

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI PORTFÖYÜ
İŞLETME OPTİMİZASYONU**

ASİYE ÖZGE DENGİZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
2015**

**DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI PORTFÖYÜ
İŞLETME OPTİMİZASYONU**

**PORTFOLIO OPTIMIZATION FOR NATURAL GAS
COMBINED CYCLE POWER PLANTS**

ASİYE ÖZGE DENGİZ

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ENDÜSTRİ Mühendisliğı Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2015

“DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI PORTFÖYÜ İŞLETME OPTİMİZASYONU” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 15/09/2015 tarihinde, **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İmdat KARA

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜLŞEN

Üye : Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR

ONAY

.../ 09 / 2015

Prof. Dr. Emin AKATA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŐEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőmesindeki katkılarından ötürü,

Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜLŞEN'e (tez danışmanı), başta bu süreçte gösterdiği tüm anlayıő, sabır ve hoşgörüsü için olmak üzere, çalışmanın sonuca ulaőtırılmasında sağladığı tüm katkılar için,

Sayın Yrd. Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY'a, çalışmanın istatiksel bölümlerindeki katkılarından ötürü,

Sayın Prof. Dr. İmdat KARA ve Sayın Prof. Dr. Berna DENGİZ'e tez çalıőmamın yanı sıra yüksek lisans öğrenimim süresince deneyim ve bilgileri ile her zaman yol gösterici olmaları dolayısıyla,

Başta annem Nevin Zuhul ALKANAT olmak üzere bu süreçte her zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen tüm AİLEME,

Bana olan inancını, sevgisini ve desteğini her zaman hissettiren ve yanımda olan eşim Dr. Orhan DENGİZ'e,

içtenlikle teőekkürlerimi sunarım.

ÖZ

DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI PORTFÖYÜ İŞLETME OPTİMİZASYONU

Asiye Özge DENGİZ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Türkiye’de enerji sektörü, önemli ve ilgi çekici bir sektör haline gelmiştir. Sektörün bu denli gelişiminde 2001 yılından başlayan serbestleşme hareketleri, enerji piyasasındaki rekabet, ekonominin gelişmesi, artan talep ve getirdiği yatırım gereksinimleri önemli rol oynamıştır. Bu aşamada özellikle doğal gaz ile elektrik üreten kombine çevrim santralleri (DKÇS) kontrollü çalıştırılabilme ve doğalgazın mevcut olduğu her yere kısa sürede kurulabilme özelliği nedeni ile yatırımcıların dikkatini çekmektedir. Enerji üretimindeki ana girdi olan doğalgazın maliyetli bir ithal ürün olması, serbest piyasa koşullarında elektriğin satış fiyatının değişken olması ve üreticilerin aynı zamanda bir takım yükümlülükleri yerine getirmeleri gereği elektrik üretim tesisleri işletmesini karmaşık bir yöneylem problemi haline getirmektedir. Bu santrallerin genel işleyişindeki maliyetlerin takip edilerek işletmecinin sahip olduğu tüm santraller ile ilgili verilecek kararlarda optimizasyon yapılması hem kârlılık hem de enerji piyasasındaki fiyat oluşumları için önemli bir gereksinimdir. Bu amaçla, bu çalışmada DKÇS için tüm maliyetler ve tahmin edilen piyasa fiyatları düşünülerek, bir işletmecinin kontrolünde olan birden fazla DKÇS’nin optimizasyon modeli kurulmuştur. Oluşturulan bu model sayesinde işletme, mevcut kapasitesini en verimli şekilde kullanırken aynı zamanda elektrik piyasasındaki saatlik değişikliklere analitik metotlara dayanarak, daha hızlı ve hazırlıklı bir şekilde tepki verebilecektir. Ayrıca girdi olarak kullandığı doğal gaz fiyatlarında oluşan farklılıklara veya uzun vadeli anlaşma imkânlarına göre en kârlı üretim planlamasını yapabilecektir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Portföy optimizasyonu, optimizasyon, enerji piyasası, doğal gaz, elektrik santrali

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜLŞEN, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

ABSTARCT

PORTFOLIO OPTIMIZATION FOR NATURAL GAS COMBINED CYCLE POWER PLANTS

Asiye Özge DENGİZ

Başkent University Instute of Science and Engineering

The Department of Industrial Engineering

The Energy industry in Turkey is becoming an important and attractive industry. Market liberalization movements starting from 2001, competition in energy markets, economical and industrial development, increasing energy demand as a consequence of fast urbanization and the need for new power plant investments play the main role on its attractiveness. Among different types of power generation facilities, natural gas power plants (NGPP) get considerable attention because of the advantages of being able to generate on demand and location flexibility. At the same time, due to the fact that natural gas, the main input for energy production, is a costly imported good, managing the energy production with unsteady electricity prices in a free market becomes an a complex operation research problem for the producers. The producers, often operating several generators, need to make simultaneous planning for their entire plant portfolio to maximize their profit based on the information coming from the market and equipment characteristics. For this purpose, in this study for the NGPP, a model is developed for producers to plan generation for a certain horizon considering operation costs and forecasted market data. With this model, the companies' plant capacities can be used efectively and also reaction to the hourly market variations become quicker and be based on analitical methods.

KEY WORDS: Portfolio optimization, optimization, Energy market, natural gas , power plant.

Advisor: Asst. Prof. Mehmet GÜLŞEN, Başkent University, Department of Industrial Engineering.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

ÖZ	i
ABSTARCT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
1 GİRİŞ	1
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
2.1 Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi	11
2.2 Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı.....	12
2.3 Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu	13
2.4 Elektrik Üretim Anonim Şirketi.....	14
2.5 Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi	14
2.6 Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi	15
2.7 Doğal Gaz Piyasası.....	16
2.8 Elektrik Piyasası	19
2.9 Doğalgaz ile Çalışan Kombine Çevrim Santralleri	21
2.10 İkili Anlaşmalar	24
3 PROBLEM TANIMI VE FORMÜLASYONU	25
3.1 Önerilen Doğrusal Karar Modeli	26
3.1.1 İndisler	26
3.1.2 Karar değişkenleri.....	26
3.1.3 Parametreler	27
3.1.4 Kısıtlar ve amaç fonksiyonu.....	28
3.2 Model Çözümünde İzlenecek İşlemler.....	30
4 MODELİN UYGULAMASI	33
4.1 Problem Setleri.....	33
4.2 Piyasa Fiyat Tahmini	33
4.3 Örnek Problem Çözümleri	37
4.3.1 Örnek problem P5.3 verileri ve çözümü	37
4.3.2 Örnek problem P10.8 verileri ve çözümü	42
5 SONUÇ.....	50
KAYNAKLAR LİSTESİ	51
EKLER LİSTESİ	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Yıllara göre Türkiye için petrol verileri.....	1
Şekil 1.2	Yıllara göre Türkiye için doğal gaz verileri	2
Şekil 1.3	Kaynaklara göre elektrik üretimi	3
Şekil 1.4	Sektörlere göre doğal gaz kullanım oranları	4
Şekil 3.1	Modelin akış diyagramı.....	26
Şekil 3.2	Akış diyagramı.....	32
Şekil 4.1	Pazartesi günü zaman serisi grafiği	35
Şekil 4.2	Pazartesi günü için yapılan tahmin modeli grafiği.....	37
Şekil 4.3	Jeneratör bazında üretilen elektrik miktarı	41
Şekil 4.4	Jeneratör bazında tüketilen doğal gaz miktarı	41
Şekil 4.5	Saatlik piyasa elektrik enerjisi ticareti	42
Şekil 4.6	Jeneratör bazında üretilen elektrik miktarı	47
Şekil 4.7	Jeneratör bazında tüketilen doğal gaz miktarı	47
Şekil 4.8	Saatlik piyasa elektrik enerjisi ticareti	48

ÇİZELGE LİSTESİ

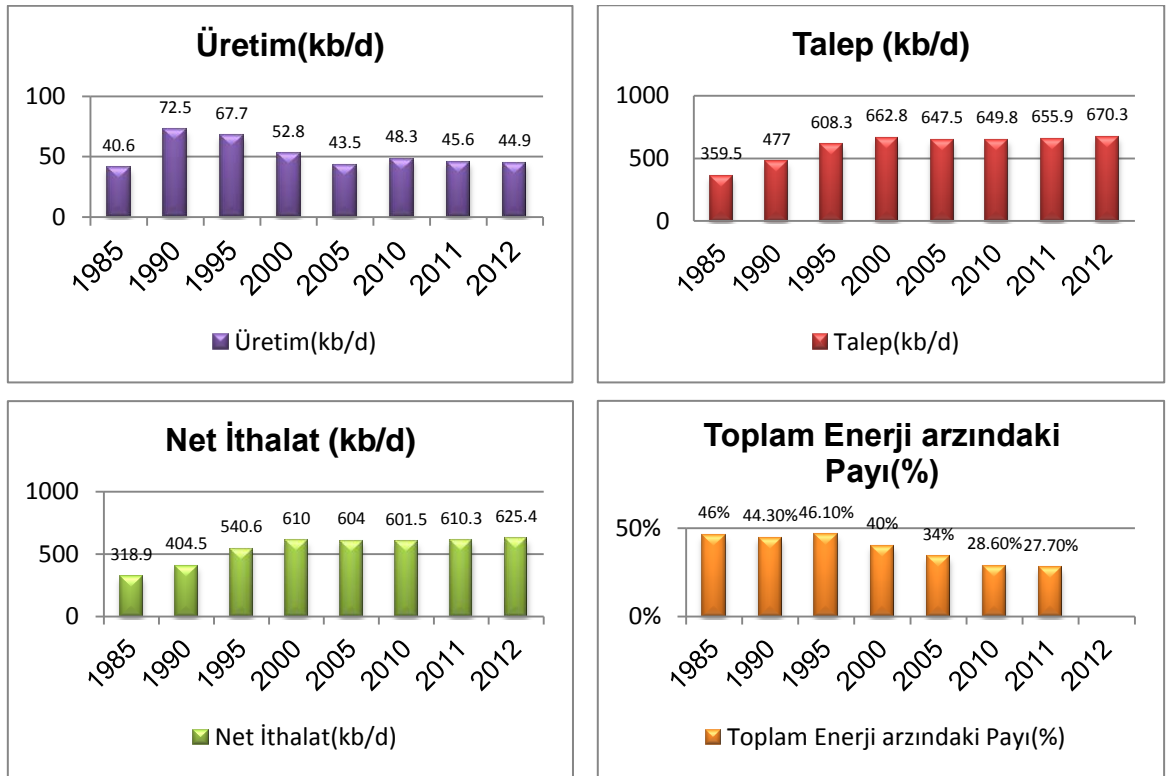
Çizelge 4.1	Problem deneme aralığı özet tablo.....	33
Çizelge 4.2	Örnek problem P5.3 girdi parametre değerleri	37
Çizelge 4.3	Örnek problem P5.3 için model istatistikleri.....	39
Çizelge 4.4	Örnek problem P5.3 için çözüm değerleri.....	40
Çizelge 4.5	Örnek problem P10.8 girdi parametre değerleri	43
Çizelge 4.5	Örnek problem P10.8 girdi parametre değerleri	44
Çizelge 4.6	Örnek problem P10.8 için model istatistikleri.....	44
Çizelge 4.7	Örnek problem P10.8 için çözüm değerleri.....	45
Çizelge 4.8	Örnek problemlerin performans değerlendirmesi	48

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BOTAŞ	Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi
CNG	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
DGKÇ	Doğalgaz Kombine Çevrim
DGP	Dengeleme Güç Piyasası
DUY	Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPIAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GÖP	Gün Öncesi Piyasası
GİP	Gün İçi Piyasası
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazları
MYTM	Milli Yük Tevzi Merkezi
PMUM	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
PYS	Piyasa Yönetim Sistemi
SMF	Sistem Marjinal Fiyatı
SDF	Sistem Dengesizlik Fiyatı
ŞİD	Şebeke İşleyiş Düzenlemeleri
TETAŞ	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
OSB	Organize Sanayi Bölgesi

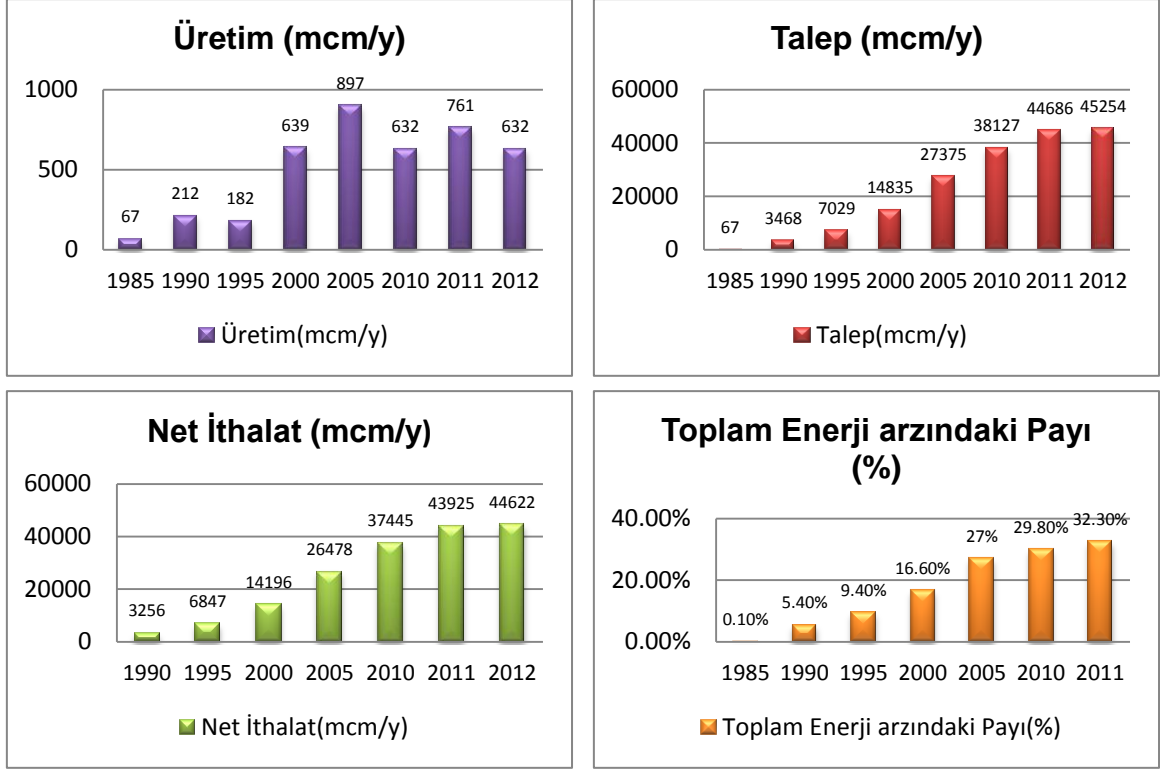
1 GİRİŞ

Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişmelerinin en önemli unsuru ve en temel gereksinimlerinin başında gelmektedir. Bu anlamda enerji sektörü ekonomi için birçok dinamiği içerisinde bulunduran önemli bir lokomotif olmaktadır. Türkiye’de de enerji sektörü diğer ülkelerde olduğu gibi gelişen ekonomi, hızlı kentleşme, nüfus artışı, teknolojik gelişmelerin de etkisiyle enerji talebine olan ihtiyacı arttırmıştır. Enerji talebine olan artış beraberinde kişi başına yapılan enerji tüketimini artırmış ve üretim, ekonomik büyüme, istihdam, refah düzeyi gibi ekonomik kavramlar enerji sektörü ile doğrudan ilişkili hale gelmiştir. Türkiye’de enerji sektöründe yaşanan değişimin yıllar içerisindeki gelişimi petrol ve doğal gaz için üretim, tüketim ve net ithalat rakamlarının birlikte verildiği Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de [18] belirgin şekilde görülmektedir.



kb/d= kilo varil/gün

Şekil 1.1 Yıllara göre Türkiye için petrol verileri



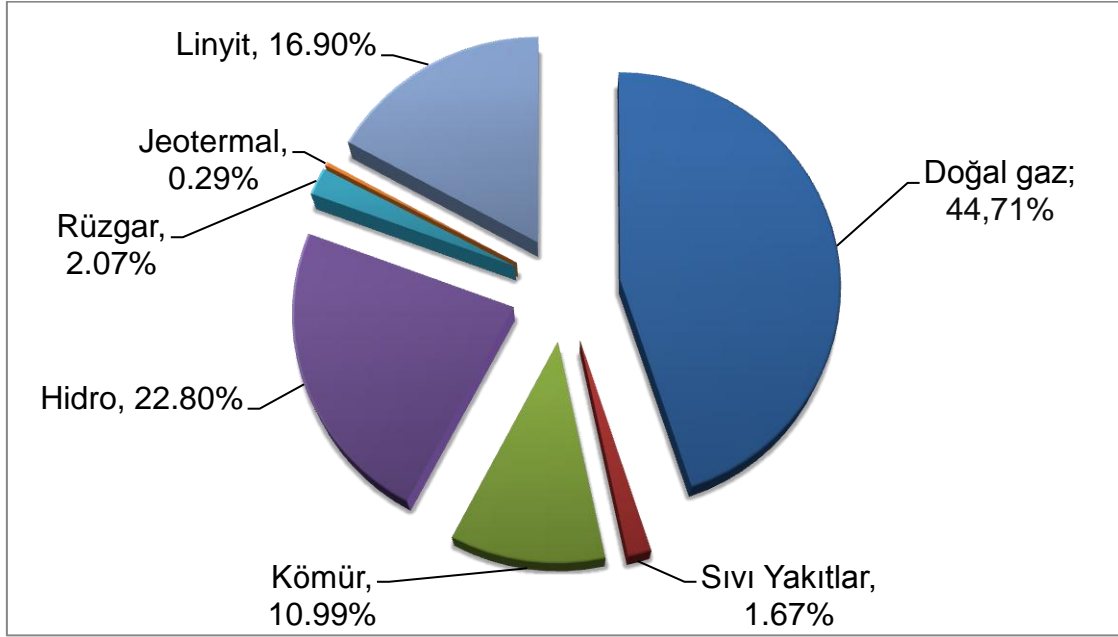
mcm/y= milyon metreküp/yıl

Şekil 1.2 Yıllara göre Türkiye için doğal gaz verileri

Enerji sektöründe yaşanan bu hızlı talep artışı yatırımcıların ilgisini çekerek bu alanda yapılan yatırımları artırmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak Türkiye’de enerji ile ilgili kurumlar üzerlerine düşen görevi yaparak 2001 yılında piyasanın serbestleştirilmesi ve rekabet şartlarının oluşması için çalışmalarına başlamıştır. Bu çalışmalar kısa sürede hız kazanarak piyasanın çok daha istikrarlı, güvenilir, şeffaf ve rekabetçi hale gelmesini sağlamıştır.

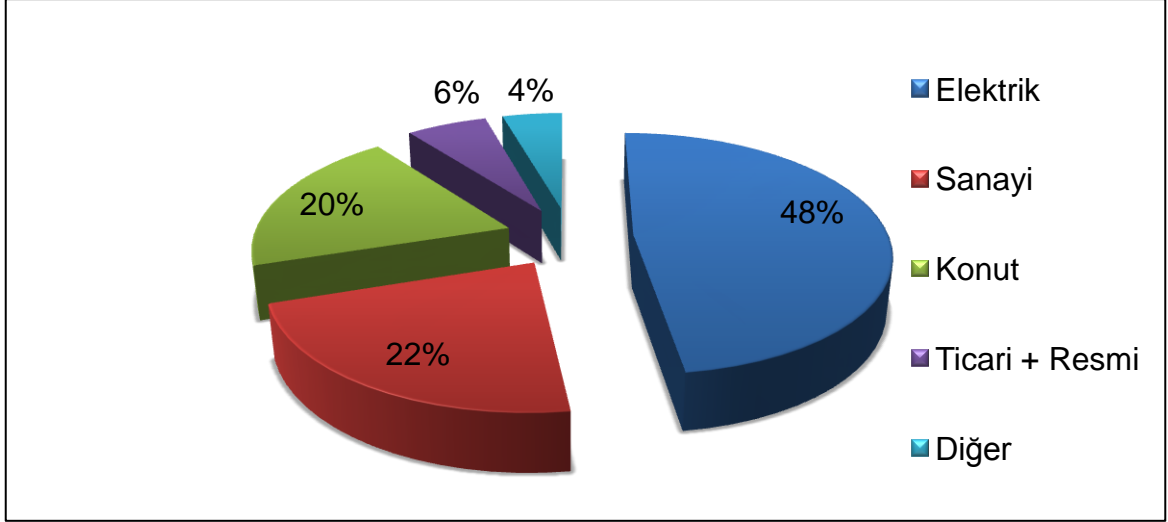
Günlük yaşantımızda artan elektrikli aletlerin kullanımının hız kazanması, temiz, ulaşılabilir, güvenli ve her türlü enerjiye dönüştürülebilmesi dolayısıyla elektrik enerjisi, şüphesiz, en çok tercih edilen enerji türleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Yaşanan elektrik talep artışı ile Türkiye, dünyada Çin’den sonra en fazla talep artışı yaşanan ikinci ülke konumuna gelmiştir. İlerleyen teknolojinin yine elektrik enerjisine bağımlı bir durumda olacağı beklentisiyle elektrik enerjisine olan talebin ilerleyen yıllarda da artış göstereceği tahmin edilmektedir. İstatistiksel verilere göre 2011 yılında 230 milyar kWh olarak gerçekleşen elektrik talebinin 2023 yılında %95 artarak 450 milyar kWh seviyelerine ulaşması beklenmektedir. Elektrik enerjisindeki artışın karşılanabilmesi için yapılacak yatırımların yanı sıra

birtakım sistematik dönüşümlerin sağlanması ve alt yapıların oluşturulması gerekmektedir. Arz ve talep arasındaki dengenin sağlandığı, istikrarlı, sürdürülebilir enerji politikalarına sahip bir ülkede aynı zamanda tüketicilerin elektriği belirli kalitede, sürekli, yeterli ve belirli bir fiyattan almasının da sağlanabilir olması gerekmektedir. Bunun için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve üretim, iletim ve dağıtım gibi ana faaliyetlerin ülkenin sahip olduğu kaynaklar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Elektrik enerjisinin üretiminde fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımı Şekil 1.3’ de [26] gösterilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere elektrik üretiminde daha çok fosil yakıtlar kullanılmakta olup fosil yakıtlar arasında ise yaklaşık %45 oranıyla doğal gaz ilk sırada yer almaktadır.



Şekil 1.3 Kaynaklara göre elektrik üretimi

Doğal gazın kullanıldığı sektörlere bakıldığında ise Şekil 1.4.’de [7] görüldüğü gibi %48 oranıyla elektrik üretimi için doğal gaz kullanımı ilk sırada yer almaktadır.



Şekil 1.4 Sektörlere göre doğal gaz kullanım oranları

Elektrik talebindeki artışlar, elektrik üretimi yapılan santraller ve bu santrallerde kullanılacak kaynaklar için farklı kaynaklara yönelmeye ve/veya mevcut santrallerin daha verimli üretim yapılmasını sağlayacak çalışmalara olan ihtiyacı gündeme getirmiştir. Doğal gaz ile elektrik üreten kombine çevrim santralleri verimliliklerinin yüksek olması, düşük sermaye ile kısa sürede kurulabilmesi gibi avantajları nedeniyle en çok kurulan santrallerin başında yer almaktadır. Türkiye’de toplam kurulu gücü 24.244 MW olan 234 adet doğal gaz santrali, 2014 yılında yaklaşık 120 milyar kWh elektrik üretmiştir.

Bu çalışmada, doğal gaz ile çalışan santrallerin üretim planlamalarında karşılaştıkları sorunları çözmek amacıyla piyasanın da yapısını göz önüne alarak sistematik bir yaklaşım getirilmesi amaçlanmıştır. Portföyünde doğal gaz ile çalışan kombine çevrim santrali bulunan firmalarda üretim planlaması için, piyasada oluşacak fiyatları dikkate alıp, tüm operasyonel ve işletme maliyetlerini göz önünde bulundurarak karını enbüyükleyecek bir doğrusal karar modeli önerilmiştir. Kurulan model sayesinde, firma, portföyünde bulunan santrallerin ve/veya jeneratörlerin çalıştırılmasını, piyasada oluşan fiyat farklılıklarına göre belirleyerek karını enbüyükleyen üretim planını yapabilecektir. Oluşturulan modelin en önemli özelliği, piyasada fiyatların saatlik olarak değişkenlik göstermesi nedeniyle, firmanın gün içerisinde bu değişkenliğe anında tepki gösterebileceği ve oluşan son değişikliklere göre modeli tekrar tekrar çalıştırılarak piyasa dinamiklerine göre gerçek zamanlı üretim planının revize edebilmesidir. Elektrik

piyasasında serbestleşme hareketleri ile birlikte Gün Öncesi Piyasadan (GÖP), Gün İçi Piyasaya geçilecek bir sistemin getirilecek olması dolayısıyla, enerji firmalarının oluşturulan modele olan gereksiniminin ilerleyen zamanlarda artacağı ve kurulan modelin bu sektörde uygulamada rahatlıkla kullanılabileceği öngörülmektedir. Bu anlamda Türkiye elektrik piyasaları için yapılan ilk çalışma olması dolayısıyla literatüre sağladığı katkı önemlidir.

Tezin ilerleyen bölümleri şu şekilde planlanmıştır; literatür araştırması 2. Bölümde verilmiştir. Aynı zamanda doğal gaz ve elektrik piyasalarının işleyişi ve piyasa yapısının anlaşılması amacıyla aynı bölümde ilgili kurumlar ve doğal gaz ile çalışan kombine çevrim santralleri ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir. 3. Bölümde problem tanımı, formülasyonu ile model anlatılırken aynı bölümde çözüm algoritması üzerinde de durulmuştur. 4. Bölümde modelin çözümünün yapıldığı örnek veri setleri oluşturulmuş, son bölüm olan 5. bölümde ise sonuçlar değerlendirilerek çalışma tamamlanmıştır.

2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması için yapılan incelemede, Japonya, Brezilya, Amerika, İspanya, İran gibi ülkelerinde aralarında olduğu birçok farklı ülke piyasaları için geliştirilen ve farklı amaçlara hizmet eden modellerin olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmaları, firma, piyasa veya ülke bazında yapılan çalışmalar olarak sınıflandırabiliriz. Aşağıda bu kapsamda yapılan çalışmalar ve çalışmaların içerikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Baillo et al., [1] 2004 yılında yayınlanan çalışmalarında elektrik piyasası için yapılan çalışmaları üretici firmaların tümünün dikkate alındığı ve sadece belirli bir üretici firmanın dikkate alındığı modeller olmak üzere ikiye ayırarak bir sınıflandırma yapmıştır. Kendi yaptıkları çalışmada ise belirli bir üretici firmanın üretim birimlerine ilişkin modeli firmanın yaptığı uzun dönemli anlaşmalar ve aldığı uzun dönemli kararları da kapsayacak şekilde kurmuştur. Modelde dikkate alınan durumlar; piyasa fiyatları, talep miktarları, piyasadaki belirsizlikler, teklif aşamasındaki piyasa değişkenleri, üretim ile ilgili değişkenler, uzun dönemli anlaşmalar ve bunların sonucunda elde etmeyi beklediği kardır. Bu şekilde portföyü oluşturan santral tiplerine ve sayılarına göre kurgulanan çeşitli senaryolar Benders algoritması ve GAMS programı kullanılarak modellenmiş ve çözdürülmüştür. Geliştirilen modelin performans değerlendirmesi İspanya elektrik piyasası değerleri için çözdürülmüş ve farklı senaryolar için çözdürülen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bhattacharya et al., [2] Japonya için yaptıkları çalışmalarında elektrik arzını sağlamak için oluşturulan portföyde, yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi önemine dikkat çekmek amacıyla, öncelikle portföyü oluşturan kaynaklar için maliyet ve risk analizleri yapmışlardır. Yapılan analizlerde dikkate alınan maliyet kalemlerini; sermaye, kullanılan yakıt/enerji kaynağı, operasyonel-bakım ve CO₂ olarak belirlemişlerdir. Bu şekilde oluşturulan maliyetlere göre optimizasyon modeline girdi olacak dağılım ve parametre değerleri hesaplanmıştır. Portföydeki farklı kaynakların ağırlıklandırmasını ise sağladığı enerji miktarı ve beklenen getiri değerine göre yapmışlardır. Optimizasyon modelinde portföyün riskini enküçükleyen ve farklı senaryolara göre oluşturulan veri setleri ile değer karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, portföyün toplam riskini

düşürürken aynı zamanda maliyetlerde önemli bir artışa neden olmaması nedeniyle yenilenebilir enerji ile elektrik üretiminin, toplam elektrik üretimi içindeki payının artırılması gerektiği belirtilmiştir.

De Oliveira et al., [5] ilgili çalışmalarında elektrik piyasasında enerji ticareti yapan üreticilerin ikili anlaşma yapmak için oluşturdukları portföylerini seçerken kullanabilecekleri bir model geliştirmişlerdir. Mixture Design of Experiments (MDE) olarak adlandırdıkları bu yöntemle göre; öncelikle portföyü oluşturacak ikili anlaşma sayısı belirlenmekte, daha sonra portföyde yer alabilecek aday ikili anlaşmaların toplam şimdiki değer ve koşullu risk değerleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler kurulan modelin getiri ve risk eşitliklerinde kullanmakta ve oluşturulan modelin istatistiksel değerlerine bakılarak hangi anlaşmaların portföyde yer alması gerektiğine karar verilmektedir. Çalışma kurulan modelin Brezilya elektrik piyasasından seçilen ve dönem uzunlukları, fiyatları ve enerji büyüklükleri açısından farklılık gösteren 7 adetlik bir veri seti üzerinde denenerek sonuçlarının yorumlanması ile sonlandırılmaktadır.

