

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAYESYEN OYUN YAKLAŞIMI İLE ELEKTRİK ENERJİSİNDE TALEP
TARAFI YÖNETİMİ: ÜÇ TÜKETİCİLİ BİR TESİS ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep BEKTAŞ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAYESYEN OYUN YAKLAŞIMI İLE ELEKTRİK ENERJİSİNDE TALEP
TARAFI YÖNETİMİ: ÜÇ TÜKETİCİLİ BİR TESİS ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zeynep BEKTAŞ
(507121125)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507121125 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Zeynep BEKTAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“BAYESYEN OYUN YAKLAŞIMI İLE ELEKTRİK ENERJİSİNDE TALEP TARAĞI YÖNETİMİ: ÜÇ TÜKETİCİLİ BİR TESİS ÖRNEĞİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Elimhan MAHMUDOV**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Orhan FEYZİOĞLU
Galatasaray Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **20 Ocak 2015**

Hedeflerime,

ÖNSÖZ

Değerli tez danışmanım, sevgili hocam Doç. Dr. Gülgün Kayakutlu'ya, gerek bu çalışma sürecindeki yol göstericiliği ve büyük katkıları gerekse akademik hayatımı gerçekten istediğim alanda sürdürebilmem konusundaki yönlendirme ve yardımları için en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Bana inanıp desteklerini esirgemeyen hocalarım ve arkadaşlarıma; özel olarak da, bu zorlu süreçte hep yanımda olan annem, babam, kardeşlerim ve Mete'ye ayrı ayrı sonsuz teşekkürler...

Tüm bunlara layık olabilmek dileğiyle...

Ocak 2015

Zeynep Bektaş

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI	7
2.1 Yayın Tarama.....	7
2.2 Güç Optimizasyonunda Kullanılan Oyun Modelleri	9
3. ELEKTRİK ENERJİSİNDE TALEP TARAĞI YÖNETİMİ.....	11
3.1 Türkiye’de Talep Tarağı Yönetimi	15
3.2 Akıllı Sayaç ve Şebeke Teknolojileri.....	17
3.3 Talep Tarağı Yönetimi Türleri.....	18
3.3.1 Türkiye’de zamana bağı tarifeler	23
4. OYUN TEORİSİNE BAYESYEN YAKLAŞIM	25
4.1 Bayes Teoremi ve Bayesyen Oyunlar	26
5. BAYESYEN OYUN MODELİ İLE TALEP TARAĞI YÖNETİMİ.....	31
5.1 Modelleme.....	32
5.1.1 Tüketiciler için doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama modeli (MINLP).....	33
5.1.1.1 Değişkenler ve parametreler	34
5.1.1.2 Varsayımlar	35
5.1.1.3 Hedef fonksiyonu önerileri	36
5.1.1.4 Kısıtlar.....	37
5.1.1.5 Model	39
5.1.2 Tek üretici çok tüketicili sistemde Bayesyen oyun modeli.....	40
6. UYGULAMA ÇALIŞMASI	43
6.1 Fabrikaların Tanıtılması	43
6.1.1 Simülasyon sonuçları	46
6.2 Matematiksel Modellerin Çözülmesi	47
6.2.1 Birinci fabrika için alt model	48
6.2.2 İkinci fabrika için alt model	49
6.2.3 Üçüncü fabrika için alt model	50
6.2.4 Alt modellerin çözümleri	51
6.3 Bayesyen Oyunun Çözülmesi	53
6.3.1 Bayesyen oyun denge noktasının matematiksel açıdan irdelenmesi	56
6.4 Karşılaştırmalı Sonuçlar	58
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
7.1 Sonuç.....	64
7.2 Öneriler	64

KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	147

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CO₂	: Karbondioksit
CPP	: Critical Puant Pricing
DSM	: Demand Side Management
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
GWh	: Gigawattsaat
IEA	: International Energy Agency
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowattsaat
MINLP	: Mixed Integer Nonlinear Programming
MW	: Megawatt
NLP	: Nonlinear Programming
NO	: Azot Oksit
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
PAR	: Peak to Average Ratio
RTP	: Real Time Pricing
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TOU	: Time of Use
TTY	: Talep Tarafı Yönetimi
VAr	: Volt-amper-reaktif
W	: Watt
YY	: Yük Yönetimi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Türkiye'deki çok zamanlı tarife dönemleri ve birim fiyatları (Url-2)..	24
Çizelge 5.1 : Modelde kullanılan değişken ve parametreler.	34
Çizelge 5.2 : i fabrikası için bir günlük elektrik tüketim çizelgesi.	35
Çizelge 5.3 : Oyun modelinde kullanılan değişken ve parametreler.	40
Çizelge 6.1 : Fabrikalardaki kaydırılmaz cihazların saatlik tüketimleri.	46
Çizelge 6.2 : Fabrikalardaki sıra başı makinelerin hazırlık süreleri.	46
Çizelge 6.3 : Fabrikaların mevcut durumlarına ait simülasyon sonuçları.	47
Çizelge 6.4 : Fabrikalar için bulunan tüm olurlu elektrik tüketim çizelgeleri.	52
Çizelge 6.5 : Oyuncuların tip sayıları ve inanış değerleri.	53
Çizelge 6.6 : Fabrikalar için denge noktasına karşılık gelen elektrik tüketim çizelgeleri.	57
Çizelge 6.7 : Çalışma öncesi ve sonrası değerler.	58
Çizelge A.1 : Literatür tablosu.	76
Çizelge C.1 : Birinci fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).	108
Çizelge C.2 : İkinci fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).	111
Çizelge C.3 : Üçüncü fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).	114
Çizelge C.4 : Tesis genelinin 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).	117

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Yük yönetimi teknikleri.....	21
Şekil 6.1 : 1. fabrikadaki tüketimi kaydırılabilir cihazlar ve üretim sıralamaları.....	44
Şekil 6.2 : 2. fabrikadaki tüketimi kaydırılabilir cihazlar ve üretim sıralamaları.....	45
Şekil 6.3 : 3. fabrikadaki tüketimi kaydırılabilir cihazlar ve üretim sıralamaları.....	45
Şekil 6.4 : Oyuncu 1'in kazanç tablosu.	53
Şekil 6.5 : Oyuncu 2'nin kazanç tablosu.	54
Şekil 6.6 : Oyuncu 3'ün kazanç tablosu.	55
Şekil 6.7 : Birinci fabrikanın çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri.	60
Şekil 6.8 : İkinci fabrikanın çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri.	60
Şekil 6.9 : Üçüncü fabrikanın çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri.	61
Şekil 6.10 : Tesis geneline ait çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri.....	61

BAYESYEN OYUN YAKLAŞIMI İLE ELEKTRİK ENERJİSİNDE TALEP TARAFI YÖNETİMİ: ÜÇ TÜKETİCİLİ BİR TESİS ÖRNEĞİ

ÖZET

Teknolojik gelişmelerin düzeyinin, enerjinin kullanım biçimlerine etkisi büyüktür. Elektronik cihazların hayatın her alanında giderek daha büyük bir yer tutması, elektrik enerjisinin kullanım payını oldukça arttırmıştır. Üretim, iletim, dağıtım ve tüketim olmak üzere dört temel süreçten geçen elektrik enerjisinin optimal biçimde kullanılması problemi, on yıllardır gündemdedir. Son 30 yıldır ise, bu optimizasyon çalışmaları tüketim süreçlerini de içine almaktadır. Arzın karşısındaki en önemli aktör olan talep tarafının kontrol edilmesi fikriyle ortaya çıkan bu yaklaşım, Talep Tarafı Yönetimi (TTY) olarak adlandırılır. TTY ile tüketicinin faaliyetlerini olumsuz etkilemeden, elektrik talebinin daha dengeli bir hale getirilmesi amaçlanır.

Gelişmiş ülkelerde TTY programlarının en büyük destekçisi akıllı elektrik şebekeleridir. Güç üretici ve tüketicileri arasında çift yönlü iletişimi mümkün kılan bu sistemler, talebin yönetimi çalışmalarına da yeni bir boyut getirmiştir. Akıllı şebekelerin mevcut olmadığı sistemlerde ise, uygulanabilecek TTY programları sınırlı kalmaktadır. Bu çalışma ile, TTY programlarının sınırları gevşetilmek istenmiştir. Eksik bilgi durumlarını modellemekte kullanılan Bayesyen oyunlar ile, şebekedeki haberleşme eksikliğinin giderilmesi amaçlanmıştır.

Elektriği tek bir kanaldan alan tüketici gruplarının saatlik elektrik taleplerinin dengesizliği, şebeke kararsızlığını olumsuz etkilemektedir. Böyle sistemler için, saatler arası talep farklılıklarını minimize etmeyi amaçlayan bir doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Sanayi kullanıcıları dikkate alınarak kurulan modellerde, işletmelerin üretim planları da kısıt olarak bulunmaktadır. Sonraki aşamada ise, hem gruptaki tüketicilerin her birini hem de toplam değerleri göz önüne alıp şebeke kararsızlığına olan etkiyi negatif fayda fonksiyonu olarak kullanan bir Bayesyen oyun modeli kurulmuştur. Önerilen bu iki aşamalı yöntem ile, ortak optimalliği sağlayacak günlük elektrik tüketim çizelgelerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Uygulama çalışması üç sanayi tüketicisinden oluşan bir tesiste yapılmıştır. Her bir tüketici için karışık tam sayılı modeller çözüldükten sonra, üç oyunculu Bayesyen oyunun tüm verileri elde edilmiştir. Ardından oyun çözülüp, Bayesyen Nash denge noktasına ulaşılmıştır. Denge noktası, her bir oyuncunun kullanması gereken tüketim çizelgesini verir. Oyuncular bu elektrik tüketim çizelgelerini uyguladıklarında, hem şebeke kararsızlığında azalma elde edilmiş hem de buna paralel olarak elektrik tüketim maliyetleri düşürülmüştür. Ayrıca Nash teoremini doğrular biçimde, oyunculardan herhangi birinin farklı bir çizelge kullanması durumunda daha fazla fayda sağlayamayacağı da görülmüştür.

POWER DEMAND SIDE MANAGEMENT USING BAYESIAN GAME APPROACH: A CASE WITH THREE CONSUMERS

SUMMARY

The impacts of technological development level to the ways of energy usage are great. Due to the higher usage of electronic devices in every area of life, the share of electrical energy usage has increased substantially. Electrical energy includes four basic processes, i.e., generation, transmission, distribution and consumption. Optimal usage of electrical energy problem is on the agenda for decades. In the last 30 years, these optimization studies comprehend consumption process as well. The approach which is based on the control of demand side, the most important second actor, is referred as Demand Side Management (DSM). The aim of DSM is to manage electricity demand without affecting consumers' activities adversely.

Demand management programs can be divided into two topics: energy efficiency and load management. In energy efficiency studies, consumption is reduced without changing consumers' welfare. On the other hand, in load management studies, hourly load flows are regulated purposefully without changing consumption. The main objectives of these studies are to reduce grid instability, and to provide balanced load demand which is the most important desire of the supply side. Amount of the contribution to grid stability can be seen from daily load curves. The aim is to flatten the load curves with DSM studies.

The largest supporters of DSM programs in developed countries are smart grids. They brought a new dimension to the demand management studies by enabling two way digital communication between power producers and consumers. In the absence of smart grid systems, applicable DSM programs are limited. Although the usage of smart meters becomes more popular nowadays in our country, as a whole, there is not a smart grid infrastructure yet. Existing smart meters can only hold consumption data that has time dimension.

Price-based DSM is the one on which consumers are most active. The programs which are routed to directly control the customer consumptions by using incentives and penalty payments are supported by different pricing tariff applications. These pricing tariffs can be analyzed under three groups named static, dynamic and real time. These require more advanced grid infrastructure, respectively. The one which is used in our country is static, in other words, time of use tariffs. Time of use tariffs may be one-time period or multiple-time period.

The aim of this study is to loosen the limits of the DSM program when two way digital communication in electrical network is not possible. With Bayesian games, which is used to model games with incomplete information, it is intended to overcome the lack of communication in the network. Bayesian game is based on the update of belief functions with Bayesian theorem when there exist incomplete information about the players or information cannot be shared. Besides, different from other games, in these kind of games, there exists 'type' concept. This can be

seen as a component reflecting a player's decision. In Bayesian games, equilibrium point is called as Bayesian Nash equilibrium and as in other games; in Bayesian games there is at least one Bayesian Nash equilibrium if types and actions of players are finite.

Grid instability is adversely affected by hourly demand imbalance of consumer groups that take electricity from a single channel. For such systems, a mixed integer nonlinear programming model is proposed to minimize the hourly demand differences. In the model, a nonlinear objective function is used which reflects the consumption amount differences of three-time period tariffs proportionally that are used in our country. Furthermore, another objective function is proposed for the cases where different tariffs are used. In addition, in the models where industrial users are taken into account, when total consumption is given as constant, enterprises' production plans are constrained.

The model proposed in this study is solved by using GAMS software. However, the outputs taken from this model are not the optimum results of this study but they reflect the all results that are in the feasible area. After feasible consumption schedules are set for each consumer, they are transmitted to a central control unit that is outside the consumers and the game model will be applied here. Each of the resulting feasible schedules will refer to the types of players in the game.

After obtaining all the components of Bayesian game, a Bayesian game model that uses payoff function is constructed that takes into account each consumers in the group as well as the whole. The payoff function is composed of the indicators that are goal functions of mixed integer programming models, but the indicators are used with negative coefficients not to destroy utility maximization principle. With this proposed two-step method, daily electrical consumption schedule is aimed that provides common optimality. When the game's equilibrium point is determined, according to the corresponding schedules, for each consumer, how much electricity consumed for each hour will be determined and the consumers will use devices in accordance with this order.

Application study is conducted in a facility consisting of three industrial consumers. For each customer, mixed integer models are created and these models are solved with GAMS software. The outputs of this model are seen as the inputs of the model of the next step. For each consumer different numbers of types are found. As the next step, with the help of Microsoft Excel program, game model is solved and Bayesian Nash equilibrium point is reached. Each player has seen the need to implement which consumption schedule for the purpose of common optimality. In accordance with Nash Theorem, it is seen that if any player use different schedules, they cannot provide a higher utility level.

Past consumption data that reflects the current status of the facility studied is created with simulation. To determine the combinations of machine usage in the factories, macros in Excel is used in this stage. When the consumption schedules gathered as a result of the method are compared with the historical data, a reduction in the power consumption costs as well as a reduction in grid stability is observed. The contribution to grid stability is shown by comparing load curves of the old and new situation.

Without violating existing production plans of the sampled factories and without changing total daily energy consumption, for each consumer and for factories as a whole, most balanced power consumption schedules are determined. Thus, grid

instability originate from the factories is minimized and hence the purpose of the study is realized. Last but not least, proposed method's applicable areas and improvable points for the proposed study are discussed and proposals are offered.

1. GİRİŞ

Enerji dünyadaki ekonomik, politik ve sosyal dengelere yön veren en önemli etken olma yolunda ilerlemektedir. Buna paralel olarak gelişen teknoloji ve her gün hayatımıza kattığı yeni elektrik tüketen cihazlar, pazara hızlı giren elektrikli arabalar, özellikle elektrik enerjisine olan ihtiyacın payını arttırmaktadır. Elektriğin gündelik hayattaki kullanımının yanı sıra, gelişmiş sanayilerde de elektrikli makine ve robotların kullanımı gittikçe artmaktadır. Dünyamızdaki her kişi, topluluk, kurum ya da devleti istisnasız şekilde yakından ilgilendiren böyle bir kaynağın; doğal üretim olanaklarından nihai tüketicisine kadar bütün döngüsü önemli ve araştırılmaya açık bir konu haline gelmiştir.

Elektrik enerjisi sistemlerindeki bu döngüyü oluşturan dört ana süreç üretim, iletim, dağıtım ve tüketimdir (Law ve diğ, 2012). Tüm bu süreçler boyunca dolaşan elektriğin miktarı, maliyeti ve sistemlerin doğru kullanımı oldukça önemli kriterlerdir; ancak üretimdeki verimliliği ve karı devamlı artırma eğilimi elektrik sistemlerine yapılacak yüksek fiziksel yatırımların önüne geçmektedir. Daha az maliyetli, daha etkin çözümler tercih edilmektedir.

Geçmişteki geleneksel yaklaşımlardan bugünkü enerji üretim ve tüketim alışkanlıklarına kadar olan pek çok değişimin tetikleyicisi 1973 Petrol Krizi, dolaylı olarak talep tarafının kontrolü fikrinin ortaya çıkmasına da sebep olmuştur. Talep Tarafı Yönetimi (TTY) kavramı ilk olarak 1970'li yıllarda ortaya çıkmış, ilk örnekleri ise konutlarda uygulanmıştır. TTY anlayışından önce güç sistemlerinin üretim, iletim ve dağıtım kısımları üzerine yoğunlaşan çalışmalar, bu kavramla tüketim kısmına kaymış, talep tarafının da güç sistemlerinin optimizasyonunda önemli bir rol oynayabileceği anlaşılmıştır (Law ve diğ, 2012).

Eski yaklaşımda, bir güç sisteminin optimizasyonu yapılırken talep kontrol dışı bir etken olarak düşünülüp, tüm sistem talebi karşılamaya yöneliyor; öngörülemeyen talep miktarlarına karşı da kapasiteler yüksek tutuluyordu. Yakın zamandaki yaklaşımla talebin de araştırma – geliştirme çalışmalarına dahil edilebileceği fark

edilmiş; talep tarafının bir aktör olarak oyuna katılması halinde, güç sistemlerinin yönetilmesindeki etkinlik artmıştır.

TTY yaklaşımında talep tarafına uygulanan kontrol, üretime uygulanan kontrol gibi katı değildir. TTY, yük yönetimi ile toplam tüketim değiştirilmeden yük kaydırma ve verimlilik önlemleri ile tüketimi azaltma olarak iki farklı şekilde uygulanabilir. Tüketici ihtiyaçlarından kaynaklanan kısıtlamalar çerçevesinde, tüketim zaman dilimleri arasında dengelenmeye veya tasarruf önlemleri saptanıp güç tüketimi miktarı, üretimi ya da günlük ihtiyaçları etkilemeyecek şekilde azaltılmaya çalışılır.

Elektrik piyasalarındaki liberalleşmeler hem gelişmelere hem de sistemlerin karmaşıklaşmasına neden olmuştur. Tüketim sürelerinin yanında, saatlerinin de elektrik maliyet ve fiyatlarını etkiler hale gelmesi, değişken elektrik fiyatlarını dikkate alan çizelgeleme çalışmalarını zorunlu kılmaktadır. Son 20-30 yıldır, kısa dönemli üretim planlama ve çizelgeleme daha fazla önem kazanmıştır. Özellikle de sanayi sektöründe, üretim süreçlerinin güç tüketimlerine çizelgeleme bakış açısıyla yaklaşıldığından beri, elektrik tüketimi de operasyonel çizelgeleme problemlerinin bir parçası olmuştur. Günümüzde matematiksel programlama ve bilişim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, iyi formüle edilmiş matematiksel modeller sanayiye enerji yönetimi ve üretim planlamasını bir arada yapabilme fırsatı sunmaktadır. Böylece verimli ve sürdürülebilir sistemler oluşturulabilir (Merkert ve diğ, 2015).

TTY programlarının getirdiği ve gerektirdiği güncel elektrik sistemi teknolojileri kronolojik olarak sıralandığında, ilk olarak karşımıza çok zamanlı tarifeler ve bunlara bağlı olarak akıllı sayaçlar çıkar. Başlangıçta yalnızca zamana bağlı tüketim verisi tutan akıllı sayaçlar gelişerek, uzaktan kontrol edilebilme, haberleşmeyi sağlama gibi özellikler kazanmışlardır. Bu gelişmeler de bir bütün olarak akıllı şebekeleri beraberinde getirmiştir. Son yıllarda giderek yaygınlaşan akıllı şebekeler, TTY programlarının artması ve gelişmesinde büyük pay sahibidir; zira bahsedilen akıllı sistemlerle üretici ile ona bağlı tüketiciler arasında çift yönlü iletişim sağlanabilmekte, bu da talep tarafının daha etkin katılımını mümkün kılmaktadır.

Ülkemizde 2000’li yıllardan itibaren, çok zamanlı tarife kullanımı bir opsiyon olarak tüketicilere sunulmuş; buna bağlı olarak akıllı sayaçlar kullanılmaya başlanmıştır (Öztemür ve Soysal, 2013). TTY programlarının uygulanmaya başlanmasında bir ilk adım olarak görülebilecek çok zamanlı tarifelere karşı, talep tarafının da bu tarifelere

geçişleri arttırarak düzenlemelere katılması gerekmektedir. Ayrıca, hazırlanacak TTY programlarının ulusal olması, ülkenin elektrik üretim - tüketim yapısına uygun olması gerekir (Özil, 2006). Dolayısıyla ülkemizde yapılacak bir TTY çalışmasında, akıllı şebekelerin eksikliğini giderme yönünde bir yaklaşım sergilemek yerinde olacaktır.

Elektrik arzı, talebin dengeli olması halinde etkindir. Yük yönetimine yönelik TTY'nin asıl amacı da şebeke kararsızlığını azaltmaktır. Bu amaç doğrultusunda iyileştirmeler yapmak, maliyet düşüşlerini de beraberinde getirir. Bu tez çalışmasında da böyle bir TTY yaklaşımı kullanılacaktır. Ele alınacak talep tarafının, toplam elektrik tüketimini kesinlikle değiştirmeden, refah düzeyi ya da iş planlarını etkilemeden, elektriği nasıl bir düzende, hangi çizelgeyle tüketmelerinin tek tek kullanıcılar için ve sistem geneli için daha iyi olacağı sorusuna cevap aranacaktır. Yük yönetimi (YY), bir başka deyişle elektrik tüketim çizelgelemesi, matematiksel modeller geliştirerek kompleks algoritmalar ile çizelgeleme yapmaya açıktır.

TTY uygulamalarının kısıtlı, bu konudaki bilincin ise yeterince yerleşmemiş olduğu durumlarda, önceliği sanayide yapılacak çalışmalara vermek mantıklıdır. Ülkemizde çok zamanlı tarife kullanımının daha fazla sanayi tüketicilerinde yaygın olması da, bunu doğrular niteliktedir. Üretimin elektrik tüketimini çizelgelemede, ürün taleplerini karşılamak için halihazırda var olan üretim sıralamaları ve planları kısıtlar olarak karşımıza çıkmakta; bu özelliği kullanım çalışmamızın orijinalliğini arttırmaktadır.

Yük yönetimi yapılırken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, bütünsel yaklaşımdır. Tek bir tüketici için de yük dengelemesi yapılabilir; ama bu yaklaşımın asıl amacı şebeke kararsızlığını gidermek olduğundan, tek seferde ne kadar büyük bir tüketici grubu için yük yönetimi yapılabilirse o kadar iyi olur. Birden fazla tüketiciden oluşan grupların yüklerinin yönetimi problemi, bir oyun olarak görülebilir. Literatürde de TTY programlarının uygulanmasında oyun teorisi kullanımı yeni ama giderek artmakta olan bir durumdur.

Öte yandan, oyun yaklaşımıyla modellenen YY programlarında çoğunlukla akıllı elektrik sistemleri mevcut, dolayısıyla güç üreticileri ile tüketicileri arasında çift yönlü iletişim mümkündür. Son yıllarda, talep tarafının katılım gösterdiği güç optimizasyonu çalışmalarına akıllı şebeke teknolojileri yön vermektedir. Oysa ülkemizde henüz çift taraflı iletişim altyapısı yoktur; bu eksikliği gidermek de ancak

zamana bağılı tarife ve uygun matematiksel modeller ile mümkün olmaktadır. Bu sebepten, çalışmamızda literatürde örneği olmayan farklı bir oyun türü olan Bayesyen oyun kullanılacaktır.

Bu tez çalışmasının amacı, elektrik ihtiyacını tek kanaldan karşılayan talepleri yüksek tüketici grupları için yük yönetimi yaparak, bulundukları bölgenin şebeke kararsızlığı üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmektir. Bunun için önerilen modelde, doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama ile birlikte Bayesyen oyun yöntemi kullanılmıştır. Sanayide uygulanan YY çalışmalarında üretim planlarını da dikkate alan böyle bir örneğin olmayışı, talep tarafı katılımının oyun şeklinde modellendiği benzer çalışmalar olmasına karşın Bayesyen oyun yaklaşımının ilk kez kullanılıyor oluşu ve modelde yapılan hedef fonksiyonu önerileri çalışmamızın literatüre katacağı yenilikler olarak sayılabilir. Ülkemizdeki akıllı elektrik sistemlerinin eksikliğini kapatarak, TTY programlarında dünyanın gerisinde kalınmaması bakımından da bir katkı sağlaması umulmaktadır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde, elektrik sistemlerindeki optimizasyon çalışmaları üzerine yapılan literatür araştırmaları ve elde edilen çıkarımlar aktarılmıştır. Üçüncü bölümde, elektrik enerjisinde TTY yaklaşımı tüm yönleriyle anlatılmış, özel olarak da ülkemizdeki durum aktarılmıştır. Ardından akıllı elektrik sistemleri daha detaylı açıklanmış; son olarak da geçmişten beri kullanılmış tüm TTY tür ve yöntemleri sınıflandırılarak tanıtılmıştır.

Dördüncü bölüm, oyun yaklaşımı ve bu çalışmada kullanılan Bayesyen oyunlar hakkında bilgiler içermektedir. Beşinci bölümde ise model önerisi yer almaktadır. Kullanılan hedef fonksiyonu üç zamanlı tarifelerde şebeke kararsızlığını azaltmaya yönelik daha önce kullanılmamış, yeni bir indikatörden oluşmaktadır. Öncelikle tek tek her tüketici için kurulacak karışık tam sayılı model tanıtılmış, ardından tüketicilerin ortak olarak katılacağı oyun modeli anlatılmıştır.

Altıncı bölümde, önerilen modelin uygulamasına yer verilmiştir. İçerisinde, farklı sanayi kollarında üretim yapan üç fabrika bulunduran bir tesis ele alınmıştır. Fabrikalar tanıtılmış, her birinin özelliklerine uygun modeller oluşturularak çözülmüştür. En sonunda, fabrikaların ve tesis genelinin eski ve yeni durumları karşılaştırılmıştır. Çalışma öncesi durumu yansıtan veriler simülasyon ile üretilmiş, gerçek veri kullanılmamıştır. Tez çalışması bu yönüyle teorik bir çalışma olarak değerlendirilebilir.

Yedinci ve son bölümde ise, çalışma sonucunda elde edilenler tartışılmış; önerilen TTY yaklaşımının uygulanabileceği alanlar ve geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışma, talebini tek elektrik üreticisinden karşılayan birden fazla tüketicinin bulunduğu sistemler için yeni bir bakış açısı yaratacaktır. Organize Sanayi Bölgeleri bunun en iyi örneği olacaktır.

2. ELEKTRİK SİSTEMLERİNDE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Çalışmaya başlamadan önce bu alanda bu zamana dek neler yapıldığını görmek, eğilimleri ve boşlukları analiz etmek için literatür araştırmaları yapılmış, çalışma süresince de literatür bir yandan takip edilmiştir. Bu kapsamda incelenen, 1981 – 2015 yılları arasında yayınlanmış 87 çalışma Ek A’da, Çizelge A.1 ile verilmiştir.

