

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE ELEKTRİK GÜN ÖNCESİ PİYASASI  
MATEMATİK MODELİNİN  
GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hasan SİLAHTAROĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

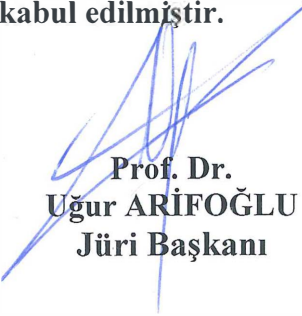
**TÜRKİYE ELEKTRİK GÜN ÖNCESİ PİYASASI  
MATEMATİK MODELİNİN GENETİK ALGORİTMA  
İLE ÇÖZÜMÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hasan SİLAHTAROĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 30.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

  
**Prof. Dr.  
Uğur ARİFOĞLU  
Jüri Başkanı**

  
**Prof. Dr.  
Yılmaz UYAROĞLU  
Üye**

  
**Doç. Dr.  
Faruk YALÇIN  
Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hasan SİLAHTAROĞLU

01.05.2019

## **TEŞEKKÜR**

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, her konuda desteğini esirgemeyen, kıymetli danıőman hocam Prof. Dr. Uğur ARİFOğLU'na, Yüksek Lisans tez sürecimde değerli desteklerini esirgemeyen Doç Dr. Ulaő KILIÇ'a teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmamda kullandığım verilerin temininde ve çalıőmalarımnda değerli desteklerini esirgemeyen Enerji Piyasaları İşletme A.ő Genel Müdürü Sayın Ahmet TüRKOęLU'na teőekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, emeklerini hiğbir zaman ödeyemeyeceğim annem ve babama hürmetlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vi
GRAFİKLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY .....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Gün Öncesi Piyasası .....	2
BÖLÜM 2.	
TÜRKİYE ELEKTRİK GÜN ÖNCESİ PİYASASI.....	4
2.1. Türkiye Gün Öncesi Piyasası Genel Esasları.....	4
2.2. Teklif Yapıları.....	5
2.2.1. Saatlik teklif.....	5
2.2.2. Blok teklif .....	9
2.2.3. Bağlı blok teklif .....	10
2.2.4. Esnek teklif .....	10
2.3. Eşleşme Kuralları.....	11
2.4. Paradoks Teklifler .....	11

### BÖLÜM 3.

PROBLEM TANIMI.....	13
3.1. Parametreler ve Karar Değişkenleri.....	13
3.1.1. Kümeler ve indisler.....	13
3.1.2. Karar değişkenleri:.....	14
3.2. Piyasa Fazlası.....	14
3.2.1. Saatlik tekliflerden gelen piyasa fazlası.....	15
3.2.2. Blok tekliflerden gelen piyasa fazlası.....	17
3.2.3. Esnek tekliflerden gelen piyasa fazlası.....	18
3.3. Fark tutarı.....	18
3.4. Problem Kısıtları.....	19
3.5. Arz Talep Eşitsizliği.....	20

### BÖLÜM 4.

PROBLEM ÇÖZÜMÜ .....	23
4.1. Genetik Algoritma.....	23
4.1.1. Ana hatlarıyla genetik algoritma.....	25
4.2. Türkiye Elektrik Gün Öncesi Piyasası için ÇözümYöntemi .....	25
4.2.1. Saatlik teklifler ve veri düzenlemesi.....	26
4.2.2. Genetik algoritma çözümü.....	31
4.2.3. Durma koşulları .....	32
4.2.4. Doğrulama prosedürü .....	32
4.2.5. Esnek tekliflerin eklenmesi.....	33
4.2.6. Kesinti algoritmasının uygulanması .....	33

### BÖLÜM 5.

SONUÇ.....	34
------------	----

KAYNAKLAR.....	35
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ .....	36
----------------	----

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GİP	: Gün İçi Piyasası
GÖP	: Gün Öncesi Piyasası
PTF	: Piyasa Takas Fiyatı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dikey bütünleşik elektrik piyasası modeli.....	1
Şekil 2.1. İzin verilen blok teklif örnekleri .....	10
Şekil 4.1. Genetik Algoritma Akış Diyagramı.....	24
Şekil 4.2. Çözüm algoritması .....	26
Şekil 4.3. Saatlik teklifler ve veri düzenlemesi.....	27



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Fiyattan bağımsız saatlik alış teklifi örneği .....	6
Tablo 2.2. Birden fazla kırılımlı saatlik alış teklifi .....	7
Tablo 2.3. Birden fazla kırılımlı saatlik satış teklifi .....	8
Tablo 2.4. Saatlik alış ve satış teklifi .....	8
Tablo 2.5. Blok alış teklifi.....	9
Tablo 2.6. Blok alış teklifi.....	9
Tablo 2.7. Satış blok teklifi saatlik yayılımı .....	10
Tablo 3.1. Arz talep eğrisi tablosu .....	15
Tablo 4.1. Katılımcı 1 saatlik teklifi .....	28
Tablo 4.2. Katılımcı 2 saatlik teklifi .....	28
Tablo 4.3. Katılımcı 3 saatlik teklifi .....	28
Tablo 4.4. Katılımcı 4 saatlik teklifi .....	29
Tablo 4.5. Saatlik teklifler arz talep matrisi.....	29
Tablo 4.6. Katılımcı 1 blok teklifi.....	30
Tablo 4.7. Katılımcı 2 blok teklifi.....	30
Tablo 4.8. Katılımcı 3 blok teklifi.....	30
Tablo 4.9. Katılımcı 4 blok teklifi.....	30
Tablo 4.10. Toplulaştırılmış arz talep matrisi.....	31
Tablo 5.1. Genetik algoritma çözümlerinin piyasa kurallarına uygunluğu.....	34

## GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 2.1. Fiyattan bağımsız saatlik alış teklifi örneği .....	6
Grafik 2.2. Kırılımlı saatlik teklif talep eğrisi .....	7
Grafik 2.3. Kırılımlı saatlik teklif arz eğrisi .....	8
Grafik 3.1. Piyasa fazlası grafiği .....	15
Grafik 3.2. Arz fazlası durumunda kesintili arz talep grafiği .....	21
Grafik 3.3. Talep fazlası durumunda kesintili arz talep grafiği .....	21

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Gün Öncesi Piyasası, Piyasa İşletmecisi, Sistem İşletmecisi, Piyasa Katılımcısı, Piyasa Takas Fiyatı

Gün Öncesi Piyasası; piyasayı işleten bir operatör (piyasa işletmecisi) tarafından, piyasaya katılan oyuncuların (piyasa katılımcısı) alış ve satış yönünde saatlik olarak veya belirli bir ticaret aralığında verdikleri üretim ve tüketim tekliflerinin, arz ve talep dengesine göre değerlendirilerek saatlik toptan elektrik fiyatının (Piyasa Takas Fiyatı) gerçek zamanın bir gün öncesinden belirlendiği bir ticaret ortamıdır.

Coğrafi olarak tanımlanmış bir veya birden fazla bölge için fiyat belirlenebilir. Fiyatın belirlenmesi için piyasa işletmecisinin, her bir saat için, piyasaya katılan her bir piyasa katılımcısının, üretim veya tüketim yapmayı teklif ettiği fiyat seviyelerini, her bir fiyat seviyesine karşılık gelen üretim veya tüketim miktarını bilmesi gerekir. Birden fazla bölge için fiyat belirlenecek ise bölgeler arasındaki iletim hattı kapasitelerinin de bilinmesi gerekir.

Bu piyasalarda;

- İletim sistemi işletmecisi açısından; elektrik üretim - tüketim dengesinin gerçek zamandan önce belirlenerek arz güvenliğinin sağlanması, bölgeler arası iletim hatları kapasitelerinin optimum şekilde kullanılması,
- Piyasa İşletmecisi ve kamu açısından; üretici ve tüketici fazlasının maksimize edilerek optimum fiyatın belirlenmesi, fiyat tekliflerinin maliyet bazlı verilmesinin teşvik edilmesi, yatırımcılara elektriğin toptan fiyatına ilişkin sinyal oluşturması,
- Piyasa Katılımcısı açısından; üretim ve/veya tüketim portföylerinin dengelenmesi, optimum maliyette elektrik ticaretinin yapılması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye Gün Öncesi Elektrik Piyasasında toptan elektriğin saatlik fiyatının hesaplanmasında kullanılan matematiksel modelin genetik algoritma ile çözülerek sonuçlarının karşılaştırılması yapılacaktır.

# **ANALYSIS OF PRICING METHODS FOR TURKISH WHOLESALE ELECTRICITY MARKETS**

## **SUMMARY**

Keywords: Day Ahead Market, Market Operator, System Operator, Market Participant, Market Clearing Price

Day Ahead Market is a trade mechanism where the hourly wholesale electricity price (Market Clearing Price) is determined one day before the real time by evaluating the hourly based generation and consumption offers in the direction of buying and selling to the market by an operator (market operator) operating the market.

The price can be determined for one or more geographically defined regions. In order to determine the price, the market operator needs to know the price levels for each hour, and the generation or consumption amount corresponding to each price level. If the price is determined for more than one region, the transmission line capacities between the regions must be known.