Eichhorn et al., [10] çalışmalarında, elektrik portföyü yönetimi için toplam geliri enbüyüklerken aynı zamanda ikili anlaşmalarla üstlendiği riski enküçüklemeye çalışan bir model geliştirmişlerdir. Bu kapsamda modelin çalıştırılması için oluşturulan senaryolar, ikili anlaşmaların olmadığı, sabit fiyatlı ikili anlaşmanın olduğu ve esnek fiyatlı ikili anlaşmaların olduğu senaryolar şeklinde kurgulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada gelecekteki belirsizliklerin, özellikle ikili anlaşmalardan kaynaklanan, karın üzerinde ne kadar etkili olduğuna ve bu nedenle portföy yönetiminde risk optimizasyonunda yapılması gerektiğine vurgu yapılmıştır.

Ventosa et al., [31] yayınladıkları inceleme makalesinde elektrik piyasasına ilişkin 2005 yılına kadar literatürde yapılmış çalışmaları ve bu çalışmalar kapsamında geliştirilen modelleri sınıflandırmışlardır. Buna göre, yapılan çalışmalar için geliştirilen modeller genel olarak; eniyileme modelleri, dengeleme modelleri ve benzetim modelleri olarak üç başlık altında toplamışlardır. Bu başlıklar altında da modelin matematiksel yapısı, piyasa yapısı, çözüm metodu ve temel kullanım alanına göre alt başlıklara göre yayınlamış çalışmalar bulunduğunu belirtmişlerdir. Literatür araştırması olarak yayınlamış en kapsamlı makalelerden biri olan bu

çalışmada aynı zamanda yapılan modellerin tek bir firmanın üretim programının veya teklif yapısının tam rekabet ve eksik rekabet şartlarındaki eniyilemesi için veya oyun teorisi dengesindeki gibi piyasadaki farklı firmaların ilişkilerini dikkate alarak oluşturulmuş modeller olarak incelendiğine dikkat çekmektedir. Makalede belirtildiği gibi bu alanda yapılan çalışmalar, özellikle geçmiş verileri değerlendirerek piyasadaki tüm katılımcıları dikkate alan modeller, piyasanın dinamik yapısını yansıtmakta ve bu alanda yapılan çalışmaların gelişmesine büyük katkı sağlamaktadır.

Rauch'ın [21], 2014 yılında yayınlanan makalesinde, New England olarak adlandırılan Amerika'nın 6 kuzey-doğu eyaletinden oluşan bölgenin elektrik üretimi portföyü için hangi tip santrallere ağırlık verilmesi gerektiği araştırılmıştır. Araştırmada elektrik enerjisi elde edilen kaynaklar maliyetlerine göre seviyelendirilmiş ve korelasyon matrisleri oluşturulmuştur. Biyoenerji, rüzgar enerjisi ve hidro enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile doğal gaz enerjisi, nükleer enerji gibi kaynaklar için yapılan sınıflandırmada fiyat-risk ilişkileri incelenmiş ve oluşturulan iki senaryo üzerinden yapılan karşılaştırmalarda optimal fiyat-risk portföyü için; nükleer enerji ile üretimin tamamen kaldırılması gerektiği, doğal gaz enerjisi ile üretimin payının mevcut duruma göre azaltılması gerektiği ve yenilenebilir enerji kaynakları ile üretimin ise artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Salmani et al., [22] çalışmalarında santrallerdeki üretimi optimize etmek amacıyla bir model kurmuşlardır. Kurulan modelde zorunlu olarak üretilecek miktar ve esnek olarak üretilecek miktarlar, fiyatları ve karşılanmayan talep için cezalar dikkate alınmıştır. Modelin çözümü için oluşturulan senaryolarda fiyat ve cezalardaki farklılıklara göre santralin karlılığındaki değişimler gözlemlenmiştir.

Shakouri et al., [23] çalışmalarında ülkeler arası enerji transferini özellikle İran ve Türkiye arasındaki enerji ticaretinde nasıl bir strateji izleneceğini belirlemek için ülkeler arası ticaret için kısa ve uzun dönemde geçerli olacak iki ayrı model geliştirmişlerdir. Modelde üretimin yanı sıra enerjinin iletimi sırasında ortaya çıkan maliyetleri de dikkate almışlardır. Modelin amacı İran ve Türkiye arasındaki ticaret faaliyetlerinin hangi saatler için yapılması gerektiği iki ülke kullanımının en üst düzeyde olduğu (peak) saatlerini inceleyerek belirlemektir.

Vale et al., [30] ise çalışmalarında birden çok alıcının ve satıcının olduğu farklı senaryolara göre piyasaya verilen teklifleri değerlendirerek karı enbüyüklemeye çalışan bir model geliştirmişlerdir. Senaryolar oluşturulurken kullanılacak teklif belirleme yöntemleri yapay sinir ağları, regresyon modeli ve reinforcement learning algoritması kullanılarak oluşturulan ve çalışmanın sunduğu yöntem olan, MASCEM (Multiagent Simulator of Competitive Electricity Market) modeli, olmak üzere üç farklı şekilde hesaplamıştır. Tüm yöntemlere göre hesaplanan karlar karşılaştırılmış ve sonuç olarak geliştirilen teklif belirleme modelinin sağladığı karlılığın, yapay sinir ağı ve regresyon modelinden elde edilen karlılıktan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Jirutitijaroen et al., [17] doğal gaz ile çalışan bir santral için elektrik ve doğal gaz piyasalarını kapsayan, santralin üretimini eniyileyen ve yaptığı ticarete göre karını enbüyükleyen bir model geliştirmiştir. Çalışmalarında santral elektrik üretimi dışında hammadde olarak kullandığı doğal gazı üretim için kullanmadığı zamanlarda satarak ticaretini yapmakta ve bu şekilde karını enbüyüklemeyi hedeflemektedir. Çalışmada sadece üç jeneratörlü bir portföy için kurgulanan problem çözülmüş ve çözümde farklı senaryolara göre örneğin; doğal gaz alım – satım durumu, doğal gaz depolama kapasitesi, doğal gaz fiyat durumu gibi model çalıştırılmakta ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmaktadır.

Jirutitijaroen et al., [17] çalışmasında önerilen model, doğal gazın farklı kaynaklardan farklı fiyatlarla tedarik edilebileceği varsayımı ile depolama ve doğal gaz ticaretine de imkan vermektedir. Türkiye’de ise elektrik üreticisi bir firmanın doğalgazı depolama ve ticaretini yapma izni olmadığı için bu tez çalışmasında geliştirilen model Türkiye’deki piyasa şartlarına bu yönden uygun hale getirilmiştir. Türkiye doğal gaz piyasanın yapısı gereği firmalar, doğal gaz ihtiyaçlarını tek bir kaynak olan BOTAŞ’dan tedarik etmekte ve fiyat tarifeleri aylık olarak belirlenmektedir.

Jirutitijaroen et al., [17] çalışmasında ikili anlaşma fiyat ve miktarları sadece peak ve off-peak saatleri için iki tarife olarak dikkate alınmıştır. Türkiye’de ise serbest elektrik ticaretinde saatlik bazda ikili anlaşmalar yapılabildiği için; bu tez kapsamında geliştirilen modele buna olanak sağlayan değişken ve kısıtlar eklenmiştir.

Jirutitijaroen et al., [17] çalışmalarında farklı alt senaryolar ve bunların gerçekleşme olasılıklarına göre bir kar eniyilemesi yapılırken; bu tez çalışmasında geliştirilen modelde öngörülen eniyileme periyodundaki piyasa şartları tahmin edilerek firmanın saatlik bazda üretim programı yapılarak ilgili period için kar eniyilemesi yapılabilmektedir.

Jirutitijaroen et al., [17] ile bu tez çalışması arasındaki bir diğer fark ise maliyetler açısından oluşmaktadır. Jirutitijaroen et al., [17] çalışmasında santralin maliyeti olarak operasyonel maliyet ve gazın pompalanması sırasında yaşanan kayıp maliyetin dikkate alınmıştır. Bu tez çalışmasında geliştirilen modelde ise depolamanın olmamasından ötürü pompalama maliyeti modelden çıkarılmış, jeneratörün üretimine ve verimliliğine bağlı olarak değişkenlik gösteren, jeneratörü harekete geçirme maliyeti ve jeneratörün operasyonel maliyeti olmak üzere iki farklı maliyet unsuru modele eklenerek daha gerçekçi bir model kurulması sağlanmıştır.

Jirutitijaroen et al., [17] çalışmasında ayrıca bir değişken olarak gösterilmeyen ancak tez modelinde yeni bir “binary” değişken olarak eklenen değişken sayesinde karar verici/portföy sahibi hangi saatte hangi jeneratörün devreye alınacağını görebilecektir. Piyasadan satın alınabilecek ve piyasaya satılabilecek elektrik enerjisi miktarlarına belirli limitler dahilinde izin verecek şekilde kurgulanan tez çalışmasındaki model aracılığıyla, piyasa şartlarına göre piyasadan alınabilecek veya piyasaya satılabilecek miktarlar öngörülerek model çalıştırılmaktadır.

Bu tezde önerilen modelin çözüm algoritmasının performans değerlendirmesinin yapılabilmesi amacıyla sayıları 5 – 50 arasında değişen farklı kapasitedeki jeneratör portföyüne sahip firmalar olabileceği varsayımı ile farklı büyüklükte problemler rassal olarak üretilmiştir. Bu problemlerin üretilmesi ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 5’te verilmektedir. Toplam 60 problem tipi çözdürülerek problemin çözüm zamanı açısından değerlendirme yapılmıştır.

Literatür araştırmasının yanı sıra doğal gaz ile çalışan Kombine Çevrim Santrallerinin işleyişine ve modellenmesine geçmeden önce piyasa şartlarının anlaşılması, bu tezde geliştirilen modele konulan değişkenlerin modele neden eklendiğinin daha rahat anlaşılabilmesi amacıyla ilerleyen bölümlerde piyasa ve

piyasa ile ilgili kurumlar hakkında bilgi verilecektir. Bu amaçla, santrallerin bağılı oldukları piyasaları Doğal gaz ve Elektrik piyasası olarak ikiye ayırırken; bağılı oldukları kuruluşları ise doğalgaz tedarigi açısından, BOTAŞ ve TPAO; elektrik iletimi ve satışı açısından, EPDK, EÜAŞ, TETAŞ ve TEİAŞ olarak sınıflandırabiliriz. Bu kuruluşların modelleri ve santralle olan ilişkileri sözel olarak izleyen bölümde açıklanırken, kuruluşların görevleri şematik olarak Ek 1’de gösterilmektedir. Ayrıca elektrik ve doğal gaz piyasasının tarihsel gelişimini gösteren grafik Ek 2 olarak verilmiştir.

2.1 Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi

Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAŞ), 1974 yılında Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı'nın yapımı ve işletilmesi faaliyetlerini yürütmek amacıyla kurulmuştur. 1986 yılından sonra ise doğal gaz ithalatı, ihracatı, iletimi, depolanması ve satış faaliyetlerini yürütmeye başlamıştır. Faaliyetleri doğrultusunda BOTAŞ; doğal gaz kullanımının Türkiye genelinde artmasını, iletim alt yapısının gelişmesini, arz güvenliğinin artmasını, depolama tesislerinin kurulmasını ve transit boru hattı projelerinin tamamlanmasını sağlamıştır. Sanayileşme, nüfus artışı ve şehirleşme ile birlikte artan enerji talep artışı doğal gaza olan ihtiyacı artırmıştır. BOTAŞ, Türkiye'nin artan bu doğal gaz ihtiyacını karşılamak, doğal gaz arzının güvenliğini ve çeşitliliğini sağlayabilmek amacıyla başta Rusya olmak üzere İran, Azerbaycan ve Türkmenistan gibi önemli doğalgaz kaynaklarını barındıran ülkelerle uzun vadeli doğalgaz; Cezayir ve Nijerya ile sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) alım satım anlaşmaları imzalayarak doğal gaz ithalatını gerçekleştirmiştir.

LNG ithalatına başlanmasıyla birlikte alınan gaz için hem baz yük tesisi olarak kullanılmak, hem de istenildiğinde pik düşürücü olarak devreye sokulmak üzere LNG terminalleri işletmeye açılmıştır. Spot piyasada dönemsel olarak ortaya çıkan doğal gaz arz açıkları, LNG ithalatı ile mevcut sözleşmelere ek olarak veya kısa süreli anlaşmalar ile ihtiyaç duyulan miktar üzerinden yine BOTAŞ tarafından yapılmaktadır. Aynı zamanda Yunanistan'a doğal gaz ihracatı için de satış anlaşmaları yapmıştır. 2013 yılı sonu itibarıyla toplam 37,3 milyar Sm³ yurtiçi doğal gaz satışı gerçekleştirilmiştir. Bu miktarın, %25'i sanayide, %20'si konutlarda ve %52'si elektrik üreten santrallerde tüketilmiş, geriye kalan %3'ü ise toptan satış yoluyla satılmıştır. Aynı yıl için Yunanistan'a yapılan doğal gaz ihracatı ise 682

milyon Sm³tür. BOTAŞ aynı zamanda doğal gaz depolamakla da yükümlüdür. Depolama tesisleri sayesinde BOTAŞ, talebin düşük olduğu zamanlarda depolama yaparak rezerv oluşturmakta, tüketimin yüksek olduğu zamanlarda ise rezervindeki gazı devreye sokarak piyasanın mevsimsel ya da tüketim kaynaklı fiyat dalgalanmalarını önleyici müdahalelerde bulunabilmektedir.

2002 yılından itibaren BOTAŞ'ın doğal gaz piyasasındaki tekel konumu sonlandırılmış ve yapılan düzenlemelerle piyasa, özel tedarikçi katılımcılara da açılmıştır. Bu değişiklikten sonra piyasaya katılan katılımcı sayısı artmış ve özel sektör piyasa tedarik oranı %20 olmuştur. Piyasanın serbestleştirilmesine ilişkin çalışmalar devam etmektedir [3; 4].

2.2 Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), 1954 yılından bu yana milli petrol şirketi olarak, Türkiye'nin artan petrol ve doğal gaz ihtiyacını yurtiçinde özellikle Karadeniz ve Akdeniz deniz alanlarına yönlenerken ve Azerbaycan, Irak, Libya, Kazakistan, Afganistan ve K.K.T.C. gibi yurtdışı kaynaklardan karşılama amacıyla geliştirdiği yeni arama stratejileri ile yatırımlar yapmakta ve faaliyetlerini sürdürmektedir. Yapılan arama çalışmaları sonucunda, 2013 yılında, Türkiye'de üretilen petrolün % 75'i, doğal gazın ise % 55'i TPAO tarafından üretilmiştir. Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de doğal gaz talebi mevsim şartlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Öyle ki bu talep farkı neredeyse bazı kış aylarında, yaz aylarındakini ikiye katlamaktadır. Bu durum, yaz aylarında fazla gazın depolanmasına ve talebin artış gösterdiği kış aylarında kullanılması gibi bir sistemi gerekli kılmaktadır. Bir ülkenin ulusal enerji stratejisi açısından da çeşitli sebeplerle arz-talep dengesinde oluşan farklılıklara müdahale edebilmesi için yer altı depolama tesislerine sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla, TPAO, depolama hizmeti verebilmek için gaz ithalat ve/veya toptan satış lisansına sahip olan firmalar ile (BOTAŞ, AYGAZ, OMV, BOSPHORUS, ENERCO, ENERJİSA, EWE vb.) doğal gaz depolama sözleşmesi imzalamıştır. Depolardaki doğal gaz miktarı, 2014 yılı başındaki rakamlara göre 849 milyon m³dür. Talep artışlarını göz önünde bulunduran TPAO, mevcut tesislerin depolama ve geri üretim kapasitelerinin artırılması amacıyla; 2,66 milyar m³ olan depolama kapasitesini 4,3 milyar m³e,

azami 25 milyon m³/gün olan geri üretim kapasitesini ise 75 milyon m³/gün'e çıkarmak için çalışmalarını yürütmektedir [24].

2.3 Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), enerji kaynaklarını (doğal gaz, LNG, elektrik vb.) kaliteli, sürekli ve belirli bir fiyat seviyesinde, piyasaya arz edebilecek piyasa oyuncularından oluşmasını ve piyasanın bağımsız, şeffaf bir düzenleme ve denetleme mekanizmasına sahip olması için gereken tüm kanunları yapmakla yükümlüdür. Bu amaçla tüm enerji piyasalarına ilişkin görev ve yetkileri vardır. Elektrik piyasasına ilişkin görevleri; tüzel kişilerin lisanslarından doğan hak ve sorumluluklarını belirlemek, belirlenen sorumlulukların yerine getirilip getirilmediğinin denetlenmesi, çeşitli performans standartlarının belirlenmesi ve bu standartlara uyulmasının sağlanması, mevzuatların oluşturulması ve uygulanması şeklindedir. Aynı zamanda piyasa faaliyet gösteren tüm tüzel kişiler Elektrik Piyasası Kanununa uygun şekilde davranmakla yükümlüdür.

Doğal gaz piyasasında ise; doğal gazın ithalatı, ihracatı, depolanması, iletimi ve depolanmasına ilişkin faaliyetleri gerçekleştirecek gerçek ya da tüzel kişilerin lisanslarının verilmesi, hak ve sorumluluklarının belirlenmesi, piyasanın işleyişi için gereken düzenleme ve denetimlerin yapılması ve tüm piyasa oyuncularının Doğal Gaz Piyasası Kanununa uygun şekilde davranılmasının sağlanması şeklindedir.

LPG Piyasasında; LPG ithalatı, taşınması, dağıtımı, depolanması, LPG tüp imalatı, tamir-bakım tesislerinin kurulması ve denetlenmesi ve bu faaliyete ilişkin lisansların verilmesi, ikincil mevzuatın oluşturulması, geliştirilmesi ve uygulanmasının sağlanması, piyasa fiyatlarının takibi Sıvılaştırılmış Petrol Gazları Piyasası Kanununa uygun şekilde davranılmasının sağlanması olarak sıralanabilir.

Petrol piyasasında; petrol rafinaj işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve tesis kurulması, petrolün depolanması, iletilmesi, tüm lisans gerektiren faaliyetler için lisans verilmesi ve verilen lisansların kapsam ve yükümlülüklerinin belirlenmesi, tarifelerin belirlenmesi ve piyasa fiyatlarının takibi ve tüm piyasa katılımcılarının Petrol Piyasası Kanununa uygun şekilde davranılmasının sağlanması, konularında yetkili ve sorumludur [14].

2.4 Elektrik Üretim Anonim Şirketi

Birincil faaliyet alanı enerji sektöründe elektrik üretimi olan Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), bünyesinde bulunan elektrik santrallerinin işletilmesi, bakım, onarımların faaliyetlerinden ve yine kendisine ait madenlerin genel faaliyetlerinden sorumludur. Yapılan son düzenlemeler ile özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişiler ile üretim tesisi ortaklıkları da kurabilecektir.

2013 rakamlarına göre EÜAŞ, 12.918 MW kurulu güce sahip 69 hidroelektrik ve 10.864 MW kurulu güce sahip 17 termik santrale sahip olup, toplam 23.781 MW kurulu gücü ile Türkiye kurulu gücünün %37.1'ini ve Türkiye elektrik enerjisi üretiminin ise %33.5'ini karşılamaktadır. Aynı yılın elektrik üretim verilerine göre toplam 239,4 milyar kWh olarak gerçekleşen Türkiye elektrik üretiminin 80.1 milyar kWh'i EÜAŞ tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu rakamlarla toplam kurulu güç açısından EÜAŞ, AB'de faaliyet gösteren en büyük 10 elektrik üretim şirketlerinden biri olarak yer almaktadır. EÜAŞ'ın portföyünde bulunan santralleri termik (doğal gaz, fuel-oil, kömür) ve hidroelektrik santraller olarak sınıflandırabiliriz. Ayrıca EÜAŞ'ın santral portföyüne 2023 yılına kadar iki nükleer güç santrali eklenmesi planlanmaktadır [15].

2.5 Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi

Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (TETAŞ), elektriğin toptan satışını gerçekleştirmek için kurulmuş ilk şirkettir. Bu amaçla kurumun serbestleşme sürecinde üstlendiği başlıca görevleri; rekabet ortamına geçişi kolaylaştırmak amacıyla önceden özel sektöre devredilen santraller ve Yap-İşlet veya Yap-İşlet-Devret sistemi ile kurulan santraller ile imzalanmış uzun vadeli sözleşmelerle alım taahhütü verilen işletmelerin sorumluluklarını devralmak şeklinde söyleyebiliriz. Bu amaçla TETAŞ, 2001 yılında çıkarılan ilgili kanun hükmünce (4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu) piyasada toptan alım ve satım sözleşmeleri imzalayarak faaliyetlerini kamu adına gerçekleştirmektedir. TETAŞ, Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) tarafından işletilen Dengeleme Piyasasından, Elektrik Üretim A.Ş. tarafından işletilen santrallerden ve ilgili kanun çerçevesinde özel sektöre devredilen santraller ve Yap-İşlet veya Yap-İşlet-Devret sistemi ile kurulan santrallerden ve ithalat yoluyla farklı ülkelerden alınan elektriği

satın almakta ve farklı kanallardan aldığı bu elektriği tekrardan Dengeleme Piyasasına, elektrik dağıtım şirketlerine, elektrik perakende satış şirketlerine, serbest tüketici niteliğindeki müşterilerine, ihracat yoluyla diğer ülkelere satmaktadır. Serbestleşme hareketi ile piyasanın rekabet ortamına hazırlanması sürecinde çok önemli roller üstlenen TETAŞ, önceki yıllarda piyasadaki elektrik ticaretinin %80-85'ini üstlenirken, 2006 yılında başlatılan santral alım-satımları ile ticaret payını büyük oranda özel sektöre devrederek 2013 rakamlarına göre %53'lere düşürmüştü ve üstlendiği misyonu başarıyla yerine getirmiştir [25].

2.6 Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), elektrik talebinin karşılanmasında yürüttüğü hizmetlerin belirli bir kalitede, sürekli, aksamadan, çok yüksek-yüksek gerilim seviyelerinde gerçekleşmesini sağlamakla yükümlüdür. Kuruluşun ana faaliyetleri arasında, elektrik piyasasının sağlıklı işleyişinin sağlanması amacıyla Dengeleme Güç Piyasası'nın işletilmesi de bulunmaktadır. Gün öncesinden dengeli bir piyasa oluşturulması ve piyasa katılımcılarının yükümlülüklerini gün öncesinden planlayabilmeleri için oluşturulan ticaret alanı 2009 yılında yürürlüğe giren Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY) kapsamında oluşturulmuştur. Ticaret alanı oluşturulurken ilk etapta özel sektörün ve kamu sektörünün piyasanın yeni işleyişine uyum sağlayabilmesi ve katılımcıların yeni sistemin getirdiği kuralları anlayarak uygulayabilmeleri amacıyla Gün Öncesi Piyasası yerine Gün Öncesi Planlama mekanizması uygulanmaya başlamıştır. Geçiş sürecinin tamamlanması ile 2011 yılında gelişmiş ülkelerin uyguladığı ve hedef mekanizma olan Gün Öncesi Piyasası (GÖP) uygulamaya konulmuştur. DUY'un getirdiği yeni sistem sayesinde, gün öncesinde ve Dengeleme Güç Piyasası'nda verilen yük alma ve yük atma talimatları için fiyatlar serbest piyasada, piyasa katılımcı teklifleri baz alınarak belirlenmeye başlanmıştır. Dengeleme güç piyasasına katılan piyasa katılımcılarının yük almak amacıyla teklif ettikleri, fiyat, miktar ve geçerli olacağı zaman gibi bilgileri içeren teklifler yük alma teklifleri olarak ifade edilirken; yük atma teklifleri ise yük atmak amacıyla teklif ettikleri, fiyat, miktar ve geçerli olacağı zaman gibi bilgileri içeren teklifleri ifade eder. Yeni yapının getirdiği yenilikler ile piyasa rekabetçi bir yapıya kavuşurken aynı zamanda sistemde oluşan fiyat hedeflenene uygun olarak piyasa arz-talep dengesini yansıtacak şekilde oluşmaya başlamıştır. Diğer belirlenen hedefler doğrultusunda nihai piyasa yapısına aşamalı

olarak geçişi ngren Dengeleme Gc Piyasası, Gün ncesi Piyasası, Gün içi (intraday) Piyasası ve Vadeli İşlemler Piyasası'nın kurulmasına yönelik olarak kısa-orta-uzun vadeli yapılması planlanan tüm çalışmalar hızla başlatılmış ve kararlılıkla yürütülmektedir [26].

2.7 Doğal Gaz Piyasası

Doğal gaz piyasasını oluşturan başlıca faaliyetleri; doğal gazın ve sıkıştırılmış doğal gazın (CNG) toptan satışı, depolanması, dağıtımı, iletimi, ithalatı, ihracatı olarak sıralayabiliriz. Söz konusu faaliyetleri gerçekleştirmek için lisans alınması zorunludur. Piyasasının tüm hukuki yapısı 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu ile düzenlenmiştir.

Ülkemizin doğal gaz ihtiyacı Bölüm 2.1'de belirtildiği gibi büyük lde ithalat yoluyla karşılanmaktadır. 2013 verilerine göre piyasadaki doğal gazın %98,8'i ithalat yoluyla farklı kaynaklardan, geriye kalan kısmı ise kendi kaynaklarımızdan karşılanmıştır. Kendi kaynaklarımızdan karşılanan kısmında, üretim şirketleri tarafından üretilen doğal gaz, toptan satış, ithalatçı, ihracatçı veya dağıtım şirketlerine ilgili lisans ile satılabilmektedir. İhracat lisansı sahibi üretim şirketleri ise ihracat faaliyetlerini lisanslarının verdiği sorumluluklar çerçevesinde gerçekleştirebilmektedir. Üretim şirketlerinin kuyu başından satış yapabileceği kaynaklar serbest tüketiciler, CNG satış şirketleri ve CNG iletim ve dağıtım şirketleri ile sınırlıdır. Enerjiye olan ihtiyacın gün geçtikçe artması ve evre sorunlarını en aza indirmek için temiz enerji kaynaklarına yönelmenin sonucunda doğal gaz ticaret hacmi artmıştır. Bu amaçla ilk ticaret faaliyeti 1986 yılında Rusya ile 25 yıllık bir alım-satım anlaşması imzalayarak başlamıştır. Bunu izleyen anlaşmalar yine Rusya, İnan ve Azerbaycan gibi ülkeler ile yapılmıştır. Doğal gaz ticaret anlaşmalarını Türkiye adına BOTAş gerçekleştirmektedir. Rusya ile yapılan ilk anlaşmanın 2011 yılında bitmesi ile piyasaya daha rekabetçi bir yapı kazandırmak ve piyasaya farklı katılımcıların girmesini sağlamak amacıyla EPDK'nın kararı ile BOTAş'ın ithalat lisansı sona ermiştir. Bu karardan sonra piyasada BOTAş'ın hakimiyeti ve tekel konumu sona ererek farklı katılımcılara ithalat lisansı verilmiş ve özel sektörün piyasadaki etkinliği arttırılmıştır. 2013 yılı rakamlarına göre 4 milyar Cm³/yıl BOTAş'tan devredilmek üzere özel sektörün sahip olduğu sözleşme miktarı 10 milyar Cm³/yıl düzeylerine yükselmiştir.

Doğal gaz iletiminin çeşitli sebeplerle yapılamadığı durumlarda sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) şeklinde kullanılmaktadır. LNG, doğal gazın -162°C'ye kadar soğutulması ile hacminin 600 kat küçültülmesi ile elde edilir. Türkiye Cezayir ve Nijerya'dan LNG alımı yapmaktadır. LNG olarak satışı yapılan doğal gazın kullanıldığı sektörler demir-çelik ile alüminyum eritme-işleme, döküm ve metal işleme, inşaat malzemeleri imalatı, otomotiv yedek parça imalatı, gıda (unlu mamuller, tavukçuluk), yem üretimi gibi sanayi dalları ve turizm, hastane, havalimanı gibi hizmet sektörleri olarak sıralanabilir. LNG alımı sayesinde ülkelerin arasında yaşanan politik sorunlardan kaynaklanan kesintilerden, teknik sorunlar nedeniyle ya da kendi iç tüketimini karşılayamaması gibi durumları gerekçe göstererek yapılan kesintilere anında müdahale edilebilmektedir. Aynı durumlarda önceden yapılan depolamalarla da arz güvenliği sağlanmaya çalışılmaktadır. Ancak LNG'nin depolanarak saklanması ve sonrasında iletim hatlarına verilmesi üzere gazlaştırılması durumu için bulunan iki LNG terminali (Marmara Ereğlisi LNG Terminali ve Ege Gaz A.Ş. LNG Terminali) kapasite olarak henüz istenen yeterliliği sağlayamamaktadır. Depolama faaliyetleri yer altında ve yer üstünde, günlük veya mevsimlik değişikliklerden kaynaklanan doğal gaz artışlarının yarattığı doğal gaz açığını karşılamak üzere gerçekleştirilmektedir. Yaz aylarında tüketimin düşmesiyle ithalat yapılan doğal gaz depolara enjekte edilmekte ve bu stoklar ithalatın yeterli olmadığı doğal gaz talebinin arttığı kış aylarında kullanılmaktadır.

İhracat faaliyetleri ise ihracat lisansı almış tüzel kişiler tarafından lisanslarında belirtilen ülkelere ve yine lisanslarındaki hükümler çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Türkiye'de mevcut durumda ihracat lisansı sahibi sekiz tüzel kişi bulunmaktadır. Bunlardan yalnızca BOTAŞ, Yunanistan'a doğal gaz ihracatı yapmaktadır.

İthal edilen ya da üretilen doğal gazın serbest tüketicilere satışı, toptan satış lisansı almış tüzel kişiler tarafından gerçekleştirilmektedir. Ancak ithalat lisansı sahibi kişiler aynı lisans ile toptan satış da yapabilmektedir. 2013 verilerine göre, ithalat lisansı sahibi 37 şirketten yalnızca 2 şirket LNG ithalatı yaparken geriye kalan şirketlerin ise yalnızca 10 tanesi yurtiçi piyasadan aldığı doğal gazın toptan satışını gerçekleştirmiştir. Toptan satış rakamları, 2013 yılında 45.806 milyon Sm³ olarak gerçekleşmiştir. Toplam doğal gaz arzında ise %77,5 oranıyla BOTAŞ'ın hâkimiyeti dikkat çekerken, %21,4 ithalat lisansı sahipleri ve geri kalan %1,2'lik

kısım üretim yapan toptan satış şirketlerince karşılandığı görülmektedir. 2013 verilerine göre boru hatlarıyla 40 adet ve LNG formunda 6 adet olmak üzere toptan satış faaliyeti gerçekleştiren toplam 46 şirket bulunmaktadır. Bu şirketlerin içinde üretim yaparak, doğal gazı ithal ederek ve sadece doğal gazın piyasaya arzını alım-satım yaparak aracılık yoluyla satışını gerçekleştiren firmalar bulunmaktadır.

