

ENERJİ PİYASALARI ANONİM ŞİRKETİ

GÜN ÖNCESİ ELEKTRİK PİYASASI

PİYASA TAKAS FİYATI BELİRLEME YÖNTEMİ

2016



İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	2
2. TEKLİF YAPILARI	2
3. PROBLEM TANIMI	5
3.1. Gösterim	5
3.2. Model	6
3.3. Talep veya Arz Fazlası	11
4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ	12
5. SONUÇ	14

1. GİRİŞ

Bu doküman, Türkiye gün öncesi elektrik piyasasında (GÖP) ortaya çıkan teklif eşleştirme¹ ve fiyat belirleme problemini çözmek için geliştirilen yeni yazılımın içeriğini anlatmaktadır. Bu yazılım, Türkiye elektrik sektöründe piyasa işletmecisi olan Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.'nin (EPIAŞ) gün öncesi piyasasında yerli yazılım projesi kapsamında geliştirilmiştir. Yeni yazılım, 1 Aralık 2011 tarihinden itibaren bu projenin hayata geçirildiği tarihe kadar kullanılan gün öncesi piyasası yazılımının (e-terra) yerine geçmiştir. Proje, Ağustos 2015'te başlamış olup, bu kapsamda geliştirilen yazılım 1 Haziran 2016 itibarıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Yazılım, piyasa katılımcılarından gelen teklifleri alarak her saat için piyasa takas fiyatını (PTF) ve her teklif için eşleşme miktar ve fiyatını belirler. Bu süreçte, birden çok algoritma ve matematiksel modeli eniyi (optimal) çözüm elde etme amacıyla kullanır. Problem çözümü için kısıtlı bir zaman olduğundan, yazılım önce sezgisel algoritmalar kullanarak kısıtlara uyan kaliteli bir çözüm bulmayı hedefler. Ardından bir matematiksel program çözücüsü kullanarak optimal çözümü bulmaya çalışır.

İkinci bölümde, piyasadaki mevcut teklif çeşitlerinin yapıları anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, *Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği* [1], *Gün Öncesi Piyasası Tekliflerinin Yapısı ve Tekliflerin Değerlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar* [2] ve *Blok ve Esnek Teklifler Prosedürü* [3] ile belirlenen kurallar altında oluşturulan matematiksel model verilmektedir. Dördüncü bölümde geliştirilen çözüm yöntemi verildikten sonra beşinci bölümde rapor tamamlanacaktır.

2. TEKLİF YAPILARI

Bu bölümde, Türkiye gün öncesi elektrik piyasasındaki teklif türleri ve yapıları aktarılacaktır. Piyasada verilebilecek geçerli bir teklif, ilgili mevzuat tarafından belirlenmiş özellik ve kısıtları sağlamak zorundadır. Gün öncesi piyasasında geçerli olan teklifler ve genel özellikleri [1]-MADDE 53 ile belirtilmektedir.

Mevcut piyasada saatlik, blok ve esnek olmak üzere üç farklı teklif tipi vardır. Her teklif, en az bir fiyat-miktar ikilisinden oluşmaktadır. Fiyat-miktar ikilileri alış ya da satış olmak üzere iki farklı yönde verilebilir. Eğer verilen miktar negatif ise bu ikili satış yönünde, pozitif ise alış yönündedir. f 'nin fiyat, m 'nin miktarı temsil ettiği bir ikiliyi veren katılımcı, m miktarı almak/satmak için en fazla/az f birim fiyatı (₺ / MWh) verdiğini belirtir. Miktarlar *lot* biriminde verilir ve bir lot 0.1 MWh eşittir.

¹ *Teklif eşleştirme* terimi, her teklif için eşleşme fiyatı ve eşleşme miktarının belirlenmesi anlamında kullanılmıştır. Eşleşme miktarı, teklif edilen miktarın kabul edilen kısmını, eşleşme fiyatı ise bu miktarı almak ya da satmak için belirlenen birim fiyatı gösterir.

Saatlik Teklifler: Bu teklif türünde teklif veren katılımcılar, elektriği almak ya da satmak için bir sonraki günün saatleri için fiyat-miktar ikililerini (kırılım noktası) teklif ederler. Geçerli bir saatlik teklif, [2]'de MADDE 5 ile belirlenen özellikleri taşımaktadır.

Satış yönündeki fiyat kırılımlarının miktarları negatif olarak verilir. Piyasa oyuncuları ekonominin doğası gereği malı düşük fiyatlarda almak, yüksek fiyatlarda ise satmak isterler. Bu yüzden, saatlik tekliflerde fiyat kırılımları artarken karşılık gelen miktarlar azalmalıdır (yani alış miktarı azalıp, satış miktarının mutlak değeri artmalıdır). Tablo 2.1, 2.2 ve 2.3'te saatlik teklif örnekleri verilmektedir.

Tablo 2.1'de, teklifin geçerli olduğu periyot için PTF ne olursa olsun 100 lot alacağını bildiren bir katılımcının saatlik teklif örneği gösterilir. Bu tür tekliflere *fiyattan bağımsız saatlik* teklif denir.

