TOK
Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü



11-14 EYLÜL 2019

Editörler
Dr. Öğr. Üyesi Akın Taşcıkaraoğlu
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Yıldız Taşcıkaraoğlu
Faruk Özdemir

TOK'2019 Ulusal Konferansı

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Atatürk Kültür Merkezi Salonları

www.tok2019.mu.edu.tr

YATAĞAN TERMİK ENERJİ
KOÇ MERMER
MİKRODEV
CM sense
PILATES STUDIO
BOMAZ TRAINING METHOD

IEC61499 Standardına Uygun Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulama ve Analizi 592

Otomatik Video Kalite Denetimi ile Sıkıştırma Başarımı Optimizasyonu 596

AKILLI ŞEBEKELER (Özel Oturum)

Fotovoltaik Üretim Sistemine Sahip Elektrikli Araç Otoparkı için Akıllı Şarj Yönetim Sistemi 601

Fotovoltaik Tabanlı Mikro Şebekeler için İki Eksenli Sensörsüz Güneş Takip Sisteminin Geliştirilmesi 607

Mikro Şebekelerde Ada Mod Çalışmanın Geliştirilen Sürekli Dalgacık Dönüşümü Yöntemi ile Gerçek Zamanlı Olarak Tespiti 611

LED Tabanlı Akıllı Aydınlatma Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi 615

Sürdürülebilir Şehirlerin Su Şebeke Sistemlerinde Kullanılma Potansiyeli Bulunan Talep Cevabı Programlarının Sürdürülebilir Şehir Kavramlarındaki Rolü ve Önemi Üzerine Bir İnceleme 622

Dağıtık Şebekelerde Güç Kalitesi İçin Akıllı Yaklaşımlar 628

YAZARLAR 632

Sürdürülebilir Şehirlerin Su Şebekelerinde Enerji ve Maliyet Yönetimi için Talep Cevabı Programlarının Rolü ve Önemi Üzerine Bir İnceleme

A Study of the Role and Importance of Demand Response Programs for Energy and Cost Management in Sustainable Cities' Water Networks

Yavuz YALÇIN[1], *Kenan YİĞİT*[2], *Bora ACARKAN*[3]

[1]Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
{yavuz.yalcin}@std.yildiz.edu.tr

[2]Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
kyigit@yildiz.edu.tr

[3]Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
acarkan@yildiz.edu.tr

Özetçe

Elektrik şebeke sistemlerine entegre edilen farklı enerji üretim sistemleri mevcut şebeke yapısının değişmesine neden olmaktadır. Bu süreç elektrik şebekesinde üretim-tüketim dengesini sağlamada bir dizi problemi de beraberinde getirmektedir. Bu problemler elektrik şebeke işleticileri tarafından yan hizmetlerle bertaraf edilmeye çalışılır. Bu çalışmada, üretim-tüketim dengesini sağlayan ve tüketici tarafının kritik anlarda şebekeye destek olarak ekonomik kazanç sağlayabileceği talep cevabı programlarının rolü ve önemi incelenmiştir. Ülkelerde uygulanan talep cevabı programları ve bu programlarının Türkiye genelinde uygulanma potansiyeli araştırılmıştır. Ayrıca, sürdürülebilir şehir kavramlarının önemli bir parçası olan su dağıtım şebekelerinde talep cevabı programlarının kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda, Türkiye'de en büyük enerji tüketim potansiyeline sahip İstanbul ili dikkate alınarak talep cevabı programlarının sağlayacağı faydalar sunulmuştur. Bu sayede, su terfi merkezlerinin elektrik enerjisi tüketimlerini, yürütmekte olduğu faaliyetleri sekteye uğratmadan ekonomik ve teknik açıdan uygun saat dilimlerine kaydırarak gerçekleştirmesi amaçlanmıştır. Böylece, elektrik şebekesi aşırı yüklenmelerden korunacak ve üretim-tüketim dengesi problemlerine çözüm sunulacaktır.

Abstract

Different energy generation systems integrated into the electricity grid systems cause the change of the existing grid structure. This process brings with a number of problems in the generation-consumption balance in the electricity network. These problems are tried to be eliminated with a ancillary services by the electricity network operators. In this study, the role and importance of demand response programs that provide the generation-consumption balance and which can be used by the consumer to provide economic gain in critical moments are examined. The demand response programs implemented in the countries and the potential implementation of this program in Turkey are studied. In this context, the benefits of demand response programs considering the Istanbul province where has the biggest energy consumption potential in Turkey are presented.

In this way, it is aimed to realize the shifting electricity consumption to appropriate time zones in terms of economic and technical without affecting the normal activities of the water transfer stations. Thus, the electricity network will be protected from overloads and the solutions to the problems of generation-consumption balance will be provided.

1. Giriş

Elektrik enerjisine olan talebin hızlı artışı, bu taleplerin sürekli ve kesintisiz bir şekilde karşılanma isteği özellikle şebeke işletmecilerini farklı şebeke yönetim modelleri arayışı içerisine itmiştir [1]. Ayrıca fosil kaynaklardaki azalış trendi ve çevresel kaygıların artış, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji teknolojileri ile birlikte talep tarafının da bu denklemin içinde kendisine yer bulmasına sebep olmuştur [2]. Rüzgâr ve güneş gibi kesintili sağlanabilen yenilenebilir enerji kaynaklarındaki hızlı artış beraberinde belirsizlikleri ve dengesizlikleri de getirdiğinden talep tarafı aksiyomları her geçen gün önem kazanmıştır [3]. Günümüzde elektriğin enerjisi üretiminin yeniden yapılandırılması ile sistem işletmeciliği anlayışı da değişmiştir. Klasik anlayışta talep ne zaman olursa olsun karşılanma gibi bir istek mevcutken, yeni

gelişen yapıda ise sistemin en verimli olduğu zamanın talepteki dalgalanmanın en az olduğu dönem olduğu, dolayısıyla dalgalanmanın minimize edilmesi isteği bulunmaktadır.

