



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma Programının Sanayi Tüketicileri Üzerinde Uygulanması

Implementation of Real Time Pricing Program on Industrial Consumers

Yazar(lar) (Author(s)): Nurettin BEŞLİ¹, Yılmaz DAĞTEKİN²

¹ ORCID ID: 0000-0003-3657-1393

² ORCID ID: 0000-0003-1230-2025

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Beşli N., Dağtekin Y., “Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma Programının Sanayi Tüketicileri Üzerinde Uygulanması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(1): 21-31, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma Programının Sanayi Tüketicileri Üzerinde Uygulanması

Nurettin BEŞLİ¹, Yılmaz DAĞTEKİN¹

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmanbey Kampüsü, Haliliye/ŞANLIURFA

Öz

Talep Müdahalesi(DR) programları, tüketiciye verilecek teşvik veya cezalar yoluyla ya da fiyat sinyalinin değiştirilmesiyle tüketimlerinin ayarlanması mantığına dayanır. Bu çalışmanın amacı, gerçek zamanlı fiyatlandırma(RTP) programının değişik kullanıcı tipleri üzerinde uygulanması sonucu oluşacak fatura azaltım oranlarının analiz edilerek sağladıkları fiyat avantajlarının karşılaştırılmasıdır. Bunun için Şanlıurfa sanayisi özelinde enerji tüketimi en fazla olan 3 sektör belirlenmiş ve bu sektörler için örnek yük eğrileri çıkarılmıştır. Daha sonra, Türkiye'nin enerji tüketiminden hareketle yıl içerisinde 4 adet temsili gün belirlenerek her temsili gün için üç DR programına (RTP, kullanım zamanı ve dinamik kullanım zamanı) ait fiyat sinyali grafiği belirlenmiştir. Son aşamada ise DR uygulaması için kurgulanan MATLAB kodu ile normal kullanım ve DR kullanımı grafikleri çıkarılmıştır. Gerçek zamanlı fiyatlandırma programında elde edilen fiyat avantajı tüketici ve temsili gün bazında diğer iki DR programı ile karşılaştırılmıştır. Seçilen temsili kullanıcıların RTP programı ile % 3.79-11.04 arasında fatura azaltımı sağladıkları görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 17/12/2019
Düzeltilme: 13/01/2020
Kabul: 22/01/2020

Anahtar Kelimeler

Talep Tarafı Katılımı

Talep Müdahalesi

Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma

Kullanım Zamanı

Fiyat Esnekliği Matrisi

Keywords

Demand Side Management

Demand Response

Real Time Pricing

Time of Use

Price Elasticity Matrix

Implementation of Real Time Pricing Program on Industrial Consumers

Abstract

Demand Response(DR) programs are based on the logic of adjusting the consumption of consumers through incentives or penalties or by changing the price signal. The object of this study is to compare the price advantages by analyzing the invoice reduction rates as a result of the implementation of Real Time Pricing(RTP) program on different consumer types. For this purpose, three sectors with the highest energy consumption in Sanliurfa Organized Industrial Zone have been selected and sample load curves of these sectors have been prepared. Then four representative days are selected based on Turkey's annual energy consumption curve and three DR price signal (RTP, time of use and dynamic time of use) are generated for each representative day. In the last step, the graphs of normal usage and DR usage were plotted with MATLAB code which was designed for DR application. The price advantage obtained in RTP program was compared with the other two DR programs in terms of consumers and representative day. With the implementation of the RTP program, it was observed that the users reduced their electricity bills between 3.79% and 11.04%.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji modern hayatın olmazsa olmazı olan temel bir ihtiyaçtır. Enerji sürekliliğinin sağlanabilmesi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin tüketici ihtiyacını karşılayacak şekilde yönetilmesiyle mümkün olur. 2000-2001 yılları arasında A.B.D.'de meydana gelen Kaliforniya enerji krizi neticesinde elektrik şebekesinin yönetim anlayışında köklü bir değişiklik yaşanmıştır. Bu anlayış değişikliği sonucunda Talep Müdahalesi(Demand Response-DR) yaklaşımı büyük önem kazanmaya başlamıştır[1]. DR, tüketici ile enerji dağıtım şirketleri arasında önceden yapılan sözleşmelere dayanarak, enerji tüketim eğrisinin enerji birim fiyatındaki değişiklikler veya teşvik/ceza uygulamalarıyla ayarlanması yoluyla enerji arz güvenliğinin tehlikeye düşmesini engellemek için kullanılan yöntemlere verilen isimdir[1]. DR

programları, teşvik tabanlı ve fiyat tabanlı programlar olmak üzere iki ana bölüme ayrılmaktadır. Teşvik tabanlı programlarda belirli zamanlarda teşvik ve cezalar uygulanarak tüketicinin kendi yük eğrisini ayarlaması beklenir. Fiyat tabanlı programlarda ise belirli zaman dilimlerinde değişik fiyat tarifeleri uygulanarak buna göre tüketici kendi yük eğrisini ayarlamaya zorlanır[2]. DR programlarının uygulanması, tüketici yükünün tahmin edildiği ve sözleşmeye göre ayarlandığı Gelişmiş Ölçüm Altyapısı(Advanced Metering Infrastructure-AMI) adı verilen yazılımlar ve cihazlar yardımıyla yapılır[3]. Türkiye, 2035 yılı itibarıyla tüm elektrik tüketicilerinin en az %40'ının DR programlarına katılımının sağlanması hedefini belirlemiştir[4]. DR programlarının ülkemizde önümüzdeki yıllarda dağıtım şirketlerince sıklıkla uygulanmaya başlanacağı açıktır.