Bir başka lisans tipi olan CNG lisansı sahibi şirketler, lisanslarının içeriğinden doğan hak ve sorumluluklar çerçevesinde, farklı kanallardan aldığı doğal gazı sıkıştırıp basınçlı kaplara doldurarak özellikle iletim şebekelerinin ulaşamadığı yerlerde satılması, taşınması, doldurulması, depolama tesislerinin belirlenen standartlara göre yapılması ve işletilmesi gibi faaliyetleri gerçekleştirmektedirler. CNG lisansı sahibi şirketlerce 2013 yılında gerçekleştirilen doğal gaz alımı, 64,8 milyon Sm³ dağıtım, toptan satış ve ithalat lisansı sahiplerinden ve 4,3 milyon Sm³ CNG lisansı sahibi şirketlerin aralarında gerçekleşen satışlar olmak üzere toplam 80 milyon Sm³'tür. Türkiye'de boru hatlarıyla iletim faaliyetlerini yürütmekte olan BOTAŞ, yeniden yapılandırılması sonrası kendi bünyesinden çıkan kamu niteliğini koruyacak firmalar aracılığıyla iletim faaliyetlerini devam ettirecektir. Piyasanın rekabet ortamının sağlanması için iletim hatlarına üçüncü tarafların erişiminin sağlanarak şebeke sahibi ya da işletmecisi dışındaki tarafların da gazını iletim şebekesini kullanarak taşınması sağlanmalıdır. Bu amaçla AB Direktifleri ve tüzüklerinin ilgili hükümleri Doğal gaz Piyasası İletim Şebekesi İşleyiş Yönetmeliği'ne yol göstermiş ve buna göre hazırlanan kurallara göre sisteme giriş, taşıma miktarı bildirim ve taşıma hizmetinin programlanması, taşıma miktarının tespiti, kesinti işlemi, sevkiyat kontrolü, sistem dengelemesi, iletişim sistemi, kapasite tahsisi, doğal gaz teslimi ve ölçüm işlemi gibi şebeke işleyişine ilişkin usul ve esaslar belirlenmiştir. Doğal gaz piyasası iletim ve sevkiyat kontrolüne ait tarifeler ile şebeke giriş-çıkış ve ihracat çıkış noktaları Şebeke İşleyiş Düzenlemeleri (ŞİD) kapsamında belirlenmektedir.

Piyasada toptan satış ve ithalat şirketi olarak faaliyet gösteren şirketler, giriş noktaları aracılığıyla gerçekleştirdiği doğal gaz girişinin, 2013 yılı rakamlarına göre %79'u BOTAŞ ve %21'i özel sektör şirketlerince olmak üzere toplam 46,7 milyar Sm³'tür. Buna karşılık iletim şebekesinden doğal gaz çekişi 46,5 milyar Sm³ olarak gerçekleşmiştir. Mevsimsel dağılıma bakıldığında talebin yüksek olduğu kış aylarında doğal gaz giriş ve çekiş miktarları en yüksek değerlere ulaşmıştır. Doğal

gazın 2013 yılı tüketim alanları arasındaki dağılımına bakıldığında %45,85 ile elektrik üretimi için yapılan tüketim ilk sırada yer alırken sanayi tüketimi %25,11 ve konut tüketimi %20,78 olarak gerçekleşmiştir. Yıl içerisinde Mayıs- Temmuz döneminde elektrik üretimi için kullanılan doğal gaz tüketimi artış göstermektedir. 2013 yılı Mayıs-Ekim döneminde elektrik üretiminde kullanılan doğal gazın, toplam aylık tüketim miktarına oranı %50'nin üzerinde iken aynı oran Ağustos ayında daha da yükselerek %60 düzeylerine çıkmıştır [7].

2.8 Elektrik Piyasası

Elektrik piyasası, tüketicilere elektriğin kaliteli, sürekli ve düşük maliyetli olarak sunulmasının amaçlandığı bir piyasadır. Piyasa katılımcıları, faaliyetlerini rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre sürdürürken; piyasanın şeffaf, istikrarlı ve mali açıdan güçlü olması için bağımsız düzenleme ve denetimlerin gerçekleştirilmesi kanunlar ile sağlanmaktadır. Elektrik piyasası kanunu kapsamında piyasada faaliyet gösteren tüm gerçek ve tüzel kişilerin, elektrik üretimi, toptan veya perakende satışı, dağıtımı, ithalat ve ihracatı ve piyasa işletimi gibi faaliyetlere ilişkin hak ve yükümlülükleri belirlenmiştir. Piyasa katılımcılarının gerçekleştirmek istedikleri faaliyetler için lisans almaları zorunludur. Tüzel kişilerin, aldıkları izin belgeleri (lisans) kapsamında faaliyetlerini yürütürken izleyecekleri usul ve esaslar ise yönetmelikler ile düzenlenmektedir.

Üretim lisansı için öncelikle, EPDK tarafından ilgili tüzel kişiye tesisin kurulacağı alanın mülkiyet ve kullanım hakkını elde edebilmesi için ön lisans verilir. Lisansları kapsamında üretim faaliyeti yürütebilecek şirketler kamu ve özel sektör üretim şirketleri ve organize sanayi bölgesi (OSB) tüzel şirketleridir. Bu şirketler ürettikleri elektriği veya kapasitelerini tedarik şirketlerine, serbest tüketicilere ve/veya özel direk hat tesis ettiği kişilere satabilirler. Aynı şekilde bu kişilerden belirlenen oranlarda elektrik alımı da yapabilirler. Elektrik piyasasında iletim faaliyetlerini yürütmekle görevli şirket TEİAŞ'tır. İletim tesislerinin iletim-yatırım planının yapılması, uygun görülenler için tesislerin kurulması, sistemin işletilmesi, ilave kapasite yatırımlarının yapılması gibi görevlerden sorumludur. Ayrıca TEİAŞ, tarife teklifleri hazırlamak, şebeke dengeleme, uzlaştırma ve yan hizmet yönetmeliklerine uyulmasını incelemek, ilgili raporları hazırlamak ve gerekli tedbirleri almak ile yükümlüdür. Dengeleme güç piyasasının (DGP) işletilmesi, yük

dağılımı ve frekans kontrolünün yapılması, enterkoneksiyon çalışmalarının bakanlığın kararlarına göre gerçekleştirilmesi ve şebeke kullanıcılarına iletim ve bağlantı hizmeti sunulması yine bu kurumun görevleri arasındadır.

Dağıtım faaliyeti, aldıkları lisans kapsamında dağıtım şirketleri tarafından gerçekleştirilir. Her dağıtım şirketinin lisansında belirtilen bölgede yürütmekle sorumlu olduğu hizmetler vardır. Bu hizmetler arasında mülkiyeti dağıtım şirketlerine ait olmak üzere bölgelerindeki tüm sayaçların okunması, bakımı ve dağıtım sisteminin rekabet ortamına uygun şartlarda işletilmesini sağlamak gibi faaliyetler sayılabilir. Ayrıca dağıtım şirketi, dağıtım bölgesinde bulunan tesislerin yenilenmesinden, kapasite artırımına ilişkin yatırımların gerçekleştirilmesinden ve dağıtım hizmetini alan kullanıcıların sunulan hizmetten eşit şekilde yararlanmasını sağlamakla yükümlüdür. Bölgelerindeki taleplere ilişkin tahminlerin hazırlanarak ilgili kurumlara bildirilmesi yine dağıtım şirketleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Özelleştirme sonrası, talepler doğrultusunda dağıtım tesislerinde yapılan tüm iyileştirme ve genişletme yatırımlarının mülkiyet hakkı kamudadır. Dağıtım şirketlerinin sorumlu oldukları faaliyetler EDPK tarafından yönlendirilir ve denetlenir.

Toptan ve perakende satış işlemleri, belirlenen kanun ve düzenlemeler gözetilerek, özel ve kamu sektörü tedarik şirketleri veya üretim şirketleri aracılığıyla yürütülmektedir. Serbest tüketicilere yapılan satış faaliyetleri için bölge sınırlaması söz konusu değildir. Tedarik şirketlerinin serbest olmayan tüketicilere yapacağı elektrik enerjisi satışlarında kurulca belirlenen perakende satış tarifeleri kullanılır. Gerçek ve tüzel kişiler arasında kurul onayı gerekmeksizin gerçekleştirilen elektrik enerjisi ticareti ikili anlaşma olarak adlandırılır ve özel hukuk hükümlerine tabidir. Piyasa katılımcıları üretimlerinin ya da tüketimlerinin %85'lik kısmını uzun vadeli olması nedeniyle düşük riskli olarak gördükleri ikili anlaşmalar yoluyla karşılamaktadır. Piyasadaki katılımcılar ikili anlaşmaların yanında 2011'den itibaren Elektrik piyasası dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliğinin son aşaması olan Gün Öncesi Piyasası (GÖP) aşamasına geçiş yapmışlardır. GÖP işleyişine göre MYTM bir sonraki gün için yaptığı talep tahminini Piyasa Yönetim Sistemi'nde (PYS) yayınlar ve bu tahminleri değerlendiren piyasa katılımcıları kendi tahminleri ve planlarını da göz önünde bulundurarak saatlik olarak piyasaya teklif verirler. Verilen tekliflerin

oluşturulmasında, katılımcılar mevsim şartlarını, yağışları, barajların doluluk oranlarını ve sistem kısıtları gibi birçok etkeni göz önünde bulundurarak ertesi gün kendi üreteceği elektriğe hangi saatlerde ihtiyaç duyulabileceğini tahmin etmeyi hedefler. Böylece talebin arzdan yüksek olduğu saatlerde yükselen fiyatlara ve arzın talepten fazla olduğu için fiyatların düştüğü saatlere göre üretim planının oluşturulması sağlanır. Teklifler PYS'ye saat 02.30'a kadar katılımcılar tarafından girilmektedir. PYS verilen tüm teklifleri MYTM'nin tahmin ettiği açık kapatılıncaya kadar en düşük fiyat teklifinden başlayarak kabul eder. Kabul edilen son teklif, sistem marjinal fiyatı (SMF) olup kabul edilen tüm tekliflerin fiyatı haline gelir ve elektriğin o saatteki fiyatı olarak ilan edilir. Bunun dışında ayın son günü sayaçlardan üretim endekslerinin alınmasıyla sistem dengesizlik fiyatı (SDF) hesaplanır. SDF, santrallerin üretmeyi taahhüt ettikleri miktarların yerine getirilip getirememeleri ile oluşmakta ve tüm santralleri etkilemektedir.

Katılımcıların portföy oluşturarak piyasada işlem yapabilmeleri için öncelikle PMUM'a kayıtlı olmaları ve yaptıkları işlemler için belirlenen teminatları yatırmaları gerekmektedir. GÖP ve daha sonra geçilmesi planlanan Gün İçi Piyasasının (GİP) işletilmesinden ve uzlaştırılmasından elektrik piyasası kanununun ilgili maddesi ile kurulan EPIAŞ görevlendirilirken; Dengeleme güç piyasası (DGP) işlemlerini ise Milli Yük Tevzi Merkezi (MYTM) yürütülmektedir. Dengeleme işlemi, piyasa işletmecisi tarafından arz ve talebin dengede tutulması amacıyla yük alma ve yük atma tekliflerinin değerlendirilerek kabul edilen tekliflere göre üretimi artırma veya azaltma yoluyla piyasa dengesinin sağlanmasını ve ilgili mevzuatlara göre frekans ve talep kontrol hizmetlerinin yerine getirilmesi için gereken teknik ve idari işlemleri içermektedir [11; 12; 13; 20].

2.9 Doğalgaz ile Çalışan Kombine Çevrim Santralleri

Enerji santralleri, enerji üretmek için kullandıkları yakıtı göre çeşitli isimlerle anılırlar. Fosil yakıt tüketen santraller kendi içinde; katı yakıt tüketen, sıvı-gaz yakıt tüketen termik santraller ve nükleer enerji santralleri olarak ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji tüketen santraller ise; jeotermal, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve hidroelektrik santralleri olarak sınıflandırılmaktadır. Doğal gaz ile çalışan kombine çevrim santralleri bu sınıflandırma içerisinde fosil yakıt tüketerek elektrik üreten santraller kategorisinde yer almaktadır.

Gaz tribün çevrimi ve buhar çevriminin birlikte bir sistem oluşturması ile gaz tribününden çıkan yüksek ısıya sahip gazın buhar tribünlerine girerek enerji üretilmesi kombine çevrim sisteminin işleyişini oluşturmaktadır. Kombine çevrim santrallerinde genel olarak gaz santrallerinin tek başına ürettiği enerjinin dışında, atık ısı gazlarından elde edilen buhar ile üretilen elektrik sayesinde verim arttırılmaktadır. Kombine çevrim santrallerinin çalışma prensibini ayrıntılı olarak ifade edecek olursak; filtreden geçirilerek gaz tribününün kompresörüne giren atmosferdeki hava, burada sıkıştırıldıktan sonra yanma odasına iletilir. İletilen hava ile yanma odasında bulunan yakıt tepkimeye girerek yanar. Burada 1000-1100 °C dereceye ulaşan atık gazlar atık ısı kazanına iletilir, buhar çevrimiyle soğutulur ve atmosfere atılır. Atık ısı kazanlarında, genel olarak üç ayrı ısı eşanjör bölümü vardır. Tek basınç kademeli bir kazan-buhar türbini grubu için su/buhar çevriminde, su-kondensat ilk önce kazanın ekonomizer bölümüne girer ve doyma sıcaklığının çok az altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır, daha sonra evaporatör bölümünde buhar haline dönüşür. Bu doymuş buhar, kızdırıcı bölümünde tekrar ısıtılarak kızgın buhar olarak türbine verilir. Buhar, atık ısı kazanında üretildikten sonra türbinlere gönderilir. Türbin kademelerinde genişleyen buhar sayesinde termik enerji, mekanik enerjiye dönüştürülerek türbinin tahrik edilmesiyle tribüne bağlı jeneratörlerden elektrik enerjisi üretilmiş olur. Buhar türbinlerinden çıkan düşük basınç ve sıcaklıktaki buhar yoğunlaştırılarak su haline gelmesi için kondensere gönderilir. İçerisindeki yoğunlaşmamış gazların alınması için kondensat pompaları ile besleme suyu tanklarına (degazörlere) gönderilir. Böylece su-buhar kapalı çevrimini sağlamak amacıyla besleme suyu tankından, pompalar ile atık ısı kazanına geri gönderilen su, kazan- buhar türbini ve kondenser arasında dolaşmış olur. Kombine çevrimin en büyük avantajı, fosil yakıtlı santraller içinde en yüksek verime sahip olmasıdır. Genel olarak verim %61 civarındadır, ilerleyen teknolojilerle bu rakamın en fazla %65-66'ya çıkarılabilir hale gelmiştir. Kombine çevrim santrallerinde yalnızca elektrik üretimi yapılabildiği gibi, kojenerasyon uygulaması ile birlikte aynı zamanda ister kazandan isterse buhar türbinden alınacak ara buharın bölgesel ısıtmada ya da süreçte kullanılmasıyla santral, % 85-90 civarında bir ısıl verimlilik ile ve birleşik ısı-güç sistemi olarak da hizmet verebilir. Çevre koşulları da santralin verimliliği üzerinde önemli bir faktördür. Santralin tasarımında, santralin tam yük çalıştığı varsayımı altında genellikle çevre koşulları; 15°C çevre sıcaklığı, %60 bağıl nem ve 101.3kPa atmosfer

basıncı (ISO koşulları) olarak alınır. Santralin işletilmesinde ortam şartları değerlerinin, tasarımdakinden farklı olması santralin performansını olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmalara göre, santralin performansında basınç ve bağıl nem değişiminin etkisinin sıcaklığın etkisine göre ihmal edilebilecek düzeyde olduğu söylenebilir [27];[28].

Kombine çevrim santralleri verimli olmasının yanı sıra türbin brülörleri farklı yakıt türlerini yakacak şekilde tasarlanmasıyla da avantaj sağlamaktadır. Ambarlı kombine çevrim santrali doğal gazın yanı sıra fuel-oil kullanabilmesi dolayısıyla bu duruma örnek gösterilebilir. Kombine çevrim santralleri, diğer santrallerde kullanılan kazan-buhar tribün ünitelerine göre birim (kW) yatırım maliyetinin ve kullanılan yakıtın maliyetine göre değişkenlik göstermesine rağmen birim üretim maliyetinin düşük buna karşı toplam yatırımın geri ödeme süresinin çok kısa olması nedeniyle ekonomiktir ve tercih edilmektedir. Çevreye olan duyarlılığın artması ve zararlı madde emisyon limitlerinin yasal sınırlamalarla düşük seviyelere çekilmesi kombine çevrim teknolojilerine olan ilgiyi arttırmaktadır. Bütün bunların haricinde kombine çevrim santralleri, esnek işletme koşullarına uygun, çabuk devreye alınabilen, tam yük ve değişken yük durumlarına kolay adapte olabilen, hatta değişken yük durumlarında da yüksek verimle çalışma özelliklerine sahip santrallerdir. Kuruluş aşamasında santralin bütünü için ihtiyaç duyulan alan konvansiyonel termik santrallerden daha azdır. Örneğin kül stok sahası hariç santral ana yapıları, salt sahası ve kömür park sahası için 4x340 MW'lık Afşin-Elbistan santrali için yaklaşık 120 hektarlık alan kullanılırken, 3x450 MW'lık Ambarlı Kombine Çevrim Santralinin ana yapılar ve salt sahası yerleşim alanı, fuel-oil arıtma sistemi dahil yalnızca 23 hektardır.

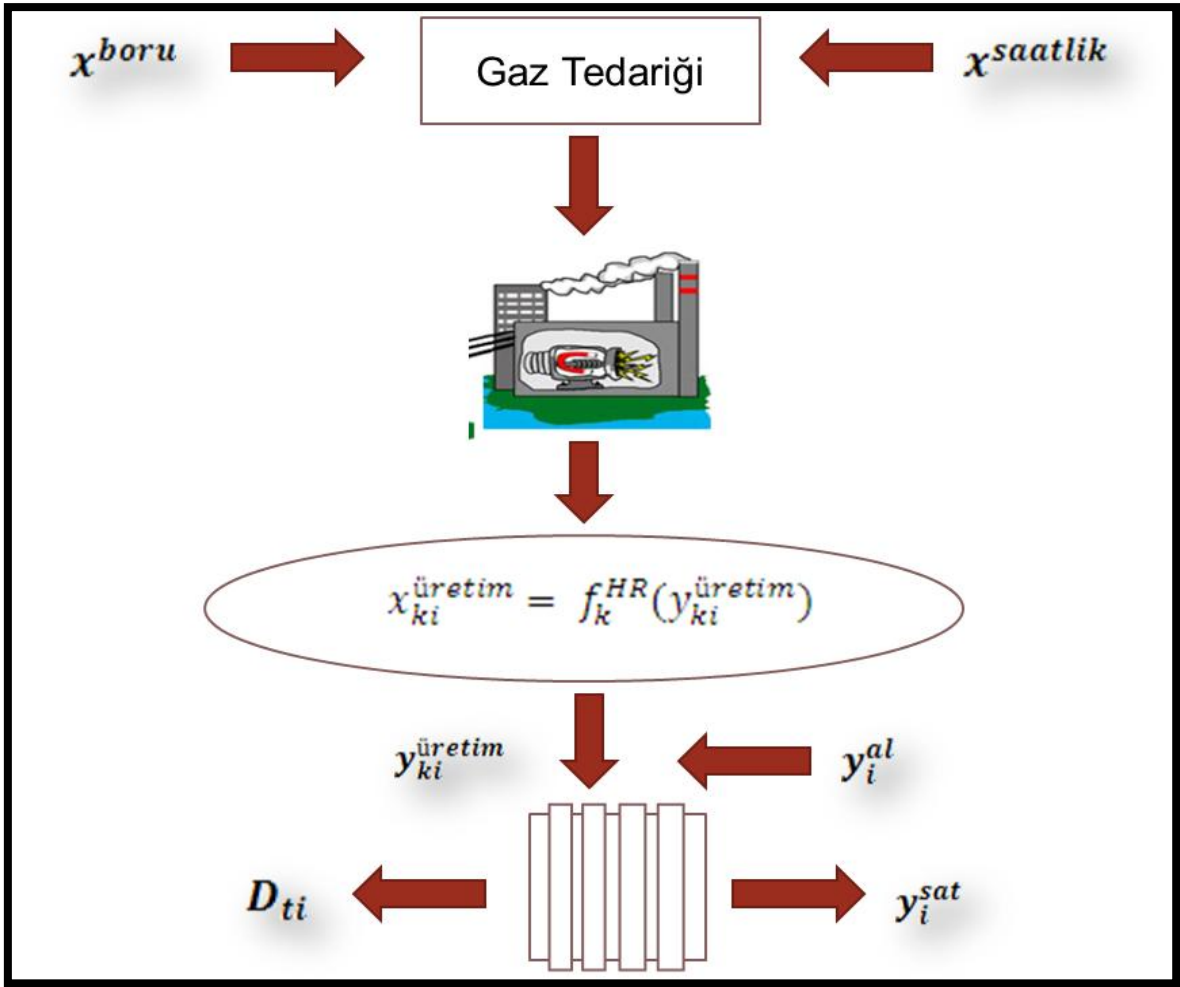
Tüm sayılan özellikleri ve getirdiği avantajlar dolayısıyla doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralleri günümüzde en çok tercih edilen fosil yakıtlı santraller arasında sayılmakta ve yeni kurulan santrallerin yanında bazı konvansiyonel termik santralleri de çeşitli uygulamalarla kombine çevrim haline dönüştürülmektedir [19; 29].

2.10 İkili Anlaşmalar

Elektrik piyasasında ikili anlaşmalar için farklı kaynaklar tarafından yapılmış tanımlamalar vardır. Enerji Piyasası Kanunu'nda (EPK), ikili anlaşmalar gerçek ve tüzel kişiler arasında özel hukuk hükümlerine tabi olarak, elektrik enerjisi ve/veya kapasitenin alınıp satılmasına dair yapılan ve Kurul onayına tabi olmayan ticarî anlaşmalar olarak tanımlanırken; Serbest Tüketici Yönetmeliği m.4/8'de ise kanun hükümlerine benzer şekilde gerçek veya tüzel kişiler ile lisans sahibi tüzel kişiler arasında ya da lisans sahibi tüzel kişilerin kendi aralarında özel hukuk hükümlerine tabi olarak elektrik enerjisi ve/veya kapasitenin alınıp satılmasına dair yapılan ve kurul onayına tabi olmayan ticarî anlaşmalar olarak tanımlanmaktadır. Doktrinde ise genel olarak elektrik tedarikine yönelik sözleşmeler olarak kabul edilmektedir [8]. Bütün bu tanımlamalardan yola çıkarak kısaca ikili anlaşmaları, özel hukuk şartlarına göre yapılan, emredici hükümler saklı kalmak koşuluyla sözleşme yükümlülükleri (anlaşmanın süresi, fiyatı, ödemelerin süresi ve anlaşmanın fesih durumları gibi) anlaşma taraflarınca serbestçe belirlenen ve taraflar arasında enerji alışverişini sağlayan sözleşmeler olarak tanımlayabiliriz. İkili anlaşma sonrası yapılan anlaşmanın tarafları ve enerji transferine konu edilen miktar TEİAŞ'ın bünyesindeki Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezine (PMUM) bildirilir. Bilgilendirme aşamasında, miktar bildirimini dışında fiyata ilişkin bilgiler, taraflarca saklı tutulabilir [9]. Özellikle EÜAŞ ve dağıtım şirketleri arasında yapılan ikili anlaşmalar, piyasada gerçekleştirilen toplam ikili anlaşmaların %80'nini oluşturmaktadır.

3 PROBLEM TANIMI VE FORMÜLASYONU

Yatırımcı bir firmanın enbüyük karı elde etmek amacıyla, portföyünde farklı sayıda, farklı kapasitelerde ve farklı maliyetlerle çalışan doğal gaz kombine çevrim santralleri ve bu santrallerde elektrik üretmek için bulunan jeneratörler ve bunların belirli bir talebi karşılayacak şekilde hangisinin hangi saate ne kadar çalışması gerektiğini ve/veya piyasadan ne zaman ve ne kadar elektrik enerjisi alınması gerektiğine ilişkin saatlik programı oluşturma problemini çözmek için önerilen model bu bölümde açıklanacaktır. Problemin çözümü için önerilen model de, bir gün için, her bir saat diliminde portföydeki santrallerin özellikleri ve firmanın daha önce yapmış olduğu ikili anlaşmaların özellikleri dikkate alınmıştır. Modelde kullanılan indis sayılarının artırılması ile model daha uzun vadeli hale kolaylıkla dönüştürülebilmektedir. Bölüm 3.1' de modelde kullanılan indisler, karar değişkenleri, parametreler ve birimleri tanımlanmıştır. Değişken tanımlamalarından sonra ise kısıtlar ve amaç fonksiyonu eşitlik şeklinde ifade edilmiş ve ayrıca açıklamaları da yapılarak bölüm sonlandırılmıştır. Bu tezde önerilen modelin daha rahat anlaşılabilmesi amacıyla ele alınan problemin akış diyagramı Şekil 3.1.'de verilmiştir. Akış diyagramı içinde; modelde kullanılan karar değişkenleri ile ifade edilecek şekilde sisteme girdi olarak verilen değişkenler ile sistemde işlem gördükten sonra sistemden çıktı olarak ayrılan değişkenler gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Modelin akış diyagramı

3.1 Önerilen Doğrusal Karar Modeli

Aşağıda, önce modelin indisler ve bağlı parametrelerle karar değişkenleri tanımlanmış daha sonra modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu verilmiştir.

