

ENERJİ PİYASALARI ANONİM ŞİRKETİ

GÜN ÖNCESİ ELEKTRİK PİYASASI

PİYASA TAKAS FİYATI BELİRLEME YÖNTEMİ



İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	2
2. TEKLİF YAPILARI	2
3. PROBLEM TANIMI	6
3.1. Gösterim	6
3.2. Model	7
3.3. Talep veya Arz Fazlası	13
4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ	13
5. SONUÇ	15
KAYNAKÇA	16
REVİZYON TARİHÇESİ	16

1. GİRİŞ

Bu doküman, Türkiye gün öncesi elektrik piyasasında (GÖP) ortaya çıkan teklif eşleştirme¹ ve fiyat belirleme problemini çözmek için geliştirilen optimizasyon yazılımının içeriğini açıklamaktadır. Bu yazılım, Türkiye elektrik sektöründe piyasa işletmecisi olan Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPIAŞ) tarafından gün öncesi piyasasında yerli yazılım projesi kapsamında geliştirilmiştir. Proje, Ağustos 2015'te başlamış olup, geliştirilen yazılım 1 Haziran 2016 tarihinde devreye alınmıştır.

Yazılım, piyasa katılımcılarından gelen teklifleri alarak her saat için piyasa takas fiyatını (PTF) ve her teklif için eşleşme miktarını ve fiyatını belirlemektedir. Bu süreçte, en iyi çözümü elde etmek amacıyla çeşitli matematiksel modeller ve algoritmalar kullanılmaktadır. Problemin çözümü için sınırlı bir zaman bulunduğundan, yazılım ilk olarak sezgisel algoritmalar ile kısıtlara uygun, kaliteli bir çözüm elde etmeye çalışmaktadır. Ardından bir matematiksel program çözücüsü kullanarak optimal çözümü aramaktadır.

2. TEKLİF YAPILARI

Piyasada verilebilecek geçerli bir teklif, ilgili mevzuat tarafından belirlenmiş özellik ve kısıtları sağlamak zorundadır. Gün öncesi piyasasında geçerli olan teklifler ve genel özellikleri [1]'de MADDE 53 ile belirtilmektedir.

Mevcut piyasada saatlik, blok ve esnek olmak üzere üç farklı teklif tipi vardır. Her teklif fiyat ve miktar bilgilerini içermektedir. Teklifler alış ya da satış olmak üzere iki farklı yönde verilebilir. Verilen miktar negatif ise bu teklif satış yönünde, pozitif ise alış yönündedir. Miktarlar *lot* biriminde verilir ve bir *lot* 0.1 MWh'e eşittir. Örneğin, p 'nin fiyatı ve q 'nun miktarı temsil ettiği bir durumda katılımcı, q *lot* alış/satış yapmak için en fazla/az p birim fiyatı (₺/MWh) verdiğini belirtir.

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

Saatlik teklifler alış yönünde 32 adet, satış yönünde 32 adet olmak üzere en fazla 64 seviyeden oluşabilir. Satış yönündeki fiyat kırılımlarının miktarları negatif olarak verilir. Piyasa katılımcıları ekonominin doğası gereği bir ürünü veya hizmeti düşük fiyatlarda almak, yüksek fiyatlarda ise satmak isterler. Bu yüzden, saatlik tekliflerde fiyat artarken karşılık gelen miktarlar azalmalıdır

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.

veya sabit kalmalıdır (yani fiyatlar artarken alış miktarı artmamalı, satış miktarının mutlak değeri ise azalmamalıdır).

Tablo 2.1’de beş fiyat seviyeli bir saatlik satış teklifi örnek olarak verilmiştir. Buna göre katılımcı teklifin geçerli olduğu periyotta açıklanan fiyat 0 ₺/MWh olursa satış yapmayacağını, fiyat 150 ₺/MWh ile 300 ₺/MWh arasında olursa 100 lot ile başlayan ve giderek artan miktarlarda satış yapacağını, 300 ₺/MWh ve üstündeki tüm fiyatlar için ise 200 lot satacağını belirtmektedir.

Tablo 2.1. Beş fiyat seviyeli bir saatlik satış teklif örneği

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

Tablo 2.2’de altı fiyat seviyeli bir teklif bulunmaktadır. Bu tabloda katılımcı teklifin geçerli olduğu periyotta fiyat 250 ₺/MWh’nin altında olursa alış yapacağını, üstünde olursa satış yapacağını bildirir. Fiyat 250 ₺/MWh olduğunda ise katılımcı alış veya satış yapmayacağını söylemektedir.