Elektrik şebekesinin güvenilir bir şekilde çalışması, üretim ve tüketim taraflarındaki denge ile mümkün olur. İlk bakışta bu denge kolay ve kontrol edilebilir bir problem olarak gözükse de üretim birimlerindeki zorunlu kesintiler, iletim ve dağıtım hatlarındaki problemler ve arz ve talebin hızlı değişimi sebebiyle bu denge kolay sağlanamaz. Elektrik altyapısının maliyet yoğun yatırımlar arasında yer alması sebebiyle talep tarafında alınacak aksiyomlar ve uygulanacak teşvikler altyapı yatırımlarına kıyasla daha ucuz olur. Bu sebeple son yıllarda şebeke işleticilerinin talep tarafı aksiyomlarına önem verdiği görülmektedir [4]. Elektrik şebekelerinin yeniden yapılandırıldığı bu yaklaşımla birlikte, kullanılan altyapının tüketim tarafıyla karşılıklı iletişim halinde olan, anlık olarak takip ve kontrol edilebilen sistemler olması da bir gereklilik halini almıştır. Akıllı şebekeler ve talep cevabı kavramları da elektrik şebekelerinde daha verimli ve etkin bir yönetim sağlama ve maliyeti düşürme amacıyla gündeme gelmiştir [5].

Çalışmada, talep cevabı programlarının rolü ve önemi incelenmiştir. Ülkelerde uygulanan talep cevabı programları ve bu programlarının Türkiye genelinde uygulanma potansiyeli araştırılmıştır. Ayrıca, sürdürülebilir şehir kavramlarının önemli bir parçası olan su dağıtım şebekelerinde talep cevabı programlarının kullanılabilirliği incelenmiştir.

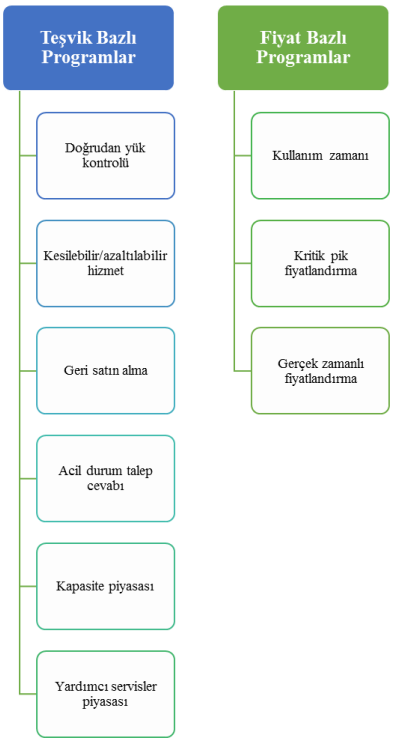
2. Talep Cevabı Programları

Elektrik şebeke yatırımlarının oldukça pahalı olması sebebiyle, üretim ve tüketim arasında ortaya çıkabilecek dengesizliği minimize etmek amacıyla kullanılmaya başlanan talep cevabı programları, tüketicilerin talep eğrilerinde meydana gelen değişimleri takip eden ve elektrik fiyatlarının zamana göre değişimlerine cevap veren bir işletme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın bir başka bir tanımı da, şebekenin güvenilirliği ya da elektrik satış pazarındaki fiyatlar kontrol dışı bir hal aldığında katılımcılara yapılan bazı ilave ödemelerle anlık talebi düşürme çabasıdır. Genel olarak tüketiciler talep cevabı programlarına üç şekilde katılım sağlarlar [4].

- Pik zaman dilimlerinde ve fiyatların yüksek olduğu anlarda elektrik tüketimini azaltabilir ya da durdurabilir. Bu davranış tüketicinin konfor şartlarından bir süre ödün vermesine ve kullanılan ekipmanın ayarlarının geçici olarak değiştirilmesine neden olabilir.
- Diğer bir yöntemde ise tüketici pik zamanlarda ve fiyatların yüksek olduğu zamanlarda elektrik kullanımını düşürerek şebekeyi bir miktar rahatlatabilir.
- Son tepki yönteminde ise katılımcılar kendi elektriğini üreterek olası tüketim değişikliklerinden şebekenin minimum düzeyde etkilenmesini sağlarlar. Böylece tüketici sadece ihtiyacı kadar elektriği şebekeden talep edeceğinden talep değişimi hiç ya da çok az olacaktır.

Talep cevabı programları geleneksel olarak teşvik bazlı programlar ve fiyat bazlı programlar olmak üzere iki ana başlık altında toplanır [6]. Teşvik bazlı programlar kendi içinde doğrudan yük kontrolü, kesilebilir/azaltılabilir hizmet, geri satın alma, acil durum talep cevabı, kapasite piyasası ve yardımcı servisler piyasası olmak üzere gruplara ayrılırken, fiyat bazlı programlar kullanım zamanı, kritik pik fiyatlandırma ve gerçek zamanlı fiyatlandırma olmak üzere gruplandırılır.

Şekil 1'de talep cevabı programlarını sınıflandırılması gösterilmiştir [7].



Şekil 1: Talep cevabı programlarının sınıflandırması

Günümüzde şebeke işletmecileri daha çok müşteriyi sistemlerine dâhil etmek için yeni talep cevabı programları arayışı içindedir. Bu sebeple talep cevabı programlarının asıl amaçlarını ortaya koyan ekonomiklik, güvenilirlik ve yardımcı servisler gibi daha nesnel ölçütlerle sınıflandırma ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Şekil 2'de talep cevabı programlarının amaca dayalı sınıflandırılması gösterilmiştir [7].