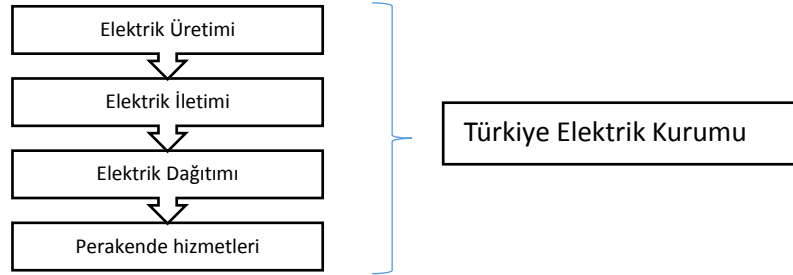
In this study, the mathematical model of Turkish Electricity Day Ahead Market will be solved by genetic algorithm and the results will be evaluated.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Türkiye elektrik piyasası 1980’li yılların başında özel sektör teşebbüsüne açılmış, 2001 yılında ise serbest piyasa tabanlı bir reform sürecine girmiştir.

2001 yılında çıkarılan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile dikey bütünleşik yapıda olan elektrik iletimi, üretimi, dağıtımı ve toptan ticaret faaliyetlerinin ayrıştırılması ve enerji piyasalarında ikincil düzenlemeleri yapmaya yetkili olan Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’nun kurulması tanımlanmıştır.

Söz konusu ayrıştırma ile 2001 yılında Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) teşekkül ettirilerek EPDK tarafından lisanslandırılmıştır. Bu kapsamda TEİAŞ’a Türkiye elektrik iletim şebekesi ile elektrik piyasası işletme faaliyetleri yetkisi verilmiştir.



Şekil 1.1. Dikey bütünleşik elektrik piyasası modeli

2013 yılında yayımlanan 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile Organize Toptan Elektrik Piyasaları şu şekilde tanımlanmıştır:

“Elektrik enerjisi, kapasitesi veya perakende alış satışının gerçekleştirildiği ve piyasa işletim lisansına sahip merkezî bir aracı tüzel kişilik tarafından organize edilip işletilen gün öncesi piyasası, gün içi piyasası ile sermaye piyasası aracı niteliğindeki

standardize edilmiş elektrik sözleşmelerinin ve dayanağı elektrik enerjisi ve/veya kapasitesi olan türev ürünlerin işlem gördüğü ve Borsa İstanbul Anonim Şirketi tarafından işletilen piyasalar ve Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi tarafından organize edilip işletilen dengeleme güç piyasası ve yan hizmetler piyasası gibi elektrik piyasalarıdır.”

Söz konusu kanun ve piyasa işletim lisansı kapsamında TEİAŞ bünyesinde 2011 yılında bir organize toptan elektrik piyasası olan Gün Öncesi Piyasası kurulmuştur.

6446 sayılı elektrik piyasası kanunu ile Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi piyasa işletmecisi tüzel kişilik olarak tanımlanmıştır. EPIAŞ'ın 2015 yılında kurulması ile birlikte Gün Öncesi Piyasası ve diğer enerji piyasalarını işletme yetkisi TEİAŞ'tan EPIAŞ'a devredilmiştir. Mevcut durumda Gün Öncesi Piyasası EPIAŞ tarafından işletilmektedir.

### **1.1. Gün Öncesi Piyasası**

Gün Öncesi piyasası; toptan elektrik alış ve satışının yapıldığı, bir piyasa işletmecisi tarafından organize edilip işletilen ve gerçek zamandan bir gün öncesinde toptan elektrik fiyatının hesaplandığı bir ticaret ortamıdır. Bu piyasada elektrik enerjisi alışı ve satışı yapacak olan katılımcılar bir gün öncesinden piyasa işletmecisine alış ve satış yönünde tekliflerini bildirirler. Teklifler bir saat veya daha küçük belirli bir zaman dilimini kapsayan ticaret aralığı için verilir. Her bir ticaret aralığı için teklif edilen enerji miktarı ile o enerji miktarına karşılık gelen fiyat piyasa işletmecisine bildirilir.

Verilen bu teklifler piyasa işletmecisi tarafından değerlendirilerek arz – talep eşitliğinin sağlandığı optimum nokta bulunur ve bu nokta, ilgili ticaret aralığı için toptan elektrik fiyatı olarak ilan edilir. Fiyatın belirlendiği noktadaki teklif edilen enerji ise eşleşme miktarı olarak belirlenir ve bu miktar her bir katılımcı için o miktarda elektrik enerjisi üretme veya tüketme yükümlülüğü doğurur. Katılımcılar belirlenen bu miktarı sağlamayı taahhüt ederler.

Söz konusu optimum noktanın belirlenmesinde farklı yaklaşımlar seçilebilir. Türkiye gün öncesi elektrik piyasasında amaç fonksiyon, günlük piyasa fazlasının maksimize edilmesi olarak belirlenmiştir.

Bu piyasalara katılım gönüllük esasına bağlı olup alıcı veya satıcı için zorunluluk bulunmamaktadır. Bu piyasalar; sistem işletmecisi, piyasa işletmecisi ve piyasa katılımcısı için farklı amaçlara hizmet etmektedir.

Sistem işletmecisi açısından; bir gün öncesinde elektrik arz ve talebinin belirlenmesiyle arz güvenliği, sistemin dengelenmesi ve sistem akışlarının belirlenmesini sağlar.

Piyasa katılımcısı açısından; elektrik fiyatının serbest piyasada oluşmasının temin edilmesi, yatırımcılar için piyasa tabanlı fiyat sinyalinin oluşması ve portföyün dengelenmesi imkânını sağlar.

## **BÖLÜM 2. TÜRKİYE ELEKTRİK GÜN ÖNCESİ PİYASASI**

Türkiye Gün Öncesi Piyasası 1 Aralık 2011 tarihinde TEİAŞ bünyesindeki Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi altında kurulmuştur. 2015 yılı Eylül ayında EPIAŞ'ın piyasa işletim lisansını alması ile birlikte spot piyasalar bünyesindeki elektrik gün öncesi piyasası TEİAŞ'tan EPIAŞ'a devredilmiştir.

Gün öncesi piyasasından fiyat belirleme kuralları EPDK tarafından yayımlanan dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliği ile piyasa işletmecisi tarafından yayımlanan alt prosedürler ile düzenlenmektedir. 2011 yılında kullanılmaya başlanan gün öncesi piyasası yazılımının kısmen erişime kapalı ve dışa bağımlı olması sebebiyle 2015 yılında EPIAŞ tarafından özgün bir optimizasyon algoritması geliştirilmesi projesi başlatılmıştır. Proje sonucunda 2016 yılı haziran ayında tamamlanarak devreye alınan algoritma halen gün öncesi piyasasında kullanılmaktadır.

### **2.1. Türkiye Gün Öncesi Piyasası Genel Esasları**

Gün öncesi piyasası ticaretinde süreçler günlük belli ve zorunlu saat dilimlerinde yürütülür. Ayrıca yapılan ticarete teminat ve uzlaştırma işlemleri gibi bir takım ek süreçler bulunmakla birlikte bu çalışma sadece fiyat belirleme optimizasyon modelini kapsayacağından bu süreçlere değinilmemiştir.

Gün öncesi piyasasında işlemler günlük olarak saatlik bazda gerçekleştirilir. Her bir gün 00:00 itibariyle başlayıp ertesi gün 00:00'da sona erer. Piyasada alış veya satış yönünde verilen her teklif için bir fiyat-miktar ikilisi bildirilir ve her bir saat için ayrı bir teklif bildirilir.



Teklif bildirim süreci tamamlandıktan sonra optimizasyon yazılımı tarafından tüm teklifler değerlendirilerek bir sonraki günün her bir saati için Piyasa Takas Fiyatı adı ile gün öncesi piyasası toptan elektrik fiyatı belirlenir. Belirlenen her bir fiyat seviyesinde her bir katılımcının teklif ettiği miktar katılımcının bir sonraki gün için yükümlülüğü olarak duyurulur ve “eşleşme miktarı” olarak belirtilir.

Katılımcılar her bir saat için alış yönünde en fazla 32 seviye fiyat-miktar ikilisi (kırılım), satış yönünde en fazla 32 seviye kırılım bildirebilir. Asgari fiyat teklif sınırı 0 ₺/MWh, azami fiyat teklif sınırı 2000 ₺/MWh'tir. Azami miktar teklif sınırı saatlik  $\pm 10.000$  MWh, blok  $\pm 600$  MWh, esnek -6000 MWh olarak belirlenmiştir.

## **2.2. Teklif Yapıları**

Piyasalarda katılımcıların ihtiyaç ve beklentilerine göre birçok farklı ve piyasaların kendilerine özgün teklif tipleri belirlenebilir. Bu tiplerin bir kısmı daha basit yapılarda bir kısmı daha sofistike kurallar içerebilir. Türkiye gün öncesi piyasasında saatlik, blok ve esnek olmak üzere üç teklif tipi bulunmaktadır. Alış yönündeki teklifler pozitif, satış yönündeki teklifler negatif notasyon ile belirtilir. Her bir teklif bir fiyat-miktar ikilisi ile teklifin geçerli olacağı bir zaman diliminden oluşur. Bir teklifin “miktarı” (Q) MWh, “fiyat”ı (P) ise ₺ / MWh birimiyle ifade edilir. Miktar lot olarak bildirilmekte olup her bir lot 0.1 MWh eşittir. Katılımcının, P fiyatında Q miktarda alış yönündeki bir teklifi, Q miktarındaki enerjiyi en fazla birim fiyatı P liraya kadar olma koşulu ile almayı kabul ettiğini; P fiyatında Q miktarda satış yönündeki bir teklifi ise, Q miktarındaki enerjiyi en az birim fiyatı P liradan olma koşulu ile satmayı kabul ettiğini belirtir.