Tablo 2.1. Katılımcı 1'in saatlik teklifi

Fiyat (₺/MWh)	0	2000
Miktar (lot)	100	100

Saatlik teklif veren bir katılımcı, teklifin geçerli olduğu periyotta PTF minimum limitte ise bu fiyat kırılımı için teklif ettiği satış miktarından (eğer varsa) daha az miktarda satış yapabileceğini, PTF maksimum limitte ise bu fiyat kırılımı için teklif ettiği alış miktarından (eğer varsa) daha az miktarda alış yapabileceğini söyler. Örneğin, Tablo 2.1.'deki katılımcı 1, ilgili periyottaki PTF 2000 ₺/MWh çıkarsa 100 lottan daha az alabileceğini ifade eder.

Tablo 2.2'de ise altı fiyat seviyeli bir teklif bulunmaktadır. Bu tabloda katılımcı, teklifin geçerli olduğu periyotta açıklanan birim fiyat 250 ₺ veya bunun altında bir değer olduğunda alış yapacağını, bunun üzerinde olduğu zamanda ise satış yapacağını bildirir.

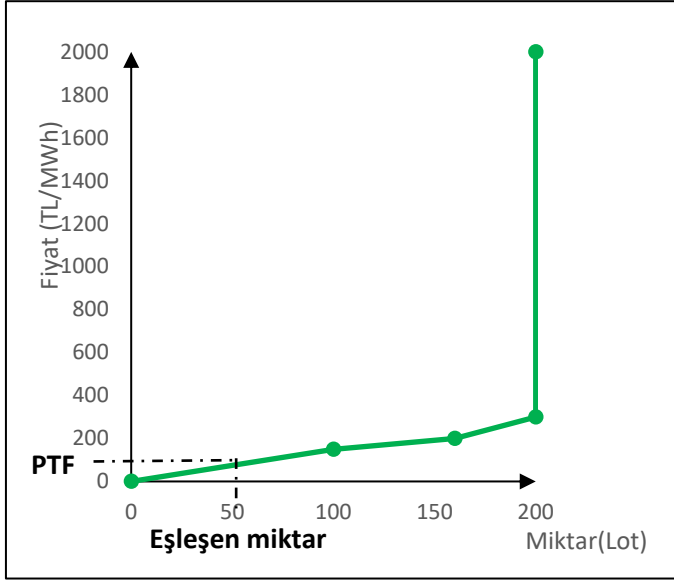
Tablo 2.2. Katılımcı 2'nin saatlik teklifi

Fiyat (₺/MWh)	0	100	200	250	300	2000
Miktar (lot)	100	100	50	0	-50	-100

Tablo 2.3'te beş fiyat seviyeli saatlik satış teklifi gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Katılımcı 3'ün saatlik teklifi

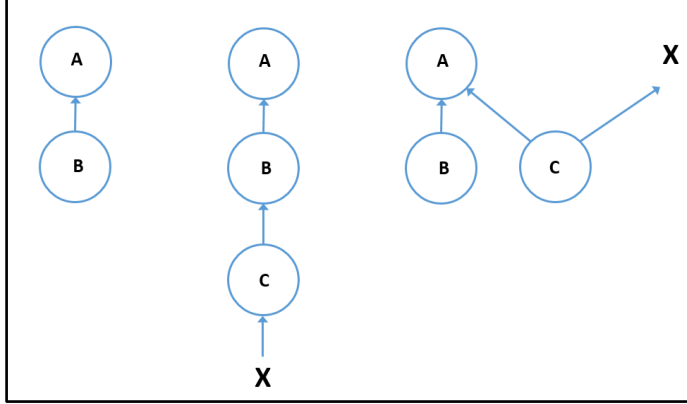
Fiyat (₺/MWh)	0	150	200	300	2000
Miktar (lot)	0	-100	-160	-200	-200

Şekil 2.1. Katılımcı 3' ün parçalı doğrusal arz eğrisi

Saatlik teklif, fiyat miktar ikililerinin verildiği bir küme olmasına rağmen, kırılım noktaları arasının doğrusal interpolasyon ile doldurulmasına izin verir. Bunun sonucunda parçalı doğrusal bir fonksiyon oluşur. Bir saatlik teklif için eşleşme miktarı da, bu parçalı doğrusal fonksiyon üzerinde PTF'ye karşılık gelen miktar olarak belirlenir. Şekil 2.1'de katılımcı 3'ün arz eğrisi gösterilmektedir. Bu grafiğe bakıldığında, PTF 75 ₺/MWh olduğu zaman eşleşme miktarı bu katılımcı için 50 lot olarak bulunur.

Blok teklifler: Blok teklifler, saatlik tekliflerin ardından piyasadaki ikinci en yaygın teklif çeşididir. Geçerli bir blok teklif, [2]'de MADDE 6 ve [3]'te MADDE 4-5 ile belirlenen özellikleri taşımalıdır. Blok teklifler, zaman ekseninde parçalanamayan ardışık saatlik teklifler gibi düşünülebilir. Ancak bu teklif tipinde, geçerli olduğu süre için sadece bir adet fiyat miktar ikilisi vardır. Bu durumda, teklif edilen fiyat o miktarın tamamını almak/satmak koşulu ile verilmektedir. Fiyat ve miktar bilgisine ek olarak, bir sonraki gün için elektrik alımı/satımı yapmak istenilen ardışık saatlerin sayısı da belirtilir. Bir blok teklif aktif olduğu süre için ya tamamen kabul edilir ya da reddedilir.