Tablo 2.2. Altı fiyat seviyeli bir saatlik teklifi örneği

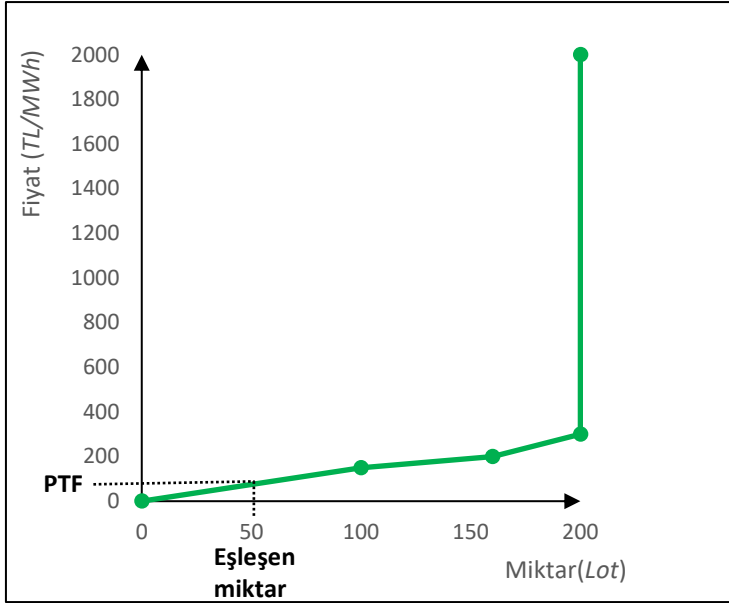
Fiyat (₺/MWh)	0	100	200	250	300	2000
Miktar (lot)	100	100	50	0	-50	-100

Tablo 2.3’de, teklifin geçerli olduğu periyot için fiyat ne olursa olsun 100 lot alacağını bildiren bir katılımcının saatlik teklif örneği gösterilir. Bu tür tekliflere *fiyattan bağımsız saatlik* teklif denir.

Tablo 2.3. Fiyattan bağımsız saatlik satış teklif örneği

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

Saatlik bir teklifin geçerli olduğu periyotta arz fazlası varsa PTF minimum olur ve teklifi veren katılımcı, bu fiyat kırılımı için teklif ettiği satış miktarından (eğer varsa) daha az miktarda satış yapabileceğini kabul eder. Eğer talep fazlası varsa, PTF maksimum olur ve katılımcı bu fiyat kırılımı için teklif ettiği alış miktarından (eğer varsa) daha az miktarda alış yapabileceğini kabul eder. Örneğin, Tablo 2.3.’deki teklifin verildiği periyotta talep fazlası varsa PTF 2000 ₺/MWh çıkar ve teklifin eşleşme miktarı 100 lot’tan daha az olur.

Şekil 2.1. Doğrusal interpolasyon ile miktar hesaplama

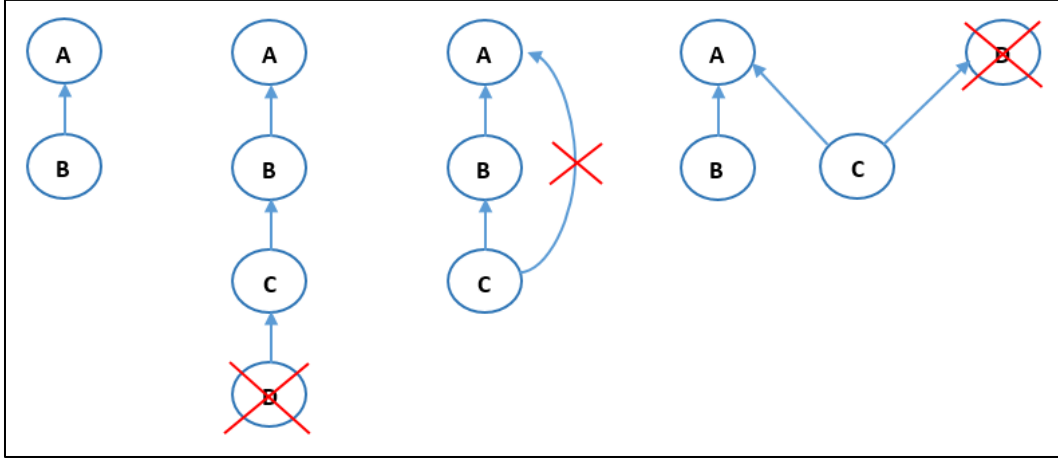
Saatlik teklif fiyat-miktar ikililerinin verildiği bir küme olsa da, kırılım noktaları arasındaki değerler doğrusal interpolasyon yöntemiyle belirlenir ve sonuç olarak parçalı doğrusal bir fonksiyon ortaya çıkar. Teklifin eşleşme miktarı ise bu fonksiyon üzerinde PTF'ye karşılık gelen miktardır. Örneğin, Tablo 2.1'de verilen teklifin arz eğrisi Şekil 2.1'de gösterildiği gibidir ve PTF 75 TL/MWh olursa, bu katılımcı için eşleşme miktarı 50 *lot* olarak hesaplanır.