### **2.2.1. Saatlik teklif**

Bu teklif türünde her bir saat için ayrı ayrı teklif kırılımları oluşturulur. Bu kırılımlar her bir saat için bağımsız olup alış ve/veya satış yönünde en fazla 32 adet olabilir. Satış yönünde oluşturulan kırılım negatif, alış yönünde oluşturulan kırılım pozitif notasyon ile gösterilir. Her bir saat için piyasa işletmecisi tarafından belirlenen azami ve asgari

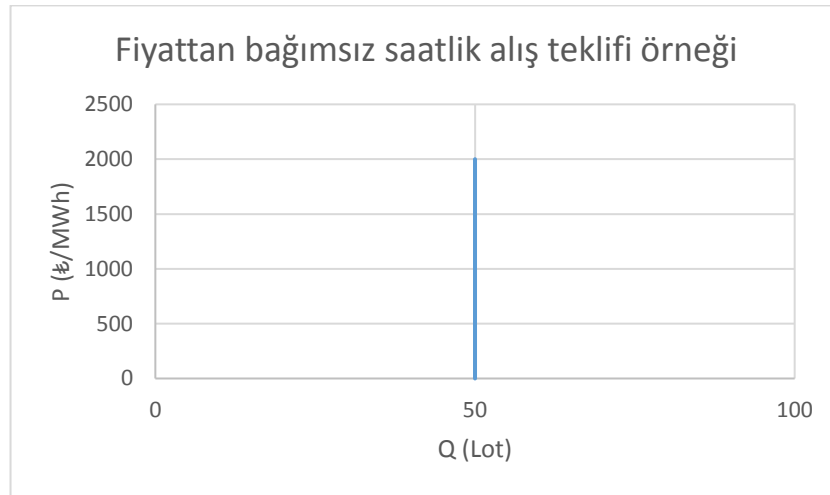
fiyat sınırı varsayılan olarak belirlenir. Bu iki fiyat arasında kırılım oluşturmak katılımcının ticari teklif stratejisine bağlı olarak katılımcının inisiyatifindedir. Oluşturulacak fiyat kırılımları asgari fiyattan başlamak üzere artan sırada olmak zorundadır. Miktar kırılımları ise asgari fiyat seviyesinden azami fiyat seviyesine doğru azalan sırada olmak zorundadır.

Katılımcı tarafından belirlenen fiyat kırılımları arasındaki her bir fiyata karşılık gelen miktar doğrusal interpolasyon ile yazılım tarafından belirlenir. Doğrusal interpolasyon sebebiyle saatlik teklifler sistem tarafından kısmen kabul edilebilir.

Tablo 2.1. Fiyattan bağımsız saatlik alış teklifi örneği

Ticaret aralığı (Saat)	Fiyat (₺/MWh)	0	2000
0	Miktar (Lot)	100	100

Yukarıdaki saatlik teklif örneğinde katılımcı; sıfırıncı saat için 0 ₺/MWh seviyesinde 100 lot (10 MWh), en fazla 2000 ₺/MWh seviyesine kadar 100 lot alış teklif ettiğini belirtir.



Grafik 2.1. Fiyattan bağımsız saatlik alış teklifi örneği

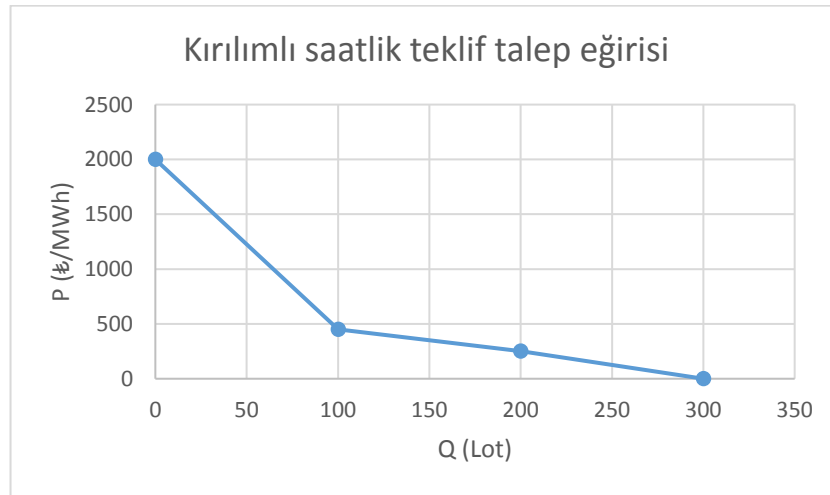
Grafik 2.1.'de görüldüğü şekilde, verilen teklif 0 – 2000 TL arasındaki tüm fiyat seviyelerinde 100 lot alış miktarına karşılık gelir. Asgari ve azami fiyat aralığında

başka bir kısıtlım oluşturmadan verilen bu tür teklifler fiyattan bağımsız saatlik teklif olarak ifade edilir.

Tablo 2.2. Birden fazla kısıtlımlı saatlik alış teklifi

Ticaret aralığı (Saat)	Fiyat (₺/MWh)	0	250	450	2000
0	Miktar (Lot)	300	200	100	0

Tablo 2.2.'de dört kısıtlımlı bir saatlik teklif oluşturulmuştur. Bu teklifte asgari ve azami fiyat seviyeleri dışındaki fiyat kısıtlımları katılımcı tarafından oluşturulmaktadır. Bu teklifte katılımcı 0'ncı saat için; PTF 0 TL seviyesinde gerçekleşirse 300 lot, 250 TL veya bu seviyenin altındaki tüm fiyat seviyelerinde doğru orantılı olarak en az 200 lot (250 TL seviyesinde), benzer şekilde 250 – 450 TL aralığında 100 lot, 450 – 2000 fiyat seviyesine bağlı olarak en az 0 lot (2000 TL seviyesinde) almayı taahhüt etmektedir. Teklifte, piyasa kuralına uygun olarak fiyatlar artan, miktarlar azalan sırada oluşturulmuştur. Bu katılımcıya ait talep eğrisi aşağıdaki şekilde oluşmaktadır.



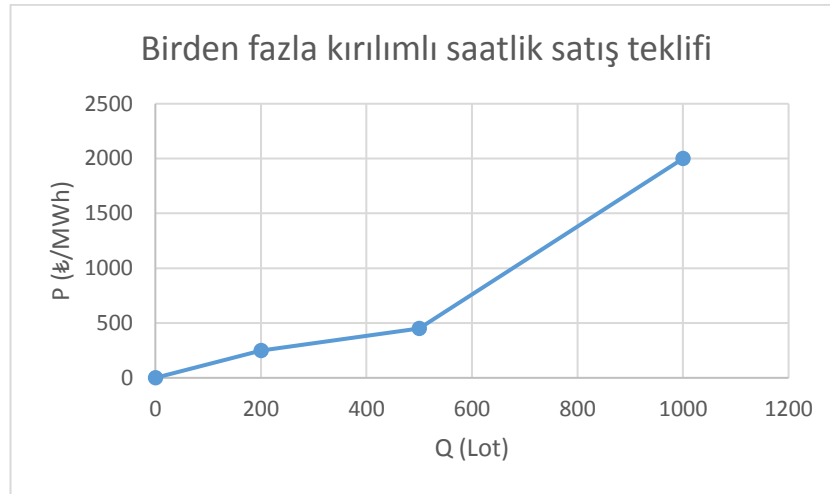
Grafik 2.2. Kısıtlımlı saatlik teklif talep eğrisi

Tablo 2.3.'te sadece satış teklifi veren bir katılımcının saatlik teklif yapısı gösterilmektedir:

Tablo 2.3. Birden fazla kısımlı saatlik satış teklifi

Ticaret aralığı (Saat)	Fiyat (₺/MWh)	0	250	450	2000
0	Miktar (Lot)	0	-200	-500	-1000

Bu teklifte katılımcı 0'ncı saat için; PTF 0 TL seviyesinde gerçekleşirse satış yapmayacağı 0 lot, 250 TL veya bu seviyenin altındaki tüm fiyat seviyelerinde doğru orantılı olarak en fazla 200 lot (250 TL seviyesinde), benzer şekilde 250 – 450 TL aralığında en fazla 500 lot, 450 – 2000 TL aralığından fiyat seviyesine bağlı olarak en fazla 1000 lot (2000 TL seviyesinde) satmayı taahhüt etmektedir. Teklifte, piyasa kuralına uygun olarak fiyatlar artan, miktarlar matematiksel olarak azalan sırada (mutlak değer olarak satış miktarı artan sırada) oluşturulmuştur. Bu katılımcıya ait arz eğrisi aşağıdaki şekilde oluşmaktadır:



Grafik 2.3. Kısımlı saatlik teklif arz eğrisi

Bir katılımcı aynı ticaret aralığı için farklı fiyat seviyelerinde hem alış hem satış teklifi oluşturabilir. Tablo 2.4.'te alış ve satış teklifi veren bir katılımcının teklif yapısı gösterilmektedir.