Şekil 2: Talep cevabı programlarının amaca dayalı sınıflandırması

2.1. Talep Cevabı Programlarının Katılımcılara Sunduğu Fayda ve Zorluklar

Talep cevabı programlarının en önemli noktalarından biri pazarın sınırlarının ve olası fırsatlarının belirlenmesidir. Böylece programlara katılım sağlayacak paydaşlar elde edeceği faydaları ya da karşılaşabilecekleri zorlukları görmüş olurlar. Tablo 1'de farklı katılımcılara göre faydalar ve zorluklar özetlenmiştir [7].

Tablo 1: Farklı katılımcılara göre faydalar ve zorluklar

Piyasa katılımcısı	Faydalar	Zorluklar
Halk	Toplam enerji maliyetinin düşmesi	Uygun teşviklerin sağlanamaması
Düzenleyici	Daha düşük enerji maliyeti- ılımlı piyasa	Talep cevabını özendirici yolların belirlenmesi
Sistem İşleticisi	Garanti edilmiş şebeke güvenilirliği ve adil piyasa	Haberleşme ve veri sistemlerinin entegrasyonu
Enerji Verimliliği Şirketleri	Talep cevabını desteklemek için enerji ile ilgili ürünlerin ve hizmetlerin kullanımı	Herhangi bir teşvik alınmaması
Talep cevabı hizmet sağlayıcıları	Pik zamanlarda sanal üretim tesisi olarak düşük işletme masrafı	Hedef pazar seçimi ve tahmin edilebilir nakit akışı
Perakendeci	Daha rekabet edebilir ve daha karlı	Talep cevabı ve veri yönetim sistemleri ile ilgili personel alımı
Dağıtım şirketleri	Şebeke verimliliğinin geliştirilmesi	Düzgün ve eğitimli perakende satış personeli
Müşteriler	Doğrudan finansal ödül	Sorumluluklara karşı hafif kalan katılım faydaları

Talep cevabı programlarının uygulanmasıyla enerji arzının genel maliyetlerinin nasıl düşürüldüğünü ve topluma nasıl fayda sağladığını anlatmak, programların başarıya ulaşması için oldukça önemlidir. Çünkü, katılımcılarda yeterli motivasyon sağlanamazsa beklenen teknik, ekonomik ve sosyal faydalar elde edilemez. Talep cevabı programlarından hem toplumun hem de elektrik piyasasının karşılıklı fayda sağlaması piyasa düzenleyicileri açısından beklenen çıktıların başında gelmektedir. Bu yüzden düzenleyiciler için en büyük zorluk talep cevabı programlarının özendirici yollarının belirlenmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Şebeke güvenilirliğinin ve piyasadaki pazar payının adil olmasının sağlanması sistem işleticilerinin ana sorumluluklarından biridir. Talep cevabı programları bu konuların ikisine birden çözüm üretebilecek potansiyeldedir. Ancak bu hususun gerçekleşebilmesi için yeni iletişim ve ölçüm sistemlerinin entegrasyonu gereklidir. Enerji kullanan birçok ürün ve hizmet talep cevabı programlarına kapasite sağlayabilir. Özellikle enerji verimliliği danışmanlığı hizmeti veren şirketler hizmetlerini geliştirmede ve karlılıklarını arttırmada talep cevabı programlarını kullanabilmektedir. Ancak enerji verimliliği danışmanlığı sektörü talep cevabı programlarından özel destek alamamakta bu da sektör adına bir zorluk olarak öne çıkmaktadır.

Perakendeciler ve dağıtım şirketleri tarafında da özellikle nitelikli personel bir handikap olarak talep cevabı programlarının başarısını sıkıntıya düşürebilmektedir. Tüm bunların yanında altyapı konusu da halen dünya genelinde akıllı şebeke ve talep cevabı programlarının önündeki en büyük engellerden biri olarak görülmektedir.

2.2. Ülkelerde Uygulanan Talep Cevabı Programları

Dünyanın birçok ülkesinde uzun süredir devam eden akıllı şebeke çalışmaları talep cevabı programlarının uygulanmasını da beraberinde getirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avustralya, Kanada ve Finlandiya gibi ülkelerin elektrik piyasasında talep cevabı programları halen uygulanmaktadır. Tablo 2'de bazı ülkelerdeki talep cevabı uygulamaları ve çeşitleri gösterilmiştir [7].

Tablo 2: Ülkelerde uygulanan talep cevabı programları

Ülke	İşletmeci	Program	Sınıfı
ABD	ISONE	Gerçek zamanlı talep cevabı	Güvenilirlik
		Gerçek zamanlı fiyat cevabı	Ekonomik
		Gerçek zamanlı profil cevabı	Güvenilirlik
		Gün öncesi yük cevabı	Ekonomik
ABD	NYISO	Acil durum talep cevabı	Güvenilirlik
		Gün öncesi talep cevabı	Ekonomik
		Kurulu kapasite özel durum kaynağı	Güvenilirlik
		Talep tarafı yardımcı hizmetler	Yardımcı
ABD	CAISO	Acil durum talep cevabı	Güvenilirlik
		Katılımcı yük cevabı	Yardımcı
		Vekil talep	Ekonomik
Avustralya	NEM	Davetli ticari ve endüstriyel program	Güvenilirlik
		Doğrudan yük kontrolü	Güvenilirlik
		Fiyat bazlı yük programı	Ekonomik
		Gönüllü yük azaltımı	Güvenilirlik
Kanada	IESO	Saat öncesi yük dağıtımı	Ekonomik
		Geçiş talep cevabı	Ekonomik
		Acil durum yük azaltımı	Güvenilirlik
Finlandiya	SK	Atılabilir yük	Güvenilirlik

3. Türkiye Elektrik Piyasasında Mevcut Durum

Bu bölümde, elektrik fiyat oluşumuna doğrudan etkisi olan elektrik borsası, gün içi piyasası, gün öncesi piyasası, dengeleme-uzlaştırma sistemi ve günümüz şartlarında elektrik şebekesinde uygulanan anlık talep kontrolünün işletimi gibi konular Türkiye açısından incelenmiştir.

