-D ev modeli bir aileli bir daireyi temsil etmektedir. Program ABD’deki ailelerin yaşam tarzlarını referans alarak evi ve ev aletlerini tasarlamıştır. Ancak parametrelerin çoğu değiştirilerek istenilen modeller elde edilebilmektedir. Ev modelinde evin ısı performansını en çok etkileyen, bazı özelliklerin de türetildiği en önemli parametre ise zemin alanıdır (floor_area). Tez kapsamında evler modellenirken farklı sayıda aile bireylerinin, ev aletlerinin vb. olduğu iki tip aile tasarlanmıştır. Çizelge 3.1’de görülmektedir.

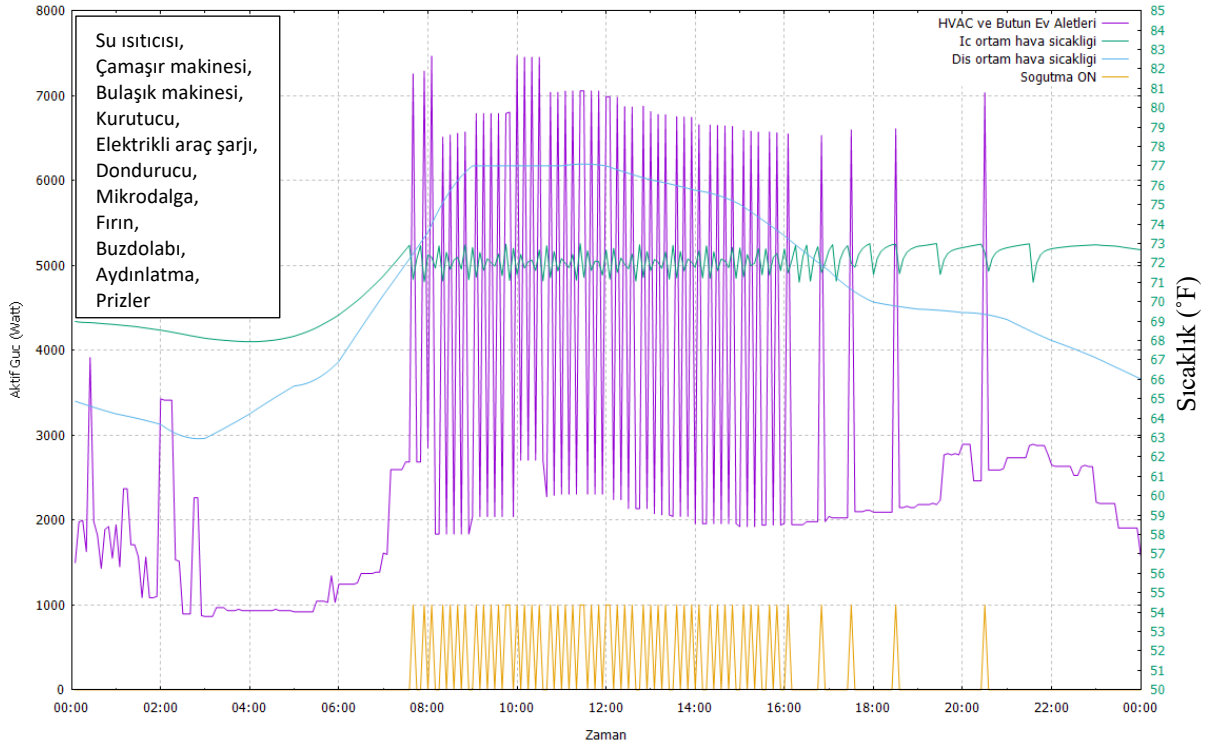
Çizelge 3.1 : Ev tipleri özellikleri

Özellikler	Tip 1	Tip 2
Kat sayısı	1	2
Zemin alanı	Normal Dağılımlı (Ortalama: 80m ² ve Std. Sapma:20m ²)	Normal Dağılımlı (Ortalama: 120m ² ve Std. Sapma:20m ²)
Isıtma sistemi	GAZ	GAZ
Soğutma sistemi	Elektrik	Elektrik
Yalıtım	Normal	Ortalama Altı
Motor verimliliği	Ortalama	Ortalama
Oturan sayısı	3	5
Isıtma ayar noktası	18,5 °C	18,5 °C
Soğutma ayar noktası	Günlük Zaman Çizelgesi (Bkz. Ek-A10)	Günlük Zaman Çizelgesi (Bkz. Ek-A10)
Aydınlatma gücü	1,2 kW	1,5 kW
Bulaşık makinesi gücü	1 kW	1,5 kW
Su tankı hacmi	150 lt	190 lt
Su ısıtıcısı gücü	3 kW	4 kW
Çamaşır makinesi gücü	0,8 kW	1 kW
Priz	0,7 kW	0,8 kW
Kompresör gücü	0,5 kW	0,6 kW
Fırın	2,4 kW	2,4 kW
Fırın ayar noktası	260 °C	260 °C
Kurutucu	2,4 kW	2,4 kW

GridLAB-D programında HVAC ile ev nesneleri bütünleşik halde tasarlanmıştır. Dolayısıyla evin ısıl geçirgenlik parametreleri ve ısıtma ve soğutma bilgileri mutlaka önceden tanımlanmalıdır. Bu tezde HVAC sisteminin sadece soğutma özelliği aktif edilmiş olup evlerin ısıtma sistemi gazlı kombidir. Diğer ısıl geçirgenlik katsayıları ise varsayılan değerlerdedir. Şekil 3.4'te yalnızca HVAC cihazı ile ev modelinin bir günlük güç tüketimi görülmektedir. Şekil 3.5'te ise çizelge 3.1'de verilen tüm ev aletleri dahil edilerek yapılan analizler neticesinde dairenin bir günlük yüklenme profili elde edilmiştir. Örnek sistem incelemelerinde kullanılan GridLAB-D modeli Ek-A.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Yalnız HVAC yüklenme profili

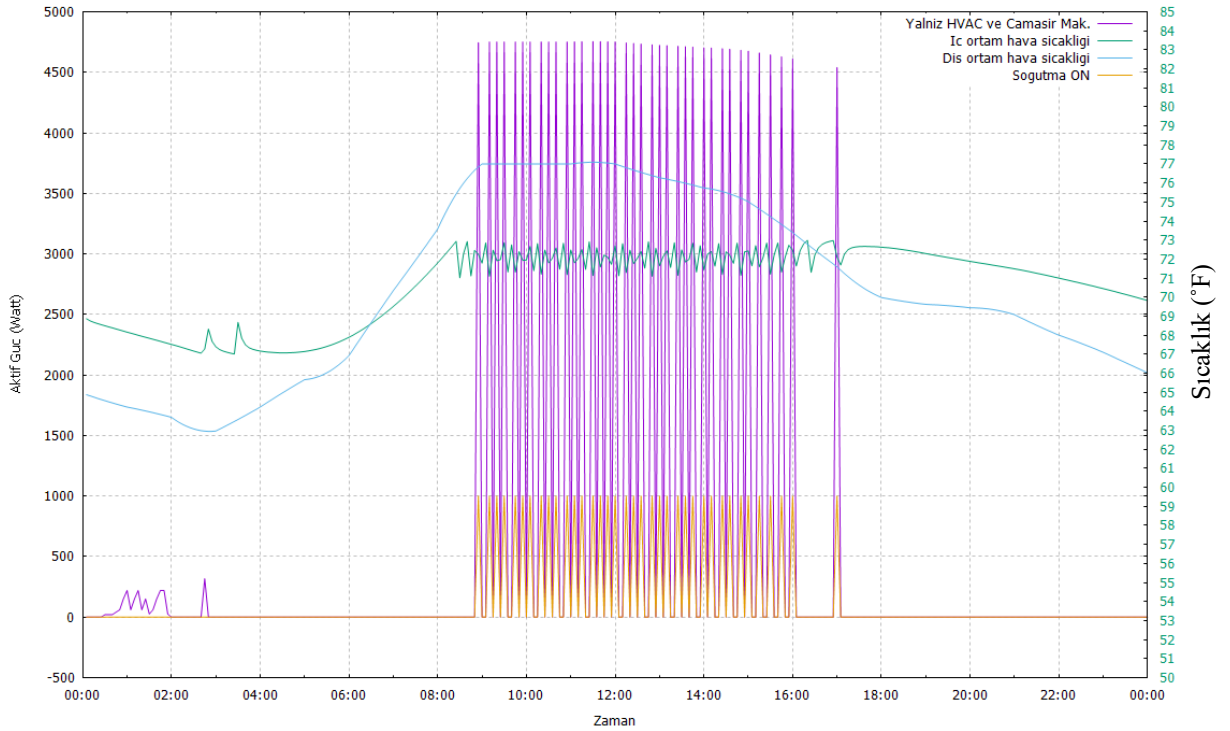


Şekil 3.5 : HVAC ile tüm ev aletleri birlikte yüklenme profili

3.2.5 Çamaşır makinesi modeli

Çamaşır makinesi çalışma prensibinde yıkama, durulama ve sıkma olmak üzere 3 temel döngü gerçekleştirilir. Öncelikle ilk 1-1.5 dakika kazana su doldurulur. Bu süre

içerisinde 4-8 W güç tüketilir. Yıkama döngüsü sırasında değişen çeşitli yıkama hızlarına göre 430–688 W arasında güç tüketimi gözlemlenir. Durulama döngüsü, yıkama döngüsünü takip eder. Bu döngü sırasında, yıkayıcı da farklı hızlarda döner ve yıkama döngüsüyle aynı aralıkta güç tüketimi gözlemlenir. Son olarak bu süreci sıkma döngüsü takip eder. Sıkma devri sırasında güç tüketimi yaklaşık 500–540 W'tır [22]. Şekil 3.6'da yalnızca HVAC cihazı ile çamaşır makinesinin birlikte bir günlük güç tüketimi görülmektedir. Örnek sistem incelemelerinde kullanılan GridLAB-D modelleri Ek-A.5'te verilmiştir.



Şekil 3.6 : Yalnız HVAC ve çamaşır makinesine ait günlük yüklenme profili

3.2.6 Çamaşır kurutma makinesi modeli

Enerji tüketiminin en çok olduğu döngü makinenin ilk açılış döngüsüdür. Ardından makine içerisindeki yüke bağlı birkaç açma/kapama döngüsü daha yapmakta ve güç miktarı olarak ilk açılış döngüsünden sonra en çok tüketimi bu döngülerde oluşur. Makinenin açılış döngüsünden sonraki yaptığı açma/kapama döngüsünün sebebi, çamaşır kazanının içerisinde otomatik ısı kontrol sistemlerinin olması ve oluşan yüksek ısıнын çamaşırlara zararını önlemek için makinenin kendisini birkaç defa kapatıp açmasıdır. Tüm kurutma döngüleri için, kurutucular son 10 dakika çalışma sırasında enerji/ısı almadan çalışabilmektedirler [22].