2.1 Yayın Tarama

Elektrik sistemlerinin optimizasyonunda ilk akla gelen yaklaşımlardan biri verimlilik çalışmalarıdır. Henning ve diğ. (2006), Trygg ve diğ. (2006), Giaccone ve Manco (2012), Jebaraj ve diğ. (2013), Moon ve diğ. (2013) ve Swanepoel ve diğ. (2014)’te olduğu gibi, elektrik sistemlerinin farklı aşamalarında verimliliği arttırmak üzerine çalışmalar mevcuttur.

1980’lerde Talep Tarafı Yönetimi yaklaşımına, 2000’lerden sonra da akıllı şebeke ve sayaç teknolojilerine alışma ve geçiş süreçleri de pek çok çalışmaya konu olmuştur. Chan ve diğ. (1986), Lescoeur ve Galland (1987), Shwehdi ve Khan (1996), Olsina ve diğ. (2006), Strbac (2008), Palensky (2009), Valencia-Salazar ve diğ. (2011), Wang ve diğ. (2011), Law ve diğ. (2012), Atikol (2013), Figueiro ve diğ. (2013), Lopez-Rodriguez ve diğ. (2013), Şanlı ve Alanyalı (2013), Erol ve diğ. (2014), He ve diğ. (2015) ve Macedo ve diğ. (2015) çalışmalarında TTY programlarının uygulanması, talep tarafının katılımı, akıllı şebeke ve sayaç sistemleri üzerine incelemeler yapılmış; bu konulardaki adaptasyon süreçleri analiz edilmiş, potansiyeller belirlenmiştir.

Yük yönetimi ve talep tarafı yönetimi kavramları üzerine tarihsel incelemelerde bulunan, sınıflandırmalar içeren sözel çalışmalar da vardır. Bunlara Paracha ve Doulai (1998), Özil (2006), Shaw ve diğ. (2009), Kosek ve diğ. (2013), Lampropoulos ve diğ. (2013), Bergaentzle ve diğ. (2014) ve Gelazanskas ve Gamage (2014) örnek verilebilir.

Farklı elektrik tarifiesi uygulamalarının da TTY programlarının işleyişindeki yeri büyüktür. Bu konudaki ilk örneklerden biri, McDonald ve Lo'nun (1990) endirekt yük kontrolü için uygun tarifeler oluşturulması amacıyla yaptıkları çalışmadır. Tarifeler ve fiyatlandırma biçimleri hakkındaki diğer çalışmalar ise Alvarez ve diğ. (2004), Eissa (2011), Wang ve Li (2011) ve Rogers ve Polak (2013)'tür.

TTY programlarında, talep yani tüketim yönetildiğinden, en sık kullanılan yaklaşımlardan biri çizelgelemedir. Bunun çok farklı yöntemleri vardır. Yapılan literatür okumalarından bu alanda göze çarpan örnekler Svoboda ve Oren'in 1994'teki çalışmalarından itibaren, Roos ve Lane (1998), Gottwalt ve diğ. (2011), Adika ve Wang (2014), Mahmood ve diğ. (2014), Dahal ve diğ. (2015) ve Ratnam ve diğ. (2015) çalışmalarıdır.

Elektrik şebekeleri üzerine yapılan optimizasyon çalışmalarını konut/işyeri kullanıcıları ve sanayi kullanıcıları için olanlar olmak üzere ikiye ayırmak da mümkündür. Konut ve işyerlerindeki tüketim üzerine yapılan çalışmalara Chan ve diğ. (1981), Lujano-Rojas ve diğ. (2012), Xue ve Shengwei (2012) ve Marwan ve diğ. (2014); sanayiye özel çalışmalara Babu ve Ashok (2008) ile Wang ve Li (2013) örnek gösterilebilir.

Belirli tüketim kalemlerinin şebeke üzerindeki etkisini dikkate alarak, bunlar üzerine özel çizelgeleme çalışmaları yapılan yayınlar da mevcuttur. Al-Iriani (2005) ve Lu ve Yao (2006), bu şekilde iklimlendirme ve havalandırma sistemlerini ele almışlardır. Lopes ve diğ. (2009) ve Bahrami ve Parniani (2014) ise, çalışmalarında elektrikli taşıtların şarj gereksinimlerini dikkate almışlardır.

Wu ve diğ. (2004) bir şebekedeki kullanıcıların sosyal faydalarını maksimize etmek için çok hedefli matematiksel modeller üretmiş; Samadi ve diğ. (2010) ise benzer şekilde kullanıcıların ortak faydasını maksimize etmek istemiştir. Chen ve diğ. 2009'daki çalışmalarında dağıtım sistemlerinin saatlik elektrik yükleri arasındaki korelasyonu analiz ederken, Ferreira ve diğ. (2012) aynı yaklaşımı farklı zaman dilimlerindeki birim elektrik fiyatları için uygulamışlardır. Bunların yanı sıra, farklı noktalara değinen çalışmalar da mevcuttur.

2.2 Güç Optimizasyonunda Kullanılan Oyun Modelleri

Talep Tarafı Yönetimi çalışmalarının oyun modelleri ile yapılması literatürde son yıllarda rastlanılan bir durumdur. Bu alandaki sayılı yayından ilk anılması gereken, bu çalışmanın da çıkış noktası olan Mohsenian-Rad ve diğ. (2010)'nin oyun teorisi ile konut kullanıcıları için bir enerji çizelgeleme oyunu tasarladıkları makaledir. Bu modelde tek bir güç üreticisi, birden fazla enerji müşterisi vardır. Tasarlanan oyunda müşteriler oyuncu, günlük enerji tüketim çizelgeleri ise stratejilerdir. 2014 yılında ise, Bahrami ve Parniani elektrikli taşıtların şarj ihtiyaçlarını yönetmek için bir oyun modeli ile çizelgeleme çalışması yapmışlardır.

Chen ve diğ. (2014), 'bencil tüketici' olarak niteledikleri müşterilerin kendi enerji maliyetlerini minimize etme amacı güttükleri bir ortamda kolektif bir oyun modelleyerek, Nash dengesinin varlığını ve tekliğini araştırmışlardır. Mangiatordi ve diğ. (2013) dinamik fiyatlandırmanın olduğu ortamda tasarladıkları dayanışmacı olmayan oyunun dengeye ulaşması için, çok hedefli bir parçacık sürü optimizasyonu algoritması önermişlerdir. Samadi ve diğ. (2012) ise akıllı fiyatlandırma yöntemlerinin sosyal katkılarını maksimize etme üzerine yaptıkları çalışmalarında, tam bilgi durumunda tasarladıkları oyunda tüm fayda fonksiyonlarını maksimize, sistemin toplam enerji maliyetini de minimize etmeyi amaçlamışlardır.

Su ve Huang (2014) "Enerji İnternet" kavramını öne sürdükleri makalelerinde, bu sistemi oyun teorisi ile modellemişlerdir. Farklı tip enerji hücreleri için üç farklı modelin önerildiği çalışmada, diğer çalışmalarda rastlanmamış olan Nikaido - Isoda fonksiyonu kullanılarak Nash denge denklemi optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Yang ve diğ. (2012) elektrik fiyatlarının kullanıcılar tarafından en baştan bilindiği bir fiyatlandırma sisteminde, fayda fonksiyonlarının kullanıcı tatmini ve talepteki değişkenliğin maliyete etkisine göre tüketici ve üreticiler için ayrı ayrı yazıldığı bir oyun tasarlamışlardır. Kurulan modeli Newton – Raphson yöntemi ile yinelemeli biçimde çözmüşlerdir.

Wu ve diğ. (2011), Mohsenian-Rad ve diğ. (2010)'nin çalışmasındaki modele benzer bir model kurarak dinamik potansiyel oyun teorisi kullanmışlardır. Çalışmanın sonuç kısmında, ileride bunun eksik bilgi durumu versiyonu üzerine de çalışılabileceğinden bahsedilmiştir. Ancak literatür tarandığında, henüz yayınlanmış böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Chen ve diğ. (2011) ise, bilinen oyun teorisinden daha önce

önerilmiş olan ve yaygın olarak iktisat alanında kullanılan Stackelberg Oyunu'nu kullanmışlardır. Güç sağlayıcının lider düzeyinde, tüketicilerin takipçi düzeyinde oldukları bir model tasarlanmıştır. Atzeni ve diğ. (2013) yaptıkları dağıtık üretim ve depolama optimizasyonu çalışmasında, fayda fonksiyonlarında tüketicinin yanında üretim ve depolamanın da yer aldığı dayanışmacı olmayan bir oyun tasarlamışlardır. Modelin çözümü için yinelemeli bir dağıtık algoritma önermişlerdir.

Sheikhi ve diğ. (2015), mevcut enerji yönetim birimlerini akıllı sistemlere adapte edebilmek için, fayda fonksiyonunda elektrik maliyetlerinin minimizasyonu olan bir oyun modellemiştir. Nwulu ve Xia (2015) ise, diğerlerinden farklı olarak üretim tarafında yaptıkları çalışmalarında çok hedefli optimizasyon ve oyun teorisini bir arada kullanarak müşterilere sunulacak saatlik elektrik fiyatlarını belirlemiştir.

Yukarıda sayılan makalelerin neredeyse tamamında akıllı sayaç teknolojilerinin ulaşılabilir, akıllı şebeke altyapılarının mevcut olduğu, dolayısıyla güç üreticileri ile tüketicileri arasında çift yönlü iletişimin mümkün olduğu sistemler ile çalışılmıştır. Dolayısıyla bu sistemlerde kullanılan fiyatlandırma türleri de, gerçek zamanlı fiyatlandırma gibi dinamik yapılı tarifelerdir. Yalnızca Yang ve diğ. (2012)'nin çalışmasında saatlere göre birim elektrik fiyatlarının önceden belirli olduğu zamana bağlı tarife uygulanmıştır; zira bu sistemde çift taraflı iletişim altyapısı yoktur, bunun eksikliğini gidermek de ancak zamana bağlı tarife ve uygun matematiksel modeller ile mümkün olmaktadır.

Ayrıca, TTY literatüründe bu çalışmada kullanılacak olan Bayesyen oyun yaklaşımı ile yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. ELEKTRİK ENERJİSİNDE TALEP TARAĞI YÖNETİMİ

Talep Tarafı Yönetimi, uzun vadeli enerji verimliliği programları ve teşvik oranlarından, dağıtık enerji kaynaklarının gerçek zamanlı kontrolüne kadar geniş bir alanı kapsayan politika ve önlemler serisidir (Lampropoulos ve diğ., 2013). Yeni sistemler kurmadan, yeni yatırımlar yapmadan mevcut enerjinin daha verimli kullanımını amaçlayan, güç üretici kurumun müşterilerinin talebini izlemesi ve kontrolü üzerine kurulu bir yaklaşımdır.

Talep yönetimi programlarında ortak olan iki temel amaç tüketimi azaltmak ve kaydırmaktır. Tüketimi azaltmak tüketicileri bilinçlendirerek veya enerji verimli cihazların kullanımına ağırlık vererek sağlanabilir (Mohsenian-Rad ve diğ., 2010). Talep yoğunluğunun çok farklı olduğu saat dilimleri ve buna göre uygulanan fiyatlandırmalardan yola çıkılarak, toplam tüketimi değiştirmeden zaman dilimleri arası eşitliğin maksimize edildiği tüketimi kaydırma yöntemi ise günümüzdeki çoğu TTY çalışmasının esas amacıdır.

Uluslararası literatürdeki karşılığı Demand Side Management (DSM) olan TTY, 1970'li yıllarda, ilk olarak konutlarda yapılan çalışma örnekleri ile başlamıştır (Roos ve Lane, 1998). 1973 Petrol Krizi ile petrol fiyatlarındaki büyük artış, enerji üretim tesislerinin yatırım maliyetlerindeki artışı tetiklemiştir. Aynı zamanda bu tesisler için lisans zorunlulukları getirilmeye başlanmış, yeni bir tesisin inşası 5 – 8 yıl arası sürmekteyken, bu süre 15 yıl ve üzerine çıkmıştır. Diğer yandan hava kirliliğini daha çok dikkate almayı gerektiren yasa değişiklikleri yapılmış; enerji üreticileri karbon salımlarını azaltma ve kontrol etme zorunluluğu ile karşı karşıya kalmışlardır (Paracha ve Doulai, 1998). Geleneksel yaklaşım, ne zaman ne kadar enerji talep ediliyorsa onu üretmek, dolayısıyla üretim ve iletim – dağıtım hattı kapasitelerini yüksek tutmaktı (Chen ve diğ., 2011). Batıdaki güncel yaklaşım ise, tüketiciler ile anlaşmalar yaparak, üretim sistemi üzerinde kontrol sağlamaktır (Gelazanskas ve Gamage, 2014). Bu yeni yaklaşımla, arz – talep dengesi optimum noktalara çekilebilmektedir.

TTY güç üretim kapasitesi ile talebi örtüştürmek için iyi bir yoldur. Elektrik tüketen tüm bileşenleri kontrol eder ve çalışma biçimlerini en düşük maliyetle en verimli hale getirir (Gottwalt ve diğ, 2011). TTY, kullanıcıları en yüksek talep döneminde daha az güç tüketmeye ya da tüketimlerini diğer dönemlere kaydırmaya teşvik ederek yük eğrisini düzeltmeye çalışır. Bazı durumlarda da eğriyi düzeltmek yerine, söz konusu işletme için uygunluğu kabul edilmiş tek bir üretim çizelgesi örneğine uymaya çalışılır. İki durumda da, tüketimler üzerinde bir kontrol söz konusudur (Gelazanskas ve Gamage, 2014).

TTY arz – talep dengesine odaklanarak, kararsızlıktan kaynaklanan üretici maliyetlerini engeller. Bununla birlikte, yenilenebilir kaynaklı üretim yapılan tesislerde fosil kaynaklı üretime yapılacak yatırımların da önüne geçilmiş olur (Gottwalt ve diğ, 2011). Fazladan üretim kapasitelerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Güç üreticileri için müşterilerden gelen talebin sabit olması oldukça önemlidir; devamlı olarak ortalama bir kapasitede üretim yapmak onlar açısından daha verimlidir (Yang ve diğ, 2012). Arz tarafınca bu istek uzun yıllardır dile getirilmektedir ve dünyadaki ilk TTY çalışmalarında da önemli rol oynamıştır (Shwehdi ve Khan, 1996). TTY'nin ana kullanım sebeplerinden birinin güç şebekelerinin stabilliğini arttırmak olduğu söylenebilir (Palensky, 2009).

Yoğun araştırmalara rağmen talep tarafına, enerji kullanıcılarına uygulanabilecek denetim, üretimdeki kontrole nispeten oldukça zayıf kalmaktadır. Bunun sebebi, nihai kararı verip tüketimi gerçekleştirecek olanın müdahale edilemez başka bir irade olmasıdır. Dağıtık enerji üretiminin yaygın kullanımı da kontrolü gittikçe zorlaştırmaktadır. Çözüm olarak, üretici ile tüketici taraflar arasındaki anlaşmaların gücünü arttıracak yönde çalışmalar artmaktadır (Gelazanskas ve Gamage, 2014). TTY uygulamaları gerçek hayat etkileriyle ilgili önemli bilgiler sağlasa da, sınırlı sayıda yeni teknoloji ve kontrol stratejisinin bir arada etkilerini göstermektedir. Dolayısıyla bu alanda araştırılacak hala pek çok konu bulunmaktadır (Gottwalt ve diğ, 2011).

Bir güç şebekesi en genel bakışla dört kısımdan oluşmaktadır: Üretim, iletim, dağıtım ve tüketim. TTY anlayışının gelişmesinden önce bunların ilk üçü üzerine çalışılmıştır; ama artık talep tarafı teknolojileri de verimlilik için önem arz etmektedir (Law ve diğ, 2012).

Kurulu güç kapasitesinin daima en yüksek talebi karşılayabilmesi gereklidir. Ayrıca öngörülemeyen talep artışı ve üretim çıktısındaki değişkenliklere karşı da yedek kapasiteye ihtiyaç vardır (Strbac, 2008). Sanayide elektrikli cihazların ve otomasyonun kullanımındaki artış, elektriğin olmaması durumunun maliyetlerini de arttırmıştır. Diğer yandan bu yöndeki önlemler, en yüksek talep dönemi dışındaki dönemler için kapasite fazlalığını beraberinde getirecektir. İki durumu dengeleyecek bir çözüme ihtiyaç vardır.

Şebeke verimliliğini düşüren en önemli faktörlerden biri de iletim ve dağıtım aşamalarındaki hat kayıplarıdır (Law ve diğ, 2012). Elektrik enerjisi ağları farklı arz ve talep noktalarına bağlıdır; bu hem tüm sistemin maliyetini azaltır hem de arz güvenliği sağlar. Ancak, bir elektrik sisteminde güç talep noktasına teslim edilinceye kadar mutlaka belli bir oranda kayba uğrar. Bu kayıplar doğrudan ölçülemez, ancak ağa giren ve çıkan güç miktarları arasındaki fark ile hesaplanabilirler (Shaw ve diğ, 2009). Dünya genelinde ülkelerin ortalama kayıp oranı %8,1, Avrupa Birliği'nde %6,2'dir. Türkiye'de ise güncel kayıp kaçak oranları, yapılan çalışmalara rağmen ancak %15'ler seviyesine gerileyebilmiştir (Url-1).

Literatürdeki kayıp terimi, ülkemizde oldukça fazla olan kaçak kullanımlarını da içermekte, bizde kullanılan kayıp - kaçak terimini karşılamaktadır. Literatürde kayıplar, fiziksel teknik kayıplar ve ticari teknik olmayan kayıplar olarak ikiye ayrılır. Teknik kayıplar bertaraf edilemeyen kayıplardır; demir kayıpları, bakır kayıpları ve sürtünme kayıpları olmak üzere üç çeşittirler. Teknik olmayan kayıplar ise, kaçak kullanımlar ve sayaçlar ile tarife sistemlerindeki hatalardan kaynaklı kayıpları içerir (Shaw ve diğ, 2009).

Ağ operatörleri için kayıpları azaltmanın farklı yolları vardır, bunlardan biri de TTY'nin de amacı olan güç akışı profilini şekillendirme yöntemidir (Shaw ve diğ, 2009). Hattın kaybı, hattan geçen akım miktarının karesi ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla en yüksek talep miktarlarının azalması kayıpları azaltıp verimi arttıracaktır. Düzgün, varyansı düşük bir yük eğrisi verimlilik ve altyapıdan faydalanabilme açısından tercih edilir (Law ve diğ, 2012).

Tüketim aşaması da en az diğerleri kadar TTY programlarını zorunlu kılmaktadır. Elektriğe olan talep hem mevsimsel hem de bir günün farklı saatlerinde değişkenlik gösterir. Bu en temel değişkenliğin yanında, tüketici tercihlerine bağlı değişkenliğe sebep olacak pek çok faktörle karşılaşılabilir. Özellikle konutlarda, farklı cihazları

kullanım alışkanlıklarındaki çeşitlilik talebi değişken kılar. Bu durum sanayide biraz daha öngörülebilir haldedir. Mevsimsel ve saatlik değişimlerse üretimde büyük dalgalanmalara yol açacak biçimdedir. Örneğin yıllık en düşük talep yaz gecelerinde olur ve bu kış mevsimindeki en yüksek talep dönemi talebinin yalnızca %30'u kadardır (Strbac, 2008).

Üreticilerin TTY yapılandırması, kurum özellikleri ve dış çevreye göre oluşturulur. Kurumlar ne kadar ikna ve bilinçlendirme çalışmasında ve teşvik faaliyetinde bulunsa da, programın nihai başarısı müşteri kararı ile sağlanır. Başarıya ulaşmak için, TTY'de üretici ve tüketicilere en yüksek ortak faydayı sağlayacak bir ortaklık kurulmalıdır (Roos ve Lane, 1998). Böyle bir hedef, oyun teorisi yaklaşımını gerekli kılar.

TTY'nin faydaları şu şekilde özetlenebilir (Strbac, 2008; Eissa, 2011):

- En yüksek talebi azaltarak, üretim üst sınırını düşürür.
- İletim ve dağıtım şebekelerine yapılan yatırımların verimliliğini geliştirir.
- Ekipmanlardan daha etkin biçimde faydalanılmasını sağlar.
- Kesintili yenilenebilir kaynakları devreye sokarak arz – talep dengesine katkı sağlar.
- Dağıtık üretimli sistemleri yönetmeyi kolaylaştırır.
- Kayıp güç miktarları azalır.

Toplam talebi değil, en yüksek dönem talebini azaltmak şebeke kararsızlığını azaltır (Law ve diğ, 2012). Tüm bunların sonucunda ekonomik, sosyal ve çevresel fayda sağlanır.

TTY programlarının uygulanılmasında karşılaşılan zorluklar ise şöyle özetlenebilir (Strbac, 2008):

- Bilgi ve iletişim teknolojisi altyapılarının eksikliği, faydalarının çok iyi anlaşılamayarak sosyal kabul edilirliğinin düşmesi
- Henüz geleneksel yaklaşımlarla rekabet edebilme güçlerinin düşük olması, eski yaklaşımlara göre sistemi yürütmedeki karmaşıklığı arttırıyor olmaları
- Uygun olmayan piyasa yapıları ile teşvik eksiklikleri

Elektrik şebekelerini modernleştirip teknolojilerini ilerleterek, elektrik üretim verimliliğini arttırmak, üretimin karbon ayak izini azaltmak ve şebekeleri daha güvenilir ve emniyetli kılmak mümkündür (Gelazanskas ve Gamage, 2014).

3.1 Türkiye’de Talep Tarafı Yönetimi

Türkiye’nin henüz sağlıklı bir uzun vadeli talep yönetim planı yoktur. IEA ülkeleri içinde ulusal boyutta TTY planı olmayan tek ülke de Türkiye’dir (Özil, 2006). TTY en revaçta ve en maliyet verimli enerji yönetimi programı olmasına ve ülkemizde de son yıllarda enerji piyasasının liberalleşmesi sürecinde yeni yasal düzenlemeler yapılmakta olmasına rağmen, bu alanda atılmış ciddi bir adım yoktur (TMMOB, 2008).

Uygulanacak bir programın mutlaka ülkemiz için tasarlanmış olması gerekmektedir. TTY’nin önüne ulusal sıfatı konmasının sebebi de budur. Her ülkenin teknik, ekonomik, politik şartlarına göre programları olmalı; enerji kaynakları, üretim kapasiteleri ve potansiyelleri göz önünde bulundurularak talep yönetilmelidir (Özil, 2006).

Bu alanda ülkemizde hem yasal hem de teknik eksiklikler vardır. Bugünkü yönetmeliklerde, arz yerine talebin yönetimini ve bu esnekliğin piyasaya yansıtılmasını teşvik eden bazı kısımların olduğu, fakat yetersiz kaldığı görülmektedir. TTY yaklaşımı ülkede yaygınlaşmadığından, yasaların yürütme aşamasındaki eksiklikler de anlaşılamamaktadır (Erol ve diğ., 2014). Ayrıca, yönetmeliklerdeki ifadeler de uygulama arka planı olmadan hazırlandığından, sistemin ülkemizde tam olarak nasıl işleyeceği taraflarca anlaşılamamaktadır (Şanlı ve Alanyalı, 2013). Yöneticiler mali yetersizlikleri en önemli sebep olarak görmektedirler (TMMOB, 2008).

Teknik bakımdan ise, ilk eksiklik elektrik piyasasının kullandığı yazılımda TTY’nin takip edilebileceği bir ekran olmamasıdır. Piyasada söz sahibi olan büyük çaplı tüketiciler ve talep yönetimi hizmeti sağlayacak firmaların ihtiyaç duyacağı karar destek sistemleri de henüz ülkemizde kullanılmamaktadır. Avrupa ve ABD’de yoğun olarak kullanılan böyle sistemler olmadan, TTY programlarından verim almak oldukça zordur (Erol ve diğ., 2014). Bu programlar müşterilerin elektrik tüketim çizelgeleriyle ilgili çok detaylı bilgi ve veri gerektirirler (Lopez-Rodriguez ve diğ.,

2013). Ülkemizde mevcut şartlarda izleme ve değişikliklerin elle yapılması ise, modern sistemlerle karşılaştırıldığında maliyeti oldukça arttırmaktadır (Law ve diğ, 2012).

Bu yasal ve teknik eksikliklerin aşılamamasında toplumsal alışkanlıkların da etkisi vardır. 2006 yılından bu yana işleyen elektrik borsamızdaki fiyatlardan büyük çaplı tüketiciler fazla etkilenmemektedir. O zamandan bu yana uygulanan farklı tarifeler talep eğrilerini değiştirmemiştir. Tüketiciler elektrik piyasası yazılımları kullanmak yerine, sabit fiyatlı tarifeler kullanmayı yeğlemektedirler (Şanlı ve Alanyalı, 2013). Bu durumun arkasında, ülkemizde TTY'nin yalnızca ekonomik faydalarının bilinir olmasının, elektrik şebeke sistemlerinin sağlıklı çalışmasına katkıları konusunda bilinç oluşmamış olmasının payı olduğu da düşünülebilir.

TTY'ye acil ihtiyaç duyulmasının nedeni ise diğer ülkelerle hemen hemen aynıdır. Elektriğe olan talep GSMH'den daha hızlı artmaktadır; yeni teknolojik ürünlerle elektriğin insan hayatındaki kullanım yüzdesi artmaktadır; gün içi yük eğrilerinde gerek sanayide gerek konut ve işyerlerinde dengesizlikler vardır ve bu eğrilerin tepe noktaları karşılanamayacak derecede yükselebilmektedir (Özil, 2006).

Türkiye'nin enerji kaynakları yelpazesi oldukça geniştir. Bunların çoğu ise, mevsim şartlarına duyarlı ya da dışa bağımlı kaynaklar olup arz güvenliği açısından yeterli değildir (Erol ve diğ, 2014). Bu şartlar ülkemizi enerji verimliliği çalışmaları açısından cazip bir pazar yapmakla birlikte, liberalleşen ve bir nevi reforma uğrayan enerji piyasası bu tür yenilikçi politikalar açısından çok uygun bir ortamdır (TMMOB, 2008).

Tüm bunların gerçekleşebilmesi için öncelikle teknik altyapılar düzenlenmeli, TTY'ye uygun piyasa ekranları oluşturulmalıdır. Piyasanın mevcut işleyişini bozmadan TTY programlarının devreye alınabilmesi için, önce pilot uygulamalarla başlanmalıdır. Adımları sağlam atılarak kurulacak bir sistemle, Türkiye gibi bir enerji piyasasında, maliyetler düşürülürken enerji kalitesi ve güvenliğinin artırılması, yenilenebilir kaynakların arzdaki payının artırılması ve toptan bir refah artışı sağlanması mümkündür (Şanlı ve Alanyalı, 2013).

3.2 Akıllı Sayaç ve Şebeke Teknolojileri

TTY alanındaki gelişmelerin en büyük destekçisi de dünyada yapılanması ve kullanımı giderek artan akıllı şebekeler; kontrol merkezleri ile nihai tüketici arasında bağlantı sağlayan çift yönlü iletişim sistemleridir (Lampropoulos ve diğ, 2013). Avrupa Akıllı Şebeke Çalışma Grubu'na göre akıllı şebeke, üretici ve tüketici arasındaki çift yönlü iletişimin sağlanması amacıyla akıllı sayaç ve izleme sistemlerinin güç şebekelerine eklenerek şebekelerin izlenmesi ve gerekli noktalarda müdahale edilmesidir. Böylece güç tüketicilerinin saatlik fiyatlara göre tüketimlerini yönetmeleri, dolayısıyla talep tarafının sürece etkin katılımı mümkün kılınır (Deloitte, 2013). Akıllı şebeke teknolojileri mevcut şebeke altyapısını yeniden yapılandırmasının yanı sıra, enerji arz güvenliği ve kalitesi için de iyi bir çözümdür (Su ve Huang, 2014).