Tablo 2.4. Saatlik alış ve satış teklifi

Ticaret aralığı (Saat)	Fiyat (₺/MWh)	0	250	450	750	1000	1500	2000
0	Miktar (Lot)	300	200	100	0	0	-200	-500

Tablo 2.4.'te gösterilen teklif yapısı bu katılımcının 0-750 TL aralığında talep teklifini, 1500 – 2000 TL aralığında satış teklifini gösterir.

### 2.2.2. Blok teklif

Blok teklifler katılımcı tarafından ardışık saatlerden oluşan belirli bir zaman dilimini kapsayan ve bu zaman diliminin her saatinde aynı miktarda alış veya satış miktarının belirtildiği teklif tipidir. Bir blok teklifte ilgili aralık için tek bir fiyat miktar ikilisi bildirilir. Blok teklif türü sistem tarafından değerlendirildiğinde kısmen kabul edilmezler. Teklif, tümüyle kabul edilir veya tümüyle reddedilir. Bu yönüyle blok teklifler bölünemeyen ardışık saatlik teklif olarak düşünülebilir.

Tablo 2.5. Blok alış teklifi

Ticaret aralığı (Saat)	Fiyat (₺/MWh)	250
0 - 4	Miktar (Lot)	-500

Tablo 2.6. Blok alış teklifi

Ticaret aralığı (Saat)	Fiyat (₺/MWh)	250
0 - 4	Miktar (Lot)	400

Tablo 2.5.'te gösterilen teklifte katılımcı 0 – 4 saatleri arasında PTF'nin 250 TL ve üzerindeki seviyelerde gerçekleşmesi durumunda her bir saat için 500 lot satış yapmayı teklif etmektedir.

Tablo 2.6.'da gösterilen teklifte katılımcı 0 – 4 saatleri arasında PTF'nin 250 TL ve altındaki seviyelerde gerçekleşmesi durumunda her bir saat için 400 lot alış yapmayı teklif etmektedir.

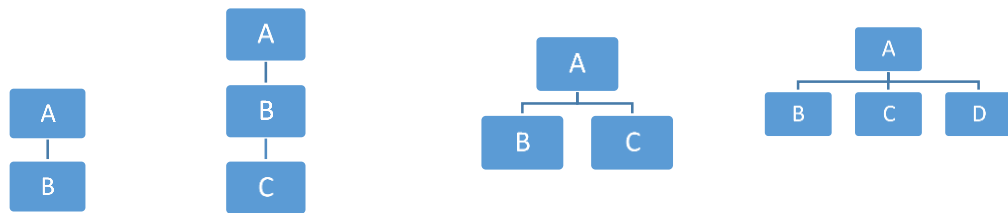
Tablo 2.5.'te gösterilen teklifin saatlik olarak yayılmış şekli aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Tablo 2.7. Satış blok teklifi saatlik yayılımı

Ticaret Aralığı	0	250	2000
0	0	-500	-500
1	0	-500	-500
2	0	-500	-500
3	0	-500	-500
4	0	-500	-500

### 2.2.3. Bağlı blok teklif

Bir blok teklifin kabul veya ret şartlarının başka bir bloğun kabulüne bağlanması durumunda verilen blok teklif çeşidine bağlı blok denir. İki blok teklifin birbirine bağlanması durumunda bağlı olunan blok teklif anne, bağlanan blok teklif ise çocuk olarak adlandırılır. Anne blok teklifin kabul edilmemesi durumunda çocuk teklif değerlendirmeye alınmaz. Anne blok teklifin kabul edilmesi durumunda çocuk blok teklif değerlendirmeye alınır ancak kabul edilme garantisi yoktur. Türkiye gün öncesi piyasasında bir anne blok teklife en fazla üç çocuk teklif bağlanabilir ve en fazla üç jenerasyon oluşturulabilir. Bir anne blok döngü oluşturacak şekilde bir çocuk blok teklife bağlanamaz. Bağlı blok tekliflerin tamamı aynı yönde (satış veya alış) olmak zorundadır.



Şekil 2.1. İzin verilen blok teklif örnekleri

### 2.2.4. Esnek teklif

Esnek teklif tipinde fiyat miktar ikilisi bildirilir. Ancak bu teklifin hangi ticaret aralığı için verdiği belirtilmez. Teklifin değerlendirileceği saat tamamen program tarafından belirlenme esnekliğine sahiptir. Esnek teklif, blok tekliflerde olduğu üzere ya tamamen

kabul edilir veya tamamen reddedilir, kısmen eşleşemez. Türkiye gün öncesi piyasasından şuan itibariyle sadece satış yönlü esnek teklif verilebilir. Yazılım optimizasyon algoritması kurallarına göre en uygun bulunduğu saatte esnek teklifi kabul edebilir.

### 2.3. Eşleşme Kuralları

Türkiye gün öncesi piyasası mevzuatına göre eşleşmenin gerçekleşmesi için bir takım kurallar işletilmektedir.

Piyasa işletmecisi katılımcılar tarafından verilen farklı teklif tiplerini değerlendirerek her bir saat için toplam arz ve toplam talep miktarının eşit olduğu fiyat seviyesini ve bu seviyedeki piyasa takas fiyatını tespit etmelidir. Her bir saat için tespit edilen bu miktara eşleşme miktarı, fiyata ise Piyasa Takas Fiyatı denir.

Eşleşme miktarı hesaplanırken problemin amacı üretici ve tüketici fazlasının toplamından oluşan piyasa fazlasını maksimize etmektir.

Teklifler değerlendirilirken sırasıyla saatlik teklifler, blok teklifler ve esnek teklifler hesaplamaya dâhil edilir. Bir saatlik satış teklifin fiyatı ilgili saat için hesaplanan PTF değerinden daha düşük veya eşit ise teklif edilen miktar kadar kabul edilir aksi takdirde reddedilir. Bir saatlik alış teklifin fiyatı ilgili saat için hesaplanan PTF değerinden daha yüksek veya eşit ise teklif edilen miktar kadar kabul edilir aksi takdirde reddedilir. Benzer şekilde bir esnek teklifin fiyatı, ilgili gün için hesaplanan en yüksek PTF değerinden daha düşük veya eşit ise teklif edilen miktar kadar kabul edilebilir aksi takdirde reddedilir. Blok teklifler doğası gereği birden fazla ticaret aralığını kapsadığından bir blok satış teklifinin fiyatı, kapsadığı ticaret aralıkları için hesaplanan PTF değerlerinin ortalamasından daha düşük veya eşit ise teklif bütünüyle kabul edilir aksi takdirde bütünüyle reddedilir. Bir blok alış teklifinin fiyatı, kapsadığı ticaret aralıkları için hesaplanan PTF değerlerinin ortalamasından daha yüksek veya eşit ise teklif bütünüyle kabul edilir aksi takdirde bütünüyle reddedilir.

### 2.4. Paradoks Teklifler

Yukarıda belirlenen problemin doğası gereği bazı durumlarda blok ve esnek teklifler yukarıdaki kurula uymasalar da kabul edilebilir. Bu tür tekliflere paradoks teklifler

denir. Diğer bir ifade ile tüm tekliflerin eşleşme fiyatı PTF olurken paradoks tekliflerin eşleşme fiyatı katılımcı tarafından verilen teklif fiyatı olarak kabul edilir. Bu durumdaki eşleşmelerde belirlenen PTF değeri ile katılımcı tarafından verilen blok teklif fiyatı arasındaki fark tutarı ek olarak katılımcıya ödenir.



## BÖLÜM 3. PROBLEM TANIMI

### 3.1. Parametreler ve Karar Değişkenleri

#### 3.1.1. Kümeler ve indisler

$t, \mathbf{T}$ : Ticaret aralığı indisi ve periyotlar kümesi

$\mathbf{I}$ : saatlik satış tekliflerinin kümesi

$\mathbf{J}$ : saatlik alış tekliflerinin kümesi

$l, \mathbf{L}(i)$ : segment indisi, ve segmentler kümesi  $i, i \in \mathbf{I} \cup \mathbf{J}$

$\mathbf{B}^s$ : blok satış teklifi kümesi ( $\mathbf{B}^{sc}$ : çocuk blok satış tekliflerinin kümesi )

$\mathbf{B}^d$ : blok alış teklifi kümesi ( $\mathbf{B}^{dc}$ : çocuk blok alış tekliflerinin kümesi)

$\Lambda^b$ : blok teklifine bağlı tekliflerin kümesi,  $b \in \mathbf{B}^s \cup \mathbf{B}^d$  (  $b$  teklifini kabul etmek için  $\Lambda^b$  kümesindeki bütün blok teklifler kabul edilmelidir) Bu küme tek elemandan oluşur.

$\mathbf{F}^s$ : esnek satış teklifi kümesi

$\mathbf{F}^d$ : esnek alış teklifi kümesi (Mevcut sistemde esnek alış teklifleri olmamasına rağmen bütünlüğü korumak adına esnek alış teklifleri formülasyona eklenmiştir. )

Parametreler:

$P_{min}^t$ :  $t$  periyodu için olası en küçük PTF değeri

$P_{max}^t$ :  $t$  periyodu için olası en büyük PTF değeri

$P_{min}$ : Asgari fiyat limiti

$P_{max}$ : Azami fiyat limiti

$P_{itl}^0, P_{itl}^1$ :  $t$  periyodundaki saatlik teklifin  $l$  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 saatlik teklifin  $l$  segmentinin ilk ve son miktarı. ( Her yöndeki teklif için  $0 \leq Q_{itl}^0 \leq Q_{itl}^1$ )

$P_b, P_f$ : b blok ve f esnek teklifinin teklif fiyatı

$Q_b, Q_f$ : b blok ve f esnek teklifinin teklif miktarı

$N_b$ : b blok teklifinin aktif (geçerli) olduğu periyot sayısı,  $b \in \mathbf{B}^s \cup \mathbf{B}^d$

$\delta_{bt}$ : b blok teklifi t periyodunda aktif ise 1, değilse 0 olan ikili parametre.