Türkiye elektrik iletim sisteminin sürdürülebilir bir şekilde planlanması, işletilmesi ve kararlılığının sağlanmasında uygulanacak şartların belirlenmesi ile tüketicilere kaliteli ve yeterli elektrik enerjisi arz edilebilmesi için uygulanacak koşullarının belirlenmesi "Elektrik Şebeke Yönetmeliği" esaslarına göre gerçekleştirilmektedir [8]. Sistem işletmecisi rolünde bulunan Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), talep cevabı programı altında hali hazırda son kullanıcılara bir hizmet sunmasa da, çok yakın bir gelecekte bu sistemlere altyapı oluşturacak bir takım yan hizmetler sağlamaktadır.

Elektrik Şebeke Yönetmeliğinin 104'üncü maddesi uyarınca; işletme güvenilirliğinin sağlamak için primer frekans kontrolü, sekonder frekans kontrolü, bekleme yedeği hizmeti, anlık talep kontrolü, reaktif güç kontrolü, ve bölgesel kapasite kiralama gibi yan hizmetler kullanılmaktadır [9]. Söz konusu bu yan hizmetler tıpkı dünyada uygulanan talep cevabı programları gibi teknik gereksinimler ve sistem kısıtları gözetilerek yan hizmet anlaşmasını imzalamış veya TEİAŞ tarafından düzenlenen ihaleler ile belirlenmiş tüzel sistem katılımcıları tarafından sağlanır. Yan hizmetler arasında yer alan anlık talep kontrolü programının yakın gelecekte uygulamaya alınması muhtemel talep cevabı programları için de özellikle son kullanıcı tarafında bir örnek olacağını söylemek mümkündür.

3.1. Anlık Talep Kontrolü

Elektrik Şebeke Yönetmeliğinin tanımlar başlıklı dördüncü maddesinde anlık talep kontrolü "*...yan hizmet anlaşması kapsamında yer alan tüketim tesislerinin yüklerinin anlık talep kontrol röleleri ile otomatik olarak kesilmesi*" olarak tanımlanmaktadır.

Anlık talep kontrolünde TEİAŞ tarafından düzenlenen ihaleler aracılığıyla sistem frekansındaki dengesizliklerin önlenebilmesi için sisteme katkı sağlayacak tesisler belirlenerek bu tesisler ile talep kontrol hizmetine ilişkin yan hizmet anlaşması imzalanır.

Anlık tüketim ihalesinde belirtilen miktarın üzerinde tüketimi olan tesisler, kurulu bulunan anlık talep kontrol röleleri aracılığıyla hizmet sağlamak üzere ihalelere teklif vermektedir. Gelen teklifler sonrasında TEİAŞ en avantajlı maliyeti oluşturacak şekilde hizmeti satın almaktadır. Sistemde frekansın belirlenen eşik değerlerin altına düşmesi durumunda katılımcıların tüm talepleri TEİAŞ tarafından sonlandırılır. Satın alma işlemi sonrasında ödemeler aylık olarak ilgililerine yapılır. Hizmet alınmaması durumunda herhangi bir ödeme oluşmaz. Belirlenen kural çerçevesinde anlık talep kontrolü hizmeti azami 15 dakika sürmektedir [9].

3.2. Dengeleme ve Uzlaştırma

Elektrik şebekesinde arz ve talebin sürekli olarak dengede tutulması amacıyla bazı zamanlarda ilave yüklerin sisteme dâhil olması ya da bazı yüklerin sistemden atılması ihtiyacı oluşmaktadır. Bu dengeleme esnasında kimi katılımcılar alacaklı, kimi katılımcılarsa borçlu durumuna düşmekte ve hesap da uzlaştırma ile ortaya konmaktadır. Dengeleme mekanizması enerji satış kısmında gerçekleştirilen ikili anlaşmaları tamamlayıcı bir sistem olup gün öncesi, gün içi ve gerçek zamanlı faaliyetleri içermektedir.

Gün öncesi yapılan dengeleme katılımcıların üretim veya tüketim planlarını gün öncesinde dengeleme amacıyla gerçekleştirilir ve gün öncesi piyasası aracılığıyla sağlanır. Gün içi dengeleme, gün içi piyasasında gerçekleşir ve dengeleme gün içinde olur. Gerçek zamanlı dengeleme ise yan hizmetler ve dengeleme güç piyasasından oluşur. Dengeleme güç piyasası, sistem işletmecisine gerçek zamanlı dengeleme için en fazla 15 dakika içinde devreye girebilecek yedek kapasiteyi sağlar.

3.3. Elektrik Borsası

Toptan elektrik piyasalarına ilişkin en kapsamlı ve en geçerli tanım 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun tanımlar ve kısaltmalar başlıklı üçüncü maddesinin (y) yapılmıştır [10].