Akıllı şebekelere geçişten önce bu yönde atılabilecek daha küçük bir adım akıllı sayaç kullanımıdır. Günümüzde kimi ülkelerde konutlarda kimilerinde sanayide daha yoğun şekilde akıllı sayaç kullanımı artmaktadır. Akıllı sayaçlar mekanik sayaçlardan ya da günümüzde kullanımı daha yaygın olan dijital sayaçlardan farklı olarak, tek boyutlu değil iki boyutlu veri tutarlar. Tüketilen elektriğin yalnızca miktarını değil, hangi saatte ne kadar elektrik tüketildiğini de kaydederler (Öztemür ve Soysal, 2013). Bu tür sayaçlar, elektrik tüketimini daha iyi izlemek ve yükü aktif olarak kontrol edebilmek için oldukça faydalıdır (Gottwalt ve diğ, 2011).

Yukarıda bahsedilen, en temel özelliğe sahip akıllı sayaçların yanında; günümüzdeki akıllı şebekelerin elemanları olan akıllı sayaçlar uzaktan okunabilme, erişilebilme ve haberleşebilme özelliklerine de sahiptirler. Böylece çift yönlü iletişim sağlayan akıllı şebeke altyapıları sayesinde, modern yük yönetimi sistemleri tasarlanabilmekte, enerji tüketimini cihaz ya da kullanıcı bazında çizelgeleyebilen, sayaçlara entegre şekilde çalışan donanımlar kullanılabilmektedir (Mohsenian-Rad ve diğ, 2010).

Dünyada akıllı şebeke kullanımına geçişler ülkemize göre daha hızlı yayılmıştır. İngiltere, Fransa, İspanya gibi bazı ülkelerde akıllı sayaç kullanımını zorunlu kılan yasalar vardır ve bu alanda pilot programlar yürütülmektedir. Almanya, Çek Cumhuriyeti gibi diğer bazı Avrupa ülkelerinde ise, yasalarla zorunlu kılınmamasına rağmen akıllı sayaç kullanımına geçmekte olan dağıtım şirketleri mevcuttur. ABD'de 2007 yılından bu yana akıllı sayaç kullanımına geçilmeye başlanmış, önemli bir

bütçe ayrılarak 20 yıllık bir sürede tüm geçiş ve altyapı çalışmalarının tamamlanması planlanmıştır. Çin, Güney Kore, Japonya, Brezilya ve Hindistan'da da hükümetlerin desteğiyle önemli çalışmalar yapılmaktadır (Deloitte, 2013).

Türkiye'de akıllı şebeke uygulamalarına geçilmesi konusunda atılan ilk resmi adım 2012 - 2023 dönemi için hazırlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'dir. Bu belgedeki eylemlerden birinde yer alan akıllı şebeke uygulamaları için başlangıç zamanı, belgenin yayınlanma tarihinden itibaren 24 ay olarak belirtilmiştir (Deloitte, 2013). Uygulamaya bakıldığında ise, ülkemizde 2000'li yıllarda önce TEİAŞ ile başlamış ve dağıtım şirketleri ile devam eden, şu an için akıllı sayaçlar ve uzaktan okuma sistemleri ile sınırlı tutulan bir çalışma süreci vardır (Öztemür ve Soysal, 2013). Şebeke izleme ve dağıtım sistemleri için yönetim yatırımları yapılmaktadır, ancak bunlar entegre ve ulusal bir akıllı şebeke tasarımına hizmet etmemekte, özerk olarak kalmaktadırlar. Zira yapılan yatırımların müşteri hizmetleri ve ücretlendirme sistemleri ile bütünleşik şekilde tasarlanması gereklidir (Deloitte, 2013).

3.3 Talep Tarafı Yönetimi Türleri

Literatürde farklı TTY sınıflandırmalarına rastlamak mümkündür. Mohsenian-Rad ve diğ. (2010) TTY'yi enerji verimliliği programları, yakıt değişim programları, talep tepkisi programları ve konut/ticari yük yönetimi programları olmak üzere dörde ayırmışlardır. Doğrudan yük kontrolü ve akıllı fiyatlandırmayı YY programlarının alt başlıkları olarak ele almışlar; en önemli akıllı fiyatlandırma yöntemleri olarak da kritik puant dönemi ücretlendirme, kullanım zamanına göre ücretlendirme ve gerçek zamanlı ücretlendirmeden bahsetmişlerdir (Mohsenian-Rad ve diğ, 2010).

TTY üzerine yapılan detaylı bir sınıflandırma çalışmasında başlıklar daha farklıdır. Bu yayında TTY, enerji verimliliği programları, talep tepkisi programları ve stratejik yük büyütme programları olarak üç başlıkta incelenmiştir. TTY terminolojisinde ilk ortaya çıktığı 1970'li yıllardan bugüne kaymalar meydana gelmiş, 1980'lerdeki YY kavramı ise günümüzde talep tepkisi programlarına dönüşmüştür (Lampropoulos ve diğ, 2013). Şu an en yaygın TTY yaklaşımı talep tepkisi programlarıdır (Law ve diğ, 2012). Talep tepkisi programları Lampropoulos ve diğ.'nin sınıflandırma çalışmasında frekans tabanlı, üretici tarafa doğrudan kontrol, tüketici tarafa doğrudan kontrol, fiyat tabanlı, piyasa tabanlı ve model tabanlı olmak üzere altıya ayrılmıştır. Ancak bunun katı bir ayırım olmadığı, bu türlerin birleştirilerek de

uygulanabilecekleri söylenmiştir (Lampropoulos ve diğ, 2013). Literatürdeki diğer TTY sınıflandırmalarında çoğunlukla talep tepkisi programları, fiyat tabanlı ve teşvik tabanlı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Eissa, 2011; Law ve diğ, 2012; Gelazanskas ve Gamage, 2014). Lampropoulos ve diğ. (2013) ise, sundukları altı alt grupta fiyat ve teşviki yalnızca fiyat altında birleştirmişlerdir.

Frekans tabanlı yönetim programlarının gösterge olarak frekansların kullanıldığı, frekans rölesi ve dinamik talep türleri vardır. Üretici tarafa doğrudan yük kontrolü uygulanan programlarda voltaj düşürme, koruma tatbikatları ve uzaktan kontrol yöntemleri kullanılır. Tüketicilere doğrudan kontrol uygulandığında ise koruma sigortası, zaman değiştirme ve yine uzaktan kontrol yöntemleri söz konusu olur. Fiyat tabanlı programlar statik, dinamik ve gerçek zamanlı tarifelerin uygulaması olmak üzere üçe ayrılır. Piyasa tabanlı programlar ise fiyat teklifleri üzerine kuruludur. Talep tepkisi programlarının son alt sınıfı olan model tabanlı programları ise, merkezi ve özerk olarak ikiye ayırmak mümkündür (Lampropoulos ve diğ, 2013).

Yük yönetimi kavramı da TTY ile birlikte 1970'lerin sonlarında ortaya çıkmıştır. YY aynı güç kaynağından faydalanan birden fazla tüketicinin taleplerini kontrol etme ve düzenleme programıdır. Bu kontrol ve modifikasyonlar arz ve talebin her zaman en ekonomik biçimde eşleşmesini amaçlar. Bu amaç matematiksel olarak, ortalama yükün en yüksek yüke oranı olarak tanımlanan yük faktörünü 1'e yakınlaştırmak olarak ifade edilmiştir (Paracha ve Doulai, 1998). Babu ve Ashok (2008) ise endüstriyel YY'yi, ürünü ve üretimi etkilemeden elektrik maliyetini azaltmayı amaçlayan program olarak tanımlamışlardır. YY programları kullanıcılara en yüksek talep dönemlerinde kullanımlarını azaltma ya da durdurma seçeneği sunar. YY'nin faydaları genel olarak en yüksek talebi azaltmak, güç kaybını azaltmak, ekipmanların daha etkin kullanımını sağlamak ve mali tasarruf sağlamak şeklinde sıralanabilir (Eissa, 2011). Birbirinden farklı YY tekniklerinin ortak özelliği, güç tüketicilerinin ortak katılımıdır (Paracha ve Doulai, 1998).

İlk ortaya çıkan YY tekniklerinden başlıcaları en yüksek talebi kırma (peak clipping), çukur doldurma (valley filling) ve yük kaydırma (load shifting) olarak sayılabilir. En yüksek talebi kırma tekniği, çoğunlukla üretim kapasitesi düşük olan kurumların tercih ettiği ve müşterilerin tüketimine doğrudan müdahale edilen bir tekniktir. Kurumlar kapasite gereksinimlerini, maliyetlerini ve kritik yakıt

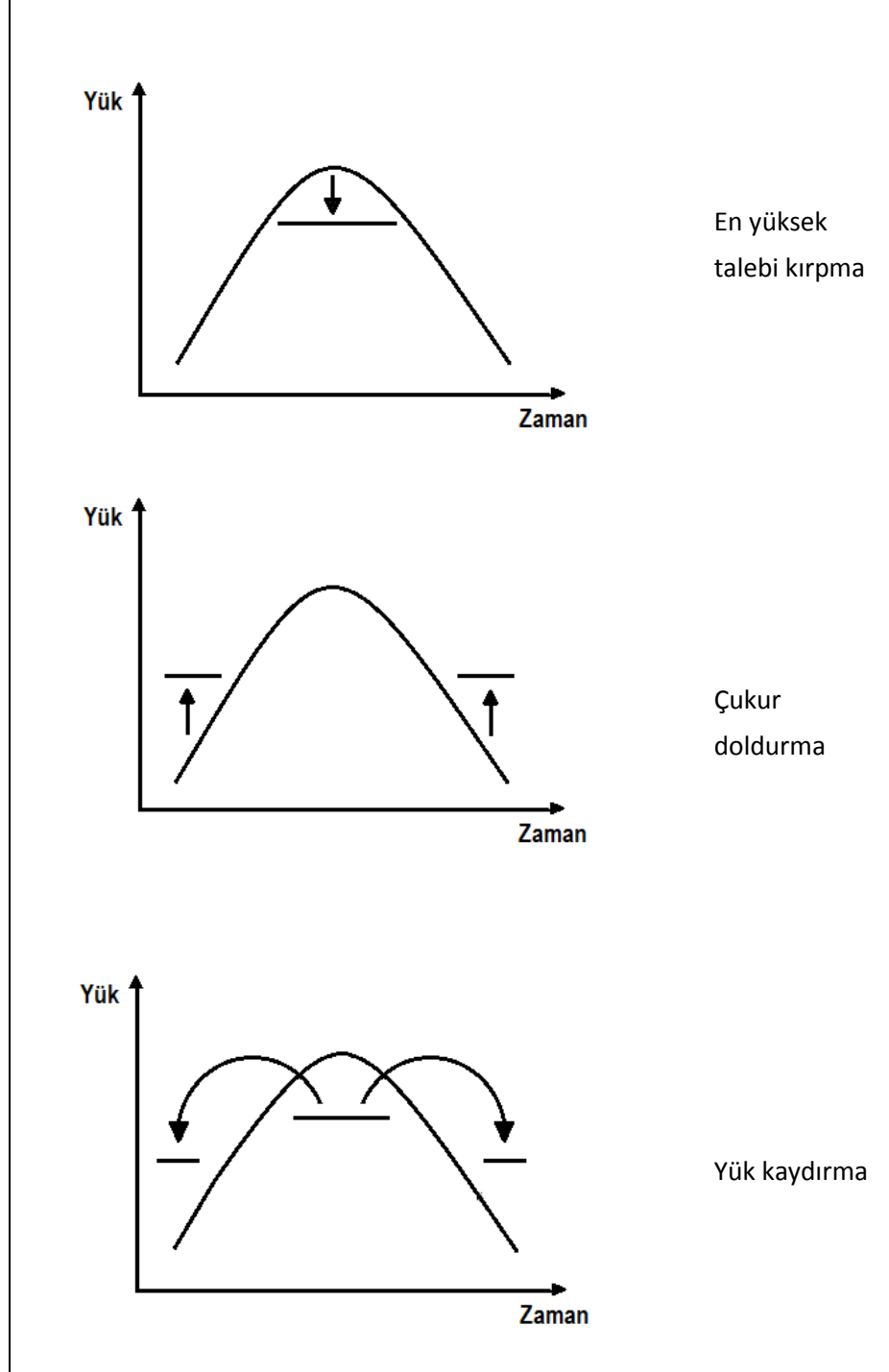
bağımlılıklarını azaltmak için talebi üstten sınırlarlar. Bir diğer teknik olan çukur doldurmada da doğrudan kontrol söz konusudur. Bu teknikte ise en düşük talep dönemlerindeki kullanım arttırılarak, bu saatlerde birim fiyat daha düşük olduğundan ortalama elektrik maliyeti azaltılır. En yüksek talebe ise müdahale edilmez (Paracha ve Doulai, 1998). Bu iki tekniğin günümüz koşullarında ve modern bakış açısıyla uygulanabilirliği oldukça düşüktür.

Fikir olarak günümüz şartlarına en uygun olan üçüncü teknik ise yük kaydırmadır. Yük kaydırmadan bütün TTY'nin temeli olarak söz edilebilir. Yukarıdaki iki tekniğin olumlu yanlarını almış olan bu teknikte, en yüksek talep dönemi kullanımları en düşük talep dönemlerine aktarılırken, toplam tüketimin değişmemesine dikkat edilir (Paracha ve Doulai, 1998). Ayrıca, yük kaydırma uygulamalarının gerçekleştirilebilmesi için olmazsa olmaz şart, kullanımı kaydırılabilir tüketim kalemlerinin varlığıdır. Bu bakımdan, konutlardansa ticari tüketicilerde daha etkin işleyeceği söylenebilir. Şekil 3.1'de bu teknikler yük-zaman eğrileri üzerinde gösterilmişlerdir.

Yük kaydırma, bir cihazın çalışmasının uzaktan çizelgelenebilmesi ile mümkün olur. Bunun yanında, geçmişte önerilmiş temel yük kaydırma modelleri bireysel çabaya yönelik olmuştur. Oysa belirli bir komşuluktaki kullanıcıların zaman dilimleri bazında anlaşarak birlikte hareket ettikleri bir modelde, genel talep eğrisinde elde edilecek düzelme daha fazla olmaktadır (Law ve diğ, 2012). Law ve diğ. (2012) bu kavramı grup yük kaydırma olarak adlandırmışlar, grup yük kaydırmanın tüm kullanıcıları tek bir grupta veya komşulukta varsayarak tek bir merkezden yapılabileceğini öne sürmüşlerdir. Son yıllardaki çalışmalarda da, yük kaydırma kavramının bireysel çizelgelemelerden çok grupsal çalışmalar olarak kullanıldığı görülmektedir.

Talep tepkisi kavramı ise, YY'nin daha sonraki yıllarda dönüştüğü biçim ve yeni ismi olarak tanımlanabilir. Talep tepkisi, ekonomide kullanılan, eylemler ve etkileşimlerini göz önüne alarak fiyat ile miktar arasındaki kısa vadeli ilişkileri tanımlayan bir terimdir (Lampropoulos ve diğ, 2013). Türkçe kaynakların bir kısmında adından talep katılımı olarak da söz edilmektedir. Tanımı konusunda verilebilecek en erken tarihli referanslardan biri olan Steiner'e (1957) göre talep tepkisi, fiyat değişimlerine cevaben kısa dönem talep eğrilerinde gerçekleşen kaymalardır (Lampropoulos ve diğ, 2013). Lujano-Rojas ve diğ. (2012) ise talep

tepkisini, elektrik birim fiyatı yüksek olan saatlerdeki anlık talepleri azaltmak için nihai kullanıcıların elektrik tüketiminde gerçekleştirdikleri değişiklikler olarak daha basit şekilde tanımlamayı seçmişlerdir.



Şekil 3.1 : Yük yönetimi teknikleri.

Talep tepkisi programlarının ana amacı en yüksek talebi azaltmak ve talebi arza göre yönetmektir. Talep tepkisi yöntemleri kullanıcılara hem daha az para harcama hem

de daha çevre dostu olma olanağı sağlar. Tüm talep tepkisi uygulamaları bir yandan politik bir yandan teknik kısıtlarla karşı karşıyadırlar. Çift yönlü iletişim için çoğu, güvenilir ve bant genişliği yüksek bağlantılara ihtiyaç duyarlar. Genel olarak donanımın yoğun olduğu bir TTY programıdır (Gelazanskas ve Gamage, 2014).

Fiyat tabanlı talep tepkisi yöntemleri, kullanıcıların en aktif durumda oldukları TTY türüdür (Eissa, 2011). Kullanıcıların tüketimi üzerindeki doğrudan kontrolün, yerini kullanıcıların kendi kendilerini kontrol etmesi yaklaşımına bıraktığı teknikleri içerir. Bu tekniklerde teşvik ve ceza ödemeleri ile müşteriler otokontrole yönlendirilir (Lampropoulos ve diğ, 2013). Aynı miktar yük kullanımının maliyeti farklı saatlerde farklı olabilmektedir (Mohsenian-Rad ve diğ, 2010).

Bu yöntemlerde elektrik fiyatları üretim maliyetlerine göre şekillenir. Kullanıcılar kendilerini bu fiyatlara göre ayarlayarak talep tepkilerini oluştururlar. Tamamen gönüllü olarak belirlenen bu cevaplar birer iç ekonomik karar olarak görülebilir (Eissa, 2011). Dolayısıyla fiyat tabanlı kontrollerden dolayı yük kontrolü olarak söz etmek yanlış olmaz. Fiyat tabanlı kontrol programları farklı yapıdaki tarife uygulamaları ile çalışır. Bunlar statik, dinamik ve gerçek zamanlı tarifeler olarak üç grupta incelenir (Lampropoulos ve diğ, 2013).

Statik tarifeler, literatürde “time of use (TOU)” ismiyle anılan kullanım zamanına göre fiyatlandırmanın yapıldığı tarifelerdir. Bu tarifelerde günün saatleri iki, üç, bazen de dörde ayrılarak bu saat dilimlerine göre kullanım yoğunluğundan yola çıkarak farklı birim fiyatlar atanır. Hartway ve diğ. (1999), çalışmalarında kullanım zamanına bağlı tarife kullanmanın üretici kurumlar için karlı olduğunu, ayrıca fiyat opsiyonlarının müşterilere tatmin sağladığını ispatlamışlardır (Yang ve diğ, 2012). Gottwalt ve diğ. (2011) ise, zamana bağlı tarifelerin varlığının TTY için bir teşvik niteliğinde olduğunu söylemişlerdir. Türkiye’de sanayide zamana bağlı tarifeler kullanıldığından, bizim çalışmamız için de uygun yöntem bu tarife türü olacaktır.

Dinamik tarifelerin en yaygını ise “critical puant pricing (CPP)” adlı kritik puant dönemi ücretlendirmedir. Bu tarifeleri kullanım zamanına bağlı tarifelerin dinamik versiyonu olarak tanıtmak doğru olacaktır. Bu tarife yapısında, saat aralığına göre değişen fiyatlar belirlenirken, esnek yüksek fiyat uygulamaları da belirlenir. Sistem zorlandığı, yetersiz kaldığı anda bu birim fiyatlar devreye girer (Lampropoulos ve diğ, 2013). Kritik fiyat uygulamaları günün belirli saatleri için geçerlidir. Bu yönüyle bu tarife şekli statik tarifeler ile gerçek zamanlı tarifeler arasında bir geçiş formu

olarak görülebilir. Zira kritik dönemlerinde belirsizlik barındırmalarının yanında, fiyat güncellemeleri gerçek zamanlı tarifelerdeki kadar sık olmadığından onlar kadar da karmaşık bir yapıda değildirler. Kritik puant ücretlendirmenin amacı, elektrik üreticilerinin maliyetleri ile perakende piyasasının gelirleri arasında bir denge sağlamaktır (Wang ve Li, 2011).

Literatürde “real time pricing (RTP)” olarak geçen gerçek zamanlı tarifeler, perakende elektrik satışının sıklıkla enerji üretim maliyeti varyasyonlarına uyarlanması mantığı ile işler (Lampropoulos ve diğ, 2013). Gerçek zamanlı tarifelerin uygulanabilmesi için en önemli koşul, güç şebekelerinde çift yönlü iletişim altyapısının varlığıdır (Chen ve diğ, 2014). Kullanıcıların aktif katılım sağlayabileceği böyle bir altyapı ile talep – fiyat uyarlamaları sık sık güncellenebilir ve sistemin mevcut durumu ile güncel fiyatlar müşterilerin bilgisine sunulabilir. Bu yönüyle bakıldığında, gerçek zamanlı tarife uygulamalarının gün öncesi piyasasının çalışma biçiminden bile daha karmaşık olduğu görülmektedir.

3.3.1 Türkiye’de zamana bağlı tarifeler

Çok zamanlı, diğer adıyla zamana bağlı tarifeler uygulandıkları ülke ya da bölgenin kullanım alışkanlıklarına ve özel şartlarına göre değişen zaman çizelgelerine sahiptirler. Uygulanacağı yerin saat bazında elektrik tüketim miktarları incelenerek, her biri için farklı fiyatlandırmalar uygulanır. Çok zamanlı tarife kullanımı, asgari özelliğe sahip, saatlik veri tutabilen akıllı sayaçların kullanımını da zorunlu kılar.

Türkiye’de uygulanan çok zamanlı tarifeler üç zaman diliminden oluşmaktadır. Zaman aralıkları ve adlandırmalar ülkeden ülkeye değişmekle birlikte, zamana bağlı tarifelerin kullanımındaki amaç ve yol aynıdır. En yüksek talep dönemi için caydırıcı nitelikte yüksek fiyatlandırmalar uygulanırken, gece saatleri gibi talebin en düşük olduğu zaman dilimlerine teşvik edici düşük birim fiyatlar atanır. Bu tarife şeklinde, baştan belirlenmiş olan fiyatlar kullanıcıların da bilgisi dahilindedir ve kullanımlarını buna göre şekillendirmeleri beklenir. Caves ve Christensen’in (1980) yaptığı ekonomik analize göre, kısa dönem elektrik talebi esnektir ve dolayısıyla en yüksek ve en düşük talep dönemleri kullanımları kısmen birbirlerinin yerine geçebilmektedirler (Yang ve diğ, 2012).

Türkiye’de uygulanan elektrik kullanımı ücretlendirme tarifeleri tek terimli ve çift terimli tarifeler olmak üzere iki türdedir. Müşteriler, tarifelerin şartlarına uyarak

istedikleri tarifeyi seçmekte serbesttirler. Tek terimli tarifelerde, kullanılan elektrik için kilowattsaat (kWh) üzerinden faturalandırma yapılır. Çift terimli tarifelerde ise, kWh üzerinden alınan bedelin yanında sözleşme gücü karşılığı kW miktarı üzerinden de bir bedel ödenir. Bu iki tarife türünde de, çok zamanlı tarife kullanımı mümkündür. Çift terimli tarife kullanıp, sözleşme gücü 0,7 MW ve üstü olan tüketiciler için çok zamanlı tarife kullanımı zorunludur (Güler, 2014). Sanayinin şartları göz önüne alındığında, çok zamanlı tarife kullanımının daha cazip olduğu görülür.

Literatürde, üç zamanlı tarifelerin dönemleri “normal”, “peak” ve “off peak” olarak adlandırılır. Ülkemizde bu terimlerin karşılığı sırasıyla gündüz dönemi, puant dönemi ve gece dönemidir. Türkiye’nin çok zamanlı tarife dönemleri ve 1 Ekim 2014’ten itibaren geçerli olan tarife ücretlerine göre çok zamanlı tarife birim fiyatları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Yılın her çeyreği için yeni birim fiyatlar yayınlanır.

Çizelge 3.1 : Türkiye’deki çok zamanlı tarife dönemleri ve birim fiyatları (Url-2).

	Saat aralığı	Birim fiyat (kr/kWh)
Gündüz	06:00 – 17:00	19,1571
Puant	17:00 – 22:00	34,1093
Gece	22:00 – 06:00	8,3722

4. OYUN TEORİSİNE BAYESYEN YAKLAŞIM

Birden fazla aktörün olduğu ve sonunda bu aktörlerden her birinin kazanımlarının söz konusu olacağı, aktörlerin davranışlarının ve kararlarının birbirlerinin kazanımlarını etkilediği olaylar matematikte oyun olarak adlandırılır. Oyun teorisi de farklı oyun durumlarında aktörlerin nasıl karar vermesi gerektiği, dengenin varlığı ve nasıl sağlanacağı konularını içerir. Oyunlar hakkındaki ilk çalışmalar 19. yüzyıl sonlarında Cournot, Bertrand ve Edgeworth tarafından ortaya konulmuştur. İlerleyen yıllarda pek çok bilim adamının daha katkısıyla gelişmiş, von Neumann ve Morgenstern'in 1944 yılında yayınladıkları kitapları ile modern oyun teorisi ortaya çıkmıştır. Bu alanda en çok adı duyulmuş isimlerden olan John F. Nash ise, 1950'li yıllarda yayınladığı çalışmalarıyla dayanışmacı olmayan oyunlardaki dengenin varlığını ispatlamış, alana büyük katkı sağlamıştır. 1967'de ise Harsanyi o zamana dek üzerinde durulmamış olan eksik bilgi durumundaki oyunları incelemiş, Bayesyen oyunları ortaya çıkarmıştır (Ceylan, 2003). İlerlettikleri çalışmaları ile Nash, Harsanyi ve Selten, 1994 yılında ekonomi alanındaki Nobel ödülünü kazanmışlardır. 90'lı yıllardan sonra konunun popülerliği artmış; uygulama alanları hayatın ekonomi dışındaki başka kısımlarına da uzanmıştır.

Bir oyunun bileşenleri oyuncular, eylemler ve stratejiler, kazanç fonksiyonları ve inanışlardır. Oyunlarda karar verici aktörler oyuncular olarak adlandırılır. Bir oyun iki ya da daha fazla oyunculu olabilir. Bir oyuncunun oyunun herhangi bir aşamasında atabileceği adımlar, oyuncunun eylemleri olarak adlandırılır. Oyun boyunca oynanan tüm eylemler ise stratejileri meydana getirir (Guseinov ve diğ., 2010). Her bir oyuncunun oynadığı stratejiye bağlı olarak oyundan elde edeceği faydayı ifade eden fonksiyonlar fayda ya da kazanç fonksiyonu olarak adlandırılır. İnaniş kavramı ise, herhangi bir oyuncunun diğerinin ne oynayacağından habersiz olduğu bir durumda bu konudaki düşüncelerini ifade eder.

Günlük hayattan temel bir örnek olarak satışlar ile fiyat arasındaki ilişki verilebilir. Bir müşteri bir mağazada alışveriş yaparken, fiyatlara bakarak kendisi için optimum alışverişi yapmaya çalışır. Bu sırada diğer müşterilerin davranışlarına bakarak,

fiyatların gelecekteki değişimlerini tahmin etmeye çalışması mantıklı ve gerçekçi değildir. Fakat diğer yandan, kendi adına gelecekteki fiyat değişikliklerini hesaba katmak durumundadır ve bunlar hakkındaki fikirleri de diğer tüketicilerin toplam düzeyde nasıl davranacağına dair inanışlarıyla bağlantılıdır (Yıldız, 2005).

Oyunları farklı açılardan sınıflandırmak mümkündür. Oynama sırasına göre oyunlar eşzamanlı ve sıralı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bunun yanında oldukça önemli olan iki ayrım, işbirliğinin ve bilginin varlığı ile ilgilidir.