Blok tekliflerin bir çeşidi olan bağlı blok teklifler de gün öncesi piyasasında kullanılan bir teklif tipidir. Eğer bir blok teklif başka bir blok teklife bağlanmış ise, bağlı olan blok teklif *çocuk teklif*, bağlı olunan blok teklif ise *anne teklif* olarak adlandırılır. Buna göre, anne teklif kabul edilmediği durumda çocuk blok teklif de kabul edilmez. Bu blok teklif tipinde toplamda en fazla 6 adet blok teklif olabilir. En fazla üç jenerasyon (seviye) ve her jenerasyonda maksimum 3 çocuk olacak şekilde birbirine bağlanabilir (Detaylı bilgiye [4]'ten ulaşabilirsiniz). Ayrıca bağlı blok teklifler döngü oluşturacak şekilde bağlı olamaz. Yani, A blok teklifi B blok teklifine bağlanmışsa, B blok teklifi A blok teklifine bağlanamaz. Bununla birlikte, birbirlerine bağlı blok teklifler aynı yönlü (satış ya da alım) olmalıdır. Şekil 2.2'de, piyasaya verilebilecek 3 alternatif bağlı blok teklif kümesi gösterilmektedir.

Şekil 2.2. Olası bağlı blok teklif kümeleri

Tablo 2.4' te iki adet blok teklif vardır. A anne blok teklifi, B ise çocuk blok teklifi ifade eder. Bu durumda, B blok teklifinin kabul edilebilmesi için A blok teklifin de kabul edilmiş olması gerekir.

Tablo 2.4. Bağlı blok teklif örneği

Blok Teklif	Süre	Fiyat (₺/MWh)	Miktar (lot)	Bağlı Blok
A	1-5	150	-150	-
B	3-9	10	-100	A

Esnek teklifler: Esnek tekliflerde sadece fiyat ve miktar bilgileri vardır ve [2]-MADDE 7 ile [3]-MADDE 6' da belirtilen özellikleri taşır. Bir esnek teklif, saatten bağımsız verilmekte olup günün herhangi tek bir saatinde kabul edilebilir. Mevcut piyasada sadece satış yönünde verilebilmektedir. Esnek teklifler ya tamamen kabul edilir ya da tamamen reddedilir. Teklifin kabul edildiği saat en yüksek PTF'nin olduğu saat olmak zorunda değildir ancak teklif fiyatı en yüksek PTF'nin altında ise teklif uygun bir saat için kabul edilir.

3. PROBLEM TANIMI

3.1. Gösterim

Kümeler ve indisler:

- t, T : periyot indisi ve periyotlar kümesi
- I : saatlik satış tekliflerinin kümesi
- J : saatlik alış tekliflerinin kümesi
- $I, L(i)$: segment indisi ve i saatlik teklifine ait segmentler kümesi, $i \in I \cup J$
- B^s : blok satış teklifi kümesi (B^{sc} : çocuk blok satış tekliflerinin kümesi, $B^{sc} \subset B^s$)
- B^d : blok alış teklifi kümesi (B^{dc} : çocuk blok alış tekliflerinin kümesi, $B^{dc} \subset B^d$)

- Λ^b : b blok teklifinin bağlı olduğu tekliflerin kümesi, $b \in B^s \cup B^d$ (b teklifini kabul etmek için Λ^b kümesindeki bütün blok teklifler kabul edilmelidir).
- F^s : esnek satış teklifi kümesi

Parametreler:

- P_{min} : Asgari fiyat limiti
- P_{max} : Azami fiyat limiti
- P_{itl}^0, P_{itl}^1 : t periyodundaki i saatlik teklifinin l segmentinin ilk ve son fiyatı (Satış yönlü teklifler için $P_{min} \leq P_{itl}^0 < P_{itl}^1 \leq P_{max}$ ve alış yönlü teklifler için $P_{max} \geq P_{itl}^0 > P_{itl}^1 \geq P_{min}$)
- Q_{itl}^0, Q_{itl}^1 : t periyodundaki i saatlik teklifinin l segmentinin ilk ve son miktarı ($0 \leq Q_{itl}^0 \leq Q_{itl}^1$)
- P_b, P_f : b blok ve f esnek teklifinin teklif fiyatı
- Q_b, Q_f : b blok ve f esnek teklifinin teklif miktarının mutlak değeri
- N_b : b blok teklifinin aktif (geçerli) olduğu periyot sayısı
- δ_{bt} : b blok teklifi t periyodunda geçerli ise 1, değilse 0 olan ikili parametre

Karar değişkenleri:

- x_{itl} : t periyodundaki i saatlik teklifinin l segmentinin kabul oranı
- y_b : b blok teklifi kabul edilince 1, diğer durumda 0 olan değişken
- z_{ft} : f esnek teklifi t periyodunda kabul edilince 1, diğer durumda 0 olan değişken
- p_t : t periyodundaki piyasa takas fiyatı

3.2. Model

Gün öncesi elektrik piyasalarında katılımcılar bir sonraki günün farklı saatleri için farklı tipte teklifler verirler. Piyasa işletmecisi her teklif için geçerli olan alış veya satış miktarını bulmakla yükümlüdür. Bu miktara *eşleşme miktarı* da denir. Bulunacak eşleşme miktarları, [2]-MADDE 9-11' de belirtilen şartları sağlamak zorundadır. Piyasa işletmecisi günlük piyasa fazlasını arttıracak şekilde eşleşme miktarlarını bulur. Bunu yaparken her saat için eşleştirilen toplam arz ve talep miktarlarının birbirine eşit olmasına dikkat etmelidir. Ayrıca, açıklanan sonuçlar mevzuatın belirttiği kurallara uygun olmak zorundadır.