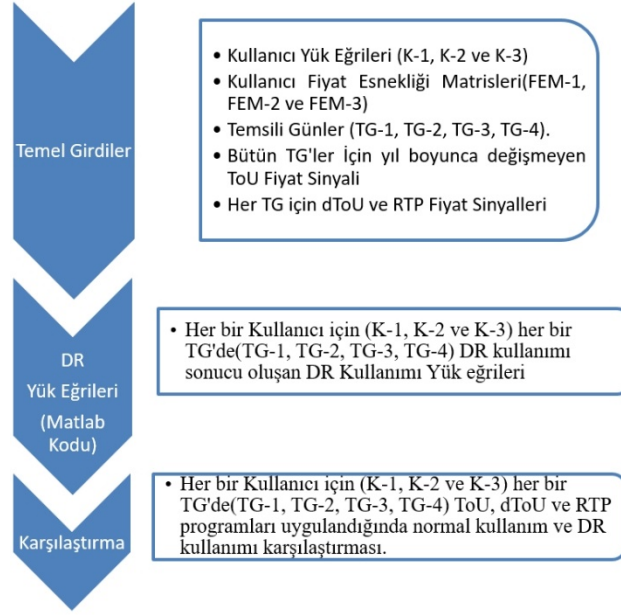
Fiyat tabanlı DR programlarının en temel türü Kullanım zamanı(Time of Use-ToU) programlarıdır. ToU tarifesinde gün içerisinde yükün az olduğu off-pik, normal kullanım ve yükün fazla olduğu on-pik olmak üzere üç adet kullanım dilimi mevcuttur. ToU programı kullanıcı davranışını temel olarak değiştirmeyi hedefleyen bir yapıya sahiptir ve Türkiye'de de uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. A.B.D'de yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre ToU programının uygulanması ile evsel ve ticari tüketici gruplarında öncelikli olmak üzere tüketiciler %72'lere varan fatura azaltımı sağlayabilmektedir[5]. Sanayi tüketicilerinde ise ToU uygulamasındaki fatura azaltımı oranı üst sınırı %20'ler civarında kabul edilmekte olup minimum %5 civarındadır. ToU programında, tüketicilerin uyum sağlamasının ve uygulamanın oldukça kolay olmasına karşın, saat dilimlerinin yıl içerisinde her zaman sabit olması yeterli faydayı sağlamamaktadır[6]. Ülkemizde üç terimli tarife olarak uygulanan ToU programında yıl içerisinde yalnızca yaz ve kış durumları mevcuttur ve saat dilimleri önemli bir değişime uğramamaktadır. Dünya'da ise ToU saat dilimleri ve birim fiyatları yıl içerisinde birkaç kere, bazı uygulamalarda ise aylık olarak değişmektedir. Bu tür ToU programlarına Dinamik Kullanım Zamanı Programları (Dynamic Time of Use-dToU) denilmektedir[7].

En hassas Fiyat tabanlı DR programı ise Gerçek Zamanlı Fiyatlandırma(Real Time Pricing- RTP)dır. RTP programında elektrik fiyatı, arz ve iletim tarafındaki fiyat değişimlerine oldukça duyarlıdır ve her gün her saat diliminde değişmektedir. Saatlik birim fiyat eğrisi dağıtım şirketi tarafından tüketiciye ya bir gün ya da birkaç saat öncesinden bildirilir. Yapılan bir çalışmada, A.B.D.'nin Illinois eyaletinde RTP programının uygulanması durumunda kullanıcıların %97'sinin hiçbir davranış değişikliği yapmadan fatura azaltımı sağlayacağı hesaplanmıştır[8]. RTP programı beklenen en yüksek fatura azaltımını sağlama potansiyeline sahip olsa da tüketici tarafından adapte olunması ilk başlarda zor olabilmektedir. Bu yüzden, kullanıcıların yönetilebilir sayılarda gruplanması, mümkün olduğu kadar fazla tüketimi olan kullanıcıların aynı gruba dahil edilmesi, programın tanıtımının yapılması ve teşvik mekanizmalarının etkinleştirilmesi RTP programının kullanıcılar tarafından kabullenilmesini kolaylaştıracaktır[9]. Özellikle elektrik talebi fazla esnek olmayan tüketiciler için RTP programı arzu edilen seviyede fayda sağlamayabilir. RTP programı daha çok sanayi tipi elektrik tüketicilerine uygundur[10]. Bazı sektörlerde kısa süreli yük azaltma ve yük kaydırma işlemiyle bile çok ciddi fatura azaltımı sağlanabilmektedir. Örneğin, metal endüstrisinde, döküm potları sırayla devreden çıkartılarak 2 saatte %25 yük azaltımı yapılmıştır. Oksijen-klorür endüstrisinde %40, yağ rafineri endüstrisinde %14, Bilgi İşleme Merkezleri(Data Center)'nde %20, tekstil sektöründe ise örme ve ambalajlama süreçlerinde %25 yük azaltımı potansiyeli mevcuttur[11]. İngiltere'de yapılan bir çalışmada ToU programından RTP programına geçiş ile eğlence sektörü ve sanayi kullanıcıları tarafından ortalama %5-15 arasında fatura azaltımı sağladıkları gösterilmiştir. RTP programı kullanıcı tipine bağlı olarak, ToU'ya göre bir kaç kat daha etkili olabileceği belirtilmektedir[12]. Kullanıcıların, sabit fiyattan önce ToU programına daha sonra RTP programına kademeli olarak geçmesi işletmelerin kazancının maksimize edilmesi açısından daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

DR programlarının uygulanması ve bunun sonucunda elde edilebilecek fatura avantajını hesaplayabilecek toplu model oluşturulması için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır[13]. Bu çalışmada, toplu model arayışına katkıda bulunmak amacıyla oluşturulan model kullanılarak Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi(Şanlıurfa OSB)'nde en yüksek enerji tüketimine sahip üç sektör temel alınarak RTP programının fatura azaltımına etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada RTP fiyatlandırmasının değişik kullanıcı tipleri üzerinde uygulanması sonucu fatura azaltımı oranları analiz edilerek sağladıkları fiyat avantajları karşılaştırılmıştır. Bunun için ilk önce Şanlıurfa sanayisi özelinde enerji tüketimi en fazla olan üç sektör belirlenmiş ve bu sektörlerle ait örnek yük eğrileri çıkarılmıştır. İkinci aşamada ise yıl içerisinde ülkemizdeki enerji tüketimine göre dört adet temsili gün belirlenerek, her gün için üç adet DR programına ait fiyat sinyali grafiği belirlenmiştir. Son aşamada ise DR uygulaması için uygulanan MATLAB kodu ile normal kullanım ve DR kullanımı arasındaki fiyat avantajı tüketici, temsili gün ve DR programı bazında karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Senaryo mantıksal akış tablosu

Analiz sonuçları ışığında, fiyat tabanlı DR programlarından ToU ve dToU programları ile RTP programının sanayi tipi tüketiciler üzerinde uygulanmasıyla tüketicilerin elde edeceği fiyat avantajı karşılaştırılmıştır. Bu çalışmayla DR konseptinin gerçek koşullarda uygulanması için toplu model geliştirilmesine katkıda bulunmaya çalışılmıştır. Bunun için, Mohajeryami ve ark. tarafından sunulan model, saha koşullarına göre seçilen kullanıcılar ve temsili günler tanımlanarak tekrar düzenlenmiş ve MATLAB kodu oluşturulmuştur. Şekil 1.'de senaryonun mantıksal akış tablosu verilmiştir. Burada algoritmanın girdileri: üç çeşit kullanıcıya ait yük eğrileri ve Fiyat Esnekliği Matrisleri(Price Elasticity Matrix-PEM); yıl içerisinde seçilen dört adet temsili gün(TG) için üç adet DR programına(ToU, dToU ve RTP) ait fiyat sinyali ve off-pik, normal ve pik kullanım saatleridir. Algoritmanın çıktıları ise her kullanıcı için her bir TG için DR olmadan ve DR kullanımı sonucu oluşan yük eğrileridir. Çıktı olarak alınan DR kullanımı yük eğrileri ilgili fiyat sinyalleri ile çarpılarak toplam fatura miktarları bulunmuş ve normal kullanıma göre ne kadar fatura azaltımı olduğu incelenmiştir.