3.2.7 Elektrikli su ısıtıcısı modeli

Dušta, mutfakta bulaşık yıkarken, çamaşır makinesi ile kıyafetleri yıkarken 50 galonluk su ısıtıcısı yaklaşık beş dakika sonra açılmaktadır. Su ısıtıcı sabah 06:00 ve akşam 18:00, 19:00, 22:00 saatleri civarında ağırlıklı olarak mutfak lavabosunda; sabah 06:30, 08:30 ve akşam 20:00 ve 20:30 civarında ise ağırlıklı olarak duş için kullanılmaktadır. 50 galonluk sıcak su ısıtıcı arada bir sıcak su tüketimi yapmadan tanktaki su sıcaklığını düzenler. Bu düzenleme yaklaşık olarak 6 dakika sürmektedir. Diğer sıcak su tüketen faktörler için bu süre 3 dakikadan 15 dakikaya kadar sürebilmektedir. Bu süre ayrıca tanktan alınan suyun miktarına, sıcak suyun kaç dereceye ayarlandığına ve tanka gelen suyun sıcaklığına göre de değişkenlik göstermektedir [22]. Örnek sistem incelemelerinde kullanılan GridLAB-D modelleri Ek-A.6'da verilmiştir.

3.2.8 Elektrikli ocak ve elektrikli fırın modelleri

Küçük ocak sonuna kadar açılarak dokuz dakika boyunca, daha sonrasında orta ateşte beş dakika boyunca en sonunda da kısık ateşte çalıştırıldığında küçük ocağın güç tüketimi yaklaşık olarak 0.95 PF' da 1.3 kw kadardır. Doğru sıcaklığa ulaşıldığına kadar ısıyan (alevlerin çıktığı) kısım açık ve kapalı konumlarda bulunur. Kısık ateşe indikçe daha sık açık kapalı durumları ve daha kısa açık durumları meydana gelmiştir. Büyük ocakta ise benzer şekilde yüksek ateşten orta ateşe 11. dakikada ve orta ateşten de düşük ateşe 16. dakikada geçilmiştir. Büyük ocağın güç tüketim karakteristiği ise 0.95 PF' da 2.3 kw kadardır.

Fırın karakteristikleri ise ızgara ve fırında pişirme olarak sınıflandırılmıştır. Fırın normal kullanımda iken yaklaşık olarak 0.98 PF' da 2.8 kw'lık güç tüketimi yapmıştır.

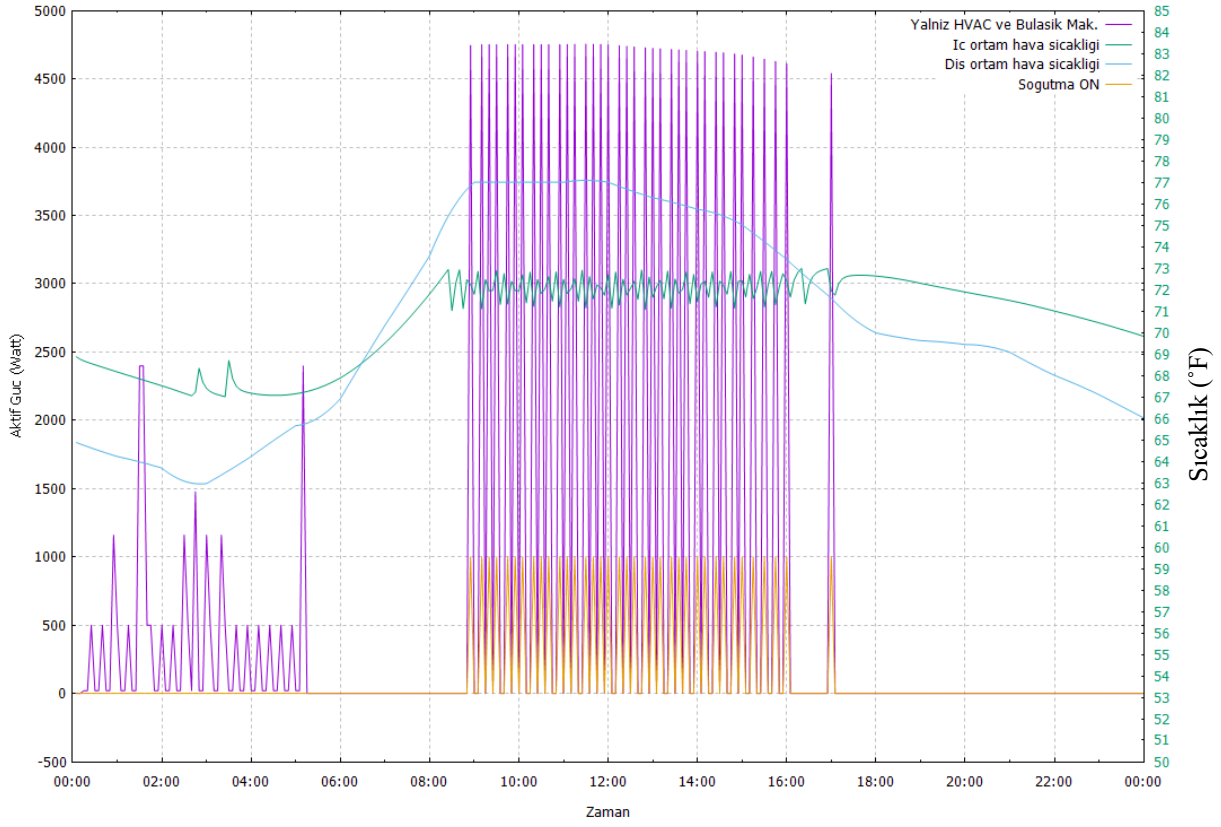
Sıcaklık 450 °F dereceye ayarlanmıştır ve fırının istenen sıcaklığa ulaşması 19 dakika sürmüştür. Kapatılana kadar kapalı/açık konumlarda bulunmaya devam etmiştir. Izgara kısmı içinse fırının içinde üst taraftaki ısıtıcının baz alınmasıyla elde edilen güç tüketim miktarı 0.98 PF' da yaklaşık olarak 3.0 kw kadardır. Isıtıcı kapatılana kadar 50 saniyelik açık ve 10 saniyelik kapalı süreçler boyunca çalışmıştır [22]. Örnek sistem incelemelerinde kullanılan GridLAB-D modelleri Ek-A.7'de verilmiştir.

3.2.9 Bulaşık makinesi modeli

Bulaşık makinesinin çalışma süresi yaklaşık 100 dakikadır. Bulaşık makinesinin temelde üç çalışma döngüsü vardır. Bunlar: yıkama, durulama ve kurulama. İlk 50 dakikası yıkama döngüsü ile ilişkilidir. Durulama kısmı da 50 ile 80 dakika arasında sürmektedir. Son kısım da kurulama döngüsüdür.

Yıkama döngüsünün ilk 10 dakikası ön yıkama fazına aittir. Ön yıkama suyun doldurulması ve bulaşıkların temizlenmesi için fışkiyelerden püskürtülmesini kapsar. Bulaşık makinesi 250-300 watt civarında 0.62-0.65 PF’de güç tüketir. Bulaşıkların yıkanması için uygun sıcaklık olan 115 °F dereceye ulaşılan kadar makinenin içindeki ısıtıcının suyu ısıtmasıyla asıl yıkama döngüsü başlar. Suyun ısıtılması sırasında bulaşık makinesi yaklaşık olarak 1.0 PF’de 1180 watt güç tüketir. Sonrasında sıcak su temiz bulaşıklara püskürtülür. Yıkama döngüsü esnasından pek çok duraklama gözlenir. Sonrasında bulaşık makinesi kirli suyu atmak için yaklaşık 36-44 watt güç harcar.

Durulama döngüsü su alma ve suyu uygun sıcaklığa gelene kadar ısıtmak ile başlar. Sonrasında bulaşık makinesi sıcak suyu durulama amacıyla bulaşıkların üzerine püskürtür. Kirli su atıldıktan sonra kurutma devri başlar ve bu döngüde 1.0 PF’de yaklaşık olarak 600 watt güç tüketimi olur [22]. Şekil 3.7’de yalnızca HVAC cihazı ile bulaşık makinesinin birlikte bir günlük güç tüketimi görülmektedir. Örnek sistem incelemelerinde kullanılan GridLAB-D modelleri Ek-A.8’de verilmiştir.

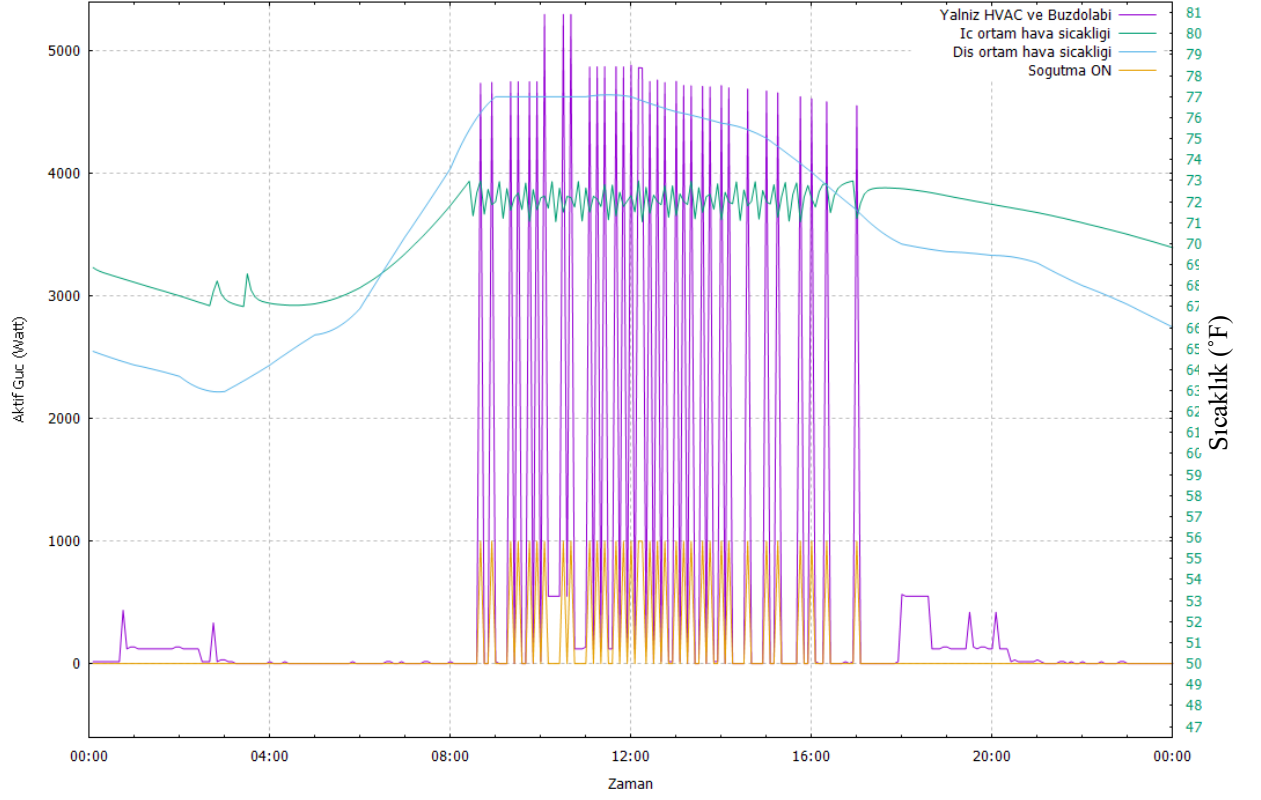


Şekil 3.7 : Yalnız HVAC ve bulaşık makinesine ait günlük yüklenme profili

3.2.10 Buzdolabı modeli

Gece 1.00 ile 5:00 saatleri arasında buzdolabı herhangi bir aktivitede bulunmaz. Akşam 20:00 den gece yarısına kadar buzdolabının kişiler tarafından daha çok kullanıldığı saatlerdir.