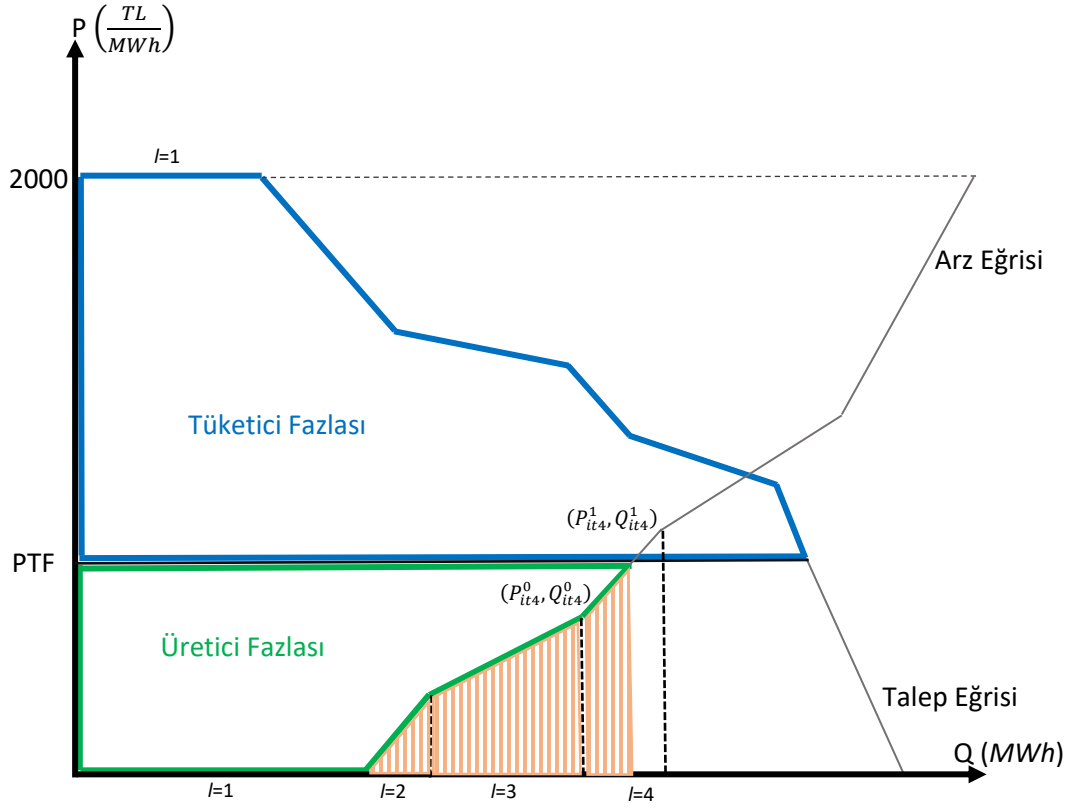
Her teklif çeşidinin kabul edilme durumları bazı kısıtlara bağlanmıştır. Saatlik alış ya da satış teklifleri için bu kural, ilgili saatin hesaplanan PTF değerine denk gelen parçalı doğrusal fonksiyonundaki miktardır. Blok teklifler birden fazla periyotu kapsadığından, bazı periyotlar için teklif fiyatı PTF değerine göre uygun iken bazı periyotlarda uygun olmayabilir. Bu yüzden, satış yönündeki bir blok teklif, teklif fiyatı kapsadığı periyotların ortalama PTF'sinden düşük ya da eşit olduğu durumda kabul edilirken, benzer şekilde, alış yönündeki bir blok teklif, teklif fiyatı

kapsadığı periyotların ortalama PTF'sinden yüksek ya da eşit olduğu durumda kabul edilir. Esnek satış tekliflerinde ise, teklifin fiyatı açıklanan en yüksek PTF'den düşük ya da eşitse bu teklif kabul edilir. Ancak, problemin doğasından ötürü bazı durumlarda blok ve esnek tekliflerde ilgili teklif fiyatı ve PTF ilişkisi yukarıda anlatılandan farklı olsa da bu teklifler kabul edilebilirler. Bu tür tekliflere paradoks dolayısı ile kabul edilen teklifler de denir. Bu tür tekliflerin kabulü fark tutarı oluşumuna neden olur.

Problemin amaç fonksiyonu günlük piyasa fazlasını ençoklamaktır. Günlük piyasa fazlası, günlük üretici ve tüketici fazlalarının toplamına eşittir. Bir katılımcının üretici fazlası, eşleştirme sonucu oluşan satış miktarı karşılığı alacağı tutar ile bu miktarı satmak için piyasaya teklif ettiği tutar arasındaki farktır. Bir katılımcının tüketici fazlası ise, eşleştirme sonucu oluşan alış miktarı için piyasaya teklif ettiği tutar ile bu miktarı almak için ödeyeceği tutar arasındaki farktır.