### 3.1.2. Karar değişkenleri:

$x_{itl}$ : t periyodundaki saatlik teklifin l segmentinin kabul oranı,  $i \in \mathbf{I} \cup \mathbf{J}$ ,  $l \in \mathbf{L}(i)$ ,  $t \in \mathbf{T}$

$y_b$ : b blok teklifi kabul edilince 1, diğer durumda 0.

$z_{ft}$ : f esnek teklifi t periyodunda kabul edilince 1, diğer durumda 0.

$z_f$ : f esnek teklifi kabul edilince 1, diğer durumda 0.

$p_t$ : t periyodundaki piyasa takas fiyatı

### 3.2. Piyasa Fazlası

Piyasada satış teklifi veren katılımcılar üretici, alış teklifi veren katılımcılar tüketici olarak adlandırılmakta olup üretici fazlası ve tüketici fazlası ayrı ayrı hesaplanır. Üretici ve tüketici fazlası toplamı ise piyasa fazlasını oluşturur.

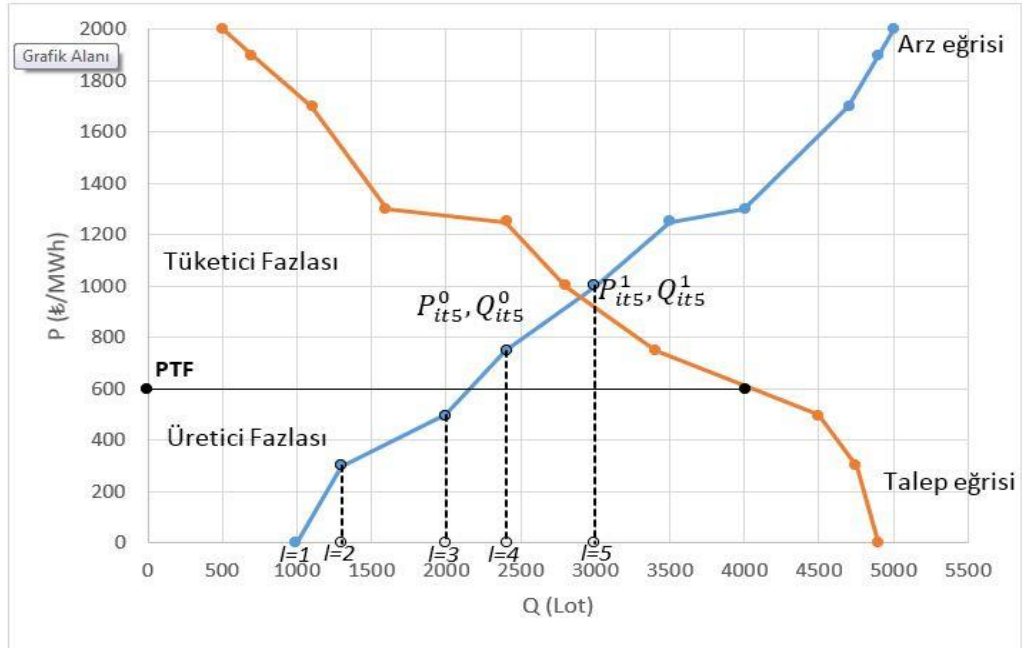
Bir katılımcının günlük üretici fazlası, katılımcının eşleşen miktardan elde edeceği toplam kazanç ile bu miktarı piyasaya satmak için kabul ettiği toplam maliyetin farkıdır. Bir katılımcının günlük tüketici fazlası ise, ödemeyi kabul ettiği maliyet ile (teklif ettiği fiyat miktar ikilisinin çarpımı) o miktarı almak için PTF üzerinden ödediği maliyet arasındaki farktır. Her bir katılımcının üretici ve tüketici fazlası toplamı ise piyasa fazlasını oluşturur.

### 3.2.1. Saatlik tekliflerden gelen piyasa fazlası

Tablo 3.1. Arz talep eğrisi tablosu

Fiyat (TL/MWh)	0	300	500	750	1000	1250	1300	1700	1900	2000
Arz (Lot)	1000	1300	2000	2400	3000	3500	4000	4700	4900	5000
Talep (Lot)	4900	4750	4500	3400	2800	2400	1600	1100	700	500

Garfik 4 bir saat için, piyasada verilen saatlik tekliflerin oluşturduğu tüketici ve üretici fazlasını göstermektedir. Arz ve talep eğrisini oluşturan piyasa teklifleri tablo 8'de verilmiştir. Arz ve talep eğrileri, alış ve satış birleştirilerek elde edilmiştir. Arz ve talebin eşitlendiği (eğrilerin kesişme noktası) nokta PTF'yi ve eşleşme miktarını belirler. Tüketici fazlası; talep eğrisi, PTF ve fiyat-miktar eksenleri arasındaki alan iken, üretici fazlası arz eğrisi, PTF ve x-y eksenleri arasında kalan alandır.



Grafik 3.1. Piyasa fazlası grafiği

Saatlik teklifler matematiksel modele dâhil 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 eksenindeki alan da bir segment oluşturur.

Saatlik tekliflerden gelen üretici fazlası:

P1: Saatlik tekliflerden gelen üretici fazlası

Eşleşmeden elde edilecek tutar:

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

Katılımcının aynı miktar için satış teklifi tutarı

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

$$P1 = \left( \sum_{t \in T} p_t * \sum_{i \in I} \sum_{l \in L(i)} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) * x_{itl} \right) - \left( \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{l \in L(i)} [0.5 * x_{itl} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) * (2P_{itl}^0 + x_{itl} (P_{itl}^1 - P_{itl}^0))] \right)$$

Saatlik tekliflerden gelen tüketici fazlası:

C1 Saatlik tekliflerden gelen tüketici fazlası

Eşleşme sonrası ödenecek tutar

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

Katılımcının aynı miktar için ödemeyi teklif ettiği tutar

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

$$C1 = \left( \sum_{t \in T} \sum_{i \in J} \sum_{l \in L(i)} \left[ 0.5 * x_{itl} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) * (2P_{itl}^0 + x_{itl} (P_{itl}^1 - P_{itl}^0)) \right] \right) \\ - \left( \sum_{t \in T} p_t * \sum_{i \in I} \sum_{l \in L(i)} x_{itl} * (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) \right)$$

### 3.2.2. Blok tekliflerden gelen piyasa fazlası

Bir blok teklifin üretici ve tüketici fazlası; teklif fiyatı ile kapsadığı ticaret aralığının PTF ortalaması arasındaki farkın kapsadığı ticaret aralığı sayısı ve teklif miktarı ile çarpımına eşittir.

Blok tekliflerden gelen üretici fazlası

$$P2 = \sum_{b \in B^s} y_b * Q_b * \left( \max \left\{ \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t, N_b P_b \right\} - N_b P_b \right)$$

Blok tekliflerden gelen tüketici fazlası:

$$C2 = \sum_{b \in B^s} y_b * Q_b * \left( N_b P_b - \min \left\{ \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t, N_b P_b \right\} \right)$$

### 3.2.3. Esnek tekliflerden gelen piyasa fazlası

Esnek tekliflerden gelen üretici fazlası

$$P3 = \sum_{f \in F^s} Q_f * \left( \sum_{t \in T} z_{ft} * \max\{p_t, P_f\} - P_f \right)$$

### 3.3. Fark tutarı

Problemin çözümünde kabul edilen paradoks blok teklif varsa, bu tekliflerin eşleşme kuralından dolayı arz ve talep eşitsizliği ortaya çıkar. Toplam üretici ve tüketici fazlasından bu fark tutarının çıkarılması ile nihai piyasa fazlası bulunur.

Fark tutarı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$F = \left[ \sum_{b \in B^s} y_b * Q_b * \left( \max \left\{ \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t, N_b P_b \right\} - \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t \right) \right. \\ \left. + \sum_{f \in F^s} \sum_{t \in T} z_{ft} * Q_f * (\max\{p_t, P_f\} - p_t) \right. \\ \left. + \sum_{b \in B^d} y_b * Q_b * \left( \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t - \min \left\{ \sum_{t \in T} \delta_{bt} p_t, N_b P_b \right\} \right) \right]$$

Bu şartlar altında toplam piyasa fazlası aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$W = P1 + P2 + P3 + C1 + C2 - F$$

### 3.4. Problem Kısıtları

- Her bir ticaret aralığı için arz ve talep eşit olmalıdır

$$\begin{aligned} \sum_{i \in I} \sum_{l \in L(i)} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) * x_{itl} + \sum_{b \in B^s} \delta_{bt} * Q_b * y_b + \sum_{f \in F^s} Q_f * z_{ft} \\ - \sum_{i \in J} \sum_{l \in L(i)} (Q_{itl}^1 - Q_{itl}^0) * x_{itl} - \sum_{d \in B^d} \delta_{dt} * Q_d * y_d - \sum_{g \in F^d} Q_g * z_{gt} \\ = 0 \quad \forall t \end{aligned}$$

- Bir saatlik teklifin eşleşme miktarı, ilgili saatteki PTF'ye karşılık gelen miktardır. Eğer saatlik teklifte PTF'ye karşılık gelen bir fiyat kısıtlımı 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:  $\forall j, t, l$

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

- Blok teklifler ya tamamen kabul edilir, ya da tamamen reddedilir. Teklifteki miktar veya ticaret aralığı kısmen seçilemez. Arz (talep) yönündeki blok teklifler geçerli oldukları saatlerin ortalama PTF'sinden düşük (yüksek) ya da eşit fiyatta teklif vermişlerse kabul edilmelidirler. Bu kural çocuk bloklar için geçerli değildir.