Söz konusu buzdolabının açık döngüde bulunduğu zaman için enerji tüketimi 135 watttır. Kapalı modda iken herhangi bir güç tüketimi bulunmamaktadır. Kapağı açılmadığı sürece bir buzdolabının açık kalma döngüsü yaklaşık 7.5 dakika sürmektedir. Kapalı kalma döngüsü ise yaklaşık 17 dakikadır. Buzdolabının kapağı açıldığında içerdeki lambanın yanmasıyla birlikte güç tüketimi 40 watt artar. Farkedilmelidir ki buzdolabının kapağı açıldığında buzdolabının açık kalma döngüsü devam edecektir. Buzdolabının buz çözme döngüsü yaklaşık 20 dakika sürer ve her 30-40 saatte bir gerçekleşerek 365 wattlık (1.0 PF) güç tüketimine sebep olur. Şekil 3.8’de yalnızca HVAC cihazı ile buzdolabının birlikte bir günlük güç tüketimi görülmektedir. Örnek sistem incelemelerinde kullanılan GridLAB-D modelleri Ek-A.9’da verilmiştir.



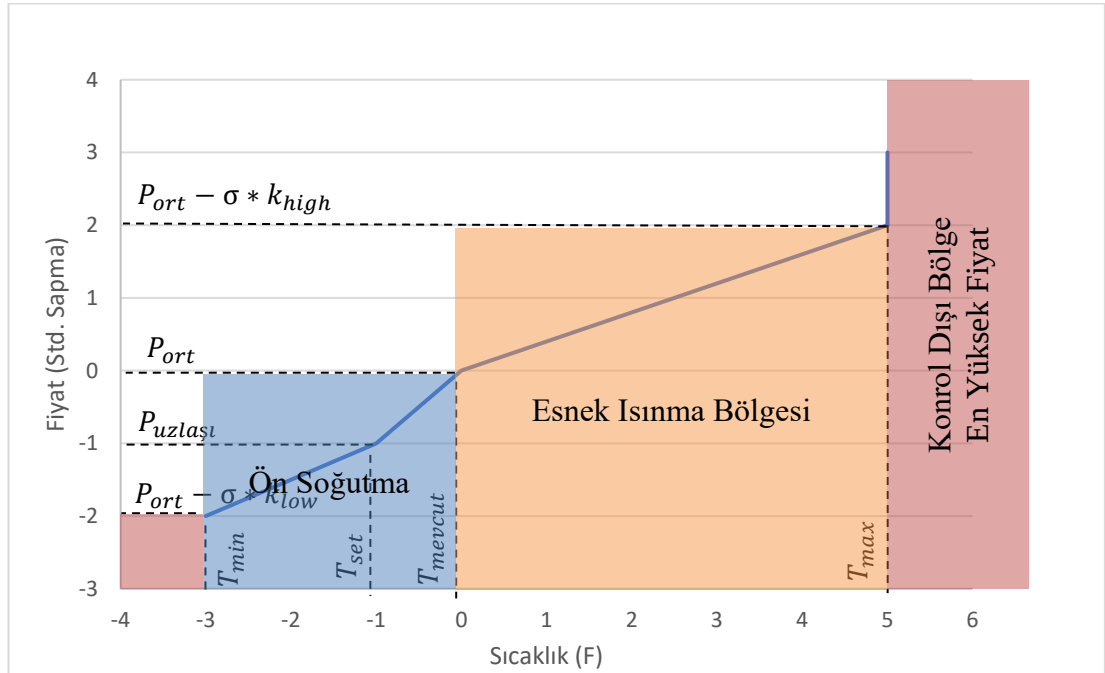
Şekil 3.8 : Yalnız HVAC ve buzdolabına ait günlük yüklenme profili

4. TALEP CEVABI KONTROL MEKANİZMALARI

Fiyat-duyarlı talep yönetimi çeşitli ev aletlerinin GridLAB-D ortamında kontrolünü sağlamaktadır. Çift yönlü piyasada üreticiler ile tüketiciler birlikte alış teklifleri vermektedir. Bu piyasada ihale yöntemiyle alıcı ve satıcılar uzlaştırılmaktadır. Uzlaşımın mümkün olması için her iki taraf enerji tüketimlerini değişen piyasa fiyatlarına göre değiştirebilmeli ve belirlenen miktardaki enerji üretimi/tüketimi için fiyat teklifleri verebilmelidir.

4.1 Talep Cevabı Yönetimi Kontrolör Yapıları

4.1.1 Termostat rampa kontrolü



Şekil 4.1 : Termostat soğutma modu kontrolü

- P_{ort} : 24 saatlik ortalama fiyat (\$/kWh)
- $P_{uzlaş}$: Uzlaştırılmış piyasa fiyatı (\$/kWh)
- $k_{high/low}$: T_{hedef} ile T_{max} arasındaki standart sapma
- σ : Piyasa fiyatının T_{min} ve T_{max} anlarındaki standart sapması

Kontrolör, piyasa uzlaşısı fiyatı ($P_{uzlaşısı}$) ortalama fiyattan (P_{ort}) düşük olduğunda ön soğutma programına girerek ortam sıcaklığını mevcut sıcaklıktan (T_{mevcut}) daha düşük bir sıcaklığa (T_{set}) getirmektedir. Böylece piyasa fiyatı düşük olduğu zamanlar enerji tüketimi artmaktadır. Ancak piyasa uzlaşısı fiyatı ortalama fiyatın üzerine çıkarsa kontrolör soğutmaya başlama sıcaklığını daha yüksek bir değere taşımaktadır. Böylelikle ön soğutma yapılmasıyla ortam sıcaklığı esnek limitin en düşük seviyesine (T_{min}) getirilebildiği için tekrar ayar sıcaklığına yükseliş süresi de uzamaktadır. Dolayısıyla HVAC mümkün olduğunca yüksek fiyattan elektrik tüketmemiş olmaktadır. Ayrıca kontrolör tekrardan soğutmaya başlamak için sıcaklık esnek limitinin en üst seviyesine (T_{max}) kadar bekleyebilmektedir. Bu nedenle esnek limitler mutlak değerce ne kadar büyükse HVAC talep cevabı kontrolü de o kadar etkili olmaktadır.

Şekil 4.1’de eğrinin mevcut sıcaklığın sol tarafında kalan bölümünde kontrolör düşük piyasa fiyatı sebebiyle HVAC’ı çalıştırarak ön soğutma yapmaktadır. Sağ tarafında kalan bölümde ise yüksek piyasa fiyatı nedeniyle iç ortam sıcaklığının belirlenen üst değerine kadar yükselmesine izin verilmektedir. İç ortam sıcaklığı belirlenen sıcaklık limitleri arasında kaldığı müddetçe kontrolör tarafından piyasa uzlaştırıcısına iletmek üzere fiyat teklifleri denklem 4.1’e göre türetilmektedir.

$$P_{teklif} = P_{ortalama} + \frac{(T_{mevcut} - T_{hedef}) * ramp * \sigma}{|range|} \quad (4.1)$$

Piyasa ortalama fiyatı (P_{ort}) ve standart sapması (σ) piyasa tarafından kontrolörden bağımsız olarak oluşturulmaktadır. Diğer parametreler ise iç ortamın anlık sıcaklık ve kontrolörün karakteristik özellikleridir. Eğer iç ortam sıcaklığı minimum ve maksimum sıcaklık değerlerinin dışında ise kontrolör sonsuz (9999\$/kWh) ya da belirlenen en yüksek fiyatı (Price Cap) üretmektedir. Piyasa uzlaştırma merkezi tarafından teklifler tüm kontrolörlerden toplanarak bir piyasa takas fiyatı oluşmaktadır. Oluşan bu fiyata göre HVAC sistemlerinin sıcaklık ayar değerleri kontrolör tarafından denklem 4.2’ye göre yeniden belirlenmektedir.

$$T_{set} = \begin{cases} T_{hedef} + \frac{(P_{takas} - P_{ort}) * |T_{max/min}|}{k_{high/low} * \sigma} & \sigma \neq 0 \\ T_{hedef} & \sigma = 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

Tez kapsamında kullanılan örnek bir kontrolör modeli ek-10'da verilmiştir.

4.1.2 Olasılıksal kontrol

Olasılıksal kapalı (Probabilistic Off) temelde su ısıtıcısı modeli için kullanılmaktadır. Tipik bir su ısıtıcısında sıcaklık sensörü bulunmaz. Bu sebeple, piyasa fiyatı sinyallerinin HVAC kontrol sistemindeki gibi sıcaklığa bağlı olarak uygulanması oldukça zordur. Temelde piyasa fiyatının düşük olduğu zaman aralıklarında ev aletlerinin çalışır olması arzu edilmektedir. Eğer bir ev aletinin fiyatın yüksek olduğu zaman aralığında çalışması gerekiyorsa, alet denklem 4.2'ye göre normal dağılımlı bir olasılık bir eğrisi üretir ve kullanıcının konfor seviyesine bağlı olarak talep katılımı gerçekleştirilmektedir.

$$r = k_w \times (N(P_{takas}, P_{ort}, P_{\sigma})), r \geq 0(OFF), k_w : \text{komforseviyesi} \quad (4.3)$$

4.1.3 Çevrimsel kontrol

Görev döngüsü modu (Duty cycle mode) genelde su pompaları ve kurutucular için kullanılan bir kontrol yöntemidir. Görev döngüsü aralığını fiyatın bir fonksiyonu olarak değiştirmektedir. Ortalama veya daha düşük bir fiyatta çevrim oranı cihazın normal çalışmasının %100'ü olacaktır. Fiyat arttıkça, cihazın çevrim oranı, darbe sayısını değiştirerek, zaman periyodunda kullanılan toplam enerji miktarını azaltacaktır.

$$\varphi = \frac{t_{on}}{T} = \frac{r_{off}}{r_{on} + r_{off}} = \frac{Q}{\hat{Q}} = \frac{N_{on}}{N}, \quad \varphi: \text{Duty cycle} \quad (4.4)$$

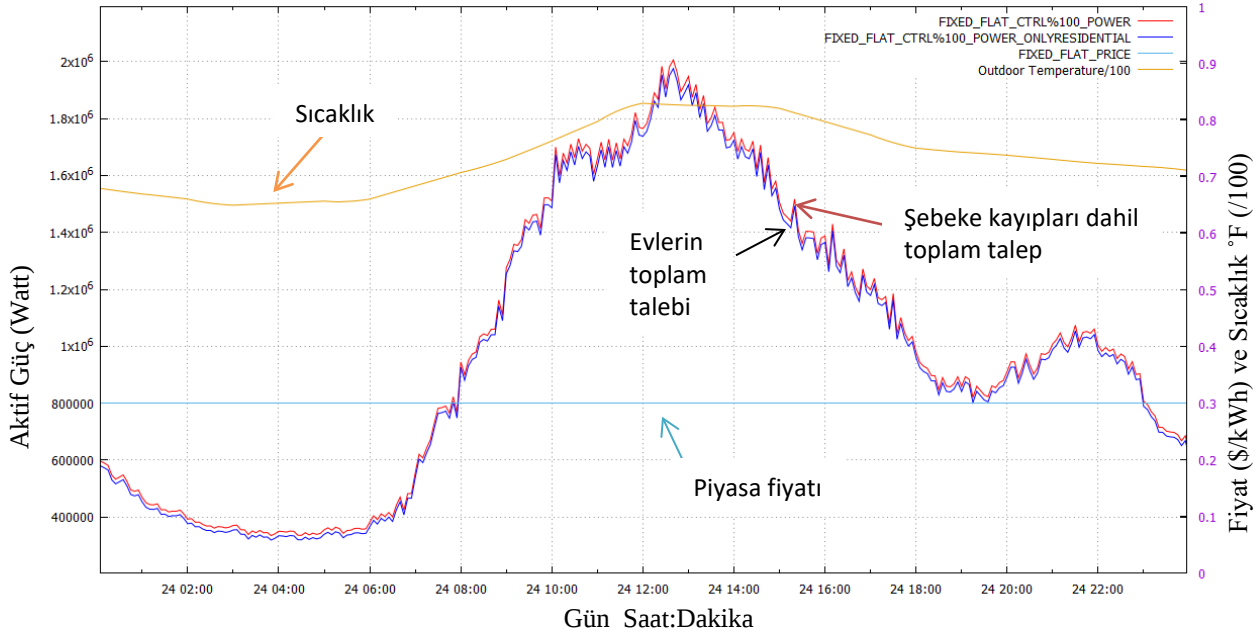
Örneğin, kurutucu uygulamasında ortalama veya daha düşük fiyatta, ısıtma bobini normal olarak çalışır, % 80'lik bir görev döngüsü şeklinde olabilir. Ancak piyasa fiyatı arttıkça, bu görev döngüsü % 60 veya % 40'a düşürülebilir, ancak yine de her darbeye güç talebi korunmaktadır. Yine de eğer belli bir miktarda eş zamanlılığa sabit bir kurutucu topluluğun için talepte önemli bir düşüş sağlanabilmektedir.

5. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİ

5.1 Piyasa Fiyatlarının Talep Cevabı Katılımına Etkileri

Başlangıç olarak sadece alıcıların/tüketicilerin bulunduğu, talep gücünün piyasa fiyatına etkisinin olmadığı “stiff” bir piyasa yapısı ele alınmıştır. Piyasa fiyatı olarak sabit tarife, üç zamanlı tarife ve saatlik TOU tarifeleri ayrı ayrı incelenmiştir. Buradaki modelde 320 adet dairenin hepsi HVAC sistemine ve ek olarak piyasa fiyatlarına karşı talep cevabı katılımını sağlayan kontrolörlere sahiptirler. Yani kontrolörler sayesinde daireler piyasa fiyatlarına göre enerji tüketimlerini arttırmakta ya da azaltmaktadırlar.

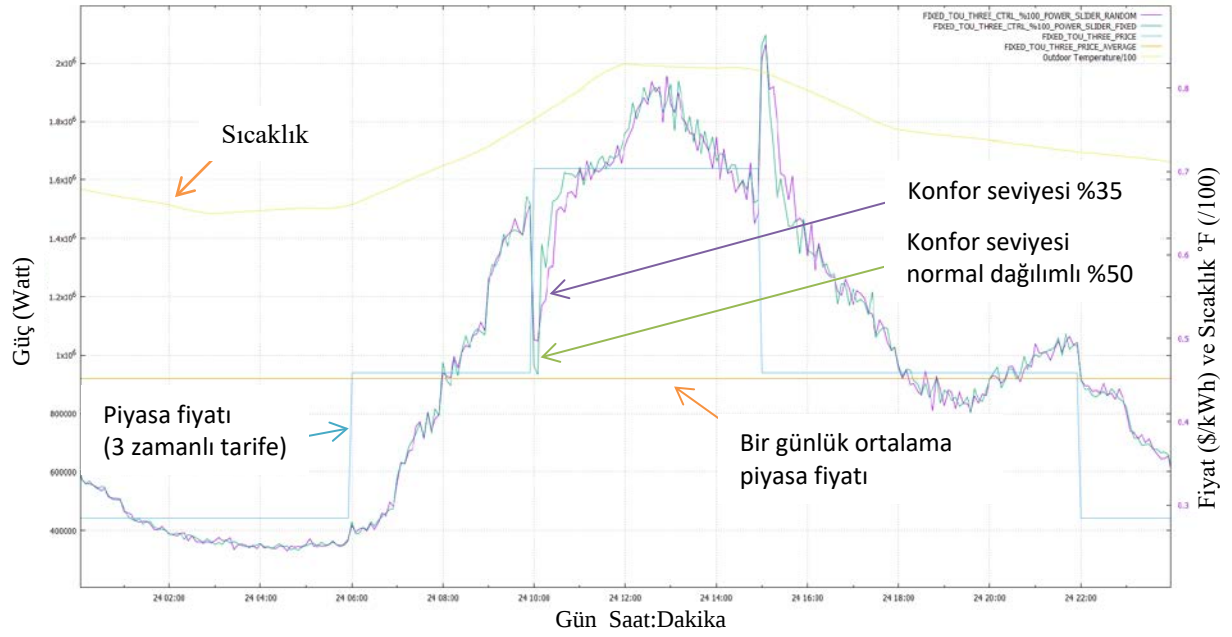
Şekil 5.1’de verilen piyasa fiyatı gün içerisinde değişmemektedir. Bu nedenle HVAC kontrolörleri pasif modda olup denklem 4.1 ve denklem 4.2’den görüldüğü üzere fiyat teklifleri ve değişen piyasa fiyatına göre yeni bir sıcaklık değeri üretmemektedirler. Ancak pasif modda HVAC kontrolörleri şekil 3.4’te de görüldüğü gibi ortam sıcaklığı termostat ayar sıcaklığının belirlenen miktarda üzerine çıktığı zaman soğutma sistemini devreye alarak ortam sıcaklığını düşürmektedir. Yine şekil 3.4’te görüldüğü üzere iç ortamın hava sıcaklığı 09:00 ila 16:00 saatleri arasında termostat ayar sıcaklığının üzerine çıkmakta ve dolayısıyla soğutma sistemlerinin çalışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle günlük yüklenme eğrisinde puant güçler bu dönemler arasında görülmektedir.



Şekil 5.1 : Sabit piyasa fiyatı ile talep katılımı

Şekil 5.2’de üç zamanlı tarifiedeki fiyat değişim zamanlarında güç salınımlarının ani ve aşırı değişimler gösterdiği gözlenmektedir. Fiyat değişimlerinin büyüklükleri ile salınım miktarları arasında doğru orantı görülmektedir. Fiyatın 24 saatlik ortalamasının (P_{ort}) altında olduğu durumlarda HVAC kontrolörlerinin güç talebini arttırarak sıcaklık ayar değerini düşürdüğü görülmektedir. Ancak düşen talebin daha sonra fiyatların aşırı düştüğü zamanlarda arttığı hatta eski puant gücünün de üzerine çıktığı görülmektedir. Bu olay bilinen bir problem olarak literatürde yer almaktadır. Ve giderilmesi için pek çok yöntem tavsiye edilmiştir. Bunlardan biri de hat kapasitenin kısıtlanması olup bu önlem sonraki bölümde uygulamalı olarak anlatılmıştır.

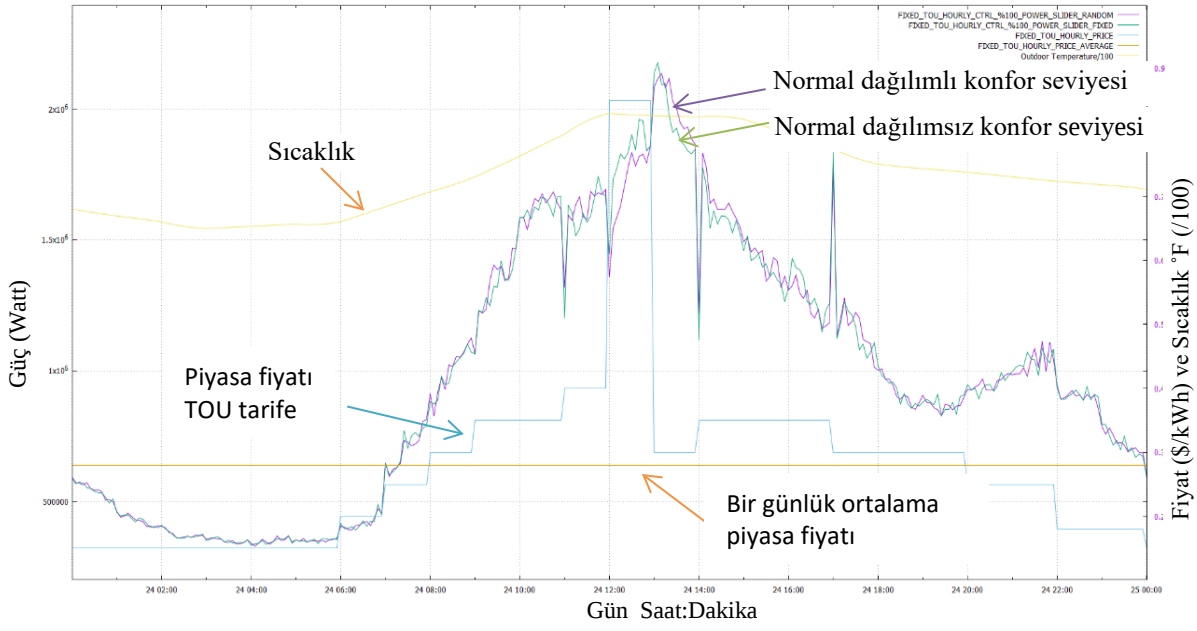
Yine şekil 5.2’de HVAC kullanıcılarının konfor seviyelerinin talep cevabı katılımına etkileri de incelenmiştir. Kullanıcıların önceden belirlemiş olduğu konfor seviyeleri sayesinde HVAC’ların iç ortam sıcaklığını ve fiyat aralığını esnetebilme kabiliyeti belirlenebilmektedir. Bu amaçla iki tip konfor ayarı yapılmış olup ilki 320 adet daire için orta değeri %50 ve standart sapmasının da %50 olduğu gerçeğe daha yakın olan normal dağılımlı konfor seviyesi diğeri için ise bütün dairelerde sabit ve aynı değer olan %35 konfor seviyesi kullanılmıştır. Sonuçta şekil 5.2 incelendiğinde kullanıcıların konfor seviyesi arttıkça talep cevabına katılım oranlarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.2 : Üç zamanlı tarifiede talep katılımı

Şekil 5.3'te TOU saatlik tarife kullanılmıştır. Burada farklı büyüklükteki fiyat değişikliklerine talep cevabının tepkisi daha açık görülmektedir. Gece saatlerinde fiyat değişimi olmadığı için kontrolörler pasif moddadır. Ancak sıcaklık değişimi de olmadığı için konfor seviyeleri farklı olan iki grup arasında güç tüketimi açısından bir fark görülmemektedir.