Piyasa fazlası saatlik, blok ve esnek teklifler kullanılarak hesaplanır. Şekil 3.2.1, bir saat için verilen saatlik tekliflerin eşleşmesi sonucunda oluşan tüketici ve üretici fazlasını göstermektedir. Bu değerler bulunabilmesi için bir saatlik teklif arz ve talep eğrilerine ayrıştırılmalıdır. Tüketici fazlası, talep eğrisi, PTF ve P-Q eksenleri arasındaki alan (mavi çokgen) iken, üretici fazlası, arz eğrisi, PTF ve P-Q eksenleri arasında kalan alandır (yeşil çokgen). Unutulmamalıdır ki, kabul edilen blok ve esnek teklifler sebebi ile PTF, birleştirilmiş saatlik tekliflerin arz ve talep eğrilerinin kesiştiği yerde çıkmayabilir.

Şekil 3.2.1. Saatlik tekliflerden gelen üretici ve tüketici fazlası



Saatlik teklifler matematiksel modele dahil edilirken segmentlere ayrıştırılır. Segment, bir saatlik teklifin arz ve talep eğrilerine ayrışmasından sonra oluşan ardışık iki kırılım noktası arasındaki bölgeyi belirtir. Bir saatlik teklifin minimum satış miktarı veya minimum alış miktarının sıfırdan farklı olması durumunda, arz eğrisinin minimum veya talep eğrisinin maksimum fiyat kırılım noktaları ile fiyat eksenini arasındaki alan da bir segment oluşturur.

Saatlik tekliflerden gelen üretici fazlası:

Aşağıdaki ifadede verilen ilk terim eşleşen satış miktarından elde edilen geliri, ikinci terim ise bu miktarı satmak için katılımcının bildirdiği satış tutarını (Şekil 3.2.1' deki taralı alan) göstermektedir.

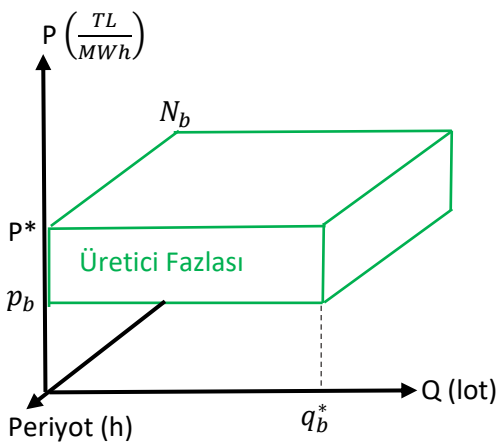
$$\left(\sum_{t \in T} p_t \sum_{i \in I} \sum_{l \in L(i)} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) * x_{itl} \right) - \left(\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{l \in L(i)} [0.5 x_{itl} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) (2P_{itl}^0 + x_{itl} (P_{itl}^1 - P_{itl}^0))] \right)$$

Saatlik tekliflerden gelen tüketici fazlası:

$$\left(\sum_{t \in T} \sum_{i \in J} \sum_{l \in L(i)} [0.5 x_{itl} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) (2P_{itl}^0 + x_{itl} (P_{itl}^1 - P_{itl}^0))] \right) - \left(\sum_{t \in T} p_t \sum_{i \in J} \sum_{l \in L(i)} x_{itl} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) \right)$$

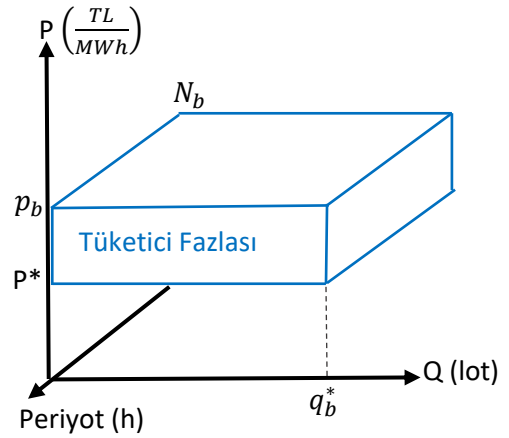
Şekil 3.2.2, blok tekliflerden gelen üretici ve tüketici fazlasını gösterir. P^* blok teklifler için geçerli olduğu saatlerin ortalama PTF'sine eşittir. Kabul edilen bir blok tekliften gelen piyasa fazlası, verilen dikdörtgenler prizmasının hacmidir. Bu hacim, ortalama PTF ve teklif fiyatı arasındaki farkın eşleşme miktarı (q_b^*) ve blok teklifin aktif olduğu toplam periyot sayısı (N_b) ile çarpımına eşittir.

Şekil 3.2.2. Kabul edilen blok tekliflerden gelen üretici ve tüketici fazlası



Blok satış tekliflerinden gelen üretici fazlası:

$$\sum_{b \in B^s} y_b * Q_b * \left(\sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t - N_b p_b \right)$$



Blok alış tekliflerinden gelen tüketici fazlası:

$$\sum_{b \in B^d} y_b * Q_b * \left(N_b p_b - \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t \right)$$

Esnek tekliflerden gelen üretici fazlası blok tekliflerden gelen üretici fazlasına benzer şekilde bulunur, tek fark $N_b = 1$ olarak alınır.

