

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ŞEBEKELERDE TERMOSTAT KONTROLLÜ YÜKLER İÇİN
GELİŞMİŞ YEREL TALEP YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Alparslan ZEHİR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ŞEBEKELERDE TERMOSTAT KONTROLLÜ YÜKLER İÇİN
GELİŞMİŞ YEREL TALEP YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa Alparslan ZEHİR
504101057**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504101057 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mustafa Alparslan ZEHİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AKILLI ŞEBEKELERDE TERMOSTAT KONTROLLÜ YÜKLER İÇİN GELİŞMİŞ TALEP YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Lale Hatice ZEYNELGİL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet BAYRAK
Sakarya Üniversitesi

Teslim Tarihi : **17 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **21 Ocak 2013**

Aileme, hocalarıma ve arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen başta hocam Doç. Dr. Mustafa Bağrıyanık olmak üzere, büyük katkılarda bulunan Dr. Alp Batman, Uzman Mühendis Mehmet Ali Sönmez, Yrd. Doç. Dr. Ömer Gül'e teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarım sırasında görüşlerini esirgemeyen ve dolaylı yardımları bulunan hocalarım Prof. Dr. Aydoğan Özdemir, Yüksek Mühendis İsa İlisu, Yrd. Doç. Dr. Ahmet Derya Kocabaş ile arkadaşlarım Mohammed Mahdi, Melih Cansever, Eyüp Mustafa Erdoğan, Ervin Gelgün, Emre Gürpınar, Cavit Fatih Küçüktezcan'a ve eğitim hayatım boyunca fikirlerinden faydalanma imkanı bulduğum diğer tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve sağladığı destek için İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2012

Mustafa Alparslan Zehir

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. AKILLI ŞEBEKELER	9
2.1 Dağıtık Üretim ve Mikro Şebeke	10
2.2 Elektrikli Araçlar	12
2.3 Akıllı Sayaçlar	13
2.4 Talep Tarafı Yönetimi	14
2.4.1 Dolaylı yük kontrolü	15
2.4.2 Doğrudan yük kontrolü	16
2.5 Dağıtık Enerji Sağlayıcılar ve Sanal Güç Santralleri	17
3. GELİŞMİŞ YÜK KONTROLÜ.....	19
3.1 Gelişmiş Yük Kontrolü ile Bina içi Yüklerin Yönetimi	19
3.1.1 Yönetilemez yükler	21
3.1.2 Yönetilebilir yükler	22
3.1.2.1 Manuel kontrollü yönetilebilir yükler	22
3.1.2.2 Termostat kontrollü yönetilebilir yükler	22
3.2 Uygulama Alanları	23
3.2.1 Ev bazında tüketimin sınırlandırılması	23
3.2.2 Yenilenebilir kaynaklardan dağıtık üretimin faydalarının artırılması.....	23
3.2.3 Çok zamanlı tarifede tüketicinin elektrik giderinin azaltılması	24
3.2.4 Şebekeden gelebilecek ek istekler.....	24
4. YÜK YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI	25
4.1 Yük Modeli	25
4.2 Optimizasyon	26
4.2.1 Kontrol hareketleri	28
4.2.1.1 Erken tüketim	28
4.2.1.2 Ertelenmiş tüketim	28
4.2.2 Kontrol amaçları	29
4.2.2.1 Tüketimi azaltmak.....	29
4.2.2.2 Tüketimi arttırmak	29
4.2.3 Uygun müdahale anını bulma	30
4.2.3.1 İleri simulasyon	30
4.2.3.2 Geri simulasyon	31
4.2.3.3 Müdahale anı seçenekleri.....	31
4.3 Şebeke Olayları Karşısında Yük Yönetim Sisteminin Cevabı.....	33

5. ANALİZLERDE KULLANILAN YÜKLER	37
5.1 Buzdolabı Modeli	37
5.2 Saha Ölçümleri	38
6. ÇOK ZAMANLI TARİFEDE KONTROL	43
6.1 İncelenen Senaryolar	43
6.2 Soğutucu Kontrolü.....	45
6.3 Defrost Kontrolü.....	46
6.4 Analiz Sonuçları	46
7. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN DAĞITIK ÜRETİME GÖRE KONTROL	53
7.1 Metodoloji	53
7.2 Güneş Enerjisi Sistemi	54
7.3 İncelenen Senaryolar	55
7.3.1 Gerçek zamanlı kontrol	55
7.3.2 Planlı kontrol	57
7.3.3 Sıcaklık bandının alt ve üst sınırlara yakınsamalı değişimi	57
7.3.4 Sıcaklık bandının sadece alt sınırı yakınsamalı değişimi	59
7.3.5 Planlı kontrol ve sınırlara yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi.....	60
7.3.6 Planlı kontrol ve alt sınırı yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi.....	61
7.4 Analiz Sonuçları	61
7.4.1 Şebekeden çekilen enerji miktarındaki değişim.....	61
7.4.2 Güneşli periyotlara kaydırılan aktif çalışma zamanları.....	64
7.4.3 Yıllık elektrik tüketimindeki değişim	65
7.4.4 Yıllık elektrik faturasındaki değişim.....	67
7.4.5 Genel değerlendirmeler	69
8. YORUMLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

DSM	: Demand Side Management
GY	: Gelişmiş Yük Yönetimi
ToU	: Time of Use
TTY	: Talep Tarafı Yönetimi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Akıllı Şebeke ile günümüz şebekeleri arasındaki farklar	10
Çizelge 4.1 : Termostat kontrollü bir yüke müdahale seçenekleri	32
Çizelge 4.2 : Şebeke olayları karşısında kontrol sisteminin amaçları ve hareketleri	34
Çizelge 5.1 : Buzdolaplarının teknik özellikleri	41
Çizelge 5.2 : Buzdolaplarının çalışma süreleri	41
Çizelge 6.1 : Çok zamanlı tarife birim fiyatlarının tek zamanlı tarife fiyatına oranı.	44
Çizelge 6.2 : Soğutucunun müdahale sonrası çalışma modu.....	46
Çizelge 6.3 : Defrost kontrolü öncesi ve sonrası çalışma zamanları	47
Çizelge 6.4 : A sınıfı buzdolabı için enerji tüketimi ve maliyet analizi sonuçları.....	47
Çizelge 6.5 : G sınıfı buzdolabı için enerji tüketimi ve maliyet analizi sonuçları.....	47
Çizelge 6.6 : Tek zamanlı tarifeye göre yıllık elektrik faturasındaki değişim.....	48
Çizelge 6.7 : A sınıfı buzdolabı için müdahale anında olay anına kalan dakikalar...	50
Çizelge 6.8 : G sınıfı buzdolabı için müdahale anında olay anına kalan dakikalar...	50
Çizelge 6.9 : Termostat kontrollü yüklerin çalışma şekillerinin genelleştirilmesi	51
Çizelge 7.1 : Sistemdeki olaylara göre uygulanacak kontrol hareketleri	57
Çizelge 7.2 : Soğutucu sıcaklık ayarının yerel üretime göre değişimi	59
Çizelge 7.3 : Sıcaklık bandı değişimi yönteminin ayrıntıları	60
Çizelge 7.4 : İki yöntemin birlikte uygulanmasının detayları	60
Çizelge 7.5 : Sistemdeki olaylara göre tercih edilecek ayarlar.....	61
Çizelge 7.6 : A sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim	63
Çizelge 7.7 : G sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim	63
Çizelge 7.8 : A sınıfı buzdolabı için yıllık enerji tüketimindeki değişim.....	67
Çizelge 7.9 : G sınıfı buzdolabı için yıllık enerji tüketimindeki değişim.....	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye’de elektrik tüketimindeki değişim ve gelecek tahminleri.....	1
Şekil 1.2 : Türkiye’de puant güç talebindeki değişim ve gelecek tahminleri.....	2
Şekil 1.3 : Türkiye’nin elektrik üretiminde kullanılan kaynakların yüzdeleri.....	3
Şekil 2.1 : Akıllı Şebeke’nin genel alt başlıkları	9
Şekil 2.2 : AB’nin elektrikli araçlarla ilgili yol haritasının başlıca aşamaları.....	13
Şekil 2.3 : Talep Tarafı Yönetimi stratejileri.....	15
Şekil 2.4 : Aynı işlerin gerçekleştirilebileceği farklı çalışma durumları	15
Şekil 3.1 : Gelişmiş yerel yük yöneticisi ve çevresindeki cihazlarla etkileşimi	21
Şekil 4.1 : Planlı kontrolün genel çalışma yapısı.....	27
Şekil 4.2 : Bir soğutucu için erken tüketim örneği	28
Şekil 4.3 : Bir soğutucu için ertelenmiş tüketim örneği	29
Şekil 4.4 : Müdahale anı hesabı için kullanılan mantık.....	32
Şekil 5.1 : Saha ölçümlerinde kurulan düzenek.....	39
Şekil 5.2 : A sınıfı buzdolabının iç sıcaklığının günlük değişimi	39
Şekil 5.3 : Bir gün içerisinde ölçülen soğutma ve ısınma süreleri	40
Şekil 5.4 : Bir soğutma çalışması boyunca ölçümler ve sanal model.....	42
Şekil 6.1 : G sınıfı buzdolabının bir günlük benzetimi sonucu talep profili	45
Şekil 6.2 : Elde edilebilir tasarrufların karşılaştırmalı gösterimi.....	49
Şekil 7.1 : Yıl boyunca toplanan verilerin genel grafiği.....	55
Şekil 7.2 : Gerçek Zamanlı Kontrol yönteminin çalışma mantığı.....	56
Şekil 7.3 : Sıcaklık Bandı Değişimi yönteminin çalışma mantığı	58
Şekil 7.4 : A sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim yüzdesi	62
Şekil 7.5 : G sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim yüzdesi	62
Şekil 7.6 : A sınıfı buzdolabı için yeterli üretim zamanlarına kaydırılan çalışma	64
Şekil 7.7 : G sınıfı buzdolabı için yeterli üretim zamanlarına kaydırılan çalışma	65
Şekil 7.8 : A sınıfı buzdolabı için yıllık enerji tüketimindeki değişim yüzdesi	66
Şekil 7.9 : G sınıfı buzdolabı için yıllık enerji tüketimindeki değişim yüzdesi	66
Şekil 7.10 : A sınıfı buzdolabının yıllık elektrik faturasındaki değişim yüzdesi.....	68
Şekil 7.11 : G sınıfı buzdolabının yıllık elektrik faturasındaki değişim yüzdesi.....	69

AKILLI ŞEBEKELERDE TERMOSTAT KONTROLLÜ YÜKLER İÇİN GELİŞMİŞ YEREL TALEP YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

ÖZET

Günümüz elektrik Şebekesi yıldan yıla artan talep, tüketimin dalgalılığı, puant yük sebebiyle tesis edilip kısa süreler için verimsiz iŐletilen generatörler gibi çeşitli sorunlarla karşı karŐıyadır. Enerji üretimi ağırlıklı olarak gelecekte tükenme riski taşıyan, karbon salınımı yüksek fosil kaynaklara dayanmaktadır. Bu kaynakların büyük ölçüde dışarıdan ithal edilmesi de enerjide dışa bağımlılık ve cari açığın artması gibi ek olumsuzluklar getirmektedir.

Akıllı Şebeke başlığı altında yapılan çalıŐmalarla Şebekenin daha verimli, güvenilir ve çevre dostu bir yapıya getirilmesini sağlayacak yaklaşımlar geliştirilmektedir. Diğer yandan bu yaklaşımlardan kaynaklanabilecek, üzerinde düşünülmesi gereken yeni sorunlar da ortaya çıkmaktadır.

Dağıtık Üretim ile oluŐacak çift yönlü enerji akışı, tek yönlü enerji akışına dayalı ölçüm ve koruma ekipmanlarının çalışma Őekillerinde değişiklikler gerektirmektedir. Doğrudan depolanamayan ve kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim payındaki artış ise, üretim ile talebin sürekli olarak dengelenmesinde yeni zorluklar meydana getirecektir.

Karbon salınımlarını düşürme, gürültü kirliliğini azaltma ve ulaşım giderlerini indirme gibi birçok fayda sağlayacağı düşünölen Elektrikli Araçlar'ın yaygın kullanımını ise, Şebekede farklı noktalardan farklı zamanlarda bağlanabilen büyük güçlü yükler olacağı anlamına gelmektedir.

Şebekenin mevcut sorunları ve gelecekteki yaklaşımlardan kaynaklanması muhtemel yeni zorluklar için sadece üretim tarafında değil, talep tarafında da bazı çözümler üretilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Talep Tarafı Yönetimi ile yükler, doğrudan veya dolaylı olarak Şebekenin ihtiyaçlarına göre kontrol edilebilirler.

Geçmiş yıllarda çoğunlukla büyük güçlü endüstriyel tüketiciler için tercih edilen Talep Tarafı Yönetimi, binaların artan enerji tüketimleri, akıllı sayaç ve haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler ile artık işyerleri ve konutlar için de düşünölmektedir.

Talep Tarafı Yönetimi'nin binalarda uygulanabileceği başlıca yükler arasında termostat kontrollü yükler gelmektedir. Genel tüketimler içerisindeki büyük payları ve belirli sıcaklık değerleri aşılmadığı sürece kullanıcı konforu etkilenmeksizin yönetilebilir olmaları ile bu yükler, Doğrudan Yük Kontrolü uygulamaları için oldukça elverişlidir.

Bu çalışmada, binalardaki termostat kontrollü yüklerin Şebeke olaylarına göre nasıl yönetilebileceği incelenmiş ve yerel bir talep yönetim sistemi tasarlanmıştır. Sistemin, yük yönetimini sadece Şebeke yararını gözeterek değil; aynı zamanda kullanıcılara da faydalar sağlayarak yapabilmesine önem verilmiştir. Olay tabanlı bu

talep yönetim sisteminin, planlı kontrol mantığı ile yüklerin ısı kapasitesinden olabildiğince yararlanabilmesi gözönüne alınmıştır.

Tasarlanan yük yönetim sistemi ile buzdolaplarının bir yıllık çalışması, öncelikle çok zamanlı tarifeye göre kontrol durumunda incelenmiştir. Analizlerde, gerçek buzdolaplarından toplanmış verilerden yararlanılmıştır. Ölçümlerin toplandığı buzdolapları piyasadaki buzdolaplarının karakteristiklerinin alt ve üst sınırlarına yakın değerlere sahiptir. Bu sebeple, analizler sonucunda piyasadaki buzdolaplarının büyük bir bölümünün Talep Tarafı Yönetimi potansiyelinin sınırları kestirilmeye çalışılmıştır.

Çok Zamanlı Tarife’de kontrolsüz ve kontrollü çalışma durumları, Tek Fiyatlı Tarife ile karşılaştırılmıştır. Soğutucu kontrolüne ek olarak defrost kontrolü de incelenmiştir. Analizler sırasında, kontrolörün müdahale edebileceği farklı seçenekler de kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre, buzdolaplarının puant periyottaki tüketimlerinin %23.08 ile 41.73 oranında azaltılabileceği ve yıllık elektrik faturasında %12.54 ila 14.78’e varan tasarruflar elde edilebileceği tespit edilmiştir. Yük yönetim sisteminin, Çok Zamanlı Tarife’nin garanti ettiği getiriler kadar daha fayda sağlayabileceği görülmüştür. Defrost kontrolünün puant zamanlardaki tüketimleri %15.04 azaltmakla beraber, yıllık elektrik faturasındaki tasarruflara %1.7 katkı sağlayabileceği analiz edilmiştir.

Ekonomik hesaplamalar, Türkiye’de uygulanan mevcut tarifeler kullanılarak yapılmıştır. Ek ödemeler, özel indirimler gibi Dolaylı Yük Kontrolü yöntemleri uygulandığı takdirde kullanıcıların bu uygulamaları kullanmaya daha çok teşvik edilmesi sağlanabilir.

Yenilenebilir kaynaklardan dağıtık üretime göre kontrol de çalışma bünyesinde incelenmiştir. Küçük güçlü bir fotovoltaik sistemden bir yıl boyunca toplanan veriler analizlerde kullanılmıştır. Sonuçlar hem şebeke açısından hem de tüketiciler açısından farklı perspektiflere göre değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Sıcaklık bandı değişimi yöntemleri, gerçek zamanlı kontrol yöntemine göre daha başarılı bulunmuştur. Herhangi bir tahmin yapısına ihtiyaç duymaksızın kolayca uygulanabilecek bu yöntemler yakın zaman için tercih edilebilir çözümler olarak öne çıkmaktadır. En iyi sonuçlar ise planlı kontrol yöntemi ve bu yöntemin alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi yöntemiyle birlikte uygulandığı senaryolarda elde edilmiştir. Bu yöntemlerin başarıyla uygulanabilmesi için isabetli tüketim ve üretim tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre buzdolaplarının 55 ila 100 saatlik çalışmalarının güneş enerjisinden yeterli üretimin olduğu periyotlara kaydırılabileceği görülmüştür. Bu sırada yıllık tüketimlerde ciddi bir değişim olmamıştır. Mevcut tarifeler kullanıldığı takdirde, elektrik faturasında yıllık %1.43 ile 3.70’e varan tasarruflar elde edilebileceği görülmüştür. Günümüz tarifelerinde ekonomik faydaların kullanıcılar için yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Yeni tarife yapılarının ve ek teşviklerin gerekliliği analizler sonucunda ortaya çıkmıştır.

Planlı kontrol yaklaşımı alternatif kontrol mantıkları ile karşılaştırılarak olumlu ve olumsuz yönleri tespit edilmiş, bu olumsuzlukların nasıl giderilebileceği düşünülmüştür. Sistemin saha uygulamalarında karşılaşılabilecek çeşitli zorluklar da sistem tasarımı ve analizler sırasında gözönünde bulundurulmuştur.

Esnek kontrol yapısı ile sadece buzdolaplarının değil; dondurucu, su ısıtıcısı, klima gibi birçok farklı termostat kontrollü yükün yönetiminin mümkün olduğu bir yönetim sistemi oluşturulmuştur.

Yapılan analizler, tasarlanan yük yönetim sisteminin şebeke ve kullanıcılar için oldukça faydalı olabileceğini göstermiştir. İlerleyen çalışmalarda tasarlanan sistemin su ısıtıcısı, dondurucu, klima gibi diğer termostat kontrollü yükleri yönetme başarısı analiz edilecektir. Çok sayıda kontrolörün bölgesel veya merkezi yönetiminin yanısıra saha uygulamaları ile kontrolörün gerçek performansının da denenmesi hedeflenmektedir. Yük yönetimi uygulamasının akıllı şebekelerde kullanılabileceği diğer alanlar da ayrıca analiz edilecektir.

DESIGN OF AN INTELLIGENT LOCAL DEMAND MANAGEMENT SYSTEM FOR THERMOSTATICALLY CONTROLLED LOADS IN SMART GRIDS

SUMMARY

Power systems of today have major challenges such as growing demand and fluctuations in consumptions. Generation is trying to be increased by the establishment of new power plants to meet the growing demand. During the planning process of generation capacity additions, because of fluctuations sourced by the consumption behavior of consumers, peak demand is considered.

Annual peaks occur for a short time in a year. The generators established to meet these, work in an inefficient way and stay inactive for the remaining times.

Today, fossil fuels have the biggest pie in electricity generation. Their risk of extinction and high CO₂ emissions are some of the major disadvantages. Most of the countries import fossil fuels and as a result of this their economic gap between import and export and energy dependency increases.

Under the topic of Smart Grid, new approaches are being studied on to make the grid operate in a more efficient, reliable and environment friendly way. However, new solutions may also include some upcoming challenges which should be particularly considered.

Two way power flow caused by Distributed Generation, may lead to operational failures in conventional communication and security devices. Moreover, increasing participation of intermittent renewable sources in power generation may make the generation and demand balance in the grid more challenging.

Electric Vehicles have the advantage of reducing CO₂ emissions, decrease transportation costs and sound pollution. On the other hand, participation of thousands of moving loads with high power demands should be considered.

In order to solve the problems of today and deal with future challenges, not only grid side, but also demand side approaches are needed to be focused on. By using Demand Side Management, loads can be controlled according to the needs of the grid. Strategies like peak shaving, valley filling, flexible load shaping, etc. can be applied to make the demand fit with available generation. These strategies can be applied by the use of Indirect or Direct Load Control methods.

Indirect Load Control depends on using tariffs, bonus payments, special offers, advertisements, etc. to influence users to change their consumption behaviors. These methods can be applied in a fast and economic way. However, customers may not always give the desired response in Indirect Load Control applications. People's response to a request may change from time to time resulting in varying and unreliable system performance.

Direct Load Control includes preprogrammed or adaptive systems, which can communicate with smart meters or central managers to control the loads. By the use of automated systems and infrastructures with two way communication availability, responses to a future request can be estimated and real time performance of the system can be seen in a better way. Direct Load Control methods can be combined and applied together with Indirect Load Control methods to increase the achievable benefits.

These technologies may release the barriers that keep customers in buildings from being actors (prosumers) in load management applications. The efforts to manage loads without affecting customers, with minimum process and controller intervention can be named as Intelligent Load Control.

Looking from the perspective of demand management, loads in a house can be categorized as controllable loads and uncontrollable loads. Controllable loads can also be divided into two subgroup, namely manually controlled loads and thermostatically controlled loads. Manually controlled loads like washing machines, dish washers can be controlled in a specified time range in which their given tasks should be completed. Thermostatically controlled loads, represent the major part of consumptions can be controlled within their allowed temperature limits, without affecting their operation and customer comfort.

This study seeks to explore how thermostatic loads can be controlled in response to grids's requests. An event driven local demand management system is designed for thermostatically controlled loads. A methodology that summarizes general behavior of thermostatically controlled loads is developed for flexible and adaptive management.

The performance of the proposed system with refrigerators are analyzed by simulations. In order to increase the accuracy of estimations, field data is gathered from two refrigerators with different characteristics. By the use of chosen refrigerators close to the characteristic limits of the refrigerators in the sector, a huge part of refrigerator's Demand Side Management potential is aimed to be found.

System's performance in control according to Time of Use (ToU) tariff is analyzed. In addition to cooler control, defrost shifting is also applied. Working with and without control in Time of Use tariff is compared with working in Single Pricing tariff. During the analysis, various options for controller intervention is also compared. The results revealed that power demand of refrigerators in peak times can be reduced by 23.08 to 41.73%, while decreasing annual energy bills by 12.54 to 14.78%. Contribution of load control in savings is found the be close to the minimum savings achieved with ToU tariff. Defrost shifting added 1.7% to savings on yearly energy bill and reduced consumptions by 15.04% at peak times.

Savings estimated in this study are calculated by the use of recent tariffs in use in Turkey. By the application of indirect load control strategies like bonus payments, special discounts, etc. savings and customer participation can be increased.

Another analysis is made for control according to Distributed Generation from renewables. Measurements gathered from a local photovoltaic system are used in simulations with the refrigerator models generated in the previous analysis. Both planned control and real time methods with thermostat set point modifications are applied both individually and together.

Results are compared from the perspectives of shifted demand to the enough local generation periods, change in annually energy bills and changes in yearly energy consumptions.

Thermostat set point modification methods are found to be better than real time control method. With their ease of application, they can be applied as near future solutions. Best results are found in planned control and its combination with set point modification close to the lower limit method. If accurate load and generation predictions are available these strategies can be used for optimal system operation.

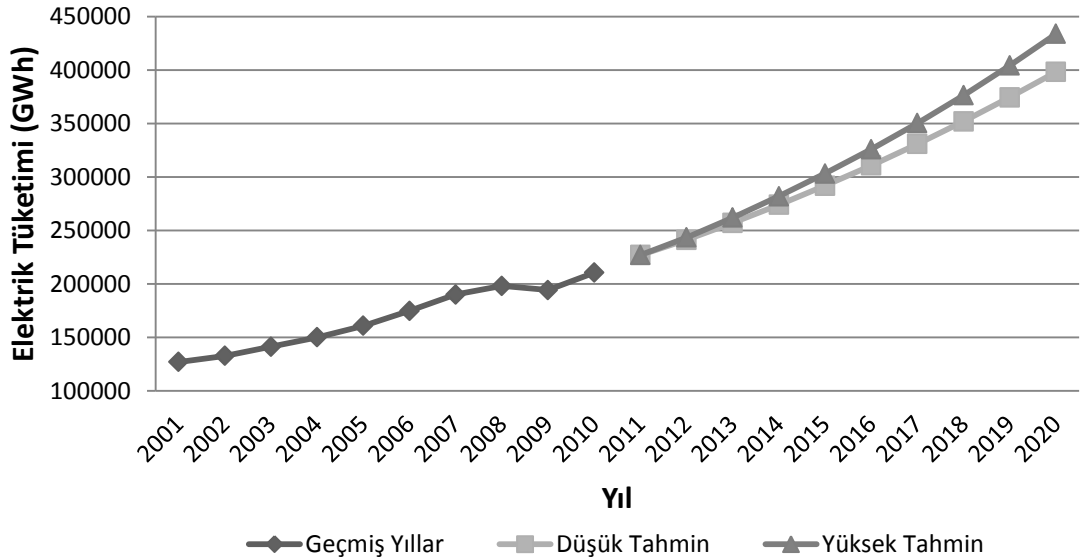
The analysis showed that 55 to 110 hours of active operation of refrigerators can be shifted to solar generation periods, while annual consumptions do not face with major changes. In these working conditions costs can be reduced by 1.43 to 3.70%. The economic benefits with today's tariffs are found to be insufficient for customer participation. Development of new incentives are needed as a result of the study.

Future work will cover field application of the proposed system and analysis of its performance on other thermostatically controlled loads like water heaters, air conditioners, freezers, etc. Cooperation of multiple controllers and system's performance on additional areas of use for load management in smart grids will also be worked on.

1. GİRİŞ

Yıllardan beridir insan müdahalesine dayalı karar verme ve yönetimin uygulandığı elektrik dağıtım sistemleri, farklı davranışlara sahip yeni yüklerin katıldığı, tüketimin ve puant talebin yıldan yıla yükseliş gösterdiği, rekabete açık piyasa ortamında artık yetersiz kalmaktadır.

Elektrik enerjisinin yıllık tüketim miktarlarına bakıldığında, yıldan yıla artış görülmektedir. Dünya genelinde elektrik enerjisi tüketimi, 2003 yılından bu yana %38 artış göstermiştir [1]. Ülkemizde ise enerji tüketimi, son on yılda yıllık ortalama %6.8'lik büyüme ile toplamda %65 artmıştır [2]. Günümüz eğilimleri ve gelecekteki hedefler gözönüne alınarak yapılan ilerleyen dönem tahminlerinde de artış beklentisi bulunmaktadır. Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketiminin 2020 yılına dek yıllık %6.2 ile 7.9 arasında büyüme göstermesi ve 2020 yılında günümüze oranla %75 ila 91 daha fazla olması beklenmektedir (Şekil 1.1) [2].