2.1. DR Programlarının Ekonomik Modeli

Elektrik her ne kadar küçük ölçeklerde depolanabilse de büyük ölçeklerde depolanması ekonomik değildir. Bunun için elektrik arz ve talebi arasında belirli bir denge olmak zorundadır. Elektriğin fiyatı gün içerisinde arz-talep dengesine göre saat dilimlerine göre değişebilmektedir. Herhangi bir i .saat dilimindeki fiyat değişimine karşılık j . saat dilimindeki talep değişimini sembolize eden katsayıya fiyat esneklik katsayısı($E_{i,j}$) denilir[14].

$$E = \frac{P_0}{D_0} \cdot \frac{\Delta D}{\Delta P}$$

2.1.

Burada;

P_0 : Baz Fiyat

D_0 : Baz Talep

ΔP : Fiyattaki değişim

ΔD : Talepteki değişimdir.

Bir kullanıcıya ait hesaplanan tüm fiyat esneklik katsayıları birleştirilerek Fiyat Esnekliği Matrisi(PEM)'ni oluşturur. PEM matrisi aşağıdaki formdadır[15]:

$$\begin{bmatrix} E_{1,1} & \cdots & E_{1,24} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{24,1} & \cdots & E_{24,24} \end{bmatrix}$$

2.2.

Burada matrisin köşegenindeki katsayılar bir saat diliminin fiyat değişiminin kendi içerisinde talebi nasıl etkileyeceğini gösterir ve öz esneklik olarak adlandırılır. Diğer elemanlar ise başka bir saat dilimindeki fiyat değişiminin o saatteki talebi nasıl değiştireceğini gösterir ve çapraz esneklik olarak adlandırılır.

Bir kullanıcıya ait saatlik talep şu şekilde hesaplanabilir[16]:

$$d(i) = d_0(i) \cdot \left[1 + \frac{E(i) \cdot (p(i) - p_0(i) + \lambda \cdot R(i))}{p_0(i)} \right]$$

2.3.

Burada;

λ : Sembolik ödülün veya teşvik ödemesinin gerçek değerini gösteren katsayı,

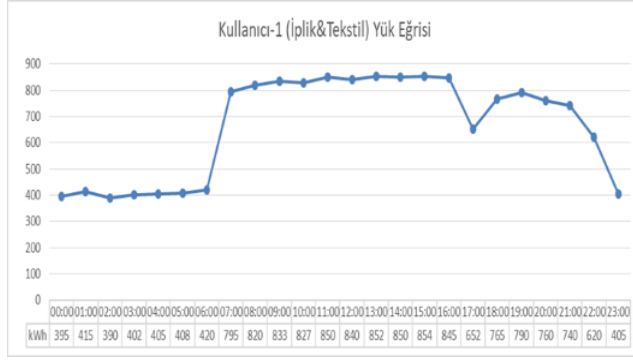
R: Dağıtım şirketi tarafından her kWh'lik talep düşümü karşılığında yapılan teşvik ödemesidir.

Teşvik ödemesi ve fiyat hassasiyeti dikkate alınarak bu modele öz esneklik ve çapraz esneklik parametreleri de katılırsa DR programının ekonomik modelini oluşturacak saatlik talep aşağıdaki şekilde olur[16]:

$$d(i) = d_0(i) + E(i) \cdot \frac{d_0(i)}{p_0(i)} \cdot (p(i) - p_0(i) + \lambda \cdot R(i)) + \sum_{j=1, j \neq i}^{24} E(i, j) \cdot \frac{d_0(i)}{p_0(j)} \cdot (p(j) - p_0(j) + \lambda \cdot R(j))$$

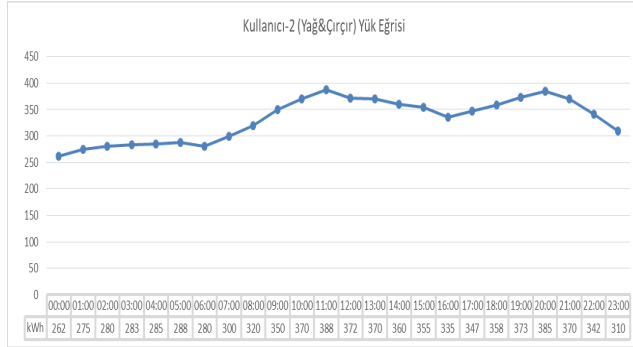
2.2. Tüketici Yük Eğrilerinin ve Temsili Gün Seçimi

Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi'nde en yüksek yıllık enerji tüketimi olan üç sektör sırasıyla iplik (%56), yağ-çırçır(%17) ve yapı malzemeleri-plastik boru(%14) sektörleridir. Bu sektörleri temsilen, analizlerin yapılması için değişik davranışa sahip olan üç adet temsili kullanıcı seçilmiştir. Bu kullanıcılara ait yük eğrileri ve PEM matrisleri Şekil 2. (a),(b) ve (c)'de verilmiştir. Bu çalışmada, PEM matrisi oluşturulurken işlem kolaylığı sağlamak için saatlik dilimler yerine fiyat belirleyici üç zaman dilimi(Pik, Off-Pik ve Normal) kullanılmıştır.



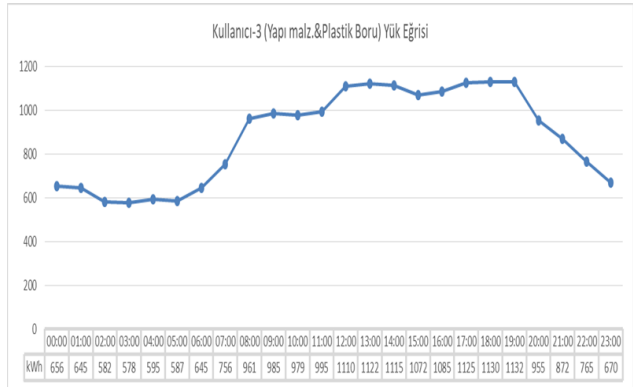
	Pik	Off-Pik	Normal
Pik	-0.1	0.005	0.01
Off-Pik	0.005	-0.1	0.03
Normal	0.01	0.03	-0.1

(a)



	Pik	Off-Pik	Normal
Pik	-0.2	0.01	0.008
Off-Pik	0.01	-0.2	0.005
Normal	0.008	0.005	-0.2