3.1.1 İndisler

i : Saat dilimi, $i = 1, \dots, 24$

t : İkili anlaşma, $t = 1, \dots, T$

k : Jeneratör, $k = 1, \dots, K$

3.1.2 Karar değişkenleri

y_{ki}^{uretim} : k 'inci jeneratörde i 'inci saat üretilen enerji miktarı(MWh)

y_i^{sat} : i 'inci saat elektrik piyasasına satılan enerji miktarı (MWh)

y_i^{al} : i 'inci saat elektrik piyasasından satın alınan enerji miktarı (MWh)

x^{boru} : Boru hattından homojen çekilen saatlik baz doğal gaz tüketimi (MBtu)

$x^{saatlik}$: Saatlik doğal gaz alım miktarı (MBtu)

$x_{ki}^{üretim}$: Elektrik üretmek için k 'inci jeneratörün i 'inci saatinde kullanılan doğal gaz miktarı (MBtu)

$hareket_{ki} = \begin{cases} 1, & k'inci\ jeneratörün\ i'nci\ saatinde\ üretime\ başlandıysa \\ 0, & d. d. \end{cases}$

$z^{saatlik} = \begin{cases} 1, & saatlik\ gaz\ alımı\ yapılıyorsa \\ 0, & d. d. \end{cases}$

3.1.3 Parametreler

M : Yeterince büyük, pozitif bir sayı

saatLimit: Modelin çalıştırılacağı saatin üst limiti

p_i^{PTF} : i 'inci saat elektrik piyasa fiyatı (TL/MWh)

E_{ti} : t 'inci ikili anlaşmanın i 'inci saat elektrik fiyatı (TL/MWh)

D_{ti} : t 'inci ikili anlaşmanın i 'inci saat enerji miktarı (MWh)

$y_i^{alLimit}$: i 'inci saat elektrik piyasasından satın alınabilecek enerji miktarı üst limiti (MWh)

$y_i^{satLimit}$: i 'inci saat elektrik piyasasına satılabilecek enerji miktarı üst limiti (MWh)

$saatlik_i = \begin{cases} 1, & i'nci\ saatte\ saatlik\ doğal\ gaz\ alımı\ yapılmış\ ise \\ 0, & d. d. \end{cases}$

c_k^{opr} : k 'inci jeneratörü için işletme maliyeti (TL/MWh)

$c_k^{hareket}$: k 'inci jeneratörü harekete geçirme maliyeti (TL/MWh)

f_k^{HR} : k 'inci jeneratörün ısı katsayısı fonksiyonu (MBtu/MWh)

g^{boru} : Boru hattı doğal gaz fiyatı (TL/MBtu)

$g^{saatlik}$: saatlik alınan doğalgaz fiyatı (TL/MBtu)

$\overline{P_k^{üretim}}$: k'nci jeneratör kapasite üst limiti (MW)

$\underline{P_k^{üretim}}$: k'nci jeneratör kapasite alt limiti (MW)

$\overline{G^{boru}}$: Boru hattından saatlik çekilebilecek doğal gaz üst limiti (MBtu)

$\overline{G^{saatlik}}$: Saatlik doğal gaz alımı üst limiti (MBtu)

$\underline{G^{saatlik}}$: Saatlik doğal gaz alımı alt limiti (MBtu)

$\overline{r_k}$: k'nci jeneratörün üretimi arttırma faktörü

$\underline{r_k}$: k'nci jeneratörün üretimi azaltma faktörü

3.1.4 Kısıtlar ve amaç fonksiyonu

Firmanın ürettiği elektrik miktarı ile piyasadan satın aldığı elektrik miktarının toplamı, ikili anlaşmalarla sattığı elektrik miktarı ile piyasaya sattığı elektrik miktarının toplamı kadar olmalıdır. Bunu sağlamak için (3.1) numaralı kısıt modele eklenmiştir.

$$\sum_k y_{ki}^{üretim} + y_i^{al} = y_i^{sat} + \sum_t D_{ti} \quad \forall i \quad (3.1)$$

Firmanın piyasadan satın aldığı ve piyasaya sattığı elektrik miktarı piyasa şartlarına göre belli limitlerle sınırlanabilir. Bu sağlamak için (3.2) ve (3.3) numaralı kısıtlar modele eklenmiştir.

$$y_i^{al} \leq y_i^{alLimit} \quad \forall i \quad (3.2)$$

$$y_i^{sat} \leq y_i^{satLimit} \quad \forall i \quad (3.3)$$

Firmanın jeneratörleri harekete geçirmesi için katlanması gereken maliyeti modelleyebilmek için, duruştan üretime geçen jeneratörleri tespit eden (3.4), (3.5) ve (3.6) numaralı kısıtlar modele eklenmiştir.

$$y_{k1}^{üretim} \leq M \text{ hareket}_{k1} \quad \forall k \quad (3.4)$$

$$y_{ki}^{üretim} \leq M (1 - hareket_{k(i+1)}) \quad \forall k, i \quad (3.5)$$

$$y_{k(i+1)}^{üretim} - y_{ki}^{üretim} \leq M hareket_{k(i+1)} \quad \forall k, i \quad (3.6)$$

Firmanın boru hattından çektiği ve ihtiyaca göre saatlik olarak satın aldığı doğalgaz miktarının toplamı, elektrik üretmek için kullandığı doğalgaz miktarına eşit olmalıdır. Bunu sağlamak için (3.7) numaralı kısıt modele eklenmiştir.

$$x^{boru} + x^{saatlik} saatlik_i = \sum_k x_{ki}^{üretim} \quad \forall i \quad (3.7)$$

Birbirini takip eden iki saat için; yavaşlama durumunda sonraki saatte, üretim en fazla önceki saate göre üretim azaltma faktörü kadar azaltılabilir. Bunu sağlamak için (3.8) numaralı kısıt modele eklenmiştir.

$$\underline{r}_k y_{ki}^{üretim} \leq y_{k(i+1)}^{üretim} \quad \forall k \quad (3.8)$$

Harekete geçen jeneratör için birbirini takip eden saatlerdeki kapasite artışı ilgili jeneratörün üretim kapasitesinin %80 'den fazla olamaz. Devam eden üretimlerde de bir önceki saatlik üretim üretimi artırma faktörü kadar artırılabilir. Bu iki durumun sağlanması amacıyla modele (3.9) ve (3.10) kısıtları eklenmiştir.

$$y_{ki}^{üretim} \leq 0.80 \overline{P}_k^{üretim} + M (1 - hareket_{ki}) \quad \forall k \quad (3.9)$$

$$y_{k(i+1)}^{üretim} \leq \overline{r}_k y_{ki}^{üretim} + M hareket_{k(i+1)} \quad \forall k \quad (3.10)$$

Elektrik üretimi, her jeneratör için ayrı olmak üzere, ilgili jeneratörün kapasite alt ve üst limitleri arasında gerçekleşir. Bunu sağlamak için (3.11) numaralı kısıt modele eklenmiştir.

$$\underline{P}_k^{üretim} \leq y_{ki}^{üretim} \leq \overline{P}_k^{üretim} \quad \forall k, i \quad (3.11)$$

Elektrik üretimi için harcanan doğal gaz, ilgili jeneratörün ısı katsayısı fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. Bunu sağlamak için (3.12) numaralı kısıt modele eklenmiştir.

$$x_{ki}^{üretim} = f_k^{HR}(y_{ki}^{üretim}) \quad \forall k, i \quad (3.12)$$

Saatlik olarak satın alınan doğal gaz miktarı ve boru hattından saatlik çekilen doğal gaz miktarları, ilgili hatların limitleri ile sınırlıdır. Bunu sağlamak için (3.13) ve (3.14) numaralı kısıtlar modele eklenmiştir.

$$\underline{G^{saatlik}} z^{saatlik} \leq x^{saatlik} \leq \overline{G^{saatlik}} z^{saatlik} \quad (3.13)$$

$$x^{boru} \leq \overline{G^{boru}} \quad (3.14)$$

Modelin amaç fonksiyonunda firmanın portföyünde bulunan jeneratörlerden elde ettiği karın enbüyüklenmesi için tüm gelirlerinden tüm giderleri çıkarılmıştır. Gelir olarak firmanın piyasaya yaptığı satışlardan (ikili anlaşma ve spot piyasaya yapılan satışlar) elde ettiği gelirler; gider olarak ise firmanın elektrik üretmek için kullanması gereken doğal gazdan kaynaklanan hammadde maliyeti, her bir jeneratörün işletme ve harekete geçme maliyetleri dikkate alınmıştır. Oluşturulan amaç fonksiyonunun genel gösterimi (3.15) numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$\begin{aligned} \mathbf{En\ b\ Kar} = & \sum_i p_i^{PTF} (y_i^{sat} - y_i^{al}) - \sum_k c_k^{opr} y_{ki}^{üretim} - \text{saatLimit} g^{boru} x^{boru} \\ & - \sum_i \text{saatlik}_i g^{saatlik} x^{saatlik} \\ & + \sum_t \sum_i E_{ti} D_{ti} - \sum_k c_k^{hareket} \left[\sum_i \text{hareket}_{ki} \right] \end{aligned} \quad (3.15)$$

Yukarıdaki açıklama ve ilişkiler birlikte ele alındığında, önerilen doğrusal karar modeli;

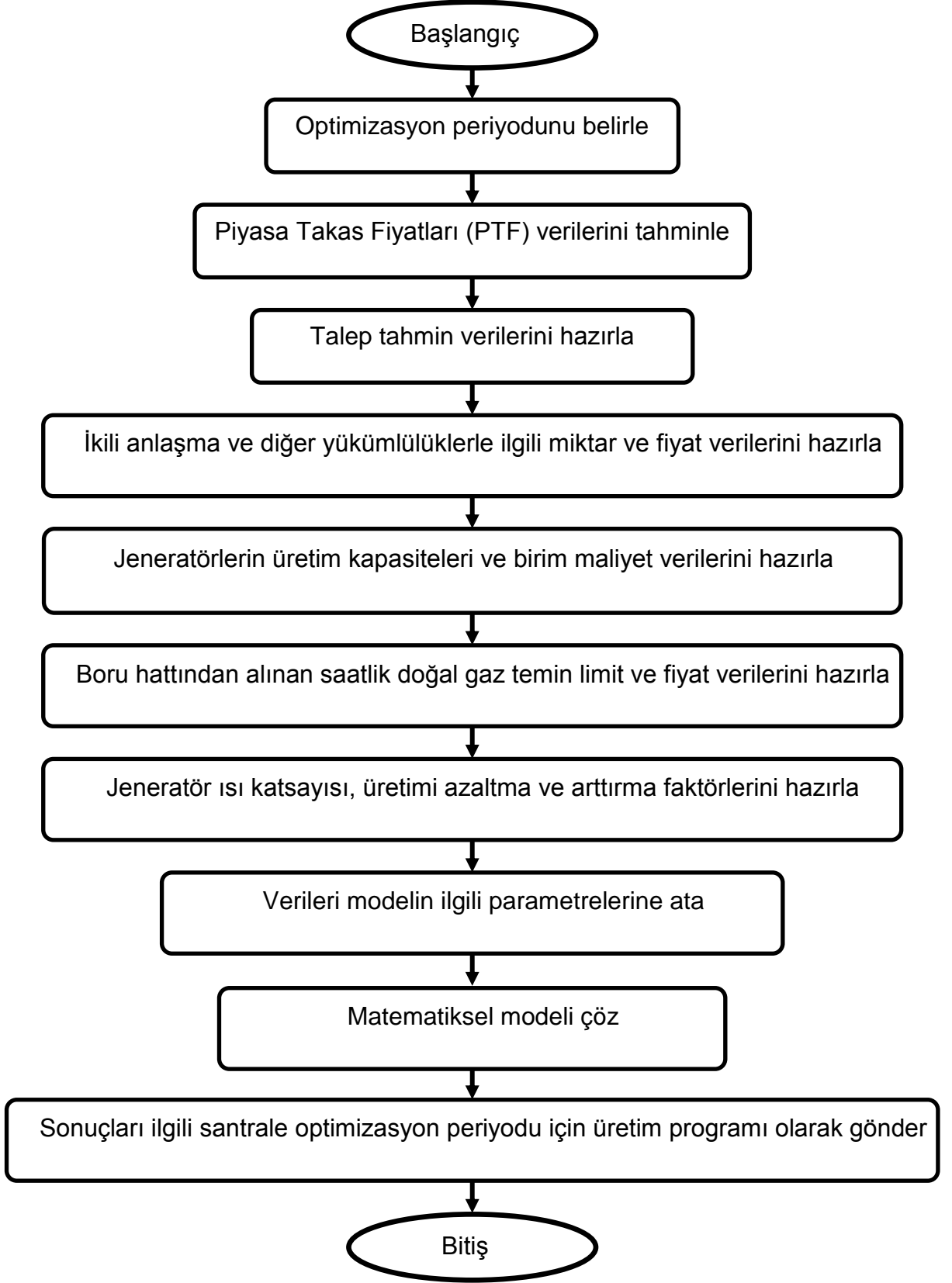
3.1 - 3.14 kısıtları altında Enb 3.15 şeklinde yazılır.

Bu modelde $ki + 1$ kadar $\{0,1\}$ tamsayı ve $2(ki + i + 2)$ kadar negatif olmayan karar değişkenleri ve $4(2ki + i - k + 1)$ kadar kısıt bulunmaktadır.

3.2 Model Çözümünde İzlenecek İşlemler

Portföyünde doğal gaz ile çalışan santraller ve bu santrallerde elektrik üretmek için kullandığı jeneratörler bulunan firma portföyündeki jeneratörlerin çalışmasını düzenlemek amacıyla bu modeli çalıştırarak problemin çözümünü elde edecektir. Firmanın daha önceden belirli saatlerde belirli fiyatlardan karşılması gereken ikili

anlaşmaları vardır. Firma ikili anlaşmalardaki talebi karşılamak amacıyla kendi kaynakları arasından hangi saatte hangi jeneratörü çalıştıracacağını ve bunun maliyetlerini dikkate alırken aynı zamanda oluşan piyasa fiyatına göre o saatte üretmesi mi yoksa piyasadan satın alması mı daha az maliyet getirdiğini hesaplayabilmektedir. Bu şekilde saatlik olarak ürettiği elektrik enerjisinin firmaya getirdiği operasyonel ve jeneratör bazında harekete geçirme maliyetleri ile elektrik üretimi için kullanması gereken doğal gazın maliyeti göz önünde bulundurulurken; firmanın elektriği üretmeyip piyasadan satın aldığı durumda satın alma maliyeti olarak ayrı bir maliyet kalemi oluşmaktadır. Aynı zamanda firmanın ikili anlaşmalarla elde edeceği gelir ile piyasaya satacağı elektrik enerjisinden elde edeceği gelir hesaplanmakta ve firma tüm gelir kaynakları ve gider kaynakları arasında optimal bir çözüm bularak karını enbüyüklemek amacıyla modeli çalıştırarak saatlik olarak üretmesi gereken miktarları jeneratör bazında görebilmekte ve üretim yapmadığı durumda piyasadan hangi saatte ne kadar elektrik enerjisi alması gerektiğini yine saatlik bazda görebilmektedir. Modelin çözümünde izlenecek adımları özetleyen akış diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Akış diyagramı

4 MODELİN UYGULAMASI

4.1 Problem Setleri

Bu problem için kurulan matematiksel modelin farklı büyüklükteki problem için çözümünün incelenmesi amacıyla test problemleri üretilmiştir. Bu amaçla modelin çözümü için küçük ölçekli portföye sahip firma (5 ve 10 jeneratörlü), orta ölçekli portföye sahip firma (15 ve 20 jeneratörlü) ve büyük ölçekli portföye sahip firma (40 ve 50 jeneratörlü) olmak üzere üç farklı ölçekteki firma için toplam altı farklı problem büyüklüğü dikkate alınmıştır. Her bir jeneratörün kapasitesi 50 – 500 MW aralığında, jeneratör ısı katsayıları 0.1464 – 0.2050 MBtu/MWh aralığında, jeneratörlerin operasyonel maliyetleri 75 – 90 TL/MWh aralığında ve jeneratörleri harekete geçirme maliyetleri ($c_k^{hareket}$) ise, deneme verileri oluşturmak maksadıyla jeneratörün saatlik yakıt maliyetinin 1/10'u olarak kabul edilmiş ve tüm değerler Microsoft Excell programında rassal olarak üretilmiştir. Girdi parametreleri için dikkate alınan aralık değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Problem deneme aralığı özet tablo

İlgili değer	Değer Aralığı
Jeneratör Kapasitesi	50- 500 MW
Jeneratör Isı Katsayısı	0.1464 – 0.2050 MBtu/MWh
Jeneratörün Operasyonel Maliyeti	75-90 TL / MWh
Jeneratörü harekete geçirme maliyeti	$c_k^{hareket} = (P_k^{üretim} \cdot f_k^{HR}) \left(\frac{g^{boru}}{10} \right)$

4.2 Piyasa Fiyat Tahmini

Modelde kullanılacak piyasa elektrik fiyatları geçmiş verilerden, 2014 yılının piyasa takas fiyatları kullanılarak tahmin edilmiş ve modele girdi olarak verilmiştir. Kullanılan yöntem ve oluşturulan tahmin için izlenen adımlar aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

- Öncelikle PMUM'dan 2014 yılının 12 ayı için piyasa takas fiyatları saatlik olarak alınmıştır. Fiyatların haftanın günlerine göre değişkenlik göstermesi nedeniyle alınan verilen haftanın günlerine denk gelecek şekilde yedi ayrı alt veri setine ayrıştırılmış ve tahmin modeli haftanın günleri için ayrı ayrı olacak şekilde düzenlenmiştir.
- Haftanın günlerine göre düzenlenen veri, öncelikle kurulacak tahmin modeli için aykırı değerlerden temizlenmiştir. Veri kümesinin uzağında bulunan gözlemler aykırı değer olarak ifade edilir. Bağımlı ya da bağımsız değişken değeri, gözlemin aykırı değer olarak kabul edilmesini etkileyen faktördür. Aykırı değer olan bir gözlem ya uç değerdir ya da etkili gözlemdir. Veri kümesinin uzağında olmasına rağmen tahmin değerlerini ve buna bağlı analizleri çok fazla etkilemeyen gözlem uç değer olarak tanımlanır. Etkili gözlem ise, uç değer gibi veri kümesinden uzakta olmasının yanı sıra tahminleri ve buna bağlı analiz değerlerini büyük ölçüde etkiler [28]. Bu çalışmada kullanılan veri kümesinin, aykırı değer içerip içermediğinin belirlenmesinde yöntem olarak istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan standartlaştırılmış artıklar yöntemi kullanılmıştır. Salı ve Cuma günlerinde herhangi bir aykırı değer olmadığı için veriler tahmin modelinde aynen kullanılmış geriye kalan günlerdeki aykırı değerler “Standartlaştırılmış Artıklar” (Standardized Residuals) yöntemine göre ayıklanmıştır.

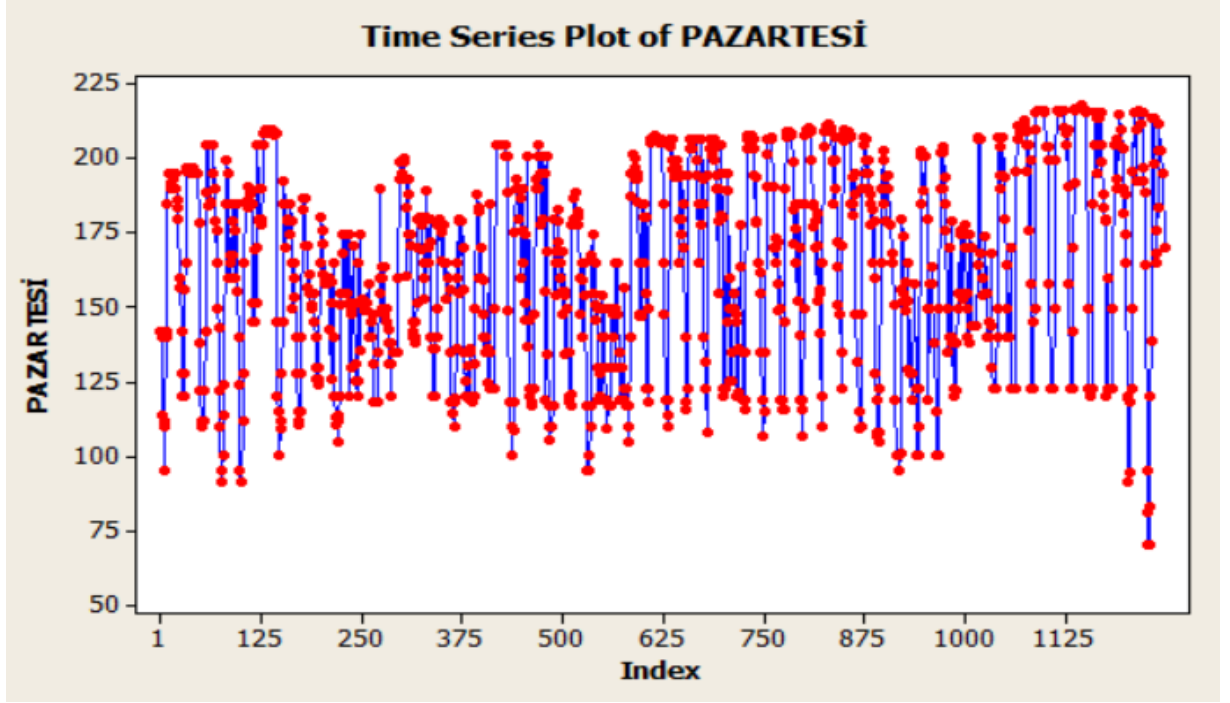
Buna göre i . standartlaştırılmış artık d_i olmak üzere, herhangi bir i için,

$$|d_i| > 3$$

olduğunda değer aykırı değer olarak kabul edilmekte ve veriden çıkarılmaktadır [6]. Bu çalışmada veri setlerindeki aykırı değerlerin tespit edilmesinde MINITAB 14 paket programı kullanılmıştır. Çıkarılan verinin yerine veri kaybı olmasını önlemek amacıyla bir önceki saat değeri yazılarak analizlere devam edilmiştir.

- İncelenen verinin zamana bağlı değişkenlik göstermesi nedeniyle tahmini değerlerin elde edilmesinde “Zaman Serileri Analizleri” kullanılmıştır. Bunun için öncelikle aykırı değerlerden temizlenen veri setinin hangi modele uygunluk göstereceğinin gözlenebilmesi için Zaman Serileri Grafikleri (Time Series Plot) çizilmiş ve daha sonra Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF) ve Parçalı Otokorelasyon Fonksiyonları (PACF) incelenmiştir. Pazartesi günü için çizdirilen Zaman Serisi

grafiği Şekil 4.1.'de verilmiştir. Çizdirilen grafiğe göre, Pazartesi günlerine ait 24 saatlik veri setinde trend olmadığı ancak mevsimselliklerin olduğu gözlenmektedir. Diğer günler için çizdirilen Zaman Serisi grafikleri Ek 3 olarak verilmiştir.



Şekil 4.1 Pazartesi günü zaman serisi grafiği

- Tahmin modeli için öncelikle ARIMA modelleri uygulanmış ancak Box-Pierce Q ve Ljung-Box istatistiğine göre modeller etkin bulunmamıştır.

H_0 : Model etkindir. ($\rho = 0$)

H_1 : Model etkin değildir. ($\rho \neq 0$)

$\alpha = 0.05$ alınırsa H_0 red edilemez olması için $\alpha > p$ olmalıdır. Ancak yapılan hesaplamalarda her gecikme değeri için tüm p değerlerinin $p < 0.05$ olduğu görülmüştür. Bu nedenle H_0 red edilmiş ve ARIMA modelleri çalışmada tahmin modeli olarak kullanılmamıştır.

Zaman serileri analizindeki veri analizini içeren yaklaşımlardan biri olan ve serideki her bir değeri etkileyen faktör bileşenlerini inceleyen bir yöntem olarak ifade edebileceğimiz Ayrıştırma (Decomposition) yöntemine göre bir seride trend (trend), çevrimsellik (cyclical), mevsimsellik (seasonal) ve düzensizlik (irregular) olmak üzere dört farklı bileşen vardır. Her bileşenin izdüşümlerinin birleşimiyle

zaman serisinin gelecek tahmini üretilir. Ayırıştırma yöntemi kısa ya da uzun vadeli tahminler için kullanılabilir. Zaman serisinin çevrimsel bileşeninin ilişkisini kurmak zor olduğu için verideki herhangi bir çevrimsellik durumu trendin bir parçası olarak varsayılır. Böylece başta dört bileşen olarak kabul edilen model trend, mevsimsellik ve düzensizlik olmak üzere üç bileşen olarak revize edilir [29]. Çalışmada kullanılan veriler için çizdirilen grafiklere göre serilerin bazılarında mevsimsellik; bazılarında ise trend ve mevsimsellik olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle ayırıştırma modellerine (Decomposition Models) göre tahminler yapılmıştır. Ayırıştırma modellerinde ise bileşenlerin toplamı olarak hesaplanan zaman serisi değeri Toplamsal bileşen modeli; bileşenlerin bir ürünü olarak hesaplanan değere ise Çarpımsal bileşen modeli denir [16].

Toplamsal bileşen modeli;

$$Y_t = T_t + S_t + I_t$$

ve Çarpımsal bileşen modeli;

$$Y_t = T_t \times S_t \times I_t$$

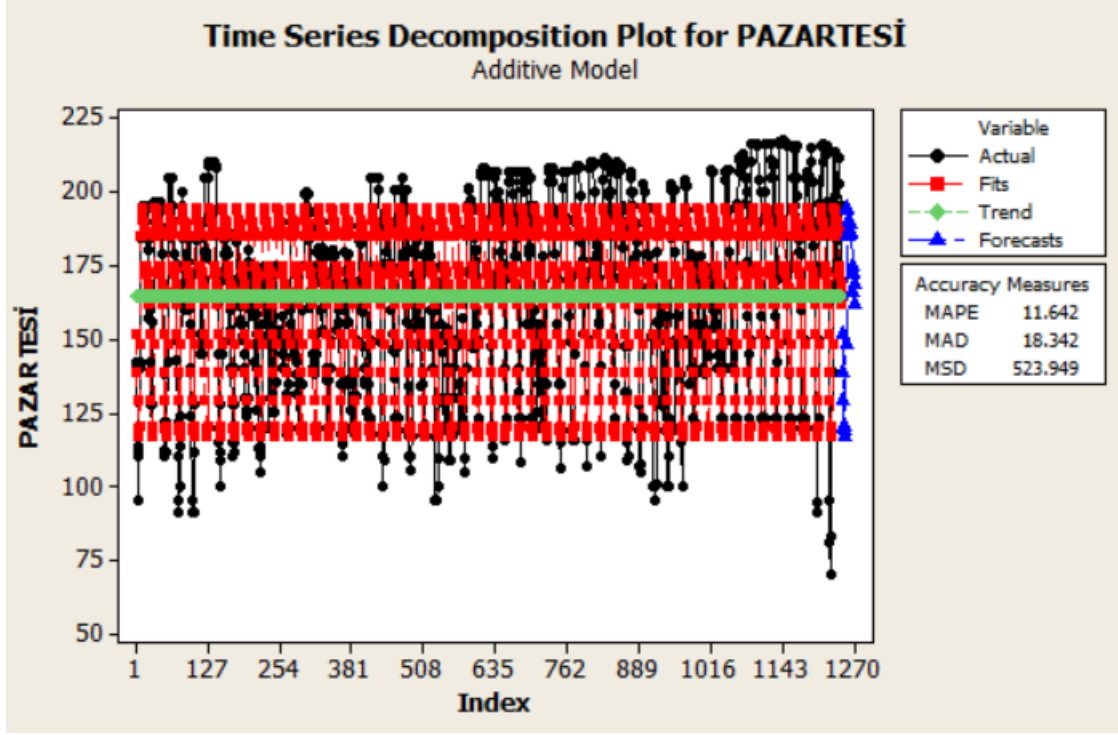
$$Y_t = \text{Zaman serisinin gözlem değeri}$$

$$T_t = \text{Trend}$$

$$S_t = \text{Mevsimsellik}$$

$$I_t = \text{Düzensizlik}$$

şeklinde gösterilir [16]. Tez çalışması kapsamında, Çarpımsal (Multiplicative) ve Toplamsal (Additive) bileşen modelleri ayrı ayrı denenmiş ve Ortalama mutlak hata yüzdesi (Mean Absolute Percentage Error, MAPE), Ortalama Mutlak Sapma (Mean Absolute Deviation, MAD) ve Hata Kareler Ortalaması (Mean Squared Error, MSE) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere göre incelenen Ayırıştırma modelleri arasından en küçük hata değerine sahip model olan Toplamsal bileşen modeli, tahmin modeli olarak seçilmiştir. Seçilen model için Pazartesi günü için yapılan tahmin modeli grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Pazartesi günü için yapılan tahmin modeli grafiği

4.3 Örnek Problem Çözümleri

Çözülen örnek problem setlerinden 5 ve 10 jeneratörlü problemlerin birer denemesinin problem verileri ve çözümleri bu bölümde sunulmuştur. Tüm problem verilerine ve her problem seti için birer örnek çözüme ise Ek 4 ve Ek 5'te yer verilmiştir.

4.3.1 Örnek problem P5.3 verileri ve çözümü

Örnek problem olarak 5 jeneratörlü problem setlerinden 3 nolu test problemi bu bölümde açıklanacaktır. Problemde 24 saatlik üretim programı eniyilenmektedir. Problem verileri Çizelge 4.2'de listelenmiştir.