Şekil 1.1: Türkiye’de elektrik tüketimindeki değişim ve gelecek tahminleri [2]

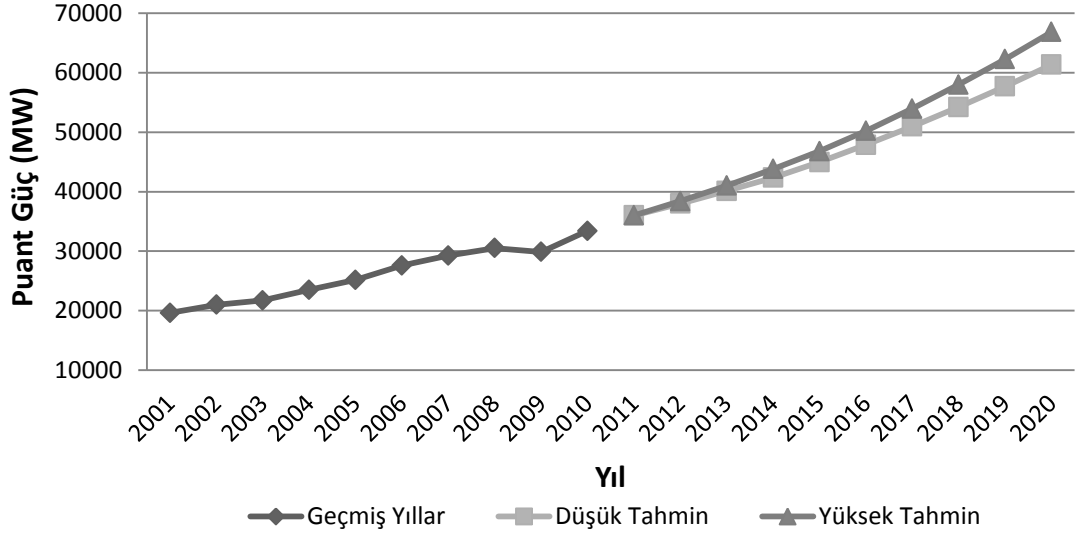
Elektrik sistemlerinde güvenilir çalışma koşulları açısından, üretim her zaman için tüketimi karşılayabilecek kapasitede olmalıdır. Bu nedenle, artan enerji talebini

karşılatabilmek amacıyla gelecek yıllardaki puant yük tahminleri gözönüne alınarak yeni santraller inşa edilmektedir [3].

Kullanıcıların tüketim alışkanlıkları günlük, aylık ve yıllık süreçlerde zamana göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar sebebiyle, talep bazı zamanlar ortalamanın oldukça aşağılarında düşmekte, bazı zamanlarda ise şebekeyi oldukça zorlayacak yüksek değerlere çıkabilmektedir [4].

Puant yükü karşılabilmek için hızlı bir şekilde devreye girebilen santrallere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla doğal gaz santralleri, hidroelektrik santralleri ve dizel generatörler tercih edilir. Miktarı GW'lar mertebesinde olan puant talep, kısa süreler boyunca gözlemlenmekte, bu talebi karşılamak için tahsis edilmiş santraller diğer zamanlarda atıl durumda kalmaktadırlar. 2006 yılında, Kanada'nın Ontario eyaletinde 27 GW civarında olan yıllık puant yük (3.6 GW'lık ek yük), yılın en sıcak günlerinde ortaya çıkmış ve toplamda 88 saat sürmüştür [5]. Bu süre tüm yılın yaklaşık %1'ine denk gelmektedir. Benzer şekilde, Türkiye'nin 2011 yılı için tertiplenmiş yük eğrisi incelendiğinde, yılın %1'i boyunca görülen puant yükün diğer zamanlardaki talepten yaklaşık 1.2 GW fazla (toplamda 33 GW) olduğu tespit edilmiştir [2].

Türkiye'nin puant güç talebi yıllık ortalama %7.2'lik büyüme ile son on yılda %70 oranında artış göstermiştir [2]. Önümüzdeki yıllarda da puant yükün artacağı tahmin edilmektedir. 2020 yılına dek puant talebin yılda %5.6 ila 7.8 olmak üzere toplam %70 ile %85 arasında artış göstermesi beklenmektedir [2]. Türkiye'nin puant güç talebinin 2001-2010 yılları arasındaki değişimi ve 2020 yılına dek yapılmış yüksek ve düşük tahminler Şekil 1.2'de gösterilmiştir [2].

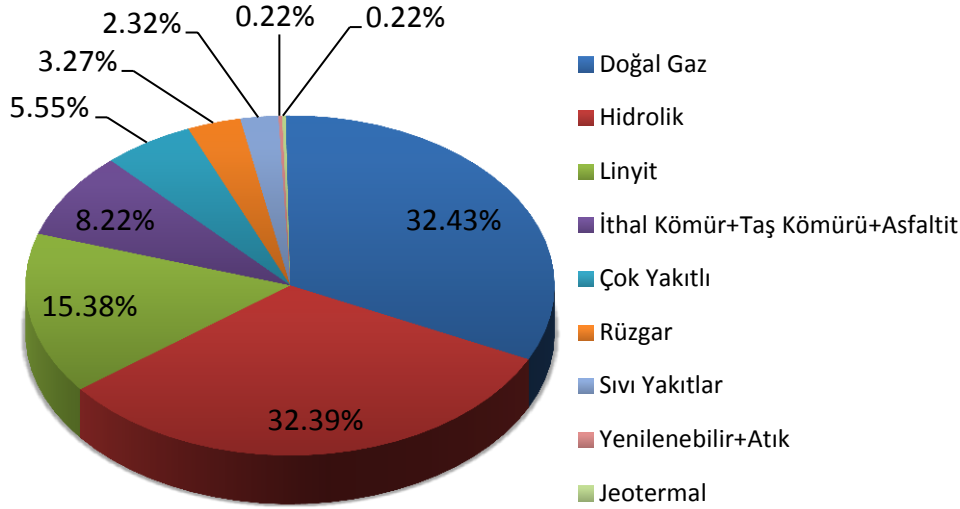


Şekil 1.2: Türkiye’de puant güç talebindeki değişim ve gelecek tahminleri [2]

Bu durum şebeke operatörüne ek maliyetler getirmektedir. Ontario için 2020 yılında tahmin edilen puant yük %1 azaltılabildiği takdirde, santral yatırımlarından 870 milyon \$’lık tasarruf sağlanabilmesi mümkündür [6].

Türkiye’nin elektrik üretimi için tesis edilmiş 52.9 GW’lık kurulu güç, yıllık 36 GW civarında olan puant talebin oldukça üzerindedir [7]. Buna rağmen, talepteki dalgalanmalar ve üretimdeki kaynak sıkıntılarından dolayı üretimin talebi karşılamakta zorlandığı zamanlar olmaktadır. Bu zamanlarda talebi karşılamak amacıyla dışarıdan elektrik ithal edilmektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’nun verilerine göre 2009 yılında Türkiye’nin elektrik ithalatı, toplam tüketimin %0.4’ü iken, 2011 yılında bu miktar %2’ye yükselmiştir [8]. Yüzde olarak az görünen bu miktar GWh mertebesinde olduğu için oldukça yüksek bir maliyete sahiptir. Benzer şekilde üretilen elektrik enerjisinin bir kısmı da ihraç edilmektedir. Türkiye’nin elektrik ihracatı, 2009 ve 2010 yıllarında ithalatın yaklaşık 700 GWh üzerinde seyretmekteyken, 2011 yılında ithalatın 918 GWh gerisinde kalmıştır [8].

Günümüz elektrik şebekelerindeki bir diğer sorun, üretimin ağırlıklı olarak gelecekte tükenme riski taşıyan fosil kaynaklara dayanmasıdır. Fosil kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi, Amerika Birleşik Devletleri’nde toplam üretimin %70’ini oluşturmaktadır [9]. Türkiye’de ise bu oran %63 mertebesinde [7]. 2011 yılında Türkiye’nin elektrik üretiminde kullanılan kaynakların yüzdeleri Şekil 1.3’te verilmiştir.



Şekil 1.3: Türkiye'nin elektrik üretiminde kullanılan kaynakların yüzdeleri [7]

Fosil yakıtlar üretimde kullanılmaları sonrası atıkları sebebiyle çevre kirliliğine neden olmakta, yüksek miktarlardaki karbon dioksit salınımları sebebiyle de küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır. ABD'de 2010 yılında, elektrik enerjisinin üretimi kaynaklı sera gazlarının salınımı tüm karbon salınımının %34'ünü oluşturmuştur [10].

Ülkemizin ve diğer çoğu ülkenin enerji üretiminde ağırlıklı olarak kullandığı kaynaklardan dolayı yaşadığı bir diğer sorun da doğal gazın ve diğer fosil kaynakların büyük kısmının dışarıdan ithal edilmesidir. Avrupa Birliği ülkelerinde enerji ithalatı ortalaması %53'ün üzerindedir [11]. Ülkemizde ise bu oran daha yüksektir. Türkiye'nin 2010 yılındaki enerji arzının petrol için %93, doğalgaz için %98, taş kömürü için %90 olmak üzere genel toplamda %72.9'luk bölümü ithalat yapılarak karşılanmıştır [11]. Bu durum enerjide dışa bağımlılığı arttırmakla beraber kullanıcı tarifelerine de yansımaktadır. Yine aynı sebeple, dışarıdan ciddi miktarlarda kaynak ithalatı yapılması sonucu cari açık artmaktadır. Bu ve benzeri sebepler, uzmanları elektrik enerjisinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketiminde yeni arayışlara itmektedir.

Günümüz şebekesinin sorunları ve gelecekte karşılaşılması muhtemel zorluklardan dolayı, şebekenin yapısı ve işletilmesini iyileştirecek çalışmalar yürütülmektedir. Akıllı Şebeke (Smart Grid) çalışmaları olarak isimlendirilen bu araştırmalar, şebekenin daha verimli, güvenilir ve çevre dostu olarak işletilmesini

amaçlamaktadırlar. Akıllı Şebeke çözümleri, mevcut olumsuzlukları iyileştirme potansiyeliyle beraber bazı zorlukları da beraberinde getirebilmektedir.

Dağıtım sistemlerinde çift yönlü enerji akışı, ölçüm ve koruma ekipmanlarının çalışmalarında ortaya çıkabilecek zorluklar, kesintili enerji kaynaklarından dolayı üretimde karşılaşılabilecek ani değişimler ve şebekeye farklı noktalardan bağlanabilen büyük güçlü hareket eden yükler, Dağıtık Üretim ve Elektrikli Araçlar gibi yeni yaklaşımlardan kaynaklanabilecek bazı zorluklardır.

Günümüz şebekesinin sorunlarına çözüm vadetmekle beraber, yeni yaklaşımların getirebileceği zorluklara karşı da başvurulabilecek başlıca yöntemlerden biri olarak Talep Tarafı Yönetimi (Demand Side Management) öne çıkmaktadır. Uzun yıllardan beridir çeşitli yöntemlerle uygulanan Talep Tarafı Yönetimi'nin kullanım alanları ve yararları, gelişen ölçüm ve haberleşme ekipmanları sayesinde artmaktadır.

Talep Tarafı Yönetimi yöntemlerinden biri Doğrudan Yük Kontrolü'dür. Yüklerin yerel veya merkezi kontrolörler ile direkt yönetilmesine dayalı bu yöntem, teşvik, tarife ve ek ödemeler gibi Dolaylı Yük Kontrol yöntemleri ile beraber kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Talep Tarafı Yönetimi yöntemlerinin başarısı, bu yöntemlerin kullanıcılar tarafından benimsenmesine ve uygulanabilmesine bağlıdır. Kullanıcıların bu uygulamalara yüksek katılım gösterebilmesi için, elde edebilecekleri bazı faydalar olması gerekmektedir. Otonom çalışan, geri besleme mekanizmalarına sahip, yük yönetimini en az kontrol hareketi ve hesaplama ile, kullanıcı konforunu olumsuz etkilemeden gerçekleştirebilen sistemler bu noktada öne çıkmaktadır. Gelişmiş Yük Yönetim Sistemleri adı verilen bu yapılar, geleneksel TTY yöntemlerinin dezavantajlarını azaltmakla beraber, kullanım alanlarını ve elde edilebilecek faydaları arttırmayı vadetmektedir.

Doğrudan Yük Kontrolü ile yönetilebilecek yükler arasında termostat kontrollü yükler öne çıkmaktadır. Bu yüklerin çalışma programlarında yapılacak değişiklikler, yükün sıcaklık sınırları aşılmadığı sürece kullanıcıları olumsuz etkilemeyecektir.

T. Luo, G. Ault ve S. Galloway TTY'nin planlama aşaması üzerine inceleme gerçekleştirmişlerdir [12]. Çalışmada, temel amaçların belirlenmesi ve alternatif yaklaşımların incelenmesinde, şebekeye ve kullanıcılara sağlanabilecek faydaların gözetilmesi, maliyet-yarar analizinin gerekliliği vurgulanmış ve bir planlama modeli

önerilmiştir. Planlama aşamasında, uygulama ve takip adımlarının da kararlaştırılmasına önem verilmiş; elde edilen geri dönüşlerin sistemin iyileştirilmesi için kullanılması düşünülmüştür. Çalışma, Dolaylı veya Doğrudan Yük Kontrol uygulamalarının planlama aşamalarıyla ilgili yararlı bir model sunmaktadır.

D.S. Callaway'e ait [13] numara ile referans verilmiş çalışmada, termostat kontrollü yüklerin bir rüzgar enerjisi santralının güç çıkışına göre yönetimi üzerine yoğunlaşmıştır. Yüklerin sıcaklık ayarlarının değiştirilmesine dayanan yönetim metoduna ek olarak, kontrol isteğinin haberleşme yeteneğine sahip termostatlar veya gelişmiş Akıllı Sayaç teknolojisi vasıtasıyla yerel yöneticilere ulaştırılabileceğinden bahsedilmiştir. Ayrıca makalede çok sayıda termostat kontrollü yükün rastlantısal çalışmasının benzetimi ile ilgili de faydalı bir yaklaşım sunulmaktadır.

M. Castillo-Cagigal, A. Gutiérrez, F. Monasterio-Huelin, E. Caamaño-Martín, D. Masa ve J. Jimenez-Leube'nin [14] numara ile referans verilen çalışmasında, fotovoltaik panele sahip bir evde, çalışma zamanı ertelenebilen manuel kontrollü yüklerin yönetimi incelenmiştir. TTY uygulamasının güneş enerjisinden elektrik üretimine göre çalışması amacıyla bir yöntem sunulmuş, simulasyonlar ve saha uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bina içi yerel tüketimlerin yerel üretime göre optimize edilmesinin hedeflendiği bu çalışma, pilot uygulama sonuçları içermesi açısından da dikkat çekmektedir.

T. Bigler, G. Gaderer, P. Loschmidt ve T. Sauter'in [15] ile referans verilmiş çalışmasında, buzdolaplarının soğutucularının doğrudan kontrolü ile talep yönetimi incelenmiştir. Arzu edilen sıcaklık sınırları gözönüne alınarak çalışma modunda yapılacak değişikliklerle yük yönetiminin nasıl uygulanabileceği planlanmıştır. Ayrıca, toplu kontrolden elde edilebilecek faydalar incelenmiştir. Çalışma, bina içi bir yük yöneticisinin donanımsal tasarımını da içermektedir.

S. Shao, M. Pipattanasomporn ve S. Rahman'ın [16] numara ile referans verilen çalışmasında, şebekenin zorlandığı zamanlarda binaya özel talep sınırlaması uygulaması incelenmiştir. Termostat kontrollü ve manuel kontrollü yükler bir yük yöneticisi ile toplamda belirli bir talep değeri aşılmayacak şekilde yönetilmiştir. Bu sırada yüklerin yapmakla sorumlu oldukları görevlerin de aksamamasına özen gösterilmiştir. Çalışma manuel kontrollü ve termostat kontrollü yüklerin bir arada yönetimiyle ilgili bilgiler içermesi yönünden önemlidir.

T. Gamauf, T. Leber, K. Pollhammer ve F. Kupzog'un [17] referans numarasına sahip çalışmasında, bir bina içi enerji yöneticisi yapısı sunulmuştur. Modelleme ve optimizasyon ana fonksiyonlarına sahip bu yük yöneticisinin merkezi yöneticilerle iletişim sağlayabilmesi için haberleşme donanımının tasarımından da bahsedilmiştir. Bu çalışma, planlı kontrol mantığının özetlendiği nadir çalışmalardan biri olarak dikkat çekmektedir.

A.D. Giorgio ve L. Pimpinella 'nın [18] numara ile referans verilen çalışmasında, olay tabanlı çalışan bir bina içi yük yönetim sistemi üzerinde çalışılmıştır. Planlı kontrol yapabilme yeteneğine sahip yük yönetim sistemi, şebeke olaylarına göre kontrol hareketleri gerçekleştirebilmesi yönüyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

M. Stadler, W. Krause, M. Sonnenschein ve U. Vogel'in [19] referans numaralı çalışmasında, buzdolaplarının şebeke olaylarına göre toplu kontrolü incelenmiştir. Kontrol stratejilerini değerlendirmek amacıyla yük modellenmesiyle ilgilenilmekle beraber toplu kontrolün şebekede oluşturacağı muhtemel etkiler analiz edilmiştir. Çalışma, toplu kontrolden kaynaklanabilecek yük dalgalanmaları ve kontrol sinyalinde yapılabilecek değişikliklerle bu dalgalanmaların azaltılabilesinin incelenmesi açısından önem arz etmektedir.

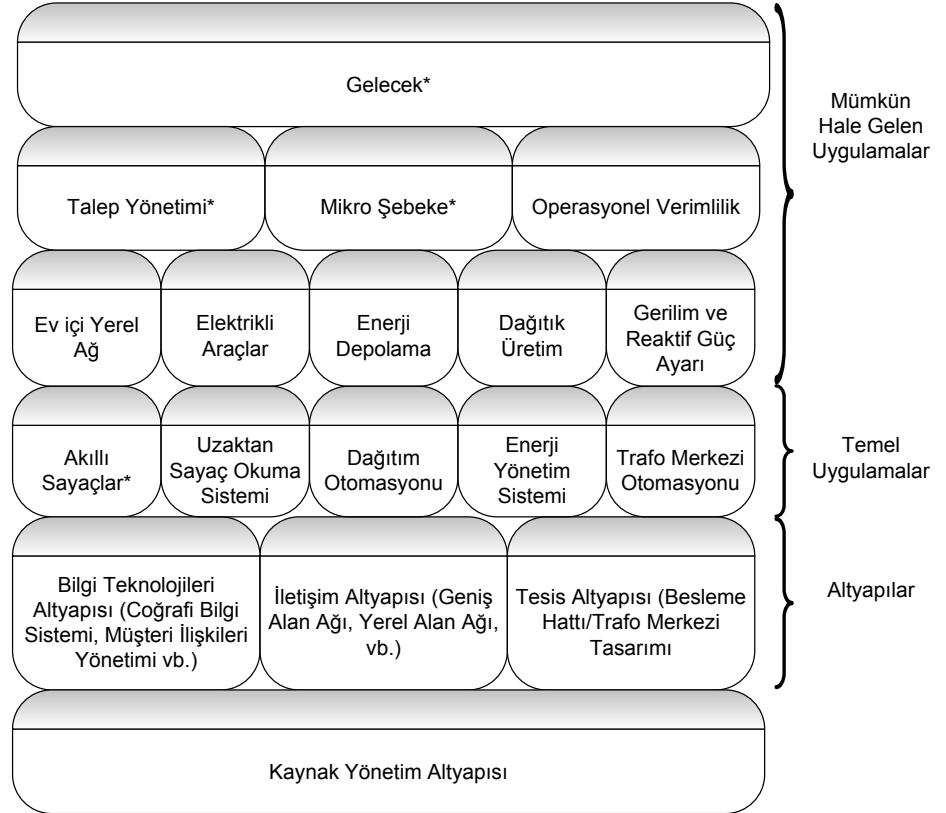
Bu çalışmada termostat kontrollü yüklerin yönetimi için olay tabanlı bir yük yönetim sistemi tasarlanmıştır. Termostat kontrollü yüklerin şebeke olaylarına göre yönetimi için bir metodoloji oluşturulmuş ve esnek bir planlı kontrol mantığı geliştirilmiştir. Önerilen yük yönetim sisteminin, çok zamanlı tarifeye göre ve yenilenebilir kaynaklardan dağıtık üretime göre çalışma performansı incelenmiştir. Analizlerde, yönetilebilecek termostat kontrollü yük olarak buzdolabı seçilmiştir. Matematiksel bir buzdolabı modelinin bir yıllık çalışması, gerçek ölçümlerden elde edilen değerler ile simule edilmiş ve yük yönetim sisteminin ne gibi faydalar sağlayabileceği analiz edilmiştir. Analizlerde planlı kontrolün yanısıra alternatif yük yönetim senaryoları da incelenmiş ve sonuçlar, planlı kontrol ile karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde Akıllı Şebeke kavramı ve getirdiği çözümler anlatılmış, üçüncü bölümde Gelişmiş Doğrudan Yük Kontrolü açıklanmıştır. Dördüncü bölümde tasarlanmış Yük Yönetim Sistemi ve çalışma mantığı mevcut iken, beşinci bölümde buzdolabı modeli ve saha ölçümleri bulunmaktadır. Altıncı bölümde çok zamanlı tarifeye göre kontrol, yedinci bölümde ise yenilenebilir enerji kaynaklarından dağıtık

retime göre kontrol analizleri anlatılmıştır. Yorumlar ise sekizinci ve son bölümde bulunmaktadır.

2. AKILLI ŞEBEKELER

Günümüz Őebekesindeki sorunlar ve gelecekte öngörölen zorluklardan ötürü Şebekenin yapısında ve yönetiminde yeni yaklaşımlar üzerinde çalışılmaktadır. Şebekenin daha verimli, daha güvenilir ve çevre dostu işletilmesi amacıyla yapılan çalışmalar Akıllı Şebeke (Smart Grid) başlığı altında toplanmaktadır. Akıllı Şebeke'nin başlıkları genel olarak Şekil 2.1'den incelenebilir.



*Kullanıcı tarafına da hitap eden uygulamalar

Şekil 2.1: Akıllı Şebeke'nin genel alt başlıkları [20]

Akıllı Şebeke ile günümüz Őebekelerinin çeşitli yönlerden farkları Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Akıllı Şebeke ile günümüz şebekeleri arasındaki farklar [21]

Günümüz Şebekeleri	Akıllı Şebeke
Elektromekanik	Dijital
Tek Yönlü İletişim	Çift Yönlü İletişim
Merkezi Üretim	Dağıtık Üretim
Hiyerarşik Yapı	Ağ Yapısı
Az Sayıda Sensör	Çok Sayıda Sensör
Sınırlı İzleme İmkânı	Otomatik İzleme
Manuel Restorasyon	Kendi Kendini Onaran Yapı
Arızalar ve Enerji Kesintileri	Rekonfigürasyon ve Ada Çalışması
Kullanıcılar için Sınırlı Seçenekler	Kullanıcılar için Çeşitli Seçenekler
Kısıtlı Kontrol	Yaygın Kontrol

Akıllı Şebeke yaklaşımları, çeşitli yönlerden faydalar sağlama potansiyeline sahip olmakla beraber, üzerinde düşünülmesi gereken bazı zorlukları da beraberinde getirebilmektedir. Bu bölümde Akıllı Şebeke'nin başlıca alt başlıklarından bahsedilmiştir.

2.1 Dağıtık Üretim ve Mikro Şebeke

Elektrik enerjisinin tüketicilerden uzakta, büyük güçlü generatörlerle üretilmesine alternatif olarak düşünülen Dağıtık Üretim (Distributed Generation), dağıtım şebekesi içerisinde veya tüketici tarafında çok sayıda küçük güçlü generatör ile elektrik enerjisi üretimine dayanmaktadır [22]. Enerjinin tüketiciye yakın üretilmesi, uzun mesafeler boyunca iletim sırasında meydana gelen kayıplar ve gerilim düşümlerini azaltmanın yanısıra, iletim hatlarının yükünü hafifletebilme potansiyeline sahiptir. Çoğunlukla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının planlandığı dağıtık üretim tesisleri, tüketicinin şebeke kaynaklı enerji kesintileri ve benzeri sorunlardan daha az etkilenmesini de vadetmektedir.

Dağıtık Üretim, çeşitli uygulama şekillerine sahiptir. Birçok tüketiciyi bölgesel olarak besleyen yerel üretim santralleri, merkezi üretim tesisleri kadar yüksek güçlerde değildir. Kendi başlarına çalışma özelliğine de sahip, tüketiciye yakın bu üretim yaklaşımı, enterkonnekte şebekeden bağımsız çalışabilen Mikro Şebeke kavramını da gündeme getirmiştir. Dağıtık Üretim içerisinde bulunan 50 ila 100 kW'tan düşük değerdeki üretim tesisleri mikro-üretim tesisi olarak isimlendirilmektedir [23].

Her tüketicinin kendi mülkü içerisinde tesis edilmiş, bölgesel üretime nazaran daha küçük güçlü üretim santralleri de Dağıtık Üretim'in bir çeşididir. Bir binanın çatısına kurulmuş güneş panelleri, binaya entegre, binaya monte veya binanın yanında tesis edilmiş küçük güçlü rüzgar türbinleri vb. uygulamalar, konutlardaki mikro-üretim tesislerine örnek olarak verilebilir [24,25]. Mikro-üretim amacıyla tesis edilmiş generatörler, bağlı oldukları tüketiciyi şebekeden bağımsız çalışarak besleyebilmekle beraber, şebeke ile birlikte de çalıştırılabilmektedir. Dağıtık Üretim ve mikro-üretim, sağlayabilecekleri bir çok faydanın beraberinde bazı zorluklar da getirmektedir. Geleneksel, tek yönlü enerji akışına dayalı dağıtım sistemlerinde, bu sistemlerin entegrasyonu ile beraber iki yönlü enerji akışı olacaktır. Şebekedeki ölçüm, kontrol ve koruma sistemlerinin bu duruma uyum sağlaması gerekmektedir. Bir diğer husus ise, Dağıtık Üretim ve mikro-üretim tesislerinde ağırlıklı olarak kullanılan güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili olmasıdır. Güneş enerjisinden üretim, bulutlu bir havada kısa süreli ciddi değişimler göstermekteyken, rüzgar enerjisinden enerji üretiminde de benzer ani değişiklikler yaşanmaktadır [26]. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının, üretimde çoğunluğu elinde bulunduran taban üretim kapasitesi olarak tercih edilmemesine sebep olmaktadır. Azınlıkta tutulan destekleyici santraller arttıkça, üretimde güvenilirliğin sağlanması amacıyla termik santraller de garantör görevi görmek üzere belirli oranda inşaa edilmektedir [27]. Bu gibi sorunlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde önemli paylara sahip olmasına ve elektrik enerjisinin üretim maliyetlerinin düşmesine engel olmaktadır.