(b)



	Pik	Off-Pik	Normal
Pik	-0.3	0.02	0.009
Off-Pik	0.02	-0.3	0.007
Normal	0.009	0.007	-0.3

(c)

Şekil 2. Tüm temsili kullanıcılar için yük eğrisi ve PEM (a)K-1, (b)K-2, (c)K-3

Şekil 2.'de verilen PEM matrislerinden de görüleceği gibi Kullanıcı-1(K-1) yük kaydırmaya pek istekli olmayan İplik&tekstil grubunu, K-2 orta istekli olan yağ&çırcır grubunu, K-3 ise en istekli olan yapı malzemeleri&plastik boru grubunu temsil etmektedir. Algoritmada kullanılacak olan RTP fiyat sinyalinin şebekenin enerji tüketim eğrisiyle orantılı olmasını sağlamak için TEİAŞ'ın istatistiklerine göre kış en düşük/en yüksek ve yaz en düşük/en yüksek enerji tüketiminin olduğu Tablo 1.'de gösterilen 4 adet temsili gün seçilmiştir. Ayrıca, bütün DR uygulamalarının günlük bazda üretim kaybına sebep olmayacağı kabul edilmiştir. Bu yüzden toplam günlük enerji tüketimi normal ve DR programları için eşit olmaktadır.

Tablo 1. Seçilen temsili günler

Temsili Gün	Açıklama	Tarih	Enerji Tüketimi (MWh)
TG-1	Kış En Düşük Tüketim	07.10.2018	634.962
TG-2	Kış En Yüksek Tüketim	18.01.2018	888.033
TG-3	Yaz En Düşük Tüketim	03.06.2018	653.851

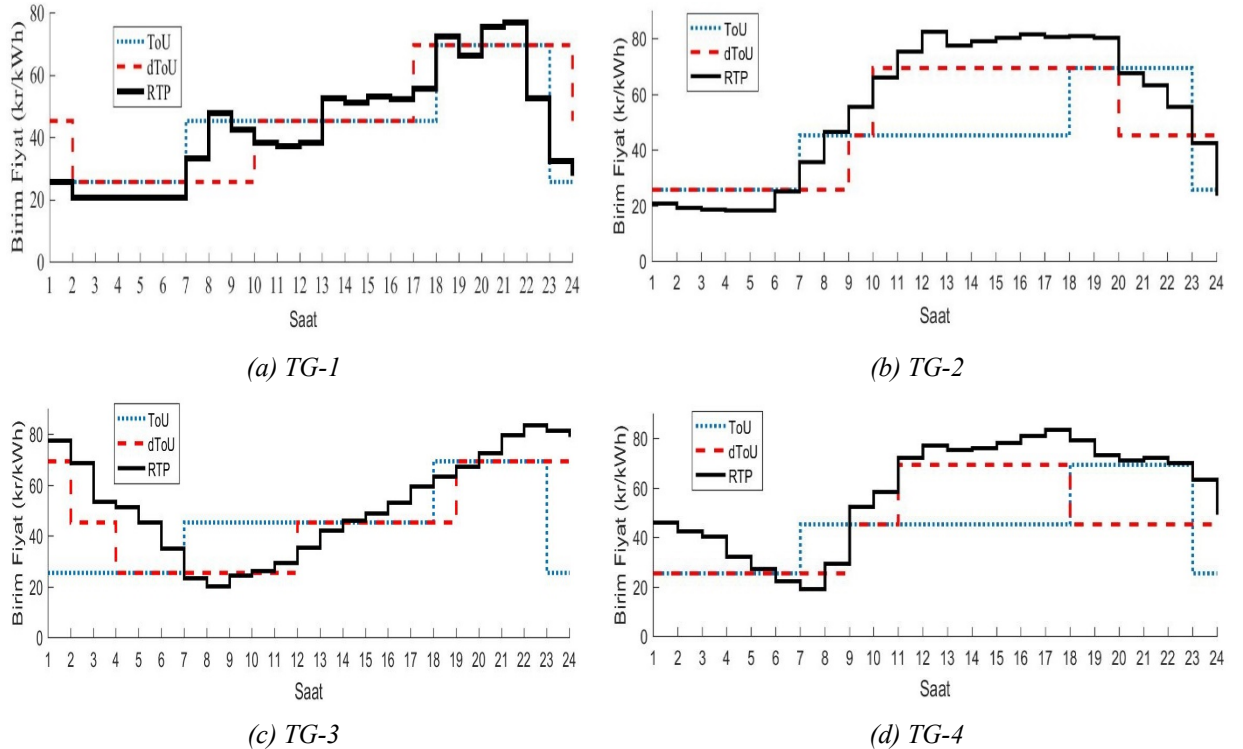
TG-4	Yaz En Yüksek Tüketim	03.08.2018	977.870
-------------	-----------------------	------------	---------

Seçilen temsili günlerdeki şebeke tüketim eğrilerine uyumlu olarak Şekil-3'te gösterilen fiyat sinyali senaryoları oluşturulmuştur. Burada, Tablo-2.'de görüldüğü üzere kullanım saatlerine göre dToU saat dilimleri belirlenmiştir. Burada dağıtım şirketinin kullanıcıya yalnızca pik saat dilimlerinde her kWh yük azaltımı için 15.8 kr teşvik ödemesi yaptığı varsayılmıştır. Bu miktar ülkemizde üç terimli tarifede gece(off-pik) tüketiminde uygulanan 25.64 kr/kWh fiyatının yaklaşık yarısı olarak seçilmiştir. Belirlenen bu 15.8 kr/kWh'lik miktar algoritmada hesaba katılmaktadır.

Tablo 2. Temsili günler için tüketim periyotları

	Off-Pik	Normal Kullanım	Pik
TG-1	02-09 saatleri	01,24 ve 10-16 saatleri	17-23 saatleri
TG-2	01-08 saatleri	09 ve 20-24 saatleri	10-19 saatleri
TG-3	04-11 saatleri	02,03 ve 12-18 saatleri	01 ve 19-24 saatleri
TG-4	1-8 saatleri	09,10 ve 18-24 saatleri	11-17 saatleri