Oyuncuların önceden anlaşp, belirli stratejileri belli bir amaç doğrultusunda oynadığı oyunlar dayanışmacı oyunlardır (Guseinov ve diğ, 2010). Her oyuncunun diğerleri ile işbirliği ya da iletişim halinde olmaksızın bağımsız hareket ettiği oyunlar ise dayanışmacı olmayan oyunlardır. John F. Nash'in oyun teorisi dayanışmanın olmadığı durumlar içindir. Nash'e göre dayanışmacı ve dayanışmacı olmayan oyunlar arasındaki ayrım, matematiksel tanımlarıyla alakalı değil; ortak faydanın ya da iletişimin mümkün olup olmaması ile alakalıdır (Nash, 1950).

Bir oyunda, oyunun bileşenlerinden herhangi biriyle alakalı bir X bilgisi ele alınsın. Oyundaki bütün oyuncular X'i biliyorsa, herkes herkesin X'i bildiğini biliyorsa, herkes herkesin X'i herkesin bildiğini bildiğini biliyorsa, ..., X bir ortak bilgidir. Tüm bilgileri ortak bilgi olan oyunlara tam bilgili oyunlar denir (Yıldız, 2005). Ancak gerçek hayatta tam bilgi durumlarına pek sık rastlanmaz. Yaygın olan diğer durum eksik bilgi durumudur. Bu oyun türüne Bayesyen oyunlar da denir. Bayesyen oyunların altında yatan mantığın anlaşılabilmesi için önce Bayes teoreminden bahsedilecektir.

4.1 Bayes Teoremi ve Bayesyen Oyunlar

Olasılık ve istatistik biliminde, klasik görüş olarak anılan sıklıkı görüşün karşısındaki alternatif görüş Bayesyen yaklaşımdır. Bayesyen yaklaşım, olasılığı bir olayın öngörülen sonucuyla ilgili inanışların bir ölçüsü olarak görür. İki taraf arasında yıllardır süregelen tartışmada sıklıkılar inanışın matematiksel teorilerde yer alamayacak subjektif bir kavram olduğunu savunurken; Bayesyenler bu eleştiriyi kabul etmekle beraber, objektif bir yolla inanışların güncellenmesinin bu durumu ortadan kaldıracığını savunurlar (Doya ve diğ, 2011).

Olasılıktaki Bayes kavramı, uygulamalı bilimcilerin ve mühendislerin ölçüm ve karar verme süreçlerindeki matematiksel gereksinimlerini tam olarak karşılamaktadır. Zihinsel süreçlerin girdilerini ve sonucundaki harekete geçişleri kavramakta Bayesyen yaklaşım oldukça faydalıdır. Bayesyen teorinin çekirdeğini oluşturan ve ortak ve koşullu olasılıklar arasındaki ilişkiden türemiş olan Bayes teoremi, anlaşılması kolay ve temel bir unsurdur (Doya ve diğ, 2011).

X ve Y iki rassal değişken olsunlar; ortak olasılıkları $P(X = x, Y = y)$ ile, Y koşulu altında X'in olasılığı ise $P(X = x|Y = y)$ ile ifade edilir. Bu iki olasılık arasında aşağıdaki gibi doğal bir ilişki vardır (Doya ve diğ, 2011).

$$P(X, Y) = P(X|Y).P(Y) = P(Y|X).P(X) \quad (4.1)$$

Ortak olasılığın bu iki ayrı ifade biçiminden yararlanarak aşağıda verilen Bayes kuralı elde edilir. Bu $P(Y)$ 'nin değeri sıfır olmadığı müddetçe geçerlidir. Bayes kuralı ile iki koşullu olasılığı birbirine çevirmek mümkündür (Doya ve diğ, 2011).

$$P(X|Y) = \frac{P(Y|X).P(X)}{P(Y)} \quad (4.2)$$

Oyun teorisinin matematiği içinde Bayes kuralının da kullanıldığı Bayesyen oyunlar, ortak bilginin değil, özel, gizli ya da paylaşılması için fiziksel ve teknolojik olanakların yeterli olmadığı bilgilerin bulunduğu durumları modellemekte kullanılır. Literatürde 'özel bilgi' ile kastedilen, bir oyuncunun bir bilgiye sahip olan tek kişi olduğu, fakat diğer oyuncuların onun bu bilgiye sahip olduğunu bildikleri durumdur. 'Gizli bilgi' ile kastedilen ise, bir oyuncu bir bilgiyi tek başına biliyorken, diğerlerinin onun bunu bildiğinden haberlerinin olmaması durumudur (Lasaulce ve Tembine, 2011). Bayesyen oyunlardaki eksik bilgi kazanç fonksiyonları, eylemler ya da inanışlarla ilgili olabilir (Koçkesen, 2014).

Bayesyen oyunlarda diğer oyunlardan farklı olarak karşımıza çıkan önemli bir kavram, Harsanyi tarafından 1967 yılında ortaya konulan tip kavramıdır. Bir oyuncunun kazancını etkileyen tüm oyun bileşenlerinin etkisi, doğal birer etki olarak görülebilir. Tip ise, oyuncunun kendi iradesiyle alakalıdır, oyuncunun kararını yansıtır (Lasaulce ve Tembine, 2011). Farklı karar alternatifleri olmayıp, ne yapacağı herkesçe kesin olarak bilinen oyuncuların tek birer tipleri vardır (Yıldız, 2005).

Bir oyuncu oyun bileşenlerinin tamamını bilmeden, varsayımlara dayalı olarak eksik bilgiyle bir dağılım seçsin. Bu onun inanışı olur. Ama bunu yaparken, diğer

oyuncuların inanışlarıyla ilgili de ancak kendi varsayımlarını dikkate alabilmektedir. Hatta diğer oyuncuların onun inanışıyla ilgili inanışlarına da ihtiyaç duyabilir ve burada da elinde yalnızca varsayımları olacaktır. Bu şekilde karmaşık bir inanış hiyerarşisi ile karşı karşıya gelinebilir. Bu yüzden evrensel inanış kümesiyle çalışmak yerine, nispeten basit olan Harsanyi'nin modeli tercih edilecektir (Lasaulce ve Tembine, 2011).

Bayesyen oyunların matematiksel tanımına geçmeden önce, genel olarak oyunlarla ilgili bazı kavramların tanıtılmasında fayda vardır. n oyuncunun olduğu bir oyunda, s_i i oyuncusunun stratejisini, $s_{-i} = (s_1, s_2, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_n)$ i dışındaki diğer j oyuncularının stratejilerini, u_i ise kazanç fonksiyonlarını ifade etsin.

Bir s_i^* optimal stratejisinin, s_i stratejisini kesinlikle domine etmesi için gerek ve yeter şart; $u_i(s_i^*, s_{-i}) > u_i(s_i, s_{-i})$, $\forall s_{-i} \in S_{-i}$ olmasıdır. Bir başka deyişle, diğer oyuncuların herhangi bazı stratejiler oynadıkları durumda, i oyuncusu için s_i^* oynamak s_i oynamaktan daima daha iyidir. Buradan i oyuncusunun rasyonel davrandığı sürece, asla s_i oynamayacağı çıkarımına varılabilir (Yıldız, 2005).

Bir strateji vektörü $s^d = (s_1^d, s_2^d, \dots, s_n^d)$ 'nin oyunun bir dominant strateji dengesi olması için gerek ve yeter şart; her i oyuncusu için s_i^d 'nin bir dominant strateji olmasıdır. Herhangi bir i oyuncusu için bir s_i^e stratejisinin, bir s_{-i} 'ye en iyi tepki olması için gerek ve yeter şart; $u_i(s_i^e, s_{-i}) > u_i(s_i, s_{-i})$, $\forall s_i \in S_i$ olmasıdır. Bu tanımın, geçerli olduğu küme itibari ile dominantlık tanımından farklı olduğuna dikkat edilmelidir. Bir strateji vektörü $s^{ND} = (s_1^{ND}, s_2^{ND}, \dots, s_n^{ND})$ 'nin bir Nash dengesi olması için gerek ve yeter şart; tüm i 'ler için s_i^{ND} 'nin s_{-i}^{ND} 'ye bir en iyi tepki olmasıdır (Yıldız, 2005).

Bir strateji vektörü bir dominant strateji dengesi ise, aynı zamanda Nash dengesidir; fakat tersi geçerli değildir. Ayrıca bir dominant strateji dengesi varsa, daima tektir. Nash dengesi ise çoğunlukla birden fazla noktada gerçekleşir (Yıldız, 2005).

Harsanyi modeline (1967) göre, bir Bayesyen oyun aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$G = (N, \{T_i\}_{i \in N}, \{S_i(\theta_i)\}_{i \in N}, p(\theta_{-i}|\theta_i), \{u_i\}_{i \in N}) \quad (4.3)$$

Bu gösterimde $N = \{1, 2, \dots, n\}$ oyuncular kümesini, $T_i = \{\theta_{i1}, \theta_{i2}, \dots\}$ her bir oyuncunun tipleri kümesini, $S_i(\theta_i)$ θ_i tipini seçen bir i oyuncusunun olası stratejilerinin kümesini, $p(\theta_{-i}|\theta_i)$ θ_i tipindeki i oyuncusunun diğer oyuncuların

tiplerinin θ_{-i} olduğuna dair inanış dağılımını, u_i ise i oyuncusunun kazanç fonksiyonunu ifade eder.

Oyuncuların tipleri birbirleri ile ilişkili olabilir; yani bir oyuncu kendi tipini belirlediğinde, diğerlerinin tipleri hakkındaki inanışlarını güncelleyebilir. Kendi stratejisini seçerken kendi tipini biliyor olacağından, beklediği kazanç fonksiyonu çıktısını da güncellediği inanışlarına göre maksimize eder. Bayesyen oyunlarda, oyuncuların inanışlarını Bayes kuralını kullanarak güncelledikleri varsayılır (Yıldız, 2005). Yani, oyunun matematiksel tanımında karşılaştığımız $p(\theta_{-i}|\theta_i)$ inanış fonksiyonu Bayesyen oyunlarda $\frac{p(\theta_i|\theta_{-i}) \cdot p(\theta_{-i})}{p(\theta_i)}$ biçiminde kullanılır.

Bayesyen oyunlardaki güncelleme kavramı, oyun süresince oyuncuların devamlı olarak öğrenme halinde olmalarını ifade eder. Günlük hayatta da yaşadığımız, zamanla ortaya çıkanlar ışığında kimi olayların gerçekleşmesi olasılığı hakkındaki fikirlerimizin değişiminin matematiksel ifadesi Bayes kuralı ile olur (Yılmaz, 2009).

Oyun teorisinde bir dengeden söz edilebilmesi için, her bir oyuncu için seçilen eylemin diğer oyuncuların seçtikleri eylemler gözetildiğinde oynanabilecek en iyi eylem olması gerekmektedir. Sonuçlar belirlendikten sonra, hiçbir oyuncu eylemini değiştirerek kar elde edememelidir (Nash, 1950). Bir Bayesyen oyunun denge noktası, Bayesyen Nash dengesi formülü ile bulunur. $G = (N, \{T_i\}_{i \in N}, \{S_i(\theta_i)\}_{i \in N}, p(\theta_{-i}|\theta_i), \{u_i\}_{i \in N})$ Bayesyen oyunu ele alınsın. G oyununun Bayesyen Nash dengesinin $s^*(s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$ optimal strateji vektörü olması için gerek ve yeter şart; her i oyuncusu ve θ_i tipi için (4.4) ifadesinin geçerli olmasıdır (Yıldız, 2005).

$$s_i^*(\theta_i) \in \arg \max_{s_i} \sum_{\theta_{-i}} p(\theta_{-i}|\theta_i) \cdot u_i(s_i, s_{-i}(\theta_{-i}), \theta_i, \theta_{-i}) \quad (4.4)$$

Bayesyen Nash dengesi, her oyuncunun her tipi için mümkün olan eylemlerin derlenmiş halidir; öyle ki, her bir tip diğer oyuncuların tipleri ve bunlara bağlı eylemleriyle ilgili inanışına göre en iyi cevabı verir (Koçkesen, 2014). Oyunda yer alan her bir oyuncu için, denge denklemleri yazılır. Bunların sonuçları her oyuncunun en iyi cevabını verecektir. Bu denge denklemleri ortak çözüme tabi tutulduğunda elde edilecek optimal vektör, tüm oyunun denge noktasını ifade eder (Acemoğlu ve Özdağlar, 2009).

Varlık Teoremi'ne göre; bir oyundaki oyuncular, oyuncuların eylemleri ve oyuncuların tipleri kümeleri sonlu iseler, bu oyunda en az bir Nash dengesi vardır (Nash, 1950). Ayrıca Bayesyen oyunlarda, bir Bayesyen Nash dengesinde her oyuncu daha önce tanımını verdiğimiz en iyi tepkiyi oynar; çünkü Bayesyen Nash dengesi, Bayesyen bir oyunun Nash dengesidir (Yıldız, 2005). Dolayısıyla, sonlu bir Bayesyen oyunda Nash dengesine ait Varlık Teoremi de geçerli olur (Lasaulce ve Tembine, 2011).

5. BAYESYEN OYUN MODELİ İLE TALEP TARAfi YÖNETİMİ

Bu çalışmada ele alınacak problem ve sunulacak çözümle, ülkemizde henüz pek fazla örneğine rastlanmayan Talep Tarafl Yönetimi çalışmalarına bir yenisi eklenmek istenmekte, ayrıca şimdiye dek karşılaşılmamış farklı bir modelleme yaklaşımıyla alana katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, tek bir elektrik üreticisi ve çok sayıda tüketici olan elektrik dağıtım sistemleri üzerine çalışılmaktadır. Üçüncü bölümde de anlatıldığı gibi, bu çalışma kapsamında uygulanacak TTY programı, talep tepkisi programlarından biri olan fiyat tabanlı programlardandır. Tarife türü ise statik olacaktır. Bunlar mevcut teknik, ekonomik ve politik şartların gerektirdiği tercihlerdir. Matematiksel açıdan ise, YY tekniklerinden biri olan yük kaydırmanın kullanılması seçilmiştir.

Çalışmamızda sanayi sektöründen bir tüketici grubu ele alınacak, birbirlerine yakın olup gereksinim duydukları gücü aynı ve tek bir kanaldan çeken sanayi kullanıcıları için bir model önerisinde bulunulacaktır. Söz konusu sanayi kullanıcılarının tek terimli üç zamanlı tarife kullanmakta oldukları varsayılacaktır. Bu noktadan sonra, tek tek kullanıcılardan fabrikalar olarak, kullanıcı grubundan ise bölge olarak söz edilecektir; ancak yukarıda söylendiği gibi bunlar fabrika ya da daha küçük ölçekli sanayi işletmeleri olabilirler.

Toplam elektrik enerjisi talebi oldukça yüksek olacak böyle bir tüketici grubu için yapılacak bir iyileştirmenin genel şebekenin yük profillerine sağlayacağı katkı da önemli olacaktır. Yapılacak TTY çalışması sonucunda, gün içi yük dağılımının dengesizliği ve bunun üretim, iletim ve dağıtıma olumsuz etkilerinden şikayet edilen sistemdeki sorumlulara sunulacak olan çözüm günlük elektrik tüketim çizelgesi biçiminde olacaktır. Bu çizelgeler hangi saatte ne kadar elektrik tüketileceği, dolayısıyla hangi cihazların ne zaman çalıştırılması gerektiği bilgilerini içerecektir.

Bu fabrikaların üretim çıktılarına müdahale edilmeden ve toplam elektrik tüketimi değiştirilmeden, kullanım zamanlarında kaydırmalar yapılacak şekilde elektrik tüketim çizelgeleri değiştirilecektir. Böyle bir çalışmaya katılabilmek için uygulama

yapılacak işletmelerin, yük kullanımını kaydırabilme esnekliğine sahip olması gerekir (Alvarez ve diğ, 2004).

Amaç, öncelikle güç kaynağının akışının düzenli olabilmesi için gün içi yük eğrilerini düzgünleştirmek, bunun yanında elektrik maliyetlerini de düşürmektir. Bunun için fabrikalardaki elektrik tüketen cihazları iyi tanımak gerekmektedir. Cihazları kaydırılabilir ve kaydırılamaz cihazlar olarak ikiye ayıracağız. Bu ifadelerden kasıt, cihazın çalıştırılma saatinin gün içinde başka bir saate kaydırılabilir ya da kaydırılamaz olmasıdır. Örneğin, aydınlatma ekipmanları kaydırılamaz cihazlardır; ama üretim çizelgesindeki esnekliklere ya da yapılacak değişikliklere bağlı olarak bir fırının tüketimi kaydırılabilir.

Literatürdeki benzer çalışmalarda, ele alınan elektrik enerjisi yalnızca Watt (W) birimli aktif enerjidir. Volt-amper-reaktif (VAr) birimli reaktif enerjiden ise bahsedilmediği görülmektedir. Gerçek hayatta, aktif akımın yanı sıra reaktif akıma ihtiyaç duyan tüketiciler de vardır. Bu tür, genellikle sanayi alanındaki, tüketiciler reaktif akımı şebekeden çekmek yerine kompanzasyon ile üretmeyi yeğlerler (Güler, 2014). Bu çalışmada söz konusu olan yalnızca aktif enerji olacaktır.

Uygulanması planlanan TTY programı kapsamında, hem fabrikalarda konudan sorumlu kişiler olması hem de sistem yaklaşımı için fabrikaların dışında merkezi bir birim oluşturulması gereklidir. Kullanılan yöntemin ilk aşamasında fabrika sorumluları görevli olmalı, nihai sonucu ise oyun modelinin dengesini belirleyerek merkezi birim bildirmelidir. Ayrıca fabrika sorumlularının endişeleri kendi fabrikalarının üretim çizelgesinden sapmadan TTY programına katılmak iken, yük eğrilerini ve çalışmanın asıl amacını endişe edinen taraf merkezi birim olacaktır.

5.1 Modelleme

Literatürdeki yük kaydırma çalışmalarında toplam elektrik maliyetini azaltmak, puant dönemi kullanımının gün içi oranını azaltmak ya da kısaca “PAR” ismi verilen puant dönem kullanımının günlük ortalama kullanıma oranını azaltmak gibi amaçlar benimsenmiştir. Gün içi yük dağılımını eşitlemek söz konusu olduğunda, oransal bir hedef belirlemenin gerekli olduğu, fakat önceki cümlede bahsedilen oranların iki zamanlı tarife yapısına daha uygun olduğu görülmüştür. Türkiye’deki üç zamanlı tarifeler ile çalışıldığında, yapılmak istenen yalnızca puant dönemi ortalamaya

yakınlaştırmak değil, gece döneminin de kullanımını arttırmak olmalıdır. Dolayısıyla, gün içi yük dağılımını eşitleme hedefi için bu duruma uygun hedef fonksiyonları önerilmelidir.

Ele alınan problemi çözmek için güdülecek amaç, toplam yükü gün içinde dağıtmaktır. Hem bölgeye iletilecek saatlik toplam yük miktarlarını hem de bu yüklerin her bir fabrikaya dağıtıldığı hatlardaki saatlik geçiş miktarlarını mümkün olduğunca birbirine yaklaştırmak istenir. Dolayısıyla probleme her bir fabrika açısından baktığımızda, fabrika sorumluları bir yandan kendi yük eğrilerini bir yandan da tesisin yük eğrisini düzgünleştirecek adımlar atmalıdırlar. Önceki kısımlarda da bahsedildiği gibi, ülkemizde henüz akıllı şebeke altyapıları yoktur. Bu bizim problemimiz açısından, fabrikaların saatlik güç tüketimleri ile ilgili birbirleriyle haberleşememeleri sonucunu doğurur. Dolayısıyla fabrikalar, bir iyileştirme yaparken diğerlerinin amaca ne derece ve ne şekilde katkı sağladıklarını bilememektedirler.

Bir fabrika tarifelere göre kendi tüketim çizelgesini oluşturduğunda kullanacağı bazı tüketim kalemlerini birden fazla farklı saat aralığında kullanmasının bir şeyi değiştirmeyeceğini görebilir. Fakat bu seçim, bölgenin toplam tüketimini değiştirecek olabilir. Bu noktada bölgeye sistem bakış açısı ile bakmanın gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Literatürdeki benzer çalışmalarda, üretici kurum ve tüketiciler arasında çok yönlü bir haberleşme ağı önerilmiştir. Fakat bu önerilen sistemler, akıllı şebekelerin kullanımını gerektirmektedir. Bu çalışmanın uygulama kısmında, faydalanılabilecek bir akıllı şebeke altyapısı bulunmamaktadır. Ancak, mevcut şartlar ve kullanılan Bayesyen oyun yaklaşımı ile ona yakınsayan bir sistem tasarlanmaya çalışılacaktır. Kullanıcılar arası iletişim olmadan da, daha merkezi bir kontrol sistemi ile ortak bir optimizasyonun yapılabilmesi savunulmakta, bu yönde bir model önerilmektedir.

5.1.1 Tüketiciler için doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama modeli (MINLP)

Ülkemizde kullanılmakta olan üç zamanlı tarife yapısı için, puant dönemi kullanımını azaltmanın yanında gece dönemi kullanımını arttırmayı da amaçlayan modellerin daha uygun olacağı kanısına varılmıştır. Bu sebeple, üç tarife döneminin değişimini de içinde barındıran, dönemler arası geçişleri yansıtabilecek bir indikatör

belirlenmesine karar verilmiştir. Modelin hedef kısmında böyle bir indikatörü minimize etmek, hem asıl amacı daha sağlıklı şekilde ifade edecek hem de önceki çalışmalardan farklı olacaktır.

Öncelikle modelin hedef fonksiyonu için, ikisi de tüketimi kaydırmaya yönelik iki ayrı formülasyon önerilecektir. Bunlar tanıtıldıktan sonra, içlerinden biri MINLP modelinin hedefi olarak seçilecektir. Çizelge 5.1’de, kurulacak modelin değişken ve parametreleri tanımlanmıştır.

Çizelge 5.1 : Modelde kullanılan değişken ve parametreler.

i	: Fabrikalar
j	: Her bir fabrikanın elektrik tüketen cihazları
t	: Günün saatleri ($t = 1, 2, \dots, 24$) (Örn.; $t=2$, 01:00 ile 02:00 arasını ifade eder.)
$l_{i,j,t}$	: i fabrikasındaki j cihazının günün t . saati boyunca çektiği toplam güç (kWh)
$y_{i,j,t}$	: i fabrikasındaki j cihazının t saatinde çalışıp çalışmadığını ifade eden 1-0 değişken
$L_{i,t}$	: i fabrikasının günün t . saati boyunca çektiği toplam güç (kWh)
L_t	: Günün t . saati boyunca bölgede tüketilen toplam güç (kWh)
L^n	: Bölgede gündüz dönemi boyunca çekilen ortalama saatlik güç (kWh)
L_i^n	: i fabrikasında gündüz dönemi boyunca çekilen ortalama saatlik güç (kWh)
L^p	: Bölgede puant dönemi boyunca çekilen ortalama saatlik güç (kWh)
L_i^p	: i fabrikasında puant dönemi boyunca çekilen ortalama saatlik güç (kWh)
L^o	: Bölgede gece dönemi boyunca çekilen ortalama saatlik güç (kWh)
L_i^o	: i fabrikasında gece dönemi boyunca çekilen ortalama saatlik güç (kWh)
L^d	: Bölgede gün boyunca çekilen ortalama saatlik güç (kWh)
$\tau_{i,j}$	: i fabrikasındaki j cihazının günlük toplam çalıştırılması gereken süre (saat)
$\omega_{i,j}$	: i fabrikasındaki j cihazının 1 saat çalıştığında harcadığı güç (kWh)

5.1.1.1 Değişkenler ve parametreler

l_{ijt} ve y_{ijt} değişkenleri modelin karar değişkenleridir. Bunlar arasında, kısıtlarda ifade edilecek olan bir çarpım ilişkisi vardır. Ayrıca l_{ijt} karar değişkenleri aracılığıyla elde edilecek olan elektrik tüketim çizelgesinin daha rahat anlaşılabilmesi için, Çizelge 5.2’de bir i fabrikası için matris formunda verilmişlerdir. Modelin

amacı, bu matrislerde satır toplamlarını değiştirmeden sütun toplamlarını değiştirmek, birbirine yakınlaştırmaktır.

L^d , L_i^d , $\tau_{i,j}$ ve $\omega_{i,j}$ değerleri modelin parametreleridir. Karar değişkenlerinin çeşitli toplama ve ortalama alma işlemlerine tabi tutulmasıyla elde edilen, modele ait diğer değişkenler ise $L_{i,t}$, L_t , L^n , L_i^n , L^p , L_i^p , L^o , L_i^o 'dur. Bunların tanımları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

5.1.1.2 Varsayımlar

Problemin modellenmesinin daha iyi anlaşılabilmesi için varsayımları özetlemek gerekmektedir. Model kurulurken kullanılan varsayımlar şunlardır:

- Bölgedeki her bir fabrikada üretim 24 saat devam eder. 8'er saatlik üç vardiya halinde çalışılır.
- Fabrikalarda Çizelge 3.1'de özellikleri verilen üç zamanlı tarife kullanılır ve buna bağlı olarak saatlik veri tutabilen akıllı sayaçlar mevcuttur.
- Vardiya değişimleri sırasında üretim kesintiye uğramaz. O anda çalışmakta olan makine ve cihazlar çalışmalarını sürdürürler.
- Her bir elektrik tüketen cihazın, dolayısıyla her bir fabrikanın ve tüm bölgenin bir günlük toplam elektrik tüketim miktarları sabittir.
- Bir makine çalışmaya başladığında ara vermeden çalıştırılır. Dolayısıyla, her makine günde bir kez hazırlığa tabi tutulur ve çalışmaya başladığı saatten çalışması bitinceye kadar $l_{ijt} > 0$ ve $y_{ijt} = 1$ 'dir.

Çizelge 5.2 : i fabrikası için bir günlük elektrik tüketim çizelgesi.

	0:00-1:00	1:00-2:00	...	23:00-0:00
1 nolu cihaz	$l_{i,1,1}$	$l_{i,1,2}$	...	$l_{i,1,24}$
2 nolu cihaz	$l_{i,2,1}$	$l_{i,2,2}$	...	$l_{i,2,24}$
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
i fabrikasının saatlik toplam yükleri	$L_{i,1}$	$L_{i,2}$	...	$L_{i,24}$

5.1.1.3 Hedef fonksiyonu önerileri

Ulaşılmak istenen hedef, en kaba haliyle günlük yük eğrisini düzeltmek olduğundan, büyükten küçüğe tüketim miktarına göre dizilmiş tarife dönemleri birbirine yaklaştırılmak istenir. Hem puant dönem kullanımının gündüz dönemi kullanımına oranı hem de gündüz döneminin gece dönemi kullanımına oranı küçültülerek bu hedefe ulaşılabilir. Dolayısıyla üç zamanlı tarife yapısına uygun, aşağıdaki gibi yeni bir indikatör önerilmiştir.

$$\frac{L^p}{L^n} + \frac{L^n}{L^o} = \frac{L^p \cdot L^o + (L^n)^2}{L^n \cdot L^o} \quad (5.1)$$

Bu indikatör minimize edilerek takip eden dönemler arası geçişler yumuşatılmış olacak, yük eğrisi düzelecektir. Hatta çözümün hedef yönünde çok fazla ilerlemesi durumunda, eğri tersine bile dönebilecektir. Ek olarak, L^p , L^n ve L^o 'nun ülkemizde uygulanan çok zamanlı tarife saat aralıklarına göre hesaplanma biçimleri aşağıdaki gibidir.

$$L^p = \frac{L_{.18}+L_{.19}+L_{.20}+L_{.21}+L_{.22}}{5} \quad (5.2)$$

$$L^n = \frac{L_{.7}+L_{.8}+L_{.9}+L_{.10}+L_{.11}+L_{.12}+L_{.13}+L_{.14}+L_{.15}+L_{.16}+L_{.17}}{11} \quad (5.3)$$

$$L^o = \frac{L_{.23}+L_{.24}+L_{.1}+L_{.2}+L_{.3}+L_{.4}+L_{.5}+L_{.6}}{8} \quad (5.4)$$

Model için ikinci bir hedef önerisi ise, standart sapmayı minimize etme fikrinden türemiştir. Çalışmada ele alınan bölge için günlük toplam tüketim, dolayısıyla da saatlik ortalama tüketim değişmeyecektir. Yapılmak istenen, güç kaynağından düzenli biçimde güç talep etmek için saatlik miktarları birbirine benzer hale getirmektir. Bu matematiksel olarak yorumlandığında, ortalamanın sabit kalıp standart sapmanın azaltıldığı bir durumla karşılaşılır.