Güneş ve rüzgarın depolanamayan, kesintili kaynaklar olmasından dolayı, bu kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin dolaylı olarak depolanmasıyla ilgili yaklaşımlar geliştirilmektedir. Bu yaklaşımlardan biri pompalı hidroelektrik santrallerinin destek olarak kullanılmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim fazlası olduğu durumlarda pompalı hidroelektrik santralleri, suyu alçak bir yerden yüksek bir yere pompalayıp biriktirir. İlerleyen zamanda enerji ihtiyacı olduğunda ve yeterli üretim olmadığı durumlarda, biriktirilmiş su tekrar serbest bırakılarak elektrik üretilmektedir. Bu süreç içerisinde elektrik enerjisi önce mekanik enerjiye dönüştürülmekte, sonrasında da tekrardan bu mekanik enerjiden yararlanılarak geri dönüştürülmektedir. Bu enerji dönüşümleri sırasında, sistemin verimine bağlı olarak bazı kayıplar yaşanmaktadır. Diğer yandan suyun

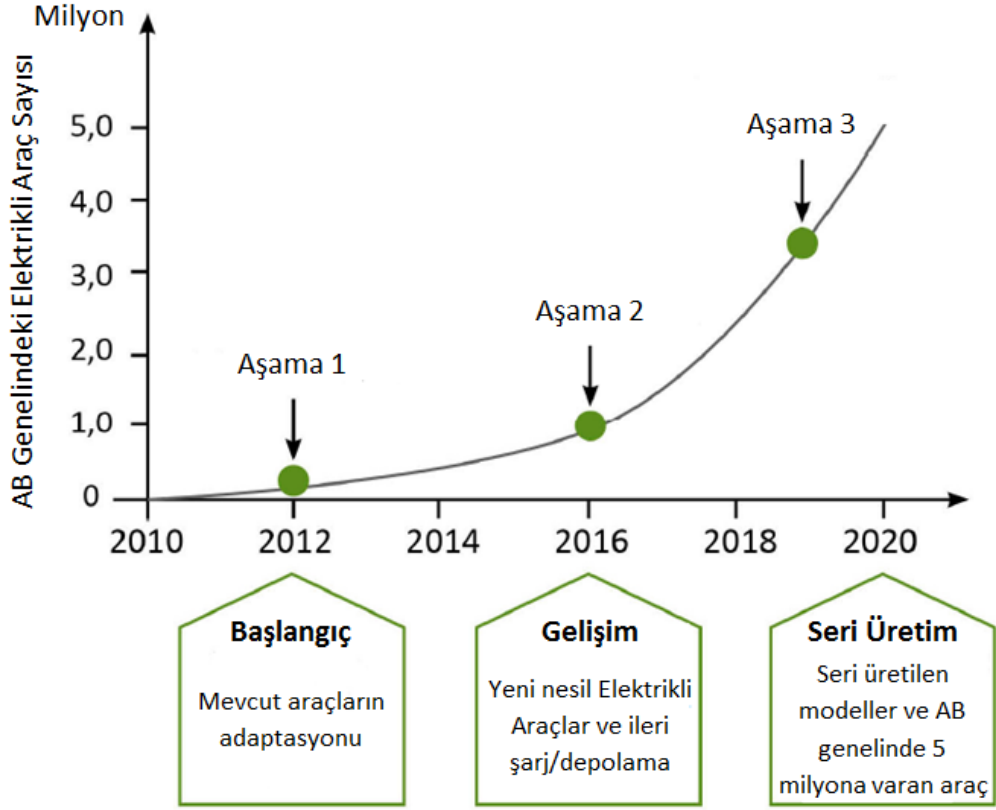
pompalanması sırasında enterkonnekte şebekenin elektriği kullanılmakta ve santralin işletmecisine bu enerji tüketiminin bir maliyeti olmaktadır [28].

Bir diğer depolama yolu, mikro üretim tesislerinin yanbaşında bina içi akülerle yapılabilmektedir. Bu sayede bina, kendi enerjisinden daha çok yararlanabilmektedir. Bu uygulamanın da bazı dezavantajları bulunmaktadır. Akülerin belirli bir ömrü vardır ve zamanla depolama kapasiteleri azalabilmektedir. Akülerin boyut/depolama kapasitesi karakteristiğinden dolayı küçük uygulamalar uygun görünmekteyken belirli kapasitelerin üzerine çıktığı takdirde maliyet ve depolama sistemi için ayrılması gereken yer oldukça artmaktadır. Aküler de yapılarına göre belirli bir verime sahiptir. Bu sebeple enerjinin akülerde depolanıp sonradan kullanımı sırasında bazı kayıplar olmaktadır.

2.2 Elektrikli Araçlar

Ulaşımın elektrifikasyonu, 18 yy.'ın ortalarında uygulanmaya başlamakla beraber genellikle toplu taşımada tercih edilmiştir [29]. Bireysel ulaşım araçlarının artışı ve karbon salınımının azaltılmasına yönelik eğilimler, elektriğin şahsi araçlarda kullanımını yeniden gündeme getirmiştir. 90'ların sonunda California'da gerçekleştirilen pilot uygulama, elektrikli araçların kullanımıyla ilgili önemli bilgiler sağlamıştır [30]. Elektrikli araçların yaygın olarak kullanımı ile, ulaşımında fosil kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması, ulaşım giderlerinin aşağı çekilmesi, çevre ve gürültü kirliliğinde düşüşler hedeflenmektedir [31]. Avrupa Birliği'nin elektrikli araçlarla ilgili yol haritasının başlıca aşamaları Şekil 2.2'de bulunmaktadır.

Öte yandan bu durum, birçok yüksek talepli yükün şebekeye farklı zamanlarda farklı noktalardan bağlanması anlamına gelmektedir. Talep gücü kW'lar mertebesinde başlayan bu yüklerin genel tüketim içerisindeki oranı, binadaki sıradan yüklere göre oldukça büyüktür. [32]. Çok sayıda elektrikli aracın bulunduğu bir şebekede yeni puant talep zamanları gözlemlenebilir ve tüketimde dalgalanmalar yaşanabilir [33]. Bu nedenlerden ötürü, elektrikli araç talep profili tahminleri ve toplu şarj noktalarının yönetimi ile ilgili çalışmalar oldukça önem arz etmektedir [34]. Ayrıca şarj sırasında bina içi diğer yüklerin yönetimi ile binaların puant taleplerinin sınırlandırılması sağlanabilir [32].



Şekil 2.2: AB'nin elektrikli araçlarla ilgili yol haritasının başlıca aşamaları [35]

Elektrikli araçlar ile ilgili bir diğer çalışma alanı ise araç akülerinin şebekeyi destekleme amaçlı kullanılmasıdır (Vehicle-to-Grid) [36]. Binlerce aracın bulunduğu bir şebekede gece saatlerce kullanılmayacak bir devasa enerji deposu söz konusudur. Bu enerjinin, şebekenin ihtiyaçları doğrultusunda yönetimi sayesinde, yeni bir santralin devreye sokulması veya elektriğin farklı bir enerjiye dönüştürülerek depolanıp sonra kullanılmasından daha verimli ve hızlı bir şekilde talep karşılanabilir. Araçların sahiplerini bu uygulamaya teşvik etmek için sağladıkları bu yardım karşılığında, sabit, kullanım sayısı veya kullanılan enerji miktarına dayalı ödemeler sunulması düşünülmektedir [37].

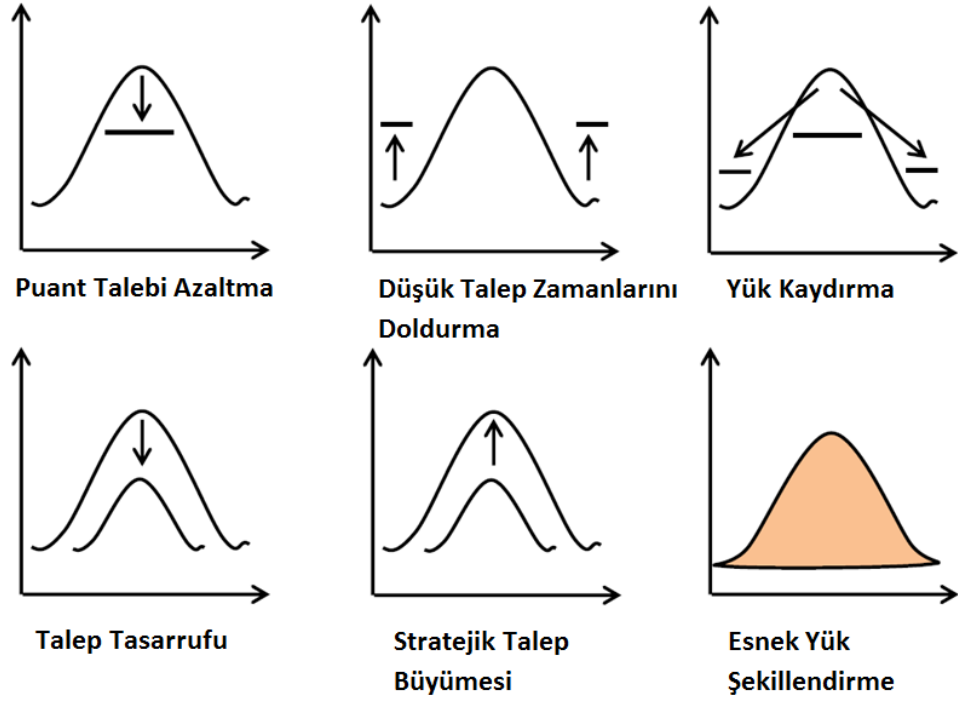
2.3 Akıllı Sayaçlar

Elektrik enerjisinin tüketiminin tespitinde kullanılan sayaçlarla ilgili son yıllarda birçok teknolojik yenilikler geliştirilmektedir. Akıllı Sayaç (Smart Meter) isimli bu yeni nesil cihazlar, çift yönlü haberleşme yetenekleri sayesinde uzaktan okuma, müdahale etme, kaçak tespiti ve arıza yeri tespitinin yanısıra fiyat değişimlerine dayalı Talep Yönetimi uygulamalarına olanak sağlamaktadır. Bu sayaçların

kullanımı ile günün çeşitli saatlerinin farklı fiyatlandırmasına dayalı “Çok Zamanlı Tarife (Time of Use Tariff) ve ilerleyen yıllarda günün her saatinin ayrı fiyatlandırılmasının hedeflendiği “Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma” (Real Time Pricing) yöntemleri uygulanabilmektedir [38]. Bu yöntemler ile, tüketimin azaltılmasının arzu edildiği bir zaman periyodu boyuca enerji tüketimi için yüksek birim fiyat uygulanırken, enerji tüketiminin artırılmasının hedeflendiği saatler ucuz fiyatlandırılabilir. Bu sayede enerji tüketimindeki dalgalanmaların ve puant yükün azaltılması hedeflenmektedir. Diğer yandan, tüketicilerin de enerji kullanımlarını değişken fiyata göre planlamaları gerekmektedir. Günümüze dek elektrik kullanımlarını fiyata dayalı planlamamış tüketiciler için bu, pek de istenmeyen bir uygulamadır. Ayrıca, insana dayalı yönetim uygulamalarında katılım ve sonuçlar, her zaman istenilen veya tahmin edilen ölçüde olmayabilir. Bu durum, otomatik çalışan gelişmiş yük yönetim sistemlerine olan ihtiyacı arttırmıştır.

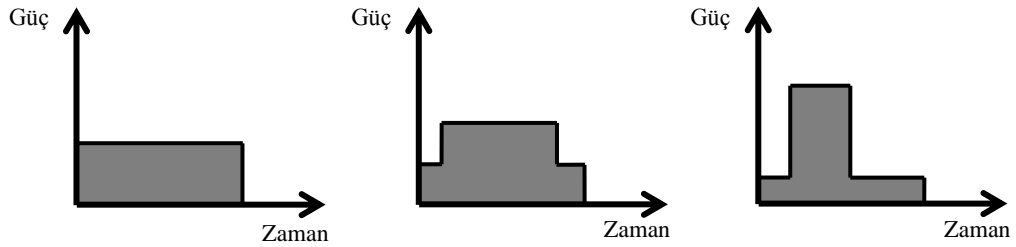
2.4 Talep Tarafı Yönetimi

Akıllı Şebeke'nin bir diğer önemli konu başlığı ise “Talep Tarafı Yönetimi” (Demand Side Management)'dir. Kullanıcıların tüketim alışkanlıklarının şebekenin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde etkilenmesi ve değiştirilmesi ile ilgili tüm uygulamalar, Talep Tarafı Yönetimi (TTY) başlığı altında toplanmaktadır. TTY puant talebi azaltma, düşük talep zamanlarını doldurma, stratejik talep tasarrufu, stratejik talep büyümesi, yük öteleme ve esnek yük şekillendirme gibi farklı amaçlarla kullanılabilir (Şekil 2.3) [39].



Şekil 2.3: Talep Tarafı Yönetimi stratejileri [39]

Yük öteleme ile belirli bir iş sınırlı bir zaman dilimi içerisinde kaydırılarak birçok farklı biçimde gerçekleştirilebilir. Şekil 2.4’te toplam enerji tüketimi değişmeksizin aynı işlerin yapılabileceği farklı çalışma durumları örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Aynı işlerin gerçekleştirilebileceği farklı çalışma durumları

Bu amaçları gerçekleştirebilmek için Dolaylı Yük Kontrolü (Indirect Load Control) ve Doğrudan Yük Kontrolü (Direct Load Control) yöntemleri kullanılabilir [12].

2.4.1 Dolaylı yük kontrolü

Dolaylı Yük Kontrolü, kullanıcıların tüketimlerini hedeflenen şekilde değiştirmeleri amacıyla geliştirilmiş çeşitli tarifeler, ek ödemeler, teşvikler, reklamlar, eğitimler vb. uygulamaları kapsamaktadır [12]. Akıllı Sayaçlar başlığı altında bahsedilen “Çok

Zamanlı Tarife” (Time of Use) ve “Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma” (Real Time Pricing) Dolaylı Yük Kontrolü’nün tarife uygulamalarına örnek olarak verilebilir [40]. Bu uygulamalar, geliştirme ve gerçekleştirme aşamasında ciddi miktarlarda ARGE ve altyapı harcamaları gerektirmemektedirler ve uygulanmaları kolaydır. Diğer yandan, kullanıcıların bu yöntemleri ne kadar benimseyecekleri ve ne oranda katılım göstereceklerini kestirmek zordur. Kullanıcıların aynı uygulamaya farklı zamanlarda farklı tepkiler göstermesi riski bulunmaktadır. Bu da bu yöntemlere tek başına güvenilmesini zorlaştırmaktadır.

2.4.2 Doğrudan yük kontrolü

Doğrudan Yük Kontrolü, çeşili anahtarlama elemanları ve sistemlerle, yüklerin şebekenin belirli durumlarına göre direkt kontrolüne dayanır. Mevcut Doğrudan Yük Kontrolü uygulamalarına, şebeke frekansına göre yükü devreye sokup, devreden çıkaran bir anahtar veya önceden belirlenmiş bir programı uygulayan kontrol sistemleri örnek olarak verilebilir [41]. Ne var ki bu uygulamalar, değişken koşullara göre hareket etmemekte ve kontrol ettikleri yükün operasyonunu kesmekte oldukları için kullanıcı konforunu etkilemektedir. Ayrıca, geleneksel kontrolörler arasında herhangi bir haberleşme veya işbirliği olmadığı için çok sayıda kontrolörün bağımsız çalışması şebekenin kararlılığını etkileyebilme riskini bulundurmaktadır [19]. Kontrolörlerin uzaktan izlenme ve müdahale altyapıları da yetersiz olduğu için, şebekedeki olaylar karşısında ne kadarının doğru çalıştığı da bilinmemekte, uygulamanın geri beslemesi yeterince alınamamaktadır. Bu durum, kontrolörlerin performansının ayrıntılı olarak değerlendirilememesine, dolayısıyla kullanıcıların da bu performansa göre ödüllendirilememesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda, kullanıcıların bu gibi uygulamalara katılmaları ve gerekli kontrol cihazlarını almaları için yeterince teşvik sağlanamakta ve Doğrudan Yük Kontrolü uygulamaları küçük ölçekte kalmaktadır.

Doğrudan Yük Kontrolü yöntemleri, Dolaylı Yük Kontrolü yöntemlerine nazaran daha güvenilir yönetim imkanı sunmaktadırlar. Diğer yandan bu yöntemler için ARGE ve altyapı yatırım maliyetleri ve uygulama öncesi hazırlık süresi, Dolaylı Yük Kontrolü yöntemlerine göre daha fazladır.

Yük yönetimi uygulamaları günümüze dek genellikle, büyük güçlü endüstriyel binalarda tercih edilmiştir. Gelişen akıllı sayaç ve haberleşme teknolojilerinin yanısıra konutların toplam elektrik tüketiminde büyüyen payları sebebiyle, yük yönetimi uygulamaları artık küçük güçlü kullanıcılar için de düşünülmektedir [14,42]. Endüstriyel tüketiciler, tesislerine özel programlar ve teşvikler ile bireysel olarak talep yönetimi uygulamalarına katılabilirlerken, işyerleri ve konutlardaki kontrol edilebilir yüklerin, bölgesel koordinatörler vasıtasıyla toplu olarak yönetilebilmesi mümkündür [43].

Yük yönetimi uygulamalarının başarılı olabilmeleri için tüketiciler tarafından yaygın olarak kullanılmaları gerekmektedir [44,45]. Mevcut sistem üzerine ek yatırımlar gerektiren bu uygulamaların tüketiciler tarafından benimsenmesi için bazı ayrıcalıklar sunulması ihtiyacı doğmaktadır.

Doğrudan Yük Kontrolü çözümlerinin Dolaylı Yük Kontrol yöntemleriyle beraber uygulanmasıyla daha başarılı sonuçların elde edilebilmesi mümkündür.

2.5 Dağıtık Enerji Sağlayıcılar ve Sanal Güç Santralleri

Önceki bölümlerde anlatılan çözümler, genellikle kullanıcıya yakın küçük güçlü uygulamalar halindedir. Bu uygulamaların birçok çeşidinin toplu olarak belirli amaçlar için kullanılması da mümkündür. Dağıtık Enerji Sağlayıcılar (Distributed Energy Resources), üretim ile talep arasındaki farkın azaltılması için kullanılacak tüm araçları (dağıtık üretim santralleri, elektrikli arabaların aküleri, yük yönetim sistemlerinin kontrol edebileceği yük grupları) kapsamaktadır [46]. Bu araçların bir arada aynı amaç için yönetilmesi ve şebeke olaylarına göre başvuru alan bir birim haline gelmesi ile Sanal Güç Santrali (Virtual Power Plant) kavramı ortaya çıkmaktadır. Gerçek bir santralin devreye sokulması yerine, kontrol edilebilir yüklerin talebinin azaltılması veya şarj istasyonlarında bekleyen elektrikli araçların akülerinden yararlanılarak üretim ile talep arasındaki farkın azaltılabilmesi mümkündür. Bu çalışma çerçevesinde ilgilenilen yerel yük yönetim sistemi, dağıtım şebekesi genelinde toplu olarak kontrol edilebilir bir yapı olduğu takdirde, bir Sanal Güç Santrali gibi kullanılabilir olacaktır.

3. GELİŞMİŞ YÜK KONTROLÜ

Geleneksel Doğrudan Yük Kontrolü uygulamalarının olumsuz etkilerini azaltmak ve yük yönetiminin birçok farklı alanda uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla otonom çalışan, farklı durumlara uyum sağlayabilen, esnek karar verme yapısına sahip kontrol sistemleri geliştirilmektedir. Bu yapıların çeşitli yüklere ve sistem karakteristiklerine uyum sağlayabilmeleri, şebekedeki birçok olaya cevap verebilmeleri, kullanıcı konforunu olumsuz etkilememeleri ve kullanıcılara ekonomik faydalar sağlayacak şekilde hareket etmeleri hedeflenmektedir. Kullanıcı konforunun gözetilmesi ve müşterilere ek faydalar sağlanması ile, uygulamaların genel kabulü ve yaygın kullanımı desteklenebilir. Bu sistemlerin tasarımındaki bir diğer hedef ise mümkün olduğunca az sayıda işlem ve kontrol komutuyla yük yönetimini gerçekleştirebilmektir. Bu sayede kontrolör ve haberleşme altyapısı giderlerinin en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Bu kriterler gözönüne alınarak yapılan yönetim genel olarak Gelişmiş Yük Yönetimi (Intelligent Load Management) olarak isimlendirilebilir.

Gelişmiş Yük Yönetim yöntemlerinin bir diğer önemli özelliği ise, Dolaylı Yük kontrol uygulamalarına uyum sağlayabilen esnek yapıları ile Doğrudan Yük Kontrol yöntemlerinin faydalarını arttırabilmesidir. Bunun sonucunda, yük kontrolünün yaygınlığı ve kullanım alanları artmaktadır.

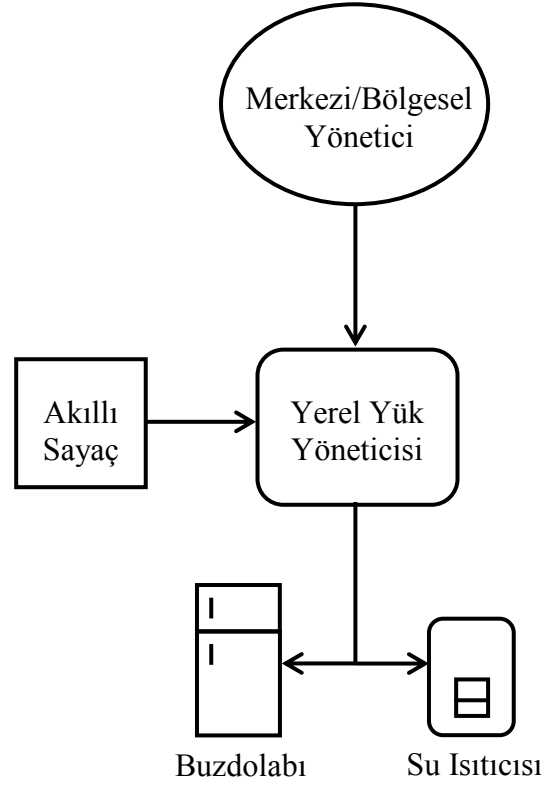
3.1 Gelişmiş Yük Kontrolü ile Bina içi Yüklerin Yönetimi

Konutların elektrik tüketimi, toplam tüketim içerisinde önemli ve giderek artan bir paya sahiptir. Evlerin elektrik tüketimi, Amerika Birleşik Devletleri'nde toplam tüketimin %22'si iken, Avrupa genelinde %28 civarında, Türkiye'de ise %24'ün üzerindedir [47-49]. Elektrikli araçların yaygınlaşması, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanan küçük güçlü yerel santrallerin binalarda tesis edilmesi, Mikro Şebeke yapısının gündeme gelmesi ile binalarda enerji verimliliği ve yönetimi son yıllarda önem kazanmıştır. Bina sakinleri, tüketici olmanın yanısıra, yerel üretim ve yüklerin şebeke ihtiyaçlarına göre yönetimi ile gerekli zamanlarda şebekeye

yardımcı da olabilen bir aktör haline gelmiştir. Geleceğin şebekesinde önemli bir role sahip olan bu aktörler için “üreten tüketici” (prosumer) terimi kullanılmaya başlanmıştır [50].

Yüklerin şebekenin ihtiyaçlarına göre bireysel olarak yönetilmesiyle ilgili çalışmalar olduğu gibi birçok yükün toplu yönetimiyle ilgilenecek Bina Enerji Yönetim Sistemi (Building Energy Management System) çözümleri de incelenmektedir. Yönetilecek her yük için ayrı bir kontrolör kullanıldığı takdirde sistemin kurulum maliyetlerinin yüksek olacağı tahmin edilmektedir. Bu yaklaşımın uygulanması sırasında yükler arasında herhangi bir koordinasyon olmadığı takdirde, hedeflenen talep seviyesine daha uzun sürede gelinmesi ve bu süreçte dalgalanmalar yaşanması olasıdır. Bireysel olarak kontrol edilen yükler arasında koordinasyon sağlanması istenildiği takdirde ise, yüklerin birbiriyle veya yönetim sisteminin merkeziyle haberleşmesi gerekmektedir. Bu şekilde tasarlanan bir sistemin haberleşme altyapısı maliyetleri oldukça yüksektir.

Bu gibi sebeplerden ötürü, ev içindeki yük yönetimini koordine eden ve bölgesel veya merkezi yöneticilerle haberleşme imkanı sağlayan Bina Enerji Yönetim Sistemleri, daha uygun bir çözüm olarak görünmektedir. Bina Enerji Yönetim Sistemleri'nin, yükleri gelen komutlara göre devreye alıp devreden çıkarabilen Akıllı Prizler (Smart Plugs) veya yakın gelecekteki tüketimlerini tahmin edebilen Akıllı Cihazlar (Smart Appliances)'ı yönetmesi, hem cihaz içi kontrolör yapısını basitleştirmekte, hem de merkezi yönetim sistemi ile evler arasındaki haberleşme altyapısının yükünü hafifletebilmektedir. Örnek bir gelişmiş yerel yük yöneticisi ve çevresindeki cihazlarla etkileşimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Gelişmiş yerel yük yöneticisi ve çevresindeki cihazlarla etkileşimi

Bina Enerji Yönetim Sistemleri'nin kullanacağı yüklerin belirli sınıflara ayrılması halinde, benzer özelliklere sahip yükler esnek algoritmalarla yönetilerek kontrolör ve ev içi haberleşme altyapısı maliyetleri minimize edilebilir.

Bina içi yüklerin şebekenin ihtiyaçları doğrultusunda yönetilebilmesi için öncelikle “Yönetilemez Yükler” (Non-responsive Loads) ve “Yönetilebilir Yükler” (Responsive Loads) ayrımının yapılması gerekmektedir.

3.1.1 Yönetilemez yükler

Televizyon, bilgisayar, müzik seti gibi kullanıcının doğrudan kontrol ettiği yüklerin çalışma zamanları veya şekilleri değiştirilememektedir. Bir yük yönetim sistemi tarafından müdahale edildiği takdirde kullanıcın olumsuz etkileneceği bu yükler, Yönetilemez Yükler olarak sınıflandırılmakta ve TTY uygulanabilecek yüklerin dışında tutulmaktadır. Yine de bu yüklerin tüketimlerinin toplu takibi, bina içi, bölgesel ve merkezi talep yönetiminde destekleyici bir unsur olarak kullanılabilir. Kendisine bağlı cihazların enerji tüketimlerinin izlenmesine ve

devreye alınıp çıkarılmasına olanak veren Akıllı Priz teknolojisi, bazı önemli yönetilemez yüklerin izlenmesinde kullanılabilir. Örneğin, [18] referans numarasına sahip çalışmada yönetilemez yükler, akıllı priz ile doğrudan izlenenler ve akıllı prize bağlı olmayıp Akıllı Sayaç yardımıyla toplu tüketimleri hesaplanabilenler olarak ikiye ayrılmıştır.