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. Bu teklif tipinde sadece bir adet fiyat bilgisi varken, teklifin geçerli olduğu her saat için aynı işlem yönüne (alış veya satış) sahip farklı miktarlar verilebilir. Ancak herhangi bir saatteki teklif miktarı 6000 *lot*'u geçemez ve ardışık saatler arasındaki miktar değişimleri 3 kat kuralına tabidir: Bir saat için teklif edilen miktar önceki saat için teklif edilen miktarın üç katından büyük veya üçte birinden küçük olamaz. Bir blok teklif aktif olduğu süre için ya tamamen kabul edilir ya da reddedilir. Teklif miktarları birbirinden farklı olacak şekilde verilen bir blok teklif *profil* blok teklif olarak adlandırılmaktadır.

Fiyat ve miktar bilgisine ek olarak, bir sonraki gün için elektrik alımı/satımı yapmak istenilen ardışık saatlerin sayısı da belirtilir. Blok teklifler en az 3 saatlik zaman dilimini kapsar. Bir katılımcı bir günde en fazla 50 adet blok teklifi verebilir.

Blok tekliflerin bir çeşidi olan bağlı blok tekliflerde, en fazla 6 adet blok teklif en fazla üç seviyede ve döngü oluşturmayacak şekilde birbirine bağlanabilir. Bir teklif üst seviyede sadece bir teklife bağlanabilir. Birbirine bağlanan blok tekliflerin tamamı aynı işlem yönüne sahip olmalıdır. İkinci ve üçüncü seviyedeki blok teklifler bağlı oldukları üst seviyedeki tekliflerle birlikte değerlendirilerek kabul edilebilirler. Şekil 2.2'de, bağlı blok tekliflerin bağlanma koşullarına ilişkin bir görsel verilmiştir.

Şekil 2.2. Bağlı blok teklif küme örnekleri



Tablo 2.4'te bağlı blok tekliflere bir örnek verilmiştir: B teklifi A teklifine, C teklifi de B teklifine bağlanmıştır. Buna göre, B teklifinin kabul edilebilmesi için A teklifinin de kabul edilmesi gerekmektedir. C teklifinin kabulü için ise hem A hem B kabul edilmelidir.

Tablo 2.4. Bağlı blok teklif örneği

Blok Teklif	Periyot	Fiyat (₺/MWh)	Miktar ₁ (lot)	Miktar ₂ (lot)	Miktar ₃ (lot)	Miktar ₄ (lot)	Bağlı Olduğu Blok
B	1-4	150	-150	-170	-180	-160	A
C	3-6	10	-100	-120	-130	-140	B

Esnek teklifler: Esnek teklifler fiyat, miktar, teklif zaman aralığı ve teklif süresi bilgilerini içermektedir. Bu teklifler, [2]-MADDE 7 ile [3]-MADDE 6'da belirtilen özellikleri taşır.

Esnek teklifler için teklif zaman aralığı en az 8, en fazla 24 saattir. Teklif süresi ise en fazla 4 saati kapsayabilir. Teklif süresi içinde tek fiyat bilgisi tanımlanırken, her saat için farklı miktarlar verilebilir (profil esnek teklif). Ancak herhangi bir saatteki teklif miktarı 1000 lot'u geçemez ve teklif süresi içerisinde geçerli hem alış hem de satış miktarı bulunamaz. Piyasa katılımcıları bir teslim gününün aynı veya farklı teklif aralıklarında en fazla 6 adet esnek teklif verebilirler.

Bir esnek teklif, katılımcının belirlediği zaman aralığı içerisinde piyasa işletmecisi tarafından belirlenecek periyotta başlayacak şekilde teklif süresine eşit sayıda ardışık periyotlarda kabul edilir veya tamamen reddedilir.

3. PROBLEM TANIMI

3.1. Gösterim

Kümeler:

- T : Periyotlar kümesi
- I : Saatlik satış tekliflerinin kümesi
- J : Saatlik alış tekliflerinin kümesi
- L_i : i saatlik teklifine ait segmentler kümesi, $i \in I \cup J$
- B^s : Blok satış tekliflerinin kümesi
- B^{sc} : Bağlı blok satış tekliflerinin kümesi, $B^{sc} \subset B^s$
- B^d : Blok alış tekliflerinin kümesi
- B^{dc} : Bağlı 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 tekliflerinin kümesi
- F^d : Esnek alış tekliflerinin kümesi
- T_f : f esnek teklifinin zaman aralığı içindeki periyotlar kümesi, $f \in F^s \cup F^d$ ve $T_f \subset T$