Enerji borsası kavramı elektrik enerjisinin gün öncesi ve spot piyasalarda satışını içeren bir piyasa modelidir. Bu piyasada arz ve talep eşleşmesi yapılarak her bir saat için fiyat endeksi belirlenmektedir. Çok sayıda alıcı ve satıcıya açık olması sebebiyle şeffaf, adil bir pazardır. Böylelikle tek bir katılımcının piyasayı istediği gibi yönlendirmesinin önüne geçilmektedir [9]. Toptan elektrik piyasasının işletilmesinde TEİAŞ sistem işletmecisi olarak konumlandırılırken, 12 Mart 2015 tarihinde kurulan Elektrik Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPİAŞ) ise piyasa işletmecisi olarak konumlandırılmıştır. EPİAŞ, gün öncesi ve gün içi piyasasının işletilmesi, uzlaştırma işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve alacak-borç bildirimlerinin hazırlanması faaliyetlerini yürütmektedir.

3.4. Gün Öncesi, Gün İçi ve Dengeleme Güç Piyasası

Gün Öncesi Piyasası (GÖP), elektriğin teslimat gününden 1 gün öncesinde elektrik ticareti ve dengeleme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için oluşturulmuştur. Gün İçi Piyasası (GİP), elektriğin teslimat saatinden 90 dakika öncesinde elektrik ticareti ve dengeleme faaliyetleri için kullanılmaktadır. Dengeleme güç piyasası (DGP) ise gerçek zamanlı piyasa olarak adlandırılan ve elektriğin teslimat saatinde arızalar veya tahmin sapmaları sebebiyle arz ve talebin dengelenememesi durumlarında dengeleme faaliyetleri için kullanılan piyasadır. Gün öncesi, gün içi ve dengeleme güç piyasası ile birlikte eşleşen fiyatlarla piyasa fiyatları elde edilmektedir. Şekil 3'te 2018 yılı için gün öncesi piyasada gerçekleşen saatlik piyasa takas fiyatı (PTF)'nın değişimi gösterilmiştir [11].



Şekil 3: Saat bazında piyasa takas fiyatı ortalamaları

Şekil 3 incelendiğinde, saat 4:00'te PTF ortalaması 187,58 TL/MWh ile en düşük değeri almaktadır. Saat 20:00'de ise PTF ortalaması 253,46 TL/MWh ile en yüksek değeri almaktadır. Bu durum en düşük ve en yüksek PTF arasında yaklaşık %35'lik bir farkın oluşması anlamına gelmektedir. Ayrıca, talebin bu fiyatlara göre ayarlanabilmesi ciddi anlamda ekonomik faydanın sağlanabileceğini göstermektedir.

Özellikle gerçek zamanlı fiyat ve yük dengelemesinin yapıldığı yan hizmetler ve dengeleme güç piyasası şartlarına göre tüketimleri planlamak ve kaydırmak, büyük tüketimleri olan işletmelere önemli faydalar sağlayacaktır.

Elektrik piyasasının genel işleyiş yapısı, gün öncesi, gün içi ve dengeleme güç piyasası ile yan hizmetler piyasası gibi sistemlerin işleyişteki yeri Şekil 4'te gösterilmiştir [9].



Şekil4: Elektrik piyasasının işleyiş yapısı

4. Şehir Su Şebekeleri İçin Talep Cevabı Programı Uygulama Potansiyeli

Su ve enerji, toplumların refahı için en gerekli unsurların başındadır. Dünya genelinde enerji tüketiminin yaklaşık %7'si suyun dağıtımı için kullanılmaktadır. Nüfusun artışı ve suya olan ihtiyacın artması sebebiyle dünya genelinde su dağıtım şebekeleri hızlı bir şekilde genişlemektedir. Son 50 yılda dünyada su tüketimi dört katına çıkmıştır ve bu değerin artmaya devam edeceği beklenmektedir [12].

4.1. Talep Cevabı Programı Gereksinimleri

Su şebeke sistemlerinin sürdürülebilir şehir kavramlarındaki rolü ve önemini anlamak açısından talep cevabı programları kritik öneme sahiptir. Talep cevabı programlarında sisteme ait tank seviyesi, akış miktarı, basınç gibi kısıtlar işletme masraflarının tespiti için öncelikli olarak belirlenir. Güç tüketiminin optimum seviyede kalmasını sağlayacak amaç fonksiyonunun minimize edilmesi için ise en uygun pompa çizelgeleme takvimi oluşturulmalıdır. Talep cevabı programlarına katılım zamanlarının belirlenmesine yardımcı olacak pompa çizelgeleme takvimi temelde iki çalışma modunu içerir. Birinci modda elektrik enerjisi fiyatında pik talebe göre öteleme ya da azaltma hedeflenir. İkinci modda ise şebeke tarafından gelecek talebe göre pik yükü azaltarak ya da öteleyerek teşviklerden yararlanma hedeflenir [13].

Su şebekeleri sistemleri için oluşturulacak talep cevabı modeli için bazı kısıtların göz önünde bulundurulması ve bazı değişkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Su şebeke sistemleri için en önemli kısıt depolama alanlarında su seviyesinin kritik yükseklik seviyesinin (h_{kr}) altına inmemesidir. Bununla birlikte, depolama kapasiteleri (D_k), pompa güç değerleri (P_g), pompa çalışma saatleri (P_t), pompa çalışma saat aralıkları (P_{dt}), pompalama esnasında depolama tesislerindeki su miktarları (P_{ht}), saatlik elektrik fiyatı (E_f) ve hat Basınçları (P_{min}/P_{max}) gibi değişkenler belirlenmelidir.

Daha sonra talep cevabı modelinin amaç fonksiyonu minimize edilecek kritere göre oluşturulmalıdır. Denklem 1'de herhangi bir t anında su şebeke sisteminde harcanan enerjinin maliyetinin minimize edilmesi için oluşturulan amaç fonksiyonu gösterilmiştir.