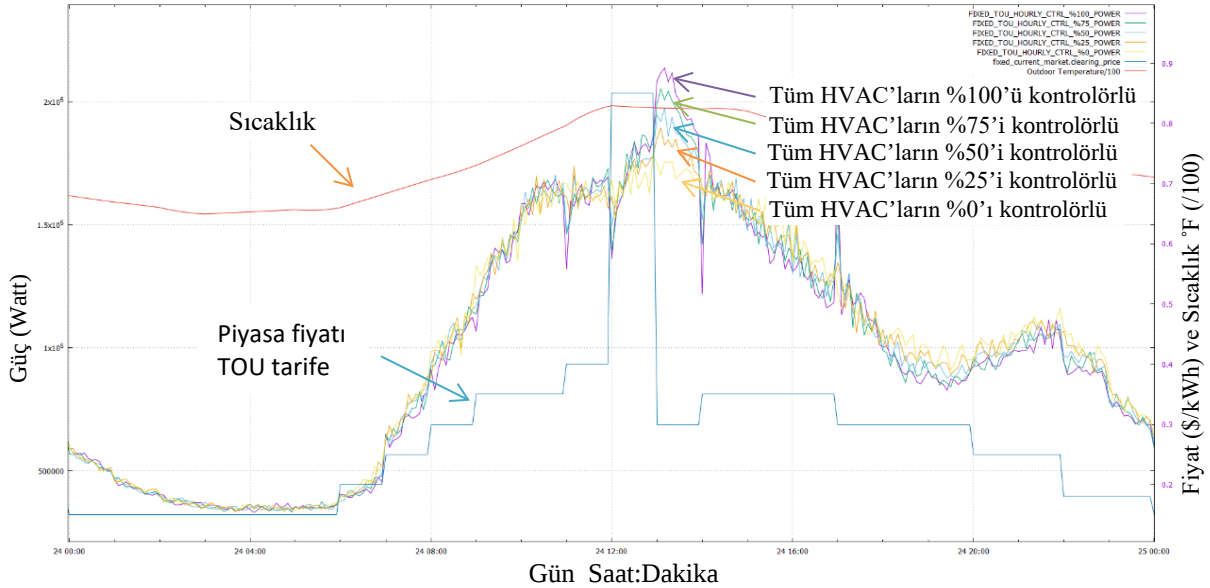
Öğle saatlerinde piyasa fiyatı çok yüksek bir değere çıkmış ancak hemen bir sonraki saatte fiyat dip yapmıştır. Bu senaryo talep cevabı katılımının şebekeye olumsuz etkilerini incelemek açısından ele alınmıştır. Bu nedenle fiyat farkının aniden çok yüksek bir değere çıkmasıyla talep cevabı katılımı, kullanıcıların konfor seviyelerine bağlı olarak çok yüksek oranda gerçekleşmiştir. Öyle ki talep cevabı katılımıyla asıl amaçlanan puan gücün düşürülmesi olmasına rağmen puant gücün daha da yükselmesiyle sonuçlanmıştır. Buradan görüldüğü üzere talep cevabı katılımı şebeke iyileştirme çalışmalarında puant gücün düşürülmesi için tek başına etkili olamamaktadır.



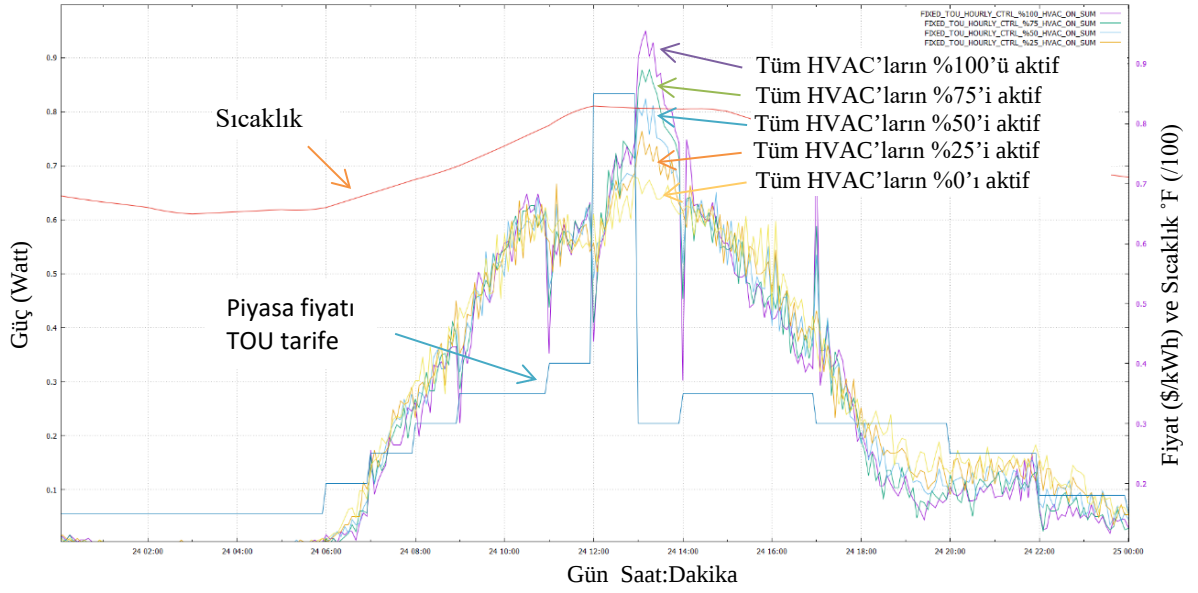
Şekil 5.3 : TOU saatlik piyasa fiyatı ile talep katılımı

5.2 Farklı Sayıda HVAC Kontrolünün Talep Cevabı Katılımına Etkisi

Şekil 5.4'te ve Şekil 5.5'te 320 adet dairenin farklı HVAC kontrol oranlarının ve aktif HVAC sayısının talep katılımı üzerindeki etkisi görülmektedir. Kontrolör sayısının artmasıyla talep cevabına katılımının arttığı, daha fazla sayıda HVAC sistemin aktif rol aldığı görülmektedir.

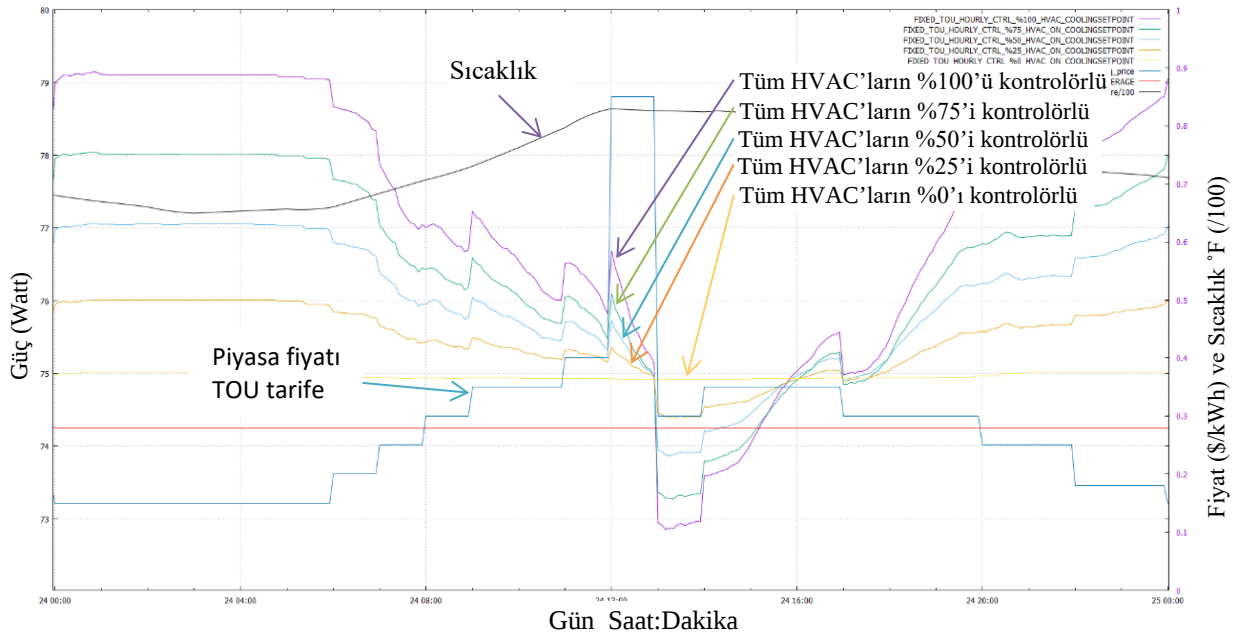


Şekil 5.4 : HVAC kontrolör sayısının talep cevabı katılımına etkisi



Şekil 5.5 : HVAC aktiflik oranının talep cevabı katılımlarına etkisi

HVAC sistemlerinin talep cevabına tepkisinin sıcaklık ayar değerlerini değiştirerek gösterdiği bilinmektedir. Şekil 5.6'da görüldüğü üzere piyasa fiyatı artarken kontrolörler ortamı soğutmaya başlama sıcaklığını yukarıya çıkarmakta buna karşılık fiyatlar düşerken bu değeri aşağıya düşürmektedirler. Dış ortam sıcaklığının sabit olduğu zamanlarda ise eğer fiyat değişimleri de gözlenmiyorsa kontrolörün soğutma sıcaklığını değiştirmedeği görülmektedir. Ancak dış ortam sıcaklığı artarken fiyat değişimi olmasa bile kontrolörlerin soğutma sıcaklıklarını zamanla düşürdüğü görülmektedir.



Şekil 5.6 : HVAC soğutma ayar değerlerinin değişimi

5.3 Piyasa Satış Miktarı Kısıtının Talep Cevabı Katılımına Etkileri

TOU saatlik veya üç zamanlı tarifelerde karşılaşılan genel bir sorun puant talebini düşürmek amacıyla koyulan yüksek fiyatların sonrasında gelen düşük fiyatlar nedeniyle HVAC kontrolörlerinin talep cevabına katılımlarının arttığı görülmektedir. Ancak bu büyük ve ani artış şebekedeki eşzamanlılık faktörünün ortadan kalkmasına neden olmaktadır. Bu sebeple şebekeden eski puant gücün de üzerinde bir güç talebi olasılığı bulunmaktadır.

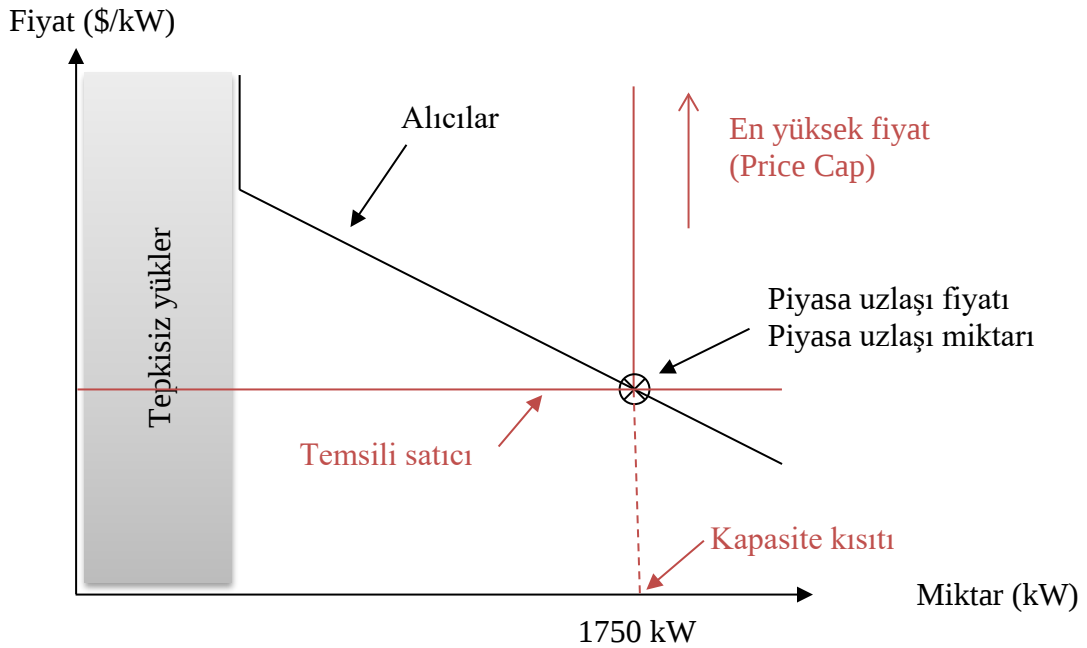
Tulabing ve arkadaşları (2016) bu sorunun çözümü için HVAC kontrolörlerinin talep cevabı potansiyeline göre sıralanmasını ve ihtiyaç duyulan tüm güç taleplerinin her zaman toplamda minimum talep cevabı potansiyeli olan kontrolör grubuyla karşılanmasını önermektedir. Böylelikle fiyatın düştüğü zamanlarda ani güç dalgalanması önlenecektir. Ayrıca talep cevabına katılımın şebeke yöneticileri tarafından istendiği durumlarda ise emre amade olarak bekletilen HVAC kontrolör grupları sayesinde talep cevabı katılımı gerçekleşecektir.