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

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 alış teklifleri:

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

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

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

5. Esnek teklifler ya tamamen kabul edilir ya da tamamen reddedilir.  
 $z_{ft} \in \{0,1\}, \forall f \in F^S, t \in T$

6. Esnek teklif, en yüksek PTF'den daha düşük ya da eşit fiyat vermişse kabul edilir.  
 $P_f \leq \max_{t \in T} p_t \Rightarrow \sum_{t \in T} z_{ft} = 1, \quad \forall f \in F^S$

7. Bir esnek teklif en fazla bir ticaret aralığı için kabul edilir.  
 $z_{f\hat{t}} = 1 \Rightarrow z_{ft} = 0 \quad \forall t \in T \setminus \{\hat{t}\}, \forall f \in F^S, \forall \hat{t} \in T$

8. Talep veya arz fazlalığı durumunda 2, 3, 6 kısıtlarının karşılanması zorunlu değildir.

### 3.5. Arz Talep Eşitsizliği

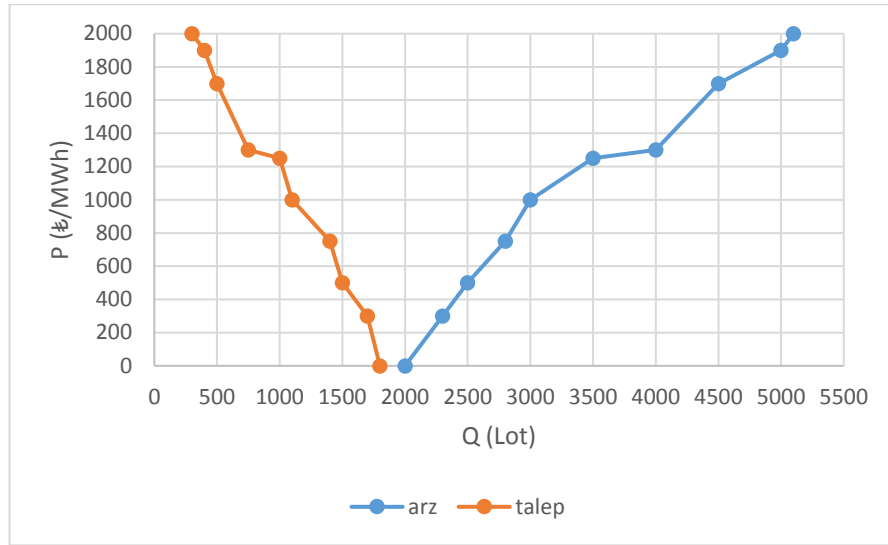
Arz talep dengesizliği minimum ve maksimum fiyat seviyelerinde oluşabilir. Minimum fiyat seviyesinde satış teklif miktarının alış teklif miktarından fazla olması durumunda PTF, minimum fiyat olarak belirlenir. Maksimum fiyat seviyesinde alış teklif miktarının satış teklif miktarından fazla olması durumunda PTF, maksimum fiyat olarak belirlenir. Bu durumda sırasıyla satış tekliflerinde (arz) veya alış tekliflerinde (talep) kesinti yapılarak eşleşme miktarı belirlenir.

Bu durumda kesinti miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

Arz'ın fazla olması durumunda



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

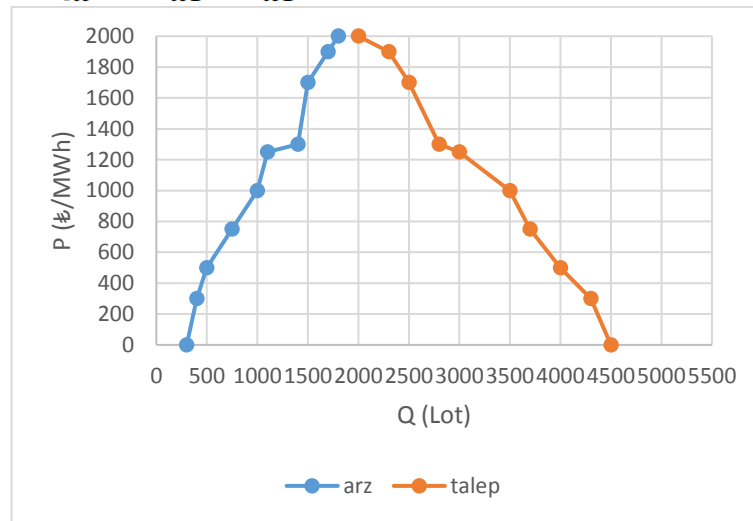


Grafik 3.2. Arz fazlası durumunda kesintili arz talep grafiği

Yukarıda verilen grafikte 0 TL/MWh seviyesinde arz ile talep arasındaki 200 MWh arz fazlası kesinti miktarı olarak, 0 TL/MWh ise ilgili ticaret aralığı için piyasa takas fiyatı olarak beirlenir.

Talebin fazla olması durumunda

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



Grafik 3.3. Talep fazlası durumunda kesintili arz talep grafiği

Yukarıda verilen grafikte 2000 TL/MWh seviyesinde arz ile talep arasındaki 200 MWh talep fazlası kesinti miktarı olarak, 2000 TL/MWh ise ilgili ticaret aralığı için piyasa takas fiyatı olarak beirlenir.

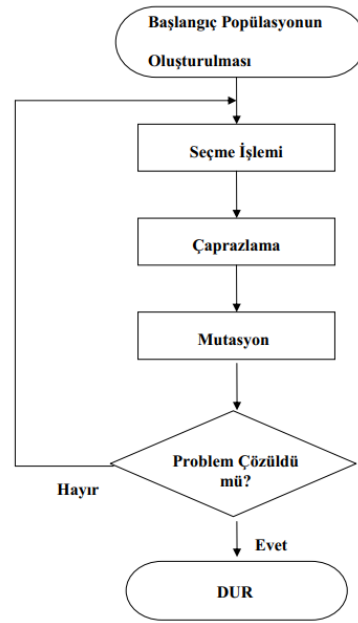
## **BÖLÜM 4. PROBLEM ÇÖZÜMÜ**

Türkiye Gün Öncesi Piyasasında fiyat belirleme problemi EPIAŞ tarafından matematiksel olarak modellenmiştir. Bu problemin çözümü sezgisel yöntem başlığı altında genetik algoritma kullanılarak yapılacak ve EPIAŞ tarafından hesaplanan toplam fayda ile genetik algoritmanın sonuçları karşılaştırılacaktır.

### **4.1. Genetik Algoritma**

Geniş bir çözüm kümesine sahip problemlerim klasik yöntemler ile çözülmesi büyük bir kaynak gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. Bu tür problemlerde küme içindeki mümkün olan en iyi çözümü bulmak için sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritmalar çözümü daha kısa sürede ve daha az kaynak gereksinimi ile bulmakla birlikte her zaman en iyi çözümü bulunmasını garanti etmezler.

“Sezgisel teknikler, "çözüm kurucu" ve "çözüm iyileştirici" olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenmektedirler. Çözüm kurucular çeşitli kuralları kullanarak problem için bir çözüm elde ederken çözüm iyileştiriciler, elde edilen bir başlangıç çözümünü bitirme koşulu sağlanıncaya kadar adım adım iyileştirmeye çalışırlar.” (Kılıç, 2006)



Şekil 4.1. Genetik Algoritma Akış Diyagramı

“Genetik Algoritma (GA), biyolojik bir sistemin, çevresine adaptasyonunda kullandığı yöntemin örneklenmesidir. Bilgisayarda, bu tür çok parametrelili optimum bulma problemlerine ve makine öğrenme problemlerine çözüm modeli olarak alınabilir.

Doğal adaptasyondan esinlenen GA'nın basit olarak iskeleti (Kaya, 1999):

1. Bireyin bulunduğu ortamda hayatta kalmak için, kendi kendisini değiştirerek ortama uygun hale gelmesi,
2. Bu adaptasyon boyunca, yeni üretilen nesillere, bu özellikler ile birlikte mümkün olabilecek daha çok değişim aktararak, bireylerin daha çok uyumlu hale getirilmesi olarak özetlenebilir.

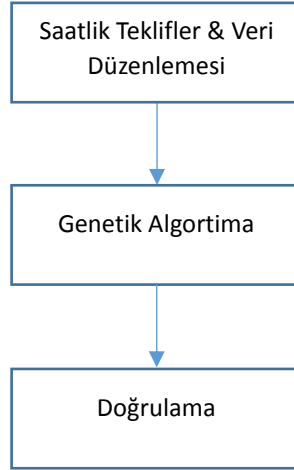
Önce başlangıç popülasyonu oluşturulmakta ve sonra tabii seçme işlemi ile birlikte genetik operatörler çaprazlama (crossover) ve mutasyon gelecek jenerasyondaki çözümleri üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Kalite veya uygunluk değerlendirme (fitness evaluation) işlemi tekrar üreme olayında uygulanan seçme işlemi gerçekleştirilebilmek için her bir bireye uygulanmaktadır. Birbirini takip eden jenerasyonların geliştirilmesi ve değerlendirilmesi çevrimi, optimal bir çözüm bulununcaya kadar devam etmektedir (Karaboğa, 2004).