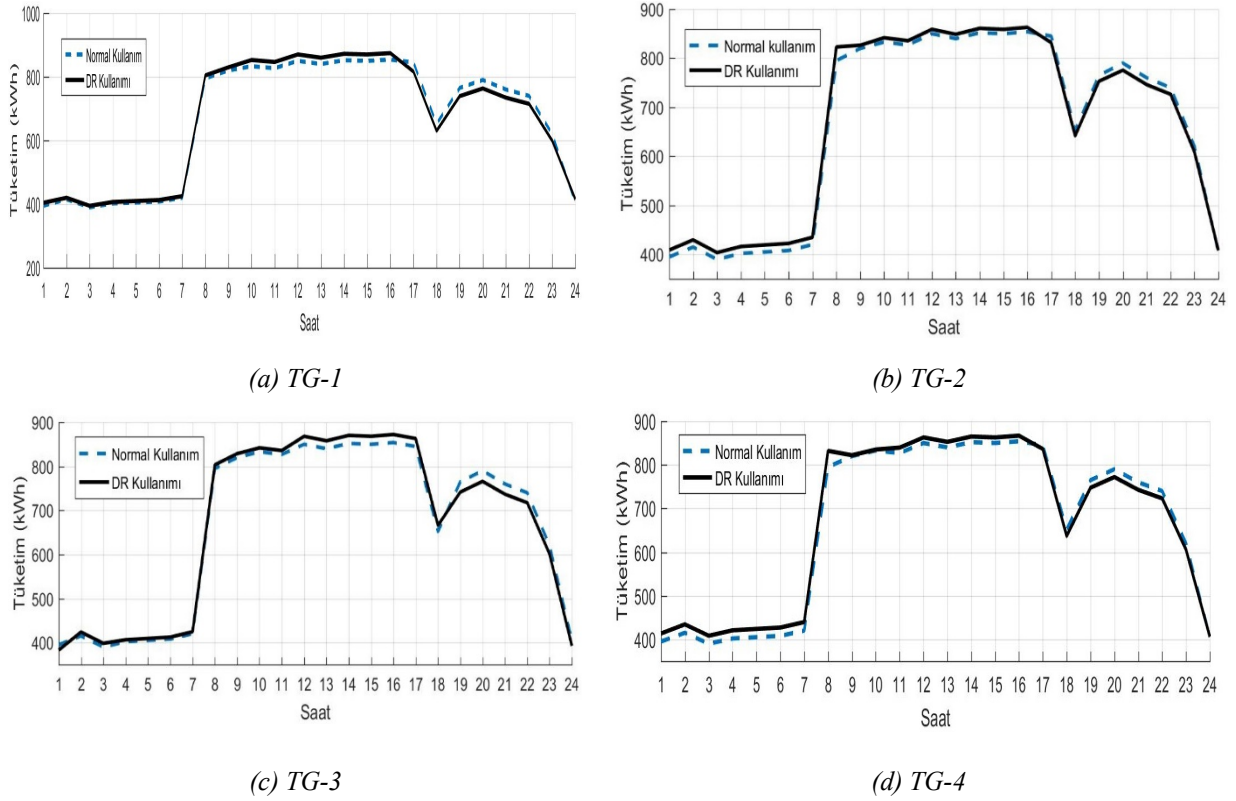
Yukarıda açıklanan şekilde bir yaklaşım geliştirilerek Şekil 3.'de gösterildiği gibi her bir temsili gün için fiyat sinyalleri oluşturulmuştur. Burada gösterilen fiyat sinyalleri, kullanıcıların fatura düşümü miktarını hesaplamak için algoritmada kullanılmıştır. Bu grafikte saatlik bazda değişkenlik gösteren RTP sinyali, ToU ve dToU sinyalleri yer almaktadır.



Şekil 3. Temsili günler için fiyat sinyali senaryoları

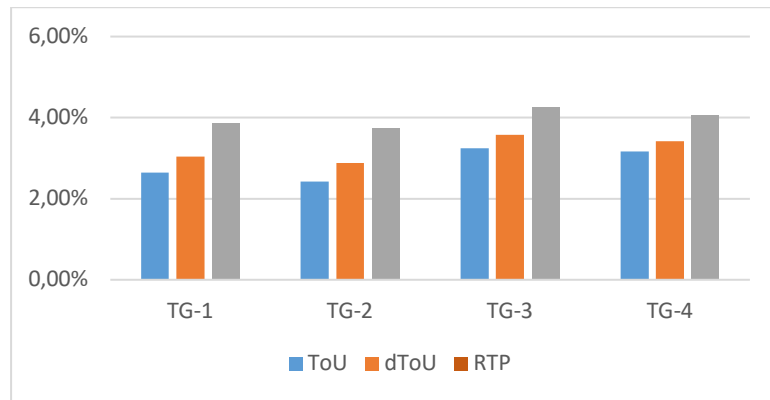
3. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME (ANALYSIS RESULTS AND DISCUSSION)

Bir önceki bölümde anlatılan fiyat sinyali senaryosuna göre düzenlenmiş MATLAB kodu yardımıyla K-1'e uygulanmış olan RTP programı sonrasında Şekil 4.'de yer alan grafikler ortaya çıkmıştır. Burada K-1 kullanıcısının saatlik yük eğrisinin DR uygulanması sonucu nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 4. Kullanıcı-1 için tüm temsili günlerde normal kullanım ve DR kullanımı

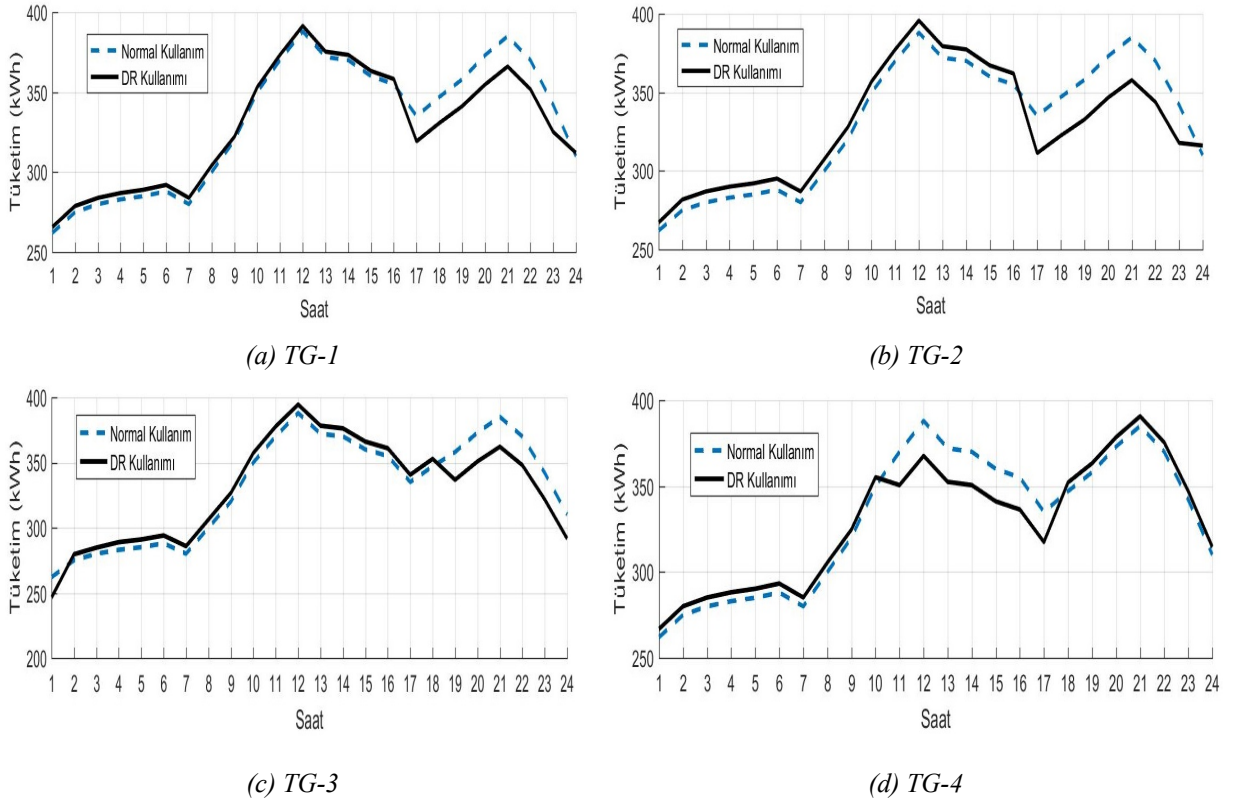
K-1 kullanıcısı PEM matrisinden de görülebileceği gibi yük kaydırmaya istekli olmadığından yük eğrisinin şekli çok az değişmiştir. Yaz dönemine ait olan TG-3 ve TG-4'te fatura azaltım oranı TG-1 ve TG-2'ye göre daha fazla olmuştur.