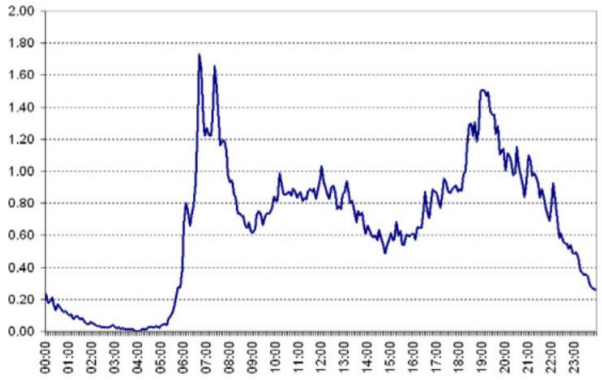
$$Min \sum_{n=1}^{N} \sum_{t=1}^{24} C_{nt} E_{nt} (X_{nt}) \quad (1)$$

Burada, N pompa sayısını, C enerji maliyetini, E harcanan enerjiyi ifade eder.

4.2. İstanbul İli Su Şebeke Sistemleri İçin Talep Cevabı Programının Gereksinim Potansiyeli

Plansız bir şekilde büyüyen şehirler ve verimsiz işletilen su şebekeleri sebebiyle su temini ve dağıtımı için harcanan enerji maliyetleri de artmıştır. Örneğin, Türkiye'de yerel yönetimler arasında en büyük bütçeye sahip İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ), İstanbul Elektrik, Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT) ve iştirak şirketlerinin yıllık elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 2.093.000.000 kWh'e ulaşmıştır. Tüketilen elektrik enerjisinin yıllık maliyeti ise takribi 916 milyon TL'ye karşılık gelmektedir. 2018 verilerine göre İBB'deki elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %70'lik kısmını (1.457.382.293 kWh) İSKİ oluşturmaktadır. İSKİ tarafından harcanan elektrik enerjisinin yaklaşık %64'lük kısmı ise su terfi merkezlerinde tüketilmektedir [14]. Bu oran İSKİ'nin ciddi bir kurulu güce sahip olduğunu ve her yıl elektrik enerjisi giderlerine önemli bir bütçe ayırması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle elektrik şebekesinde meydana gelen acil durumlarda veya üretim-tüketim dengesinden kaynaklı zorlanmalarda İSKİ tarafında yapılacak elektrik enerjisi tüketimindeki kısa süreli ötelemelerin büyük faydalar sağlayacağı açıktır.

Günlük olaylara, sosyal yaşantıya, sıcaklığa, bölgeye göre değişebilmekle birlikte 24 saatlik ortalama su tüketim eğrisi ise Şekil 5'te gösterilmiştir [15].



Şekil5: Günlük ortalama su tüketim eğrisi

Özellikle sabah saatlerinde ve akşam saatlerinde pik yapan su kullanım talebi gün içinde değişiklikler gösterirken gece oldukça azalmaktadır. Örneğin; İSKİ verilerine göre, 2010 yılında 2.548.785 m^3/gün olan en yüksek su tüketimi yaklaşık 758.000 m^3 artış göstererek 2018 yılında 3.307.746 m^3/gün olarak gerçekleşmiştir [14]. En yüksek su tüketim değerlerinin, elektrik tüketiminin de en çok gerçekleştiği Haziran-Ağustos ayları arasında meydana gelmiş olması nedeniyle, talep cevabı programlarının iyi analiz sonrasında ciddi bir yükü kaydırma potansiyeline sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Enerji, ekonomi ve çevresel duyarlılık kavramlarının birleşiminden ortaya çıkan sürdürülebilir anlayışı ile birlikte şehir su şebekelerinde enerji maliyetlerinin ve verimliliğin arttırılması oldukça önemli bir hal almıştır. [16]. Yapılan çalışmalar, yerel yönetimlerin içme ve kullanma suyu ve atık su faaliyetleri başta olmak üzere enerji tükettiği ısıtma, havalandırma, aydınlatma gibi faaliyetlerini enerji verimliliği çerçevesinde değerlendirerek şebekeyi zorlamayacak saatlere kaydırmalarıyla çok ciddi tasarrufların sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Yerel yönetimler için en büyük tüketim alanının su şebekeleri olması sebebiyle çalışmada inceleme alanı olarak bu konuya odaklanılmıştır.

İçme ve kullanma suyu uygulamalarında talep cevabı programları kullanılarak zaman kaydırma ve depolama çalışmalarının yapılması şebeke için çok ciddi rahatlamalara sebebiyet vereceği ve şebeke güvenliğini sağlayacağı belirtilmektedir. Bu çalışmaların sadece ekonomik değil aynı zamanda sosyal olarak da yararlar sağlayacağı ifade edilmektedir [17].

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, sürdürülebilir şehir kavramlarının önemli bir parçası olan su dağıtım şebekelerinde talep cevabı programlarının kullanılma potansiyeli incelenmiştir. Talep cevabı programlarından elde edilecek fayda İstanbul örneği ile açıklanmıştır. İstanbul örneğinde görüldüğü üzere doğru zamanda yapılan pompalama işlemleri ile özellikle elektrik tüketiminin arttığı yaz aylarında elektrik tüketimi kritik zamanlarda %60'lara kadar azaltılarak hem ekonomik hem de teknik açıdan fayda elde edilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Talep cevabı programlarının diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de su terfi istasyonları için uygulanmaya başlanması ile ciddi bir enerji verimliliği sağlanacağı ve sürdürülebilir şehir kavramlarına katkı sunulacağı görülmektedir.