Esnek satış tekliflerinden gelen üretici fazlası:

$$\sum_{f \in F^s} Q_f * \left(\sum_{t \in T} z_{ft} p_t - P_f \right)$$

Piyasaya açıklanan sonuçlar aşağıdaki özellikleri sağlamalıdır:

- a. Her periyotta arz talebe eşit olmalıdır.

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L(i)} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) x_{itl} + \sum_{b \in B^s} \delta_{bt} Q_b y_b + \sum_{f \in F^s} Q_f z_{ft} - \sum_{i \in J} \sum_{l \in L(i)} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) x_{itl} - \sum_{b \in B^d} \delta_{bt} Q_b y_b = 0, \quad \forall t \in T$$

- b. Bir saatlik teklifin eşleşme miktarı, o teklifte belirtilen saatteki PTF'ye karşılık gelen miktardır. Eğer saatlik teklifte PTF'ye karşılık gelen bir fiyat kırılımı yoksa, eşleşme miktarı lineer interpolasyon kuralına göre bulunur.

Satış teklifleri için: $\forall i, t, l$

$$x_{itl} = \begin{cases} 1, & \text{if } P_{itl}^1 < p_t \\ (p_t - P_{itl}^0) / (P_{itl}^1 - P_{itl}^0), & \text{if } P_{itl}^0 \leq p_t \leq P_{itl}^1, l \neq 1 \\ 0, & \text{if } p_t < P_{itl}^0 \end{cases}$$

Alış teklifleri için: $\forall j, t, l$

$$x_{itl} = \begin{cases} 1, & \text{if } p_t < P_{itl}^1 \\ (p_t - P_{itl}^0) / (P_{itl}^1 - P_{itl}^0), & \text{if } P_{itl}^0 \leq p_t \leq P_{itl}^1, l \neq 1 \\ 0, & \text{if } P_{itl}^0 < p_t \end{cases}$$

- c. Blok teklifler ya tamamen kabul edilir, ya da tamamen reddedilir; kısmi kabule izin verilmez. Eğer bir blok teklif kabul edildiyse, geçerli olduğu bütün periyotlarda kabul edilir.

$$y_b \in \{0,1\}, \quad \forall b \in B^s \cup B^d$$

- d. Esnek teklifler ya tamamen kabul edilir ya da tamamen reddedilir.

$$z_{ft} \in \{0,1\}, \quad \forall f \in F^s, t \in T$$

- e. Satış yönündeki blok teklifler, geçerli oldukları saatlerin ortalama PTF' sinden düşük ya da eşit fiyatta teklif vermişlerse kabul edilirler. Alış yönündeki blok teklifler, geçerli oldukları saatlerin ortalama PTF' sinden yüksek ya da eşit fiyatta teklif vermişlerse kabul edilirler. Bu kural, çocuk bloklar için geçerli değildir.

Blok satış teklifleri:

$$N_b P_b \leq \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t \Rightarrow y_b = 1, \quad \forall b \in B^s \setminus B^{sc}$$

Blok alım teklifleri:

$$N_b P_b \geq \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t \Rightarrow y_b = 1, \quad \forall b \in B^d \setminus B^{dc}$$

- f. Çocuk blok teklif, anne blok teklifi kabul edilmeden kabul edilemez.

$$y_b = 1 \Rightarrow y_\lambda = 1, \quad \forall \lambda \in \Lambda^b, \quad b \in B^{sc} \cup B^{dc}$$

- g. Esnek teklif, en yüksek PTF'den daha düşük ya da eşit fiyat vermişse kabul edilmelidir.

$$P_f \leq \max_{t \in T} p_t \Rightarrow \sum_{t \in T} z_{ft} = 1, \quad \forall f \in F^s$$

- h. Bir esnek teklif en fazla bir periyotta kabul edilir.

$$z_{f\hat{t}} = 1 \Rightarrow z_{ft} = 0 \quad \forall t \in T \setminus \{\hat{t}\}, \forall f \in F^s, \forall \hat{t} \in T$$

Bu kısıtların hepsi açıklanan sonuçlarda sağlanması gerekirken, bazı durumlarda bu kısıtları sağlayan herhangi bir sonuç bulunamayabilir. Talep ya da arz fazlalığında, açıklanan sonuçlar b, e, g kısıtlarını karşılamak zorunda değildir.

Yukarıda kısıtları verilen problem *karma tam sayılı ikinci dereceden program (MIQP)* olarak modellenmiştir. Bu model, yüksek hassasiyete sahip eşleşme miktar ve fiyatları bulur. Yönetmeliğin ilgili maddesi uyarınca, fiyatlarda kuruş miktarda ise *lot* hassasiyetli yuvarlama yapılır.

3.3. Talep veya Arz Fazlası

Talep fazlası (enerji eksikliği) veya arz fazlası (enerji fazlası) durumlarında, sistemdeki arz ve talep piyasada mevcutta geçerli olan fiyat limitleri içerisinde ve bir önceki bölümde belirtilen kısıtların hepsini sağlayacak şekilde eşitlenemez. Arz talep dengesini sağlayabilmek için, saatlik teklifler kesintiye uğrar ve blok ve esnek tekliflerdeki kabul koşulu sağlanmayabilir.