Şekil 5. Kullanıcı-1'e ait tüm temsili günlerde DR programlarının sağladığı fatura azaltım oranları

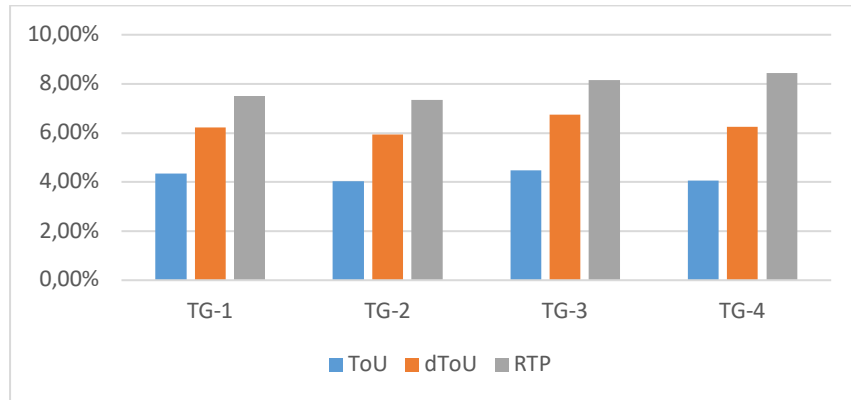
Şekil 5.'de, K-1 kullanıcısına tüm DR programlarının temsili günlerde uygulanması ile elde edilen fatura azaltımının sabit fiyata kıyasen oranları görülmektedir. Buna göre K-1 kullanıcısının yaz temsili günlerinde RTP programına daha fazla tepki verdiği söylenebilir. K-1, RTP programında %3.9-4.2 civarında fatura azaltımı oranına ulaşmıştır. RTP programı ile ToU programı arasındaki fark ise %1.5 dToU programıyla fark %1 civarındadır. Dolayısıyla ToU veya dToU programından RTP programına geçmek bu kullanıcı için çok karlı değildir.

K-2'nin RTP programı uygulanması sonrasındaki davranışı Şekil 6.'da gösterilmektedir. K-2 kullanıcısı yük kaydırmaya istekli olduğundan yük eğrisi dikkate değer ölçüde değişmiştir.



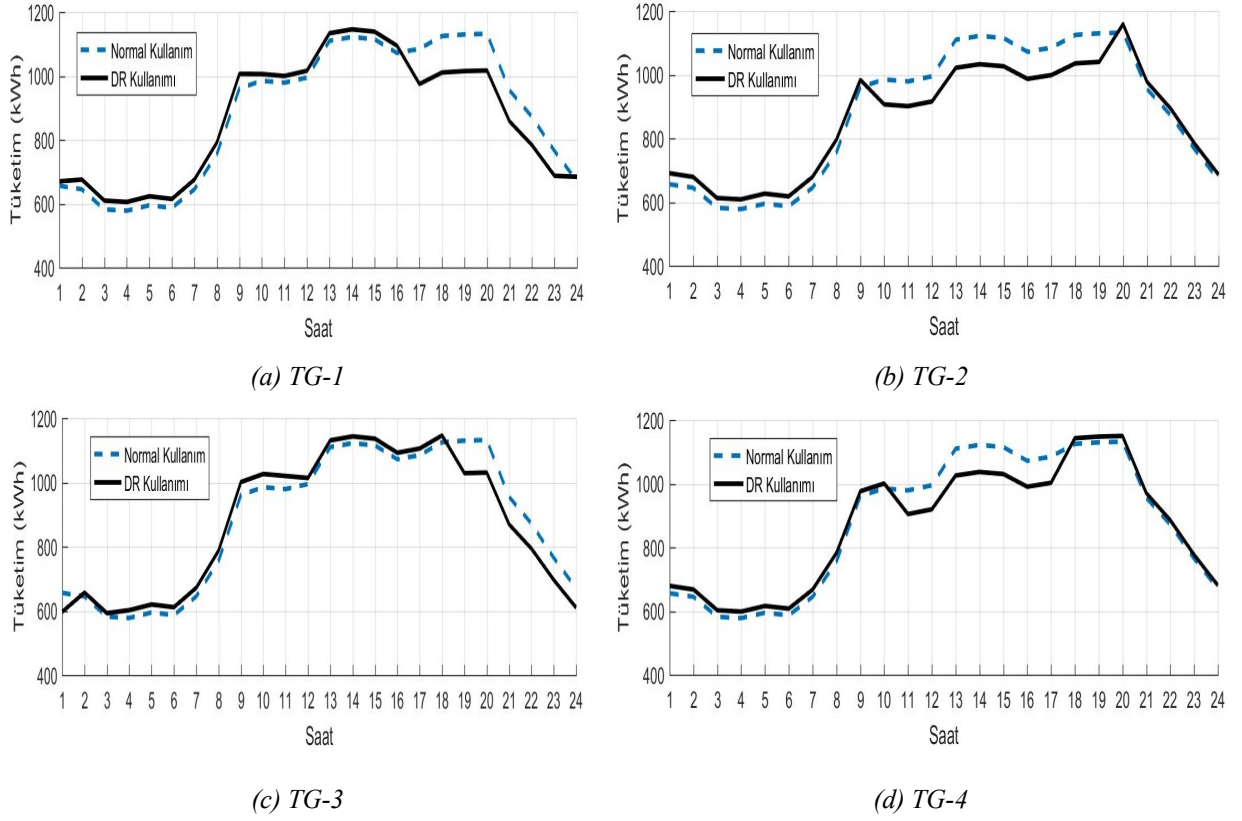
Şekil 6. Kullanıcı-2 için tüm temsili günlerde normal kullanım ve DR kullanımı