Sonuç olarak, belediyelere ait su terfi merkezleri elektrik enerjisi tüketimlerini, yürütmekte olduğu faaliyetleri sekteye uğratmadan ekonomik ve teknik açıdan uygun saat dilimlerine kaydırarak hem elektrik şebekesini aşırı yüklenmelerden koruyabilir hem de yakın gelecekte ülkemizde de uygulanması beklenen talep cevabı programları için ciddi bir kaynak oluşturabilir.

Gelecek çalışmalarda, talep cevabı programları için şehirler özelinde kısıtların ve değişkenlerin belirlenerek amaç fonksiyonunun oluşturulması ve enerji tasarruf potansiyellerinin ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

Kaynakça

[1] Strbac G. Demand side management: benefits and challenges. Energy Policy 2008;36(12):4419–26.

[2] Singh, S.N., Use of Demand Response in Electricity Markets: An Overview and Key Issues, IEEE, 2010

[3] U. S. Department of Energy, "Benefits of Demand Response in electricity markets and Recommendations for achieving them", section 1252 of the report, "Energy policy Act of 2005", February 2006.

[4] M.H. Albadi ve E.F. El-Saadany, "Demand Response in Electricity Markets: An Overview", IEEE Power Engineering Society General Meeting, s:1-5, 2007.

[5] A.S. Massoud ve B.F Wollenberg, "Toward A Smart Grid: Power Delivery For The 21st Century", IEEE Power and Energy Magazine, Cilt: 3, No: 5, s:34-41, 2005.

[6] M.H. Albadi, E.F. El-Saadany, "A summary of demand response in electricity markets, Electric Power Systems Research", vol. 78, Issue 11, pp. 1989-1996, 2008.

[7] P.T. Baboli, M.P. Moghaddam ve M. Eghbal, "Present Status and Future Trends in Enabling Demand Response Programs", IEEE Power and Energy Society General Meeting, s:1-6, 2011.

[8] Elektrik Şebeke Yönetmeliği, https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-0-49/yonetmelikler, Erişim tarihi : 3 Temmuz 2019.

[9] İbiş, M., Türkiye Elektrik Piyasası ve Denetimi, Tenva Yayınları, 2019

[10] 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-0-2256/kanunlar, Erişim tarihi : 3 Temmuz 2019.

[11] EPİAŞ 2018 Faaliyet Raporu, https://www.epias.com.tr/epias-kurumsal/faaliyet-raporlarimiz/ Erişim tarihi : 3 Temmuz 2019.

[12] Coelho, B. & Andrade-Campos, A., "Efficiency achievement in water supply systems—A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014,

[13] S. Takahashi, "Water Supply Operation and Scheduling System with Electric Power Demand Response Function", XVIII. International Confeence on Water Distribution Systems Analysis, 2016.

[14] İSKİ Faaliyet Raporu, http://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/stratejik-dokumanlar/faaliyet-raporlari1 , Erişim tarihi : 3 Temmuz 2019.

[15] Moreau, A., Control Strategy for Domestic Water Heaters during Peak Periods and its Impact on the Demand for Electricity, Energy Procedia 12, s.1074-1082, 2011.

[16] T. Leber, M. Meisel, T. Gamauf, M. Pongratz, ve F. Kupzog, "Preparations for Demand Response on a Municipal Level", IEEE AFRICON, s:1-5, 2011.

[17] Indeco, "Demand Side Management and Demand Response in Municipalities", 2011.

YAZARLAR

A

Ayhan Gün 505
Abdullah Ateş 168
Abdullah Demirci 546
Abdullah Doğukan Duran 319
Abdullah Ömer Sevil 301,337
Abdurrahman K.Kadıpaşaoğlu 84
Abdurrahim Yılmaz 197,203,314
Abdurrahman Yılmaz 314,428
Abidin Sefa Aslan 254,562
Ahed Khabbaz Bavil 277
Ahmet Akbulut 431
Ahmet Çakanel 140
Ahmet Mert Gülbahçe 595
Akın Delibaşı 121
Ali Anıl Demirçalı 427
Ali Can Erüst 421
Ali Emrah Yarar 432
Ali Fuat Ergenç 349,383,475
Ali Menemen 31
Alican Kaya 428
Alp Kaçar 486
Alper Yılmaz 611
Alptekin İpek 344
Altuğ Bozkurt 615
Ammar Urgan 84
Anıl Karadeniz 606
Aslı Soyiç Leblebici 326
Ayhan Arda Araz 1
Aysel Ersoy Yılmaz 157
Aytaç Kas 242

B

Berk Akın Yıldız 197,203
Bora Acarkan 622
Berk Altıner 121
Barış Baykan Alagöz 169
Bedri Bahtiyar 30
Batuhan Beşir 253
Batuhan Bilgi 31
Bahadır Çatalbaş 270
Beyhannur Çeviral 73
Bilal Erol 120
Batuhan Güner 197,203
Burak Kaleci 230,578,585
Bülent Özkan 209,404,410
Bekir Öztürk 295
Burak Şen 7
Büşra Şen 191
Buse Tacal 79

C

Can Çetin 242
Canberk Demircan 41
Caner Odabaş 284
Cengiz Hacızade 398
Ceren Çoker 41
Ceren Karaman 482
Claudia Fernanda Yaşar 284
Coşku Kasnakoğlu 58

Ç

Çağatay Başdoğan 225

D

Doğan Onur Arısoy 85
Doğanay Şirintuna 225
Duru Sarıcalar 296

E

Emrah Benli 141
Egemen Cumhur Kaleli 146
Emirhan Çağrı Türkoğlu 265
Ecem Çetinyol 74
Emre Kayalar 97
Emir Kudun 175
Eda Nur Saruhan 197,203
Esra Ökmen 58
Eray Özkurt 290
Erdem Turan 398
Efkan Yılmaz 242
Erhan Yumuk 52
Erkan Zergeroğlu 522