3.1.2 Yönetilebilir yükler

Bu gruba giren yükler TTY uygulamalarında kullanılmaya müsait, kullanım zamanları veya ayarları değiştirildiği takdirde tüketicilerin olumsuz etkilenmeyeceği yüklerdir. Bu yükler de kendi içlerinde Manuel Kontrollü Yükler ve Termostat Kontrollü Yükler olarak sınıflandırılabilir.

3.1.2.1 Manuel kontrollü yönetilebilir yükler

Bu gruptaki yükler, çalışma zamanları sınırlı bir zaman dilimi içerisinde değiştirilebilir yüklerdir. Çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve elektrikli araba, bu gruptaki başlıca yüklerdendir. Bu yüklerin yapmaları gereken işler belirli bir zaman dilimi içerisinde tamamlandığı takdirde, uygulanan yük yönetimi yönteminden kullanıcılar olumsuz etkilenmeyeceklerdir [15,16,18].

3.1.2.2 Termostat kontrollü yönetilebilir yükler

Termostat ile kontrol edilen ve sıcaklığı belirli sınırlar içerisinde sürekli tutmakla görevli yükler bu grupta yer alır. Buzdolabı, derin dondurucu, su ısıtıcısı, klima gibi yükler bu yüklerle örnek olarak verilebilir.

Termostat kontrollü yükler toplam tüketimde önemli bir paya sahiptir. ABD’de, buzdolabı, derin dondurucu, klima, ısıtma sistemi ve su ısıtıcısı gibi termostat kontrollü yüklerin, evlerin toplam elektrik tüketimi içerisindeki payı %50’nin üzerindedir [51].

Termostat kontrollü yükler içerisinde buzdolapları ve dondurucular, yaygınlık ve genel tüketim içerisindeki payları ile dikkat çekmektedir. AB ülkelerindeki en yaygın beyaz eşya, ortalama %89’dan fazla evlerde bulunma oranıyla buzdolabıdır [48]. EU-15’E yeni üye ülkeler arasında yapılan bir araştırmaya göre buzdolapları ve

dondurucular, konutların elektrik tüketiminde %22.4'lük bir paya sahiptir [52]. Türkiye'de ise 15 milyondan fazla buzdolabı bulunduğu ve evlerin elektrik tüketiminde buzdolaplarının payının %31'in üzerinde olduğu bilinmektedir [49]. Almanya'da buzdolaplarının toplam TTY potansiyeli 800 MW civarındadır [53]. Avusturya'da yapılan bir araştırmaya göre 2020'de konutlar için üretilen buzdolabı ve dondurucuların %14'ü TTY uygulamalarına imkan veren teknik altyapıya sahip olacaktır [44].

Bu yüklerin TTY açısından en önemli özelliği, yük yönetimi sırasında görevlerini yapmaya devam edebilmesidir. Termostat kontrollü bir yükün alt ve üst sıcaklık sınırları aşılmadığı sürece, kullanıcıların konforu olumsuz etkilenmeyecektir.

3.2 Uygulama Alanları

Gelişmiş Yük Yönetimi (GYE), akıllı şebekelerde çeşitli şebeke olaylarında kullanılabilme potansiyeline sahiptir. GYE'nin kullanılmasının düşünüldüğü başlıca alanlar bazı alt başlıklar altında özetlenebilir.

3.2.1 Ev bazında tüketimin sınırlandırılması

Evlerin elektrik tüketiminin bireysel olarak sınırlandırılması, şebekenin puant talebinin azaltılması veya dağıtım sisteminde fazla yüklenen hatların rahatlatılmasında tercih edilebilecek bir yöntemdir. Bu tip bir uygulama için, kullanıcılara çeşitli teşvikler sunulabilir. Diğer bir yaklaşım ise kurulu güçlerine göre belirli bir talep değerinin üzerindeki tüketimlerde yüksek fiyat uygulanmasıdır. Ayrıca önceki bölümde bahsedildiği gibi, elektrikli arabaların evlerde şarjından kaynaklanabilecek sorunlar için de talebin sınırlandırılmasıyla ilgili çalışmalar yürütülmektedir [32].

3.2.2 Yenilenebilir kaynaklardan dağıtık üretimin faydalarının artırılması

GYE yenilenebilir enerji kaynakları kullanan dağıtık üretim santrallerinden daha fazla yararlanılmasında da kullanılabilir. Yönetilebilir yükler, kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimin yeterli olduğu zamanlarda yönetilerek, kaynaklar daha verimli kullanılabilir. Benzer şekilde, ev bünyesindeki Mikro Üretim tesisinden de ev içi tüketimlerin yönetilmesi ile daha fazla yararlanılabilir. Üretilen enerjinin ev

içinde doğrudan kullanımı (self consumption), şebekeye verilmesi veya akü ile depolanmasına göre daha verimli bir çözümdür [14].

3.2.3 Çok zamanlı tarifede tüketicinin elektrik giderinin azaltılması

TTY uygulamalarının kullanıcılar tarafından benimsenmesi için kullanıcılara da yararlar sunulması gerekmektedir. Çok Zamanlı Tarife uygulamalarında, gün arz-talep dengesindeki genel değişimler gözönüne alınarak çeşitli periyotlara bölünür. Farklı periyotlarda farklı birim fiyatlar uygulanarak, kullanıcıların tüketim davranışları şebekeye yarar sağlayacak şekilde değiştirilmeye çalışılır.

Tarifeye göre otonom çalışan Doğrudan Yük Kontrol sistemleri ile, şebekeye yarar sağlayacak tüketim programının uygulanmasının yanısıra, kullanıcıların Çok Zamanlı Tarife'nin ucuz fiyatlandırılmış periyotlarından olabildiğince faydalanması sağlanabilir. Buzdolaplarının Çok Zamanlı Tarife'de talep yönetimi potansiyeli ile ilgili bir çalışma [54] numaralı referanstan incelenebilir.

3.2.4 Şebekeden gelebilecek ek istekler

Buraya kadar bahsedilen uygulama alanlarının tümü, periyodik olarak tekrar eden, zamanı veya niteliği önceden bilinen şebeke olaylarıdır. Bunlara ek olarak, planlı bakımlar, arızalar, beklenmedik talep dalgalanmaları ve aşırı üretim gibi durumlarda da GYY sistemi şebekeye yardım edebilme imkanına sahiptir. Bu olaylar bir haberleşme sistemi vasıtasıyla yerel yönetim sistemine iletiildiği takdirde, yükler şebekeye yardım edecek şekilde yönetilebilir. Bu gibi uygulamalar için kullanıcılara aylık sabit ücretler ödenebileceği gibi kullanım sayısı ve yükün cevap performansına dayalı uygulamalar da mevcuttur.

4. YÜK YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Termostat kontrollü yüklerin şebekenin ihtiyaçlarına göre yönetimi için bir bina içi yük yöneticisi tasarlanmıştır. Bu yönetici, modelleme ve optimizasyon olmak üzere iki ana fonksiyondan yararlanarak çalışmaktadır.

4.1 Yük Modeli

Yük modeli kısmı, yönetilecek yüklerin yakın gelecekteki enerji tüketimleri ve çalışma durumlarını tahmin eden kısımdır. Planlı yük yönetimi için, tahminlerin isabetliliği sistemin performansını doğrudan etkileyecektir. Modelleme bölümü, yük yöneticisinin bir kısmı olabileceği gibi, sistemin merkezinde bulunup uzaktan yararlanılan veya her yükün bünyesinde bulunan bir yapı da olabilir. Bu noktada tercih edilebilecek her yaklaşımın bazı avantaj ve dezavantajları vardır.

Yük modeli kontrolör bünyesinde bulunduğu takdirde, kontrolörün yönetmesi muhtemel tüm yüklere uyum sağlayabilecek bir yapıda olmalıdır. Bu durum, hazır modeller kullanılması düşünüldüğü zaman birçok kompleks modeli barındırma ve kullanma yeteneği gerektirmektedir. Bu da yerel kontrolörün hafıza ve işlem kapasitesinin, dolayısıyla, sistem maliyetlerinin artması anlamına gelmektedir. Bir başka yaklaşım ise öğrenebilen modelleme sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu yöntem, hazır yük modellerine göre daha az hafızaya ihtiyaç duymakla beraber daha isabetli tahmin imkanı sunmaktadır. ABD’de 2011 yılında piyasaya sürülen bir akıllı termostat, kullanıcıların tercih ettiği sıcaklık ayarlarını kısa sürede öğrenmenin yanısıra, evin ısıl davranışını modelleyebilme özelliğine sahiptir [55]. Bu sayede evin belirlenen bir sıcaklık değerine ne kadar zamanda ulaşabileceğini, dış ortam sıcaklığını da hesaba katarak tahmin edebilmekte, erken ısıtma veya erken soğutma gibi işlemleri başarıyla yerine getirebilmektedir.

Modelleme bölümü, sistemin merkezinde bulunan ve uzaktan erişilen bir yapı da olabilir. Örüntü tanıma (pattern recognition) yöntemi ile, yerel yöneticilerin yüklerden topladığı ölçümler merkezi veritabanındaki modeller ile karşılaştırılarak

en uygun model tespit edilip kullanılabilir [56]. Öğrenebilen sistemlerin de bu merkezi yapıda kullanılması mümkündür [57]. Bu yöntem ile, yerel kontrolörlerin maliyeti düşük tutulmaktayken, haberleşme altyapısı ve maliyetleri artacak ve merkezi veritabanı hizmetinden kaynaklı ek giderler de olacaktır.

Yük modelini sağlayacak yapının, yönetilen yüklerin bünyesinde bulunması da mümkündür. Günümüzde tasarım aşamasında olan birçok yönetilebilir yük, gelecekteki tüketimlerini ve çalışma durumlarını tahmin edebilecek şekilde geliştirilmektedir [18].

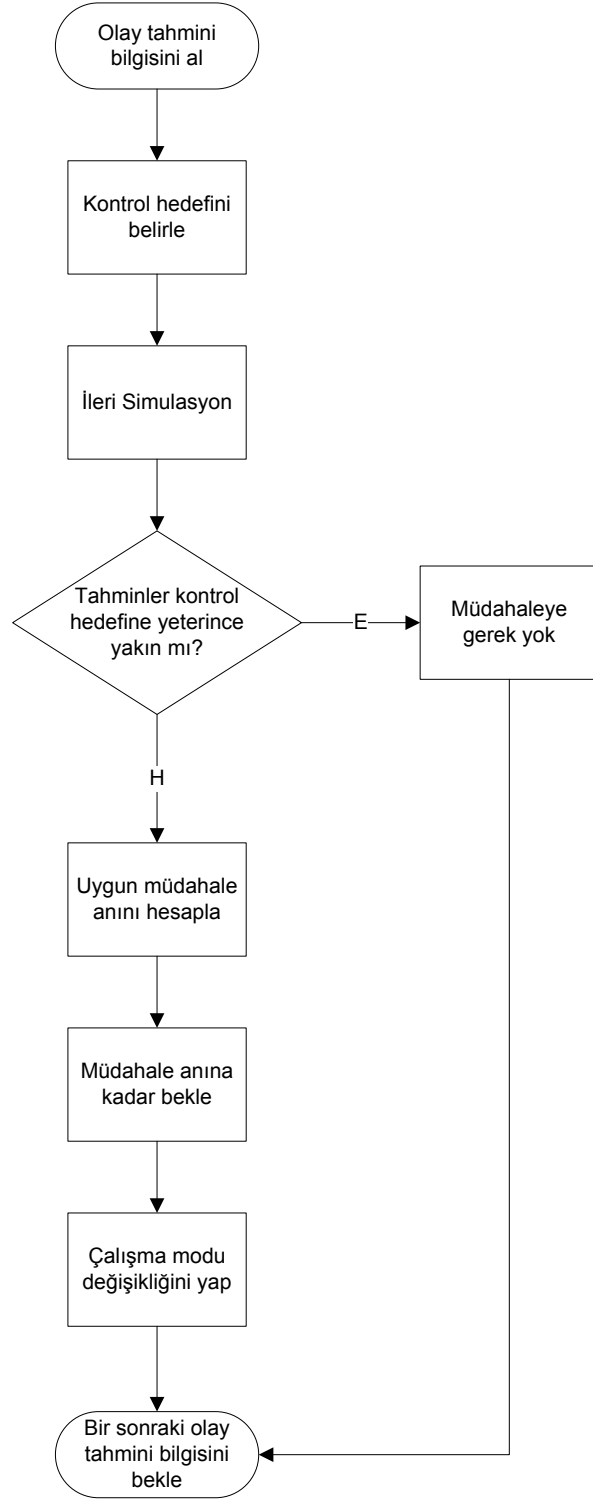
4.2 Optimizasyon

Optimizasyon bölümü, yük modelinin tahminlerine dayanarak yönetilen yük veya yükler için en uygun çalışma programına karar veren ve bu programı uygulayan kısımdır. Sistemin yönetim başarısı, model kısmının tahminlerinin isabetliliğine bağlıdır. Optimizasyon kısmı, birçok farklı yükü yönetebilecek ve şebekedeki çeşitli olaylara cevap verebilecek bir yapıda olmalıdır. Bunun için esnek bir kontrol mantığına ihtiyaç duyulmaktadır.

Optimizasyon kısmının uygulayacağı yük yönetim yöntemi olarak “planlı kontrol” tercih edilmiştir. Planlı kontrolde, yakın gelecekte gerçekleşeceği bilinen bir şebebe olayına termostat kontrollü yüklerin en iyi şekilde cevap verebilmesi amaçlanır. Bu yöntem ile yönetilen yükün yaptığı işin etkilenmemesi için TTY'nin öteleme stratejisi uygulanmaktadır.

Yükün mevcut çalışma programından, hedeflenen çalışma programına en az sayıda müdahale ile geçilebilmesi, başlıca tasarım kriterlerinden biridir. Bu sayede haberleşme altyapısı daha az kullanılacak ve müdahale anı dışındaki zamanlarda yük normal çalışmasına devam edecektir. Yüke müdahalenin olabildiğince az sayıda olması, sistemin dışarıdan gelebilecek sanal saldırılara karşı da daha korunaklı olmasını sağlamaktadır. Siber Güvenlik (Cyber Security) açısından, yük yönetim sistemlerinin yanlış yönetim sinyallerinden olabildiğince etkilenmemesi gerekmektedir [58].

Planlı kontrol çalışma yapısı, Şekil 4.1’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Planlı kontrolün genel çalışma yapısı

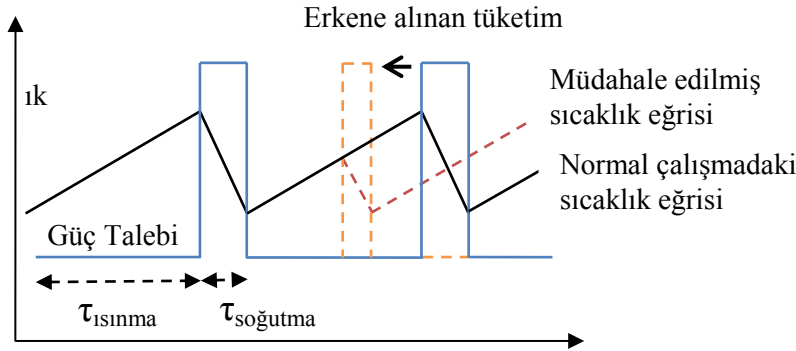
Planlı kontrol ile yükün ötelenmesi için kullanılacak çeşitli kontrol hareketleri ve kontrol amaçları bulunmaktadır.

4.2.1 Kontrol hareketleri

Kontrol hareketleri, yükün çalışma programında yapılacak değişikliklerin birincil neticeleri olarak tanımlanabilir. Kontrol hareketleri iki alt gruba ayrılmaktadır.

4.2.1.1 Erken tüketim

Erken tüketim ile bir şebeke olayı karşısında planlı kontrol ile, olay anına dek termostat kontrollü yükün olabildiğince termal enerji depolayabilmesi amaçlanır. Bu sayede yük, olay anında ve onu takip eden süreç boyunca, depoladığı ısı enerjisiyi harcayacaktır ve şebekeden mümkün olabildiğince uzun süre boyunca enerji talep etmeyecektir. Olay anı ve sonrasında gerçekleşecek tüketimlerin bir kısmı bu işlem ile olay anı öncesinde erkenden yapılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Bir soğutucu için erken tüketim örneği

4.2.1.2 Ertelenmiş tüketim

Tüketimin bir kısmının bir şebeke olayının gerçekleşeceği hedef zamanın sonrasına ertelenebilmesi için, planlı kontrol ile termostat kontrollü yükün olay anına kadar bünyesindeki termal enerjiyi olabildiğince harcaması amaçlanır. Bu sayede olay anında ve sonrasındaki süreçte, harcadığı termal enerjiyi yeniden depolamak isteyecek ve şebekeden enerji talep edecektir. Bu kontrol hareketi ile olay anı ve öncesinde gerçekleşecek tüketimlerin bir kısmı, olay anı ve sonrasına ertelenmektedir. Şekil 4.3'te, örnek bir tüketim erteleme hareketi gösterilmiştir.

miktarda elektrik üretilebildiği zaman dilimlerinde yük yönetim sistemi, talebi artırma amacıyla kontrol hareketleri gerçekleştirebilir.

Ertelenmiş tüketim hareketi, tüketimin arttırılmasının hedeflendiği zaman diliminin başında uygulanarak, zaman dilimi öncesinde yapılacak tüketimlerin bir kısmı hedef zaman dilimi içerisine kaydırılabilir.

Erken tüketim hareketi ise, hedef zaman diliminin sonlarına doğru uygulanarak gelecekte yapılacak tüketimlerin bir kısmı, hedef zaman dilimi içerisinde erkenden gerçekleştirilebilir.

4.2.3 Uygun müdahale anını bulma

Belirli bir zaman dilimi içerisindeki tüketimi azaltma veya arttırma amacıyla uygulanacak her tüketimi erkene alma veya erteleme hareketi, yönetilen yükün çalışmasına edilecek müdahale veya müdahaleler ile gerçekleştirilebilir. Müdahalenin yapıldığı an, kontrol hareketinin başarısı açısından büyük öneme sahiptir. Yük modeli vasıtasıyla yapılan yakın dönem tahminlerinden yararlanılarak, müdahaleye ihtiyaç duyulup duyulmadığı tespit edilir. Eğer bir müdahale gerekiyorsa, uygun müdahale anının belirlenmesinde de yine yük modeli kullanılır. Bu bölümde, uygun müdahale anının belirlenmesinde kullanılan yaklaşım anlatılmıştır.

4.2.3.1 İleri simulasyon

Yük yönetim sistemi, belirli bir kontrol amacıyla bir kontrol hareketi uygulamaya karar verdiğiğinde, müdahale anı belirleme mantığı devreye girer. İleri simulasyon, planlama anında yükten gelen ölçüm verilerinden yararlanılarak, olay anına dek yük modelinin kullanılmasıyla tahmin yapılmasında kullanılır. Termostat kontrollü yükün mevcut çalışma modu (aktif veya pasif), termal kütleinin sahip olduğu sıcaklık ve planlama anı ile başlanan ileri simulasyonda, olay anına dek yükün çalışmasının benzetimi yapılır. Bu benzetim ile, olay anında yükün çalışma modu ve termal kütleinin ulaşacağı sıcaklık değeri tahmin edilir.

Yapılan tahmin, uygulanacak kontrol hareketinin olay anında hedeflediği sıcaklık değeri ile karşılaştırılır. Eğer yükün ulaşacağı tahmin edilen sıcaklık değeri,

hedeflenen sıcaklık değerine yeterince yakın ise, herhangi bir müdahaleye gerek duyulmayacaktır. Bu durumda müdahale anı bulma işleminin ilerleyen adımları uygulanmadan planlama işlemi sonlandırılacaktır ve yük, normal çalışmasına devam edecektir. Eğer hedeflenen sıcaklık değerine herhangi bir kontrol hareketi olmaksızın yaklaşamayacaksa, bir müdahale yapılması gerektiğine karar verilir ve geri simülasyon aşamasına geçilir.

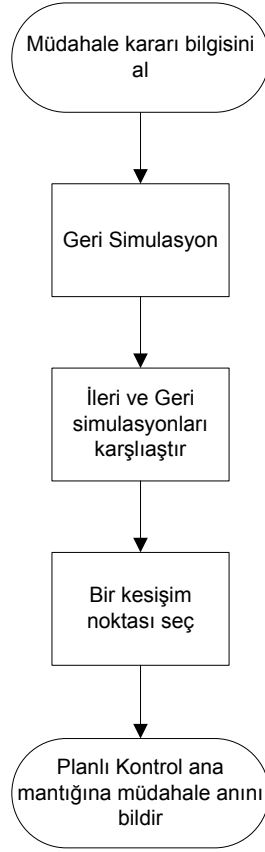
4.2.3.2 Geri simülasyon

Geri simülasyona, yükün olay anında ulaşması hedeflenen sıcaklık değeri ve çalışma durumu ile başlanır. Yük modeliyle, olay anından planlama anına dek geriye doğru benzetim yapılarak belirli aralıklarla sıcaklık değerleri ve çalışma durumları tahmin edilir. Bu tahminler, ileri simülasyon ile yapılan tahminlerle karşılaştırılır. İleri ve geri simülasyonlarda sıcaklık tahminlerinin belirli bir tolerans ile birbirine en yakın olduğu noktalar müdahale anı için seçilebilir [17].

4.2.3.3 Müdahale anı seçenekleri

İleri ve geri simülasyonlar ile elde edilen sıcaklık değişim grafikleri karşılaştırıldığında, birçok kesişim noktası bulunabilmektedir. Her kesişim noktasında yapılabilecek tek müdahale ile yükün, olay anında hedeflenen sıcaklığı sağlayacak çalışma programına geçmesi sağlanabilir.

Müdahale anının genel çalışma mantığı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Müdahale anı hesabı için kullanılan mantık

Kesişim noktaları, yükün normal çalışma programındaki soğuma evrelerinde olabileceği gibi ısınma evrelerinde de olabilir. Termal bir yükün çalışmasına müdahale etmek için çeşitli seçenekler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Termostat kontrollü bir yüke müdahale seçenekleri

Erken Tüketim İçin	Ertelenmiş Tüketim İçin
Soğuma	-
Soğuma	Soğuma
Soğuma	Isınma
Isınma	-
Isınma	Soğuma
Isınma	Isınma

Teoride sorunsuz görünen bu yöntem, pratiğe döküldüğünde ise gözönüne alınması gereken önemli bir nokta ortaya çıkmaktadır: müdahale anının olay anına yakınlığı.

Planlı kontrolde yük modeli kullanılarak ileri simulasyon ile yapılan tahminler, saha uygulamalarında yükün çalışmasına etki edebilecek bir takım etkenlerden dolayı isabetli olamama riskine sahiptir. Bu etkenler, ortam sıcaklığında meydana

gelebilecek beklenmedik bir değişim, yükün termal kütlesindeki (buzdolabının içindeki yiyecekler veya su ısıtıcısının içinde istenen sıcaklığa getirilmiş su) büyük bir değişiklik olabilir. Müdahale anı ile olay anı arasındaki zaman dilimi ne kadar uzun olursa, bu zaman dilimi içerisinde yükün çalışmasının bir bozucu etkenden dolayı değişmesi ihtimali de o kadar fazla olacaktır.

Bu ihtimali en aza indirgeyebilmek için, uygun müdahale anı seçenekleri içerisinde, olay anına en yakın olanların tercih edilmesi gerekmektedir. Çok Zamanlı Tarifeye Göre Kontrol bölümünde müdahale anı seçenekleri, olay anına yakınlıkları bakımından da incelenmiştir.

4.3 Şebeke Olayları Karşısında Yük Yönetim Sisteminin Cevabı

Tasarlanan yönetim sistemi akıllı şebekelerde gerçekleşebilecek çeşitli olaylarda şebekeye yardım etme potansiyeline sahiptir. Şebekenin çeşitli olaylarına göre yük yönetim sisteminin kontrol amaçları ve bu amaçları gerçekleştirmek için uygulayacağı kontrol hareketleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Şebeke olayları karşısında kontrol sisteminin amaçları ve hareketleri

Şebeke Olayının Çeşidi	Şebeke Olayının İçeriği	Kontrol Amacı	Olay Periyodunun Öncesindeki Kontrol Hareketi	Olay Periyodunun Sonundaki Kontrol Hareketi
Ev Bazında Tüketimin Sınırlandırılması	Yüksek Talep	Tüketimi Azaltma	Erken Tüketim	Ertelenmiş Tüketim
Ev Bazında Tüketimin Sınırlandırılması	Düşük Talep	Tüketimi Arttırma	Ertelenmiş Tüketim	Erken Tüketim
Yenilenebilir Dağıtık Üretim	Yetersiz Üretim	Tüketimi Azaltma	Erken Tüketim	Ertelenmiş Tüketim
Yenilenebilir Dağıtık Üretim	Yeterli Üretim	Tüketimi Arttırma	Ertelenmiş Tüketim	Erken Tüketim
Çok Zamanlı Tarifede Tasarruf	Pahalı Periyot	Tüketimi Azaltma	Erken Tüketim	Ertelenmiş Tüketim
Çok Zamanlı Tarifede Tasarruf	Ucuz Periyot	Tüketimi Arttırma	Ertelenmiş Tüketim	Erken Tüketim
Şebekenin Diğer İstekleri	Yetersiz Üretim	Tüketimi Azaltma	Erken Tüketim	Ertelenmiş Tüketim
Şebekenin Diğer İstekleri	Üretim Fazlası	Tüketimi Arttırma	Ertelenmiş Tüketim	Erken Tüketim

Çizelge 4.2’den de görüldüğü gibi, yük yönetim sistemi, şebekede gerçekleşebilecek birçok olay karşısında termostat kontrollü yükleri şebekeye yardım edebilecek şekilde yönetme potansiyeline sahiptir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, çok zamanlı tarifeye göre ve yenilenebilir kaynaklardan dağıtık üretime göre yük yönetimi analizleri yapılarak, yönetim sisteminin yıllık performansı incelenmiştir. Analizlerde, planlı kontrolün sağlayabileceklerinin yanısıra alternatif kontrol hareketleri ve farklı müdahale anı seçenekleri de değerlendirilerek, şebeke operatörü

ve tüketiciler açısından en uygun yönetim stratejileri bulunmaya çalışılmıştır. Yük yönetim sistemi algoritması uygulaması ve performans analizleri Matlab programı ile yapılmıştır [59]. Aynı yük yönetim mantığı, farklı programlama dilleri ile kodlanıp çeşitli donanımlarla sahada uygulanabilme potansiyeline sahiptir.