Zhang ve arkadaşlarının (2013) çalışmalarında ise aynı problem için normal puant gücün üzerinde bir hat kapasitesi kısıtlaması kullanılmıştır. Böylelikle talep cevabının önceden belirlenen ancak puant gücün üzerinde bir değeri aşması zorla engellenmiş olmaktadır.

Ancak bu senaryonun gerçek hayatta karşılığı sadece piyasa kısıtlamasıdır. Yani hat fiderinde elektriksel bir sınırlandırma yapılmamaktadır. Esasen kapasite güç sınırı değeri bir satıcı gibi piyasada rol oynamaktadır. Öyle ki Bu satıcı daha fazla enerji talebinde bulunanlara ancak en yüksek fiyattan satış yapmaya razıdır. Bu etki şekil 5.7’de görülebilir. Böylece hem alıcıların hem de satıcının bulunduğu bir piyasada fiyat oluşmasında, talep tarafı olan HVAC sistemlerinin de rolü bulunmakta olup karşılıklı uzlaşma fiyatı artık TOU tarife fiyatının yerini almaktadır. Ayrıca HVAC sistemlerinde talebin dış ortam sıcaklığına bağlı olduğu önceki bölümde anlatılmıştır. Bu nedenle dış ortam sıcaklığının beklenmedik şekilde HVAC kontrolörünün teklif eğrisinin dışında bir yerde olması durumunda kontrolörler en yüksek fiyat teklifinde (Price cap) bulunacaklardır. Dolayısıyla talep esnekliği ortadan kalkacak ve puant gücü aşımı olasılığı her halükarda bulunacaktır.

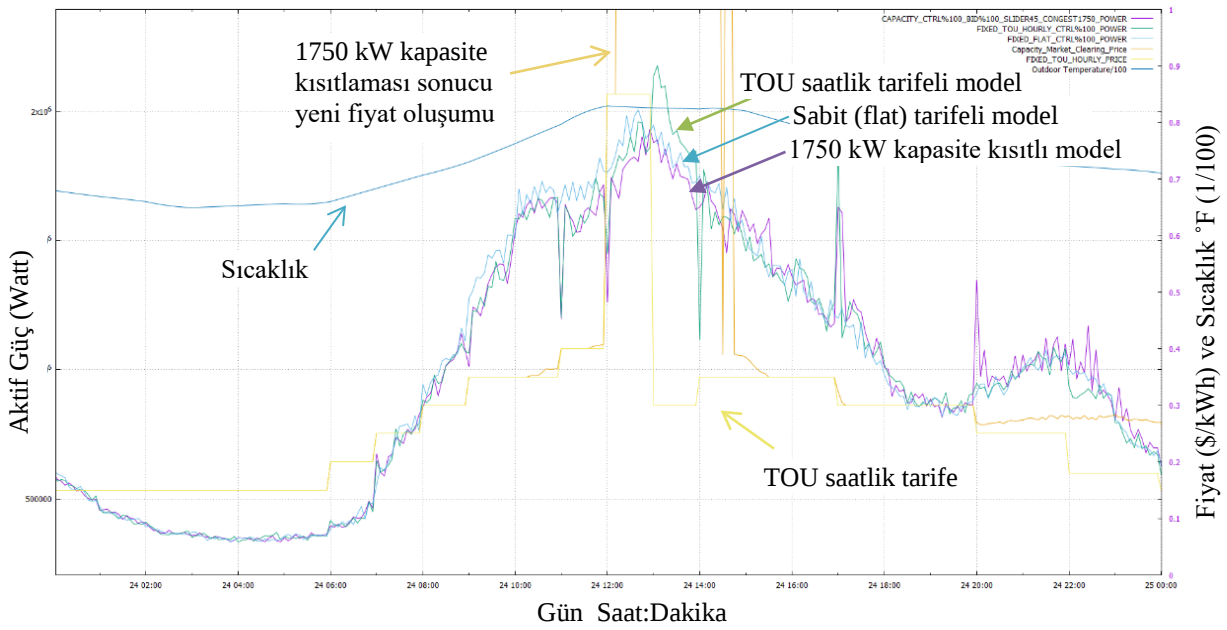
Önceki bölümde kullanılan TOU modelde saat 12:00 – 13:00 arasında puant gücü düşürmek için uygulanan yüksek TOU fiyatlandırması ve hemen sonrasındaki saatte

düşük bir fiyatın denk gelmesi sonucunda puant gücün aşılması (rebound etkisi) meydana gelmiştir. Oluşan bu rebound etkisini gidermek için bu bölümde hat kapasitesi kısıtlama yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla 154/33 kV ana besleme trafosunun fider çıkışına 1750 kW güç kısıtı konulmuştur. Bu kapasite kısıtı piyasada sözde satıcı olarak rol oynamaktadır. Sonuçta iki taraflı piyasa oluşmaktadır. Ancak önceki bölümde belirtildiği gibi güç kısıtı sadece alıcı ve satıcıların piyasa teklif miktarlarındaki bir kısıttır. Eğer bu miktara ulaşıldığı halde halen alıcılar mevcut ise en yüksek fiyattan (price cap) fiyatlandırılacaklardır. Şekil 5.7’de görüldüğü üzere kapasite kısıtı azaldıkça uzlaşma fiyatı artacaktır. Belli bir noktadan sonra ise sadece talep cevabına katılmayan, tepkisiz yükler sağlıksız bir şekilde piyasa uzlaşma fiyatının en üst seviyeye çıkmasına neden olacaktır. Sonuçta piyasa katılımcılarının tümünün en yüksek fiyattan tüketim yaparak yüksek fatura bedelleri ödemesine neden olmaktadır.



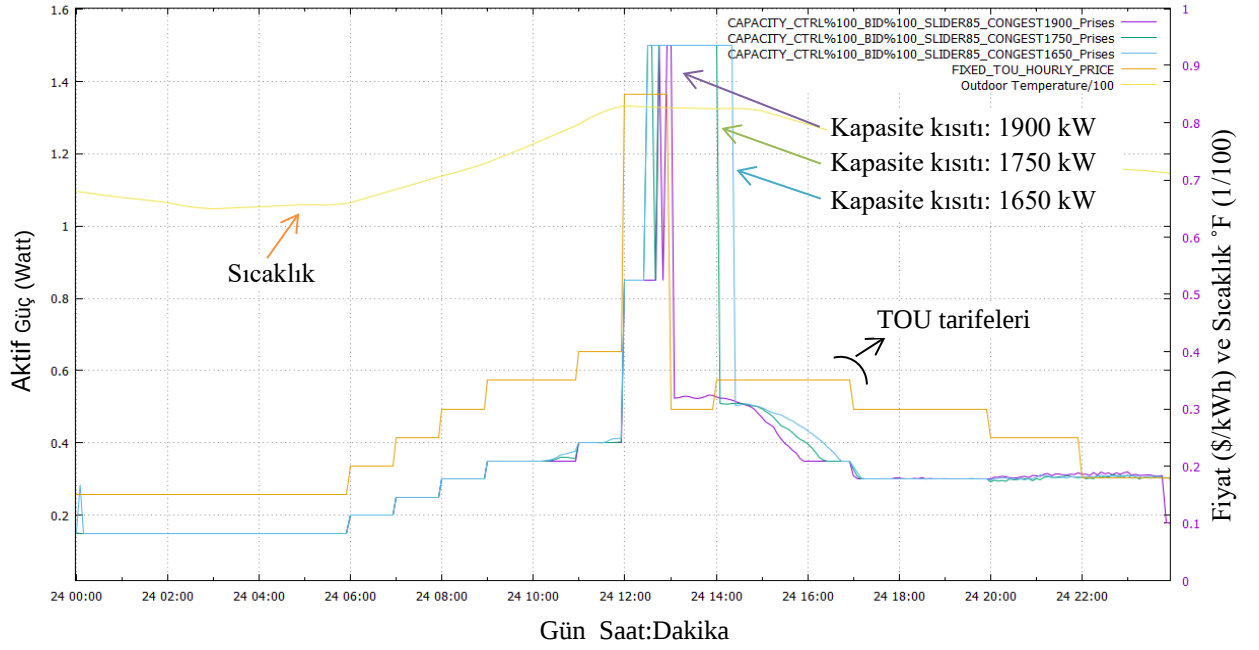
Şekil 5.7 : Piyasa takas fiyatı ve miktarının oluşumu

Şekil 5.8’de sabit tarifeli, TOU saatlik tarifeli ve 1750 kW kapasite kısıtlamalı tarife yapıları simüle edilmiştir. 1750 kW kısıtlama olduğunda TOU tarifiede görülen rebound etkisinin ortadan kaybolduğu görülmektedir. Bunun iyi bir gelişme olduğu sanılmasına rağmen aynı zamanda rebound etkisinin yaşandığı 12:00 ila 14:00 saatleri arasında piyasa fiyatlarının en yüksek seviyeye (Price cap) çıktığı görülmektedir. Bunun anlamı tüm tüketicilerin bu saatlerde en yüksek fiyattan enerji tüketecekleridir.



Şekil 5.8 : 1750 kW kapasite sınırlamalı talep cevabı katılımı

Kapasite sınırlandırılmasında kullanılacak gücün piyasa fiyatına etkisi diğer önemli bir konudur. Şekil 5.9’da üç farklı kapasite sınırı ile yapılan analizler sonucunda oluşan piyasa uzlaşma fiyatları görülmektedir. Kapasite sınırı ne kadar düşürülür ise, piyasaya satılmak istenen miktar azaltılarak alıcıların/tüketicilerin taleplerini karşılamada yetersiz kalınmaktadır. Ancak yüksek fiyat teklifi veren alıcılar mevcut kapasiteden yararlanması gerekirken konfor seviyesine bağlı olarak ortam sıcaklığının fiyat regülasyonu sınırlarının dışında bulunan kontrolörlerin sayısının fazla olması ve en yüksek fiyatı teklif edebilmesi nedeniyle piyasa uzlaşma fiyatı daha uzun süre en yüksek seviyede kalabilmektedir. Bu senaryo aslında teoride arz ve talebin bulunduğu ancak gerçekte sağlıklı çalışan bir piyasayı göstermektedir. Kapasite kısıtlamaları piyasa fiyatlarının tüketicilerin zararına, satıcıların ise yararına olarak yükselmesine yol açmaktadır.