Çizelge 4.2 Örnek problem P5.3 girdi parametre değerleri

Problem No P5.3	Jeneratör				
	1	2	3	4	5
Kapasite (MW)	165	227	393	272	282
Isı katsayısı (MBtu / MWh)	0.1493	0.1728	0.1728	0.1874	0.1464
Jeneratör bazında üretimi arttırma faktörü	1.5	1.2	1.7	1.3	1.6
Jeneratörü harekete geçirme maliyeti (TL)	2381	2832	4902	3128	4151
Jeneratör çalıştırma maliyeti (TL/MWh)	82	89	88	84	84

Çizelge 4.2 devam ediyor	
Boru hattından çekilen doğal gazın birim fiyatı (TL/MBtu)	21.5509
Saatlik çekilen doğal gazın birim fiyatı (TL/MBtu)	22.15709
Saatlik doğal gaz alımı alt limiti (MBtu)	10000
Saatlik doğal gaz alımı üst limiti (MBtu)	35000
Boru hattından saatlik çekilebilecek doğal gaz üst limiti (MBtu)	105000

Saat	Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)	Piyasadan alınacak elektrik enerjisi saatlik limiti (MWh)	İkili anlaşma elektrik satış fiyatı (TL/MWh)					İkili anlaşma ile satılan elektrik miktarı (MWh)				
			169	185	204	176	196	113	164	234	241	222
1	151.581	643.5	169	185	204	176	196	113	164	234	241	222
2	138.564	21	198	190	166	187	199	116	153	182	158	223
3	129.275	250.5	199	167	194	178	188	156	135	217	232	113
4	120.012	412.5	184	175	172	197	177	240	158	223	136	128
5	119.109	699	170	196	183	190	184	209	228	241	223	195
6	117.128	481.5	168	191	177	187	184	209	141	180	189	205
7	120.83	319.5	203	200	184	189	195	103	241	145	156	126
8	148.55	718.5	164	190	172	199	181	170	226	213	130	209
9	185.312	414	198	173	199	165	175	154	189	155	112	129
10	194.584	247.5	191	170	189	198	199	181	215	121	241	156
11	193.877	307.5	194	194	189	186	171	176	114	243	155	185
12	190.839	673.5	174	202	173	205	197	105	189	222	176	190
13	185.412	166.5	193	202	192	184	197	179	146	104	163	108
14	187.356	240	188	182	180	177	196	211	241	138	241	136
15	189.953	550.5	190	188	202	193	164	107	117	155	183	166
16	188.9	489	170	199	198	173	172	148	227	162	223	197
17	185.711	357	192	185	192	199	203	227	223	129	249	183
18	186.457	543	201	179	165	193	195	225	172	116	162	125
19	174.835	579	182	175	196	182	179	179	129	150	148	211
20	171.93	558	202	178	179	188	179	138	115	248	112	241
21	173.09	90	191	185	185	180	200	183	149	189	131	204
22	166.317	507	201	200	199	171	170	120	182	131	242	227
23	168.814	658.5	173	172	173	164	173	177	204	218	189	150
24	162.294	468	169	190	185	204	194	218	221	136	127	128

Çizelge 4.2'de verilen parametre değerlerine göre çözdürülen modelin model istatistikleri Çizelge 4.3 ve çözüm sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

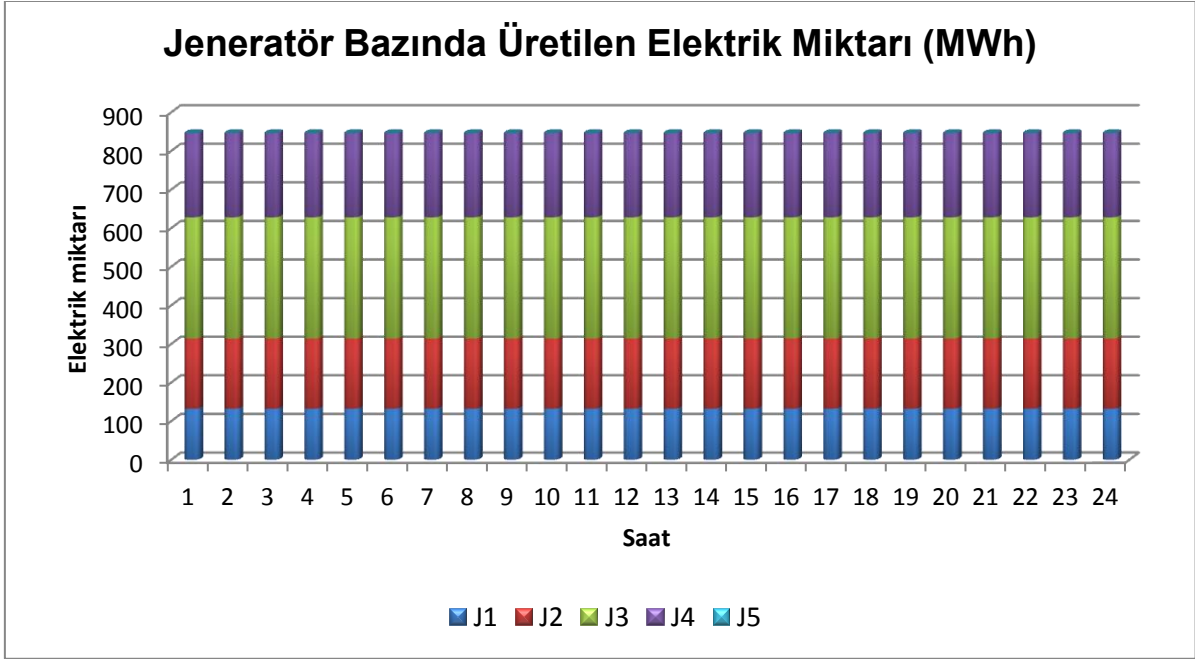
Çizelge 4.3 Örnek problem P5.3 için model istatistikleri

Kısıt Sayısı	Değişken sayısı		Sıfırdan Farklı katsayılar	İterasyon sayısı	Amaç Fonksiyonu Değeri(TL)	Çözüm Süresi(sn)
	Binary	Diğer				
1040	121	291	2295	107	1167036	0.03

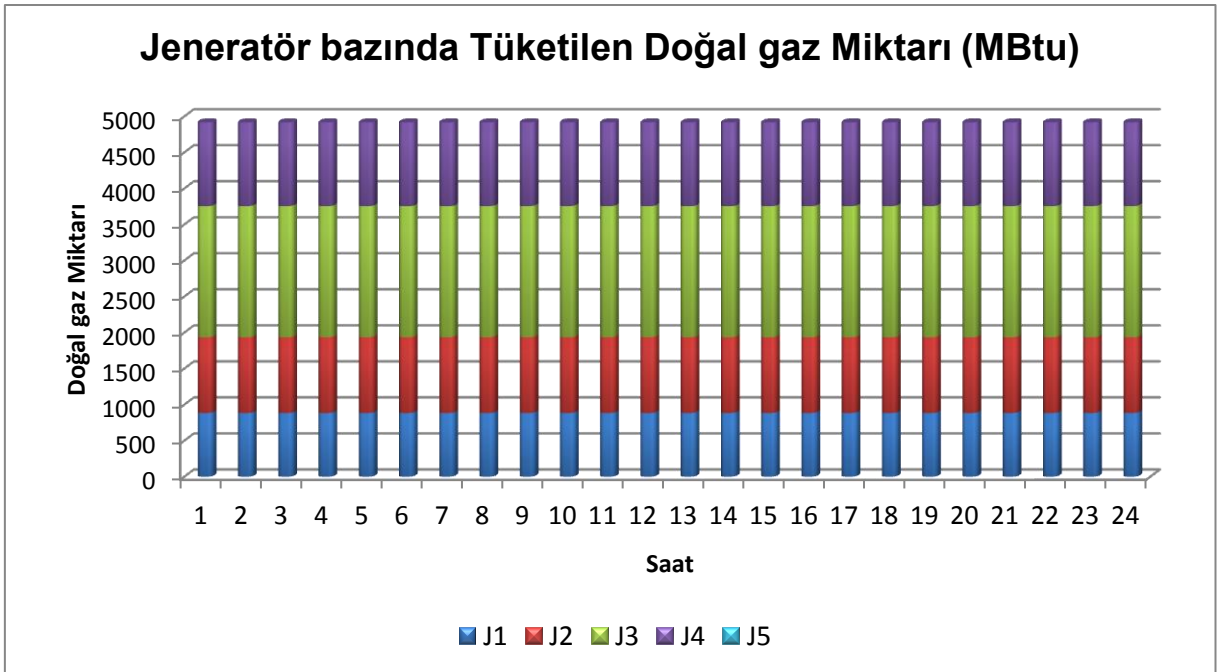
Çizelge 4.4 Örnek problem P5.3 için çözüm değerleri

Saat	Piyasaya satılan elektrik miktarı (MWh)	Piyasadan alınan elektrik miktarı (MWh)	Jeneratör					Jeneratör					Jeneratör				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
			Üretilen Elektrik Miktarı (MWh)					Tüketilen Doğal gaz Miktarı (MBtu)					Üretime başlama durumu				
1	0	128.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	1	1	1	1	0
2	13.6	0	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
3	0	7.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
4	0	39.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
5	0	250.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
6	0	78.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
7	74.6	0	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
8	0	102.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
9	106.6	0	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
10	0	68.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
11	0	27.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
12	0	36.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
13	145.6	0	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
14	0	121.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
15	117.6	0	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
16	0	111.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
17	0	165.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
18	45.6	0	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
19	28.6	0	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
20	0	8.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
21	0	10.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
22	0	56.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
23	0	92.4	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0
24	15.6	0	132	181.6	314.4	217.6	0	884.13	1050.9	1819.4	1161.2	0	0	0	0	0	0

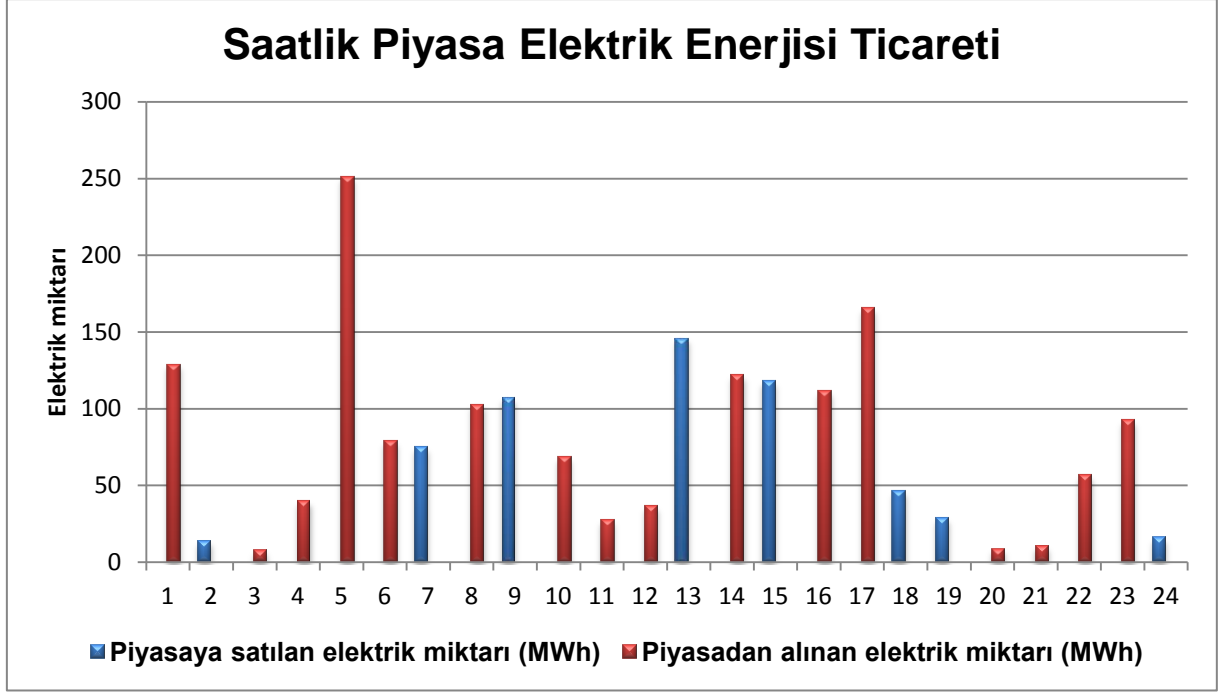
Çizelge 4.4'te örnek problemin çözümü sonucunda elde edilen karar değişkenleri ve buna bağlı üretim programı bilgileri gösterilmiştir. Çözdürülen örnek problem P5.3 için elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Jeneratör bazında üretilen elektrik miktarı



Şekil 4.4 Jeneratör bazında tüketilen doğal gaz miktarı



Şekil 4.5 Saatlik piyasa elektrik enerjisi ticareti

Modelin bu deneme seti için çözüm süresi Çizelge 4.3'te görüleceği gibi 0.03 sn olurken modelin belirlenen zaman dilimi olan 24 saat için yapılan optimizasyonundan 1,167,036 TL kar elde edilebilmektedir. Çizelge 4.4'teki çözüm tablosunda 5. jeneratör dışındaki tüm jeneratörlerde üretim yapıldığı ve üretilen elektrik enerjisi miktarlarının ise saatlik değişim grafiği Şekil 4.3' de verilmiştir. Şekil 4.4'de ise üretilen elektrik enerjisine göre jeneratörlerin tükettiği doğal gaz miktarı saatlik olarak görülmektedir. Üretimin yapılmadığı 5. jeneratörde herhangi bir tüketim olmamaktadır. Talebi karşılamak için üretim kapasitesinin yetmediği ya da piyasadan almanın ya da piyasaya enerji satmanın daha karlı olduğu saatler içinse piyasa ile enerji ticareti yapılmaktadır. Piyasa ile yapılan ticaretin saatlik grafiği ise Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

4.3.2 Örnek problem P10.8 verileri ve çözümü

Örnek problem olarak 10 jeneratörlü problem setlerinden 8 nolu test problemi bu bölümde açıklanacaktır. Problemden 24 saatlik üretim programı eniyilenmektedir. Problem verileri Çizelge 4.5'de listelenmiştir.

Çizelge 4.5 Örnek problem P10.8 girdi parametre değerleri

Saat	Piyasa Takas Fiyatı (TL/MWh)	Piyasadan alınacak elektrik enerjisi saatlik limiti (MWh)	İkili anlaşma elektrik satış fiyatı (TL/MWh)					İkili anlaşma ile satılan elektrik miktarı (MWh)				
			169	185	204	176	196	113	164	234	241	222
1	151.581	643.5	169	185	204	176	196	113	164	234	241	222
2	138.564	21	198	190	166	187	199	116	153	182	158	223
3	129.275	250.5	199	167	194	178	188	156	135	217	232	113
4	120.012	412.5	184	175	172	197	177	240	158	223	136	128
5	119.109	699	170	196	183	190	184	209	228	241	223	195
6	117.128	481.5	168	191	177	187	184	209	141	180	189	205
7	120.83	319.5	203	200	184	189	195	103	241	145	156	126
8	148.55	718.5	164	190	172	199	181	170	226	213	130	209
9	185.312	414	198	173	199	165	175	154	189	155	112	129
10	194.584	247.5	191	170	189	198	199	181	215	121	241	156
11	193.877	307.5	194	194	189	186	171	176	114	243	155	185
12	190.839	673.5	174	202	173	205	197	105	189	222	176	190
13	185.412	166.5	193	202	192	184	197	179	146	104	163	108
14	187.356	240	188	182	180	177	196	211	241	138	241	136
15	189.953	550.5	190	188	202	193	164	107	117	155	183	166
16	188.9	489	170	199	198	173	172	148	227	162	223	197
17	185.711	357	192	185	192	199	203	227	223	129	249	183
18	186.457	543	201	179	165	193	195	225	172	116	162	125
19	174.835	579	182	175	196	182	179	179	129	150	148	211
20	171.93	558	202	178	179	188	179	138	115	248	112	241
21	173.09	90	191	185	185	180	200	183	149	189	131	204
22	166.317	507	201	200	199	171	170	120	182	131	242	227
23	168.814	658.5	173	172	173	164	173	177	204	218	189	150
24	162.294	468	169	190	185	204	194	218	221	136	127	128

Problem No P10.8	Jeneratör									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapasite (MW)	449	119	386	495	323	71	77	82	397	455
Isı katsayısı (MBtu / MWh)	0.1669	0.1874	0.1962	0.1493	0.1581	0.1464	0.1845	0.1786	0.1610	0.1757
Jeneratör bazında üretimi artırma faktörü	1.5	1.2	1.7	1.3	1.6	1.5	1.2	1.7	1.3	1.6
Jeneratörü harekete geçirme maliyeti (TL)	5797	1368	4240	7143	4402	1045	900	989	5312	5581
Jeneratör çalıştırma maliyeti (TL/MWh)	81	75	89	75	75	76	90	75	82	86
Boru hattından çekilen doğal gazın birim fiyatı (TL/MBtu)	21.5509									
Saatlik çekilen doğal gazın birim fiyatı (TL/MBtu)	22.15709									

Çizelge 4.5 Devam ediyor	
Saatlik doğal gaz alımı alt limiti (MBtu)	10000
Saatlik doğal gaz alımı üst limiti (MBtu)	35000
Boru hattından saatlik çekilebilecek doğal gaz üst limiti (MBtu)	105000

Çizelge 4.5’de verilen parametre değerlerine göre çözdürülen modelin model istatistikleri Çizelge 4.6 ve çözüm sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Örnek problem P10.8 için model istatistikleri

Kısıt Sayısı	Değişken sayısı		Sıfırdan Farklı katsayılar	İterasyon sayısı	Amaç Fonksiyonu Değeri (TL)	Çözüm Süresi (sn)
	Binary	Diğer				
1980	241	532	4415	4756	1371379	0.47

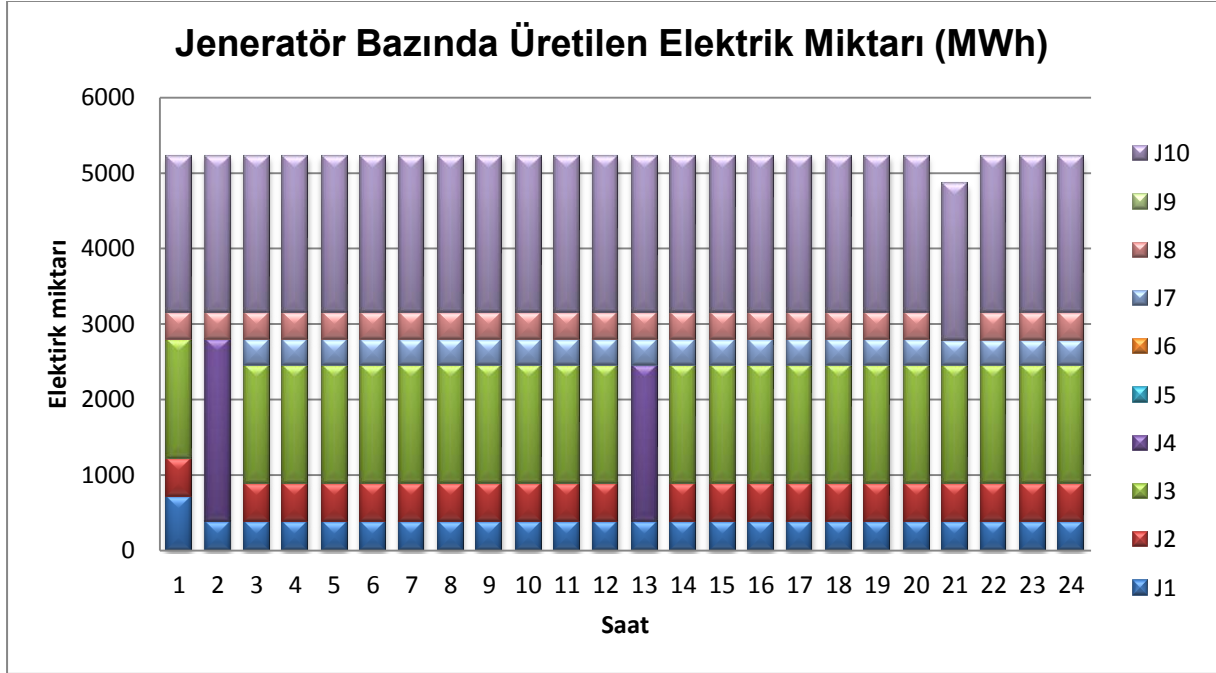
Çizelge 4.7 Örnek problem P10.8 için çözüm değerleri

Saat	Piyasaya satılan elektrik miktarı (MWh)	Piyasadan alınan elektrik miktarı (MWh)	Jeneratör									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Üretilen Elektrik Miktarı (MWh)									
1	0	21.953	118.45	95.2	308.8	0	0	0	0	65.6	0	364
2	21	0	62.723	0	0	360.68	0	0	0	65.6	0	364
3	104.92	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
4	72.923	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
5	0	138.08	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
6	33.923	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
7	186.92	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
8	9.9235	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
9	218.92	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
10	43.923	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
11	84.923	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
12	75.923	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
13	164.75	0	62.723	0	0	310.83	0	0	61.6	65.6	0	364
14	0	9.0765	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
15	229.92	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
16	0.92348	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
17	0	53.077	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
18	157.92	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
19	140.92	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
20	103.92	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0	61.6	65.6	0	364
21	90	0	62.723	95.2	308.8	0	0	54.143	61.13	0	0	364
22	55.827	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0.37	61.13	65.6	0	364
23	19.827	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0.37	61.13	65.6	0	364
24	127.83	0	62.723	95.2	308.8	0	0	0.37	61.13	65.6	0	364

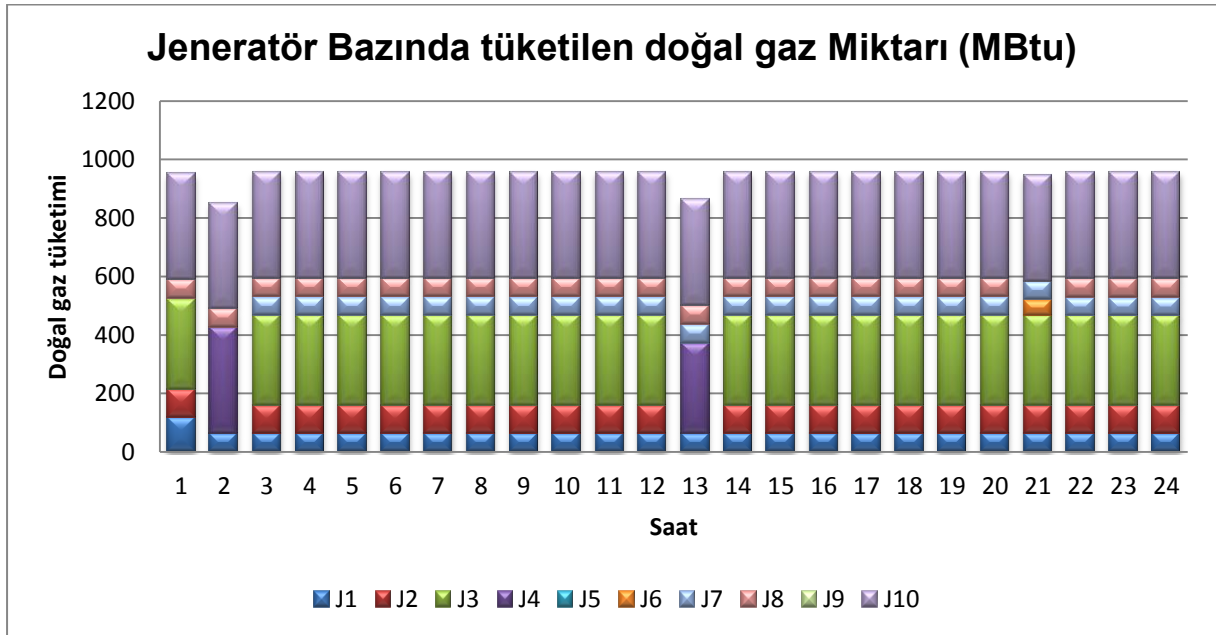
Çizelge 4.7 devam ediyor

Saat	Jeneratör										Jeneratör									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Tüketilen Doğal gaz Miktarı (MBtu)										Üretime başlama durumu									
1	709.69	508	1573.9	0	0	0	0	367.3	0	2071.7	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1
2	375.81	0	0	2415.8	0	0	0	367.3	0	2071.7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
4	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	375.81	0	0	2081.9	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
15	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	375.81	508	1573.9	0	0	0	333.88	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	375.81	508	1573.9	0	0	0	331.35	0	0	2071.7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
22	375.81	508	1573.9	0	0	0	331.35	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
23	375.81	508	1573.9	0	0	0	331.35	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	375.81	508	1573.9	0	0	0	331.35	367.3	0	2071.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

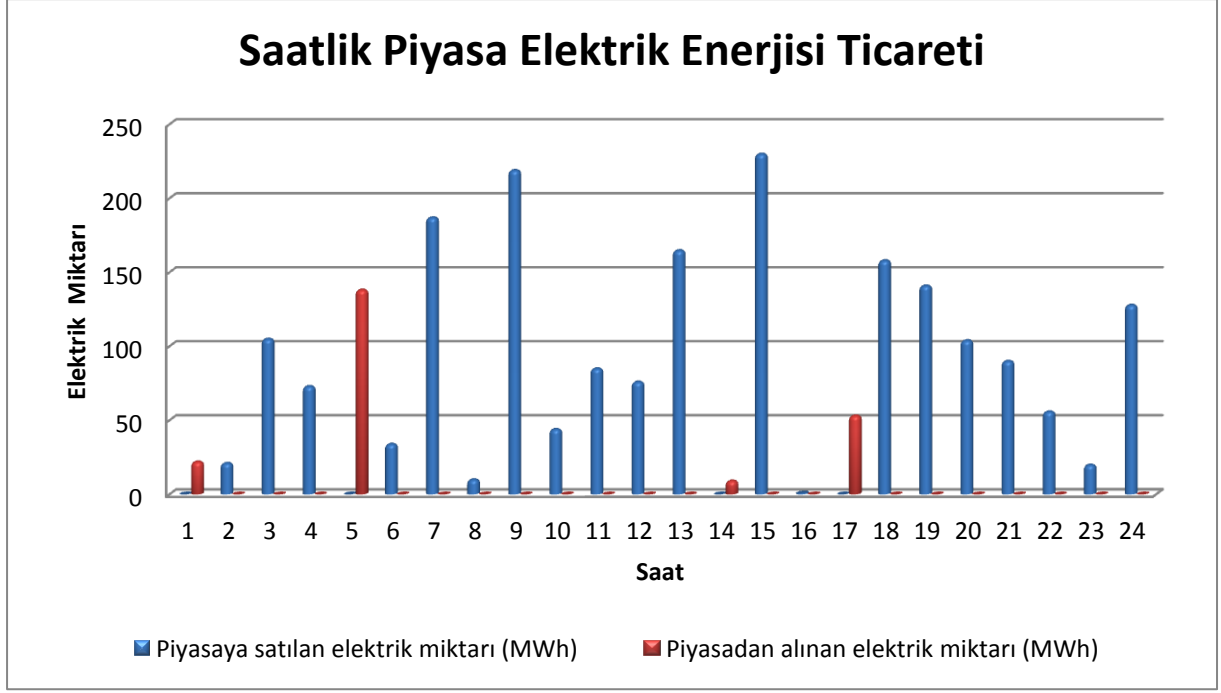
Çizelge 4.7’de örnek problemin çözümü sonucunda elde edilen karar değişkenleri ve buna bağlı üretim programı bilgileri gösterilmiştir. Çözdürülen örnek problem P10.8 için elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.6 Jeneratör bazında üretilen elektrik miktarı



Şekil 4.7 Jeneratör bazında tüketilen doğal gaz miktarı



Şekil 4.8 Saatlik piyasa elektrik enerjisi ticareti

Oluşturulan tüm veri setleri için çalıştırılan modelin çözüm süreleri ve diğer performans değerleri kaydedilmiştir. Jeneratör sayılarına göre ortalama çözüm süreleri ve diğer değerlere ilişkin tablolar Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Örnek problemlerin performans değerlendirmesi

Jeneratör sayısı	Çözüm süresi(sn)	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
5	0.04	0.029	0.763
10	0.41	0.140	0.343
15	1.98	1.478	0.745
20	6.08	4.086	0.672
40	260.65	536.73	2.06
50	241.90	396.67	1.64

Modelin çözümünde ikili anlaşma olarak 5 ayrı anlaşma olduğu varsayılmıştır. İkili anlaşmanın miktar ve fiyat değerleri ise geçmiş veriler havuzundan rassal olarak üretilmiştir. Toplam 60 test problemi IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.6.1 doğrusal programlama paket program ile Intel® Core™ i3-3217U CPU @ 1.80GHz, 4.00 GB Ram, 64-bit Operating System, x63-based processor özelliğe sahip bilgisayarda çözdürülerek ortalama çözüm süreleri ve çözüm zamanı standart sapmaları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi bu tezde ele alınan

problem için oluşturulan en büyük boyutlu problem bile 242 sn'de çözülebilmektedir.
Standart sapma ise problem boyutuna bağılı olarak artmaktadır.

5 SONUÇ

Türkiye’de enerji sektörü, 2001 yılından başlayan serbestleşme hareketleri, enerji piyasası rekabet çalışmaları, sektörün ve ekonominin gelişmesi, hızlı kentleşme ile artan talep ve getirdiği yatırım gereksinimleri nedeniyle önemli ve ilgi çekici bir sektör haline gelmiştir. Sektörde var olan elektrik üretim tesisleri için birçok farklı problem tanımlanabilir.

Bu tezde portföyünde bir veya birden fazla doğal gaz ile çalışan kombine çevrim santrali (DKÇS) bulunan firmalar için doğrusal bir karar modeli önerilmiştir. Önerilen karar modeli sayesinde santral, belirlenen zaman dilimi için, üretim planlamasını saatlik bazda yapabilecektir. Böylece piyasada oluşan fiyat farklılıklarını dikkate alan, katlanması gereken tüm operasyonel ve işletme maliyetlerini göz önünde bulunduran ve piyasada yer almasının getirdiği yükümlülüklerini yerine getiren firma; aynı zamanda karını enbüyükleyen, en iyi üretim, enerji satın alma ve enerji satış planını elde edebilecektir. Bu planlama aracılığıyla karar verici, hangi santaralin ve/veya jeneratörün hangi saatte ne kadar çalışması gerektiğini, çalıştırdığı jeneratörlerin portföye sağladığı kazancı ve portföyde yaratacağı maliyetleri, piyasada ne zaman ve ne kadar büyüklükte bir enerji ticaretini gerçekleştirmesi gerekeceğini görebilecektir.

Modelin çözümü için küçük ölçekli portföye sahip firma (5 ve 10 jeneratörlü), orta ölçekli portföye sahip firma (15 ve 20 jeneratörlü) ve büyük ölçekli portföye sahip firma (40 ve 50 jeneratörlü) olmak üzere değişik büyüklüklerdeki toplam altı farklı konfigürasyon için 10’ar adet test problemi oluşturulmuş ve bu çalışmada önerilen modellerle çözümler elde edilmiştir.

Problem karar değişkenlerinin artmasıyla daha uzun çözüm süreleri gerektiren ancak piyasa şartlarında orta ve büyük ölçekli firmaların ihtiyaçlarına kabul edilebilir sürelerde çözüm getiren bir model geliştirilmiştir. Saatlik değişkenlik gösteren Türkiye enerji piyasası şartlarında, günümüz teknolojileriyle gerçek zamanlı temin edilen tesis ve piyasa verilerini kullanarak geleceğe dönük tahminlerle birlikte analitik bir karar destek modeli olarak önemli bir ihtiyacı karşılayabilecektir. Özellikle enerji kaynağı olarak kullanılan doğal gazın ülkemize dövizle ithal edilen bir ürün olması dolayısıyla bu tip santrallerin işletmesinde verimlilik ve ekonomik eniyileme yapılabilmesi ülkemiz için büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Baillo A., Ventosa M., Rivier M., and Ramos A., "Optimal offering strategies for generation companies operating in electricity spot markets," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 2, pp. 745–753, 2004.
- [2] Bhattacharya A. and Kojima S., "Power sector investment risk and renewable energy: A Japanese case study using portfolio risk optimization method," *Energy Policy*, vol. 40, no. 1, pp. 69–80, 2012.
- [3] BOTAŞ Sektör Raporu, 2013.
- [4] BOTAŞ Faaliyet Raporu, 2013.
- [5] De Oliveira F. A., De Paiva A. P., Lima J. W. M., Balestrassi P. P., and Mendes R. R. A., "Portfolio optimization using Mixture Design of Experiments: Scheduling trades within electricity markets," *Energy Econ.*, vol. 33, no. 1, pp. 24–32, 2011.
- [6] Draper, N.R. and Smith, H. "Applied Regression Analysis", John Wiley and Sons, New York, 1966.
- [7] Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu, 2013.
- [8] Doğan Berk, B., "Elektrik Piyasası Mevzuatı: İkili Anlaşma İçerikleri ve Mücbir Sebep".
- [9] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Piyasası Uygulama El Kitabı, Eylül 2002.
- [10] Eichhorn A. and Rmisch W., "Mean-Risk Optimizatiom Models for Electricity Portfolio Management," *9th Int. Conf. Probabilistic Methods Appl. to Power Syst. KTH, Stock. Sweden*, p. 7, 2006.
- [11] Elektrik Piyasası Kanunu.
- [12] Elektrik Piyasası Sektör Raporu, 2011.
- [13] Elektrik Piyasası Piyasa Gelişim Raporu, 2013.
- [14] EPDK Faaliyet Raporu, 2013.
- [15] EÜAŞ Elektrik Üretim Sektör Raporu, 2013.
- [16] Hanke John E., Reitsch Arthur G., Business Forecasting, 9th Edition.
- [17] Jirutitijaroen P., Kim S., Kittithreerapronchai O., and Prina J., "An optimization model for natural gas supply portfolios of a power generation company," *Appl. Energy*, vol. 107, pp. 1–9, 2013.
- [18] Oil&Gas Security Emergency Response of IEA Countries Turkey, 2013.