Yaz döneminde TG-3 ve TG-4'te fatura azaltım oranı TG-1 ve TG-2'ye göre daha fazla olmuştur. Buna göre K-2 kullanıcısının yaz temsili günlerinde RTP programına daha fazla tepki verdiği söylenebilir. Şekil 7.'de ise K-2'nin tüm temsili günlerde DR programları uygulandığında elde edilen fatura azaltımının sabit fiyata kıyasen oranları görülmektedir. K-2, RTP programında %7.5-8.2 civarında fatura azaltım oranına ulaşmıştır. RTP programı ile ToU programı arasındaki fark %3.5, dToU programı ile arasındaki fark %2 civarındadır. Dolayısıyla ToU veya dToU programından RTP programına geçmek bu kullanıcı için belli ölçüde karlıdır



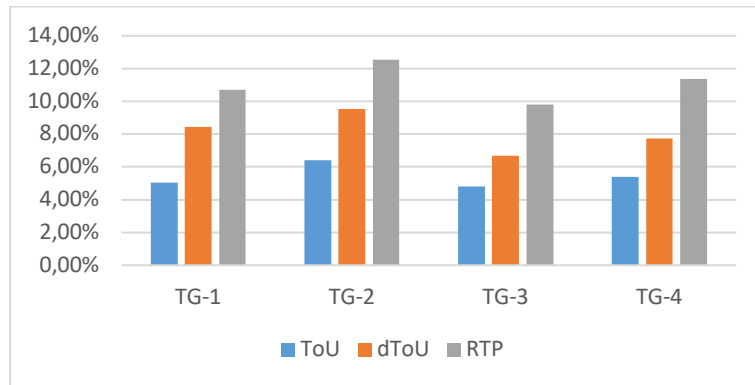
Şekil 7. Kullanıcı-2'e ait tüm temsili günlerde DR programlarının sağladığı fatura azaltım oranları

K-3'ün RTP programı uygulanması sonrasındaki davranışı Şekil 8.'de gösterilmektedir. K-3 kullanıcısı yük kaydırmaya oldukça istekli olduğundan yük eğrisi önemli bir şekilde değişmiştir.



Şekil 8. Kullanıcı-3 için tüm temsili günlerde normal kullanım ve DR kullanımı

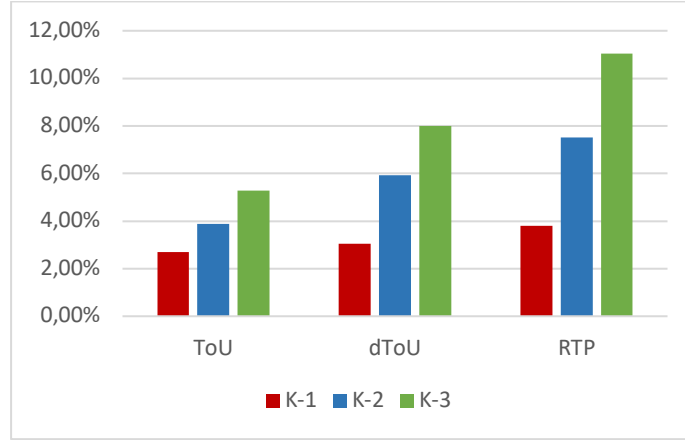
Yaz ve kış dönemi için tüketimin en fazla olduğu TG-2 ve TG-4 temsili günlerinde ki fatura azaltım oranı TG-1 ve TG-3'e göre daha fazla olmuştur. Buna göre K-3 kullanıcısının yüksek enerji tüketimi günlerinde RTP programına daha fazla tepki verdiği söylenebilir. Şekil 9.'da ise K-3'ün tüm temsili günlerde DR programları uygulandığında elde edilen sabit fiyata kıyasen fatura azaltım oranları görülmektedir. K-3, RTP programında %9.65-12.2 civarında fatura azaltımı oranına ulaşmıştır. RTP programı ile ToU programı ile arasındaki fark %6, dToU programı arasındaki fark %4 civarındadır. Dolayısıyla ToU veya dToU programından RTP programına geçmek bu kullanıcı için karlıdır.



Şekil 9. Kullanıcı-3'e ait tüm temsili günlerde DR programlarının sağladığı fatura azaltım oranları

Ekonomik kazancın daha doğru hesaplanabilmesi için DR programı kullanımının maliyeti de dikkate alınmalıdır. DR programına katılım için dağıtım şirketleri veya talep toplayıcılar tüketicilerden, program büyüklüğü ve kurulu güce göre program katılım bedeli alabilmektedir. ABD'de yapılan çalışmalar incelendiğinde orta ölçekli endüstriyel kullanıcılar için bu bedelin aylık 60-120\$ dolaylarında olduğu görülmektedir[5]. Buradan hareketle kurulu güç bazlı ToU tarifesi için 500 TL/Ay, dToU tarifesi için 550 TL/Ay, RTP programı için ise 550 TL/Ay program bedelinin kullanıcı tarafından ödeneceği kabul

edilmiştir. Şekil 10.'da kullanıcıların bu giderler düştükten sonra hesaplanan yıllık tasarruf oranları görülmektedir. Buradaki hesaplamada bütün bir yılın, belirlediğimiz dört temsili günün karakteristiğine sahip eşit sayıda günlerden oluştuğu kabul edilmiştir.



Şekil 10. Tüm kullanıcıların yıllık DR fatura azaltımı oranları

Şekil 10'da görüldüğü gibi kullanıcılar, ToU programı uygulanmasında %2.70-5.28, dToU programı uygulanmasında %3.05-8.05 arasında ve RTP programı uygulanmasında %3.79-11.04 arasında fatura azaltımı sağlamaktadır. Yani RTP programına geçiş ile tasarruf miktarı Şanlıurfa OSB'de esnek kullanıcılarda %11'e çıkabilmektedir. Kış ve yaz yüksek enerji tüketim günlerinde (TG-2 ve TG-4) kullanıcıların DR ile daha yüksek oranda fatura avantajı sağladıkları görülmektedir. Yüksek enerji tüketimi yapılan günlerde saatlik enerji fiyatlarının daha yüksek olması bunun ana nedenidir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

DR uygulaması enerji talebinin dengelenmesi ve sistem güvenilirliğinin sağlanması için oldukça önemli bir araçtır. Elektrik piyasasının serbestleşme sürecinde olduğu Türkiye'de de DR uygulamasının yaygınlaşması kaçınılmazdır. Bu çalışmada, RTP programının uygulanması sonucunda kullanıcının sağlayacağı fiyat avantajı incelenmiş, sanayide DR uygulamasına yönelik model arayışına katkıda bulunulmaya çalışılmıştır. Sanayi enerji tüketicilerinde, RTP programının uygulanması biraz daha güç olsa da tüketimleri fazla olduğundan elde edebilecekleri fatura azaltımı oranları daha fazladır.