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 miktarlarının mutlak değeri ($0 \leq Q_{itl}^0 \leq Q_{itl}^1$)
- P_b, P_f : b blok ve f esnek teklifinin teklif fiyatı
- Q_{bt} : b blok teklifinin t periyodu için geçerli olan teklif miktarının mutlak değeri
- $Q_{f\hat{t}t}$: $\hat{t}$ periyodunda başlayacak f esnek teklifinin, t periyodu için geçerli teklif miktarının mutlak değeri
- δ_{bt} : b blok teklifi t periyodunda geçerli ise 1, değilse 0
- $\sigma_{f\hat{t}t}$: f esnek teklifi $\hat{t}$ periyodunda aktif edildiğinde t periyodunda geçerli olacak ise 1, değilse 0

Karar değişkenleri:

- x_{itl} : t periyodundaki i saatlik teklifinin l segmentinin kabul oranı
- y_b : b blok teklifi kabul edilirse 1, değilse 0
- z_{ft} : f esnek teklifi t periyodundan başlayarak kabul edilirse 1, değilse 0
- p_t : t periyodundaki piyasa takas fiyatı
- c^s : Satış yönünde kesinti var ise 1, değilse 0
- c^d : Alış yönünde kesinti var ise 1, değilse 0

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 sonuçların mevzuatın belirlediği kurallara uygun olması gerekmektedir. Bu doğrultuda, tekliflerin kabul edilme şartları şu şekildedir:

- Saatlik alış ya da satış teklifleri için, ilgili saatin PTF değerine denk gelen parçalı doğrusal fonksiyondaki miktar kabul edilir.
- Blok teklifler birden fazla periyotu kapsadığından, bazı periyotlar için teklif fiyatı PTF değerine göre uygun iken bazı periyotlarda uygun olmayabilir. Bu yüzden, bir blok teklif pozitif toplam fazlaya sahipse kabul edilir. Buna göre, satış yönündeki bir blok teklif, teklif fiyatı kapsadığı periyotların ağırlıklı ortalama PTF'sinden düşük ya da bu değere eşit olduğu durumda kabul edilir. Alış yönündeki bir blok teklif ise, teklif fiyatı kapsadığı periyotların ağırlıklı ortalama PTF'sinden yüksek ya da bu değere eşit olduğu durumda kabul edilir.
- Bir esnek satış teklif, kabul edilebileceği periyot kümelerinin en az birinde pozitif toplam fazlaya sahip (teklif fiyatı ağırlıklı ortalama PTF'den düşük ya da bu fiyata eşit) ise kabul edilir. Benzer şekilde, bir esnek alış teklif, kabul edilebileceği periyot kümelerinin en az birinde pozitif toplam fazlaya sahip (teklif fiyatı ağırlıklı ortalama PTF'den yüksek ya da bu fiyata eşit) ise kabul edilir.

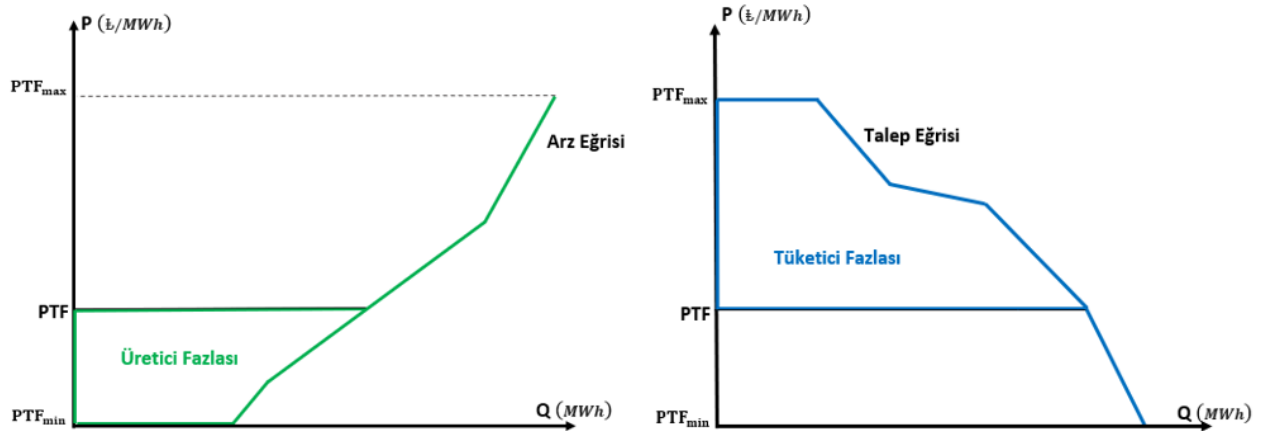
Herhangi bir saatte arz-talep eşitliği sağlanamadığında, saatlik teklifler kesintiye uğrar ve kesinti olan yöndeki blok teklifler için yukarıda verilen kabul koşulu dikkate alınmaz. Saatlik tekliflerdeki kesinti ve blok tekliflerinin kabul koşulunun kaldırılması yeterli olmadığında, esnek tekliflerde de kabul şartı aranmaz.