- [19] Özgürel B., Egeli S., “Doğalgaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri,” *Tesisat Mühendisliği*, 32-45, İstanbul, 1996.
- [20] Pehlivan Türk E., “Elektrik Piyasası Nasıl Çalışır?,” *www.elektrikport.com*, 2012.
- [21] Rauch J. N., “Price and Risk Reduction Opportunities in the New England Electricity Generation Portfolio,” *Electr. J.*, vol. 27, no. 8, pp. 27–36, 2014.
- [22] Salmani M. A., Tafreshi S. M. M., and Salmani H., “Operation optimization for a virtual power plant,” *1st IEEE-PES/IAS Conf. Sustain. Altern. Energy, SAE 2009 - Proc.*, pp. 1–6, 2009.
- [23] Shakouri H., Eghlimi M., and Manzoor D., “Economically optimized electricity trade modeling: Iran-Turkey case,” *Energy Policy*, vol. 37, pp. 472–483, 2009.
- [24] Türkiye Petrolleri Ham Petrol ve Doğal gaz Sektör Raporu, 2014.
- [25] TETAŞ Sektör Raporu, 2013.
- [26] Türkiye Elektrik İletimi Sektör Raporu, 2013.
- [27] Ünver Ü., “Doğalgaz Çevrim Santralinin Meteorolojik Şartlara Bağlı Olarak Termodinamik Analizi,” *Doktora Tezi*, Bursa 165 s, 2004.
- [28] Ünver Ü., M. Kılıç, “Çevre Sıcaklığının Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Performansına Etkisi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 10, Sayı 1, s.49-58, 2005.
- [29] Ünver, Ü., Kılıç, M., “Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Termodinamik Analizi”, *Mühendis ve Makine* , 46(545), 47-56, 2005.
- [30] Vale Z., Pinto T., Praça I., and Morais H., “MASCEM: Electricity markets simulation with strategic agents,” *IEEE Intell. Syst.*, vol. 26, no. April, pp. 9–17, 2011.
- [31] Ventosa M., Baíllo Á., Ramos A., and Rivier M., “Electricity market modeling trends,” *Energy Policy*, vol. 33, pp. 897–913, 2005.

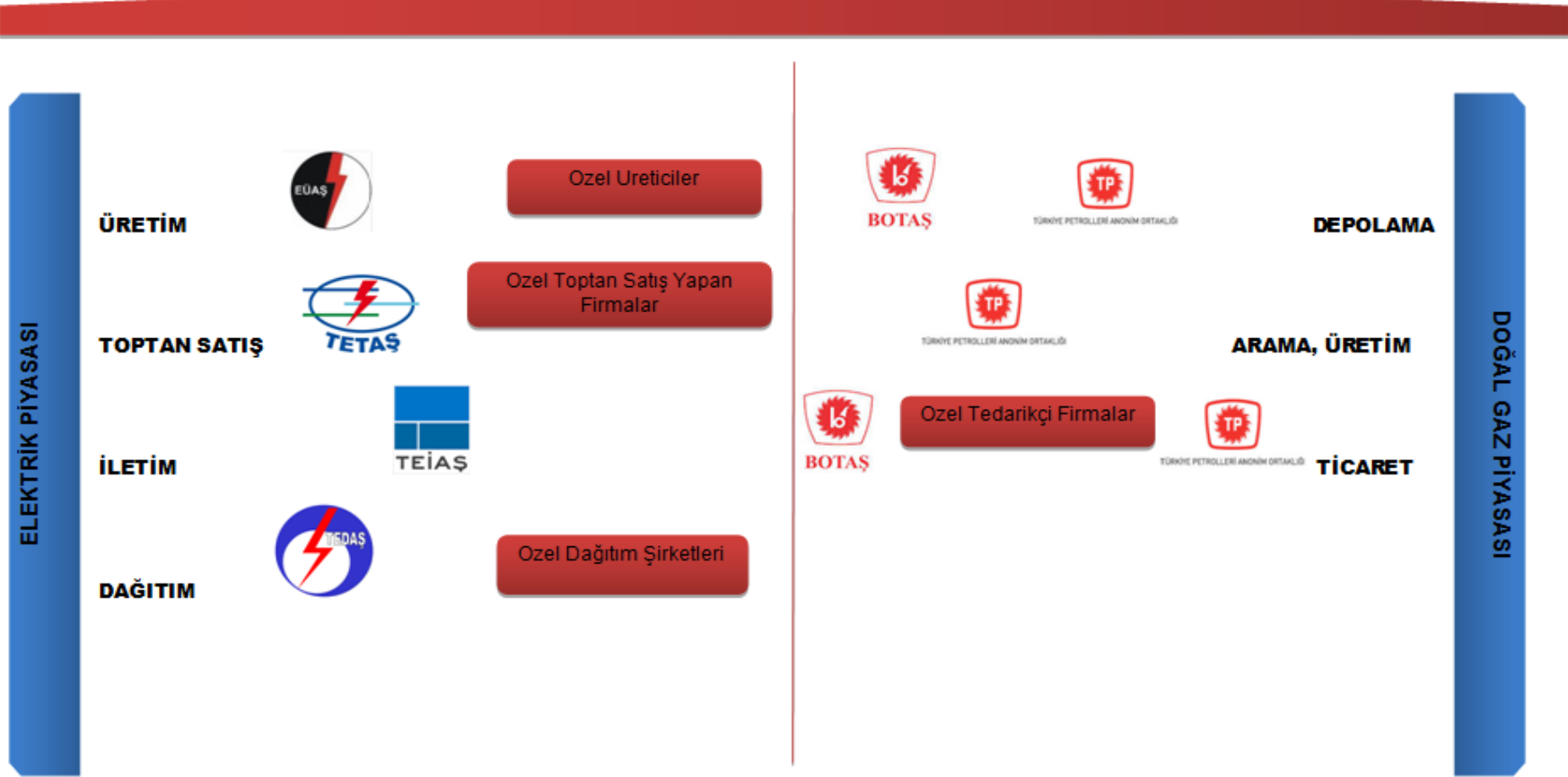
EKLER LİSTESİ

Ek 1 Elektrik ve doğal gaz piyasası ile ilgili kurumlar ve görevleri	54
Ek 2 Elektrik ve doğal gaz piyasaları için kilometre taşları	55
Ek 3 Zaman serisi grafikleri	56
Ek 4 Örnek problem Setleri	62
Ek 5 Örnek problem CPLEX Çıktıları	73

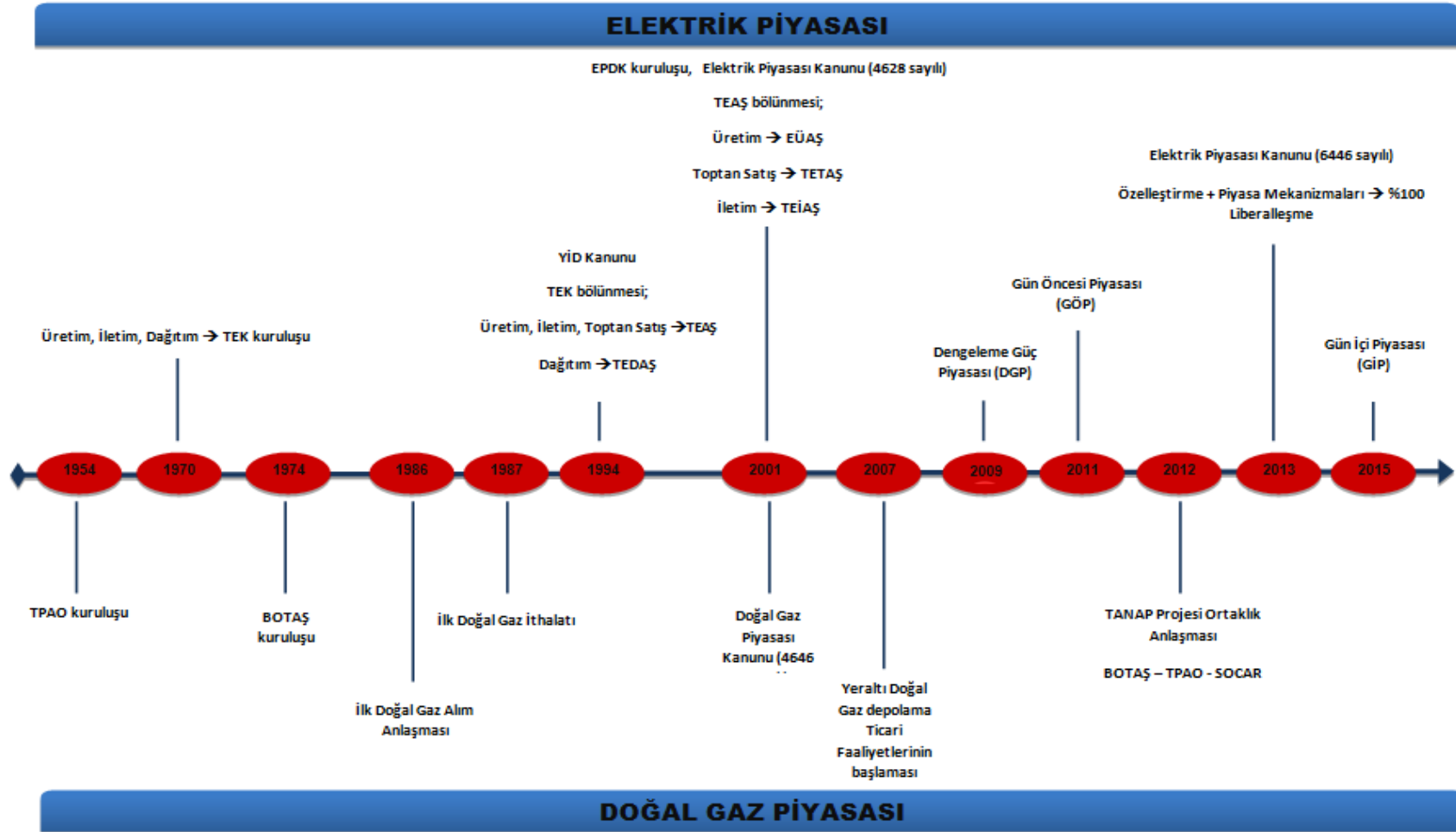
Ek 1 Elektrik ve Doğal gaz Piyasası ile ilgili Kurumlar ve Görevleri



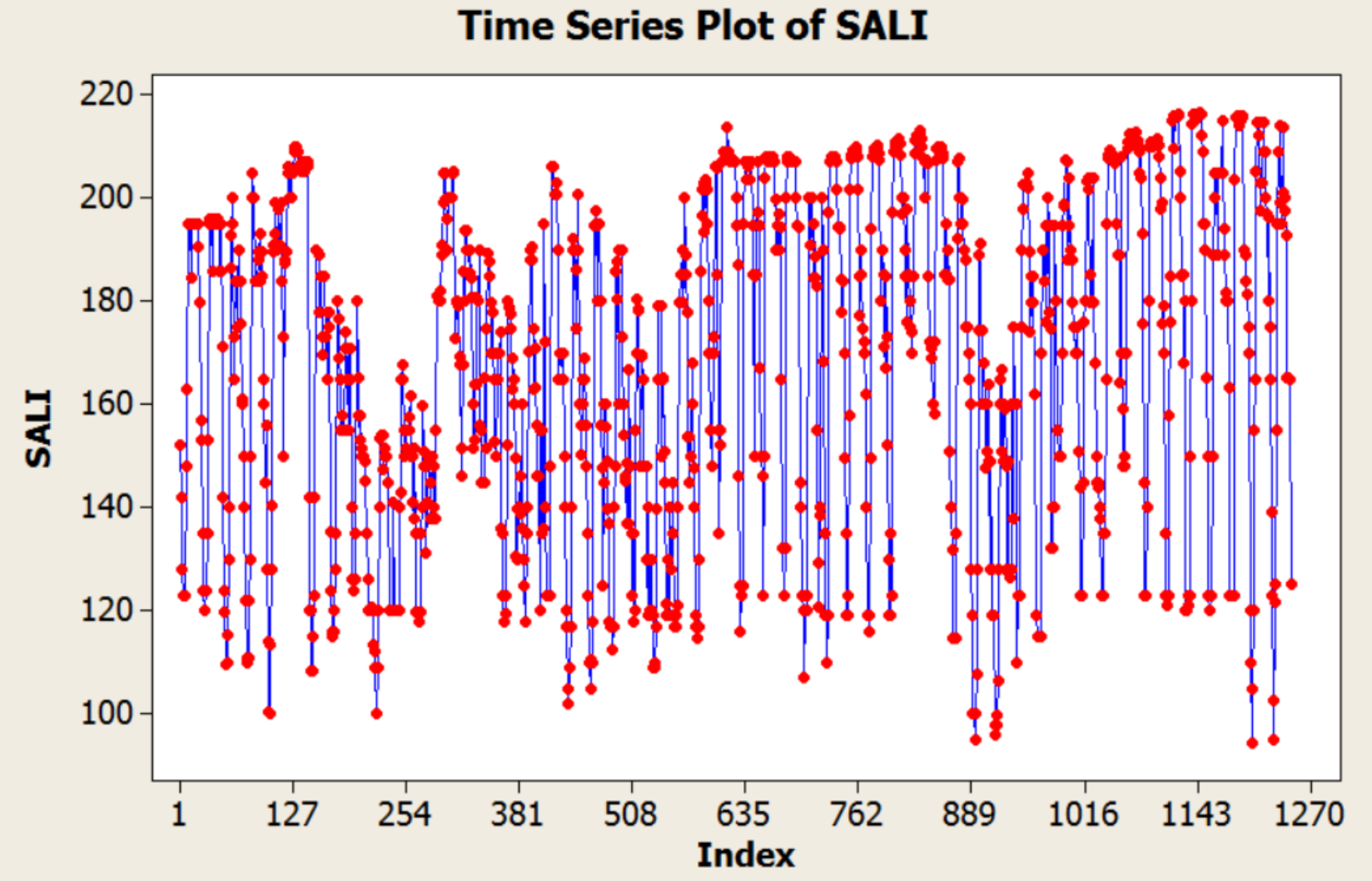
DÜZENLEME VE DENETLEME



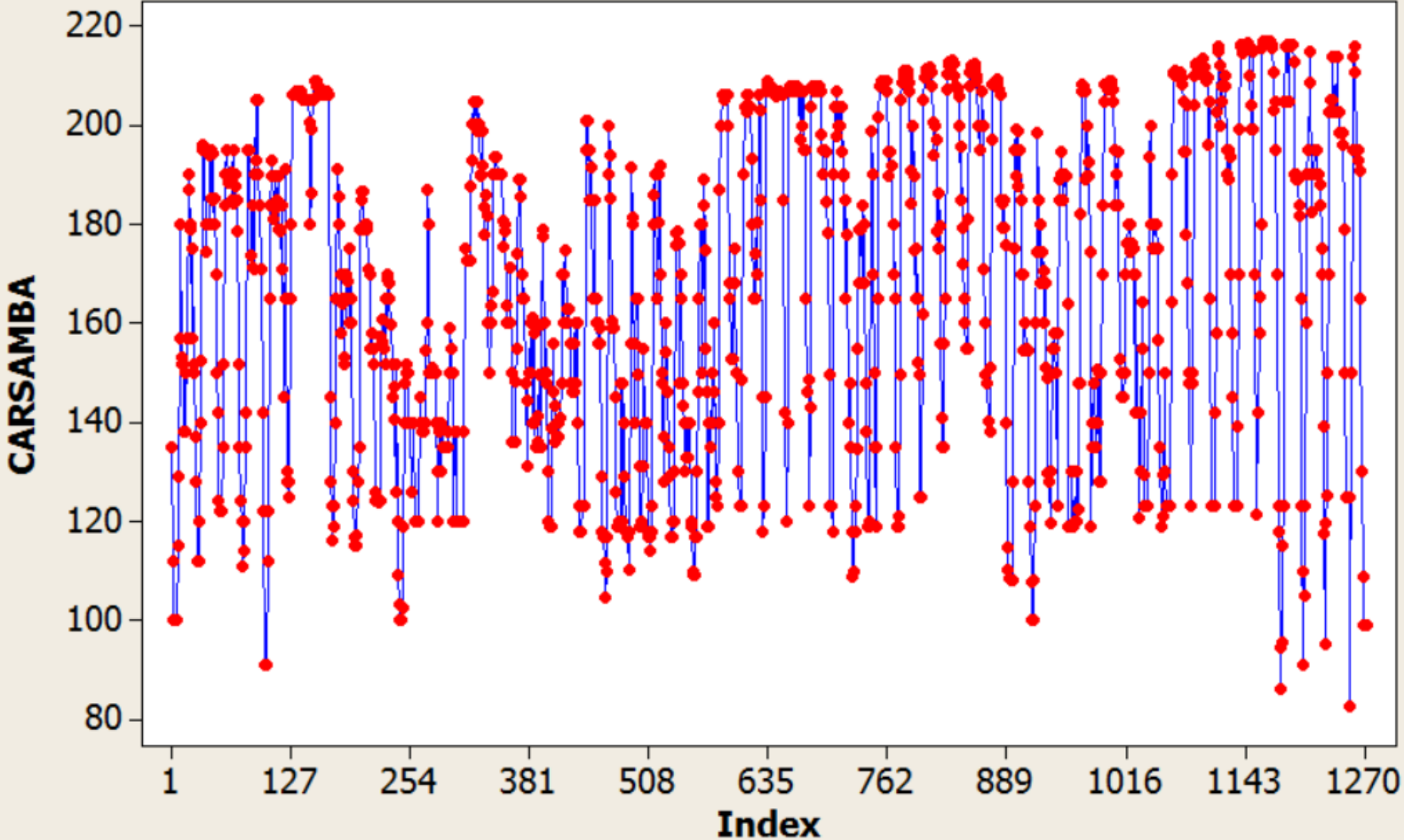
Ek 2 Elektrik ve Doğal Piyasaları için Kilometre taşları