Enerji fazlası durumunda, o saatin PTF'si minimum fiyatta çıkar. Bu durumda minimum fiyatta piyasaya sunulan toplam talep, $Talep(P_{min})$, bu fiyattaki toplam arzdan, $Arz(P_{min})$, azdır. Bir saatteki enerji fazlası, o saatteki minimum fiyata karşılık gelen arz ve talebin farkıdır, $Arz(P_{min}) - Talep(P_{min})$. Enerji fazlasının olduğu saatteki arz yönündeki her saatlik teklif için eşleşme miktarı (q_{it}^*) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} Kesinti Miktarı &= Arz(P_{min}) - Talep(P_{min}) \\ Kesinti Oranı &= Kesinti Miktarı / Arz(P_{min}) \\ q_{it}^* &= (Q_{it1}^1 - Q_{it1}^0) * Kesinti Oranı, i \in I \end{aligned}$$

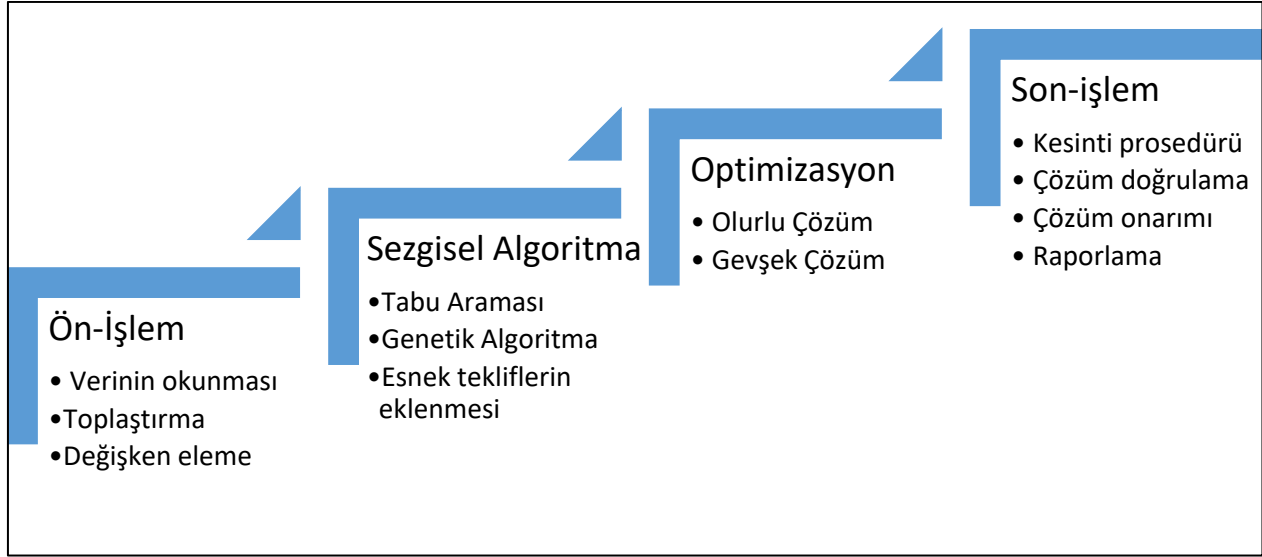
Enerji eksikliği durumunda, o saatin PTF'si maksimum fiyatta P_{max} çıkar. Bu durumda maksimum fiyatta piyasaya sunulan toplam arz, $Arz(P_{max})$, bu fiyattaki toplam talepten, $Talep(P_{max})$, azdır. Bir saatteki enerji eksikliği, o saatteki maksimum fiyata karşılık gelen talep ve arzın farkıdır, $Talep(P_{max}) - Arz(P_{max})$. Enerji eksikliğinin olduğu saatteki talep yönündeki her saatlik teklif için eşleşme miktarı (q_{it}^*) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} Kesinti Miktarı &= Talep(P_{max}) - Arz(P_{max}) \\ Kesinti Oranı &= Kesinti Miktarı / Talep(P_{max}) \\ q_{it}^* &= (Q_{it1}^1 - Q_{it1}^0) * Kesinti Oranı, i \in J \end{aligned}$$

4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu bölümde, önceki bölümde tanımlanan problemin çözümü için izlediğimiz yöntem verilecektir. Bu yöntem, ön-işlem, sezgisel, optimizasyon ve son-işlem algoritmaları olarak dört ana modülden oluşmaktadır. Her modülde, bu probleme özel farklı algoritmalar tasarlanmıştır. Bu modüllerin içindeki algoritmaların yanı sıra, tek bir modüle özgü olmayan, birden çok modülde kullanılan doğrulama ve onarma algoritmaları da oluşturulmuştur. İlk üç modül ardışık çalışırken, raporlama harici son-işlem modülüne ait algoritmalar programın herhangi bir noktasında çalışabilir. Raporlama, çözücüdeki son adımdır. Bu adımda, bulunan çözüm piyasaya açıklanacak formata dönüştürülür.