Bu çalışmada RTP programının uygulanması sonucunda ne kadar fatura azaltımı sağlandığının hesaplanabilmesi için Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi'nin elektrik tüketiminin %87'sini yapan üç sektör seçilmiştir. Bu üç sektörü temsilen seçilen üç kullanıcıya RTP programı uygulanması sonucunda kullanıcı türüne göre % 3,79-11,04 arasında fatura azaltımı sağladıkları görülmüştür. Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi'nin yıllık elektrik faturası miktarı 151.466.550 TL'dir. Bu üç sektörde kümelenme yapılarak oransal hesaplama yapılırsa, RTP programı uygulandığında yıllık 7.486.991 TL tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır. Bu miktar görece daha yumuşak bir RTP stratejisi uygulandığında rahatlıkla erişilebilecek bir seviyededir.

En hassas DR programı gerçek zamanlı fiyatlandırma(Real Time Pricing- RTP)dır. RTP'nin uygulanması için akıllı şebeke altyapısının yeterli olması, kullanıcıların yeterli bilinç seviyesine erişmesi gerekmektedir. Türkiye'de dToU programlarının uygulanmaya başlanması RTP programına geçişin ilk aşaması olabilir. RTP programının uygulanması, enerji yükünün arz ve talep tarafından dengeli bir şekilde paylaşılması için kritik bir öneme sahiptir.

Kullanıcıların DR programlarından daha etkili bir şekilde faydalanabilmesi için çeşitli yardımcı öğeler kullanılabilir. Elektrik depolama sistemleri ile off-pik zamanlarında depolanan enerjinin pik zamanlarında kullanılması bu uygulamalara örnek olarak verilebilir. Bir diğer çözüm de, ısı depolama ve kojenerasyon sistemlerinin destekleyici olarak kullanılmasıdır.

Sanayide DR uygulamasını etkili bir şekilde yapabilmek için sanayi tüketicileri kümelenmelidir[17]. Bütün tüketicilerin üretim prosesleri analiz edilerek PEM matrisleri daha hassas olarak tespit edilebilir. Bunun için organize sanayi bölge müdürlükleri bünyesinde kurulan enerji yönetim birimlerinin aktif bir şekilde bu çalışmalara yönelmesi yerinde olacaktır.

DR programlarının uygulanmasında sistemin bütün bileşenlerini hesaba katan çeşitli fayda ve maliyet analiz yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemlerde arz, iletim ve talep tarafının birini ya da bir kaçını göz önüne alarak hesaplama yapılabilir[18]. Bu çalışmada DR uygulamasının sadece kullanıcı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. DR uygulamasının toplam etkisinin analiz edilebilmesi ve toplam maliyetlerinin hesaplanabilmesi için tüketici, üretici, dağıtım şirketlerinin dahil olduğu bütün tarafların hesaba katılması lazımdır. Yakın gelecekte bütünü içerir Akıllı Şebeke(Smart Grid) sistemlerinde, DR yöntemlerinin donanıma ve yazılıma entegre edilmesiyle daha etkin sonuçlar elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]Borlase, S., *Smart Grids: Advanced Technologies and Solutions Second Edition*. 2nd Edition ed, ed. L.L. Grigsby. 2018: CRC Press. 828.
- [2]Arturo, L., M. Pierluigi, and V. Antonio, *Integration of Demand Response into the Electricity Chain*. 2015, U.K.: Wiley Inc. 300.
- [3]Salman, S.K., *Introduction to the Smart Grid: Concepts, Technologies and Evolution*. IET Energy Engineering Series. 2017, U.K.: The Institution of Engineering and Technology.
- [4]EPDK, *Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi Sonuç Raporu*. 2018, EPDK: Ankara. p. 96.
- [5]Wang, Y. and L. Li, *Time-of-use electricity pricing for industrial customers: A survey of U.S. utilities*. Applied Energy, 2015. **149**: p. 89-103.
- [6]Agha, A. and D. Jenkins. *Energy analysis of a case-study textile mill by using real-time energy data*. in *ECEEE INDUSTRIAL SUMMER STUDY PROCEEDINGS*. 2014.
- [7]Azman, N.A.M., et al., *Enhanced Time of Use Electricity Pricing for Industrial Customers in Malaysia*. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2017. **Vol. 6**.
- [8]Zethmayr, J. and D. Kolata, *The costs and benefits of real-time pricing: An empirical investigation into consumer bills using hourly energy data and prices*. The Electricity Journal, 2018. **31**(2): p. 50-57.
- [9]Wang, G., et al., *The impact of social network on the adoption of real-time electricity pricing mechanism*. Energy Procedia, 2017. **142**: p. 3154-3159.
- [10]Nezamoddini, N. and Y. Wang, *Real-time electricity pricing for industrial customers: Survey and case studies in the United States*. Applied Energy, 2017. **195**: p. 1023-1037.
- [11]Shoreh, M.H., et al., *A survey of industrial applications of Demand Response*. Electric Power Systems Research, 2016. **141**: p. 31-49.
- [12]Granell, R., et al., *Power-use profile analysis of non-domestic consumers for electricity tariff switching*. 2016.
- [13]Deng, R., et al., *A Survey on Demand Response in Smart Grids: Mathematical Models and Approaches*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2015. **11**(3): p. 570-582.
- [14]Nikmehr, N., S. Najafi-Ravadanegh, and A. Khodaei, *Probabilistic optimal scheduling of networked microgrids considering time-based demand response programs under uncertainty*. Applied Energy, 2017. **198**: p. 267-279.
- [15]Qu, X., et al., *Price elasticity matrix of demand in power system considering demand response programs*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018. **121**: p. 052081.
- [16]Mohajeryami, S., P. Schwarz, and P.T. Baboli. *Including the behavioral aspects of customers in demand response model: Real time pricing versus peak time rebate*. in *2015 North American Power Symposium (NAPS)*. 2015.
- [17]Song, T., et al., *A Cluster-Based Baseline Load Calculation Approach for Individual Industrial and Commercial Customer*. Energies, 2018. **12**(1).
- [18]Woolf, T., et al., *A Framework for Evaluating the Cost-Effectiveness of Demand Response*. 2013.