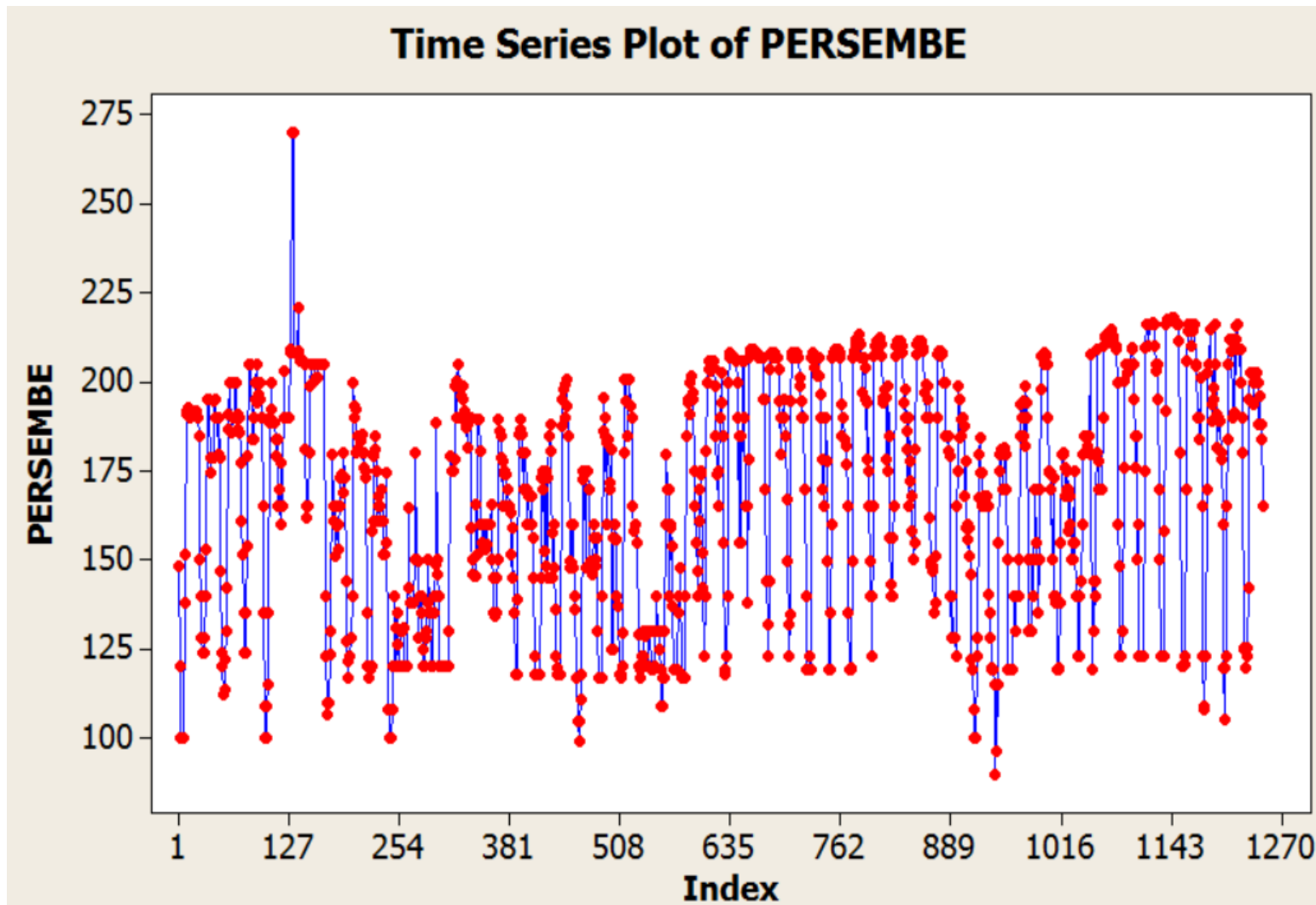


Ek 3 - Zaman Serisi Grafikleri

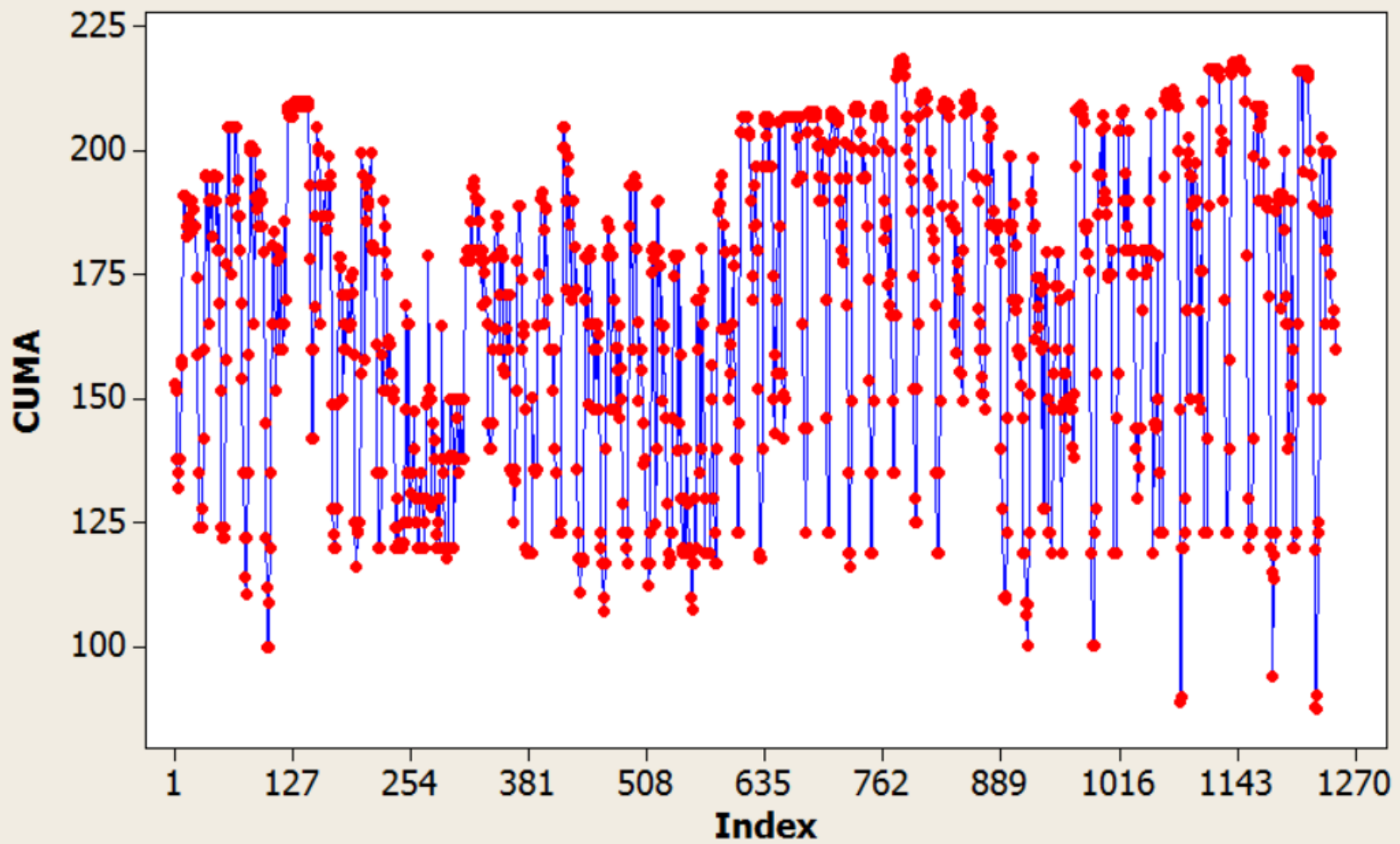


Time Series Plot of CARSAMBA

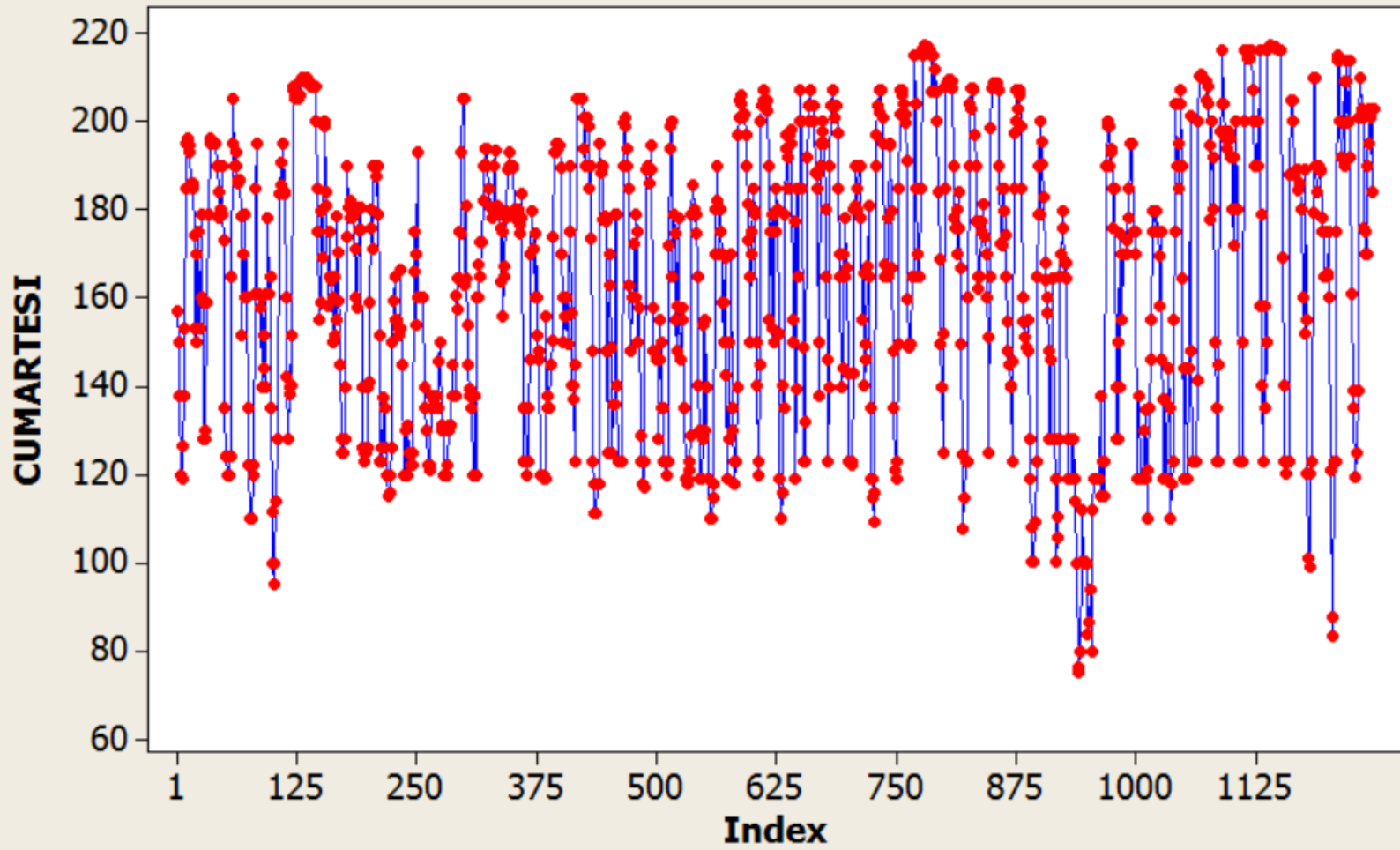


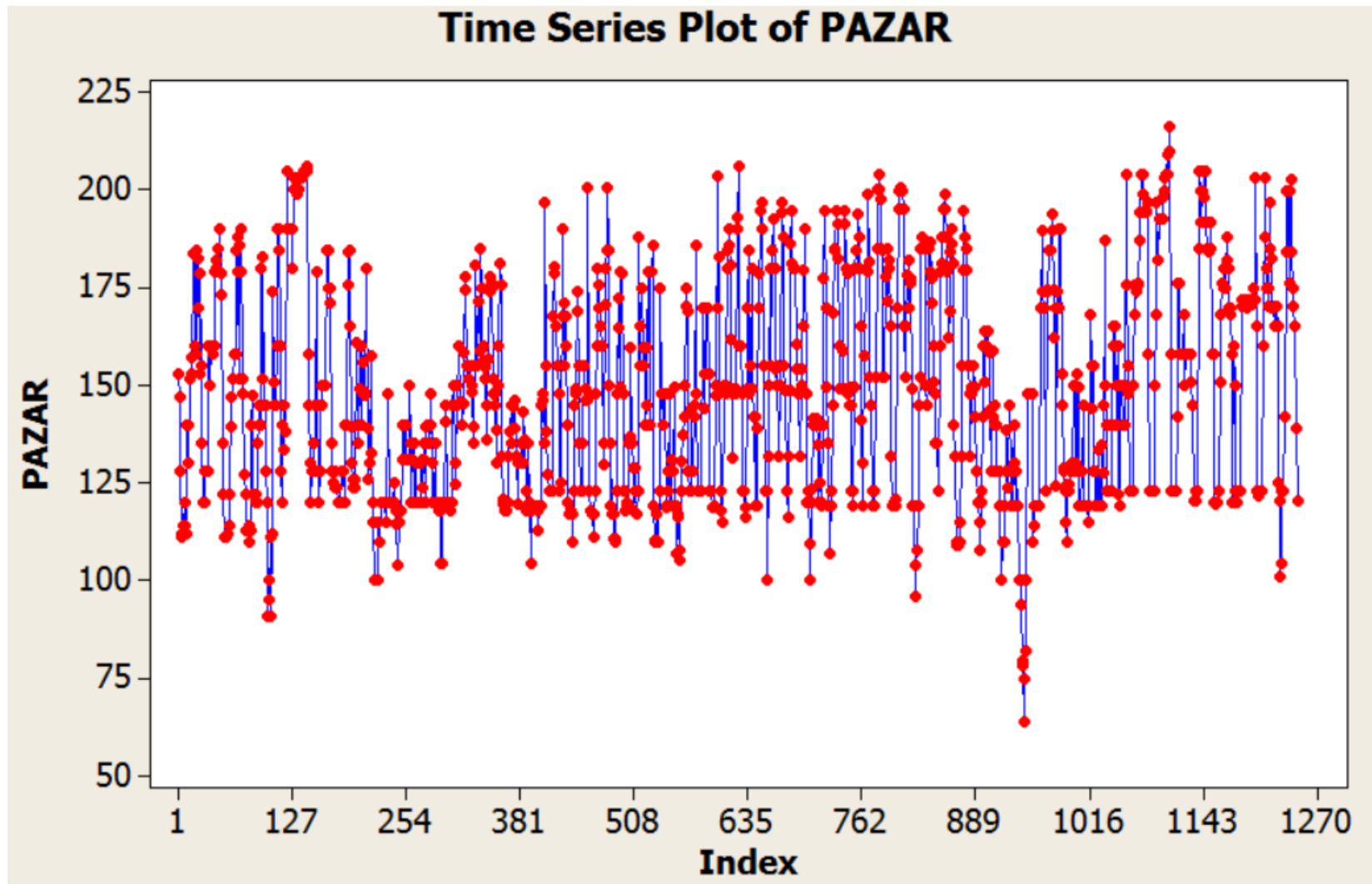


Time Series Plot of CUMA



Time Series Plot of CUMARTESI





Ek 4. Örnek Problem Setleri

Problem No	Jeneratör					Jeneratör					Jeneratör					Çözüm zamanı	Toplam Kar
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
	Kapasite					Isı katsayısı					c_hareket						
P5.1	53	235	95	149	485	0.1581	0.1464	0.1845	0.1581	0.1815	722	3459	1110	2031	5757	0.00	1075081.50
P5.2	329	402	121	102	212	0.1991	0.1728	0.1815	0.1933	0.1610	3561	5015	1436	1137	2837	0.05	1312578.26
P5.3	165	227	393	272	282	0.1493	0.1728	0.1728	0.1874	0.1464	2381	2832	4902	3128	4151	0.03	1167036.03
P5.4	342	279	186	159	63	0.1815	0.1552	0.1464	0.1523	0.1815	4060	3874	2738	2250	748	0.02	998386.82
P5.5	196	187	341	374	111	0.1874	0.1464	0.1581	0.1962	0.1933	2254	2753	4648	4108	1238	0.03	1260670.00
P5.6	93	412	341	424	326	0.1757	0.1933	0.2020	0.1991	0.1757	1141	4594	3637	4589	3999	0.11	1532512.28
P5.7	260	133	363	133	195	0.2050	0.2050	0.1669	0.1815	0.1669	2734	1398	4687	1579	2518	0.03	1303303.49
P5.8	72	395	397	141	265	0.1874	0.1757	0.1552	0.1874	0.1845	828	4845	5513	1621	3096	0.03	1227591.46
P5.9	64	179	243	483	470	0.1903	0.1962	0.1552	0.1581	0.1698	725	1966	3374	6583	5964	0.03	1153563.46
P5.10	420	302	308	235	354	0.1523	0.1991	0.1552	0.1640	0.1845	5944	3269	4277	3089	4136	0.05	1255047.31
c_opr	82	89	88	84	84										ORTALAMA	0.04	1228577.06

Problem No	Jeneratör										Jeneratör									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Kapasite										Isı katsayısı									
P10.1	295	415	435	77	390	427	479	364	373	57	0.2050	0.1874	0.1698	0.2020	0.1815	0.1874	0.1610	0.1552	0.2050	0.1874
P10.2	472	154	369	52	211	130	459	195	259	323	0.1903	0.1640	0.1757	0.1610	0.2050	0.1523	0.1728	0.1669	0.1757	0.1903
P10.3	267	50	297	79	489	499	370	103	343	160	0.1845	0.1757	0.1903	0.1728	0.1845	0.1874	0.1581	0.1845	0.1786	0.1757
P10.4	333	117	89	274	274	343	123	168	195	125	0.1493	0.1815	0.1552	0.1669	0.1640	0.1815	0.1874	0.1669	0.1874	0.1669
P10.5	292	478	304	279	197	127	74	156	75	316	0.1991	0.1698	0.1669	0.1845	0.1523	0.1552	0.1640	0.1581	0.2020	0.1698
P10.6	93	157	431	231	151	379	196	54	408	239	0.1464	0.1815	0.1786	0.1581	0.1786	0.1874	0.1903	0.1610	0.1464	0.1581
P10.7	399	485	474	356	306	157	126	76	465	326	0.2020	0.1669	0.1610	0.1640	0.1903	0.1728	0.1991	0.2020	0.1552	0.1874
P10.8	449	119	386	495	323	71	77	82	397	455	0.1669	0.1874	0.1962	0.1493	0.1581	0.1464	0.1845	0.1786	0.1610	0.1757
P10.9	216	292	148	87	140	78	436	64	424	484	0.1757	0.2050	0.1903	0.1728	0.1728	0.1552	0.1464	0.1933	0.1640	0.1493
P10.10	457	355	388	485	246	232	72	74	278	274	0.1874	0.1845	0.1786	0.1523	0.1523	0.2050	0.1523	0.1757	0.1991	0.1669
c_opr	81	75	89	75	75	76	90	75	82	86										

Problem No	Jeneratör										Çözüm zamanı	Toplam Kar
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	c_hareket											
P10.1	3102	4772	5520	821	4630	4910	6410	5055	3922	655	0.45	1595462.75
P10.2	5344	2024	4526	696	2218	1840	5726	2518	3177	3657	0.22	1473261.13
P10.3	3119	613	3363	985	5713	5738	5043	1203	4138	1963	0.38	1418089.03
P10.4	4806	1389	1236	3538	3601	4072	1414	2169	2242	1614	0.44	1291154.53
P10.5	3160	6066	3925	3259	2788	1764	973	2126	800	4010	0.38	1355198.42
P10.6	1369	1864	5200	3148	1822	4358	2219	723	6006	3257	0.36	1384867.05
P10.7	4256	6262	6343	4679	3465	1958	1364	811	6457	3749	0.69	1546575.18
P10.8	5797	1368	4240	7143	4402	1045	900	989	5312	5581	0.47	1371379.50
P10.9	2650	3070	1676	1085	1746	1083	6418	714	5572	6985	0.20	1357253.13
P10.10	5255	4147	4681	6864	3482	2439	1019	908	3009	3538	0.50	1525676.06
ORTALAMA											0.41	1431891.68

Problem No	Jeneratör														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Kapasite														
P15.1	101	365	299	104	459	144	143	347	396	245	474	187	358	305	171
P15.2	182	81	295	142	132	274	374	117	296	360	110	249	158	391	405
P15.3	150	438	304	214	433	381	147	109	405	315	160	444	290	50	74
P15.4	59	487	495	422	282	364	128	478	55	284	235	326	192	356	379
P15.5	247	297	276	486	380	257	389	366	433	169	90	350	55	201	402
P15.6	257	489	118	362	92	91	109	463	433	121	285	322	202	85	261
P15.7	159	406	475	166	373	300	284	116	500	277	311	109	365	358	221
P15.8	443	373	209	289	252	87	480	349	371	360	375	355	435	82	70
P15.9	365	301	202	230	460	116	107	436	230	403	494	145	406	157	121
P15.10	92	142	437	398	276	421	310	202	430	451	249	489	452	75	274
c_opr	78	75	87	85	86	75	81	90	84	81	90	89	85	89	85

Problem No	Jeneratör														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Isı katsayısı														
P15.1	0.1523	0.1728	0.1757	0.1991	0.2050	0.1962	0.1581	0.1903	0.1493	0.1874	0.2050	0.1493	0.1698	0.1698	0.1757
P15.2	0.1815	0.1991	0.1757	0.1464	0.1610	0.1523	0.1464	0.1493	0.1464	0.1698	0.1581	0.1493	0.1493	0.2020	0.1991
P15.3	0.1523	0.1523	0.1757	0.1552	0.1669	0.1669	0.1933	0.2020	0.1728	0.1874	0.1991	0.1991	0.1757	0.1815	0.1493
P15.4	0.1933	0.1815	0.1523	0.1552	0.2020	0.1493	0.1786	0.1581	0.1728	0.1933	0.1903	0.1903	0.1903	0.1640	0.1757
P15.5	0.1493	0.1874	0.2050	0.1786	0.2020	0.1698	0.1610	0.1493	0.1493	0.1874	0.1493	0.1757	0.1493	0.1903	0.1933
P15.6	0.2050	0.1698	0.1698	0.1493	0.1523	0.1669	0.1464	0.1757	0.1698	0.1815	0.1933	0.1669	0.1874	0.1786	0.1464
P15.7	0.1640	0.1815	0.1581	0.1815	0.1464	0.1610	0.1698	0.1493	0.1933	0.1640	0.1698	0.1669	0.1991	0.1933	0.1815
P15.8	0.2050	0.1962	0.2050	0.1903	0.1757	0.1874	0.1786	0.2050	0.1610	0.1933	0.1874	0.1493	0.1640	0.1493	0.1493
P15.9	0.1669	0.1464	0.1698	0.1962	0.1581	0.1845	0.1874	0.1640	0.1874	0.1640	0.1874	0.1786	0.1493	0.1464	0.1669
P15.10	0.1640	0.1786	0.1581	0.1728	0.1991	0.1728	0.2020	0.1903	0.1523	0.1962	0.1903	0.1464	0.1903	0.1874	0.1669

Problem No	Jeneratör															Çözüm zamanı	Toplam Kar
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	c_hareket																
P15.1	1430	4553	3668	1126	4826	1582	1949	3929	5715	2817	4984	2699	4543	3870	2098	1.23	1688805.92
P15.2	2160	877	3619	2090	1766	3878	5505	1688	4357	4568	1499	3593	2280	4171	4383	2.94	1544729.46
P15.3	2123	6199	3729	2972	5591	4919	1639	1163	5052	3622	1732	4806	3557	594	1068	5.34	1546413.79
P15.4	658	5781	7006	5860	3008	5253	1544	6515	686	3167	2661	3691	2174	4679	4649	0.94	1550927.92
P15.5	3564	3415	2902	5864	4053	3261	5205	5282	6249	1943	1299	4293	794	2276	4483	3.38	1623194.76
P15.6	2702	6205	1497	5224	1302	1175	1604	5679	5495	1436	3178	4158	2323	1026	3842	0.92	1456279.22
P15.7	2090	4820	6474	1971	5490	4014	3604	1674	5576	3640	3946	1407	3951	3992	2623	1.61	1557850.23
P15.8	4658	4097	2197	3272	3091	1000	5791	3669	4965	4014	4312	5123	5717	1183	1010	1.11	1704458.05
P15.9	4713	4431	2563	2527	6270	1355	1230	5730	2645	5296	5681	1749	5859	2311	1562	0.66	1459810.92
P15.10	1209	1713	5956	4965	2987	5252	3307	2287	6086	4954	2819	7198	5118	862	3538	1.70	1617811.92
ORTALAMA																1.98	1575028.22

Problem No	Jeneratör																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Kapasite																			
P20.1	55	139	175	284	87	215	250	139	362	187	452	394	268	154	176	274	431	101	406	326
P20.2	487	473	59	350	393	476	487	324	468	58	236	254	307	345	218	354	495	136	96	325
P20.3	380	225	382	481	203	383	307	54	189	359	102	136	185	103	366	71	156	159	376	492
P20.4	466	256	199	488	223	497	238	173	294	497	96	193	336	54	258	158	188	427	140	206
P20.5	295	401	362	437	496	220	74	444	101	61	371	284	318	444	91	410	451	442	158	97
P20.6	327	466	101	136	212	412	377	200	286	264	205	241	485	456	164	123	499	180	80	280
P20.7	450	348	130	194	481	201	121	81	369	226	130	163	80	391	489	223	468	126	163	221
P20.8	134	70	189	214	473	108	214	235	498	383	355	403	265	85	225	454	278	237	273	379
P20.9	214	237	382	233	464	138	327	154	161	205	188	385	128	434	107	483	365	327	436	136
P20.10	485	375	400	61	239	301	264	446	280	398	171	209	197	153	470	309	195	328	204	56
c_opr	88	86	88	87	85	89	79	84	86	87	80	75	81	85	82	87	77	77	77	84

Problem No	Jeneratör																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Isı katsayısı																			
P20.1	0.1874	0.1962	0.1669	0.1669	0.1610	0.1728	0.1493	0.1669	0.1523	0.1523	0.1874	0.1610	0.2050	0.1698	0.1493	0.1845	0.1874	0.2050	0.1464	0.1523
P20.2	0.1581	0.1610	0.1669	0.1962	0.1962	0.1962	0.2020	0.1698	0.1669	0.1669	0.1464	0.1933	0.1523	0.1728	0.1493	0.1669	0.1991	0.1874	0.1698	0.1903
P20.3	0.1581	0.1962	0.1464	0.1903	0.1991	0.1610	0.1610	0.1933	0.1962	0.2020	0.1962	0.1581	0.1464	0.1493	0.1757	0.1464	0.1757	0.1815	0.1728	0.1698
P20.4	0.1845	0.2020	0.1962	0.1728	0.2050	0.1581	0.1552	0.1933	0.1581	0.1874	0.1786	0.1933	0.1874	0.1757	0.1610	0.1698	0.1845	0.1728	0.2050	0.1962
P20.5	0.1962	0.2020	0.1610	0.1786	0.1757	0.1698	0.1698	0.1903	0.1669	0.1610	0.1845	0.2020	0.1757	0.1493	0.1640	0.1581	0.1610	0.1581	0.1815	0.1933
P20.6	0.1464	0.1464	0.1581	0.1728	0.1757	0.1464	0.1581	0.1815	0.2020	0.1698	0.1991	0.1552	0.1786	0.1815	0.1845	0.1786	0.1757	0.1493	0.1610	0.1757
P20.7	0.2020	0.1845	0.1991	0.1815	0.1493	0.1669	0.1464	0.1786	0.1610	0.1698	0.1903	0.1640	0.1786	0.1903	0.1786	0.2050	0.1581	0.2050	0.1933	0.1728
P20.8	0.1493	0.2050	0.1903	0.1581	0.1669	0.1991	0.1640	0.1845	0.1786	0.1552	0.1962	0.1728	0.1581	0.1874	0.1991	0.1640	0.1786	0.1552	0.1786	0.1669
P20.9	0.1581	0.1903	0.1640	0.2050	0.1845	0.1786	0.1874	0.1815	0.1698	0.1845	0.1523	0.1933	0.1962	0.1874	0.1523	0.1728	0.1903	0.1581	0.1845	0.1552
P20.10	0.2020	0.1815	0.1845	0.1815	0.1640	0.1669	0.1845	0.1933	0.1581	0.1581	0.1815	0.1640	0.1757	0.1493	0.1757	0.1845	0.1786	0.2050	0.1669	0.1728

Problem No	Jeneratör																				Çözüm zamanı	Toplam Kar
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
	c_hareket																					
P20.1	632	1527	2260	3667	1164	2682	3608	1795	5124	2647	5198	5272	2818	1954	2540	3201	4956	1062	5976	4614	7.33	1558474.97
P20.2	6637	6329	762	3845	4317	5229	5195	4111	6043	749	3474	2832	4345	4304	3146	4571	5358	1564	1218	3680	6.58	1660361.59
P20.3	5179	2472	5623	5446	2197	5125	4108	602	2076	3829	1120	1854	2723	1486	4490	1045	1914	1887	4690	6243	1.47	1622764.23
P20.4	5444	2731	2186	6087	2345	6774	3305	1929	4007	5715	1158	2152	3864	662	3452	2005	2196	5327	1472	2263	4.95	1634233.72
P20.5	3241	4277	4844	5273	6084	2792	939	5027	1304	816	4334	3029	3901	6407	1196	5588	6035	6024	1876	1082	2.19	1621827.63
P20.6	4813	6859	1377	1697	2600	6065	5138	2374	3051	3350	2219	3347	5852	5413	1916	1484	6121	2598	1071	3435	13.44	1481914.33
P20.7	4800	4065	1407	2303	6941	2595	1781	977	4938	2868	1472	2142	965	4427	5900	2345	6379	1325	1818	2757	10.23	1648965.66
P20.8	1934	736	2140	2917	6107	1169	2813	2745	6009	5319	3900	5027	3612	977	2435	5967	3354	3291	3294	4894	9.66	1541366.04
P20.9	2917	2684	5020	2450	5421	1665	3760	1828	2043	2395	2661	4293	1406	4991	1514	6025	4133	4457	5093	1889	1.83	1559995.97
P20.10	5173	4452	4673	724	3141	3887	3084	4973	3816	5424	2030	2747	2416	2208	5765	3610	2353	3449	2634	699	3.16	1627015.62
ORTALAMA																				6.08	1595691.98	

Problem No	Jeneratör																																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	Kapasite																																							
P40.1	359	259	315	438	469	499	271	231	190	190	334	160	340	383	178	489	469	54	391	113	312	488	250	109	132	342	125	173	184	270	323	152	445	375	63	429	425	166	71	460
P40.2	498	268	98	381	364	180	450	491	225	274	143	189	369	296	178	212	365	243	364	461	200	116	320	138	262	440	407	57	434	208	117	214	288	349	83	341	76	468	239	114
P40.3	487	309	454	302	294	485	442	294	199	202	372	56	109	217	274	308	289	90	198	351	331	304	140	312	394	208	358	397	466	333	82	56	314	350	127	321	405	427	283	344
P40.4	337	72	280	420	500	319	454	139	171	223	471	164	348	241	174	145	440	333	383	472	159	453	429	473	383	294	399	412	442	366	363	201	495	213	247	252	451	238	72	238
P40.5	72	234	290	114	237	238	160	305	422	389	180	476	140	301	403	71	238	329	284	414	177	246	233	379	299	110	477	365	295	64	100	55	87	297	347	196	488	209	302	336
P40.6	455	369	225	180	227	323	356	145	353	352	346	215	425	428	197	392	430	410	155	368	116	317	335	136	96	174	173	400	420	475	163	475	409	185	256	260	303	422	317	226
P40.7	281	313	456	494	111	352	406	173	282	95	476	349	207	447	373	385	266	211	139	55	284	360	188	287	443	285	385	60	107	217	490	228	225	129	86	428	110	211	348	418
P40.8	363	414	105	448	402	477	185	130	299	427	207	489	106	186	371	153	60	419	186	473	253	57	393	137	53	81	164	323	393	76	313	281	175	90	196	289	355	416	457	94
P40.9	116	289	103	323	424	410	435	306	442	344	176	197	414	230	115	112	289	481	167	488	318	497	370	430	167	249	483	433	473	125	66	75	171	177	383	280	243	242	123	378
P40.10	78	247	445	431	417	294	186	67	385	384	296	432	103	348	406	324	366	462	184	94	447	463	114	417	276	81	389	223	196	306	103	67	184	323	148	463	194	263	120	72
c_opr	83	76	85	84	88	88	77	88	76	86	86	86	87	86	89	77	81	90	81	84	90	84	86	79	79	84	77	75	88	77	86	90	80	90	80	86	89	82	88	82

Problem No	Jeneratör																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Isı Katsayısı																			
P40.1	0.2050	0.1640	0.1962	0.2020	0.1640	0.1845	0.1991	0.1933	0.1933	0.1786	0.1464	0.1815	0.1493	0.1493	0.1523	0.2020	0.1552	0.1669	0.1962	0.1523
P40.2	0.1581	0.1669	0.1786	0.1815	0.1757	0.1698	0.1640	0.1698	0.1669	0.1523	0.1903	0.1493	0.1523	0.1640	0.1757	0.2050	0.1493	0.2050	0.2050	0.1815
P40.3	0.1874	0.1786	0.1493	0.1874	0.1757	0.1757	0.2050	0.1815	0.1523	0.2050	0.1493	0.1581	0.1962	0.1845	0.1962	0.1962	0.1786	0.2050	0.1962	0.2020
P40.4	0.1962	0.1552	0.1728	0.1903	0.1962	0.2050	0.1640	0.2020	0.1757	0.2050	0.1728	0.1991	0.1698	0.1464	0.1493	0.1757	0.1640	0.1464	0.1523	0.1698
P40.5	0.2050	0.1903	0.1523	0.1698	0.1610	0.1698	0.1581	0.1552	0.1698	0.1552	0.1845	0.2050	0.1786	0.1640	0.1669	0.1845	0.2020	0.1874	0.1815	0.1669
P40.6	0.1786	0.1815	0.1903	0.1903	0.1786	0.1523	0.1464	0.1698	0.1874	0.1962	0.1464	0.1581	0.1757	0.1933	0.1464	0.1991	0.1874	0.2020	0.1933	0.1698
P40.7	0.1757	0.1523	0.1552	0.1698	0.1933	0.1552	0.1523	0.2050	0.2050	0.1493	0.1962	0.1523	0.1552	0.1464	0.1640	0.1464	0.1786	0.1933	0.1464	0.1523
P40.8	0.1815	0.1640	0.1933	0.1845	0.1933	0.1523	0.1874	0.1933	0.1962	0.1610	0.1581	0.1903	0.1991	0.1991	0.1991	0.1581	0.1933	0.1610	0.1962	0.1903
P40.9	0.1610	0.1991	0.1815	0.1581	0.1698	0.1757	0.1523	0.1757	0.1845	0.1757	0.1581	0.1728	0.1728	0.1493	0.1991	0.1698	0.1933	0.1903	0.1669	0.1962
P40.10	0.1728	0.1552	0.2050	0.1581	0.1669	0.1464	0.1786	0.1845	0.1640	0.1523	0.1815	0.1493	0.1581	0.1962	0.1640	0.1610	0.1991	0.2050	0.1815	0.1757

Problem No	Jeneratör																			
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	Isı Katsayısı																			
P40.1	0.1962	0.1493	0.1757	0.1845	0.1640	0.1523	0.2050	0.1610	0.2020	0.1874	0.1903	0.1874	0.1991	0.1581	0.1610	0.1757	0.1874	0.1552	0.1845	0.1581
P40.2	0.1581	0.1757	0.1845	0.2020	0.1786	0.1493	0.1962	0.1845	0.1581	0.1757	0.1669	0.1552	0.1581	0.2020	0.1728	0.2050	0.1962	0.1464	0.1874	0.1962
P40.3	0.1523	0.1669	0.1786	0.1640	0.1610	0.1874	0.1552	0.1610	0.1786	0.1903	0.1698	0.2050	0.1493	0.1757	0.1933	0.1698	0.1669	0.1757	0.1933	0.1786
P40.4	0.1493	0.1962	0.1757	0.1610	0.1669	0.1757	0.1581	0.1991	0.1493	0.1757	0.1757	0.1962	0.1962	0.1962	0.1581	0.2050	0.1962	0.1464	0.1581	0.1962
P40.5	0.1933	0.1962	0.1610	0.1523	0.1933	0.1698	0.1815	0.1903	0.1698	0.1669	0.1903	0.1581	0.1610	0.1464	0.1786	0.1757	0.1991	0.1728	0.2020	0.2020
P40.6	0.1610	0.1903	0.2050	0.1493	0.1610	0.2050	0.1903	0.1610	0.1874	0.1786	0.1845	0.1903	0.1903	0.1991	0.1669	0.1581	0.1669	0.1728	0.1786	0.1991
P40.7	0.1845	0.1786	0.1903	0.1962	0.1815	0.1815	0.1991	0.1640	0.1728	0.1815	0.1991	0.1552	0.2050	0.1728	0.1640	0.1845	0.1815	0.1493	0.1815	0.1845
P40.8	0.1903	0.1933	0.1669	0.1640	0.1464	0.1610	0.1669	0.1728	0.1464	0.1815	0.1815	0.1786	0.1903	0.1581	0.1698	0.1962	0.1903	0.1845	0.1698	0.1610
P40.9	0.1640	0.1962	0.1933	0.1493	0.1991	0.1903	0.1786	0.1815	0.1523	0.1493	0.1991	0.1815	0.1640	0.1845	0.1552	0.1523	0.2050	0.1757	0.1991	0.1933
P40.10	0.1991	0.2050	0.1757	0.2020	0.1523	0.1757	0.1581	0.2020	0.1493	0.1845	0.1933	0.1523	0.1581	0.1464	0.1464	0.1815	0.1610	0.1933	0.1523	0.1493

Problem No	Jeneratör																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P40.1	3775	3404	3460	4672	6164	5829	2933	2576	2119	2292	4916	1899	4907	5527	2519	5216	6513	697	4295	1599
P40.2	6787	3460	1182	4523	4465	2284	5914	6230	2905	3878	1619	2727	5223	3890	2183	2229	5267	2555	3827	5472
P40.3	5600	3728	6552	3473	3606	5949	4647	3490	2817	2124	5368	763	1197	2535	3010	3383	3487	946	2175	3744
P40.4	3702	1000	3493	4756	5492	3354	5967	1483	2098	2345	5875	1775	4416	3547	2511	1779	5783	4902	5421	5989
P40.5	757	2650	4105	1447	3171	3020	2181	4235	5355	5402	2103	5005	1689	3956	5204	829	2539	3783	3371	5346
P40.6	5490	4380	2548	2038	2739	4572	5240	1840	4059	3867	5093	2930	5213	4773	2900	4243	4945	4373	1728	4670
P40.7	3447	4430	6332	6269	1238	4888	5746	1819	2965	1371	5229	4940	2875	6580	4902	5667	3209	2353	2046	778
P40.8	4309	5441	1171	5234	4483	6751	2127	1450	3284	5714	2821	5537	1147	2013	4015	2085	669	5607	2043	5356
P40.9	1552	3128	1223	4402	5380	5029	6157	3754	5164	4220	2399	2457	5164	3319	1245	1421	3223	5446	2156	5361
P40.10	973	3430	4679	5874	5384	4328	2244	783	5060	5435	3514	6234	1404	3823	5336	4336	3961	4857	2184	1153

Problem No	Jeneratör																				Çözüm zamanı	Toplam Kar
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
P40.1	3427	7042	3067	1273	1735	4841	1314	2315	1963	3105	3657	1748	4816	5111	843	5262	4887	2305	829	6270	188.53	1729300.50
P40.2	2726	1423	3738	1472	3161	6350	4471	666	5915	2551	1511	2972	3925	3723	1035	3585	835	6889	2748	1252	1781.47	1749662.41
P40.3	4685	3925	1689	4100	5272	2392	4971	5312	5622	3771	1041	589	4531	4293	1416	4073	5229	5238	3156	4150	48.41	1720142.13
P40.4	2295	4976	5262	6329	4945	3606	5438	4459	6379	4490	4453	2208	5437	2340	3366	2650	4954	3503	981	2614	120.78	1724951.36
P40.5	1974	2702	3118	5364	3334	1396	5662	4133	3743	826	1132	750	1164	4372	4187	2404	5282	2607	3221	3584	88.61	1723292.01
P40.6	1552	3589	3522	1963	1285	1829	1959	5353	4830	5731	1904	5378	4631	2002	3305	3544	3912	5264	3825	2446	123.33	1713508.76
P40.7	3318	4344	2129	3153	5259	3383	4167	789	1335	2576	5303	3166	2366	1609	1130	5000	1306	3045	4131	4883	77.83	1713186.72
P40.8	2865	636	5074	1801	780	1084	2118	4029	5785	902	3716	3390	1981	1227	2487	3175	4020	4860	5799	1258	11.80	1634959.75
P40.9	4179	5459	4126	6205	1807	2819	5828	5140	6695	1804	714	890	2247	2068	5319	3963	2555	2968	1331	4215	44.20	1662390.01
P40.10	4838	4868	1398	4448	3906	994	5302	2379	2828	3575	1149	948	2508	4754	2179	5496	2596	2933	1698	1039	121.52	1752972.33
ORTALAMA																					260.65	1712436.60

Problem No	Jeneratör																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Kapasite																								
P50.1	262	321	309	380	459	51	235	423	94	110	367	208	464	223	411	264	438	373	481	228	305	288	330	51	212
P50.2	209	382	326	167	230	167	337	181	297	144	474	449	407	341	474	398	426	275	223	428	322	63	388	352	214
P50.3	412	166	333	123	375	195	327	367	156	427	378	383	223	219	396	331	431	175	464	459	435	261	439	179	193
P50.4	51	235	333	193	74	195	325	273	423	297	119	428	443	102	472	403	221	497	400	394	119	217	255	362	258
P50.5	303	182	274	239	74	248	277	133	378	455	184	356	64	63	102	127	79	311	110	292	285	476	329	497	432
P50.6	270	113	433	106	205	286	95	268	497	340	113	345	185	348	291	195	272	371	97	167	261	66	429	104	279
P50.7	75	316	142	380	446	300	243	170	106	283	302	151	404	76	310	335	403	229	209	365	258	76	54	488	390
P50.8	117	193	456	462	191	385	236	143	88	430	443	369	409	88	148	497	480	99	94	388	477	305	477	476	230
P50.9	82	494	365	57	388	104	236	254	50	64	368	280	225	123	459	454	385	239	225	56	216	171	73	443	151
P50.10	147	191	104	220	370	378	301	61	202	74	139	286	273	343	53	313	98	79	444	412	170	226	414	401	199
c_opr	82	88	87	90	88	76	79	89	84	80	84	89	83	88	86	83	89	78	89	83	75	76	78	88	90