Şekil 5.9 : Kapasite sınırının piyasa fiyatına etkisi

5.4 Talep Cevabına Katılım Oranının Elektrik Şebekesi Üzerindeki Etkileri

Çalışmada farklı sayıda tüketicinin talep tarafı yönetimine katkısını belirlemek için analizler yapılmıştır. Tüketicilerin piyasaya teklifte bulundukları durumda piyasa fiyatının belirlenmesinde etkin oldukları görülmektedir. Ek olarak, teknolojiye talep cevabı kontrol birimlerine sahip olmayan tüketiciler, sahip olanlara göre daha düşük bir talep cevabı katılımı göstermektedirler. Katılım oranındaki artışın düşük fiyat değişimlerinde dahi şebekenin yüklenme profilinde iyileşmeler görülmesine neden olmaktadır. Bu iyileşmeler genel olarak şu şekilde sıralanabilir:

1. Puant talebin düşürülmesi ya da ötelenmesi yoluyla hat kayıplarının azaldığı sonucu çıkarılabilir. Dolayısıyla tüketicilere fatura edilen kayıp bedellerinde de azalma mümkündür.
2. Ayrıca talep cevabı katılımı sayesinde dağıtım şebekesinde arz kaynaklı kesintilerin önüne geçilebilir. Böylece doğal afet vb. acil durumlarda hizmet kalitesi de korunabilir.
3. Talep cevabı katılımı sayesinde puant dönemlerde dağıtım şirketlerinin yüksek fiyattan enerji satın almaları önlenir.
4. Dağıtım şebekesinin büyüme öngörülleri azaltılarak yeni yatırımlar ertelenebilir.

5.5 Genel Değerlendirme

Sabit fiyatlı tarifelerin talep katılımına bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Diğer üç zamanlı ve saatlik TOU tarifeler talep katılımını arttırmıştır. Ancak piyasa fiyatlarının aniden ve büyük oranda değişmesi, talep cevabı katılımının eş zamanlılığı bozarak puant gücün aşılması sorununa yol açtığı görülmüştür. Bu sorunun çözümüne yönelik literatürde pek çok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri de piyasada satış miktarı kısıtı uygulaması olup yapılan analizler neticesinde piyasa fiyatlarının, kısıt miktarıyla ters orantılı olan bir süre en yüksek seviyeye çıktığı gözlenmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Pek çok kişiye göre elektrik enerjisinin ölçek ekonomisine dayandığı ve doğal tekel olarak kalması gerektiği söylene de elektrik fiyatlarının etkin bir tam rekabet piyasasında oluşması gerektiği teknolojinin de gelişmesiyle birlikte gelişmiş ülkelerde bir zorunluluk haline gelmiştir. Ancak bu amaçla yapılan serbestleşme çalışmaları her zaman tam rekabet ortamını oluşturmamaktadır. Örneğin, ABD 1990'ların başında elektrik sektöründe yeniden yapılandırma sürecine girmiştir. Bu süreçte hem elektrik üretim, iletim ve dağıtım sektörünü ayrıştırılmış hem de özelleştirme yöntemiyle üretim santralleri üzerinde hem kamu müdahalesi ortadan kalkmıştır. Ancak Kaliforniya eyaletinde piyasa gücünü halen elinde bulunduran özel üretim santrali yöneticileri sadece kâr oranlarını düşünmesi nedeniyle konutlar enerjisiz kalmıştır.

Bu nedenle tez kapsamında elektrik piyasa mekanizmalarına çok önem verilmiş ve gelişmiş ülkelerdeki elektrik piyasaları incelenmiştir. Sonuçta fiyat oluşumlarının tam rekabet piyasalarından uzak olduğu ancak gelişmiş ülkelerde bu yönde çok sayıda yeni gelişmelerin yaşandığı görülmüştür. Örneğin, ABD'de enerji, kapasite ve yan hizmetler piyasalarında tüketicilerin talep cevabı yoluyla katılabileceği pek çok yeni program açılmıştır.

Talep cevabı katılımının puant talebi düşürmesi ya da ötelemesi amaçlanmaktadır. Ancak tez kapsamında yapılan analizler sonucunda değişken fiyatlı TOU tarifelerde puant talebin her durumda düşmediği görülmüştür. Bunun nedeni olarak da fiyatların aniden ve aşırı düşmesi sonucu eşzamanlılığın bozularak talebin artmasıdır. DR olayı boyunca puant gücün aşılmaması için piyasa satış miktarı kısıtının koyulması ise piyasa fiyatların en yüksek seviyeye çıkmasına neden olduğu görülmüştür.

Talep cevabı katılımının toptan satış veya perakende piyasalarda düzenlemelere tabi olarak kontrol altında gerçekleşmesi ve rekabetin korunması önem arz etmektedir. Aksi takdirde özelleşen, serbestleşen ve piyasaya yeni giren aracı kuruluşlar tarafından piyasa fiyatlarının manipüle edilmesi olasıdır. Örneğin, HVAC tipi enerji tüketimleri

sıcaklığa bağılı olan talep cevabı katılımcılarının yaz aylarında puant düşürme ya da öteleme toleranslarının çok az olduğı ortadadır. Piyasada yapılacak bir arz kısıtı manipölasyonu ya da siber saldırısıyla en yüksek fiyattan enerji tüketmeleri kaçınılmaz hale gelebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Hurley, D., Peterson, P., & Whited, M.** (2013). Demand response as a power system resource. *Synapse Energy Economics Inc.*
- [2] **Ghaemi, S., & Schneider, S.** (2013, 10-13 Nov. 2013). *Potential analysis of residential Demand Response using GridLAB-D*. Paper presented at the IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society.
- [3] **Zhang, W., Lian, J., Chang, C. Y., & Kalsi, K.** (2014, 27-31 July 2014). *Aggregated modeling and control of air conditioning loads for demand response*. Paper presented at the 2014 IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition.
- [4] **Tulabing, R., Yin, R., DeForest, N., Li, Y., Wang, K., Yong, T., & Stadler, M.** (2016). Modeling study on flexible load's demand response potentials for providing ancillary services at the substation level. *Electric Power Systems Research, 140*, 240-252. doi: 10.1016/j.epsr.2016.06.018
- [5] **Mathieu, J., Dyson, M., Callaway, D., & Rosenfeld, A.** (2012). Using residential electric loads for fast demand response: The potential resource and revenues, the costs, and policy recommendations. Paper presented at the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.
- [6] **Çetintaş, H., & Çetin, A. G. T.** (2004). Elektrik Piyasasında Rekabetçi Uygulamalar. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9*(1).
- [7] **Tatlı, B.** (2018). TÜRKİYE ELEKTRİK PAZARINDA GÜNCEL GELİŞMELER VE AVRUPA BİRLİĞİ KOMİSYONUNUN CEZ KARARI. *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 9*(1), 77-104.
- [8] **Soysal, C., Pektaş, M., Şahin, S. Y., Tokgöz, E., & Erek, H.** (2015). Elektrik Toptan Satış ve Perakende Satış Sektör Araştırması: Rekabet Kurumu.
- [9] **Pehlivanoğlu, F., & Tekçe, E.** (2013). Türkiye elektrik enerjisi piyasasında Herfindahl-Hirschman ve CRm endeksleri ile yoğunlaşma analizi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*.
- [10] **Commission, E.** (2014). EU energy markets in 2014.
- [11] **Golmohamadi, H., & Keypour, R.** (2017). Retail Energy Management in Electricity Markets: Structure, Challenges and Economic Aspects- a Review. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy, 2*(1), 20. doi: 10.1007/s40866-017-0036-3
- [12] **NordREG.** (2010). Nordic Market Report (Vol. 6).
- [13] **(EPDK), T. C. E. P. D. K.** (2017). Elektrik Piyasası Gelişim Raporu.

- [14] **Sioshansi, F. P.** (2013). Evolution of Global Electricity Markets: New paradigms, new challenges, new approaches: Academic Press.
- [15] **Eisen, J. B.** (2016). Demand Response's Three Generations: Market Pathways and Challenges in the Modern Electric Grid. *NCJL & Tech.*, 18, 351.
- [16] **Şanlı, B.** (2013). Türkiye Elektrik Piyasasında Talep Katılımının Tasarımı. Retrieved 30.7.2018, from www.barissanli.com
- [17] **Commission, F. E. R.** (2009). A national assessment of demand response potential *prepared by The Brattle Group, Freeman Sullivan, & Co, and Global Energy Partners.*
- [18] **Brown, T., Newell, S. A., Oates, D. L., & Spees, K.** (2015). International review of demand response mechanisms. *I. The Brattle Group, editor. Australian energy market commission (AEMC)*, 83.
- [19] **Edison, S. C.** (2018). 10-Day Average Baseline and “Day-Of” Adjustment
- [20] **Taylor, Z. T., Gowri, K., & Katipamula, S.** (2008). Gridlab-D technical support document: Residential end-use module version 1.0 *PNNL-17694, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA.*
- [21] **GridLAB-D™.** (2017, 06.07.2017). Residential module user's guide. Retrieved 31.07.2018, from http://gridlab-d.shoutwiki.com/wiki/Residential_module_user%27s_guide
- [22] **Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., Rahman, S., & Teklu, Y.** (2014). Load Profiles of Selected Major Household Appliances and Their Demand Response Opportunities. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(2), 742-750. doi: 10.1109/TSG.2013.2268664

EKLER

EK A.1 Örnek İletim Hattı GridLAB-D Modelleri

EK A.2 Örnek Ölçüm GridLAB-D Modeli

EK A.3 Transformatör Parametreleri

EK A.4 Örnek Ev GridLAB-D Modeli

EK A.5 Örnek Çamaşır Makinesi GridLAB-D Modeli

EK A.6 Örnek Su Isıtıcısı GridLAB-D Modeli

EK A.7 Örnek Ocak ve Fırın GridLAB-D Modeli

EK A.8 Örnek Bulaşık Makinesi GridLAB-D Modeli

EK A.9 Örnek Buzdolabı GridLAB-D Modeli

EK A.10 Örnek Kontrolör GridLAB-D Modeli

EK A.1

```
object triplex_line {
  name tl_1;
  phases CS;
  from tn_C_1;
  to tm_C_2;
  length 12.51;
  configuration trip_line_config;
  groupid Triplex_Line;
}

object triplex_line_configuration {
  name trip_line_config;
  conductor_1 object triplex_line_conductor {
    resistance 0.97;
    geometric_mean_radius 0.01111;
  };
  conductor_2 object triplex_line_conductor {
    resistance 0.97;
    geometric_mean_radius 0.01111;
  };
  conductor_N object triplex_line_conductor {
    resistance 0.97;
    geometric_mean_radius 0.01111;
  };
  insulation_thickness 0.08;
  diameter 0.368;
}

object overhead_line {
  groupid Distribution_Line;
  phases ABCN;
  name 632-6321;
  from 632;
  to 6321;
  length 1500;
  configuration line_configuration_1;
}

object line_configuration {
  name line_configuration_1;
  conductor_A overhead_line_conductor_1;
  conductor_B overhead_line_conductor_1;
  conductor_C overhead_line_conductor_1;
  conductor_N overhead_line_conductor_2;
  spacing line_spacing_1;
}

object overhead_line_conductor {
  name overhead_line_conductor_1;
```

```

    geometric_mean_radius 0.00814;
    resistance 0.592000;
}

object line_spacing {
    name line_spacing_1;
    distance_AC 2.5;
    distance_AB 4.5;
    distance_BC 7.0;
    distance_CN 5.656854;
    distance_AN 4.272002;
    distance_BN 5.0;
}

object underground_line_conductor {
    name underground_line_conductor_1;
    outer_diameter 2.291;
    conductor_gmr 0.03592 ft;
    conductor_diameter 1.117;
    conductor_resistance 0.093456;
    neutral_gmr 0.0897578842950715 ft;
    neutral_resistance 5.48592;
    neutral_diameter 0.1019;
    neutral_strands 20.0;
    shield_gmr 0.00;
    shield_resistance 0.00;
}