Problemin doğasından ötürü bazı durumlarda blok ve esnek teklifler negatif toplam fazlaya sahip olsalar da 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, tüm tekliflerden gelen günlük üretici fazlalarının toplamına eşittir. Bir tekliften gelen üretici fazlası, eşleştirme sonucu oluşan satış miktarı karşılığı alacağı tutar ile bu miktarı satmak için piyasaya teklif ettiği tutar arasındaki farktır. Bir teklifin 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 için ayrı ayrı hesaplanır. Şekil 3.2.1’de bir saatlik satış teklifine karşılık gelen üretici fazlası ile bir saatlik alış teklifine denk gelen tüketici fazlası verilmiştir (Tablo 2.2’deki gibi alış ve satış bileşenleri olan bir saatlik teklif, biri alış ve biri satış olmak üzere iki ayrı saatlik teklif olarak ifade edilebilir). Üretici fazlası, arz eğrisi, PTF ve P-Q eksenleri arasında kalan alan (yeşil çokgen) iken; tüketici fazlası, talep eğrisi, PTF ve P-Q eksenleri arasındaki alandır (mavi çokgen).

Şekil 3.2.1. Bir saatlik satış teklifine karşılık gelen üretici fazlası (solda) ve bir saatlik alış teklifine karşılık gelen tüketici fazlası (sağda)

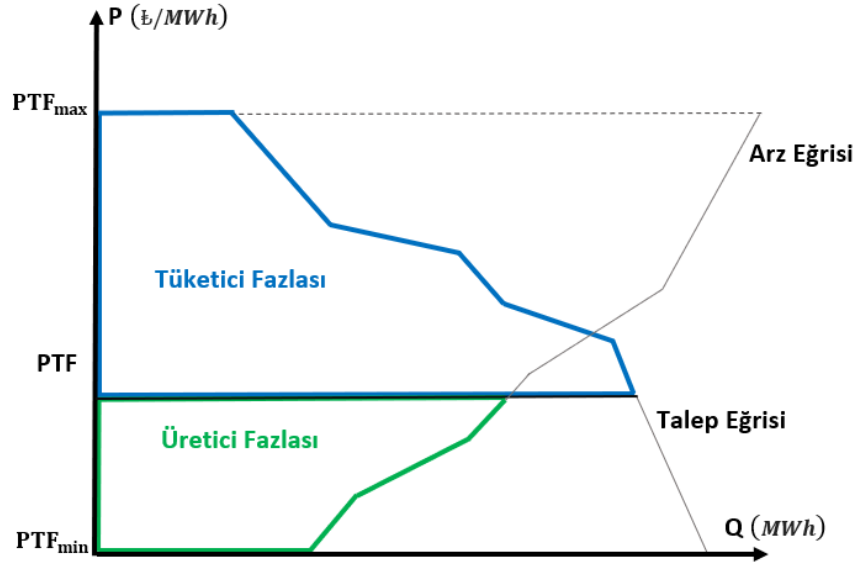


Şekil 3.2.2’de bir saat için verilen tüm saatlik tekliflerin toplaştırılması ile elde edilen arz ve talep eğrileri ile saatlik toplam tüketici ve saatlik toplam üretici fazlaları gösterilmektedir. Unutulmamalıdır ki, kabul edilen blok ve esnek teklifler sebebi ile PTF, birleştirilmiş saatlik tekliflerin arz ve talep eğrilerinin kesiştiği yerde çıkmayabilir.

Saatlik teklifler matematiksel modele dahil edilirken segmentlere ayrıştırılır. Segment, bir saatlik teklifin arz/talep eğrilerinde 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.

Şekil 3.2.2. Saatlik toplam tüketici ve üretici fazlaları



Saatlik tekliflerden gelen toplam üretici fazlası:

Aşağıdaki ifadede verilen ilk terim eşleşen satış miktarından elde edilen geliri, ikinci terim ise bu miktarı satmak için katılımcının bildirdiği satış tutarını göstermektedir.