5. ANALİZLERDE KULLANILAN YÜKLER

Gelişmiş Yük Yönetim yapısının yükler üzerindeki etkisini görmek amacıyla bu çalışma çerçevesinde yapılan analizlerde kullanılacak yük olarak buzdolabı seçilmiştir. Termostat Kontrollü Yönetilebilir Yükler bölümünde anlatıldığı gibi buzdolaplarının konutların elektrik tüketimindeki önemli payları ve sahip oldukları benzer çalışma yapısı ve modelleme kolaylığı, bu yüklerin analizler için seçilmesinde belirleyici etkenler olmuştur. Matematiksel bir buzdolabı modeli, gerçek buzdolaplarından alınan ölçümlerden de yararlanılarak simule edilip, yük yönetim stratejilerinin etkileri yıllık bazda incelenmiştir.

5.1 Buzdolabı Modeli

TTY uygulamalarının buzdolabı üzerindeki etkilerini incelemek için öncelikle matematiksel bir model gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalarda buzdolapları için yapılacak analizin amacına göre çeşitli modeller kullanılmıştır. Buzdolabı içerisinde ısının homojen dağılımı ve tasarımsal analizler amacıyla, her kompartımanın ısı davranışını hesaba katan ayrıntılı modeller tercih edilmektedir [60-62]. Diğer yandan, buzdolabının enerji tüketimi ve harici kontrolü ile ilgili çalışmalarda, buzdolabı içerisindeki ortalama sıcaklık ve ortalama enerji tüketiminden yararlanan daha basit modeller kullanılmaktadır [19,63,64]. Analiz ihtiyaçlarını yeterince karşıladığı takdirde basit modellerin kullanılması, kompleks modellere göre hesaplama zamanı ve işlemci gücünden tasarruf sağlamaktadır.

Bu kriterler gözönüne alınarak, önceden çeşitli çalışmalarda da buzdolabının enerji tüketiminin ve yük yönetiminin etkilerinin incelenmesi amacıyla kullanılmış bir model (5.1) seçilmiştir [15,19].

$$T_{i+1} = \varepsilon T_i + (1 - \varepsilon) T^0 - \frac{\eta q_i}{A}, \quad \varepsilon = \exp \left(-\frac{\tau A}{C_{th}} \right) \quad (5.1)$$

Denklemden T_i buzdolabının i anındaki sıcaklık değerini, T^0 buzdolabının çalışma ortamının sıcaklığını temsil etmektedir. η verim için kullanılmaktayken A izolasyon

katsayısını, C_{th} ise ısı kütleyi göstermektedir. q_i buzdolabının soğutucusunun ortalama gücünü temsil etmektedir. Bu değer soğutucu çalışmaktayken pozitif iken, soğutucu çalışmadığı zamanlar 0 olarak alınır. Dolayısıyla denklemde q_i 'nin çarpıldığı değerler, buzdolabı ısınma modundayken etkisizdir. Bu değerler kullanılarak buzdolabının belirli bir τ zaman dilimi sonrasındaki sıcaklık değeri T_{i+1} hesaplanabilir.

Enerji tüketimi ile ilgili çeşitli yönetim stratejilerinin genel olarak değerlendirilmesinde daha basit denklemlerin dahi kullanılabilmesi [19] numaralı çalışmada vurgulanmıştır.

Bununla beraber, denenecek yönetim stratejilerinin saha uygulamalarında, yükün sıcaklık değişimini olabildiğince doğru modelleyen ve çeşitli modellere uyum sağlayabilen yapılara ihtiyaç duyulması kaçınılmazdır.

Buzdolabı modelinin tahminlerdeki tutarlılığını arttırmak için gerçek buzdolaplarından alınan ölçümlerden yararlanılabilir.

5.2 Saha Ölçümleri

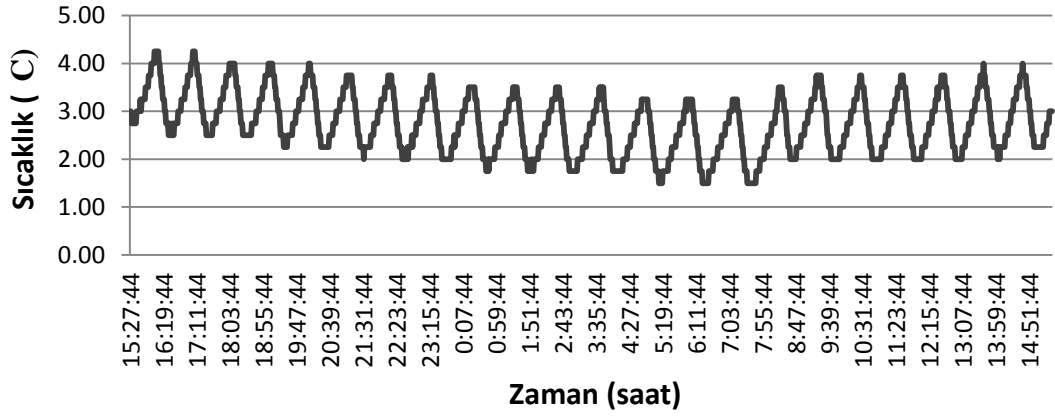
Bir önceki bölümde ayrıntılarıyla açıklanan buzdolabı modeli ile yapılacak analizlerin isabetliliğini arttırmak için farklı karakteristiklere sahip iki buzdolabından saha ölçümleri toplanmıştır.

Seçilen buzdolaplarından biri A sınıfı büro tipi (tezgah seviyesi ismiyle de anılmaktadır) buzdolabıdır. Piyasadaki buzdolaplarının çoğundan daha küçük ısı kapasiteye sahip olan bu buzdolabı genellikle oteller, hastaneler ve işyerlerinde tercih edilmektedir. Küçük hacmi ve ısı kapasitesi sonucu, soğutma ve ısınma süreleri de kısa periyotlar halindedir. Ölçümlerin alındığı A sınıfı buzdolabı üniversite çalışanlarından birinin ofisinde kullanılmaktadır. A sınıfı buzdolabından ölçüm yapılırken kurulan sistem Şekil 5.1'den incelenebilir.



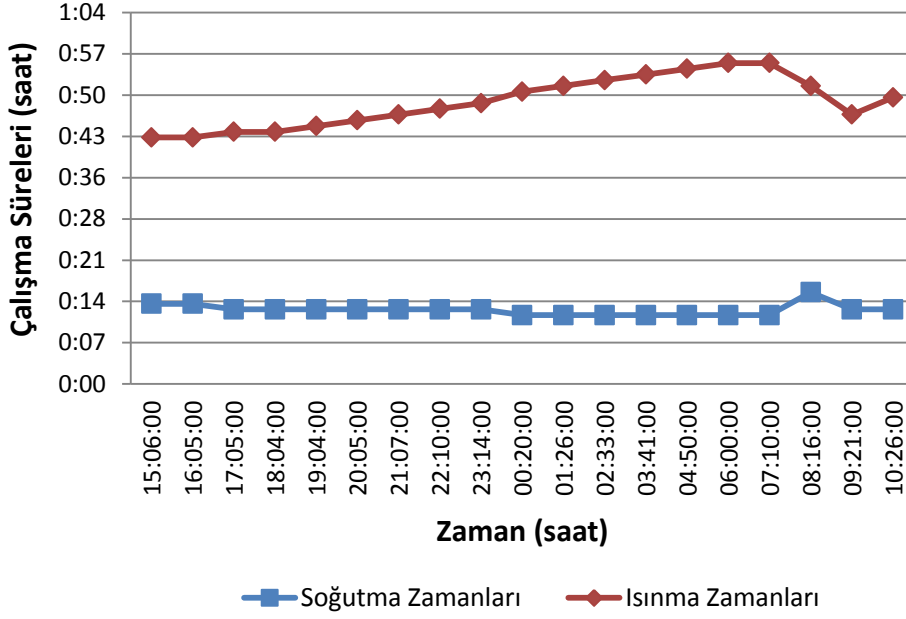
Şekil 5.1: Saha ölçümlerinde kurulan düzenek

A sınıfı buzdolabının iç sıcaklığının bir günlük değişimi Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : A sınıfı buzdolabının iç sıcaklığının günlük değişimi

A sınıfı buzdolabında soğutma ve ısınma zamanlarının gün içindeki değişimi Şekil 5.3’te bulunmaktadır.



Şekil 5.3 : Bir gün içerisinde ölçülen soğutma ve ısınma süreleri

A sınıfı buzdolabı için ölçümler, buzdolabının çalışmasında benzer davranış görülünceye dek toplanmıştır. Toplanan değerlerden yararlanılarak ortalama çalışma karakteristikleri elde edilmiştir.

Ölçümlerin toplandığı diğer buzdolabı ise G sınıfı, iki kapılı, no frost buzdolabıdır. Bu modelin ısı kapasitesi yüksek olduğu için, soğutma ve ısınma zamanları da ölçümlerde diğer modele göre daha uzun periyotlar halinde tespit edilmiştir. A sınıfı buzdolabından farklı olarak bu buzdolabında defrost çalışması da mevcuttur. Bu buzdolabından toplanan verilerin de benzer şekilde ortalamaları alınarak çalışma karakteristikleri bulunmuştur. Bu hacim ve özelliklerdeki dolaplar evlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. ABD konut istatistiklerine göre %60'in üzerinde bir oranla evlerdeki en yaygın buzdolapları bu hacmin bulunduğu aralıktadır [51]. Ölçümlerin alındığı buzdolabı, 3 kişilik bir ailenin evinde kullanılmaktadır.

Buzdolaplarının enerji tüketimleri, enerji analizörleri aracılığıyla (Chauvin Arnoux CA8332B Qualistar ve Fluke 41B Power Meter), buzdolabının ve bulunduğu ortamın sıcaklıkları ise kablosuz veri toplayıcısı ile (Fourtec MicroLog) izlenmiş ve kaydedilmiştir [65-67]. Buzdolaplarının teknik özellikleri Çizelge 5.1'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Buzdolaplarının teknik özellikleri

Buzdolabının Türü	Sınıfı	Toplam Hacmi (lt)	Soğutucu Gücü (W)	Defrost Gücü (W)	Günlük Enerji Tüketimi (kWh)
Buzdolabı 1	A	119	64	-	0.32
Buzdolabı 2	G	564	200	480	2.45

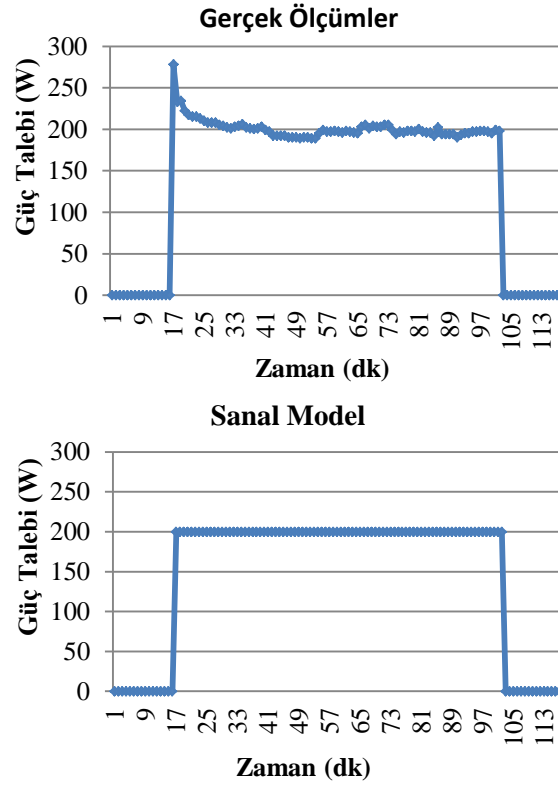
Buzdolabının ölçümler sonucu elde edilen ortalama soğutma, ısınma ve defrost çalışma değerleri Çizelge 5.2’de bulunmaktadır.

Çizelge 5.2 : Buzdolaplarının çalışma süreleri

Buzdolabının Türü	Soğutma Süresi (dk)	Isınma Süresi (dk)	Defrost Süresi (dk)
Buzdolabı 1	13	52	-
Buzdolabı 2	78	94	10

Piyasadaki buzdolaplarının soğutucularının güç talepleri 50 ile 250 W arasında değişmektedir [68]. Çizelge 5.1’den de görüldüğü üzere, seçilen buzdolaplarının soğutucu talepleri 64 W ve 200W değerleri ile alt ve üst sınırlara oldukça yakındır. TTY uygulamalarının bu buzdolapları üzerindeki potansiyelleri analiz edildiği takdirde, çalışma karakteristikleri bu buzdolapları arasında kalan diğer buzdolaplarının TTY potansiyellerinin de bu değerler arasında olacağı söylenebilir. Dolayısıyla, seçilen buzdolapları kullanılarak yapılacak analiz ile, önerilen gelişmiş yük yönetim uygulamasının piyasadaki tüm buzdolapları üzerindeki TTY potansiyelinin sınırlarına oldukça yakın değerler öngörülebilecektir.

Bir önceki bölümde anlatılan buzdolabı modeli, seçilen buzdolaplarından alınan gerçek ölçüm değerleri ile birlikte simülasyonlarda kullanılmıştır. Buzdolabının enerji tüketimi analizi için, soğutma periyotlarının başlangıç ve bitiş zamanları ile soğutma periyotları boyunca talep edilen ortalama güç doğru seçildiği takdirde, hesaplanan enerji tüketimi, gerçek ölçümlere oldukça yakın olacaktır. Bu yaklaşımın örnek bir soğutma periyodu için uygulanmış hali Şekil 5.4’te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Bir soğutma çalışması boyunca ölçümler ve sanal model

6. ÇOK ZAMANLI TARİFEDE KONTROL

Çok Zamanlı Tarife, önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, TTY'nin bünyesindeki bir Dolaylı Yük Kontrol yöntemidir. Günlük tüketim profilinde talebin yüksek miktarlarda olduğu zaman dilimleri daha yüksek, talebin görece daha düşük olduğu zaman dilimleri ise daha düşük birim fiyatları ile ücretlendirilerek kullanıcıların tüketim alışkanlıkları dolaylı yoldan değiştirilmeye çalışılır. Ne var ki, kullanıcıların tüketim davranışlarını her zaman fiyatlandırmayı göz önüne alarak değiştirmelerinin sağlanması zordur. Ayrıca, yük yönetimi dolaylı yoldan yapıldığı için, kullanıcılar aynı tarifede farklı günlerde farklı tüketimler yapacak ve talebin ne miktarda değiştirilebileceği önceden isabetli bir biçimde kestirilemeyecektir. Bu gibi olumsuz etkileri azaltmak için, kullanıcının belirli tercihlerini göz önüne alarak otonom çalışan Doğrudan Yük Kontrol sistemleri ile hem katılım oranı artırılabilir, hem de yük değişim oranı tahmin edilip planlanabilir.

Çalışmanın bu kısmında GYY yöntemi çeşitli stratejilerle çok zamanlı tarifede buzdolapları üzerine uygulanarak hangi stratejilerle daha çok fayda sağlanabileceği ve yıllık bazda buzdolaplarının TTY potansiyeli incelenmiştir. TTY potansiyelinin analizinde, şebeke açısından puant zamandaki tüketim değişimi ve toplam tüketimdeki farklılık, kullanıcı açısından faturadaki değişim, kontrol sistemi açısından ise müdahalenin yapıldığı anın birim fiyat değişim anına ne kadar yakın olduğu analiz edilmiştir. GYY yönetimiyle çalışma durumu, tek zamanlı tarifede kontrolsüz çalışma ve çok zamanlı tarifede kontrolsüz çalışma durumları ile karşılaştırılmıştır.

6.1 İncelenen Senaryolar

Başlangıç olarak, buzdolabının tek zamanlı tarife tercih edildiği takdirde yıllık çalışması simule edilerek enerji tüketimi ve maliyeti incelenmiştir. Tek zamanlı tarifede günün her saati aynı birim fiyat ile fiyatlandırılmaktadır. Bu tarifede yük yönetimi yapılması durumunda kullanıcıların elektrik faturasında herhangi bir değişim olmayacaktır. EPDK'nın 2011 Temmuz ayında uyguladığı fiyatlar ile

yapılan hesaplamalar sonucunda bu tarife ile G sınıfı buzdolabının yıllık elektrik tüketim maliyeti 241.4 TL olarak bulunmuştur [69]. A sınıfı buzdolabının ise yıllık tüketim maliyeti 31.4 TL olarak hesaplanmıştır.

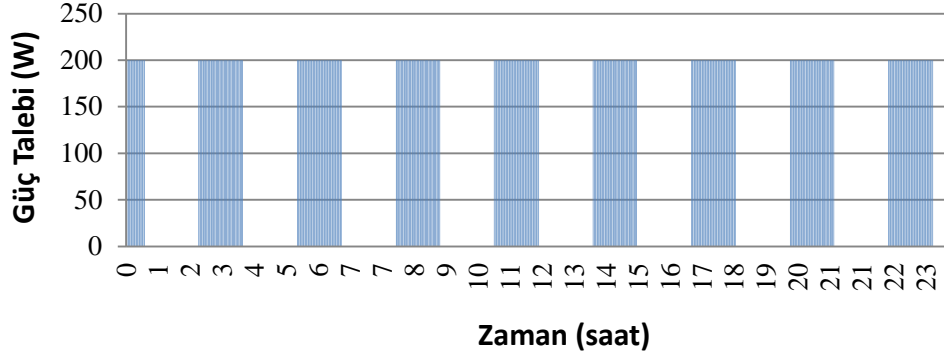
İkinci aşamada, çok zamanlı tarifede yük kontrolü olmaksızın çalışma durumundaki yıllık tüketim ve maliyeti analiz edildi. Türkiye’de uygulanmakta olan çok zamanlı tarifede gün üç ayrı fiyatlandırma periyoduna bölünmüştür. Talebin yüksek olduğu ve günlük puant talebin gözlemlendiği akşam saatlerinde yüksek fiyatlandırma uygulanırken, talebin düşük olduğu gece geç saatlerden sabahın erken saatlerine dek olan periyot düşük fiyatlandırılmıştır. Talebin ortalama değerlerde seyrettiği günün geri kalan kısmında ise tek zamanlı tarifedeki fiyata oldukça yakın bir birim fiyat uygulanmaktadır. Tarifenin ayrıntıları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Çok zamanlı tarife birim fiyatlarının tek zamanlı tarife fiyatına oranı

Fiyatlandırma Periyodu	Zaman Aralığı (saat)	Tek Zamanlı Tarifeye Göre Birim Fiyat Oranı
Normal	06.00-17.00	0.9
Pahalı	17.00-22.00	1.6
Ucuz	22.00-06.00	0.5

Çok zamanlı tarifede yıllık enerji maliyeti hesaplanırken, bu tarifede en yüksek faturayı getirebilecek çalışma durumu simule edilmiştir. Bu sayede, çok zamanlı tarifenin tek zamanlı tarifeye göre vadettiği en az elektrik tüketim maliyeti tasarrufu bulunacaktır. Bu miktar, çok zamanlı tarife tercih edildiği takdirde garanti edilecek ekonomik fayda olarak da isimlendirilebilir.

Çok zamanlı tarifede en maliyetli çalışma durumu, en pahalı fiyatlandırma periyodunda buzdolabının en çok çalıştığı durumdur. Bu çalışmayı simule etmek için, pahalı periyodun başlangıcında buzdolabının iç sıcaklığı üst sıcaklık limitinde olacak ve soğutma modu başlayacak şekilde simulasyona başlanmıştır. Bu şekilde yapılan yıllık analiz sonucunda G sınıfı buzdolabı için yıllık elektrik faturası 225.26 TL olarak hesaplanmıştır. A sınıfı için ise 29.15 TL olarak bulunmuştur. Bu çalışma durumunda G sınıfı buzdolabının günlük simulasyon sonuçları Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1: G sınıfı buzdolabının bir günlük benzetimi sonucu elde edilen talep profili

6.2 Soğutucu Kontrolü

Yük yönetimi uygulandığında çok zamanlı tarifede elde edilebilecek en düşük fatura maliyetine göre çalışma durumu uygulanmış olacaktır. GYY uygulaması, kullanılan çok zamanlı tarifede en az enerji faturasının gelmesini sağlamak amacıyla pahalı ve normal fiyatlandırma periyotlarındaki tüketimleri olabildiğince ucuz periyoda kaydırmalıdır. Bunun için, pahalı fiyatlandırma periyodunun başındaki bir miktar tüketimin erkene alınmasına ek olarak, aynı periyodun sonunda yapılacak tüketimin bir kısmı da ucuz fiyatlandırma periyoduna ertelenebilir.

Tüketimin erkene alınması için, buzdolabının iç hacminin pahalı tarife başlamadan önce olabildiğince soğutulması gerekmektedir. Bunun sonucunda pahalı tarifenin başlangıcında buzdolabının iç sıcaklığı alt sıcaklık sınırına kadar düşmüş olacaktır ve soğutucu devreden çıkacaktır. Tüketimin bir kısmının bir sonraki periyoda ertelenmesi için ise, mevcut periyodun sonuna dek depolanmış soğuk havanın olabildiğince harcanması ve periyodun sonunda üst sıcaklık sınırına ulaşılması gerekmektedir.

Benzer mantıkla, normal fiyatlandırma periyodunun başlangıcındaki tüketimin de bir kısmı erkene alınarak ucuz fiyatlandırma periyoduna kaydırılabilir. Analizde kullanılan çok zamanlı tarifede normal fiyatlandırma periyodunun ardından pahalı periyot geldiği için, normal periyodun sonundaki tüketimlerin bir sonraki periyoda ertelenmesine gerek yoktur.

Bu çalışma planının yük yönetim sistemi tarafından sürekli olarak uygulanmasıyla tüketicinin çok zamanlı tarifenin faydalarından olabildiğince yararlanması sağlanabilir. Aynı zamanda puant periyot ve normal periyottaki tüketimin bir kısmı da ucuz periyoda kaydırılacağı için günlük tüketim profilindeki çukurlar doldurulmuş olacaktır.

Yük Yönetim Sistemi Tasarımı bölümünde de anlatıldığı gibi, yük modeli kullanılarak hedef zaman ile planlama zamanı arasında yapılan ileri ve geri tahminlerle, sıcaklık değerlerinin belirli bir tolerans ile birbirine yakın olduğu her nokta müdahale anı olarak seçilebilir. Dolayısıyla, en az maliyetli tüketimi sağlayacak çalışma programına, buzdolabının soğutma çalışması sırasında ısınmanın devreye sokulmasıyla geçilebileceği gibi, bir ısınma çalışması sırasında soğutmanın erken başlatılmasıyla da geçilme imkanı vardır. Bu çalışmada, 6 farklı müdahale senaryosu incelenmiştir. Senaryoların detayları Çizelge 6.2’de bulunmaktadır.

Çizelge 6.2 : Soğutucunun müdahale sonrası çalışma modu

Strateji No	Erken Tüketim İçin	Ertelenmiş Tüketim İçin
1	Soğutma	-
2	Soğutma	Soğutma
3	Soğutma	Isınma
4	Isınma	-
5	Isınma	Soğutma
6	Isınma	Isınma

6.3 Defrost Kontrolü

G sınıfı buzdolabındaki defrost çalışması için de benzer bir yük yönetim stratejisi uygulandı. Gerçek buzdolabından alınan ölçümlere göre defrost çalışması her 8 saatte bir, 10 dakikalık periyotlar halinde gerçekleşmektedir. Seçilen çok zamanlı tarifede, kontrolsüz çalışmada her periyoda bir defrost çalışması düşmektedir. G sınıfı buzdolabının bu operasyonu da yönetilerek pahalı periyottaki çalışma ucuz periyoda ertelenebilir. Bu durumda normal fiyatlandırma periyodunda iki defrost çalışması gerçekleşecektir. Yük yönetimi öncesi ve sonrası defrost çalışma zamanları Çizelge 6.3’ten incelenebilir.

Çizelge 6.3 : Defrost kontrolü öncesi ve sonrası çalışma zamanları

Çalışma Şekli	Normal Periyot	Pahalı Periyot	Ucuz Periyot
Yük kontrolsüz	10.00	18.00	02.00
Yük kontrollü	08.00 & 16.00	-	00.00

6.4 Analiz Sonuçları

Her iki buzdolabının 6 yük yönetimi senaryosuna göre yıllık çalışmaları simule edildi. A sınıfı buzdolabı için stratejilerin enerji tüketimi ve elektrik faturası üzerindeki etkisi Çizelge 6.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 : A sınıfı buzdolabı için enerji tüketimi ve maliyet analizi sonuçları

Strateji No	Pahalı Periyottaki Talep Değişimi (%)	Yıllık Elektrik Faturasındaki Değişim (%)	Yıllık Enerji Tüketimindeki Değişim (kWh)
1	-19.99	-10.53	-0.39
2	-21.53	-10.82	-0.39
3	-23.08	-11.32	-0.39
4	-19.99	-11.74	-2.34
5	-21.54	-12.04	-2.34
6	-23.08	-12.54	-2.73

G sınıfı buzdolabının analizinde her stratejiye defrost kontrolü de eklendi. Sonuçlar Çizelge 6.5'te bulunmaktadır.

Çizelge 6.5 : G sınıfı buzdolabı için enerji tüketimi ve maliyet analizi sonuçları

Strateji No	Pahalı Periyottaki Talep Değişimi (%)	Yıllık Elektrik Faturasındaki Değişim (%)	Yıllık Enerji Tüketimindeki Değişim (kWh)
1	-13.53	-9.59	0
1 & Defrost	-28.57	-11.26	0
2	-24.81	-11.65	0
2 & Defrost	-39.85	-13.33	0
3	-26.02	-12.25	-3.65
3 & Defrost	-41.07	-13.93	-3.65
4	-15.41	-11.33	-18.25
4 & Defrost	-30.45	-13.00	-18.25
5	-24.81	-12.51	-10.95
5 & Defrost	-39.85	-14.19	-10.95
6	-26.69	-13.10	-14.60
6 & Defrost	-41.73	-14.78	-14.60

Sonuçların analizinde birincil kriter olarak pahalı periyottaki tüketim değişimi seçildi. TTY'nin asıl amacı olan bu kritere ek olarak, kullanıcıların elde edebileceği tasarruf oranı da ikincil kriter olarak göz önüne alındı. Yıllık elektrik faturasındaki değişim bu tasarrufu göstermektedir. Yıllık enerji tüketimindeki değişim ise, stratejilerin ve kullanıcıların esas hedefi olmasa da , bir ek fayda olarak göz önüne alındı ve analize dahil edildi.