Günlük tüketim, saatlik birimlere ayrıldığında standart sapma aşağıdaki formül ile hesaplanır. Burada L^d bölge geneli toplam tüketimin saatlik ortalamasını ifade eder ve önceden bilinecek sabit bir değerdir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{24} (L_{.t} - L^d)^2}{24}} \quad (5.5)$$

Böyle bir değer minimize edileceği zaman, karekökü ve paydadaki sabit değeri göz ardı etmek sonucu değiştirmeyecektir. Dolayısıyla model için yapılan ikinci hedef önerisi Denklem (5.6)'daki gibi olacaktır.

$$\text{Min } \sum_{t=1}^{24} (L_t - L^d)^2 \quad (5.6)$$

Önerilen hedeflerden ilki üç zamanlı tarife yapısı içindir. Matematiksel yapısı gereği, gece dönemi kullanım ortalamasının olabildiğince artışını mümkün kılar. İkinci hedef önerisi ise, tek ya da daha fazla zamanlı tüm tarife yapılarına uygundur ve saatlik yük akışını tek tipleştirmeye yöneliktir. Bu hedef fonksiyonu kullanıldığında, gece dönemi kullanımı diğer hedefteki kadar artamaz. Dolayısıyla, ilk hedefin toplam maliyeti azaltma bakımından katkısı daha fazla olacaktır.

5.1.1.4 Kısıtlar

Modelin asıl karar değişkeni $l_{i,j,t}$ ile buna bağlı değişkenler arasındaki toplam ilişkilerinin modele kısıt olarak eklenmesi gerekir. L_t değişkeni, model çözüldükten sonra bölgeye gelen saatlik toplam yük akışlarını inceleme aşamasında kullanılacaktır.

$$\forall i \text{ ve } t \text{ için, } L_{i,t} = \sum_j l_{i,j,t} \quad (5.7)$$

$$\forall t \text{ için, } L_t = \sum_i L_{i,t} \quad (5.8)$$

Bölgenin, fabrikaların ve her bir elektrik tüketen cihazın gün boyu toplam elektrik tüketim miktarları değişmeyeceğinden, aşağıdaki üç eşitlik geçerlidir. Eşitliklerin sağ taraflarındaki sabit değerler, uygulama aşamasında veri temini ile netleşecektir. Kullanılan vurgu işaretlerinden $\vec{x}$ vektör gösterimini, $\tilde{x}$ matris gösterimini ifade eder.

$$\sum_{t=1}^{24} L_t = c_1 \quad (5.9)$$

$$\forall i \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} L_{i,t} = \vec{c}_{2_i} \quad (5.10)$$

$$\forall i, j \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} l_{i,j,t} = \tilde{c}_{3_{i,j}} \quad (5.11)$$

(5.11) eşitliği, her bir fabrikada yer alan her bir elektrik tüketen cihazın günlük toplam tüketiminin sabit olduğunu ifade etmektedir. Bu aşamada, tüketimi kaydırılabilir cihazlar ile tüketimi kaydırılamaz cihazların ayrımını yapmak gerekir. Tüketimi kaydırılamaz cihazlar için her i , j ve t için $l_{i,j,t}$ değeri, model çalıştırılmadan önce bilinecek bir c_4 sabitine eşit olacaktır. Tüketimi kaydırılabilir cihazlar ise, problemin en önemli kısmını teşkil etmektedirler. Bunlar için yalnızca

yukarıdaki üçüncü eşitlik geçerlidir. Bir cihazın bir saat çalıştırıldığında çekeceği güç teknik özelliklerine bağlı olarak her saat için aynıdır. Bu değer $\omega_{i,j}$ ile ifade edilir. Dolayısıyla bu cihazlar için $l_{i,j,t}$ değerleri 0'a ya da $\omega_{i,j}$ 'ye eşit olurlar. Bu durum ise, aşağıdaki (5.12) eşitliği ile sağlanır.

$$\forall i, j, t \text{ için, } l_{i,j,t} = y_{i,j,t} \cdot \omega_{i,j} \quad (5.12)$$

Örneğin, 2. fabrikadaki saatte 100 W güç harcayan 1. cihaz ele alınsın. τ_3 matrisinin 2. satır 1.sütunundaki hücrenin değeri 400 W olsun. Bu durumda bu cihaz günde 4 saat çalışmak zorundadır. $l_{i,j,t}$ 20 tane t değerinde 0'a, kalan 4 t değerinde 100'e eşit olur. Bu (5.13) ve (5.14) kısıtları ile ifade edilir.

$$\forall i, j \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} l_{i,j,t} = \tau_{i,j} \cdot \omega_{i,j} \quad (5.13)$$

$$\forall i, j \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} y_{i,j,t} = \tau_{i,j} \quad (5.14)$$

Tüketimi kaydırılabilir bir cihazın kullanım saatleri de tamamıyla esnek değildir. Fabrikanın ihtiyaçlarına ve makinelerin çalışma sıralamalarına bağlı olarak belirli esneklikler oluşmaktadır. Bu cihazlar için modelin çözümüyle elde edilecek olan, hangi saatlerde çalıştırılacaklarıdır. Bunu şekillendirecek olansa cihazlar arası çalışma sıralarıdır.

Bir fabrikadaki elektrik tüketen cihazlar için birden fazla sıralama serisi olabilir. Örneğin 1-2-3-4 makinelerinin arasında bir çalışma sırası ve bundan tamamen bağımsız olarak 5-6-7 makineleri arasında başka bir sıra bulunabilir. Çalışma sıraları ve her birinin ilk makinesi için çalışmaya hazır olacağı saat, veri olarak temin edilir. (5.16) kısıt seti bunu ifade eder.

Sıralamaların baş elemanları için veri olarak hazır alınacak birer başlangıç saati vardır. Her bir makine çalışma sıralaması, 24 saatlik dilimin başında belirli hazırlık süresi geçtikten sonra başlayabilir. Ama bu, her sıralamanın kesin olarak o saatte başlayacağını söylemez, yalnızca daha önce başlayamayacağını ifade eder. Dolayısıyla, kaydırılabilir cihazlardan oluşan üretim sıralamaları için kısıtlar aşağıdaki gibi olur.

Hazırlık süresi olan sıra başı makineleri için, bu süre dolana kadar,

$$y_{i,j,t} = 0 \quad (5.15)$$

i fabrikasının sıra başındaki bir j makinesi için, öyle bir t’de $y_{i,j,t} = 1$ ise,

$$\sum_t^{t+\tau_{i,j}-1} y_{i,j,t} = \tau_{i,j} \quad (5.16a)$$

$$\sum_1^{t+\tau_{i,j}-1} y_{i,j+1,t} = 0 \quad (5.16b)$$

Burada j+1 ile ifade edilen j değerinin 1 fazlası değil, o üretim sıralaması içinde j. cihazdan sonra gelen cihazdır. Modelin sistem kısıtları ise aşağıdaki gibidir.

$$\forall i, j, t \text{ için, } l_{i,j,t} \geq 0 \quad (5.17a)$$

$$\forall i, j, t \text{ için, } y_{i,j,t} \in \{0, 1\} \quad (5.17b)$$

5.1.1.5 Model

Sunulan hedef fonksiyonu önerileri ve kısıtlardan sonra, nihai model (5.18)’deki gibi olur. Modelin hedefi olarak,  talep dönemi arası geçişleri yumuşatmaya yönelik olan ve maliyetleri de daha etkin biçimde duşurecek olan $\frac{L^p \cdot L^o + (L^n)^2}{L^n \cdot L^o}$ indikatörünün minimizasyonu seçilmiştir.

Kurulan bu model her bir fabrika için ayrı ayrı çözüleceğinden, burada da model bir i fabrikası için verilmektedir.

$$\text{Min } \frac{L_i^p \cdot L_i^o + (L_i^n)^2}{L_i^n \cdot L_i^o}$$

Öyle ki, (5.18)

- $L_i^p = \frac{L_{i,18}+L_{i,19}+L_{i,20}+L_{i,21}+L_{i,22}}{5}$
- $L_i^n = \frac{L_{i,7}+L_{i,8}+L_{i,9}+L_{i,10}+L_{i,11}+L_{i,12}+L_{i,13}+L_{i,14}+L_{i,15}+L_{i,16}+L_{i,17}}{11}$
- $L_i^o = \frac{L_{i,23}+L_{i,24}+L_{i,1}+L_{i,2}+L_{i,3}+L_{i,4}+L_{i,5}+L_{i,6}}{8}$
- $\forall i \text{ ve } t \text{ için, } L_{i,t} = \sum_j l_{i,j,t}$
- $\forall i \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} L_{i,t} = \vec{c}_{2i}$
- *Kaydırılmaz j cihazları için,* $l_{i,j,t} = c_{4i,j,t}$
- $\forall i, j, t \text{ için, } l_{i,j,t} = y_{i,j,t} \cdot w_{i,j}$
- $\forall i, j \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} l_{i,j,t} = \tau_{i,j} \cdot w_{i,j}$
- $\forall i, j \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} y_{i,j,t} = \tau_{i,j}$

- *Hazırlık süreli sıra başı makineleri için, bu süre dolana kadar, $y_{i,j,t} = 0$*
- *Kaydırılabilir cihazlar için sıralama kısıtları:*
 i fabrikasının sıra başındaki bir j makinesi için, öyle bir t 'de $y_{i,j,t}=1$ ise,
 - $\sum_t^{t+\tau_{i,j}-1} y_{i,j,t} = \tau_{i,j}$
 - $\sum_1^{t+\tau_{i,j}-1} y_{i,j+1,t} = 0$
- $\forall i,j,t$ için, $l_{i,j,t} \geq 0$ ve $y_{i,j,t} \in \{0,1\}$

5.1.2 Tek üretici çok tüketicili sistemde Bayesyen oyun modeli

Tek bir üretim kanalı ve çok sayıda tüketiciden oluşan ve akıllı şebeke altyapısı olmayan bir sistemde yük kaydırma uygulaması yaptığımız problemimizi bir Bayesyen oyun şeklinde modelleyebilmek için, önceki kısımda verilen doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama modeli bölgedeki her fabrika için çözülür.

Kurulacak bu alt modeller, GAMS (The General Algebraic Modeling System) programı ile çözülecektir. Ama oyun modeli için gerekli olan optimum sonuçlar değil, Chen ve diğ.'nin (2014) çalışmasındaki gibi olurlu sonuçlar olacaktır. Çünkü fabrikalardaki sorumlular günlük elektrik tüketimlerini üretim hedeflerini gerçekleştirecek şekilde yapmayı önemserler; yük akışı düzeni fabrikaların dışındaki merkezi kontrol sistemini ilgilendirmektedir. Alt modellerde kullanılan indis ve değişkenlerle, oyun modelinde kullanılacak olanlar birbirinden tamamen bağımsızdır ve karıştırılmamalıdır. Oyun modeline ait değişken ve parametreler Çizelge 5.3'te tanımlanmıştır.

Çizelge 5.3 : Oyun modelinde kullanılan değişken ve parametreler.

i	: Oyuncular ($i = 1, 2, \dots, n$)
j_i	: i oyuncusunun tipleri indisi
T_i	: i oyuncusunun tipleri kümesi
θ_{ij_i}	: i oyuncusunun j_i . olası tipi ($\theta_{ij_i} \in T_i$)
θ_i	: i oyuncusunun seçtiği tip ($\theta_i \in T_i$)
θ_{-i}	: i oyuncusu dışındaki oyuncuların seçtikleri tipler
p	: İnanış fonksiyonu
u_i	: i oyuncusunun kazanç fonksiyonu
s_i^*	: i oyuncusunun optimal stratejisi

s^* : Optimal strateji vektörü

Fabrikalar için belirli sayıda olurlu elektrik tüketim çizelgesi ortaya çıkacaktır. Kurulacak oyun modelinde, bu olurlu çizelgeler her bir i fabrikasının tiplerini ifade edecektir. Dolayısıyla bu oyunda her bir tip bir vektördür. Her bir fabrikanın hangi tipi seçeceği yani hangi tüketim çizelgesini kullanacağı özel bilgidir. Olurlu çizelgeler belirlendikten sonra, fabrika sorumluları eşit olasılıkla bunlardan birini kullanacaklardır.

Kurulan Bayesyen oyunda n adet oyuncu vardır. Bu oyuncuların, alt MINLP modellerinin çözümlerine göre belirlenecek farklı tipleri olacaktır. Diğer oyuncuların tiplerle ilgili inanışları, tiplerin sayılarına göre belli olacaktır. Dolayısıyla inanış fonksiyonlarının değeri Denklem (5.19)'daki gibi ifade edilebilir. Burada $n(\cdot)$, bir kümenin eleman sayısını ifade eden fonksiyondur.

$$\forall i \text{ ve } j_i \text{ için, } p(\theta_i = \theta_{ij_i}) = \frac{1}{n(T_i)} \quad (5.19)$$

Oyuncuların $u_i(\theta_i, \theta_{-i})$ kazanç fonksiyonları ise, aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Çözülen alt modeller minimizasyon hedefli olduğundan, bu genel ve özel hedef fonksiyonları kazanç fonksiyonuna negatif katsayı ile eklenmişlerdir.

$$Ind_i = \frac{L_i^p \cdot L_i^o + (L_i^n)^2}{L_i^n \cdot L_i^o} \text{ ve } Ind_{ort} = \frac{L^p \cdot L^o + (L^n)^2}{L^n \cdot L^o} \text{ olmak üzere;}$$

$$u_i(\theta_i, \theta_{-i}) = -(Ind_i(\theta_i) + Ind_{ort}(\theta_i, \theta_{-i})) \quad (5.20)$$

Problemin çözülebilmesi için bulunması gereken, kurulan Bayesyen oyunun Bayesyen Nash dengesidir. Bu dengeyi verecek olan $s^*(s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$ optimal stratejisi aranmaktadır. Bu, aşağıdaki denklem sistemi ile bulunur. Bununla birlikte, bu oyunda stratejiler yalnızca birer eylemden oluştuğundan, eylemlerden ayrıca söz edilmemiştir.

$$\forall i = 1, 2, \dots, n \text{ için, } s_i^* \in \arg \max \sum_{\theta_{-i}} p(\theta_{-i} | \theta_i) \cdot u_i(\theta_i, \theta_{-i}) \quad (5.21)$$

Bayes kuralıyla oyun teorisinin kesiştiği nokta p inanış fonksiyonlarında karşımıza çıkmaktadır. Dördüncü bölümde bahsedildiği gibi, Bayes kuralı iki A ve B olayı için, $P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$ olduğunu söyler. Bayesyen oyunlarda da, oyuncuların inanışları bu kural ile güncellenir. İnanış fonksiyonları Bayes kuralına göre dönüşüme uğratıldığında, denge denklemleri sistemi de aşağıdaki gibi olur.

$$\forall i = 1, 2, \dots, n \text{ için, } s_i^* \in \arg \max_{\Sigma_{\theta_{-i}}} \left[\frac{p(\theta_i | \theta_{-i}) \cdot p(\theta_{-i})}{p(\theta_i)} \cdot u_i(\theta_i, \theta_{-i}) \right] \quad (5.22)$$

Bu aşamada, oyuncular birbirleri ile iletişim halinde olmadıklarından ve eşzamanlı tercih yaptıklarından her bir $p(\theta_i)$ olasılığının bağımsız olacağı ve bunun da burada uygulanan Bayesyen yaklaşımı işlevsiz bırakacağı düşünülebilir. Ancak, daha önce de bahsedildiği gibi tasarlanan sistem her fabrikanın mevcut stratejilerini ve bunların getireceği kazançları bilen merkezi bir tüketim kontrol biriminden yönetilecektir. Bu da oyunun matrislerindeki kazanç hücrelerinin değerlerinin dışarıdan biri tarafından bilinmesi durumunu doğuracak; böylece her bir oyuncunun olası hamlelerine göre diğerlerinin inanışlarını güncellenebilir kılacaktır.

Oyun teorisinde, sıfır toplamı oyunların doğrusal programlama ile modellenenbilmesi mümkündür. Oysa daha karmaşık oyun türlerinde henüz matematiksel modelleme yapılamamaktadır. Çalışmanın bu aşamasından sonra, ortaya çıkacak oyun modeli Microsoft Excel programı yardımı ile çözülebilir.

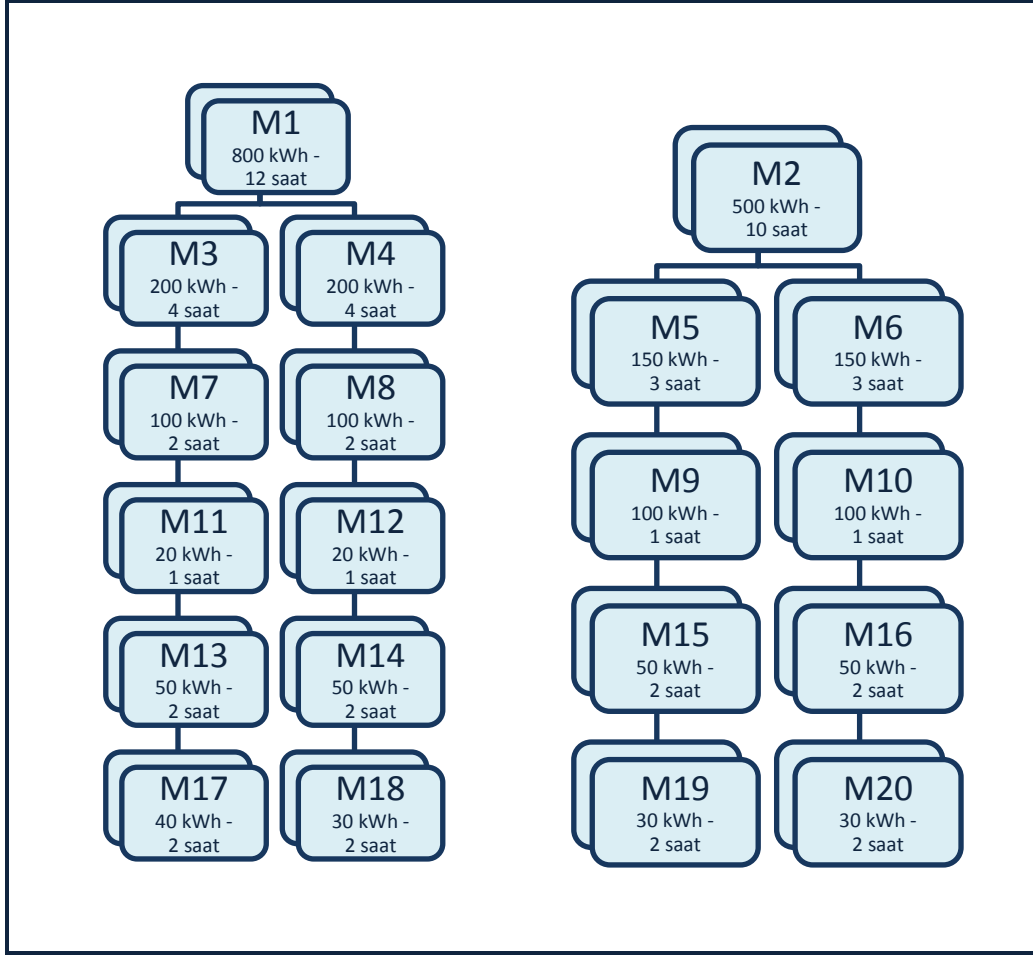
6. UYGULAMA ÇALIŞMASI

Önceki bölümde n tüketicili bir sistem için önerilen matematiksel model, uygulama aşamasında ele alınacak bir bölgeye uyarlanacaktır. Uygulama için bir firmanın, farklı sanayi kollarında hizmet veren ve aynı tesis içinde yer alan üç fabrikası seçilmiştir. Dolayısıyla, söz konusu tesis genel modelde bölge olarak bahsettiğimiz tüketici grubunu, üç fabrika ise n adet tüketiciyi ifade edecektir.

İlk olarak yapılması gereken, Alvarez ve diğ.'nin (2004) çalışmasında da olduğu gibi TTY uygulaması yapılacak olan fabrikaların elektrik tüketimi yönünden tanınması, verilerinin irdelenmesidir. Çalışmanın öncesine ait tüketim verileri çıkarılıp, mevcut durum ortaya konacaktır. Ardından, önerilen doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama modeli her bir fabrikaya uyarlanıp, kurulan her bir modelin olurlu çözümleri belirlenecektir. Son aşamada ise, Bayesyen oyun oluşturulacak ve tesisteki fabrikalar için ortak optimal tüketim çizelgeleri belirlenecektir. Elde edilen optimal çözüm ile eski çizelgeler karşılaştırılacaktır.

6.1 Fabrikaların Tanıtılması

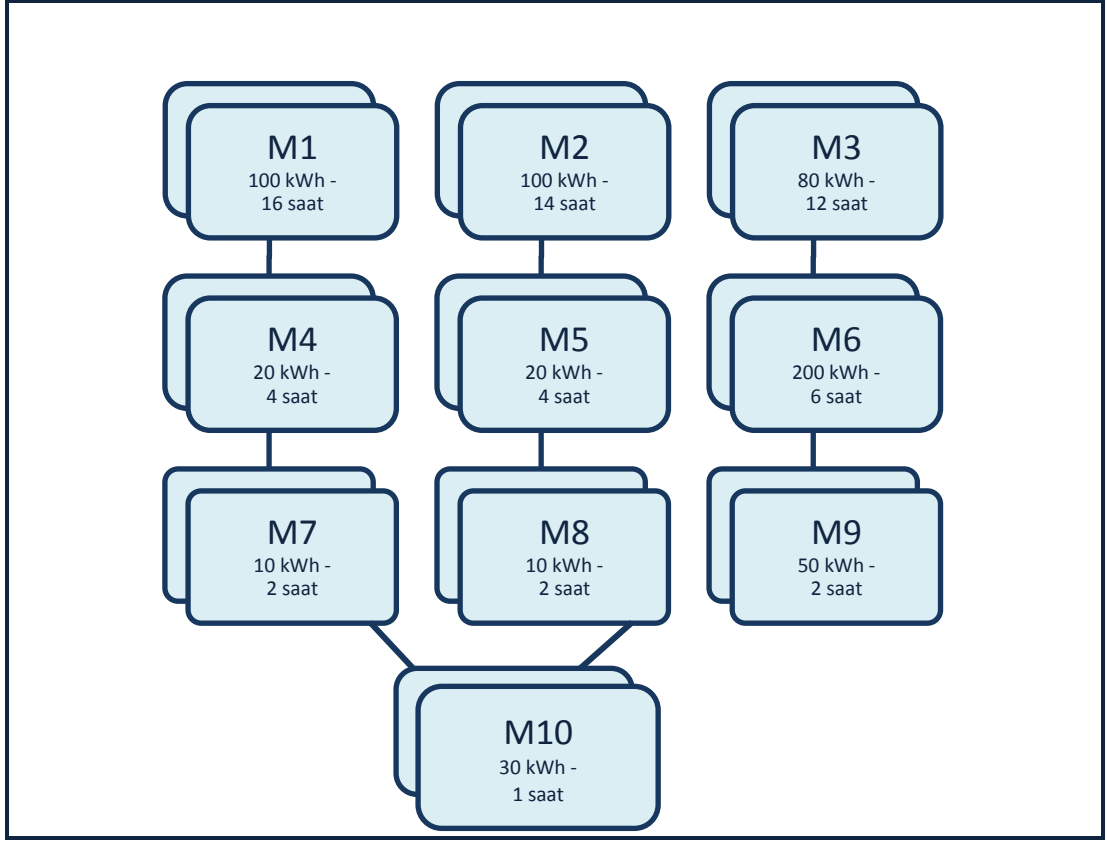
Uygulama çalışmasının yapılacağı tesiste yılın her günü 24 saat üretim yapan üç fabrika bulunmaktadır. Tesis ihtiyaç duyduğu elektriğin tamamını şebekeden almaktadır ve üç zamanlı tarife kullanılabilir. Fabrikalar farklı sektörlerle yönelik ürünler üretmekte; dolayısıyla her bir fabrikada kullanılan makineler, makinelerin çalıştırılması gereken süreler ve fabrikaların büyüklüklerine göre üretim dışı elektrik giderlerinin miktarları farklıdır. Bunun yanında üç fabrika için de, önceki bölümde söz edilen varsayımlar geçerlidir. Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'te her bir fabrikanın içinde bulunan tüketimi kaydırılabilir cihazlar, yani üretimde yer alan makineler, üretim sıralamaları ve saatlik çekilen güç – kullanılması gereken toplam saat verileri ile birlikte yer almaktadır.



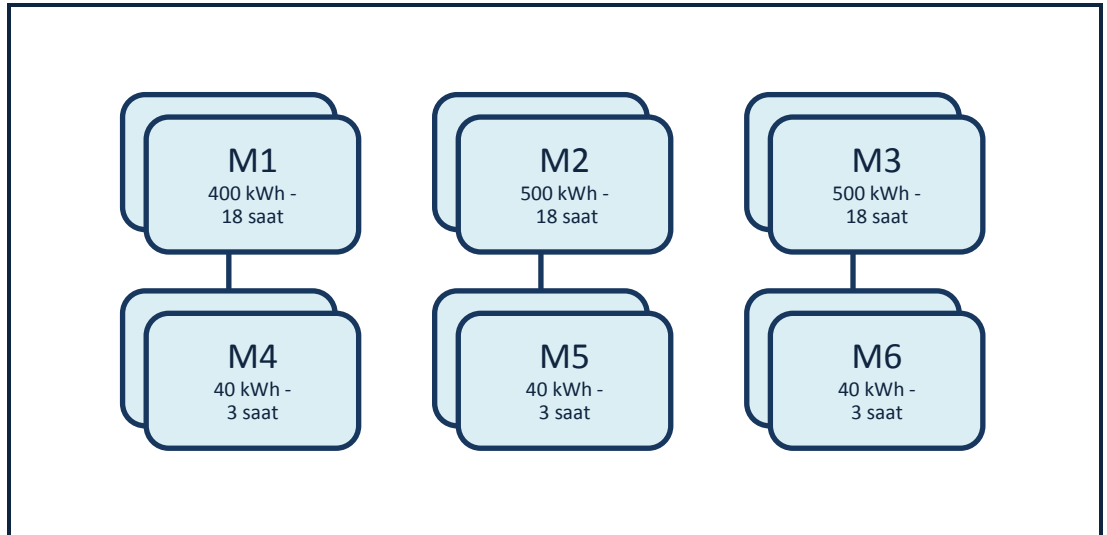
Şekil 6.1 : 1. fabrikadaki tüketimi kaydırılabilir cihazlar ve üretim sıralamaları.