#### 4.1.1. Ana hatlarıyla genetik algoritma

1. Başlat: Problemin çözümü için  $n$  kromozomlu (değişken sayısı)  $m$  adet birey rasgele üretilerek başlangıç popülasyonu oluşturulur veyahut başlangıç popülasyonu belirli bireylerden de oluşturulabilir.
2. Uygunluk (Fitness): Popülasyondaki her bir birey için  $f(x)$  hedef fonksiyonu hesaplanır.
3. Yeni popülasyon: Yeni bir popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımlar tekrar edilir:
4. Seçme: Hedef fonksiyondaki uygunluk değerine göre popülasyondan seçilen bireyler çaprazlama için eşleşme havuzuna atılırlar.
5. Çaprazlama: Eşleşme havuzundan seçilen bireyler kendi aralarında çaprazlama oranı kadar çocuk birey oluşturmak üzere çaprazlanırlar.
6. Mutasyon: Popülasyon içerisinde seçilen birey veya bireylerin herhangi bir kromozomu sıfırlanarak yerine yeni bir değer atanır.
7. Kabul: İlk popülasyon, çocuklar, mutasyonlu bireyler yeni bir popülasyon meydana getirirler.
8. Değiştirme: Oluşan yeni popülasyon uygunluk değerlerine göre sıralanır ve popülasyon birey sayısı kadarı yeni başlangıç popülasyonu olarak atanır.
9. Test: Programı bitirme şartı gerçekleşiyorsa program durdurulur.
10. Döngü: Aksi takdirde program 2. adıma geri döner” (Kılıç, 2006)

#### 4.2. Türkiye Elektrik Gün Öncesi Piyasası için ÇözümYöntemi

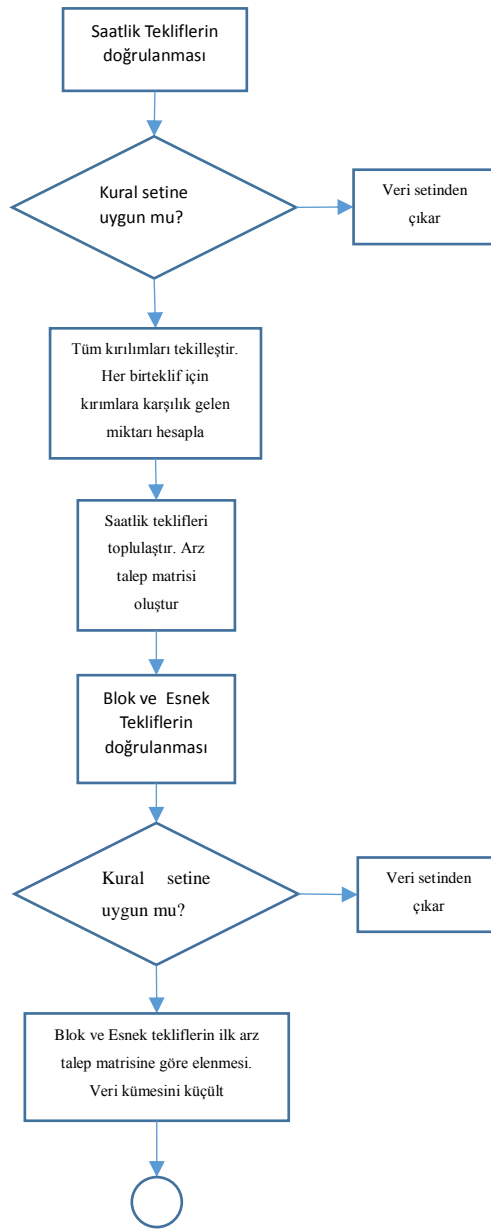
Problemin çözümü için kullanılacak algoritma saatlik teklifler & veri düzenlemesi, genetik algoritma ve doğrulama olarak üç aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Çözüm algoritması

#### 4.2.1. Saatlik teklifler ve veri düzenlemesi

Bu aşamada amaç tekliflerin doğruluk kontrolünün yapılması, saatlik tekliflerin birleştirilerek genetik algoritmaya sağlanacak ilk arz-talep eğrisinin oluşturulması ve blok tekliflerin değerlendirilerek genetik algoritmaya sağlanacak veri kümesini küçültmektir.



Şekil 4.3. Saatlik teklifler ve veri düzenlemesi

Öncelikle her bir saatlik teklifin kurallara uygunluğu doğrulanır.

Bu aşamada aşağıdaki kontrollere göre veriler doğrulanır:

1. Teklif fiyatlarını minimum - maksimum fiyat limitlerine göre kontrol et.
2. Her saatlik teklif için, fiyat kısımlarının artan sırada olduğunu kontrol et.
3. Her saatlik teklif için, miktarların azalan sırada olduğunu kontrol et.
4. Bağlı blok tekliflerin aynı yönde ( satış ya da alış ) verildiğini kontrol et.

5. Tekliflerin içinde esnek alış teklifi olmadığını kontrol et.
6. Var olmayan bir ticaret aralığı için teklif verilmediğini kontrol et.
7. Var olmayan bir blok teklife başka bir blok teklifin bağlı olmadığını kontrol et
8. Blok tekliflerin ticaret aralığının izin verilen minimum aralıktan daha az olmadığını doğrula.

Doğrulanmış saatlik teklif veri setinde katılımcılar tarafından verilen aynı fiyat kırımları elenerek tüm fiyat kırımları tekilleştirilir. Her bir saatlik teklif tekilleştirilen bu fiyat kırımlarına göre doğrusal interpolasyon ile her bir kırılıma karşılık gelen teklif miktarı hesaplanır. Tüm saatlik teklifler toplulaştırılarak alış ve satış teklifleri ayrıştırılır. Bu tablolar üzerinden ilk arz talep eğrisi bulunmuş olur.

Aşağıda beş katılımcı tarafından bir saat için verilen saatlik tekliflerin düzenlenmesi ve toplulaştırılması gösterilmiştir.

Katılımcı 1:

Tablo 4.1. Katılımcı 1 saatlik teklifi

Fiyat	0	2000
Miktar	1000	1000

Katılımcı 2:

Tablo 4.2. Katılımcı 2 saatlik teklifi

Fiyat	0	2000
Miktar	-500	-500

Katılımcı 3:

Tablo 4.3. Katılımcı 3 saatlik teklifi

Fiyat	0	250	350	400	450	2000
Miktar	1000	1000	500	0	-500	-1000

Katılımcı 4:



Tablo 4.4. Katılımcı 4 saatlik teklifi

Fiyat	0	300	350	450	2000
Miktar	0	-1000	-1500	-2000	-2000

Verilen dört teklifte farklı olan tüm fiyat kırılımları 0, 250, 300, 350, 400, 450, 2000 TL seviyeleridir. Her bir katılımcı için tüm seviyelere karşılık gelen teklif miktarları doğrusal interpolasyon ile hesaplanırsa;

1. Katılımcının tüm fiyat seviyelerinde teklif miktarı aynı: 1000
2. Katılımcının tüm fiyat seviyelerinde teklif miktarı aynı: -500
3. Katılımcının 300 TL seviyesi doğrusal interpolasyon ile 750 Lot,
4. 250 TL seviyesi -833 ve 400 TL seviyesi -1750 Lot olarak hesaplanır.

Tüm fiyat seviyeleri için hesaplanan bu değerler arz ve talep olarak ayrı matrislerde toplanır ise;

Tablo 4.5. Saatlik teklifler arz talep matrisi

Fiyat	0	250	300	350	400	450	2000
Arz	-500	-833	-1500	-2000	-2250	-3000	-3500
Talep	2000	2000	1750	1500	1000	1000	1000
Fark	1500	1167	250	-500	-1250	-2000	-2500

Sonraki adımda blok ve esnek tekliflerin kurallara uygunluğu doğrulanır. Mevcut tekliflerin tamamı ile maksimum ve minimum PTF seviyesi belirlenerek bu sınırlar dışında kalan blok teklifler elenir. Böylece genetik algoritmaya daha küçük bir veri seti ile daha iyi bir başlangıç popülasyonu oluşturulur.

Aşağıda verilen örnek blok teklifler ile eleme işlemidevam ettirilir.

Blok Teklif 1:

Tablo 4.6. Katılımcı 1 blok teklifi

Ticaret Aralığı	Fiyat	Miktar
0-1	250	150

Blok Teklif 2:

Tablo 4.7. Katılımcı 2 blok teklifi

Ticaret Aralığı	Fiyat	Miktar
0-1	300	350

Blok Teklif 3:

Tablo 4.8. Katılımcı 3 blok teklifi

Ticaret Aralığı	Fiyat	Miktar
0-1	300	-150

Blok Teklif 4:

Tablo 4.9. Katılımcı 4 blok teklifi

Ticaret Aralığı	Fiyat	Miktar
0-1	400	-100

Blok teklifler aşağıdaki şekilde elemeye tabi tutularak PTF alt ve üst limitleri belirlenerek muhtemel PTF aralığı daraltılır. Aşağıdaki işlem her bir ticaret aralığı için tekrarlanır.