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

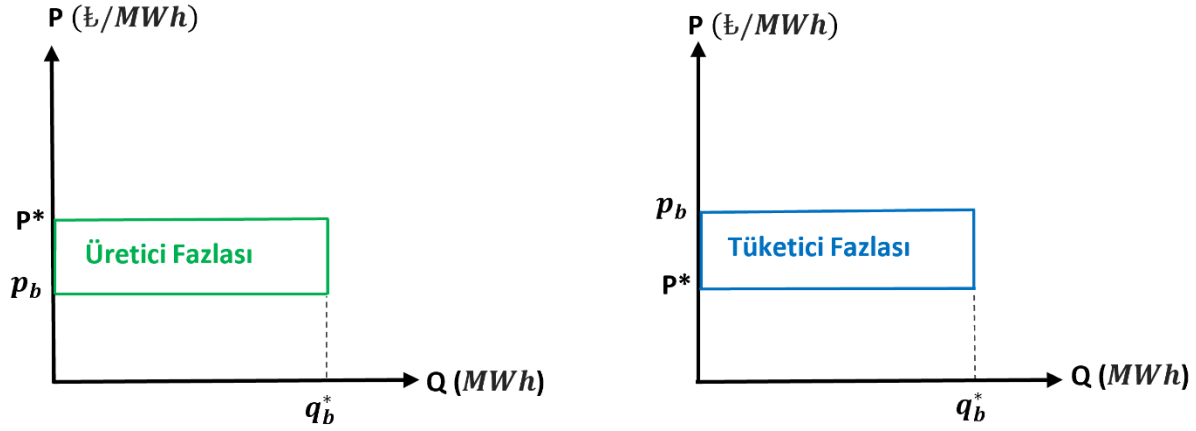
Saatlik tekliflerden gelen toplam tüketici fazlası:

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

Şekil 3.2.3 blok tekliflerden gelen üretici ve tüketici fazlasını gösterir. P^* blok teklifler için geçerli olduğu saatlerin ağırlıklı ortalama PTF'sine eşittir. Kabul edilen bir blok tekliften gelen piyasa fazlası, ağırlıklı ortalama PTF ve teklif fiyatı arasındaki farkın teklifin toplam eşleşme miktarı

(q_b^*) ile çarpımına eşittir. Esnek tekliflerden gelen üretici/tüketici fazlası blok tekliflerden gelen üretici/tüketici fazlasına benzer şekilde bulunur.

Şekil 3.2.3. Kabul edilen bir blok satış teklifinden gelen üretici fazlası (solda) ve kabul edilen bir blok alış teklifinden gelen tüketici fazlası (sağda)



Blok satış tekliflerinden gelen toplam üretici fazlası:

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

Blok alış tekliflerinden gelen toplam tüketici fazlası:

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

Esnek satış tekliflerinden gelen toplam üretici fazlası:

$$\sum_{f \in F^s} \sum_{t \in T} z_{ft} \left(\sum_{t \in T} \sigma_{ftt} Q_{ftt} (p_t - p_f) \right)$$

Esnek alış tekliflerinden gelen toplam tüketici fazlası:

$$\sum_{f \in F^d} \sum_{t \in T} z_{ft} \left(\sum_{t \in T} \sigma_{ftt} Q_{ftt} (p_f - p_t) \right)$$

Piyasaya açıklanan sonuçlar aşağıdaki özellikleri sağlamalıdır:

- a. Her periyotta arz talebe eşit olmalıdır.

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

- b. Bir saatlik teklifin eşleşme miktarı, o teklifte belirtilen saatteki PTF'ye karşılık gelen miktardır. Eğer saatlik teklifte PTF'ye karşılık gelen bir fiyat kısılmı yoksa eşleşme miktarı lineer interpolasyon kuralına göre bulunur. Arz veya talep fazlası olan saatlerde, saatlik tekliflerin eşleşme miktarı Bölüm 3.3'de anlatıldığı şekilde hesaplanmaktadır.

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

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

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

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

- 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. Bir blok teklif, bağlı olduğu teklif (varsa) kabul edilmeden kabul edilemez.

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

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

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

- f. Bir esnek teklif kendisi için tanımlanan zaman aralığı içinde en fazla bir periyotta başlayacak şekilde kabul edilebilir.

$$\sum_{t \in T_f} z_{ft} \leq 1, \quad \forall f \in F^s \cup F^d$$

- g. Satış (alış) yönündeki blok teklifler, geçerli oldukları saatlerin ağırlıklı ortalama PTF'sinden düşük (yüksek) ya da bu fiyata eşit fiyatta teklif vermişlerse kabul edilirler. Bu kural, bağlı tekliflerde bağlı olunan teklif kabul edilmemişse geçerli değildir. Ayrıca, herhangi bir saatte arz-talep eşitliği sağlanamadığında kesinti yönünde kabul şartı aranmaz.