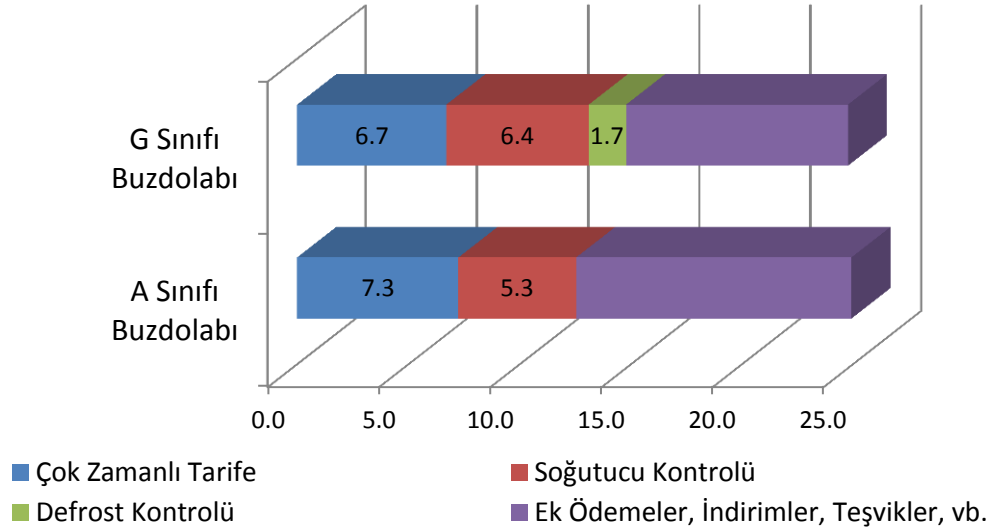
Bu kriterler göz önüne alınarak yapılan analize göre her iki buzdolabı için 6 numaralı strateji (hem erken hem de ertelenmiş tüketim için ısınma zamanlarının arttırılması) en iyi potansiyeli vadetmektedir. 6 numaralı stratejiyle yıllık elektrik faturasında elde edilebilecek değişim, çok zamanlı tarifenin tercih edilmesiyle garantilenen tasarrufları da kapsamaktadır. Bu tasarruf içerisinde yük yönetiminin payı ayrılarak incelendiğinde, çok zamanlı tarife ile sağlanabilecek yararın oldukça arttırılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıntılar Çizelge 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 : Tek zamanlı tarifeye göre yıllık elektrik faturasındaki değişim

Strateji	A Sınıfı Buzdolabı	G Sınıfı Buzdolabı
Çok Zamanlı Tarife	7.25	6.70
Çok Zamanlı Tarife ve Soğutucu Kontrolü	12.54	13.10
Çok Zamanlı Tarife, Soğutucu Kontrolü ve Defrost Kontrolü	-	14.78

Çizelge 6.6'dan da görüldüğü üzere, buzdolaplarının soğutucularının yönetimi, çok zamanlı tarifenin minimum tasarruflarına ek olarak %5.29 ile %6.40 arasında tasarruf sağlayabilmektedir. G sınıfı buzdolabında mümkün olan defrost kontrolü de eklendiğinde elde edilebilir tasarruf miktarı %8.08'e kadar çıkmaktadır.

Yıllık elektrik faturasındaki değişimler, günümüzdeki çok zamanlı tarife yapısı kullanıldığı takdirde elde edilebilecek tasarrufları göstermektedir. Farklı tarifeler, teşvikler ve kampanyalar ile kullanıcıların elde edebilecekleri faydalar arttırılabilir ve bu uygulamalara daha fazla katılımında bulunmaları sağlanabilir. Şekil 6.2'de yıllık elektrik faturası sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Elde edilebilir tasarrufların karşılaştırmalı gösterimi

Bir diğer tercih edilebilir seçenek ise 6 numaralı stratejiye yakın sonuçlar veren, erken tüketim için soğutma zamanlarının, ertelenmiş tüketim için ise ısınma zamanlarının arttırılmasına dayanan 3 numaralı stratejidir.

Analizin bir sonraki aşamasında, yük yönetiminin müdahale zamanları incelenmiştir. Müdahale anının, yük yönetiminin hedef zamanına olabildiğince yakın olması, kontrol hareketinin başarı ihtimalini arttıracaktır. Saha uygulamalarında, yük modeli ne kadar gerçekçi olursa olsun, çeşitli dış etkenler sebebiyle buzdolabı tahmin edilen sıcaklık ve çalışma modu değerlerinden farklı değerlere sahip olabilir. Bu sebeple, olay anından saatler önce yapılan bir kontrol hareketinin başarısı, olay anına dakikalar kala yapılan bir kontrol hareketinin performansına göre daha düşük olacaktır. Müdahale hareketinin performansı ve zaman sınırları gerçek saha uygulamaları ile netleştirilebilecek bir konudur. Simulasyona dayanan analizde de, bu durum gözönüne alınmıştır. Müdahaleyi olay anına en yakın zamanda gerçekleştirebilen stratejiler daha tercih edilebilir olarak kabul edilmiştir. Bu zamanlar soğutucu kontrolüyle ilgili olduğu için defrost kontrolünün herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla analiz sonuçları içerisinde defrostlu stratejiler ayrıca gösterilmemiştir. Bu bakış açısına göre yapılan analiz sonuçları A sınıfı buzdolabı için Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 : A sınıfı buzdolabı için müdahale anında olay anına kalan dakikalar

Strateji No	Ucuz Periyot (Erken Tüketim)	Normal Periyot (Erken Tüketim)	Pahalı Periyot (Ertelenmiş Tüketim)
1	5	5	-
2	6	5	64
3	6	5	47
4	30	38	-
5	33	38	64
6	33	38	47

G sınıfı buzdolabı için soğutucu kontrolünde müdahale anı analizinin sonuçları Çizelge 6.8’de bulunmaktadır.

Çizelge 6.8 : G sınıfı buzdolabı için müdahale anında olay anına kalan dakikalar

Strateji No	Ucuz Periyot (Erken Tüketim)	Normal Periyot (Erken Tüketim)	Pahalı Periyot (Ertelenmiş Tüketim)
1	46	69	-
2	29	69	110
3	29	69	18
4	126	154	-
5	109	157	110
6	109	157	18

Müdahale anının hedef zamana yakınlığı açısından bakıldığında 3 numaralı strateji en uygun seçenek olarak görünmektedir. 6 numaralı strateji, A sınıfı küçük hacimli buzdolabı için hala kabul edilebilir müdahale zamanları vadetmektedir. G sınıfı büyük hacimli buzdolabı ise ucuz ve normal periyotlar sırasında uygulanan erken tüketim amaçlı müdahaleler için bir saatten daha fazla zamana ihtiyaç duymaktadır. Bu süre, bir sonraki saatin fiyatının bir saat kala kullanıcılara bildirilmesinin planladığı Gerçek Zamanlı Tarife vb. uygulamalar için uygun değildir. Ayrıca, müdahale komutuyla hedeflenen yük yönetim amacının gerçekleşip gerçekleşmeyeceği konusunda da pek güvenilir görünmemektedir. En iyi müdahale zamanları 3 numaralı strateji ile elde edilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları tüm termostat kontrollü yükler için genelleştirilebilir. Buzdolabının elektrik tükettiği soğutma çalışması aktif çalışma, ısınma modu ise pasif çalışma olarak isimlendirilebilir. Bu durum tüm soğutucular için benzerdir. Isıtıcılar göz önüne alındığında ise aktif çalışma ısıtma modu, pasif çalışma ise

soğuma modu olacaktır. Yapılan genelleme özet bir biçimde Çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 : Termostat kontrollü yüklerin çalışma şekillerinin genelleştirilmesi

Yükün Türü	Aktif Çalışma	Pasif Çalışma
Soğutucu	Soğutma	Isınma
Isıtıcı	Isıtma	Soğuma

Yapılan bu genellemeye göre, termostat kontrollü tüm yükler için çok zamanlı tarifeye göre yük yönetimi açısından en uygun kontrol stratejisi erken tüketim için pasif çalışma zamanlarında, ertelenmiş tüketim için ise aktif çalışma zamanlarında müdahale edilen 3 numaralı stratejidir. Küçük hacimli yükler için opsiyonel bir seçenek olarak hem erken tüketim hem de ertelenmiş tüketim için aktif çalışma zamanlarında müdahale edilen strateji tercih edilebilir. Bu strateji, enerji tüketimi ve yıllık elektrik faturasındaki tasarruf açısından daha başarılı bir yük yönetimi potansiyeli vadetmektedir. Büyük hacimli yükler için ise bu strateji, ihtiyaç duyduğu müdahale zamanlarının olay anından oldukça erken olması sebebiyle kontrol başarısı açısından pek güvenilir görünmemektedir.

Bu sonuçlar ışığında, gelişmiş yük yönetim sisteminin herhangi bir termostat kontrollü yüke müdahale için tercih edebileceği en uygun periyot ve olay anı öncesinde gerekecek maksimum zaman dilimi denklem 6.1 ile gösterilmiştir.

$$m_{müdahale} = m_{hedef}, \quad t_{hedef} - t_{müdahale} < \tau_{hedef} \quad (6.1)$$

Bu denklemde $m_{müdahale}$ müdahalenin yapılacağı çalışma modunu, m_{hedef} ise olay anında hedeflenen sıcaklık değerine gelinmesini sağlayacak ideal çalışma programında, olay anından önceki son çalışma modunu temsil etmektedir. t_{hedef} olay anı iken, $t_{müdahale}$ ile müdahale anı ifade edilmektedir. τ_{hedef} yönetilen yükün ideal çalışma programında olay anında hedeflenen sıcaklığa gelinmesini sağlayan son çalışma modunun süresi için kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde yapılan analizle, buzdolaplarının TTY potansiyeli hakkında da önemli izlenimler edinilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, çok zamanlı tarife ve GYY uygulaması ile buzdolaplarının puant periyottaki enerji tüketimleri %23.08 ila 41.73 oranında azaltılabilir. Ayrıca, yıllık elektrik faturasında %12.54 ila

14.78'lik tasarruf elde edilebilir. Uygulamanın bir diğ er sonucu ise yıllık enerji tüketiminde 2.73 ila 14.60 kWh'lik azalmadır.

Defrost kontrolünün TTY sonuçları içerisindeki katkısı incelendiğ inde, puant zamanlardaki talep düşüşüne %15.04 ve yıllık elektrik faturasındaki tasarrufa %1.7 oranında katkıda bulunduğ u gözlemlenmiştir.

Yük Yönetim Sistemi Tasarımı bölümünde de bahsedildiğ i gibi bu stratejilerin pratikte de başarılı olabilmesi için isabetli yük tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun kendi kendine öğrenebilme yeteneğ ine sahip cihazlar ile başarılı bir şekilde yapılabilmesi mümkündür.

Üzerinde durulması gereken bir diğ er önemli nokta ise birçok ısı l yükün toplu kontrolü hususudur. Yük kontrolsüz ç alışma durumunda, ş ebekedeki yüklerin ç alışma modları rastgele bir dağı lım içerisinde (diversification). Bu yüklerin birçoğ u tarife bilgisi göz önüne alınarak aynı hedef zamana göre kontrol edildiğ i takdirde bu rastgelelik bozulacak ve yükler benzer ç alışma koşullarına gelecektir (undiversification). Bunun sonucunda talebin yüksek miktarda azaldığ ı bir periyodu, talebin oldukça yükseldiğ i ve beklenmeyen bir puant talebin oluştuğ u başka bir periyot takip edecek ve yük dalgalanmaları yaşanacaktır. Bu durum da ş ebekede yeni problemlere sebep olacaktır. Bu gibi riskleri azaltmak amacıyla, yerel kontrolörler arası koordinasyonu sağlayacak bölgesel veya merkezi kontrolörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yük dalgalanmaları hedef zamanın çoğ altılarak belirli bir zaman dilimine yayılması ve farklı yüklerle farklı hedef zamanlar verilmesi ile azaltılabilir. [19] referans numarasına sahip ç alışmada olay zamanı, belirli sınırlar içerisinde rastgele başlangıç zamanları üretilerek yönetilecek yüklerle iletilmiş ve oluşması muhtemel yük dalgalanmaları azaltılmıştır.

7. GÜNEŞ ENERJİSİNDE DAĞITIK ÜRETİME GÖRE KONTROL

Dağıtık Üretim, yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payını arttırabilme potansiyeline sahip başlıca Akıllı Şebeke çözümlerinden biridir. Diğer yandan bu kaynakların kesintili olması, elde edilebilecek faydaları kısıtlamaktadır. Hem şebekenin hem de kullanıcıların yenilenebilir enerji kaynakları kullanan Dağıtık Üretim santrallerinden daha çok faydalanabilmesi için yük yönetim teknikleri kullanılabilir. Çalışmanın bu bölümünde, termostat kontrollü yüklerin yenilenebilir enerji kaynakları kullanan yerel üretim tesisleriyle beraber nasıl çalıştırılabileceği incelenmiştir.

Yerel üretim verisi olarak, üniversite bünyesindeki bir güneş enerjisi sistemindeki panellerden bir yıl boyunca toplanmış saatlik veriler kullanılmıştır. Çok Zamanlı Tarifeye Göre Kontrol bölümünde, analizlerde kullanılan buzdolabı modellerinden bu çalışmada da yararlanılmıştır.

Çeşitli tekniklerin tek başına veya birarada uygulanabileceği senaryolar incelenmiştir. Sonuçların farklı bakış açılarına göre analiz edilmesinin yanısıra, yenilenebilir kaynaklardan dağıtık enerji üretimine göre kontrol için genel bir metodoloji de oluşturulmuştur.

7.1 Metodoloji

Kontrol mantığının sadeleştirilmesi, daha anlaşılabilir olması ve yerel dağıtık üretim tesislerine göre yük yönetiminde ortak bir dil oluşturulabilmesine katkı sağlamak amacıyla bir takım terimler önerilmiş ve kullanılmıştır.

Güneş panellerinin yüke yetecek kadar enerji üretebildiği her zaman dilimi “yeterli yerel üretim periyodu” olarak isimlendirilmiştir. Yerel üretimin, yükün enerji ihtiyacını karşılayamadığı her zaman dilimi ise “yetersiz yerel üretim periyodu” olarak nitelendirilmiştir. Gün batımından, ertesi günün doğumuna kadar güneşten enerji üretimi mümkün değildir. Bu zaman dilimine “yerel üretimin imkansız olduğu periyot”, gün doğumundan gün batımına kadar olan sürece ise “yerel üretimin

mümkün olduğu periyot” denilmiştir. Bu iki terim, yerel üretim tesisinde meydana gelebilecek teknik sorunlar veya bakım işlemlerinin de yönetim mantığı tarafından basit bir dille değerlendirilmesinde kullanılabilir. Sistemde, kontrolörün yönetim yapmasını gerektiren her değişiklik bir “olay” olarak isimlendirilmiştir. Dolayısıyla, yukarıda bahsedilen yerel üretimin yeterliliği ve mümkün olup olmaması ile ilgili her terim bir olayı temsil etmektedir. Bu terimler diğer alternatif enerji kaynaklarını kullanan sistemlerde de kullanılabilir.

Ayrıca, Çok Zamanlı Tarifeye Göre Kontrol bölümünde belirtilen aktif çalışma ve pasif çalışma terimleri, bu çalışmada da algoritmaya entegre edilerek tüm termostat kontrollü yükleri yönetebilecek bir karar mekanizması geliştirilebilir.

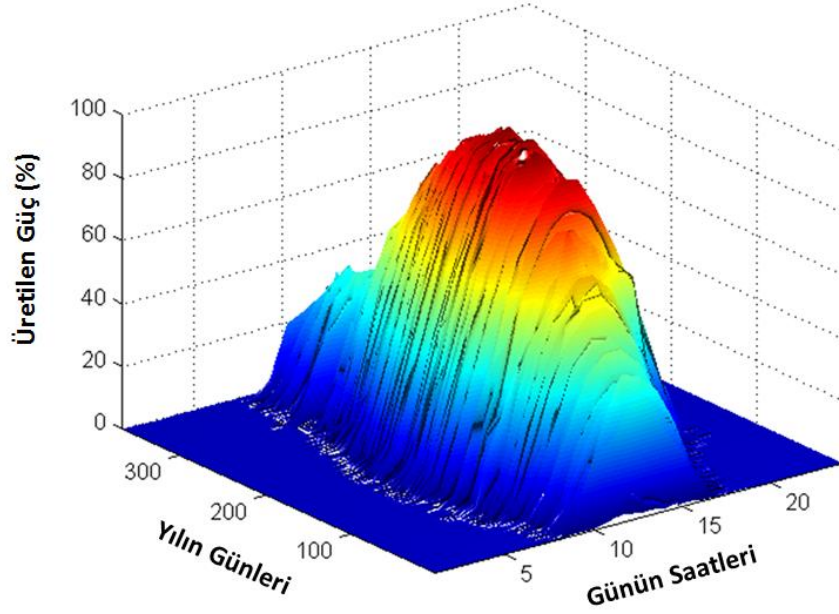
7.2 Güneş Enerjisi Sistemi

Fotovoltaik paneller yüksek kurulum maliyetlerine rağmen şebeke, kullanıcılar ve çevre açısından birçok faydalar içermektedir. Azalan iletim kayıpları ve maliyetleri, puant talebin azaltılması gibi şebeke taraflı yararların yanı sıra, faturaların düşürülmesi ve fazla üretimin şebekeye satılabilmesi gibi kullanıcı taraflı avantajlar da mevcuttur [70]. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim içerisindeki payını arttırması ile sera gazları salınımının azaltılabilmesi mümkündür [71].

Güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesinde, bölgenin yıllık güneş ışınımı değerlerinin kullanıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur [72,73]. Çalışma ile elde edilen verilerin isabetliliğini arttırmak için gerçek bir yerel üretim tesisinin verilerinden yararlanılmıştır. Meteorolojik veriler yerine, üretim tesisinin doğrudan çıkışlarından yararlanılarak, saha uygulamalarında sisteme etkiyen ısı, toz, eviricilerin verimi, kablolamadan kaynaklı etkenler gibi birçok faktör analizlere dahil edilmiş olur.

Yerel üretim tesisi olarak, üniversite bünyesindeki bir fotovoltaik sistem seçilmiştir. 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü’nde kurulan bu sistem ile üretilen enerji, kurşun asit aküler ile depolanıp bir park yerinin aydınlatmasında kullanılmıştır. 2 kW üretim kapasitesine sahip bu paneller yatay ile 35° açığa sahiptir. Paneller 41° 6.3’ kuzey enlemi ve 29° 1.46’ doğu boylamı koordinatlarında bulunmaktadır. 2009 yılı Ocak ayından

başlanarak 1 yıl boyunca toplanan saatlik veriler, yerel üretim tesisi verileri olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Yıl boyunca toplanan verilerin genel grafiği Şekil 7.1’de bulunmaktadır.



Şekil 7.1 : Yıl boyunca toplanan verilerin genel grafiği [70]

7.3 İncelenen Senaryolar

Çeşitli kontrol yöntemlerinin, tek başlarına veya bir arada kullanıldıkları durumlarda buzdolaplarının yıllık çalışmasına etkisi analiz edildi.

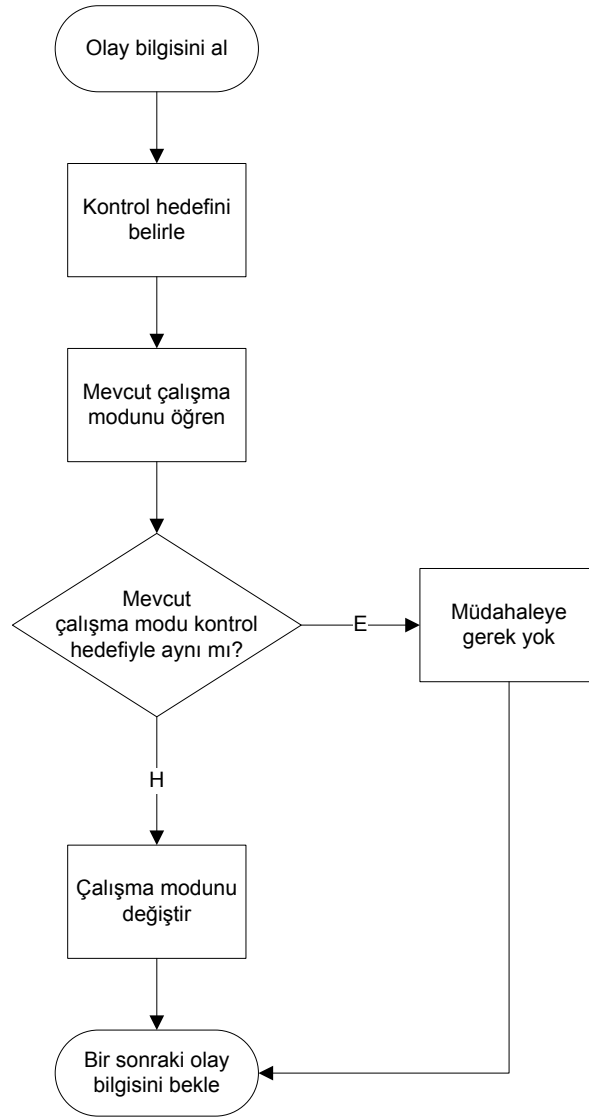
7.3.1 Gerçek zamanlı kontrol

Bu yöntem, yerel üretim tesisinin güç çıkışına göre yükün gerçek zamanlı kontrol hareketleriyle yönetimine dayanmaktadır. Güneş panellerinden yeterli enerji geldiği zaman (yeterli yerel üretime geçme olayı) buzdolabının soğutucusu devreye sokulur. Yerel üretimin gerekli enerjiyi sağlayamayacak kadar azaldığı tespit edildiğinde ise (yetersiz yerel üretim) soğutucu devreden çıkarılır ve buzdolabı, ortam sıcaklığının etkisiyle ısınmaya başlar.

Bu yöntem, olay anında doğrudan gerçekleştirilen tekil kontrol hareketleriyle uygulandığı için yük veya yerel üretim tesisinin gelecekteki durumlarının tahminine ihtiyaç duyulmamaktadır. Uygulanabilirliğinin kolay ve hızlı olmasının yanısıra, kontrolör maliyeti düşük bir yöntemdir. Diğer yandan, olay anı öncesinde herhangi bir planlama yapılmadığı için, termostat kontrollü yükün ısı kapasitesinden yeterince

yararlanılamayacak ve kontrol hareketiyle elde edilebilecek performans, değişken olacaktır. Yıl boyunca, soğutucunun devreye sokulmak istendiği yeterli üretime geçme zamanlarında soğutucunun zaten devrede olması veya devreden çıkarılmak istendiği zamanlarda önceden çıkmış olması gibi durumlarla karşılaşılabilir. Kontrol hareketlerinin hedefleriyle buzdolabının mevcut çalışmasının çakıştığı bu zamanlar oldukça fazla olduğu takdirde, Gerçek Zamanlı Kontrol yönteminden hatırı sayılır bir fayda elde edilemeyecektir.

Gerçek Zamanlı Kontrol yöntemi çalışma mantığı şekil 7.2’de gösterilmiştir.



şekil 7.2 : Gerçek Zamanlı Kontrol yönteminin çalışma mantığı

Çizelge 7.1’de, kontrol hareketleri ve uygulandıkları durumlar ayrıntılı olarak bulunmaktadır.

Çizelge 7.1 : Sistemdeki olaylara göre uygulanacak kontrol hareketleri

Olay	Mevcut Çalışma Modu	Kontrol Hareketi Hedefi
Yerel üretim yeterli hale geldi	Isınma	Soğutucuyu devreye sok
Yerel üretim yeterli hale geldi	Soğutma	Müdahaleye gerek yok
Yerel üretim yetersiz hale geldi	Isınma	Müdahaleye gerek yok
Yerel üretim yetersiz hale geldi	Soğutma	Soğutucuyu devreden çıkar

7.3.2 Planlı kontrol

Planlı kontrol yöntemi, yükün ve yerel üretim tesisinin gelecekteki çalışma durumlarının tahminine dayanır. Gün boyunca bulutlardan kaynaklanabilecek kısa süreli değişimler tahmin edilemese de, günün başındaki ilk yeterli üretim periyodunun başlangıcı ve gün sonunda, üretimin yetersiz hale geldiği son periyoda geçiş zamanı tahmin edilebilir. Arada kalan zaman diliminde, Yük Yönetim Sistemi Tasarımı bölümünde anlatılan planlı kontrol mantığı ile Çok Zamanlı Tarifeye Göre Kontrol çalışmasındaki ucuz fiyatlandırma periyodunda olduğu gibi tüketimi arttırıcı kontrol hareketleri uygulanır. Güneş panellerinin yeterli enerjiyi sağlayabildiği zaman dilimlerinin başlangıçları isabetli bir biçimde tahmin edilebildiği takdirde yükün tüketimlerinin bir kısmı bu zaman dilimine kaydırılabilir. Pratikte, güneş tahminleri uzman bir şirket tarafından, yerel kontrolörlere mevcut haberleşme altyapısı kullanılarak sağlanabilir. Bu yöntem ile yükün ısı kapasitesi olabildiğince kullanıldığı için, gerçek zamanlı kontrole göre daha yüksek bir yönetim potansiyeli mevcuttur. Diğer taraftan, yönetimin başarısı yük ve yerel üretim tahminlerinin başarısına bağlıdır.

7.3.3 Sıcaklık bandının alt ve üst sınırlara yakınsamalı değişimi

İncelenen bir diğer yöntem, sıcaklık bandının daraltılarak ayar değerinin yerel üretime göre alt ve üst sınırlara yakınsatıldığı yöntemdir. Gerçek Zamanlı Kontrol yönteminde olduğu gibi, yerel üretim tesisinden gelen anlık bilgilerden yararlanır.

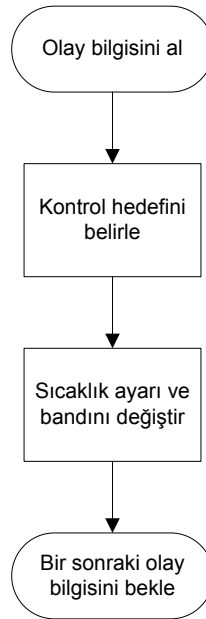
Yerel üretimin yeterli miktarda olduğu zaman dilimlerinde buzdolabı olabildiğince soğuk tutulmaya çalışılır. Bu sebeple, ayarlanan ortalama sıcaklık değeri, normal

sıcaklık bandının alt sınırına yakın bir değer olarak seçilir. Bu sırada sıcaklık değerinin izin verilen en az sıcaklığın da altına inmemesi için sıcaklık bandı daraltılır. Daraltma işlemi, yeni sıcaklık bandının alt sınırıyla normal sıcaklık bandının alt sınırı aynı olacak şekilde yapılır.

Yerel üretimin mümkün; fakat yetersiz olduğu durumlarda (fotovoltaik sistemde güneşin önüne giren bulutlardan kaynaklanabilecek geçici düşüşler) sıcaklık ayar değeri sıcaklık bandı üst sınırına yakın bir değer olarak seçilir. Sıcaklık bandı bu durumda normal bandın üst sınırındaki değer asla geçilmeyecek şekilde daraltılır.

Yerel üretimin imkansız olduğu durumlarda (fotovoltaik sistemde gün batımından şafağa dek) sıcaklık ayarı normal değerine ayarlanır ve sıcaklık bandı normal genişliğine geri getirilir. Yük yönetim potansiyeli olarak Gerçek Zamanlı Kontrol'den daha iyi, Planlı Kontrol'e ise yakın bir sonuç vadedmesi beklenen bu yöntemin analizinde, yıllık enerji tüketiminde ve yıllık enerji faturasındaki değişimlere dikkat edilmesi gerekmektedir.