F

Faruk Özdemir 573
Fatih Adıgüzel 180,186
Fatma Caran 579
Fatma Y. Taşcıkaraoğlu 573
Ferit Çakıcı 470
Fikret Çalışkan 7,372
Furkan Can Yelkenci 320

G

Gamze Efendioğlu 415
Gökay Bayrak 607,611
Gökçen Devlet Şen 109
Görkem Seçer 432
Gülay Öke Günel 109
Güleycan Tuğrul 579
Gülin Elibol Seçil 248
Gülten Çetintaş 115
Günyaz Ablay 221
Gürsel Yeni 278

H

H. Emre Güner 528
H.Metin Ertunç 331
Hacı Mehmet Güzey 362
Hakan Gençtürk 567
Hakan Temeltaş 308
Hakkı Ulaş Ünal 97
Halit Polat 547
Handan Nak 476
Harun Turan 121
Hasan Eftun Orhon 215
Hasan Hamzaçebi 215
Hasan Tiryaki 157
Hüseyin Üvet 197,203,428

I

Işıl Öner 70
H. Emre Güner 528

İ

İbrahim Alışkan 516
İbrahim Eksin 52
İlhan Kelemençe 278
İlhan Tunç 91
İlker Üstoğlu 367
İsmail H. Altaş 628
İsmail Uyanık 215
İzel Sever 464,470

J

Janset Daşdemir 25

K

Kanat Çamlıbel 70
Kadir Cumali 302
Kadir Doğanşahin 615
Kadir Erkan 197,203
Kadir Furkan Çaybaşı 296
Kutay İçöz 221
Kaplan Kaplan 331
Kurtuluş Sedar Görmüş 451
Kaya Turgut 231
Kemal Uçak 135
Kuthan Yelen 127
Kenan Yiğit 622

L

Levent Ucun 74
Leyla Gören Sümer 64

M

Mehmet Bülent Özer 487
M. Alpaslan Sipahi 428
Marina Marchenkova 58
Martinien G.Kanguet 573
Mehmet Can Cangür 586
Mehmet Canevi 338
Mehmet G.Patan 372
M. Kemal Leblebicioğlu 127, 416, 444, 451, 457, 464,470
Mehmet N. A. Parlakçı 290
Mehmet T.Söylemez 91
Melihcan Ölgün 236
Melis Keşen 197
Meriç Çetin 493,499
Mert Sever 344
Mesih Veysi Kılınç 260
Muhammed A.Karadağ 586
Muhammed Ş. Okka 438
Muhammed Y.Çodur 362
Murat Kalkan 47
Mustafa Böyük 221
Mustafa Dinek 278
Mustafa Yıldız 596
Müjde Güzelkaya 52

N

Neslihan Karaş 64
Nevra Bayhan 157
Nurdan Baci 121
Nurdan Bilgin 254,562
Nurdeniz Altınoluk 58
Nusret Tan 103,151

O

Ogün Cantürk 175
Oğuz Yaz 592
Oğuzhan Çiftçi 556
Oğuzhan Tezgelen 36
Okan Yenioğlu 331
Olcay Karadeniz 392
Onur Akbatı 350
Onur Cihan 556,164
Onur Evirgen 302,367
Osman Emre Delialioğlu 58
Osman Ervan 308
Osman Parlaktuna 248
Ozan Gül 103

Ö

Ö. Feyza Erkan 164
Ömer Morgül 19,215,270
Ömer Sevil 302
Özgenç Subaşı 121
Özgür Acar 284
Özgür Turay Kaymakçı 592

R

Raha Shabani 464,470
Ramazan Ayaz 615
Ramazan Kavak 505
Recep Çakmak 141
Rıdvan Demir 511
Rıdvan Uğur İnal 209
Rıfat Hacıoğlu 451
Rohat İbişhükçü 242

Ü

Ümit Develer 13
Ümit Göven 579
Ümit Tetik 628

V

Veli Yenil 356
Volkan Sezer 242,278,296,302,320

S

S. Çağlar Başlamışlı 1
Salih Serkan Kır 601
Salim Çalışkan 97
Seda Karadeniz Kartal 451,457
Selami Beyhan 493,499
Selçuk Kizir 540
Selim Yannier 367
Selman Fatih Avşar 464,470
Semih Köklücan 438,444
Semih Öngir 146
Semih Sezer 378
Semiha Türkay 326
Sena Koçak 384
Serdar Ethem Hamamcı 115
Serdar İplikçi 31
Serhat İkizoğlu 265
Serhat Sisu 47
Sevilay Çetin 356
Sıtkı Güner 601
Sinan Suli 533

Ş

Ş. Hakan Kutoğlu 451
Şeref Naci Engin 392
Şirin Akkaya 350

T

Tarık Kılıç 596
Tayfun Güler 97
Tayfun Şentürk 127
Tufan Doğruer 151
Tunahan Vatansever 197,203
Türker Türker 180,186,191

U

Ufuk Güner 25
Uğur Yayan 567
Uluç Saranlı 215
Umut Çakır 378
Umut Tilki 236,422

Y

Yıldıray Orman 540
Yakup Eroğlu 221
Yasemin Öner 533
Yasin Çakar 331,540
Yavuz Eren 175,191
Yavuz Yalçın 622
Yasin Çodur 362
Yılmaz Arıkuşu 156
Yiğit Çilçe 586
Yiğit Taşçıoğlu 482,487
Yunus Turhan 302
Yusuf Aydın 225

Z

Zafer Çakar 331