Minimum PTF:

Muhtemel minimum PTF'nin belirlenmesi için tüm satış tekliflerinin kabulü ve alış tekliflerinin reddi ile arz talep matrisinde minimum fiyat seviyesi belirlenir.

Maksimum PTF:

Benzer şekilde tüm alış tekliflerinin kabulü ve satış tekliflerinin reddi ile arz talep matrisinde maksimum fiyat seviyesi belirlenir.

Örnekte verilen blok teklifler iki ticaret aralığını (0-1) kapsadığından saatlik tekliflerden elde edilen arz talep matrisi iki ticaret aralığını kapsayacak şekilde aşağıdaki şekilde varsayılmıştır.

Tablo 4.10. Toplulaştırılmış arz talep matrisi

Ticaret Aralığı	0	250	300	350	400	450	2000
0	1500	1167	250	-500	-1250	-2000	-2500
1	1000	600	100	0	-1000	-1500	-1500

Blok teklif 1 ve 2'nin yukarıda belirtilen şartlarda arz talep matrisine eklenmesi ile maksimum PTF birinci ticaret aralığı için 350 TL/MWh, ikinci ticaret aralığı için 375 TL/MWh ve ortalama 362,5 TL/MWh olarak tespit edilir.

Blok teklif 3 ve 4'ün arz talep matrisine eklenmesi ile minimum PTF birinci ticaret aralığı için 300 TL/MWh, ikinci ticaret aralığı için 285 TL/MWh ve ortalama 292,5 TL/MWh olarak tespit edilir.

Teklif fiyatı ilgili ticaret aralığı ortalama maksimum PTF'den yüksek olan satış blok teklifleri ile teklif fiyatı ilgili ticaret aralığı ortalama minimum PTF'den düşük olan alış blok teklifleri elenirler. Yukarıda verilen örnekte blok teklif 1 ve blok teklif 4 elenerek veri setine dâhil edilmez. Blok teklif 2 ve 4 hesaplama dâhil edilir.

Her bir esnek teklif için; teklifi fiyatı tüm ticaret aralıklarında hesaplanan maksimum PTF'den yüksek ise elenir, düşük ise kabul edilir.

#### 4.2.2. Genetik algoritma çözümü

İlk aşamada elde edilen arz talep matrisi ve reddedilmeyen blok ve esnek teklifler genetik algoritmanın başlangıç popülasyonunu oluştururlar.

Genetik algoritma çözümünde iyi genler olarak blok tekliflerin seçilerek iyi kromozomlar olan sonuçlar üretilmektedir. İyi kromozomların çaprazlanmasıyla daha iyi kromozomlar elde edilir.

İterasyonun her bir adımında bulunan çözümler eski çözümler ile karşılaştırılarak kötü çözümler elenir iyi çözümler bir sonraki iterasyona aktarılır. Problemin amaç fonksiyon günlük toplam fazlayı maksimize etmektir. Algoritmada kullanılan her çözüm veri eleme prosedürünü atlatmış bütün blok tekliflerin kabul ya da ret kararlarından oluşan bir dizidir. Blok tekliflerin kabul/ret kararları uç durumlar harici PTF'yi bulmak için yeterlidir. Bu uç durumlar arz ve talep eğrilerinin bir doğru üzerinde kesiştiği durumlardır ve böyle durumlarda PTF o doğru parçasının orta noktası olarak alınır. Algoritma blok teklifler kümesi çözümünü bulduktan sonra esnek teklifler bu çözüme eklenerek nihai toplam fayda bulunur.

#### **4.2.3. Durma koşulları**

Tekrarlanma sayısının belirtilen iterasyon sınırına ulaşması durumunda algoritma sonlanır.

#### **4.2.4. Doğrulama prosedürü**

Bu aşamada, oluşturulan çözümün piyasa kurallarına uygunluğunu kontrol edilir. Doğrulamada, genetik algoritma tarafından bulunan sonuçların her teklif için tutarlı olup olmadığı kontrol edilir. Bu kontrolde eşleşme miktarı, eşleşme fiyatı, teklif fiyatı, teklif miktarı ve ticaret aralığı karşılaştırması yapılır. Arz-talep dengesi kontrolü ile de dengesizlik olan saatler için kesinti hesaplanır.

#### **4.2.5. Esnek tekliflerin eklenmesi**

Genetik algoritma ile blok teklifler için kabul ret kararları bulunduktan sonra, esnek teklifler için kabul ret kararları verilir. Bunun için esnek teklifler fiyatta artan olarak sıralanır. Ardından en düşük fiyata sahip esnek teklif alınır. Eğer bu teklifin fiyatı maksimum PTF'den küçük veya ona eşitse, bu esnek teklif maksimum PTF'yi veren saatte kabul edilir. Ardından PTF'ler güncellenir ve yeni PTF değerlerine göre kabul edilmesi gerekirken reddedilen blok teklifler varsa onarılır. Bu işlemler sıradaki esnek teklifin fiyatının oluşan PTF'lerden yüksek olana kadar ya da hiç esnek teklif kalmayana kadar devam eder.

#### **4.2.6. Kesinti algoritmasının uygulanması**

Herhangi bir  $t$  ticaret aralığında bölüm 3.5.'te hesaplanan şekilde arz talep dengesizliğinin oluşması durumunda kesinti miktarı her bir eşleşmeye oransal olarak dağıtılır.

## BÖLÜM 5. SONUÇ

Türkiye’de elektrik piyasalarını işletmekle yetkili olan Enerji Piyasaları İşletme A.Ş (EPIAŞ) tarafından sağlanan anonimleştirilmiş verilere dayanılarak her biri bir aya ait olmak üzere on iki farklı gün için toplam piyasa fazlası hesaplanmıştır. Seçilen örnek günler için algoritma tarafından bulunan çözümlerin piyasa kurallarına %100 uyumluluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 5.1. Genetik algoritma çözümlerinin piyasa kurallarına uygunluğu

	10.1.2019	10.2.2019	10.3.2019
Fiyatı kurala uygun kabul edilen blok teklif sayısı	83	79	81
Fiyatı kurala uygun reddedilen blok teklif sayısı	77	71	69
Fiyatı kurala aykırı kabul/red edilen blok teklif sayısı	0	0	0
Paradoks blok sayısı	4	5	4
Fiyatı kurala uygun kabul edilen esnek teklif sayısı	0	6	4
Fiyatı kurala uygun reddedilen esnek teklif sayısı	0	0	0
Fiyatı kurala aykırı kabul/red edilen esnek teklif sayısı	0	0	0
Kurala uygun eşleştirilen saatlik teklif sayısı	17172	16935	17210
Kurala aykırı eşleştirilen saatlik teklif sayısı	0	0	0
Çözüm süresi	355 sn	301 sn	312 sn
Piyasa Fazlası	501.258.310	510.319.200	700.819.311
Ortlama PTF	248,15	253,44	246,13

## KAYNAKLAR

- Dünya Bankası, 2015, Türkiye Enerji Sektöründe Dönüşüm - Önemli Aşamalar ve Zorluklar, 19-23
- Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, Resmî Gazete Tarihi: 14.04.2009, Sayısı: 27200
- Elektrik Piyasası Kanunu, Resmî Gazete Tarihi: 30.03.2013, Sayısı: 28603, Birinci Bölüm, Amaç, Kapsam ve Tanımlar
- Enerji Piyasaları İşletme A.Ş., Yeni Gün Öncesi Piyasası Kullanıcı Kılavuzu, [https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/G%C3%96P-KULLANICI-KILAVUZU\\_V.1.6.pdf](https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/G%C3%96P-KULLANICI-KILAVUZU_V.1.6.pdf) , Erişim Tarihi: 01.02.2019
- Enerji Piyasaları İşletme A.Ş., Gün Öncesi Elektrik Piyasası Piyasa Takas Fiyatı Belirleme Yöntemi, [https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/public\\_document\\_v4\\_released.pdf](https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/public_document_v4_released.pdf), Erişim Tarihi: 01.02.2019
- Gökhan, C. Şensoy, N. 2018. A Genetic Algorithm to Solve Day-Ahead Energy Market Clearing Problem Under Network Constraints. 15th International Conference on the European Energy Market (EEM), Lodz, Poland.
- Kılıç, U. 2006. Memetic Optimizasyon İle Geniş Band Mikrodalga Kuvvetlendirici Tasarımı. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kütaruk, K. 2013. Day Ahead Markets. Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Electrical and Electronics Engineering, Yüksek Lisans Tezi.
- Kurt, N. Şahin, B. Derinkuyu, K. 2018. An Adaptive Tabu Search Algorithm for Market Clearing Problem in Turkish Day-Ahead Market. 15th International Conference on the European Energy Market (EEM), Lodz, Poland.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Hasan Silahtaroglu, 10.08.1987'de Tatvan'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Manisa'da, lise eğitimini Gaziantep'te tamamladı. 2004 yılında Şahinbey 19 Mayıs Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2011 – 2015 yılları arasında Türkiye Elektrik İletim A.Ş bünyesinde mühendis olarak çalışmış olup 2015 yılından beri Enerji Piyasaları İşletme A.Ş bünyesinde Staretji ve İş Geliştirme Yönetmeni olarak çalışmaktadır.