Blok satış teklifleri:

$$c^s = 0 \text{ ve } y_\lambda = 1, \forall \lambda \in \Lambda_b \text{ ve } P_b \leq \frac{\sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t Q_{bt}}{\sum_{t \in T} \delta_{bt} Q_{bt}} \Rightarrow y_b = 1, \quad \forall b \in B^s$$

Blok alış teklifleri:

$$c^d = 0 \text{ ve } y_\lambda = 1, \forall \lambda \in \Lambda_b \text{ ve } P_b \geq \frac{\sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t Q_{bt}}{\sum_{t \in T} \delta_{bt} Q_{bt}} \Rightarrow y_b = 1, \quad \forall b \in B^d$$

- h. Bir esnek satış teklif, kabul edilebileceği periyot kümelerinin en az birinde pozitif toplam fazlaya sahip (teklif fiyatı ağırlıklı ortalama PTF'den düşük ya da bu fiyata eşit) ise kabul edilir. Benzer şekilde, bir esnek alış teklif, kabul edilebileceği periyot kümelerinin en az birinde pozitif toplam fazlaya sahip (teklif fiyatı ağırlıklı ortalama PTF'den yüksek ya da bu fiyata eşit) ise kabul edilir. Herhangi bir saatte arz-talep eşitliği sağlanamadığında, saatlik tekliflerdeki kesinti ile blok tekliflerinin kabul koşulunun kaldırılması yeterli olmazsa esnek tekliflerde kabul şartı aranmaz. Bu istisnai durum, Bölüm 4'te açıklanan çözüm onarım algoritmalarının uygulanması sırasında dikkate alınır.

Esnek satış teklifleri:

$$P_f \leq \frac{\sum_{t \in T} \sigma_{f\hat{t}t} p_t Q_{f\hat{t}t}}{\sum_{t \in T} \sigma_{f\hat{t}t} Q_{f\hat{t}t}} \text{ sağlayan } \hat{t} \in T_f \text{ varsa} \Rightarrow \sum_{t \in T_f} z_{ft} = 1, \forall f \in F^s$$

Esnek alış teklifleri:

$$P_f \geq \frac{\sum_{t \in T} \sigma_{f\hat{t}t} p_t Q_{f\hat{t}t}}{\sum_{t \in T} \sigma_{f\hat{t}t} Q_{f\hat{t}t}} \text{ sağlayan } \hat{t} \in T_f \text{ varsa} \Rightarrow \sum_{t \in T_f} z_{ft} = 1, \forall f \in F^d$$

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 kesinti olan yöndeki blok tekliflerin kabul koşulu kaldırılır. Saatlik tekliflerdeki kesinti ve blok tekliflerinin kabul koşulunun kaldırılması yeterli olmadığında, esnek tekliflerin kabul koşulları da dikkate alınmaz.

Enerji fazlası durumunda, ilgili saatin PTF'si minimum fiyatta P_{min} 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:

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

Enerji eksikliği durumunda, ilgili 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 eksikliğin olduğu saatteki talep yönündeki her saatlik teklif için eşleşme miktarı (q_{it}^*) aşağıdaki gibi hesaplanır:

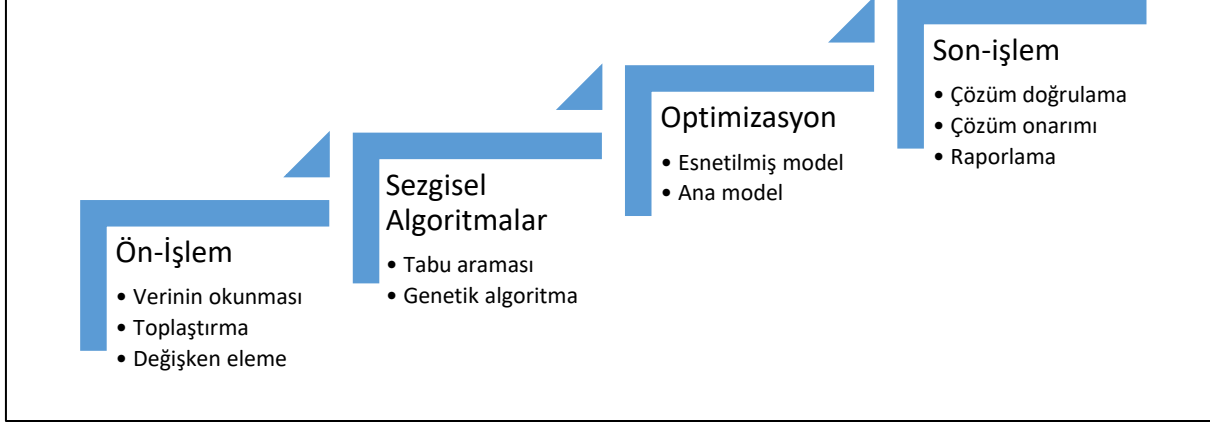
$$\begin{aligned} \text{Kesinti Miktarı} &= Talep(P_{max}) - Arz(P_{max}) \\ \text{Kesinti Oranı} &= \text{Kesinti Miktarı} / Talep(P_{max}) \\ q_{it}^* &= (Q_{it1}^1 - Q_{it1}^0) * \text{Kesinti Oranı}, i \in J \end{aligned}$$