Bunların yanında her fabrikada, elektrik tüketen ama tüketim saatleri yapılacak TTY çalışması ile değiştirilemeyecek, kaydırılamayan tüketim kalemleri de vardır. Bunlar aydınlatma, binanın genel elektrik giderleri, üç vardiya için yemekhanenin elektrik giderleri ve yönetim ofislerinin elektrik giderleri olmak üzere altı ayrı madde olarak, fabrikaların tüketim kalemleri arasına eklenmiştir. Aydınlatma ve genel giderler 24 saat boyunca, yemekhane kullanımları her vardiyanın çalışma saatlerine uygun şekilde 5., 13. ve 21. saatlerde, yönetim ofisleri ise saat 08:00 ile 18:00 arasında aktif olarak kabul edilmiştir. Model kurulurken bu tüketimler verilen saatlere sabitlenecektir. Fabrikalara göre kaydırılamaz cihazların saatlik tüketim miktarları ise Çizelge 6.1'deki gibidir.

Modeli kurarken temin edilmesi gerekli bir diğer veri ise, üretim sıralamalarının çalıştırılmaya başlaması için gerekli hazırlık süreleridir. 24 saatlik bir gün başında, her bir üretim sıralaması bu belirli süre geçmeden işlemeye başlayamaz. Bunlar da, her sıra başı makine için Çizelge 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2 : 2. fabrikadaki tüketimi kaydırılabilir cihazlar ve üretim sıralamaları.



Şekil 6.3 : 3. fabrikadaki tüketimi kaydırılabilir cihazlar ve üretim sıralamaları.

Tüm bunlar dikkate alınarak, elektriği şebekeden alan tesisin günün saatleri arasındaki güç talebini gerek denge gerek maliyet açısından, birbirine yakınlıştırmak amacıyla TTY çalışması yapılacaktır.

Çizelge 6.1 : Fabrikalardaki kaydırılmaz cihazların saatlik tüketimleri.

	1. fabrika	2. fabrika	3. fabrika
Aydınlatma (kWh)	3	2,5	2
Binanın genel elektrik giderleri (kWh)	2	1,5	1
Yemekhane - 1. vardiya (kWh)	0,5	0,5	0,5
Yemekhane - 2. vardiya (kWh)	0,5	0,5	0,5
Yemekhane - 3. vardiya (kWh)	0,5	0,5	0,5
Yönetim ofisleri (kWh)	2	2	2

Çizelge 6.2 : Fabrikalardaki sıra başı makinelerin hazırlık süreleri.

	Hazırlık süresi (saat)
1. fabrika – M1	1
1. fabrika – M2	2
2. fabrika – M1	1
2. fabrika – M2	1
2. fabrika – M3	1
3. fabrika – M1	1
3. fabrika – M2	2
3. fabrika – M3	2

6.1.1 Simülasyon sonuçları

Yapılacak çalışmanın getirilerini daha net görebilmek için, fabrikaların geçmiş verileri incelenerek çalışma öncesi mevcut durum ortaya konulmalıdır. Literatür incelemeleri sonucunda Mohsenian-Rad ve diğ. (2010), Samadi ve diğ. (2010), Valencia-Salazar ve diğ. (2011), Bahrami ve Parniani (2014) ve Sheikhi ve diğ. (2015) gibi benzer çalışmalarda geçmiş tüketim verilerinin simülasyon ile üretildiği görülmüştür. Söz konusu çalışmalarda kurulan modelleri test etmek ya da katkılarını göstermek üzere, geçmiş elektrik tüketimi ya da fiyat verileri simülasyon ile üretilmiştir.

Bir fabrika için saatlik tüketim verileri üretilirken, fabrikadaki cihazların sayısına ve bunların her birinin saatlik elektrik tüketimine göre olası değerlerin bulunması gerekir. Bizim çalışmamızda, bu değerleri bulmak için el ile hesaplanamayacak kadar büyük ve çok sayıda kombinasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Basit bir örnek üzerinden açıklamak gerekirse, küçük bir fabrikada saatte 100, 200 ve 300 kWh güç çeken üç cihaz olsun. Bu fabrikanın saatlik toplam güç tüketimleri 100, 200, 300, 100+200, 100+300, 200+300 ve 100+200+300 değerlerinde olabilir. Görüldüğü gibi

bu örnekte, makine sayısı olan 3'ün 1'li, 2'li ve 3'lü kombinasyonlarının tümü kullanılmıştır. Makine sayısı arttıkça, olası tüm kombinasyonları belirlemek için bilgisayar desteği gerekeceği açıktır.

Bu aşamada Microsoft Excel'deki makro yazma özelliğinden faydalanılmıştır. Excel 2010 kullanılarak, farklı eleman sayılarına sahip kümelerin farklı büyüklükteki kombinasyonlarını sıralayan makro kodları ile, her bir fabrikanın olası saatlik toplam tüketimleri listelenmiştir. Yazılan makro kodlarının tümü Ek B'de verilmiştir.

TTY çalışmasından önceki tüketim alışkanlıkları bilinmediğinden, belirlenen olası saatlik yük toplamalarının gerçekleşme olasılıkları eşit olarak kabul edilmiştir. Yine Microsoft Excel yardımı ile, bu değerler rassal olarak atanarak 2 aylık ve 24'er saatlik elektrik tüketimi verileri üretilmiştir. Üretilen veriler Ek C'de yer almaktadır. Yapılacak çalışmanın getirilerini görmek için, geçmiş 2 aylık verilere göre modelde minimize edilen indikatörün ortalama değeri ve günlük ortalama elektrik maliyeti hesaplanmıştır. Bunlar Çizelge 6.3'te verilmektedir. Verilen maliyet değerleri elektrik faturalarındaki miktar değil, yalnızca elektrik tüketimi kaynaklı, vergiler ve kayıp kaçak oranları katılmamış net maliyettir.

Çizelge 6.3 : Fabrikaların mevcut durumlarına ait simülasyon sonuçları.

	1. fabrika	2. fabrika	3. fabrika	Tesis geneli
İndikatör	2,12	2,35	2,61	2,33
Maliyet	3.850,10 TL	1.107,12 TL	5.222,24 TL	10.179,46 TL

6.2 Matematiksel Modellerin Çözülmesi

Her fabrika için ayrı ayrı kurulacak olan alt modeller, bazı bakımlardan farklılık gösterecektir. Ayrıca önceki kısımlarda da bahsedildiği gibi, doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama modelleri çözüldüğünde ihtiyaç duyulan sonuç, sıklıkla olduğu gibi optimum çözüm değil tüm olurlu çözümler, diğer bir deyişle problemin çözüm bölgesine giren tüm tüketim çizelgeleridir. Yani, çalışmanın bu aşamasında asıl amaç kurulacak modellerdeki kısıtları sağlayan tüm elektrik tüketim çizelgelerinin belirlenmesidir. Bunun için modeli kurarken ve koda dökerken, önerilen hedef fonksiyonu yerine, optimum çözümleri aramaya gerek bırakmayacak " $Min z = 1$ " şeklinde bir fonksiyon kullanılacaktır. Bu değişiklik ise, alt modelleri doğrusal olmama durumundan çıkaracaktır.

6.2.1 Birinci fabrika için alt model

Birinci fabrika için, tüketimi kaydırılabilir ve kaydırılamaz cihazların toplam sayısı 26'dır. Dolayısıyla, j indisi 1'den 26'ya kadar değer alacaktır. i indisinin değeri ise, kurulan model tek bir fabrika için olduğundan, yalnızca 1 olacaktır. Bu durum, alt modellerde bu indisi kaldırarak modeli sadeleştirmeye olanak verir. Üretim sıralamaları da dikkate alınarak, matematiksel model aşağıdaki gibi kurulur.

$$\text{Min } z = 1$$

Öyle ki, (6.1)

- $\forall t \text{ için, } L_t = \sum_{j=1}^{26} l_{j,t}$
- $\sum_{t=1}^{24} L_t = 18541,5$
- $\forall t \text{ için, } y_{21,t} = 1 \text{ ve } y_{22,t} = 1$
- $y_{23,t} = \begin{cases} 1; & t = 5 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases} \quad y_{24,t} = \begin{cases} 1; & t = 13 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases}$
- $y_{25,t} = \begin{cases} 1; & t = 21 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases} \quad y_{26,t} = \begin{cases} 1; & 9 \leq t \leq 18 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases}$
- $\forall j, t \text{ için, } l_{j,t} = y_{j,t} \cdot w_{ij}$
- $\forall j \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} l_{j,t} = \tau_j \cdot w_j$
- $\forall j \text{ için, } \sum_{t=1}^{24} y_{j,t} = \tau_j$
- $y_{1,1} = 0, y_{2,1} = 0 \text{ ve } y_{2,2} = 0$
- *M1-M3-M7-M11-M13-M17 üretim sıralaması için,*
 - $t \text{ için } y_{1,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_1-1} y_{1,t} = \tau_1 \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_1-1} y_{3,t} = 0$
 - $t \text{ için } y_{3,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_3-1} y_{3,t} = \tau_3 \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_3-1} y_{7,t} = 0$
 - $t \text{ için } y_{7,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_7-1} y_{7,t} = \tau_7 \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_7-1} y_{11,t} = 0$
 - $t \text{ için } y_{11,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_{11}-1} y_{11,t} = \tau_{11} \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_{11}-1} y_{13,t} = 0$
 - $t \text{ için } y_{13,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_{13}-1} y_{13,t} = \tau_{13} \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_{13}-1} y_{17,t} = 0$
 - $t \text{ için } y_{17,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_{17}-1} y_{17,t} = \tau_{17}$
- *M1-M4-M8-M12-M14-M18 üretim sıralaması için,*
 - $t \text{ için } y_{1,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_1-1} y_{1,t} = \tau_1 \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_1-1} y_{4,t} = 0$
 - $t \text{ için } y_{4,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_4-1} y_{4,t} = \tau_4 \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_4-1} y_{8,t} = 0$
 - $t \text{ için } y_{8,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_8-1} y_{8,t} = \tau_8 \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_8-1} y_{12,t} = 0$
 - $t \text{ için } y_{12,t} = 1 \text{ ise, } \sum_t^{t+\tau_{12}-1} y_{12,t} = \tau_{12} \text{ ve } \sum_1^{t+\tau_{12}-1} y_{14,t} = 0$

- t için $y_{14,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{14}-1} y_{14,t} = \tau_{14}$ ve $\sum_1^{t+\tau_{14}-1} y_{18,t} = 0$
- t için $y_{18,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{18}-1} y_{18,t} = \tau_{18}$
- *M2-M5-M9-M15-M19 üretim sıralaması için,*
 - t için $y_{2,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_2-1} y_{2,t} = \tau_2$ ve $\sum_1^{t+\tau_2-1} y_{5,t} = 0$
 - t için $y_{5,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_5-1} y_{5,t} = \tau_5$ ve $\sum_1^{t+\tau_5-1} y_{9,t} = 0$
 - t için $y_{9,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_9-1} y_{9,t} = \tau_9$ ve $\sum_1^{t+\tau_9-1} y_{15,t} = 0$
 - t için $y_{15,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{15}-1} y_{15,t} = \tau_{15}$ ve $\sum_1^{t+\tau_{15}-1} y_{19,t} = 0$
 - t için $y_{19,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{19}-1} y_{19,t} = \tau_{19}$
- *M2-M6-M10-M16-M20 üretim sıralaması için,*
 - t için $y_{2,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_2-1} y_{2,t} = \tau_2$ ve $\sum_1^{t+\tau_2-1} y_{6,t} = 0$
 - t için $y_{6,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_6-1} y_{6,t} = \tau_6$ ve $\sum_1^{t+\tau_6-1} y_{10,t} = 0$
 - t için $y_{10,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{10}-1} y_{10,t} = \tau_{10}$ ve $\sum_1^{t+\tau_{10}-1} y_{16,t} = 0$
 - t için $y_{16,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{16}-1} y_{16,t} = \tau_{16}$ ve $\sum_1^{t+\tau_{16}-1} y_{20,t} = 0$
 - t için $y_{20,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{20}-1} y_{20,t} = \tau_{20}$
- $\forall j, t$ için, $l_{j,t} \geq 0$ ve $y_{j,t} \in \{0, 1\}$

6.2.2 İkinci fabrika için alt model

İkinci fabrika için j indisi, 1’den 16’ya kadar değer alır. i indisi, önceki alt modelde olduğu gibi kaldırılacaktır. Üretim sıralamaları da dikkate alınarak, matematiksel model aşağıdaki gibi kurulur.

$$\text{Min } z = 1$$

Öyle ki,

(6.2)

- $\forall t$ için, $L_t = \sum_{j=1}^{16} l_{j,t}$
- $\sum_{t=1}^{24} L_t = 5607,5$
- $\forall t$ için, $y_{11,t} = 1$ ve $y_{12,t} = 1$
- $y_{13,t} = \begin{cases} 1; & t = 5 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases} \quad y_{14,t} = \begin{cases} 1; & t = 13 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases}$
- $y_{15,t} = \begin{cases} 1; & t = 21 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases} \quad y_{16,t} = \begin{cases} 1; & 9 \leq t \leq 18 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases}$
- $\forall j, t$ için, $l_{j,t} = y_{j,t} \cdot w_{ij}$
- $\forall j$ için, $\sum_{t=1}^{24} l_{j,t} = \tau_j \cdot w_j$

- $\forall j$ için, $\sum_{t=1}^{24} y_{j,t} = \tau_j$
- $y_{1,1} = 0, y_{2,1} = 0$ ve $y_{3,1} = 0$
- *M1-M4-M7-M10 üretim sıralaması için,*
 - t için $y_{1,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_1-1} y_{1,t} = \tau_1$ ve $\sum_1^{t+\tau_1-1} y_{4,t} = 0$
 - t için $y_{4,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_4-1} y_{4,t} = \tau_4$ ve $\sum_1^{t+\tau_4-1} y_{7,t} = 0$
 - t için $y_{7,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_7-1} y_{7,t} = \tau_7$ ve $\sum_1^{t+\tau_7-1} y_{10,t} = 0$
 - t için $y_{10,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{10}-1} y_{10,t} = \tau_{10}$
- *M2-M5-M8-M10 üretim sıralaması için,*
 - t için $y_{2,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_2-1} y_{2,t} = \tau_2$ ve $\sum_1^{t+\tau_2-1} y_{5,t} = 0$
 - t için $y_{5,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_5-1} y_{5,t} = \tau_5$ ve $\sum_1^{t+\tau_5-1} y_{8,t} = 0$
 - t için $y_{8,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_8-1} y_{8,t} = \tau_8$ ve $\sum_1^{t+\tau_8-1} y_{10,t} = 0$
 - t için $y_{10,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_{10}-1} y_{10,t} = \tau_{10}$
- *M3-M6-M9 üretim sıralaması için,*
 - t için $y_{3,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_3-1} y_{3,t} = \tau_3$ ve $\sum_1^{t+\tau_3-1} y_{6,t} = 0$
 - t için $y_{6,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_6-1} y_{6,t} = \tau_6$ ve $\sum_1^{t+\tau_6-1} y_{9,t} = 0$
 - t için $y_{9,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_9-1} y_{9,t} = \tau_9$
- $\forall j, t$ için, $l_{j,t} \geq 0$ ve $y_{j,t} \in \{0, 1\}$

6.2.3 Üçüncü fabrika için alt model

Üçüncü fabrika için j indisi, 1'den 12'ye kadar değer alır. Üretim sıralamaları da dikkate alınarak, matematiksel model aşağıdaki gibi kurulur.

$$\text{Min } z = 1$$

Öyle ki, (6.3)

- $\forall t$ için, $L_t = \sum_{j=1}^{12} l_{j,t}$
- $\sum_{t=1}^{24} L_t = 25653,5$
- $\forall t$ için, $y_{7,t} = 1$ ve $y_{8,t} = 1$
- $$y_{9,t} = \begin{cases} 1; & t = 5 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases} \quad y_{10,t} = \begin{cases} 1; & t = 13 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases}$$
- $$y_{11,t} = \begin{cases} 1; & t = 21 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases} \quad y_{12,t} = \begin{cases} 1; & 9 \leq t \leq 18 \text{ ise} \\ 0; & \text{Değilse} \end{cases}$$
- $\forall j, t$ için, $l_{j,t} = y_{j,t} \cdot w_{ij}$

- $\forall j$ için, $\sum_{t=1}^{24} l_{j,t} = \tau_j \cdot w_j$
- $\forall j$ için, $\sum_{t=1}^{24} y_{j,t} = \tau_j$
- $y_{1,1} = 0, y_{2,1} = 0, y_{2,2} = 0, y_{3,1} = 0$ ve $y_{3,2} = 0$
- *M1-M4 üretim sıralaması için,*
 - t için $y_{1,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_1-1} y_{1,t} = \tau_1$ ve $\sum_1^{t+\tau_1-1} y_{4,t} = 0$
 - t için $y_{4,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_4-1} y_{4,t} = \tau_4$
- *M2-M5 üretim sıralaması için,*
 - t için $y_{2,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_2-1} y_{2,t} = \tau_2$ ve $\sum_1^{t+\tau_2-1} y_{5,t} = 0$
 - t için $y_{5,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_5-1} y_{5,t} = \tau_5$
- *M3-M6 üretim sıralaması için,*
 - t için $y_{3,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_3-1} y_{3,t} = \tau_3$ ve $\sum_1^{t+\tau_3-1} y_{6,t} = 0$
 - t için $y_{6,t} = 1$ ise, $\sum_t^{t+\tau_6-1} y_{6,t} = \tau_6$
- $\forall j, t$ için, $l_{i,t} \geq 0$ ve $y_{j,t} \in \{0, 1\}$

6.2.4 Alt modellerin çözümleri

Bayesyen oyunda kullanılmak üzere, verilen bu alt modellerin alternatif çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için, kurulan modeller GAMS Distribution 21.6 programı ile, CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülür. Yazılan GAMS kodlarına, üretim sıralamalarının farklı saatlerde çalışmaya başlama durumları gözönüne alınarak, bir t saatinde bir j cihazının çalışmaya başlaması kabullerini ifade edecek kısıtlar eklenip çıkartılır. Devamlı olarak aynı sonuçlar alınmaya başlayınca dek denemeler sürdürülerek, olası tüm çözümler elde edilmiş olur.

Modellerde yer alan üretim sıralaması kısıtları ‘Eğer-İse’ yapısındadırlar; çözüme uygun hale getirilebilmeleri için bu ilişkinin doğrusallaştırılması gerekmektedir. Eğer-İse kısıt yapısını dönüştürürken, genelleştirilmiş bir “ $f(\vec{x}) > 0$ ise, $g(\vec{x}) \geq 0$ ” kısıt seti için, M çok büyük bir sayı ve $y \in \{0, 1\}$ olmak üzere,

$$-g(\vec{x}) \leq M \cdot y \quad (6.4a)$$

$$f(\vec{x}) \leq M \cdot (1 - y) \quad (6.4b)$$

doğrusal kısıtları yazılır (Winston, 2003).

Çalışmamızdaki modelde yer alan sıralama kısıtlarına bu dönüşüm uygulandığında, $y_{j,t}$ dışında başka bir 1-0 değişkene daha ihtiyaç duyulacaktır. GAMS kodlarında

bunun için, $v_{j,t}$ değişkeni kullanılmıştır. Alt modellerdeki sıralama kısıtları, sıra başındaki bir j cihazı için aşağıdaki doğrusal hali alır.

$$\circ \tau_j - \sum_t^{t+\tau_j-1} y_{j,t} \leq M \cdot v_{j,t} \quad (6.5a)$$

$$\circ \sum_1^{t+\tau_j-1} y_{j+1,t} \leq M \cdot v_{j,t} \quad (6.5b)$$

$$\circ y_{j,t} \leq M \cdot (1 - v_{j,t}) \quad (6.5c)$$

$$\circ v_{j,t} \in \{0, 1\} \quad (6.5d)$$

GAMS kodları yazılırken, dönüştürülmüş Eğer-İse kısıt setleri kullanılmıştır. Üç fabrika için yazılan kodlar Ek D’de yer almaktadır.

Her fabrika için çözülen alt modellerin alternatif çözümlerine yukarıda bahsedilen şekilde ulaşıp, çalışmanın bir sonraki aşamasındaki oyun modelinde tipler olarak kullanılacak farklı tüketim çizelgeleri bulunmuştur. Fabrikalar için olurlu tüketim çizelgesi sayıları, sırasıyla 4, 3 ve 4 olarak çıkmıştır. Her fabrika için bulunan alternatif çizelgeler Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Fabrikalar için bulunan tüm olurlu elektrik tüketim çizelgeleri.

	1. fabrika (kWh)				2. fabrika (kWh)			3. fabrika (kWh)			
	1. çiz.	2. çiz.	3. çiz.	4. çiz.	1. çiz.	2. çiz.	3. çiz.	1. çiz.	2. çiz.	3. çiz.	4. çiz.
t=1	5	115	5	5	4	4	4	3	3	3	3
t=2	805	805	805	805	184	284	184	403	3	403	3
t=3	1305	805	805	805	284	284	184	903	503	903	1003
t=4	1305	805	805	1305	284	284	284	1403	1403	1403	1403
t=5	1305,5	805,5	1305,5	1305,5	284,5	284,5	284,5	1403,5	1403,5	1403,5	1403,5
t=6	1305	805	1305	1305	284	284	284	1403	1403	1403	1403
t=7	1305	1305	1305	1305	284	284	284	1403	1403	1403	1403
t=8	1305	1305	1305	1305	284	284	284	1403	1403	1403	1403
t=9	1307	1307	1307	1307	286	286	286	1405	1405	1405	1405
t=10	1307	1307	1307	1307	286	286	286	1405	1405	1405	1405
t=11	1307	1307	1307	1307	286	286	286	1405	1405	1405	1405
t=12	1307	1307	1307	1307	286	286	286	1405	1405	1405	1405
t=13	957,5	1307,5	1307,5	1307,5	286,5	286,5	286,5	1405,5	1405,5	1405,5	1405,5
t=14	557	907	907	557	406	406	406	1405	1405	1405	1405
t=15	707	907	557	707	406	406	406	1405	1405	1405	1405
t=16	557	907	557	707	406	306	406	1405	1405	1405	1405
t=17	657	707	707	657	326	306	406	1405	1405	1405	1405
t=18	207	507	357	307	246	246	246	1405	1405	1405	1405
t=19	305	505	355	205	244	244	244	1403	1403	1403	1403
t=20	145	245	245	145	94	94	94	1043	1403	1003	1403
t=21	205,5	105,5	205,5	205,5	84,5	94,5	94,5	583,5	943,5	503,5	403,5
t=22	105	105	205	105	24	24	24	123	123	123	123
t=23	135	135	135	135	14	24	24	83	123	123	123
t=24	135	135	135	135	34	34	34	43	83	123	123

6.3 Bayesyen Oyunun Çözülmesi

Bayesyen oyunu kurabilmek için bilinmesi gereken tipler ve bunlara ait inanış değerleri, bir önceki kısımda yapılanlarla belirlenmiştir. Belirlenen tüketim çizelgelerine göre, her bir oyuncu için mevcut tip sayısı ve bunların seçilmelerine dair inanış değerleri Çizelge 6.5’te verilmiştir.

Çizelge 6.5 : Oyuncuların tip sayıları ve inanış değerleri.

	Tip sayısı	Her biri için inanış değeri
Oyuncu 1	4	0,25
Oyuncu 2	3	0,33
Oyuncu 3	4	0,25

Bu şartlar altında üç oyunculu Bayesyen oyun için aşağıdaki kümeler tanımlanır.

$$i = 1, 2, 3$$

$$j_1 \in T_1 = \{1, 2, 3, 4\} \quad (6.6)$$

$$j_2 \in T_2 = \{1, 2, 3\}$$

$$j_3 \in T_3 = \{1, 2, 3, 4\}$$

θ_{21}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-3,595	-3,742	-3,571	-3,631
θ_{12}	-4,807	-4,992	-4,778	-4,852
θ_{13}	-4,177	-4,342	-4,151	-4,217
θ_{14}	-3,847	-4,003	-3,823	-3,885
θ_{22}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-3,577	-3,722	-3,554	-3,613
θ_{12}	-4,783	-4,965	-4,754	-4,827
θ_{13}	-4,157	-4,319	-4,131	-4,196
θ_{14}	-3,828	-3,982	-3,804	-3,865
θ_{23}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-3,610	-3,758	-3,586	-3,646
θ_{12}	-4,828	-5,015	-4,798	-4,873
θ_{13}	-4,195	-4,361	-4,168	-4,235
θ_{14}	-3,864	-4,021	-3,839	-3,902

Şekil 6.4 : Oyuncu 1’in kazanç tablosu.

Bu noktada, $\overrightarrow{\theta_{1j_1}}, \overrightarrow{\theta_{2j_2}}, \overrightarrow{\theta_{3j_3}}$ tiplerinin her birinin boyutu 24 olan birer vektör olduğu unutulmamalıdır. Tip vektörleri dikkate alınarak, her durum için kazanç fonksiyonlarının alacağı değerler hesaplanır. Bunu yaparken Microsoft Excel programından faydalanılmıştır. Elde edilen kazanç tabloları, her bir oyuncu açısından 4x3x4 boyutlarında birer dikdörtgenler prizması oluşturmuştur. Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6’da bu prizmalar, kesitler halinde sunulmuştur.

Kazanç değerlerinin tamamı belirlendikten sonra, oyunun denge denklemleri yazılır. (5.21) denklem sisteminde, $n = 3$ olduğunda (6.7) ile verilen üçlü sistem ortaya çıkar.