Bu yöntemin çalışma mantığı, Şekil 7.3'te genel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.3 : Sıcaklık Bandı Değişimi yönteminin çalışma mantığı

Sıcaklık ayarında yapılabilecek değişiklikler Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 : Soğutucu sıcaklık ayarının yerel üretime göre değişimi

Olay	Soğutucu Sıcaklık Ayarı
Yerel üretim mümkün ve yeterli	Alt sınıra yakınsamalı
Yerel üretim mümkün; fakat yetersiz	Üst sınıra yakınsamalı
Yerel üretim imkansız	Normal

7.3.4 Sıcaklık bandının sadece alt sınıra yakınsamalı değişimi

Bu yöntem, bir önceki yöntemin sadece alt sınıra yakınsamalı kısmını içermektedir. Bir önceki yöntemde yönetim sistemi sıcaklık bandının üst sınıra yakınsanması uygulamasına, güneşin batmaya yakın olduğu akşam saatlerinde yerel üretim yetersiz hale geldiğinde de başvurmaktadır. Ne var ki, güneşten enerji üretimi tekrar yeterli hale gelmeyeceği için, güneşin olmadığı periyoda buzdolabı ısı kapasitesini harcamış şekilde girecektir. Çoğu tarifede, güneşin battığı saatler, puant periyoda dahildir. Bu periyotta genel tüketim yüksek seviyelerdedir ve çok zamanlı tarifelerde yüksek birim fiyat uygulanmaktadır. Dolayısıyla, üst sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi, gün içerisindeki geçici yetersizliklerde faydalı olurken, akşam saatlerinde şebekenin ve kullanıcının istemediği sonuçlara sebebiyet verebilir. Bu etkinin daha açık bir biçimde analiz edilebilmesi için sıcaklık bandının sadece alt sınıra yakınsamalı değişiminin uygulandığı ayrı bir yöntemin de incelenmesine gerek duyulmuştur.

Yerel üretimin yeterli olduğu periyotlarda sıcaklık ayarı alt sınıra yakın bir değere getirilmekle beraber sıcaklık bandı, normal çalışmanın alt sınırı geçilmeyecek şekilde daraltılacaktır. Yerel üretimin yetersiz veya imkansız olduğu zaman dilimlerinde ise sıcaklık ayarı ve band genişliği normal değerlerine geri döndürülecektir. Uygulamanın detayları Çizelge 7.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.3 : Sıcaklık bandı değişimi yönteminin ayrıntıları

Olay	Soğutucu Sıcaklık Ayarı
Yerel üretim mümkün ve yeterli	Alt sınıra yakınsamalı
Yerel üretim mümkün; fakat yetersiz	Normal
Yerel üretim imkansız	Normal

7.3.5 Planlı kontrol ve sınırlara yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi

Planlı kontrol yöntemi ve sıcaklık bandının her iki sınıra yakınsamalı değişimi yöntemlerinin beraber kullanılması halinde sağlanabilecek yararlar bu senaryoda analiz edilmiştir. Planlı kontrol sadece, güneşten yeterli yerel üretimin elde edildiği ilk periyodun başında uygulanmakta, kalan zamanda üst ve alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi uygulaması devreye girmektedir. Detaylar Çizelge 7.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4 : İki yöntemin birlikte uygulanmasının detayları

Olay	Soğutucu Sıcaklık Ayarı
Günün ilk yeterli yerel üretim periyodu	Planlı kontrol
Yerel üretim mümkün ve yeterli	Alt sınıra yakınsamalı
Yerel üretim mümkün; fakat yetersiz	Üst sınıra yakınsamalı
Yerel üretim imkansız	Normal

7.3.6 Planlı kontrol ve alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi

Planlı kontrol yönteminin sıcaklık bandının sadece alt sınıra yakınsamalı değişimi yöntemi ile kombinasyonu bu senaryoda incelenmiştir. Sadece alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişiminin, her iki sınıra yakınsamalı değişime karşı olabilecek muhtemel faydalarından dolayı, planlı kontrol ile bu metodun da beraber kullanımı analiz edilmiştir. Bir önceki senaryodakine benzer şekilde, planlı kontrol sadece günün ilk yeterli yerel üretim periyodu için uygulanmaktadır. Diğer zamanlarda sadece alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi yöntemi tercih edilmektedir. Yöntemin ayrıntıları Çizelge 7.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 : Sistemdeki olaylara göre tercih edilecek ayarlar

Olay	Soğutucu Sıcaklık Ayarı
Günün ilk yeterli yerel üretim periyodu	Planlı kontrol
Yerel üretim mümkün ve yeterli	Alt sınıra yakınsamalı
Yerel üretim mümkün; fakat yetersiz	Normal
Yerel üretim imkansız	Normal

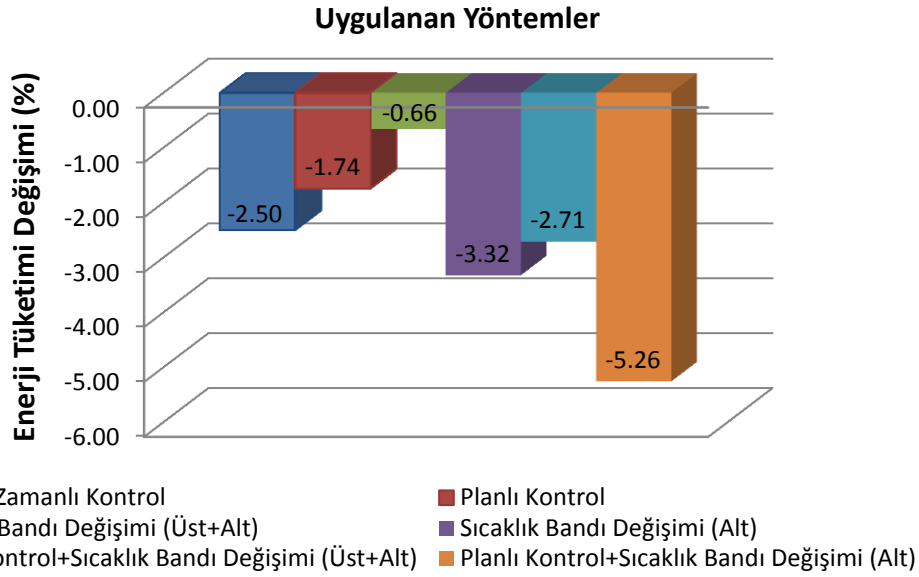
7.4 Analiz Sonuçları

Bu kısma kadar açıklanan senaryolara göre buzdolaplarının bir yıllık çalışması simule edilmiş ve sonuçlar çeşitli perspektiflere göre irdelenmiştir

7.4.1 Şebekeden çekilen enerji miktarındaki değişim

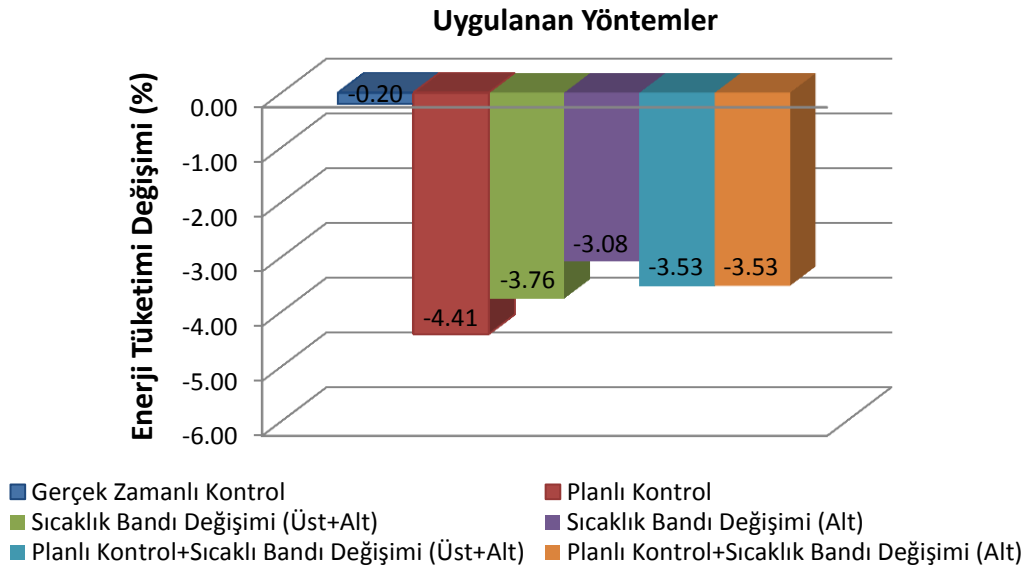
Her yöntemin birincil amacı, şebekeden kullanılan enerjiyi olabildiğince azaltmak ve yerel üretimden olabildiğince yararlanmak olarak belirlenmiştir. Bu miktar, kontrollü ve kontrolsüz çalışma durumlarında, yetersiz ve imkansız yerel üretim zamanlarındaki tüketimlerin karşılaştırılması ile hesaplanmıştır. Şebekeden çekilen enerji miktarının azaltılması ile şebekenin yükü hafifletilebilir ve kullanıcının elektrik faturası azaltılabilir. Ayrıca, uzun mesafeler boyunca daha az enerjinin

iletilmesinin bir sonucu olarak, iletim kayıpları da azaltılabilecektir. A sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim Şekil 7.4’te gösterilmiştir.



Şekil 7.4 : A sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim yüzdesi

G sınıfı buzdolabı için analiz sonuçları Şekil 7.5’te bulunmaktadır.



Şekil 7.5 : G sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim yüzdesi

A sınıfı buzdolabı için sonuçlar enerji miktarı cinsinden Çizelge 7.6’da verilmiştir.

Çizelge 7.6 : A sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim

Kullanılan Yöntem	Enerji Değişim Miktarı (Wh)
1	-1699.88
2	-1185.75
3	-446.55
4	-2259.88
5	-1843.88
6	-3578.28

G sınıfı buzdolabı için sonuçlar, ayrıntıları ile Çizelge 7.7’de bulunmaktadır.

Çizelge 7.7 : G sınıfı buzdolabı için şebekeden çekilen enerjideki değişim

Kullanılan Yöntem	Enerji Değişim Miktarı (Wh)
1	-1006.67
2	-22163.33
3	-18920.00
4	-15493.33
5	-17776.67
6	-17740.00

Sonuçlardan da görüleceği üzere, şebekeden çekilen enerjideki değişim açısından, A sınıfı, küçük ısı kapasiteli buzdolabı için planlı kontrol ve alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişiminin beraber uygulandığı 6 numaralı yöntem en başarılı sonuçları vermiştir. Sadece alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişimine dayalı 4 numaralı yöntem de ikinci en iyi sonuç olarak dikkat çekmektedir.

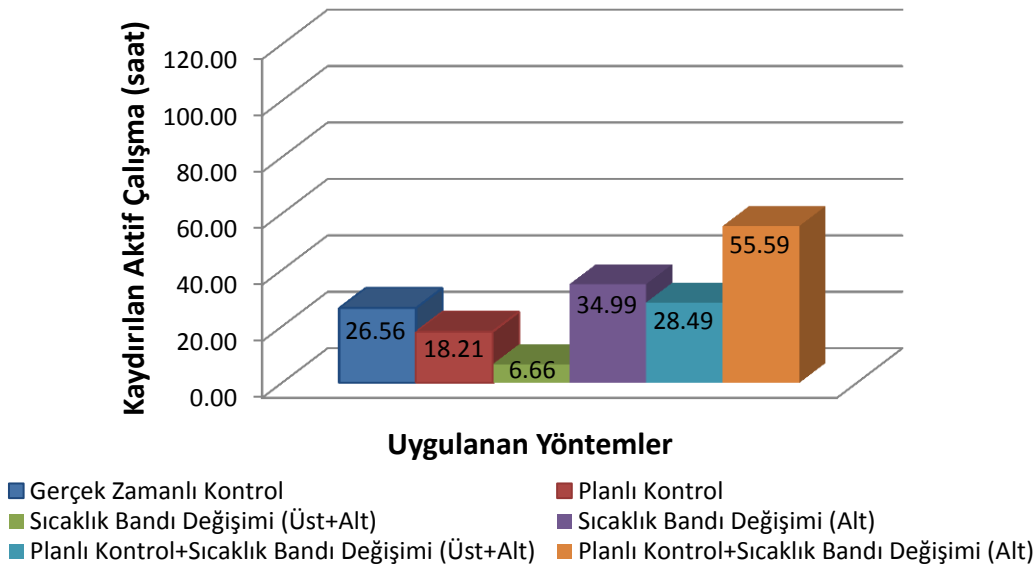
G sınıfı, büyük ısı kapasiteli buzdolabı için ise en iyi sonuç planlı kontrol ile 2 numaralı yöntem uygulanarak elde edilmiştir. Üst ve alt sınırlara yakınsamalı sıcaklık bandı değişiminin uygulandığı 3 numaralı yöntem de ikinci en iyi sonuç olarak göze çarpmaktadır. 4,5 ve 6 numaralı yöntemler ile de 3 numaralı yöntemle yakın sonuçlar bulunmuştur.

G sınıfı buzdolabında, planlı kontrol ve sıcaklık bandının üst ve alt sınırlara yakınsamalı değişimi yöntemlerinin (2 ve 3 nolu yöntemler) A sınıfı buzdolabına göre daha başarılı olmasının başlıca sebebi, G sınıfı buzdolabının sahip olduğu büyük ısı kapasitedir. Uzun soğutma ve ısınma zamanlarıyla çalışan bu yükün yönetim potansiyeli daha büyüktür.

7.4.2 Güneşli periyotlara kaydırılan aktif çalışma zamanları

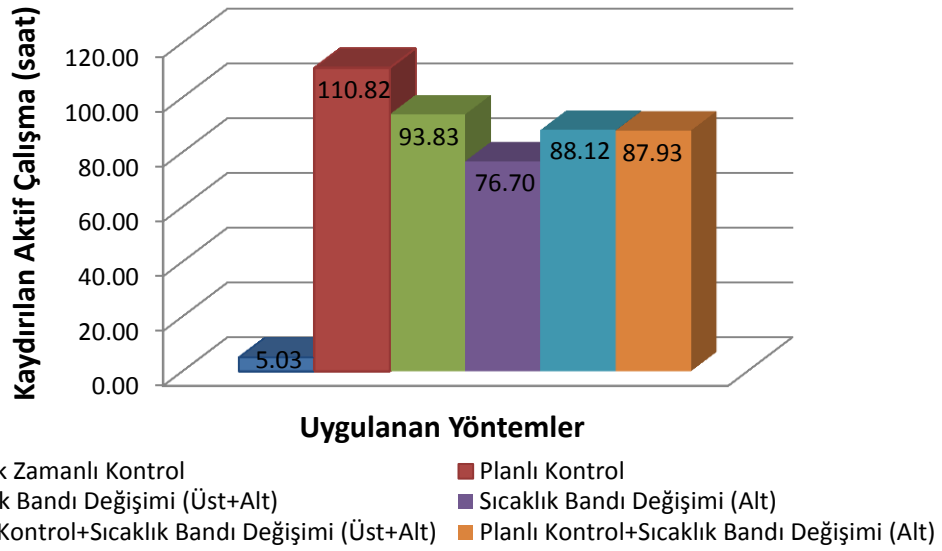
Bu değer, şebekeden çekilen enerji miktarındaki değişimin, yönetilen yükün çalışırken talep ettiği ortalama güce bölünmesiyle hesaplanır. Kullanıcılar açısından özellikle önem arz eden bir kriterdir. Analiz sonucunda, yük yönetim uygulamaları ile yönetilen cihazın kaç saatlik işinin güneş enerjisinden yararlanılarak yapılabileceği ortaya çıkmaktadır. Bazı uygulamalarda, güneşli zamanlara kaydırılan tüketim miktarı büyük bir değer olsa dahi, yüksek ortalama talebe sahip bir yükün yıllık çalışmasının az bir kısmına karşılık gelebilir. Bu kriter, kullanıcıların yük yönetimi uygulamalarında kullanılmak üzere hangi yükü tercih edebilecekleri konusunda karar vermelerine yardımcı olabilir. Güneşli periyotlara kaydırılan aktif çalışma zamanları kavramının, yük yönetimi uygulamalarının sonuçlarının kullanıcılar tarafından daha açık bir biçimde anlaşılmasına da katkısı olabilir. Çeşitli anketler, reklamlar ve eğitim aktivitelerinde de bu kriterden yararlanılabilmesi mümkündür.

Yerel üretimin yeterli olduğu periyotlara kaydırılan aktif çalışma zamanları açısından A sınıfı buzdolabı için elde edilen sonuçlar Şekil 7.6'da verilmiştir.



Şekil 7.6 : A sınıfı buzdolabı için yeterli üretim zamanlarına kaydırılan çalışma

G sınıfı buzdolabı bulunan sonuçlar ise Şekil 7.7'de verilmiştir.



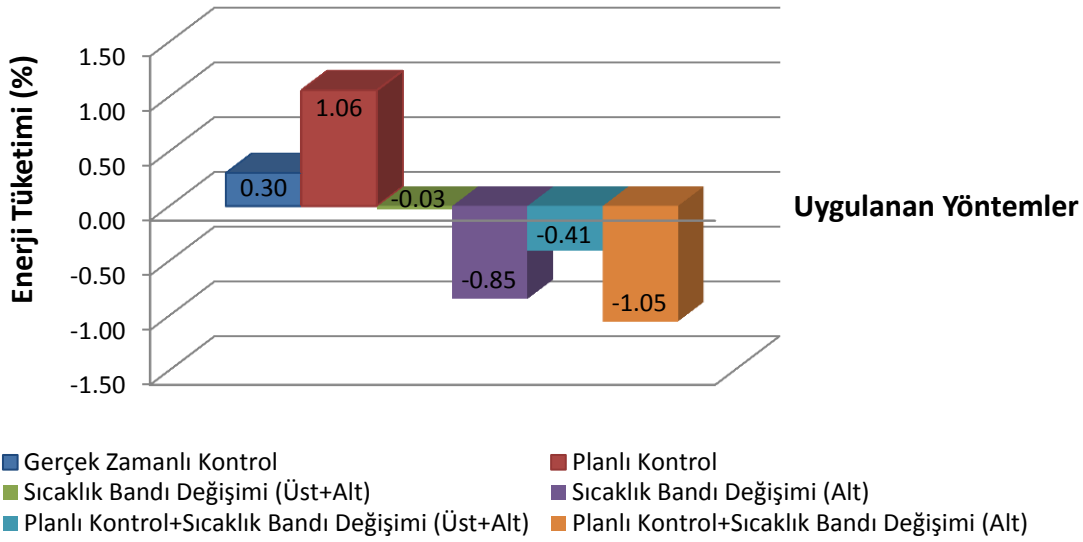
Şekil 7.7 : G sınıfı buzdolabı için yeterli üretim zamanlarına kaydırılan çalışma

Güneşli periyotlara kaydırılan aktif çalışma zamanı, şebekeden çekilen enerji değişimi üzerinden hesaplandığı için, yöntemler arasında bir önceki alt başlıktakine benzer bir ilişki görünmektedir. A sınıfı buzdolabında 55 saat, G sınıfı buzdolabında ise 110 saate kadar aktif çalışmanın, yük yönetim yöntemleri ile güneşli periyotlara kaydırılabileceği tespit edilmiştir. A sınıfı buzdolabının güneşli periyotlara aktarılan enerji tüketimi miktarı Wh olarak G sınıfının değişim sonuçlarına nazaran oldukça az görünse de, aktif çalışma zamanları açısından bakıldığında yükün yıllık çalışmasının hatırı sayılır bir kısmı olarak göze çarpmaktadır.

7.4.3 Yıllık elektrik tüketimindeki değişim

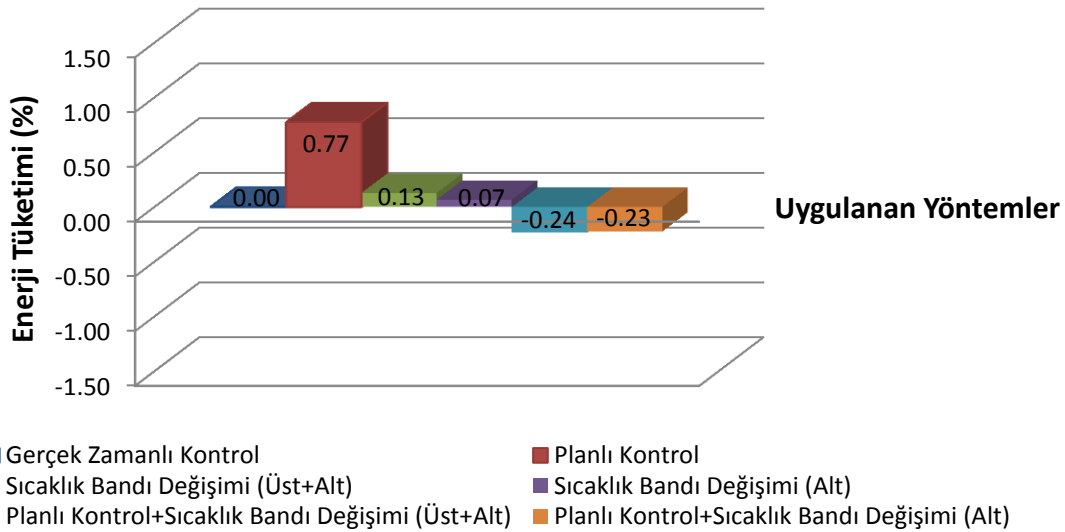
Yükün yıllık enerji tüketimindeki değişim de, yönetim stratejilerinin değerlendirilmesinde göz önüne alınması gereken başlıca kriterlerdendir. Bazı talep yönetimi yöntemleri sonucu yıllık elektrik tüketiminde azalma görülebileceği gibi, bazı yöntemler sonucunda da artışlar ortaya çıkması mümkündür. Fazladan tüketimler, yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanırsa bile minimize edilmelidir. Yönetilen yükün yıllık elektrik tüketiminde sağlanabilecek düşüşler ile yerel üretim tesislerinin diğer yükleri daha fazla besleyebilmesi mümkündür.

A sınıfı buzdolabının yıllık elektrik tüketimindeki değişim yüzdeleri Şekil 7.8'de gösterilmiştir.



Şekil 7.8 : A sınıfı buzdolabının yıllık tüketimindeki değişim yüzdesi

G sınıfı buzdolabı için değişim yüzdeleri Şekil 7.9’da bulunmaktadır.



Şekil 7.9 : G sınıfı buzdolabının yıllık tüketimindeki değişim yüzdesi

A sınıfı buzdolabı için sonuçlar enerji miktarı cinsinden Çizelge 7.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.8 : A sınıfı buzdolabı için yıllık enerji tüketimindeki değişim

Kullanılan Yöntem	Enerji Değişim Miktarı (Wh)
1	341.04
2	1198.64
3	-36.56
4	-963.49
5	-464.29
6	-1197.09

G sınıfı buzdolabı için ise sonuçlar Çizelge 7.9’da bulunmaktadır.

Çizelge 7.9 : G sınıfı buzdolabı için yıllık enerji tüketimindeki değişim

Kullanılan Yöntem	Enerji Değişim Miktarı (Wh)
1	20.00
2	6066.67
3	1003.33
4	516.67
5	-1846.67
6	-1763.33

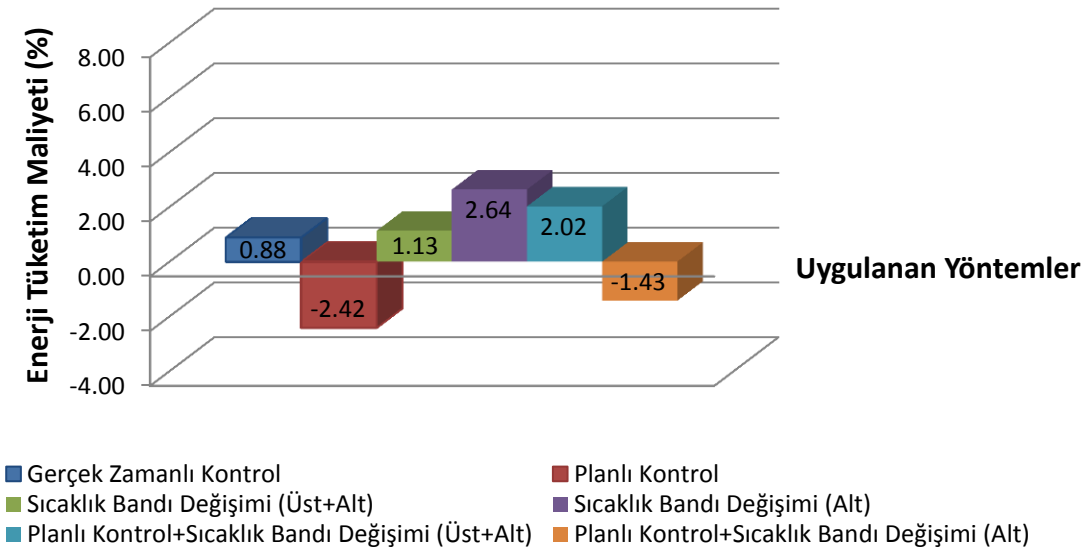
Yıllık enerji tüketimleri yük yönetimi yöntemleri uygulandığı takdirde ciddi miktarda değişmemektedir. Tüketimdeki en fazla artış, her iki buzdolabında da planlı kontrole dayalı 2 numaralı yönetim yönteminde tespit edilmiştir. Diğer yandan, planlı kontrolün sıcaklık bandı değişimi stratejileriyle birlikte uygulandığı 5 ve 6 numaralı yöntemlerde, bu olumsuz etki giderilmiş ve yıllık tüketimde az da olsa düşüşler elde edilebilmiştir. Sıcaklık bandı değişimi yöntemleri arasındaki ilişkiye bakıldığında ise sadece alt sınıra yakınsamalı 4 numaralı yöntemin, hem alt hem de üst sınıra yakınsamalı 3 numaralı yönteme göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

7.4.4 Yıllık elektrik faturasındaki değişim

Yük yönetim yöntemlerinin ekonomik etkileri, güneş panelleri olmayan ve güneş panelleri olup yük yönetimi yapılmayan durumlarla karşılaştırılmıştır. Çok Zamanlı Tarifeye Göre Kontrol bölümünde kullanılan tarife, bu kısımdaki analizlerde de kullanılmıştır [63]. Bu kriterin değerlendirilmesi sonucu, mevcut Çok Zamanlı Tarife'nin böyle bir uygulama için ne kadar yeterli olduğunun incelenmesi mümkündür. Bu analiz, gelecekte kullanılacak tarife yapıları, ekstra ödemeler ve teşviklerin planlanmasına da yardımcı olabilir.