4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu bölümde, önceki bölümde tanımlanan problemin çözümü için izlediğimiz yöntem verilecektir. Bu yöntem, ön-işlem, sezgisel algoritmalar, optimizasyon ve son-işlem olmak üzere dört ana modülden oluşmaktadır (Şekil 4.1). İlk üç modül ardışık çalışırken, son-işlem modülüne

ait çözüm doğrulama ve onarma algoritmaları programın herhangi bir noktasında çalışabilir. Son adım olan raporlamada ise bulunan çözüm piyasaya açıklanacak formata dönüştürülür.

Şekil 4.1. Çözüm yöntemi akış şeması



1. **Ön-işlem:** Bu modülde belirtilen toplıştırma, her saat için saatlik tekliflerin birleştirilerek tek bir saatlik teklif haline dönüştürülmesidir. Değişken eleme amacı ise optimal değeri kaybetmeyecek şekilde problem boyutunu küçültmektir.
2. **Sezgisel algoritmalar:** Matematiksel modele yüksek toplam fazlaya sahip olan bir başlangıç çözümü verebilmek için iki tane sezgisel algoritma paralel olarak çalıştırılır. Sezgisel algoritmalar, hangi blok/esnek teklifin kabul edilip hangi blok/esnek teklifin reddedilerek en iyi toplam fazlanın elde edileceğini bulmaya çalışır. Bulunan çözümlerin arasından en yüksek toplam fazlayı veren çözüm seçilir ve optimizasyon aracına başlangıç çözüm olarak verilir. Eğer optimizasyon modülü verilen sürede 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. Ana model ve esnetilmiş model (ana modelde g ve h kısıtlarının olmadığı hali) bu çözücü tarafından çözülür. Eğer esnetilmiş model g ve h kısıtlarını sağlıyorsa, bu çözüm nihai çözüm olarak ele alınır. Aksi takdirde, ana model çözülür, esnetilmiş modelin çözümü g ve h kısıtlarını sağlayacak şekilde onarılır ve bu iki çözüm birbirleri ile kıyaslanarak en yüksek toplam fazlayı veren çözüm açıklanır.
4. **Son-işlem:** Bu modül, çözüm doğrulama ve onarma algoritmalarını ve raporlamayı içerir. Doğrulama algoritmaları, sezgisel algoritma 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.

5. SONUÇ

Bu dokümanda, Türkiye gün öncesi elektrik piyasası fiyat belirleme problemine yönelik geliştirilen matematiksel model ve çözüm yöntemi aktarılmıştır. *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 problem formülasyonunun dayanağı belirtilmiştir.

Geliştirilen yazılımda, matematiksel modelin amaç fonksiyonu, verimli bir piyasanın gereği olarak toplam piyasa fazlasını ençoklamak olarak belirlenmiştir. Kesinti meydana gelmediği durumlarda, PTF ile karşılaştırıldığında fiyatı uygun olan blok ve esnek tekliflere kabul garantisi verilmektedir. Probleme özgü geliştirilen algoritmalar ve kullanılan son teknoloji matematiksel program çözücüsü ile optimal çözüm aranmaktadır.

EPIAŞ'ın kurulması, gün öncesi elektrik piyasalarında fiyat belirleme probleminin çözülmesi için şirket içerisinde bir araştırma ekibinin oluşturulmasını ve mevcut yazılımın öz kaynaklar ile geliştirilebilmesini sağlamıştır. Bu problem içerisinde birçok araştırma konusu ve geliştirme alanı barındırmaktadır. İlgili akademik ve teknolojik gelişmeler takip edilerek mevcut yazılımın gelişimi için çalışmalar sürekli olarak yapılmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, EPDK.

<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-6975/elektrik-piyasasi-dengeleme-ve-uzlastirma-yonetme>

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

<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-159/yonetmelikler>

[3] Blok ve Esnek Teklifler Prosedürü, EPIAŞ.

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

REVİZYON TARİHÇESİ

REVİZYON NO	REVİZYON TARİHİ	REVİZE NEDENİ
0	1.6.2016	Uygulamanın devreye alınması
1	8.4.2022	Gün Öncesi Piyasası Tekliflerinin Yapısı ve Tekliflerin Değerlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar'da değişiklik yapılması hakkındaki kurul kararı