Şekil 4.1. Çözüm yöntemi akış şeması



1. **Ön-İşlem:** Bu modülde belirtilen toplıştırma, her saatteki saatlik tekliflerin birleştirilerek tek bir saatlik teklif haline dönüştürülmesidir. Değişken eleme amacını ise optimal değeri kaybetmeyecek şekilde problem boyutunu düşürmektir.
2. **Sezgisel algoritmalar:** Optimizasyon modülüne yüksek toplam fazlaya sahip olan bir başlangıç çözümü verebilmek için iki tane sezgisel algoritma paralel olarak çalıştırılır. Sezgisel algoritmalar, hangi blok teklifin kabul edilip hangi blok teklifin reddedilerek en iyi toplam fazlanın elde edileceğini bulmaya çalışır. Bunu yaparken esnek teklifler yokmuş (ya da reddedilmiş) gibi davranır. En uygun blok kombinasyonu bulunduktan sonra, bu çözüme esnek teklifler eklenir. Esnek tekliflerin kabul/ret kararlarını da içeren çözümlerin arasından en yüksek toplam fazlayı veren çözüm seçilir ve optimizasyon aracına başlangıç çözümü olarak verilir. Eğer optimizasyon modülü verilen sürede bu çözümden daha iyi bir çözüm bulamazsa, sezgisel yöntemler tarafından bulunan en iyi çözüm nihai çözüm olarak ele alınır.
3. **Optimizasyon:** Sezgisel algoritmalarından gelen çözüm, matematiksel program çözücüsüne verilerek belirlenen sürede en iyi çözümün bulunması hedeflenir. Kısıtlı ve kısıtsız (modelin e ve g kısıtlarının olmadığı hali) modelin ikisi de bu çözücü tarafından çözülür. Eğer kısıtsız model e ve g kısıtlarını sağlıyorsa, bu çözüm nihai çözüm olarak ele alınır. Aksi takdirde, kısıtlı model çözülür, kısıtsız modelin çözümü e ve g kısıtlarını sağlayacak şekilde onarılır ve bu iki çözüm birbirleri ile kıyaslanarak en yüksek toplam fazlayı veren çözüm açıklanır.
4. **Son-İşlem:** Bu modül, arz veya talep fazlası olduğu durumlarda uygulanan kesinti prosedürünü, çözüm doğrulama ve onarma algoritmalarını ve raporlamayı içerir. Doğrulama algoritmaları, sezgisel ve optimizasyon modüllerinin ürettiği çözümlerin Bölüm

3.2’de belirtilen kısıtlara uygunluğunu kontrol eder. Eğer üretilen bir çözüm, bu kısıtları sağlamıyorsa onarma algoritması kullanılarak çözüm olurlu hale getirilir. Arz veya talep fazlası olduğu durumlarda, üçüncü bölümde belirtilen bazı kısıtlar (e ve g kısıtları) gevşetilerek arz ve talep eşitliği sağlanmaya çalışılır.

5. SONUÇ

Bu dokümanda, Türkiye gün öncesi piyasası fiyat belirleme problemine yönelik geliştirilen optimizasyon yazılımının ürettiği çözümlerin uyması gereken kurallar ve optimizasyon amaç fonksiyonu kapsamlı bir şekilde yer almaktadır. *Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, Gün Öncesi Piyasası Tekliflerinin Yapısı ve Tekliflerin Değerlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar ve Blok ve Esnek Teklifler Prosedürü*’ ne referans verilerek problemin formülasyonunun dayanağı belirtilmiştir.

Yeni yazılım ile artık belirtilen istisnalar harici, fiyatı PTF ile karşılaştırıldığında uygun olan blok ve esnek tekliflere kabul garantisi getirilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu, verimli çalışan bir piyasanın gereği olarak toplam piyasa fazlasını ençoklamak olarak belirlenmiştir. Probleme özgü geliştirilen algoritmalar ve kullanılan son teknoloji matematiksel program çözücüsü ile, optimal çözümün bulunması hedeflenmiştir.

Gün öncesi elektrik piyasalarında fiyat belirleme problemi, içerisinde birçok araştırma konusu ve geliştirme alanları barındırmaktadır. EPIAŞ’ın kurulması ve bu problemin çözülmesi için şirket içerisinde bir araştırma ekibinin oluşturulması, mevcut yazılımın öz kaynaklar ile geliştirilebilmesini sağlamıştır. Bu alanda devam eden araştırmalar ile, piyasanın çeşitli açılardan gelişimine katkı sağlamaya yönelik hem sektörden gelen önerilerin hem de gelişmiş piyasalardaki uygulamaların akademik açıdan incelenmesi ve uygun bulunduğu takdirde uygulamaya alınması mümkün olabilecektir.

KAYNAKÇA

[1] Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, EPDK. 01/06/2016. v.14-15
<http://www.epdk.org.tr/TR/DokumanDetay/Elektrik/Mevzuat/Yonetmelikler/DengelemeUzlastirma>

[2] Gün Öncesi Piyasası Tekliflerinin Yapısı ve Tekliflerin Değerlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar, EPDK.

<http://www.epdk.org.tr/TR/DokumanDetay/Elektrik/Mevzuat/Yonetmelikler/DengelemeUzlastirma>

[3] Blok ve Esnek Teklifler Prosedürü, EPIAŞ. 28/05/2016.

<https://www.epias.com.tr/duyurular/dengeleme-ve-uzlastirma-yonetmeligi-uyarinca-hazirlanan-prosedurler>

[4] GÜN ÖNCESİ PİYASASI BLOK TEKLİF YAPISI DEĞİŞİKLİĞİ, EPIAŞ. 28/04/2017.

<https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2017/04/Gün-Öncesi-Piyasası-Blok-Teklif-Yapısı-Değişikliği.pdf>