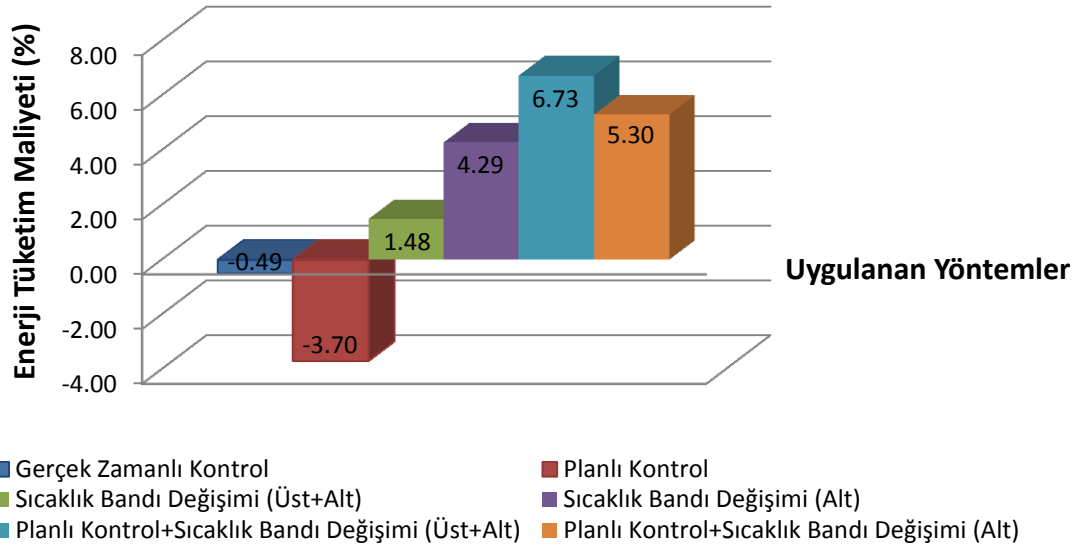
Öncelikle her iki buzdolabının fotovoltaik panelsiz ve fotovoltaik panelli; ama kontrolsüz çalışma durumları arasındaki yıllık elektrik faturası farkı analiz edilmiştir. Tarife ve yük talebi uygulamaya göre farklılık gösterse dahi, yöntemlerin birbirlerine karşı olan ekonomik faydaları benzer olacaktır. Bu nedenle elektrik faturasındaki değişimler yüzde olarak değerlendirilmiştir. Buzdolabına ek olarak diğer termostat kontrollü yükler de bu uygulamalarda kullanılarak elde edilebilecek tasarruf miktarı arttırılabilir. Analiz sonuçlarına göre fotovoltaik panel kullanımı, normal bir sisteme göre A sınıfı buzdolabının yıllık elektrik faturasında %50, G sınıfı buzdolabının yıllık elektrik faturasında ise %44'lük bir tasarruf sağlayabilmektedir.

Yük yönetim yöntemleri ile, çok zamanlı tarifeyi tercih etmiş bir kullanıcının yıllık elektrik faturasında ne gibi değişimler olacağı incelenmiştir. A sınıfı buzdolabı için yıllık elektrik faturasındaki değişimler Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10: A sınıfı buzdolabının yıllık elektrik faturasındaki değişim yüzdesi

G sınıfı buzdolabının yıllık elektrik faturasındaki değişimler Şekil 7.11'de yüzdeler halinde verilmiştir.



Şekil 7.11: G sınıfı buzdolabının yıllık elektrik faturasındaki değişim yüzdesi

Yıllık elektrik faturasındaki değişimlere göre en çok tasarruf planlı kontrole dayalı 2 numaralı yöntem ile elde edilmiştir. Sıcaklık bandı değişimi yöntemlerinin tamamı, puant zamana ertelenen tüketimler sebebiyle daha yüksek faturalara sebebiyet vermektedir.

Ekonomik analiz sonuçları mevcut çok zamanlı tarifenin bu gibi uygulamalarda kullanıcılar açısından yeterince teşvik edici olmadığını göstermektedir. Faturalarda en iyi tasarruf yüzdeleri dahi oldukça düşük değerlerdedir. Diğer yandan, yeterli yerel üretim periyotlarında buzdolabının enerji talep etmediği zamanlarda üretilen enerjinin de diğer yükler ile kullanımı veya şebekeye verilmesine dayalı kazanımlar olması muhtemeldir. Buna rağmen, tüketicilerin yerel üretime göre çalıştırılacak yük yönetimi uygulamalarına katılımı için farklı tarife yapıları, ek teşvikler vb. uygulamalara başvurulması gerekmektedir.

7.4.5 Genel değerlendirmeler

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, G sınıfı buzdolabı gibi büyük ısı kapasiteye sahip yükler için planlı kontrole dayalı 2 numaralı yöntem en iyi sonuçları vermiştir. A sınıfı buzdolabı gibi daha küçük ısı kapasiteye sahip termostat kontrollü yükler için ise, planlı kontrol ve sadece alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişiminin beraber uygulandığı 6 numaralı yöntem en iyi potansiyeli vadetmektedir.

Gerçek zamanlı kontrole dayalı 1 numaralı yöntem, tüm yöntemler içerisinde en az potansiyeli vadetmiştir. Tahmin sistemlerine ihtiyaç duymaması ve kolay uygulanabilir olması gibi olumlu özellikler, sıcaklık bandı değişimine dayalı, daha iyi yük yönetim performansına sahip 3 ve 4 numaralı yöntemlerde de mevcuttur.

Sıcaklık bandı değişimine dayalı yöntemler kendi içlerinde incelendiklerinde, küçük ısı kapasiteli yükler için sadece alt sınıra yakınsamalı yöntemin daha başarılı olduğu tespit edildi. Büyük ısı kapasiteli yükler için ise hem alt hem de üst sınıra yakınsamalı yaklaşım daha başarılı bulundu.

İsabetli yakın dönem yük ve üretim tahminleri yapılabildiği takdirde planı kontrol ve sadece alt sınıra yakınsamalı sıcaklık bandı değişimi en tercih edilebilir çözümler olarak öne çıkmaktadırlar.

8. YORUMLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada öncelikle günümüz şebekesinde artan enerji tüketimleri, puant talep, yüksek karbon salınımları, enerjide dışa bağımlılık gibi birçok sorunla karşı karşıya olduğu belirtilmiştir. Akıllı Şebeke uygulamalarının ise çift yönlü enerji akışı, şebekede hareket eden büyük güçlü yükler, kesintili ve doğrudan depolanamayan kaynaklara dayalı enerji üretimi gibi dikkat edilmesi ve tedbir alınması gereken riskli yönlerinin olduğuna dikkat çekilmiştir.

Talep Tarafı Yönetimi uygulamalarının günümüzde mevcut ve gelecekte muhtemel birçok zorluğun çözümünde kullanılabileceği alanlar tanımlanmıştır. Puant talebin azaltılmasının yanı sıra, yenilenebilir kaynaklardan üretimden daha verimli bir şekilde yararlanılabilmesi, tüketicilerin elektrik faturalarının olabildiğince azaltılabilmesi ve aşırı üretimin talep ile dengelenmesi gibi çeşitli alanlarda Talep Tarafı Yönetimi uygulamalarının kullanılma potansiyelinin olduğu belirtilmiştir.

Termostat kontrollü yüklerin, genel tüketimler içerisindeki oranı ve çalışma şekillerine dayanılarak Doğrudan Yük Kontrolü uygulamaları için tercih edilebilirliği incelenmiş ve önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Bina içi termostat kontrollü tüm yükleri, şebekedeki olaylara göre yönetebilecek bir esnek kontrol mantığı kurulmuştur. Tasarlanan yerel yük yöneticisi, şebeke olayları karşısında sade kontrol hedefleri ve basit kontrol hareketleriyle çalışabilecek bir yapıya sahiptir. Yük yöneticisinin şebekenin faydasını gözetmesinin yanısıra kullanıcıların faydalarını da hesaba katmasına önem verilmiştir. Farklı programlama dilleriyle yazılabilecek bu yönetim mantığı, çeşitli kontrol donanımları ve iletişim yapılarına uygun olacak şekilde uygulanabilme imkanına sahiptir. Ayrıca kontrol yapısında, gelişmekte olan standartlara da uyum sağlayabilecek şekilde değişiklikler yapılabilir.

Tasarlanan yerel yük yöneticisinin farklı karakteristiklere sahip buzdolapları üzerindeki yıllık performansı, Çok Zamanlı Tarifeye göre kontrol ve Yenilenebilir Kaynaklardan Dağıtık Üretime göre kontrol durumlarında incelenmiştir.

Buzdolaplarının yük yönetimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilebilir talep ve tüketim değişimlerinin şebeke açısından oldukça yeterli miktarlarda olduğu görülmüştür.

Yük yönetimi yaklaşımının günümüz tarifelerinde kullanıcıların elektrik faturalarına etkisi analiz edilmiş ve kullanıcıların bu uygulamalara katılabilmeleri için ek teşvikler sunulması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Yüksek ısı kapasiteye sahip yüklerin daha kaydırılabilir olduğu, küçük ısı kapasiteli yüklerin ise şebeke olaylarına daha hızlı cevap verebileceği analizler ile görülmüştür.

Tasarlanan yönetim yapısının sadece buzdolabı değil; su ısıtıcısı, klima, derin dondurucu gibi birçok farklı termostat kontrollü yükün yönetiminde de kullanılabilirliği mümkündür. İlerleyen çalışmalarda bu yüklerin de Talep Tarafı Yönetimi potansiyelleri analiz edilecek, farklı yüklerin beraber yönetimi üzerinde çalışılacaktır.

Yerel yük yönetim sisteminin başarısı için isabetli yük tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Saha uygulamalarında, kendi kendine öğrenme yeteneğine sahip modelleme sistemleri ile bu gereksinim karşılanabilir. Yük modelleme yaklaşımları da ilerleyen çalışmalara dahil edilecektir.

Yük yönetiminin dışarıdan gelebilecek yazılımsal saldırılara karşı koruma altında olması gerekmektedir. Siber Güvenlik açısından sistemi tehdit eden durumlar ve bunların nasıl önlenilebileceği ile ilerleyen çalışmalarda ilgilenecektir.

Termostat kontrollü yüklerin bir şebeke olayı karşısında toplu yönetimi esnasında, yükler arasındaki rastgelelik bozularak tekdüzelik ortaya çıkabilir. Bunun sonucunda da şebekede beklenmeyen puant talepler ve yük dalgalanmaları ortaya çıkabilir. Bu gibi olumsuzlukları önleyebilmek için yüklerin bölgesel ve merkezi yöneticilerle toplu kontrolü, üzerinde durulması gereken bir konudur. İlerleyen çalışmalarda yerel yöneticiler arası koordinasyon yaklaşımları incelenecektir.

Yük yönetim sisteminin şebeke tarafı birçok fayda sağlayabileceği analizler sonucunda açık bir biçimde görünmektedir. Kullanıcı tarafı faydaların ise çeşitli teşvikler, indirimler, özel tarifelerle arttırılabilirliği mümkündür. Yük yönetim sistemlerinin kullanıcılar tarafından benimsenmesini ve toplu kullanımını yaygınlaştıracak çeşitli yaklaşımlar da gelecekteki araştırma konularından biri olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Central Intelligence Agency** (2011). The World Factbook, *Publications*, <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2045.html>> , alındığı tarih: 26.02.2012.
- [2] **Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Araştırma, Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı** (2011). Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2011-2020). <<https://www.teias.gov.tr/projeksiyon/kapasiteprojeksiyonu2011.pdf>> , alındığı tarih: 26.02.2012.
- [3] **Dortolina, C.A. ve Nadira, R.** (2005). Estimating future demand a top down/bottom up approach for forecasting annual growths, in *Power Engineering Society General Meeting*, Houston, USA, Haziran 2005.
- [4] **Marwan, M. ve Kamel, F.** (2011). Demand Side Response to Mitigate Electrical Peak Demand in Eastern and Southern Australia, *Energy Procedia*, **12**, 133-142.
- [5] **Ontario Clean Air Alliance**, (2008). Air Quality Issues Fact Sheet #24- Reducing Peak Demand: How Ontario Can Expedite the Coal Phase Out by Reducing Peak Electricity Usage. *Air Quality Issues Fact Sheets*, <<http://www.cleanairalliance.org/files/active/0/fs24.pdf>> , alındığı tarih: 11.08.2012.
- [6] **Carpenter, T., Singla, S., Azimzadeh, P. ve Keshav, S.** (2012). The impact of electricity pricing schemes on storage adoption in Ontario. *The Third International Conference on Future Energy Systems: Where Energy, Computing and Communication Meet*, University of Waterloo, Canada, 9-11 Mayıs.
- [7] **Enerji Üretim A.Ş.** (2011). Yıllık Rapor 2011. <http://www.euas.gov.tr/apk%20daire%20baskanligi%20kitapligi/yillik_rapor_2011.pdf> , alındığı tarih: 30.07.2012.
- [8] **Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu** (2011). Faaliyet Raporu. <http://www.epdk.gov.tr/documents/strateji/rapor_yayin/yillik_faaliyet_raporlari/Sgb_Rapor_Yayin_Yillik_Faaliyet_Raporlari_2011.pdf>, alındığı tarih: 01.06.2012.
- [9] **U.S. Energy Information Administration** (2011). Electricity in the United States. *Energy Explained*, <http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=electricity_in_the_united_states#tab2>, alındığı tarih: 20.05.2012.

- [10] **United States Environmental Protection Agency** (2010). Sources of Greenhouse Gas Emissions, <<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/sources.html#ref2>>, alındığı tarih: 29.10.2012.
- [11] **Enerji Üretim A.Ş.** (2011). Sektör Raporu 2011, <http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/sector_raporu_euas_2011.pdf>, alındığı tarih: 29.07.2012.
- [12] **Luo, T., Ault, G. ve Galloway, S.** (2010). Demand Side Management in a highly decentralized energy future, in *45th International Universities' Power Engineering Conference*, Glasgow, United Kingdom, 31 Ağustos-3 Eylül.
- [13] **Callaway, D.S.** (2009). Tapping the energy storage potential in electric loads to deliver load following and regulation, with application to wind energy, *Energy Conversion and Management*, **50(5)**, 1389-1400.
- [14] **Castillo-Cagigal, M., Gutiérrez, A., Monasterio-Huelin, F., Caamaño-Martín, E., Masa, D. ve Jiménez-Leube, J.** (2011). A semi-distributed electric demand-side management system with PV generation for self consumption enhancement, *Energy Conversion and Management*, **52(7)**, 2659-2666.
- [15] **Bigler, T., Gaderer, G., Loschmidt, P. ve Sauter, T.** (2011). SmartFridge: Demand Side Management for the device level, in *16th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*, Wiener Neustadt, Austria, 5-9 Eylül.
- [16] **Shao, S., Pipattanasomporn, M. ve Rahman, S.** (2011). An approach for demand response to alleviate power system stress conditions, in *Power and Energy Society General Meeting*, Arlington, USA, 24-29 Temmuz.
- [17] **Gamauf, T., Leber, T., Pollhammer, K. ve Kupzog F.** (2011). A generalized load management gateway coupling smart buildings to the grid, in *AFRICON*, Vienna, Austria, 13-15 Eylül.
- [18] **Giorgio, A.D. ve Pimpinella, L.** (2012). An event driven Smart Home Controller enabling consumer economic saving and automated Demand Side Management, *Applied Energy*, **96**, 92-103.
- [19] **Stadler, M., Krause, W., Sonnenschein, M. ve Vogel, U.** (2009). Modelling and evaluation of control schemes for enhancing load shift of electricity demand for cooling devices, *Environmental Modelling & Software*, **24(2)**, 285-295.
- [20] **Zucker, R.** (2010). The Challenges in Achieving a Smart Grid: The BC Hydro Journey, <<http://icics.ubc.ca/comm-workshop/files/Zucker%20-%20Achieving%20a...Journey.pdf>>, alındığı tarih: 08.10.2012.

- [21] **Farhangi, H.** (2010). The path of the smart grid, *Power and Energy Magazine*, **8(1)**, 18-28.
- [22] **Ackermann, T., Andersson, G. ve Söder, L.** (2001). Distributed generation: a definition, *Electric Power Systems Research*, **57**, 195-204.
- [23] **Infield, D. ve Li, F.** (2008). Integrating micro-generation into distribution systems – a review of recent research, in *Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, Glasgow, Scotland, UK, Temmuz 2008.
- [24] **Watson, J., Sauter, R., Bahaj, B., James, P., Myers, L. ve Wing, R.** (2008). Domestic micro-generation: Economic, regulatory and policy issues for the UK, *Energy Policy*, **36**, 3095-3106.
- [25] **Salameh, Z. ve Nandu, C. V.** (2010). Overview of building integrated wind energy conversion systems, in *Power and Energy Society General Meeting*, Minneapolis, USA, Temmuz 2010.
- [26] **Kyoungsoo, R. ve Rahman, S.** (1998). Two-Loop Controller for Maximizing Performance of a Grid-Connected Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Power Plant, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **13(3)**, 276-281.
- [27] **Ackermann, T., Abildgaard, H., Smith, P. ve Winter, W.** (2005). System operation with high wind penetration, *IEEE Power and Energy Magazine*, **3(6)**, 65-74.
- [28] **Doorman, G.** (2012). Developments of the Hydroelectric Power Generation in Norway, in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) Europe 2012*, Berlin, Germany, Ekim 2012.
- [29] **Guarnieri, Mter, W.** (2011). When Cars Went Electric Part One, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, **5(1)**, 61-62.
- [30] **Collantes, G., ve Sperling, D.** (2008). The origin of California's zero emission vehicle mandate, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **42(10)**, 1302-1313.
- [31] **Sovacool, B.K. ve Hirsh, R.F.** (2009). Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to pul-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition, *Energy Policy*, **37(3)**, 1095-1103.
- [32] **Pipattanasomporn, M. ve Rahman, S.** (2011). Demand Response as a Load Shaping Tool in an Intelligent Grid With Electric Vehicles, *IEEE Transactions on Smart Grid*, **2(4)**, 624-631.

- [33] **Pu, M., Parry, E.L., Redfern, M.A. ve Dunn, R.W.** (2011). The Impact of Plug-In Electric Light Vehicles on the Electrical System for the University of Bath, in *46th International Universities' Power Engineering Conference*, Soest, Germany, 5-8 Eylül 2011.
- [34] **Parry, E.L. ve Redfern, M.A.** (2011). Exploiting Plug-in Vehicles to enable better Management of Electricity Demands and Generation, in *46th International Universities' Power Engineering Conference 2011*, Soest, Germany, 5-8 Eylül 2011.
- [35] **The European Road Transport Research Advisory Council** (2010). European Roadmap, Electrification of Road Transport, ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/technology-platforms/docs/roadmap-electrification-nov2010_en.pdf, alındığı tarih: 28.10.2012.
- [36] **Han, S., Han, S., ve Sezaki, K.** (2011). Estimation of Achievable Power Capacity fom Plug-in Electric Vehicles for V2G Frequency Regulation: Case Studies for Market Participation, *IEEE Transactions on Smart Grid*, **2(4)**, 632-641.
- [37] **Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. ve Whitely, S.** (2012). The technical, economic and commercial viability of the vehicle-to-grid concept, *Energy Policy*, **48**, 394-406.
- [38] **Huq, M.Z. ve Islam, S.** (2010). Home Area Network technology assessment for demand response in smart grid environment, in *20th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, Perth, Australia, 5-8 Aralık.
- [39] **Gellings, C.V.** (1985). The concept of demand-side management for electric utilities, *IEEE Proceedings*, **73(10)**, 1468-1470.
- [40] **Palensky, P., ve Dietrich, D.** (2011). Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, **7(3)**, 381-388.
- [41] **Infield, D.G., Short, J., Horne, C. ve Freris, L.L.** (2007). Potential for Domestic Dynamic Demand-Side Management in the UK, in *Power Engineering Society General Meeting*, Loughborough, UK, 24-28 Haziran.
- [42] **Alcázar-Ortega, M., Escrivá-Escrivá, G. ve Segura-Heras, I.** (2011). Methodology for validating technical tools to assess customer Demand Response: Application to a commercial customer, *Energy Conversion and Management*, **52(2)**, 1507-1511.
- [43] **Valencia-Salazar, I., Álvarez, C., Escrivá-Escrivá, G. ve Alcázar-Ortega, M.** (2011). Simulation of demand side participation in Spanish short term electricity markets, *Energy Conversion and Management*, **52(7)**, 2705-2711.

- [44] **Schmautzer, E., Aigner, M., Sakulin, M. ve Anaca, M.** (2011). Load potential for demand side management in the residential sector in Austrian Smart Grids, in *International Conference on Clean Electrical Power*, Graz, Austria, 14-16 Haziran.
- [45] **Yusta, J.M., Torres, F. ve Khodr, H.M.** (2010). Optimal methodology for a machining process scheduling in spot electricity markets, *Energy Conversion and Management*, **51(12)**, 2647-2654.
- [46] **Gellings C.W.** *The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response*, Lilburn, GA: The Fairmont Press, 2009, pp. 144-146.
- [47] **U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy** (2006). Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union, <<http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/EnEff%20Report%202006.pdf>>, alındığı tarih: 14.01.2012.
- [48] **European Commission, Joint Research Center** (2011). Buildings Energy Data Book. <<http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/default.aspx>>, alındığı tarih: 04.03.2012.
- [49] **Enerji Verimliliği Derneği** (2010). Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu. <http://www.enver.org.tr/modules/mastop_publish/files/files_4caeccbad1161.pdf>, alındığı tarih: 08.12.2011.
- [50] **Schleicher-Tappeser, R.** (2012). How renewables will change electricity markets in the next five years, *Energy Policy*, **48**, 64-75.
- [51] **U.S. Energy Information Administration** (2009). Residential energy consumption survey, <<http://www.eia.gov/consumption/residential/data/2009/>>, alındığı tarih: 13.01.2012.
- [52] **Atanasiu, B. ve Bertoldi, P.** (2008). Residential electricity consumption in New Member States and Candidate Countries, *Energy and Buildings*, **40(2)**, 112-125.
- [53] **Klobasa, M. ve Obersteiner, C.** (2009). Technical constraints on and efficient strategies for the integration of wind energy, *Environment, Climate Change, Energy Economics and Energy Policy*, **17(6)**, 885-906.
- [54] **Zehir, M. A. ve Bağrıyanık, M.** (2012). Demand Side Management by controlling refrigerators and its effects on consumers, *Energy Conversion and Management*, **64**, 238-244.
- [55] **Nest The Learning Thermostat** <<http://www.nest.com/>>, alındığı tarih: 12.08.2012.
- [56] **Navetas Energy Management** <<http://www.navetas.com/>>, alındığı tarih: 14.10.2012.

- [57] **EcoFactor** <<http://www.ecofactor.com/>>, alındığı tarih: 20.08.2012.
- [58] **Yang, Y., Littler, T., Sezer, S., McLaughlin, K. ve Wang, H.F.** (2011). Impact of cyber-security issues on Smart Grid, in *2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*, Manchester, UK, 5-7 Aralık.
- [59] **Matlab** <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>, alındığı tarih: 16.10.2012.
- [60] **Hermes, C.J.L., Melo, C., Knabben, F.T. ve Gonçalves, J.M.** (2009). Prediction of the energy consumption of household refrigerators and freezers via steady-state simulation, *Applied Energy*, **86(7-8)**, 1311-1319.
- [61] **Gupta, J.K., Gopal, R. ve Chakraborty, S.** (2007). Modeling of a domestic frost-free refrigerator, *International Journal of Refrigeration*, **30(2)**, 311-322.
- [62] **Lin, E., Ding, G., Zhao, D., Liao, Y., Yu, N. ve Yamashita, J.** (2011). Dynamic model for multi-compartment indirect cooling household refrigerator using Z-transfer function based cabinet model, *International Journal of Thermal Sciences*, **50(7)**, 1308-1325.
- [63] **Björk, E., Palm, B. ve Nordenberg J.** (2010). A thermographic study of the on-off behavior of an all-refrigerator, *Applied Thermal Engineering*, **30(14-15)**, 1974-1984.
- [64] **Angeli, D. ve Kountouriotis, P.A.** (2012). A Stochastic Approach to “Dynamic-Demand” Refrigerator Control, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, **20(3)**, 581-592.
- [65] **Chauvin Arnoux CA8332B Qualistar** <http://www.chauvin-arnoux.fr/produit/Famille_detail.asp?idFam=1442&idPole=1>, alındığı tarih: 05.06.2012.
- [66] **Fluke 41B Power Meter** <<http://www.fluke.com/fluke/usen/Discontinued-Products/41B.htm?PID=54783>>, alındığı tarih: 27.05.2012.
- [67] **Fourtec Microlog** <<http://www.fourtec.com/product/microlog>>, alındığı tarih: 29.05.2012.
- [68] **Björk, E. ve Palm, B.** (2006). Performance of a domestic refrigerator under influence of varied expansion device capacity, refrigerant charge and ambient temperature, *International Journal of Refrigeration*, **29(5)**, 789-798.
- [69] **Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu** (2011). Ulusal Tarifeler, <<http://www.epdk.org.tr/web/elektrik-piyasasi-dairesi/ulusaltarifeler/>>, alındığı tarih: 28.07.2011.

- [70] **Batman M.A., Bağrıyanık, F.G., Aygen, Z.E., Gül, Ö. ve Bağrıyanık M.** (2011). An evaluation of demand side management in a grid-connected system in Istanbul, Turkey, in *North American Power Symposium*, Boston, USA, 4-6 Ağustos.
- [71] **Suna, D., Polo, A.L. ve Haas, R.** (2006). Demand side value of PV. Repoert of IEE project PV Upscale-Urban Scale Photovoltaic Systems, <http://www.pvupscale.org/IMG/pdf/D5.2_Report_Demand_Side_Value_of_PV_01.07.pdf>, alındığı tarih: 17.09.2012.
- [72] **Myers, D.R.** (2005). Solar radiation modeling and measurements for renewable energy applications: data and model quality, *Energy Refrigeration*, **30(9)**, 1517-1531.
- [73] **Lorenz, E., Hurka, J., Heinemann, D. ve Beyer, H.G.** (2009). Irradiance Forecasting for the Power Prediction of Grid-Connected Photovoltaic Systems, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **2(1)**, 2-10.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mustafa Alparslan Zehir

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar, 24/08/1988

E-Posta: zehirm@itu.edu.tr

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Araştırma Görevlisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü (Aralık 2011-Halen)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- **Zehir, M.A.**, Bağrıyanık, M., Demand Side Management by controlling refrigerators and its effects on consumers. *Energy Conversion and Management*, 64, 238-244, Aralık 2012. (SCI-A)

Uluslararası Hakemli Konferanslarda Sunulan Bildiriler

- **Zehir, M.A.**, Bağrıyanık, M., Evaluation of Management Strategies for Thermostatic Loads in Smart Grid. *3rd Innovative Smart Grid Technologies Europe Conference (ISGT) 2012*, 14-17 Ekim 2012, Berlin, Almanya.
- **Zehir, M.A.**, Bağrıyanık, M., Demand Side Management Potential of Refrigerators with Different Energy Classes. *47th Universities' Power Engineering Conference (UPEC) 2012*, 4-7 Eylül 2012, Londra, İngiltere.