Problem No	Jeneratör																								
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	Kapasite																								
P50.1	192	347	416	252	208	304	117	400	189	274	217	380	300	195	299	415	73	173	209	404	491	281	237	128	394
P50.2	474	203	447	321	68	211	426	239	163	205	378	421	326	288	304	61	251	197	262	255	437	465	482	405	184
P50.3	160	431	185	269	280	377	392	486	62	247	235	327	280	225	145	325	88	486	394	451	324	102	217	456	328
P50.4	136	455	147	225	252	117	420	417	147	217	321	315	181	112	271	482	375	480	435	252	345	92	406	434	299
P50.5	493	457	278	312	110	302	491	446	220	425	361	108	296	413	316	292	377	440	54	305	307	350	401	223	247
P50.6	247	464	425	478	425	417	176	481	328	444	443	76	180	403	51	208	82	486	399	81	123	385	153	365	376
P50.7	393	340	384	109	466	130	309	331	105	119	121	262	89	216	99	348	254	387	66	80	95	88	499	361	352
P50.8	375	155	299	337	122	322	109	475	276	476	80	447	275	264	355	69	290	212	272	240	384	303	458	447	132
P50.9	62	389	78	234	67	237	302	70	405	216	487	193	59	247	62	391	275	389	490	350	55	161	396	231	402
P50.10	74	83	495	53	450	389	275	98	477	198	344	236	358	275	281	194	489	66	163	144	85	465	265	426	330
	83	83	87	78	82	89	75	86	78	84	81	79	86	86	87	78	80	90	90	84	78	89	85	89	90

Problem No	Jeneratör																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Isı Katsayısı																								
P50.1	0.1845	0.2020	0.1757	0.1757	0.1845	0.1991	0.1933	0.1815	0.2050	0.1962	0.1523	0.1640	0.1933	0.1493	0.1991	0.1698	0.1874	0.1845	0.1962	0.1523	0.1991	0.1903	0.2020	0.1698	0.1991
P50.2	0.1493	0.1903	0.2020	0.1698	0.1728	0.1493	0.1874	0.1464	0.2050	0.1933	0.1991	0.1523	0.1581	0.1786	0.1640	0.1903	0.1610	0.2050	0.1698	0.1815	0.1903	0.1581	0.1464	0.1669	0.1991
P50.3	0.2020	0.1874	0.1933	0.1728	0.1698	0.1610	0.1757	0.1640	0.1610	0.1640	0.1552	0.1610	0.1815	0.1698	0.1991	0.1610	0.1523	0.1786	0.1815	0.1552	0.1786	0.1874	0.1464	0.1757	0.1815
P50.4	0.1552	0.1493	0.1874	0.1552	0.1757	0.1698	0.1610	0.1523	0.1640	0.1669	0.2050	0.1991	0.1757	0.1991	0.1669	0.1874	0.2020	0.1581	0.1962	0.1815	0.1581	0.1962	0.1493	0.1581	0.2020
P50.5	0.1786	0.1962	0.1610	0.1991	0.1640	0.1464	0.1523	0.2020	0.1874	0.1991	0.1610	0.1610	0.2020	0.1610	0.1493	0.1874	0.1640	0.1669	0.1464	0.1933	0.1903	0.1815	0.2050	0.1669	0.1815
P50.6	0.1493	0.1933	0.1610	0.1933	0.1698	0.1493	0.2020	0.1669	0.1903	0.1933	0.1991	0.1962	0.1757	0.1728	0.1669	0.1933	0.1874	0.1493	0.1640	0.1728	0.1728	0.2050	0.1933	0.2050	0.1874
P50.7	0.1962	0.1728	0.1903	0.1933	0.1581	0.2050	0.1933	0.1845	0.1669	0.1786	0.1845	0.1757	0.1874	0.1523	0.1962	0.1640	0.1757	0.2020	0.1610	0.1552	0.1933	0.1903	0.1552	0.1493	0.1523
P50.8	0.1728	0.1903	0.1903	0.2050	0.1991	0.1493	0.1552	0.1523	0.1815	0.1581	0.2050	0.2050	0.1640	0.1523	0.1815	0.1610	0.1991	0.1610	0.1933	0.1757	0.1933	0.1610	0.1933	0.1962	0.1903
P50.9	0.1523	0.1493	0.1991	0.1728	0.1786	0.1464	0.1815	0.1610	0.1728	0.1581	0.1991	0.1523	0.1903	0.2020	0.1610	0.1523	0.1581	0.1698	0.1874	0.1903	0.2020	0.1698	0.1581	0.1933	0.2020
P50.10	0.1669	0.1728	0.1523	0.1815	0.1962	0.1815	0.1786	0.1523	0.1962	0.1786	0.1786	0.1669	0.1991	0.2020	0.2050	0.1815	0.1815	0.1845	0.1493	0.1464	0.1464	0.1962	0.1523	0.1523	0.2020

Problem No	Jeneratör																								
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	Isı Katsayısı																								
P50.1	0.1845	0.1669	0.1698	0.1610	0.1991	0.1493	0.1464	0.1698	0.2020	0.1991	0.1464	0.1991	0.1640	0.1845	0.1728	0.1640	0.1991	0.1903	0.1874	0.2050	0.1493	0.1728	0.1757	0.1874	0.1581
P50.2	0.1933	0.2020	0.1523	0.1552	0.1991	0.2020	0.1786	0.1845	0.1845	0.1786	0.1669	0.1640	0.1728	0.1464	0.1523	0.1552	0.1669	0.1610	0.2020	0.1903	0.1728	0.2020	0.1757	0.1464	0.1786
P50.3	0.1640	0.1640	0.1493	0.1962	0.1581	0.1757	0.2050	0.1464	0.1698	0.1464	0.1962	0.1786	0.1640	0.1845	0.1815	0.1669	0.1669	0.1786	0.1640	0.1698	0.1493	0.1845	0.1757	0.1991	0.1903
P50.4	0.1845	0.2050	0.1991	0.1581	0.1552	0.1757	0.1874	0.1581	0.1640	0.1757	0.1523	0.1991	0.2020	0.1698	0.1552	0.1991	0.1933	0.1874	0.1581	0.1669	0.1581	0.1523	0.1581	0.1464	0.1757
P50.5	0.1786	0.1874	0.1757	0.1933	0.1845	0.1493	0.1493	0.1698	0.1669	0.1728	0.1845	0.1464	0.1698	0.1728	0.1493	0.2050	0.1786	0.2050	0.1523	0.1640	0.1815	0.1523	0.2050	0.1610	0.1464
P50.6	0.1493	0.1757	0.1669	0.1786	0.1728	0.1962	0.1640	0.1933	0.1493	0.1728	0.1493	0.2020	0.1698	0.1669	0.1669	0.1640	0.1464	0.1815	0.2020	0.1845	0.1493	0.1669	0.1903	0.1581	0.1815
P50.7	0.1962	0.1523	0.2050	0.2020	0.1815	0.1933	0.1523	0.1991	0.1933	0.1786	0.1991	0.1640	0.1757	0.1698	0.1786	0.1757	0.1640	0.1933	0.1757	0.1933	0.1757	0.1552	0.1552	0.1581	0.1493
P50.8	0.1728	0.1815	0.2050	0.1991	0.1610	0.1786	0.1815	0.1698	0.1874	0.2020	0.1757	0.2020	0.2020	0.1581	0.1669	0.1786	0.1698	0.1552	0.1845	0.1698	0.1815	0.1991	0.1698	0.1464	0.2020
P50.9	0.1640	0.1669	0.1581	0.1493	0.1933	0.1640	0.1610	0.1991	0.1493	0.1815	0.1464	0.1786	0.2020	0.1698	0.1610	0.1728	0.1786	0.1523	0.1991	0.1874	0.1933	0.1493	0.2020	0.1552	0.1669
P50.10	0.1845	0.1698	0.1728	0.2020	0.1464	0.1464	0.1523	0.1640	0.1610	0.1552	0.1757	0.1845	0.1698	0.1493	0.1669	0.1464	0.1728	0.1815	0.1728	0.1962	0.1815	0.1933	0.1610	0.1669	0.2020

Problem No	Jeneratör																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	c_hareket																								
P50.1	3061	3424	3790	4661	5362	552	2621	5021	988	1208	5194	2734	5174	3218	4448	3350	5037	4357	5284	3227	3301	3261	3520	647	2295
P50.2	3016	4325	3477	2119	2869	2410	3875	2664	3123	1606	5130	6355	5547	4114	6230	4506	5701	2891	2830	5081	3646	859	5711	4545	2316
P50.3	4395	1909	3713	1534	4759	2609	4011	4823	2088	5612	5249	5125	2647	2779	4286	4429	6100	2111	5508	6374	5248	3001	6462	2196	2291
P50.4	708	3391	3829	2680	908	2474	4349	3864	5559	3835	1251	4632	5434	1104	6094	4634	2357	6774	4394	4677	1622	2384	3680	4934	2752
P50.5	3656	1999	3667	2587	973	3650	3921	1419	4347	4925	2462	4764	683	843	1472	1460	1038	4016	1619	3256	3227	5650	3459	6417	5128
P50.6	3896	1260	5794	1182	2601	4127	1013	3460	5627	3791	1223	3790	2269	4341	3757	2175	3128	5354	1275	2083	3256	694	4784	1093	3208
P50.7	824	3942	1608	4237	6079	3154	2710	1986	1369	3414	3528	1852	4646	1076	3405	4403	4943	2443	2797	5069	2877	861	750	7042	5520
P50.8	1459	2185	5163	4857	2067	5556	3277	2024	1045	5861	4658	3880	5375	1246	1757	6651	5195	1325	1048	4759	5319	4081	5319	5229	2604
P50.9	1161	7129	3951	711	4681	1531	2801	3399	624	872	3983	3963	2548	1312	6142	6426	5247	3033	2587	634	2304	2170	995	4940	1611
P50.10	1898	2383	1472	2612	4064	4487	3632	863	2219	893	1677	3693	2955	3659	557	3716	1163	923	6407	6065	2502	2483	5860	5676	2123

Problem No	Jeneratör																									Çözüm zamanı	Toplam Kar
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
	c_hareket																										
P50.1	2243	4480	5279	3372	2251	4387	1722	5076	2016	2966	3194	4113	3943	2278	3730	5454	790	1959	2403	4248	7086	3505	2907	1472	5370	36.61	1730500.31
P50.2	5286	2165	6327	4458	736	2251	5140	2792	1904	2473	4881	5533	4067	4239	4303	847	3241	2636	2795	2887	5451	4960	5912	5961	2220	123.34	1734798.65
P50.3	2103	5664	2670	2955	3816	4624	4122	7154	787	3636	2581	3945	3680	2629	1721	4196	1136	5864	5178	5723	4676	1192	2662	4935	3714	28..75	1705459.11
P50.4	1589	4784	1591	3067	3499	1435	4830	5683	1932	2662	4543	3409	1931	1421	3763	5217	4182	5520	5929	3254	4702	1302	5534	6388	3668	82.97	1726485.11
P50.5	5948	5255	3410	3479	1285	4358	7086	5659	2841	5302	4217	1590	3756	5152	4560	3070	4549	4626	764	4008	3644	4954	4216	2984	3636	124.28	1759886.22
P50.6	3564	5692	5488	5767	5302	4581	2313	5364	4733	5539	6393	811	2284	5204	659	2734	1207	5769	4256	946	1775	4971	1732	4975	4463	49.14	1671594.80
P50.7	4317	4812	4037	1163	5532	1450	4373	3583	1171	1436	1310	3443	1092	2741	1194	4269	3338	4316	810	892	1165	1222	6929	4920	5080	15.02	1721646.34
P50.8	4678	1840	3144	3647	1633	3885	1294	6027	3174	5077	981	4768	2933	3598	4584	833	3680	2944	3178	3045	4558	3279	5812	6580	1408	103.72	1755223.06
P50.9	815	5023	1063	3377	747	3115	4041	758	5845	2564	7168	2329	629	3134	830	4877	3318	5506	5303	4025	613	2323	4224	3208	5191	1259.77	1698020.92
P50.10	864	1053	6175	565	6624	5726	3892	1288	6383	2750	4220	2757	4543	3969	3628	2856	6100	783	2033	1582	1009	5185	3546	5501	3520	382.24	1694666.64
ORTALAMA																									241.90	1719828.12	

Ek 5. Örnek Problem CPLEX Çıktıları

P5.1 CPLEX Çıktısı

```
// solution (optimal) with objective 1075081.50167399
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1.0750815017e+006
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.21820e+006 1.07508e+006
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max) 6.07372e-010 5.27507e-010
// MILP x bound error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)   0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)     2.78320e-011 9.54969e-012
//

profit = 1.0751e+6;
y_sell = [0 0 0 0 0 42.6 0 74.6 0 0 0 113.6 0 85.6 0 0 13.6 0 0 0 0 0];
y_buy = [160.4 18.4 39.4 71.4 282.4 110.4 0 134.4 0 100.4 59.4 68.4 0 153.4
        0 143.4 197.4 0 3.4 40.4 42.4 88.4 124.4 16.4];
y_gen = [[42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4
         42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4 42.4
         [188 188 188 188 188 188 188 188 188 188 188 188 188 188 188 188
         188 188 188 188 188 188 188 188 188]
         [76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76
         76 76 76 76]
         [119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2
         119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2 119.2
         119.2 119.2 119.2]
         [388 388 388 388 388 388 388 388 388 388 388 388 388 388 388 388
         388 388 388 388 388 388 388 388 388]];
x_base = 4856;
x_intr = 0;
start_up = [[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]];
x_gen = [[268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18
         268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18 268.18
         268.18 268.18 268.18]
         [1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2
         1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2 1284.2
         1284.2 1284.2 1284.2]
         [411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92
         411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92 411.92
         411.92 411.92 411.92]];
```

```
[753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95  
753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95  
753.95 753.95 753.95 753.95 753.95 753.95]  
[2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7  
2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7  
2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7 2137.7];
```

```
z_intr = 0;
```

P10.1 CPLEX Çıktısı

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 1595462.748399
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1.5954627484e+006
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.75469e+006 1.59546e+006
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  3.00249e-006 5.53955e-008
// MILP x bound error (Total, Max)        2.22045e-016 2.22045e-016
// MILP x integrality error (Total, Max)   2.22045e-016 2.22045e-016
// MILP slack bound error (Total, Max)    2.38906e-007 2.38419e-007
//

profit = 1.5955e+6;
y_sell = [50.952 21 182 150 0 111 264 87.001 296 121 162 153 166.5 68.001 307
          78.001 24.001 235 218 181 90 133 97.001 205];
y_buy = [0 0 0 0 60.999 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
y_gen = [[236 0 236 236 236 236 236 236 236 236 236 236 0 236 236 236 236 236
          236 236 236 236 236 236]
         [332 97.401 97.401 97.401 97.401 97.401 97.401 97.401 97.401 97.401
          97.401 97.401 97.401 0 332 332 332 332 332 332 332 332 332 332
          332]
         [96.952 81.199 3.4106e-13 3.1264e-13 1.9895e-13 1.9895e-13 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [61.6 0 61.6 61.6 61.6 61.6 61.6 61.6 61.6 61.6 61.6 61.6 61.6
          61.6 61.6 61.6 61.6 61.6 61.6 0 61.6 61.6 61.6]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 341.6 341.6 341.6 341.6 341.6 341.6 341.6 341.6 341.6 341.6
          134.35 107 107 107 107 107 107 107 93.966 93.966 93.966 93.966]
         [0 383.2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [1.5916e-12 291.2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 284.03
          0 0 0]
         [298.4 0 298.4 298.4 298.4 298.4 298.4 298.4 298.4 298.4 298.4
          298.4 0 298.4 298.4 298.4 298.4 298.4 298.4 298.4 0 298.4 298.4
          298.4]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13.034 13.034 13.034]];
x_base = 5254.4;
x_intr = 0;
start_up = [[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
            [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
            [0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]
            [1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]];
```

```

[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0];
x_gen = [[1151.2 0 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2
1151.2 0 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2 1151.2
1151.2 1151.2 1151.2]
[1771.6 519.75 519.75 519.75 519.75 519.75 519.75 519.75 519.75 519.75 519.75
519.75 519.75 519.75 0 1771.6 1771.6 1771.6 1771.6 1771.6 1771.6 1771.6 1771.6
1771.6 1771.6 1771.6 1771.6 1771.6]
[570.97 478.21 2.0086e-12 1.8412e-12 1.1717e-12 1.1717e-12 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[304.95 0 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95
304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95 304.95
304.95 0 304.95 304.95 304.95]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9.0949e-12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 1822.8 1822.8 1822.8 1822.8 1822.8 1822.8 1822.8 1822.8 1822.8 1822.8
1822.8 1822.8 716.92 570.97 570.97 570.97 570.97 570.97 570.97 570.97
570.97 501.42 501.42 501.42 501.42]
[0 2380.1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2356.2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1.0255e-11 1876.3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1876.3 0 0 0 0 0 0 0 0 1830.1
0 0 0]
[1455.6 0 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6
1455.6 1455.6 0 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6 1455.6
0 1455.6 1455.6 1455.6]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 69.553 69.553 69.553]];
z_intr = 0;

```

P15.1 CPLEX Çıktısı

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 1688805.92318576
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1.6888059232e+006
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.85396e+006 1.68881e+006
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  2.74309e-006 4.87963e-008
// MILP x bound error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)    0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)     2.81646e-009 2.79397e-009
//

profit = 1.6888e+6;
y_sell = [111.65 21 236.12 204.12 0 165.12 318.12 141.12 350.12 175.12 216.12
          207.12 166.5 122.12 361.12 132.12 78.117 289.12 272.12 235.12 90
          186.18 150.18 258.18];
y_buy = [0 0 0 6.8834 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
y_gen = [[0 80.8 0 0 0 0 0 0 0 0 80.8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [83.2 0 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2
          83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 83.2 0 83.2 83.2 83.2];
         [367.2 0 367.2 367.2 367.2 367.2 367.2 367.2 367.2 367.2 367.2
          367.2 0 367.2 367.2 367.2 367.2 367.2 367.2 0 367.2 367.2
          367.2];
         [0 0 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2
          0 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2 115.2 0 115.2 115.2 115.2];
         [0 114.4 0 0 0 0 0 0 0 0 110.16 0 0 0 0 0 0 111.19 4.5758
          4.5758 4.5758];
         [256.05 144.32 144.32 144.32 144.32 144.32 144.32 144.32 144.32
          144.32 144.32 144.32 144.32 144.32 144.32 144.32 144.32 144.32
          144.32 144.32 138.81 138.81 138.81 138.81];
         [0 316.8 0 0 0 0 0 0 0 0 298.42 0 0 0 0 0 0 316.8 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [379.2 0 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2
          379.2 0 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2 379.2
          379.2 379.2];
         [3.979e-13 149.6 0 0 0 0 0 0 0 0 149.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 47.083 2.9843e-13 3.4106e-13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0]];
x_base = 5404.4;
x_intr = 0;
```

```

start_up = [[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]
[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]];
x_gen = [[0 530.53 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 530.53 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[417.88 0 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88
417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88 417.88
417.88 0 417.88 417.88 417.88]
[1791.2 0 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2
1791.2 1791.2 0 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2 1791.2
0 1791.2 1791.2 1791.2]
[0 0 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16
587.16 587.16 0 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16 587.16
0 587.16 587.16 587.16]
[0 723.59 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 696.79 0 0 0 0 0 0 0 703.3 28.943
28.943 28.943]
[1345.5 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36
758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36 758.36
758.36 758.36 729.42 729.42 729.42 729.42]
[0 2121.9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1998.8 0 0 0 0 0 0 0 2121.9 0 0
0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1849.8 0 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8
1849.8 1849.8 0 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8 1849.8
1849.8 1849.8 1849.8 1849.8]
[2.6651e-12 1002 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1002 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 267.98 1.6985e-12 1.9412e-12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0]];
z_intr = 0;

```


P20.1 CPLEX Çıktısı

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 1558474.96973757
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1.5584749697e+006
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.73105e+006 1.55847e+006
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  3.38609e-006 5.51358e-008
// MILP x bound error (Total, Max)        3.52449e-012 3.01290e-012
// MILP x integrality error (Total, Max)    0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)     2.24219e-011 2.55795e-012
//

profit = 1.5585e+6;
y_sell = [122.49 21 243.49 211.49 0.489 172.49 319.5 148.49 357.49 182.49 223.49
          214.49 166.5 129.22 368.22 139.22 85.222 296.22 279.22 242.22 90
          194.49 158.49 266.49];
y_buy = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
y_gen = [[0 0 0 0 0 0 44 44 44 44 44 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [111.2 0 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2
          111.2 0 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2 111.2
          111.2 111.2];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 67.4 0 0 0 0 36.524 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 123.21 0 0 0 0 0 0 0 149.6 0 0 0];
         [345.29 0 361.6 361.6 361.6 361.6 361.6 361.6 360.11 360.11 360.11
          360.11 360.11 0 361.45 361.45 361.45 361.45 361.45 361.45 361.45
          361.45 345.29 345.29 345.29];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [214.4 0 214.4 214.4 214.4 214.4 214.4 214.4 214.4 214.4 214.4
          214.4 0 214.4 214.4 214.4 214.4 214.4 214.4 214.4 0 214.4 214.4
          214.4];
         [0 0 0 0 0 -5.1159e-13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 140.8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
         [344.8 0 328.49 328.49 328.49 328.49 285.98 285.98 285.98 285.98
          285.98 285.98 0 331.48 331.48 331.48 331.48 331.48 331.48 331.48
          331.48 0 344.8 344.8 344.8];
         [80.8 0 80.8 80.8 80.8 80.8 80.8 80.8 80.8 80.8 80.8 80.8 77.687
          77.687 77.687 77.687 77.687 77.687 77.687 77.687 0 80.8 80.8
          80.8];
```

```

[0 324.8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 324.8 0 0 0 0 0 0 0 0 323.75 0 0 0]
[0 260.8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
x_base = 5689.2;
x_intr = 0;
start_up = [[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]];
x_gen = [[0 0 0 0 0 0 0 234.79 234.79 234.79 234.79 234.79 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0]
[566.77 0 566.77 566.77 566.77 566.77 566.77 566.77 566.77 566.77
566.77 566.77 0 566.77 566.77 566.77 566.77 566.77 566.77 566.77
566.77 566.77 566.77 566.77]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 418.63 0 0 0 0 226.86 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1339.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1339.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 809.01 0 0 0 0 0 0 0 982.27 0 0 0]
[1842.5 0 1929.6 1929.6 1929.6 1929.6 1929.6 1929.6 1921.6 1921.6 1921.6
1921.6 1921.6 0 1928.8 1928.8 1928.8 1928.8 1928.8 1928.8 1928.8
1928.8 1842.5 1842.5 1842.5]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1045.9 0 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9
1045.9 1045.9 0 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9 1045.9
0 1045.9 1045.9 1045.9]
[0 0 0 0 0 -3.0129e-12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 943.07 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]

```

```
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1839.9 0 1752.9 1752.9 1752.9 1752.9 1526 1526 1526 1526
1526 0 1768.9 1768.9 1768.9 1768.9 1768.9 1768.9 1768.9 1768.9 0 1839.9
1839.9 1839.9]
[394.15 0 394.15 394.15 394.15 394.15 394.15 394.15 394.15 394.15
394.15 394.15 378.96 378.96 378.96 378.96 378.96 378.96 378.96
378.96 0 394.15 394.15 394.15]
[0 2218.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2218.6 0 0 0 0 0 0 0 0 2211.4 0 0
0]
[0 1712.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
z_intr = 0;
```

P40.1 CPLEX Çıktısı

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 1729300.49929181
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1.7293004993e+006
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.90380e+006 1.72930e+006
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  3.32072e-006 5.88298e-008
// MILP x bound error (Total, Max)        1.13652e-011 8.56506e-012
// MILP x integrality error (Total, Max)    0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)     1.43759e-009 1.39698e-009
//

profit = 1.7293e+6;
y_sell = [177.54 21 250.5 267.48 56.48 228.48 319.5 205 414 239 280 271 166.5
          186 425 196 142 353 336 299 90 251 215 323];
y_buy = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
y_gen = [[287.2 0 251.69 251.69 251.69 251.69 0 287.2 287.2 287.2 287.2 287.2
          0 287.2 287.2 287.2 287.2 287.2 287.2 287.2 0 287.2 287.2 287.2]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [350.4 0 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4
          350.4 0 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4 350.4
          350.4 350.4]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1.7053e-12 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 265.88 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 267.2 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 263.98 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 306.4 0 0 0]
         [0 142.4 0 0 0 0 139.31 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [391.2 0 349.33 303.19 303.19 303.19 303.19 268.2 268.2 268.2
          268.2 268.2 0 390.18 390.18 390.18 390.18 390.18 390.18 390.18
          0 391.2 391.2 391.2]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 43.2 43.2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 90.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 390.4 108.88 0 0 0 0 0 0 0 0 0 388.18 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
```

```

[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 100 100 100 100 100 100 100 100 100 0 100 100 100 100
100 100 100 0 100 100 100]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[122.74 11.122 0 147.2 147.2 147.2 147.2 147.2 147.2 147.2 147.2
147.2 70.317 25.218 25.218 25.218 25.218 25.218 25.218 25.218
25.218 24.2 24.2 24.2]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.8422e-13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.5475e-13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 50.4 0 0 0 0 0 50.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1.7053e-13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]];

```

x_base = 5679.9;

x_intr = 0;

start_up = [[1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]

```

[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]

```

```

[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
x_gen = [[1401 0 1227.8 1227.8 1227.8 1227.8 0 1401 1401 1401 1401 0 1401
1401 1401 1401 1401 1401 1401 0 1401 1401 1401]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1734.7 0 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7
1734.7 1734.7 0 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7 1734.7
1734.7 1734.7 1734.7 1734.7]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -8.5651e-12 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 1816.1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1825.1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1768.1 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2052.2 0 0 0]
[0 935 0 0 0 0 914.73 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1936.6 0 1729.3 1500.9 1500.9 1500.9 1500.9 1327.7 1327.7 1327.7
1327.7 1327.7 0 1931.6 1931.6 1931.6 1931.6 1931.6 1931.6 1931.6
0 1936.6 1936.6 1936.6]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 258.84 258.84 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 593.57 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 2614.9 729.26 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2600 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]

```

```

[0 0 0 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8
0 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8 487.8 0 487.8 487.8 487.8]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[607.61 55.06 0 728.71 728.71 728.71 728.71 728.71 728.71 728.71
728.71 728.71 348.1 124.84 124.84 124.84 124.84 124.84 124.84
124.84 124.84 119.8 119.8 119.8]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.4275e-12 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 2.8763e-12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 313.04 0 0 0 0 0 313.04 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 -9.2428e-13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];

```

z_intr = 0;

P50.1 CPLEX Çıktısı

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 1730500.30992002
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1.7305003099e+006
// MILP solution norm |x| (Total, Max)    1.90512e+006 1.73050e+006
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  1.96049e-006 5.91824e-008
// MILP x bound error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)    0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)     2.39371e-009 2.32831e-009
//

profit = 1.7305e+6;
y_sell = [179 21 249.41 267.97 56.966 228.97 319.5 205 414 239 280 271 166.5
          186 425 196 142 353 336 299 90 247.31 211.31 319.31];
y_buy = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
y_gen = [[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [256.8 0 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8
          256.8 0 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8 256.8 7.0461 0 0
          0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [40.8 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062
          38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062 38.062
          38.062 38.062 38.062 38.062]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [75.2 0 75.2 75.2 75.2 75.2 0 75.2 75.2 75.2 75.2 75.2 0 75.2
          75.2 75.2 75.2 75.2 75.2 75.2 75.2 75.2]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 8.1855e-12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.1316e-13]
         [0 178.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.885e-13 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 244 244 244]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
         [264 0 264 264 264 264 264 264 264 264 264 264 264 264 264 264 0 264 264 264
          264 264 264 264 264 264 264]
         [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]]
```



```

[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.3521e-13 6.9633e-13 6.9633e-13
0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 243.2 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 93.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[151.2 0 0 148.85 148.85 148.85 0 151.2 151.2 151.2 151.2 151.2
0 151.2 151.2 151.2 151.2 151.2 151.2 151.2 0 151.2 151.2 151.2]
[0 3.638e-12 3.638e-12 3.638e-12 3.638e-12 3.638e-12 0 0 0 4.3459e-12
4.3459e-12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 173.6 0 0 0 0 161.58 3.1956e-12 3.1956e-12 0 0 0 148.07 0
0 0 0 0 0 173.6 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[41.8 0 0 46.856 46.856 46.856 46.856 44.538 44.538 44.538 44.538
44.538 44.538 44.538 44.538 44.538 44.538 44.538 44.538 44.538
0 53.651 53.651 53.651]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[323.2 0 323.2 323.2 323.2 323.2 323.2 323.2 323.2 323.2 323.2
323.2 0 323.2 323.2 323.2 323.2 323.2 323.2 323.2 0 323.2 323.2
323.2]
[0 369.34 145.15 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 392.63 0 0 0 0 0 0 0 388.09
0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];

```

x_base = 5685;

x_intr = 0;

```
start_up = [[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
```

```

[1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]

```



```

[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[209.94 0 0 235.34 235.34 235.34 235.34 223.7 223.7 223.7 223.7
223.7 223.7 223.7 223.7 223.7 223.7 223.7 223.7 223.7 0 269.47
269.47 269.47]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[1576.6 0 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6
1576.6 1576.6 0 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6 1576.6
0 1576.6 1576.6 1576.6]
[0 2473.8 972.21 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2629.8 0 0 0 0 0 0 0 2599.4
0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]];
z_intr = 0;

```