θ_{21}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-4,412	-4,559	-4,388	-4,448
θ_{12}	-4,784	-4,969	-4,755	-4,829
θ_{13}	-4,601	-4,766	-4,575	-4,641
θ_{14}	-4,497	-4,653	-4,473	-4,535

θ_{22}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-4,218	-4,363	-4,195	-4,254
θ_{12}	-4,584	-4,766	-4,555	-4,628
θ_{13}	-4,405	-4,567	-4,379	-4,444
θ_{14}	-4,302	-4,456	-4,278	-4,339

θ_{23}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-4,601	-4,749	-4,577	-4,637
θ_{12}	-4,979	-5,166	-4,949	-5,024
θ_{13}	-4,793	-4,959	-4,766	-4,833
θ_{14}	-4,688	-4,845	-4,663	-4,726

Şekil 6.5 : Oyuncu 2’nin kazanç tablosu.

$$s_1^* \in \arg \max \sum_{\theta_{-i}} p(\theta_{2j_2} \cap \theta_{3j_3} | \theta_{1j_1}). u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{2j_2}, \theta_{3j_3}) \quad (6.7a)$$

$$s_2^* \in \arg \max \sum_{\theta_{-i}} p(\theta_{1j_1} \cap \theta_{3j_3} | \theta_{2j_2}). u_2(\theta_{1j_1}, \theta_{2j_2}, \theta_{3j_3}) \quad (6.7b)$$

$$s_3^* \in \arg \max \sum_{\theta_{-i}} p(\theta_{1j_1} \cap \theta_{2j_2} | \theta_{3j_3}). u_3(\theta_{1j_1}, \theta_{2j_2}, \theta_{3j_3}) \quad (6.7c)$$

İnanış fonksiyonları Bayes kuralına göre dönüşüme uğratılıp, denklemler (5.22) formuna uyarlandığında ise (6.8)’deki üçlü sistem elde edilir.

$$s_1^* \in \arg \max \sum_{\theta_{-i}} \left[\frac{p(\theta_{1j_1} | \theta_{2j_2} \cap \theta_{3j_3}) \cdot p(\theta_{2j_2} \cap \theta_{3j_3})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{2j_2}, \theta_{3j_3}) \right] \quad (6.8a)$$

$$s_2^* \in \arg \max \sum_{\theta_{-i}} \left[\frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{1j_1} \cap \theta_{3j_3}) \cdot p(\theta_{1j_1} \cap \theta_{3j_3})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{1j_1}, \theta_{2j_2}, \theta_{3j_3}) \right] \quad (6.8b)$$

$$s_3^* \in \arg \max \sum_{\theta_{-i}} \left[\frac{p(\theta_{3j_3} | \theta_{1j_1} \cap \theta_{2j_2}) \cdot p(\theta_{1j_1} \cap \theta_{2j_2})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{1j_1}, \theta_{2j_2}, \theta_{3j_3}) \right] \quad (6.8c)$$

θ_{21}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-4,745	-5,285	-4,662	-4,872
θ_{12}	-5,117	-5,695	-5,029	-5,253
θ_{13}	-4,934	-5,492	-4,849	-5,065
θ_{14}	-4,830	-5,379	-4,747	-4,959

θ_{22}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-4,727	-5,265	-4,645	-4,854
θ_{12}	-5,093	-5,668	-5,005	-5,228
θ_{13}	-4,914	-5,469	-4,829	-5,044
θ_{14}	-4,811	-5,358	-4,728	-4,939

θ_{23}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{34}
θ_{11}	-4,760	-5,301	-4,677	-4,887
θ_{12}	-5,138	-5,718	-5,049	-5,274
θ_{13}	-4,952	-5,511	-4,866	-5,083
θ_{14}	-4,847	-5,397	-4,763	-4,976

Şekil 6.6 : Oyuncu 3'ün kazanç tablosu.

Oluşan bu denge denklemleri çözülürken, her tip vektörü için olan inanışların Çizelge 6.5'te verilen başlangıç değerleri ve Bayes kuralı ile güncellenmiş inanış değerleri kullanılır. İnanışlar güncellenirken, söz hakkı tesisin tüketim kontrol biriminde olduğundan, hedef açısından getirisi yüksek olan seçeneğin olasılığına 1, diğer ikisine 0 değerleri verilir.

Örnek olarak, ikinci ve üçüncü oyuncuların 1. tiplerini seçmeleri durumunda, ilk oyuncunun da 1. tipini seçmesi olasılığı hesaplansın. Burada ihtiyaç duyulan değerler $u_1(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{31})$, $p(\theta_{21} \cap \theta_{31})$, $p(\theta_{11})$ ve $p(\theta_{11} | \theta_{21} \cap \theta_{31})$ 'dir. Kazanç fonksiyonunun alacağı değer Şekil 6.4'teki tablodan, -3,595 olarak okunur. $p(\theta_{21} \cap \theta_{31})$ ortak olasılığı 0,25 ve 0,33 değerlerinin çarpımından hesaplanır. $p(\theta_{11})$ başlangıç değeri, bilindiği gibi 0,25'tir. $p(\theta_{11} | \theta_{21} \cap \theta_{31})$ koşullu olasılığı ise, diğer

oyuncuların ilk tiplerini seçmeleri durumunda birinci oyuncunun yapabilecekleri arasında vereceği kararı yansıtacaktır. Kazanç tablolarından görülebileceği gibi, bu durumda birinci oyuncu sırasıyla -3,595, -4,807, -4,177 ve -3,847 kazançlarını elde edebilmektedir. Bunlar arasında en büyük kazancı sağlayacak olan durum, bu oyuncunun da 1. tipini seçmesidir. Dolayısıyla, tüketim kontrol birimi bu aşamada rasyonel davranarak bu durum için ilk oyuncunun da 1. tipini seçme olasılığına 1 değerini, diğer üç tipini seçme olasılığına 0 değerlerini atar. Yani, $p(\theta_{11} | \theta_{21} \cap \theta_{31}) = 1$ olur. Tüm işlemler yapılsa,

$$\frac{p(\theta_{11} | \theta_{21} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{21} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-3,595) = -1,18635$$

sonucu bulunur. Denge noktasını bulmak için yapılan tüm matematiksel hesaplamalar Ek E’de yer almaktadır.

(6.8) denklem seti, bütün değerler yerlerine konarak çözüldüğünde Bayesyen oyunun denge noktasına ulaşılır. Bu $s^*(s_1^* = \theta_{11}, s_2^* = \theta_{22}, s_3^* = \theta_{33})$ vektörüdür, buna karşılık gelen tüketim çizelgeleri Çizelge 6.6’da verilmektedir. Bayesyen Nash dengesi tanımına göre ifade etmek gerekirse, her i oyuncusu ve bunların her bir tipi için Denklem (4.4) geçerli olduğundan, $s^*(s_1^* = \theta_{11}, s_2^* = \theta_{22}, s_3^* = \theta_{33})$ optimal strateji vektörü oyunun Bayesyen Nash dengesidir.

Bunun anlamı, her fabrika Çizelge 6.6’da verilmiş elektrik tüketim çizelgesini kullandığında, hem tek tek fabrikalar açısından hem de tesis geneli için elde edilebilecek en yüksek faydaya ulaşılacağıdır. Hiçbir fabrika, oyunu bozup farklı bir tüketim çizelgesi izlediğinde bu durumdan daha fazla fayda sağlayamaz.

6.3.1 Bayesyen oyunun denge noktasının matematiksel açıdan irdelenmesi

Elde edilen $s^*(s_1^* = \theta_{11}, s_2^* = \theta_{22}, s_3^* = \theta_{33})$ denge noktası, her oyuncu açısından değerlendirildiğinde, bencil davranmaları durumunda dahi her biri için en iyi stratejilerden oluşmaktadır. Oyunda dengenin bulunduğu da bir kanıtı olan bu durumu, kazanç tablolarından görmek mümkündür. Herhangi bir oyuncu yoktur ki, farklı bir strateji seçerek varılan noktada olduğundan daha fazla fayda sağlasın. Bu doğrulamayı yapmak için, Bayesyen oyunlar anlatılırken verilen tanım ve teoremler çalışmamıza uygulanacaktır.

Açıkça görülmektedir ki, $s_1^* = \theta_{11}$ optimal stratejisi θ_{12} , θ_{13} ve θ_{14} stratejilerini kesinlikle domine eder; zira, her s_{-i} için hem $u_1(\theta_{11}; s_{-i}) > u_1(\theta_{12}; s_{-i})$ hem

$u_1(\theta_{11}; s_{-i}) > u_1(\theta_{13}; s_{-i})$ hem de $u_1(\theta_{11}; s_{-i}) > u_1(\theta_{14}; s_{-i})$ 'dir. Bunun anlamı, birinci oyuncunun kazanç tablolarında θ_{11} satırlarındaki değerlerin daima diğerlerinden büyük olmasıdır. Aynı şekilde incelendiğinde $s_2^* = \theta_{22}$ ve $s_3^* = \theta_{33}$ optimal stratejilerinin de diğer alternatiflerini kesinlikle domine ettikleri görülür.

Çizelge 6.6 : Fabrikalar için denge noktasına karşılık gelen elektrik tüketim çizelgeleri.

	1. fabrika (kWh)	2. fabrika (kWh)	3. fabrika (kWh)
t = 1	5	4	3
t = 2	805	284	403
t = 3	1305	284	903
t = 4	1305	284	1403
t = 5	1305,5	284,5	1403,5
t = 6	1305	284	1403
t = 7	1305	284	1403
t = 8	1305	284	1403
t = 9	1307	286	1405
t = 10	1307	286	1405
t = 11	1307	286	1405
t = 12	1307	286	1405
t = 13	957,5	286,5	1405,5
t = 14	557	406	1405
t = 15	707	406	1405
t = 16	557	306	1405
t = 17	657	306	1405
t = 18	207	246	1405
t = 19	305	244	1403
t = 20	145	94	1003
t = 21	205,5	94,5	503,5
t = 22	105	24	123
t = 23	135	24	123
t = 24	135	34	123

Bu durum, dominant strateji dengesi tanımını da doğrular. Her i oyuncusu için optimum olarak belirlediğimiz stratejiler dominant olduğundan, belirlediğimiz ortak denge noktası $s^*(s_1^* = \theta_{11}, s_2^* = \theta_{22}, s_3^* = \theta_{33})$ de dominant bir strateji dengesidir.

Bulunan s^* strateji vektörü dominant strateji dengesi olduğundan, aynı zamanda bir Nash dengesidir. Ayrıca, sonlu oyunlarda geçerli olan Varlık Teoremi'nin de doğrulandığı görülür. Bu teoreme göre, oyuncular, eylemleri ve tipleri sonlu kümeler iseler, oyunda en az bir Bayesyen Nash dengesi bulunur.

6.4 Karşılaştırmalı Sonuçlar

Elde edilen Bayesyen Nash dengesinin, ele aldığımız gerçek hayat problemindeki karşılığını görmek gerekmektedir. Problemin Bayesyen Nash dengesi olduğunu göstermiş olduğumuz optimal strateji vektörü s^* , birinci fabrikanın birinci tipini, ikinci fabrikanın ikinci tipini, üçüncü fabrikanınsa üçüncü tipini seçmesini gerektirir. Bu seçimler hem fabrikalara hem de tüm tesise gerek tüketim düzenliliği gerekse maliyet bakımından fayda sağlayacaktır. Çizelge 6.7’de, fabrikalar ve tesis geneli için çalışmadan öncesi ile yeni durumun karşılaştırmaları bulunmaktadır.

Çizelge 6.7 : Çalışma öncesi ve sonrası değerler.

	Çalışma öncesi indikatör değeri	Yeni indikatör değeri	Çalışma öncesi maliyet	Yeni maliyet
1. fabrika	2,12	1,49	3.850,10 TL	3.017,17 TL
2. fabrika	2,35	2,13	1.107,12 TL	1.019,39 TL
3. fabrika	2,61	2,58	5.222,24 TL	4.956,28 TL
Tesis geneli	2,33	2,06	10.179,46 TL	8.992,84 TL

Tabloda görüldüğü gibi, kurulan modellerde minimize edilmek istenen indikatör bakımından, hem fabrikalarda hem de tesis geneli toplam değerlerde azalma elde edilmiştir. Bu azalmaların oranı fabrikalardaki makine sayısına, büyüklüklerine, kullanım saatlerinin esnekliğine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. İndikatörün değeri, yapılan çalışma ile ilk fabrikada %29,72, ikinci fabrikada %9,36, üçüncü fabrikada %1,15, tesis genelinde ise %11,59 azalarak mevcut kısıtlar altında inebileceği minimum değerlere inmiştir.

Kurulan modellerde doğrudan ele alınmayan, fakat iyileşmenin bir göstergesi olarak görülebilecek diğer değerlendirme ölçütü ise günlük toplam elektrik maliyetleridir. Bir günlük elektrik maliyeti ilk fabrika için %21,63, ikinci fabrika için %7,92, üçüncü fabrika için %5,09 azalmıştır. Tesis geneli toplam maliyet ise %11,66 azalmıştır.

Üçüncü fabrikanın indikatör değerinin diğerlerine göre nispeten az miktarda düşmesinin nedeni, içerisinde çalışan makinelerin az sayıda ve büyük makineler olması, buna bağlı olarak kullanımlarının pek fazla kaydırılamamasıdır. Matematiksel modellerdeki hedefe yönelik olarak, fabrikanın indikatör değeri ancak

bu oranda azalabilmiştir. Ama bu fabrikanın maliyetlerinde de, diğerleri gibi uzun vadede büyük fayda sağlayacak bir azalma elde edilmiştir.

Çalışmanın başından beri esas dikkate alınan, yük eğrilerinin düzgünlüğü, saatler arası elektrik tüketiminin dengeli olmasıdır. Önerilen modelle bunun dikkate değer ölçüde sağlandığı görülmüştür. Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10'daki grafiklerde de fabrikalar ve tesis geneli için çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri verilmiştir.

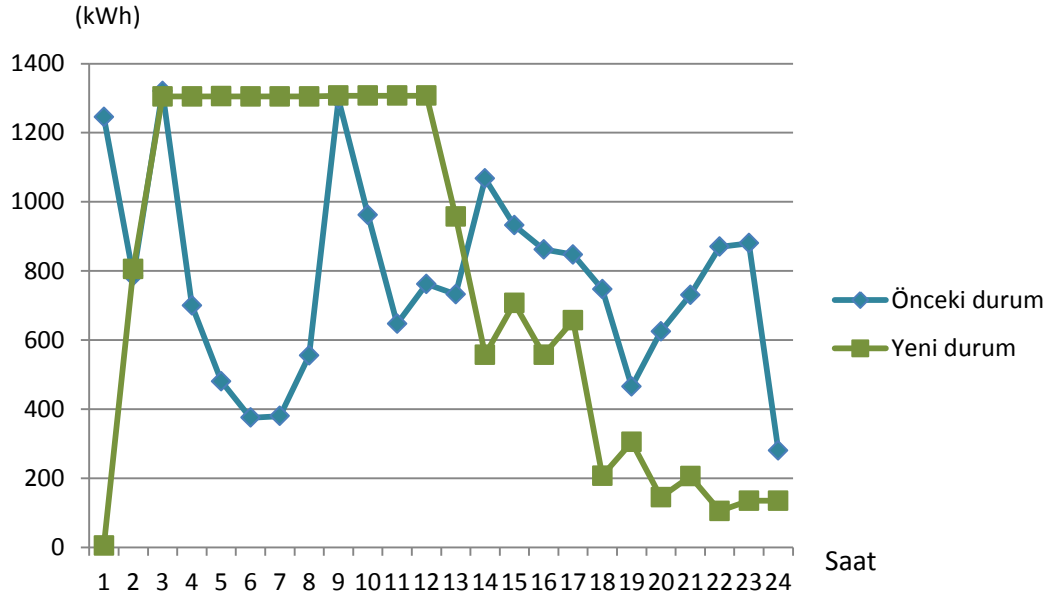
Birinci fabrikanın grafiğinde görüldüğü gibi, önceden günün tüm saatlerinde dağınık olan ve ardışık saatler arasında iniş çıkışlara sebep olan yüksek talepler, çalışma sonrasında düzenli bir biçimde peş peşe sıralanmış ve birim elektrik maliyeti daha düşük olan 02:00 – 12:00 saatleri arasında konumlanmışlardır. Puant dönemi saatlerinde (17:00 – 22:00 arası) ise, küçük miktartlı iniş çıkışlar olmakla birlikte talep miktarları önceki saatlere göre oldukça azalmıştır.

İkinci fabrikanın grafiğinde de benzer bir eğilim görülmektedir. Bu iki fabrikanın çalışma öncesi halleri birbirlerine benzer grafikler oluşturmaktadır. Çalışma sonrası grafikleri ise, çalışmada ortak bir optimumluk hedeflendiğinden, birbirlerini tamamlar niteliktedir. Özellikle ikisinin de 02:00 – 17:00 saat aralıkları incelendiğinde bu durum net olarak görülmektedir. İkinci fabrikanın 13:00 – 15:00 arası talep artışı da buna dayandırılabilir. Bunun yanında, bu fabrikada da puant dönemi taleplerinde azalma sağlanmıştır.

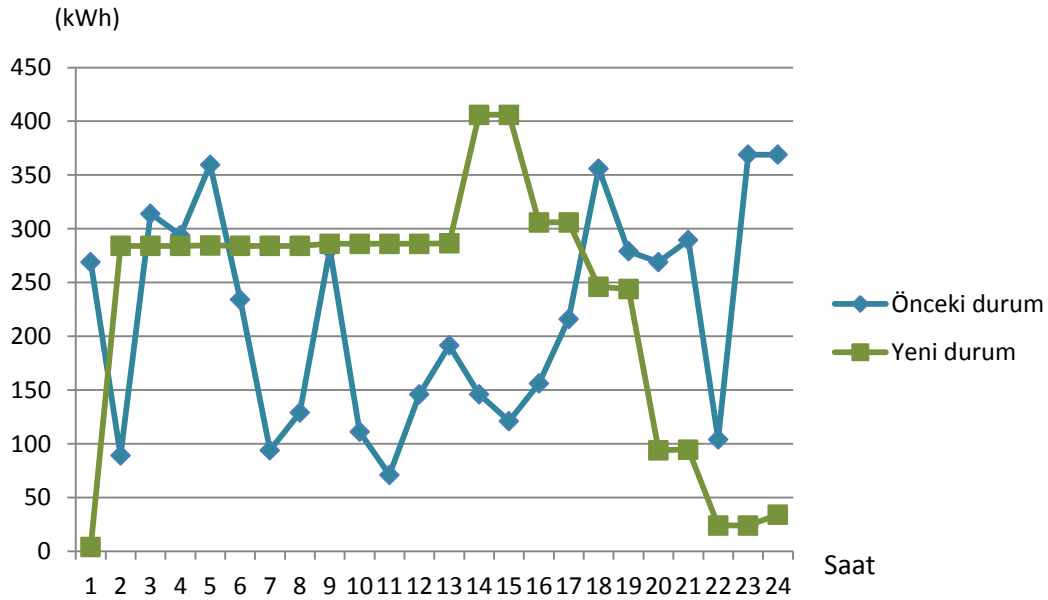
Üçüncü fabrikanın çalışma öncesi yük eğrisi incelendiğinde, düzensizliğin yanında puant dönemi saatlerine doğru bir talep artışı görülmektedir. Çalışma sonrası eğrisinde ise, yüksek de olsa düzenli bir yük akışı ve bu yüksek talep miktarlarının 19:00'dan itibaren düştüğü görülür. 19:00 öncesi yüklerin fazla olması, fabrikadaki makinelerin gereksinim duydukları güç miktarları ile ilgilidir. Bilindiği gibi, YY programları toplam güç gereksinimini azaltmazlar; dolayısıyla bu şartlardaki bir fabrika için olabilecek en iyi denge durumunun bu olduğu söylenebilir.

Şekil 6.10'daki tesis geneli grafiğe bakıldığında ise, yapılan TTY çalışmasının tüm getirileri net olarak görülmektedir. Fabrikalardakine benzer şekilde, en yüksek talepler 03:00 – 12:00 arası, birim elektrik maliyeti düşük olan saatlerde dengeli biçimde konumlanmıştır. 12:00'dan sonra ise, neredeyse düzgün bir aşağı yönlü trend elde edilmiştir. Çalışma öncesindeki, ardışık saatler arasındaki farkların

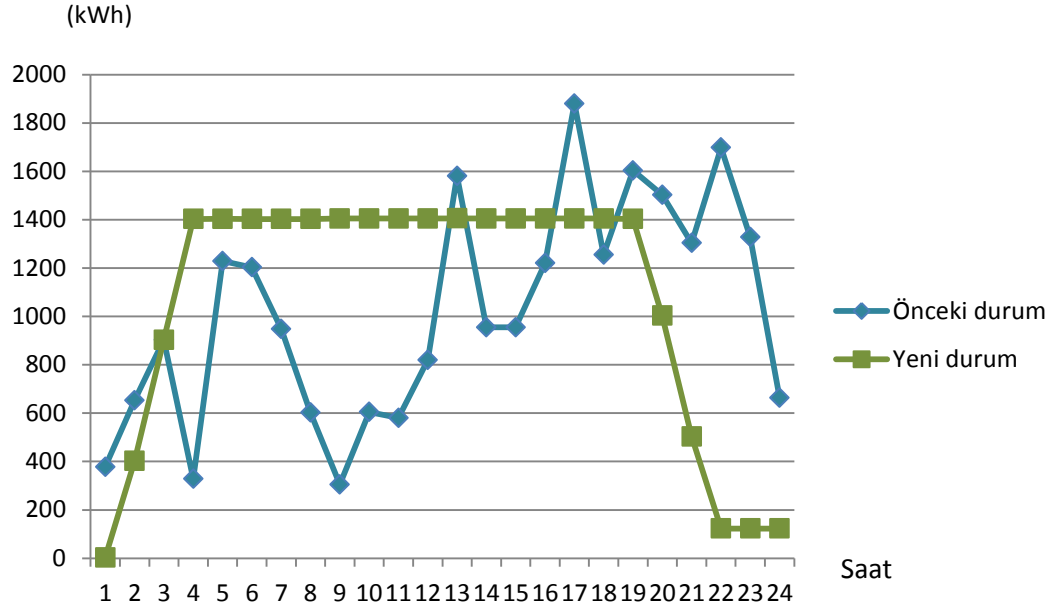
devamlı olarak pozitiften negatife değiştiği yük eğrisiyle karşılaştırıldığında, tesisin elektrik tüketim dengesinin oldukça iyi bir noktaya taşındığı görülebilir. Bu da şebeke kararsızlığına yapılan olumsuz etkiyi oldukça azaltmıştır.



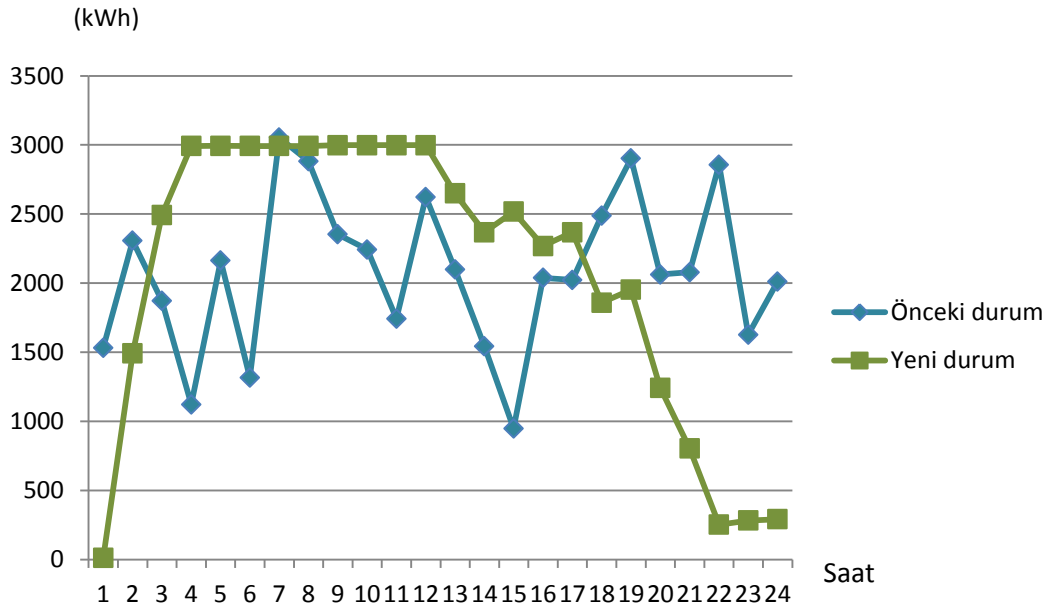
şekil 6.7 : Birinci fabrikanın çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri.



şekil 6.8 : İkinci fabrikanın çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri.



Şekil 6.9 : Üçüncü fabrikanın çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri.



Şekil 6.10 : Tesis geneline ait çalışma öncesi ve sonrası günlük yük eğrileri.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknoloji geliştikçe elektrik enerjisinin toplam enerji talebindeki payı, dolayısıyla da insan hayatındaki önemi artmaktadır. Mevcut doğal kaynaklar ve sürekli gelişen teknolojik imkanlarla bu alanda yapılabilecek iyileştirmeler de giderek çoğalmaktadır. Elektrik enerjisinden en iyi şekilde faydalanabilmek, üretim, iletim, dağıtım ve tüketim olmak üzere tüm süreçlerinde verimlilik arayışından geçmektedir.

Elektrik enerjisinin üretim kaynağından nihai tüketiciye kadar olan değer zincirini eniyelebilmek üzere en güncel ve geliştirilmeye açık yaklaşımın, tüketim süreçlerinin optimizasyonu olduğu görülmektedir. Yaklaşık son 30 yıldır araştırılmaya ve uygulanmaya başlanan ve Talep Tarafı Yönetimi adı verilen bu yaklaşımla, talep tarafının da zincire aktif biçimde katılımıyla daha yüksek verim hedeflenmektedir.

Gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında, Türkiye’de TTY uygulamaları yok denecek kadar azdır. Bu durumu düzeltmek için, ülkenin teknik, ekonomik ve sosyal kısıtları dikkate alınarak ulusal olarak nitelendirilebilecek TTY programları oluşturulmalıdır (Özil, 2006). Çalışmamızda ülkemizin elektrik sistemi teknolojileri göz önüne alınarak, bunlara uygun ve sebep oldukları eksiklikleri önleyecek biçimde bir yük yönetimi modeli önerilmiştir. Elektrik ihtiyacını tek bir hattan karşılayan, birden fazla tüketici bulunduran bölgeler için bir çalışma yapılmıştır. Önerilen modelle, çift taraflı iletişim alt yapısına sahip olmayan bir tüketici grubunun gün içi yük eğrilerinin dengelenmesi amaçlanmıştır; böylece bu bölgeden kaynaklanan şebeke kararsızlığı en aza indirilmek istenmiştir.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, tüketiciler için bir doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama modeli, ardından da ortak optimalliği sağlayacak denge noktasını belirleyebilmek için bir Bayesyen oyun kurulmuştur. İlk modelin çıktıları, ikinci model için girdi durumundadır. Modeller sanayi tüketicileri dikkate alınarak kurulmuş, işletmelerin mevcut üretim planları kısıt olarak alınmıştır. Çift taraflı iletişimin eksikliği, Bayesyen oyun yöntemi ile, bir başka deyişle, habersizlik

durumunda olasılıkların kullanılması fikri ile giderilmiştir. Daha sonra üç tüketiciden oluşan bir bölge için, kurulan modellerin uygulaması yapılmış, sonuçlar alınmıştır.

7.1 Sonuç

Önerilen model, ele alınan üç fabrikalı tesis örneğine uygulanırken, ilk olarak karışık tam sayılı model ile her bir fabrikanın kısıtlarına uygun alternatif elektrik tüketim çizelgeleri belirlenmiştir. Ardından, bu olurlu tüketim çizelgelerinden hangileri kullanılırsa hem fabrikalar hem de tesis geneli için en iyi sonucun elde edileceğini görmek amacıyla, Bayesyen oyun çözülmüş ve bir denge noktasına ulaşılmıştır.

Çalışmamızda önerilen TTY stratejisi, her fabrikanın tüketim çizelgesi olarak oyunun denge noktası olan çizelgelerini kullanmasını gerektirir. Hiçbir fabrikanın başka bir eylem oynayarak, denge noktasındakinden daha fazla fayda elde edemeyeceği açıktır. Ulaşılan denge noktasının karşılığı olan s^* optimal strateji vektörü oynandığında, yük eğrilerinin düzgünlüğünün sayısal bir ifadesi olan indikatör değerlerinde %30'a varan azalmalar elde edilmiştir. Öte yandan, modelin doğrudan hedefi olmayan günlük toplam elektrik tüketim maliyetleri de yaklaşık %5 ile %20 arasında değişen oranlarda azaltılmıştır. Gerçek verilerle yapılacak bir çalışmanın getirileri arttıracığı açıktır.

Çalışmanın başında belirlenen amaç yerine getirilmiştir. Ele alınan fabrikaların mevcut üretim planları ihlal edilmeden, günlük toplam elektrik tüketimleri değiştirilmeden, her bir tüketici ve tesis geneli için mümkün olabilecek en dengeli elektrik tüketim çizelgeleri belirlenmiştir. Böylece, uygulamanın yapıldığı tesisten kaynaklanan şebeke kararsızlığı en aza indirilmiştir. Önerdiğimiz modelin, çalışmanın amacına gerçekten hizmet ettiği de ortaya konmuştur.