```

EK A.2

```
object triplex_meter {  
    name [transformer name];  
    phases [phase]S;  
    nominal_voltage 120.000000;  
    groupid [Trans_Meter_Id];  
}
```

EK A.3

Çizelge A.1 : Transformatör Parametreleri

Transformatör Kodu	Primer Gerilimi (kV)	Sekonder Gerilimi (kV)	Gücü (kVA)	Boşta Kayıp (W)	Yükte Kayıp (W)	Kısa Devre Gerilimi (%)	Boşta Çalışma Akımı (%)
T1	154	33	25000	30000	70000	10	0.5
TR-1	33	0.4	630	2300	5400	6	1
TR-2	33	0.4	630	2300	5400	6	1
TR-3	33	0.4	100	700	2600	6	1.5
TR-4	33	0.4	630	2300	5400	6	1
TR-5	33	0.4	630	2300	5400	6	1
TR-6	33	0.4	125	770	2750	6	1.5
TR-7	33	0.4	630	2300	5400	6	1

EK A.4

```
object house {  
  parent tm_1;  
  name house_1;  
  floor_area [random number];  
  schedule_skew [random number];  
  number_of_stories [1 ya da 2];  
  heating_system_type GAS;  
  cooling_system_type ELECTRIC;  
  thermal_integrity_level NORMAL;  
  motor_efficiency AVERAGE;  
  cooling_setpoint 72;  
  thermostat_deadband 1;  
  groupid House_Type_[1 ya da 2];  
}
```

EK A.5

```
object clotheswasher {  
    name clotheswasher_1;  
    schedule_skew [random number];  
    motor_power 0.8;  
    queue 1.7;  
    state STOPPED;  
    queue_min 0;  
    queue_max 2;  
    demand CLOTHESWASHER;  
};
```

```
schedule CLOTHESWASHER {  
    { // haftaiçi -yaz  
        * 0 * 4-9 1-5 0.0029; * 1 * 4-9 1-5 0.0019; * 2 * 4-9 1-5 0.0014; * 3 * 4-9 1-5 0.0013;  
        * 4 * 4-9 1-5 0.0018; * 5 * 4-9 1-5 0.0026; * 6 * 4-9 1-5 0.0055; * 7 * 4-9 1-5 0.0126;  
        * 8 * 4-9 1-5 0.0181; * 9 * 4-9 1-5 0.0208; * 10 * 4-9 1-5 0.0229; * 11 * 4-9 1-5 0.0216;  
        * 12 * 4-9 1-5 0.0193; * 13 * 4-9 1-5 0.0170; * 14 * 4-9 1-5 0.0145; * 15 * 4-9 1-5 0.0135;  
        * 16 * 4-9 1-5 0.0135; * 17 * 4-9 1-5 0.0142; * 18 * 4-9 1-5 0.0145; * 19 * 4-9 1-5 0.0148;  
        * 20 * 4-9 1-5 0.0146; * 21 * 4-9 1-5 0.0141; * 22 * 4-9 1-5 0.0110; * 23 * 4-9 1-5 0.0062  
    }  
    { // haftasonu -yaz  
        * 0 * 4-9 6-0 0.0031; * 1 * 4-9 6-0 0.0019; * 2 * 4-9 6-0 0.0013; * 3 * 4-9 6-0 0.0012;  
        * 4 * 4-9 6-0 0.0012; * 5 * 4-9 6-0 0.0016; * 6 * 4-9 6-0 0.0027; * 7 * 4-9 6-0 0.0066;  
        * 8 * 4-9 6-0 0.0157; * 9 * 4-9 6-0 0.0220; * 10 * 4-9 6-0 0.0258; * 11 * 4-9 6-0 0.0251;  
        * 12 * 4-9 6-0 0.0231; * 13 * 4-9 6-0 0.0217; * 14 * 4-9 6-0 0.0186; * 15 * 4-9 6-0 0.0157;  
        * 16 * 4-9 6-0 0.0156; * 17 * 4-9 6-0 0.0151; * 18 * 4-9 6-0 0.0147; * 19 * 4-9 6-0 0.0150;  
        * 20 * 4-9 6-0 0.0156; * 21 * 4-9 6-0 0.0148; * 22 * 4-9 6-0 0.0106; * 23 * 4-9 6-0 0.0065  
    }  
    { // haftaiçi -kış  
        * 0 * 10-3 1-5 0.0036; * 1 * 10-3 1-5 0.0024; * 2 * 10-3 1-5 0.0020; * 3 * 10-3 1-5 0.0019;  
        * 4 * 10-3 1-5 0.0026; * 5 * 10-3 1-5 0.0040; * 6 * 10-3 1-5 0.0062; * 7 * 10-3 1-5 0.0118;  
        * 8 * 10-3 1-5 0.0177; * 9 * 10-3 1-5 0.0211; * 10 * 10-3 1-5 0.0215; * 11 * 10-3 1-5 0.0203;  
        * 12 * 10-3 1-5 0.0176; * 13 * 10-3 1-5 0.0155; * 14 * 10-3 1-5 0.0133; * 15 * 10-3 1-5 0.0130;  
        * 16 * 10-3 1-5 0.0145; * 17 * 10-3 1-5 0.0159; * 18 * 10-3 1-5 0.0166; * 19 * 10-3 1-5 0.0164;  
        * 20 * 10-3 1-5 0.0154; * 21 * 10-3 1-5 0.0149; * 22 * 10-3 1-5 0.0110; * 23 * 10-3 1-5 0.0065  
    }  
    { // haftasonu -kış  
        * 0 * 10-3 6-0 0.0044; * 1 * 10-3 6-0 0.0030; * 2 * 10-3 6-0 0.0022; * 3 * 10-3 6-0 0.0020;  
        * 4 * 10-3 6-0 0.0021; * 5 * 10-3 6-0 0.0021; * 6 * 10-3 6-0 0.0030; * 7 * 10-3 6-0 0.0067;  
        * 8 * 10-3 6-0 0.0145; * 9 * 10-3 6-0 0.0244; * 10 * 10-3 6-0 0.0310; * 11 * 10-3 6-0 0.0323;  
        * 12 * 10-3 6-0 0.0308; * 13 * 10-3 6-0 0.0285; * 14 * 10-3 6-0 0.0251; * 15 * 10-3 6-0 0.0224;  
        * 16 * 10-3 6-0 0.0215; * 17 * 10-3 6-0 0.0203; * 18 * 10-3 6-0 0.0194; * 19 * 10-3 6-0 0.0188;  
        * 20 * 10-3 6-0 0.0180; * 21 * 10-3 6-0 0.0151; * 22 * 10-3 6-0 0.0122; * 23 * 10-3 6-0 0.0073  
    }  
};
```

EK A.6

```
object waterheater {  
  schedule_skew [random number];  
  tank_volume 50;  
  heating_element_capacity 4.9 kW;  
  tank_setpoint 133.8;  
  temperature 135;  
  thermostat_deadband 3.0;  
  location INSIDE;  
  tank_UA 3.7;  
  demand water5*1;  
};
```

EK A.7

```
object range {  
  name ranges_671_A_1;  
  schedule_skew [random number];  
  //Oven  
  oven_volume 5;  
  heating_element_capacity 1;  
  oven_setpoint 150;  
  temperature 70;  
  thermostat_deadband 8;  
  location INSIDE;  
  oven_UA 2.9;  
  food_density 5;  
  specificheat_food 1;  
  time_oven_setting 3600;  
  queue_oven 0.85;  
  demand_oven 0.5;  
  oven_demand 0.5;  
  
  //Cooktop  
  cooktop_energy_baseline 0.5;  
  cooktop_coil_setting_1 2;  
  cooktop_coil_setting_2 1;  
  cooktop_coil_setting_3 1.7;  
  cooktop_interval_setting_1 240;  
  cooktop_interval_setting_2 900;  
  cooktop_interval_setting_3 120;  
  queue_cooktop 0.99;  
  queue_min 0;  
  queue_max 2;  
  demand_cooktop 0.5;  
};
```

EK A.8

```
object dishwasher {  
  name dishwasher_671_A_1;  
  schedule_skew [random number];  
  energy_baseline 0.9;  
  Heateddry_option_check TRUE;  
  control_power 10;  
  motor_power 250;  
  dishwasher_coil_power_1 580;  
  dishwasher_coil_power_2 695;  
  dishwasher_coil_power_3 950;  
  queue 1;  
  queue_min 0;  
  queue_max 2;  
  daily_dishwasher_demand DISHWASHER;  
};
```

EK A.9

```
object refrigerator {  
  name refrigerator_1;  
  schedule_skew [random number];  
  compressor_on_normal_power 0.5;  
  door_opening_criterion REFRIGERATOR;  
  daily_door_opening 20;  
  state COMPRESSOR_OFF_NORMAL;  
  energy_used 13.5;  
  defrost_criterion DOOR_OPENINGS;  
  delay_defrost_time 600;  
  door_opening_criterion 24;  
};
```

EK A.10

```
object controller {
  market Market_1;
  schedule_skew [random number];
  bid_mode ON;
  control_mode RAMP;
  slider_setting 0.85;
  base_setpoint [coolingschedule+random(m, $\sigma$ )]
  period 300;
  average_target current_price_mean_24h;
  standard_deviation_target current_price_stdev_24h;
  target air_temperature; deadband thermostat_deadband;
  setpoint cooling_setpoint;
  demand last_cooling_load;
  total hvac_load;
  load hvac_load;
  state power_state;
  range_high 5;
  range_low -3;
  ramp_low -2.5;
  ramp_high 5;
};
schedule coolingschedule {
  * 0-6 * * * 80;
  0-20 7-8 * * * 80;
  21-40 7-8 * * * 79;
  41-59 7-8 * * * 79.5;
  * 9-9 * * * 79;
  0-20 10-11 * * * 78;
  21-45 10-11 * * * 78;
  46-59 10-11 * * * 77.2;
  0-15 12-12 * * * 75.8;
  16-40 12-12 * * * 75.5;
  41-59 12-12 * * * 74.5;
  0-30 13-14 * * * 74;
  31-59 13-14 * * * 74.8;
  0-30 15-15 * * * 74.5;
  31-59 15-15 * * * 74.5;
  0-30 16-16 * * * 75.0;
  31-59 16-16 * * * 75.5;
  0-30 17-17 * * * 75.1;
  31-59 17-17 * * * 75.2;
  0-30 18-18 * * * 77.2;
  31-59 18-18 * * * 80.1;
  0-20 19-20 * * * 80.7;
  21-59 19-20 * * * 81.9;
  0-20 21-22 * * * 79.3;
  21-59 21-22 * * * 78.4;
  0-45 23-23 * * * 79.3;
  46-59 23-23 * * * 79.6;
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tarık Taşpınar
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.01.1988 / İzmit
E-posta : tariktaşpınar@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** İTÜ, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
- **Ortaöğrenim:** Kocaeli Anadolu Lisesi