7.2 Öneriler

Çalışmanın genelinden de anlaşılabilceği gibi, böyle bir TTY programı ne kadar çok tüketiciden oluşan bir gruba uygulanırsa elde edilecek iyileştirmenin etkisi de o denli büyük olacaktır. Önerdiğimiz modelin n oyunculu oyunlar için genelleştirilmiş yapıda olması bunu mümkün kılmaktadır. Çalışmamızda sunulan TTY programı çok daha fazla tüketicinin bulunduğu gruplarda kullanılabilir.

Daha fazla tüketiciden oluşan gruplar içinse, en önemli örnek organize sanayi bölgeleridir. Bir organize sanayi bölgesinin (OSB), bulunduğu elektrik ağının şebeke kararsızlığı üzerindeki etkisi oldukça büyük olacaktır. Böyle bir tüketici grubunda, OSB’de yer alan her bir işletme oyunun bir oyuncusu olur. Bizim uygulama çalışmamızda olduğu gibi, işletmelerden bağımsız bir de genel tüketim kontrol merkezi tasarlanabilir. İşletmelerin kısıtlarına göre karışık tam sayılı programlama modelinde uyarlamalar yapılabilir.

Ülkemizde henüz çok fazla yaygınlaşmamış üç zamanlı tarife kullanımının yararlarını göstermesi bakımından modelin mevcut hali faydalı olacaktır. Öte yandan, modelin kurulum aşamasında ikinci bir hedef fonksiyonu önerisi olarak sunulan standart sapma minimizasyonu hedefi, çalışmayı tek zamanlı tarife kullanan tüketiciler için de uygulanabilir kılar. Tek zamanlı tarife kullanılması durumunda zaman dilimleri arasında bir maliyet farkı olmayacak; ama üretim, iletim ve dağıtım hatlarının dengeli talep ihtiyaçları yine saatler arası farkların azaltılmasını gerektirecektir.

İleriki çalışmalarda, burada önerilen modele güç üreticileri boyutu eklenebilir. Elektrik ihtiyacını birden fazla kaynaktan karşılayan, n üretici - n tüketicili gruplar için benzer ve daha gelişmiş bir model kurulabilir.

Bu çalışmanın yeni bir bakış açısı kazandırmasını diliyoruz. TTY çalışmaları matematiksel yöntemler, bilişim teknolojileri veya fiziksel teknolojik imkanların arttırılması ile gelişmiş ülkelerdeki çizgiyi yakalayabilecektir. Elektrik enerjisinden doğru şekilde faydalanabilmek için, talep tarafının da optimizasyon süreçlerine katılımının dikkate alınması kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- Acemoğlu, D. ve Özdağlar, A.** (2009). *Networks*, Ders Notları, Massachusetts Institute of Technology, Boston, ABD.
- Adika, C. O. ve Wang, L.** (2014). Smart charging and appliance scheduling approaches to demand side management. *Electrical Power and Energy Systems*, **57**, 232-240 doi:10.1016/j.ijepes.2013.12.004.
- Al-Iriani, M. A.** (2005). Climate-related electricity demand-side management in oil-exporting countries - The case of the United Arab Emirates. *Energy Policy*, **33**, 2350-2360 doi:10.1016/j.enpol.2004.04.026.
- Alvarez, C., Gabaldon, A. ve Molina, A.** (2004). Assessment and simulation of the responsive demand potential in end user facilities: Application to an university customer. *IEEE Transactions on Power Systems*, **19(2)**, 1223-1231 doi:10.1109/TPWRS.2004.825878.
- Ashok, S.** (2007). Optimised model for community-based hybrid energy system. *Renewable Energy*, **32**, 1155-1164 doi:10.1016/j.renene.2006.04.008.
- Atikol, U.** (2013). A simple peak shifting DSM (demand-side management) strategy for residential water heaters. *Energy*, **62**, 435-440 doi:10.1016/j.energy.2013.09.052.
- Atzeni, I., Ordóñez, L. G., Scutari, G., Palomar, D. P. ve Fonollosa, J. R.** (2013). Demand side management via distributed energy generation and storage optimization. *IEEE Transactions on Smart Grid*, **4(2)**, 866-876 doi:10.1109/TSG.2012.2206060.
- Babu, C. A. ve Ashok, S.** (2008). Peak load management in electrolytic process industries. *IEEE Transactions on Power Systems*, **23(2)**, 399-405 doi:10.1109/TPWRS.2008.920732.
- Babu, C. A. ve Ashok, S.** (2009). Optimal utilization of renewable energy-based IPPs for industrial load management. *Renewable Energy*, **34**, 2455-2460 doi:10.1016/j.renene.2009.02.032.
- Bahrami, S. ve Parniani, M.** (2014). Game theoretic based charging strategy for plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Smart Grid*, **5(5)**, 2368-2375 doi:10.1109/TSG.2014.2317523.
- Baliban, R. C., Elia, J. A., Misener, R. ve Floudas, C. A.** (2012). Global optimization of a MINLP process synthesis model for thermochemical based conversion of hybrid coal, biomass, and natural gas to liquid fuels. *Computers and Chemical Engineering*, **42**, 64-86 doi:10.1016/j.compchemeng.2012.03.008.
- Banos, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A. ve Gomez, J.** (2011). Optimization methods applied to renewable and

sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 1753-1766 doi:10.1016/j.rser.2010.12.008.

- Bazmi, A. A. ve Zahedi, G.** (2011). Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 3480-3500 doi:10.1016/j.rser.2011.05.003.
- Bergaentzle, C., Clastres, C. ve Khalfallah, H.** (2014). Demand-side management and European environmental and energy goals: An optimal complementary approach. *Energy Policy*, **67**, 858-869 doi:10.1016/j.enpol.2013.12.008.
- Ceylan, O.** (2003). *Elektrik Güç Sistemlerinde Oyun Teorisi Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- Chan, M. L., Imamura, D., Albuyeh, F. ve Mesbah, G.** (1986). Integrating load management into energy management system's normal operations - primary factors. *IEEE Transactions on Power Systems*, **PWRS-1(4)**, 152-157 doi:10.1109/TPWRS.1986.4335031.
- Chan, M. L., Marsh, E. N., Yoon, J. Y., Ackerman, G. B. ve Stoughton, N.** (1981). Simulation-based load synthesis methodology for evaluating load-management programs. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, **PAS-100(4)**, 1771-1778 doi:10.1109/TPAS.1981.316516.
- Chen, C., Kishore, S., ve Snyder, L. V.** (2011). An innovative RTP-based residential power scheduling scheme for smart grids. *International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Prag, Çek Cumhuriyeti, 22-27 Mayıs.
- Chen, H., Li, Y., Louie, R. H. Y. ve Vucetic, B.** (2014). Autonomous Demand Side Management Based on Energy Consumption Scheduling and Instantaneous Load Billing: An Aggregative Game Approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, **5(4)**, 1744-1754 doi:10.1109/TSG.2014.2311122.
- Chen, P., Bak-Jensen, B. ve Chen, Z.** (2009). Probabilistic load models for simulating the impact of load management. *Power & Energy Society General Meeting*, Alberta, Kanada, 26-30 Temmuz.
- Chinese, D. ve Meneghetti, A.** (2005). Optimisation models for decision support in the development of biomass-based industrial district-heating networks in Italy. *Applied Energy*, **82**, 228-254 doi:10.1016/j.apenergy.2004.10.010.
- Dahal, K., Al-Arfaj, K. ve Paudyal, K.** (2015). Modelling generator maintenance scheduling costs in deregulated power markets. *European Journal of Operational Research*, **240**, 551-561 doi:10.1016/j.ejor.2014.07.008.
- Deloitte** (2013). *Elektrik Sektöründe Akıllı Şebekeler: Dünya ve Türkiye Uygulamaları*, İstanbul.
- Doya, K., Ishii, S., Pouget, A. ve Rao, R. P. N.** (2011). Bayesian Brain: Probabilistic Approaches to Neural Coding. MIT Press, Boston, ABD.

- Eissa, M. M.** (2011). Demand side management program evaluation based on industrial and commercial field data. *Energy Policy*, **39**, 5961-5969 doi:10.1016/j.enpol.2011.06.057.
- Erol, E., Erdener-Akınç, H., Atasoy, T., Güreç, O., Erçin, Ö. ve Benli, O.** (2014). Akıllı şebekelerde karar destek sistemleri ile talep tarafı katılımı. 2. *Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı*, İstanbul, 8-9 Mayıs.
- Ferreira, R. S., Barroso, L. A. ve Carvalho, M. M.** (2012). Demand response models with correlated price data: A robust optimization approach. *Applied Energy*, **96**, 133-149 doi:10.1016/j.apenergy.2012.01.016.
- Figueiro, I. C., Abaide, A. R., Bernardon, D. P. ve Neto, N. K.** (2013). Smart grid and impact analysis of the application hourly rate for residential consumers using the Monte Carlo method. *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, İstanbul, 13-17 Mayıs.
- Gelazanskas, L. ve Gamage, K. A. A.** (2014). Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction. *Sustainable Cities and Society*, **11**, 22-30 doi:10.1016/j.scs.2013.11.001.
- Giacone, E. ve Manco, S.** (2012). Energy efficiency measurement in industrial processes. *Energy*, **38**, 331-345 doi:10.1016/j.energy.2011.11.054.
- Gilbraith, N. ve Powers, S. E.** (2012). The effects of time-varying electricity tariffs on emissions in New York City. *Long Island Systems, Applications and Technology Conference*, New York, ABD, 4 Mayıs.
- Gottwalt, S., Ketter, W., Block, C., Collins, J. ve Weinhardt, C.** (2011). Demand side management - A simulation of household behavior under variable prices. *Energy Policy*, **39**, 8163-8174 doi:10.1016/j.enpol.2011.10.016.
- Guseinov, K. G., Akyar, E. ve Düzce, S. A.** (2010). Oyun Teorisi: Çatışma ve Anlaşmanın Matematiksel Modelleri. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Güler, Ö.** (2014). *Endüstride Enerji Yönetimi*, Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Hamzaçebi, C.** (2007). Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy Policy*, **35**, 2009-2016 doi:10.1016/j.enpol.2006.03.014.
- He, Y., Wang, B., Li, D., Du, M., Huang, K. ve Xia, T.** (2015). China's electricity transmission and distribution tariff mechanism based on sustainable development. *Electrical Power and Energy Systems*, **64**, 902-910 doi:10.1016/j.ijepes.2014.08.009.
- Henning, D., Amiri, S. ve Holmgren, K.** (2006). Modelling and optimisation of electricity, steam and district heating production for a local Swedish utility. *European Journal of Operational Research*, **175**, 1224-1247 doi:10.1016/j.ejor.2005.06.026.
- Henning, D. ve Trygg, L.** (2008). Reduction of electricity use in Swedish industry and its impact on national power supply and European CO₂ emissions. *Energy Policy*, **36**, 2330-2350 doi:10.1016/j.enpol.2007.08.033.

- Jebaraj, S., Iniyan, S. ve Goic, R.** (2013). An optimal electricity allocation model for sustainable resource use in India. *International Journal of Energy Research*, **37**, 923-935 doi:10.1002/er.2896.
- Koçkesen, L.** (2014). *Game Theory*, Ders Notları, Koç Üniversitesi, İstanbul.
- Kosek, A. M., Costanzo, G. T., Bindner, H. W. ve Gehrke, O.** (2013). An overview of demand side management control schemes for buildings in smart grids. *International Conference on Smart Energy Grid Engineering*, Ontario, Kanada, 28-30 Ağustos.
- Kralj, A. K. ve Glavic, P.** (2007). Optimization of a gas turbine in the methanol process, using the NLP model. *Applied Thermal Engineering*, **27**, 1799-1805 doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.01.0056.
- Lampropoulos, I., Kling, W. L., Ribeiro, P. F. ve van den Berg, J.** (2013). History of demand side management and classification of demand response control schemes. *Power and Energy Society General Meeting*, Britanya Kolumbiyası, Kanada, 21-25 Temmuz.
- Lasaulce, S. ve Tembine, H.** (2011). *Game Theory and Learning for Wireless Networks*. Academic Press, Londra, İngiltere.
- Law, Y. W., Alpcan, T., Lee, V. C. S., Lo, A., Marusic, S. ve Palaniswami, M.** (2012). Demand response architectures and load management algorithms for energy-efficient power grids: A survey. *7th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems*, Melbourne, Avustralya, 8-10 Kasım.
- Lee, C. C. ve Chang, C. P.** (2007). The impact of energy consumption on economic growth: Evidence from linear and nonlinear models in Taiwan. *Energy*, **32**, 2282-2294 doi:10.1016/j.energy.2006.01.017.
- Lescoeur, B. ve Galland, J. B.** (1987). Tariffs and load management: The French experience. *IEEE Transactions on Power Systems*, **PWRS-2(2)**, 458-464 doi:10.1109/TPWRS.1987.4335150.
- Liu, H., Lee, S., Kim, M., Shi, H., Kim, J. T., Wasewar, K. L. ve Yoo, C.** (2013). Multi-objective optimization of indoor air quality control and energy consumption minimization in a subway ventilation system. *Energy and Buildings*, **66**, 553-561 doi:10.1016/j.enbuild.2013.07.066.
- Lopes, J. A. P., Soares, F. J. ve Almeida, P. M. R.** (2009). Identifying management procedures to deal with connection of electric vehicles in the grid. *IEEE Bucharest PowerTech*, Bükreş, Romanya, 28 Haziran-2 Temmuz.
- Lopez-Rodriguez, M. A., Santiago, I., Trillo-Montero, D., Torriti, J. ve Moreno-Munoz, A.** (2013). Analysis and modeling of active occupancy of the residential sector in Spain: An indicator of residential electricity consumption. *Energy Policy*, **62**, 742-751 doi:10.1016/j.enpol.2013.07.095.
- Lorca, A. ve Prina, J.** (2014). Power portfolio optimization considering locational electricity prices and risk management. *Electric Power Systems Research*, **109**, 80-89 doi:10.1016/j.epsr.2013.12.004.

- Lu, H. R. ve Yao, L.** (2006). On-line load optimization for two way load management system. *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Taipei, Tayvan, 8-11 Ekim.
- Lujano-Rojas, J. M., Monteiro, C., Dufo-Lopez, R. ve Bernal-Agustin, J. L.** (2012). Optimum residential load management strategy for real time pricing (RTP) demand response programs. *Energy Policy*, **45**, 671-679 doi:10.1016/j.enpol.2012.03.019.
- Macedo, M. N. Q., Almeida, L. A. L. ve Lima, A. C. C.** (2015). Demand side management using artificial neural networks in a smart grid environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **41**, 128-133 doi:10.1016/j.rser.2014.08.035.
- Mahmood, A., Ullah, M. N., Razzaq, S., Basit, A., Mustafa, U., Naeem, M. ve Javaid, N.** (2014). A new scheme for demand side management in future smart grid networks. *5th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies*, Hasselt, Belçika, 2-5 Haziran.
- Mangiatordi, F., Pallotti, E. ve Del Vecchio, P.** (2013). A non-cooperative game theoretic approach for energy management in mv grid. *13th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Wroclaw, Polonya, 1-3 Kasım.
- Marechal, F. ve Kalitventzeff, B.** (1997). Effect modelling and optimization, a new methodology for combined energy and environment synthesis of industrial processes. *Applied Thermal Engineering*, **17(8-10)**, 981-992 doi:10.1016/S1359-4311(96)00079-8.
- Marwan, M., Ledwich, G. ve Ghosh, A.** (2014). Demand-side response model to avoid spike of electricity price. *Journal of Process Control*, **24**, 782-789 doi:10.1016/j.jprocont.2014.01.009.
- McDonald, J. R. ve Lo, K. L.** (1990). Dynamic price structures and consumer load reaction. *6th International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply*, Manchester, İngiltere, 3-5 Nisan.
- Merkert, L., Harjunkski, I., Isaksson, A., Saynevirta, S., Saarela, A. ve Sand, G.** (2015). Scheduling and energy – Industrial challenges and opportunities. *Computers and Chemical Engineering*, **72**, 183-198 doi:10.1016/j.compchemeng.2014.05.024.
- Mohsenian-Rad, A. H., Wong, V. W. S., Jatskevich, J., Schober, R. ve Leon-Garcia, A.** (2010). Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, **1(3)**, 320-331 doi:10.1109/TSG.2010.2089069.
- Moon, J. Y., Shin, K. ve Park, J.** (2013). Optimization of production scheduling with time-dependent and machine-dependent electricity cost for industrial energy efficiency. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **68**, 523-535 doi:10.1007/s00170-013-4749-8.
- Nash, J. F.** (1950). *Non-Cooperative Games*, Doktora Tezi, Princeton University, Department of Mathematics, New Jersey, ABD.

- Nishi, T., Sekiya, E. ve Yin, S.** (2012). Distributed optimization of energy portfolio and production planning for multiple companies under resource constraints. *45th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Atina, Yunanistan, 16-18 Mayıs.
- Nwulu, N. I. ve Xia, X.** (2015). Multi-objective dynamic economic emission dispatch of electric power generation integrated with game theory based demand response programs. *Energy Conversion and Management*, **89**, 963-974 doi:10.1016/j.enconman.2014.11.001.
- Olanrewaju, O. A. ve Jimoh, A. A.** (2014). Review of energy models to the development of an efficient industrial energy model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **30**, 661-671 doi:10.1016/j.rser.2013.11.007.
- Olsina, F., Garcés, F. ve Haubrich, H. J.** (2006). Modeling long-term dynamics of electricity markets. *Energy Policy*, **34**, 1411-1433 doi:10.1016/j.enpol.2004.11.003.
- Özil, E.** (2006). Ulusal talep yönetimi. *Yeşil Ufuklar*, **5**. Adres: <http://www.yesilufuklar.info/soylesi/934-ulusal-talep-yonetimi>, alındığı tarih: 01.06.2014.
- Öztemür, M. ve Soysal, B.** (2013). Akıllı şebekeler yolunda akıllı sayaçlar. *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, 26-27 Nisan.
- Palensky, P.** (2009). Electric load management and information technology. *AFRICON*, Nairobi, Kenya, 23-25 Eylül.
- Paracha, Z. J. ve Doulai, P.** (1998). Load management: Techniques and methods in electric power system. *International Conference on Energy Management and Power Delivery*, Singapur, 5 Mart.
- Ratnam, E. L., Weller, S. R. ve Kellett, C. M.** (2015). An optimization-based approach to scheduling residential battery storage with solar PV: Assessing customer benefit. *Renewable Energy*, **75**, 123-134 doi:10.1016/j.renene.2014.09.008.
- Rogers, D. F. ve Polak, G. G.** (2013). Optimal clustering of time periods for electricity demand side management. *IEEE Transactions on Power Systems*, **28(4)**, 3842-3851 doi:10.1109/TPWRS.2013.2252373.
- Roos, J. G. ve Lane, I. E.** (1998). Industrial power demand response analysis for one-part real-time pricing. *IEEE Transactions on Power Systems*, **13(1)**, 159-164 doi:10.1109/59.651628.
- Samadi, P., Mohsenian-Rad, H., Schober, R. ve Wong, V. W. S.** (2012). Advanced demand side management for the future smart grid using mechanism design. *IEEE Transactions on Smart Grid*, **3(3)**, 1170-1180 doi:10.1109/TSG.2012.2203341.
- Samadi, P., Mohsenian-Rad, A. H., Schober, R., Wong, V. W. S. ve Jatskevich, J.** (2010). Optimal real-time pricing algorithm based on utility maximization for smart grid. *1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, Maryland, ABD, 4-6 Ekim.

- Shaw, R., Attree, M., Jackson, T. ve Kay, M.** (2009). The value of reducing distribution losses by domestic load-shifting: A network perspective. *Energy Policy*, **37**, 3159-3167 doi:10.1016/j.enpol.2009.04.008.
- Sheikhi, A., Rayati, M., Bahrami, S., Ranjbar, A. M. ve Sattari, S.** (2015). A cloud computing framework on demand side management game in smart energy hubs. *Electrical Power and Energy Systems*, **64**, 1007-1016 doi:10.1016/j.ijepes.2014.08.020.
- Shwehdi, M. H. ve Khan, A. Z.** (1996). An assessment method for consumer load management. *8th Mediterranean Electrotechnical Conference*, Bari, İtalya, 13-16 Mayıs.
- Strbac, G.** (2008). Demand side management: Benefits and challenges. *Energy Policy*, **36**, 4419-4426 doi:10.1016/j.enpol.2008.09.030.
- Su, W. ve Huang, A. Q.** (2014). A game theoretic framework for a next-generation retail electricity market with high penetration of distributed residential electricity suppliers. *Applied Energy*, **119**, 341-350 doi:10.1016/j.apenergy.2014.01.003.
- Subramanian, S., Ghosh, S., Hosking, J. R. M., Natarajan, R. ve Zhang, X.** (2013). Dynamic price optimization models for managing time-of-day electricity usage. *International Conference on Smart Grid Communications*, Britanya Kolumbiyası, Kanada, 21-24 Ekim.
- Svoboda, A. J. ve Oren, S. S.** (1994). Integrating price-based resources in short-term scheduling of electric power systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **9(4)**, 760-769 doi:10.1109/60.368330.
- Swanepoel, J. A., Mathews, E. H., Vosloo, J. ve Liebenberg, L.** (2014). Integrated energy optimisation for the cement industry: A case study perspective. *Energy Conversion and Management*, **78**, 765-775 doi:10.1016/j.enconman.2013.11.033.
- Şanlı, B. ve Alanyalı, M.** (2013). Türkiye elektrik piyasasında talep katılımının tasarımı. Adres: <http://www.barissanli.com/calismalar/2013/bsanli-malanyali-talepyonetimi-aralik2013.pdf>, alındığı tarih: 27.08.2014.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası** (2008). *Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu*, Ankara.
- Trygg, L., Gebremedhin, A. ve Karlsson, B. G.** (2006). Resource-effective systems achieved through changes in energy supply and industrial use: The Volvo–Skövde case. *Applied Energy*, **83**, 801-818 doi:10.1016/j.apenergy.2005.09.005.
- Tunç, M., Çamdalı, Ü. ve Parmaksızoğlu, C.** (2006). Comparison of Turkey’s electrical energy consumption and production with some European countries and optimization of future electrical power supply investments in Turkey. *Energy Policy*, **34**, 50-59 doi:10.1016/j.enpol.2004.04.027.
- Ukil, A. ve Siti, W.** (2008). Feeder load balancing using fuzzy logic and combinatorial optimization-based implementation. *Electric Power Systems Research*, **78**, 1922-1932 doi:10.1016/j.epsr.2008.03.020.

- Valencia-Salazar, I., Alvarez, C., Escrive-Escrive, G. ve Alcázar-Ortega, M.** (2011). Simulation of demand side participation in Spanish short term electricity markets. *Energy Conversion and Management*, **52**, 2705-2711 doi:10.1016/j.enconman.2011.02.005.
- Wang, P., Huang, J. Y., Ding, Y., Loh, P. ve Goel, L.** (2011). Demand side load management of smart grids using intelligent trading/metering/billing system. *IEEE Trondheim PowerTech*, Trondheim, Norveç, 19-23 Haziran.
- Wang, Y. ve Li, L.** (2013). Time-of-use based electricity demand response for sustainable manufacturing systems. *Energy*, **63**, 233-244 doi:10.1016/j.energy.2013.10.011.
- Wang, Z. ve Li, F.** (2011). Critical peak pricing tariff design for mass consumers in Great Britain. *Power and Energy Society General Meeting*, Kaliforniya, ABD, 24-29 Temmuz.
- Winston, W. L.** (2003). *Operations Research: Applications and Algorithms*. Cengage: Brooks/Cole, Michigan, ABD.
- Wu, C., Mohsenian-Rad, H., Huang, J. ve Wang, A. Y.** (2011). Demand side management for wind power integration in microgrid using dynamic potential game theory. *IEEE International Workshop on Smart Grid Communications and Networks*, Teksas, ABD, 5-9 Aralık.
- Wu, Q., Wang, L. ve Cheng, H.** (2004). Research of TOU power price based on multi-objective optimization of DSM and costs of power consumers. *International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies*, Hong Kong, 5-8 Nisan.
- Xue, X. ve Shengwei, W.** (2012). Interactive building load management for smart grid. *Power Engineering and Automation Conference*, Wuhan, Çin Halk Cumhuriyeti, 18-20 Eylül.
- Yang, P., Tang, G. ve Nehorai, A.** (2012). Optimal time-of-use electricity pricing using game theory. *International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Kyoto, Japonya, 25-30 Mart.
- Yıldız, M.** (2005). *Game Theory*, Ders Notları, Massachusetts Institute of Technology, Boston, ABD.
- Yılmaz, E.** (2009). *Oyun Teorisi*. Literatür Yayınları, İstanbul.
- Url-1** <http://www.enerjicci.org/haber.php?fn_mode=fullnews&fn_id=1537>, alındığı tarih: 09.12.2014.
- Url-2** <<http://www.epdk.org.tr/index.php/elektrik-piyasasi/tarifeler?id=133>>, alındığı tarih: 02.10.2014.

EKLER

EK A: Literatür tablosu

EK B: Makro kodları

EK C: Simülasyon ile üretilmiş elektrik tüketimi verileri

EK D: GAMS kodları

EK E: Oyunun çözümünde yapılan matematiksel hesaplamalar

EK A**Çizelge A.1 : Literatür tablosu.**

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
1981	Chan ve diğ.	Konutlardaki ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme faaliyetleri için bir yük modeli geliştirilmesi	Simülasyon	Fiziksel tabanlı simülasyon modelleri ile yük çeşitlendirme modelinin birlikte kullanımı ile yük eğrilerindeki değişiklikler ölçülebilmektedir.
1986	Chan ve diğ.	YY programlarının güç sistemlerinin kontrol mekanizmalarına nasıl entegre edileceğinin anlatılması	Anket çalışması	Entegrasyon sürecini etkileyecek faktörler belirlenmiştir. Yapılacak modellemelerin köşe taşlarını oluşturacak bu faktörler, mühendis ve işletmecilere geçiş sürecinde yapmaları gerekenler hakkında öngörü sağlamaktadır.
1987	Lescoeur ve Galland	Arz ve talep tarafları arasındaki tutarlılığın sağlanması	-	Dengeyi sağlamak için fiyatlandırma etkeninin oldukça önemli olduğu saptanmıştır.
1990	McDonald ve Lo	Endirekt yük kontrolü teknikleri için uygun elektrik tarife ve modellerinin geliştirilmesi ve analizi	Markov zinciri, Zaman serileri ve Doğrusal programlama	Tüketicilere yönelik geliştirilmiş modeller üretilmiştir. Bunlar sayesinde tüketicilerin, üretim kısıtları altında ve değişken fiyatlar ışığında tüketimlerini yönetebilecekleri ve faturalarını minimize edebilecekleri görülmüştür.
1994	Svoboda ve Oren	Elektrik sistemlerindeki içsel fiyatlı kaynakların kısa dönemli çizelgelemesinin yapılması	Matematiksel modelleme ve Lagrange gevşetmesi	Kullanılan yöntemle kısa dönemli çizelgeleme problemi için optimale yakın çözümler bulunabildiği görülmüştür. Güç sistemleri problemlerinde kullanılan çizelgeleme yaklaşımının çözümleri zorlaştırmadığı, süreçleri daha sağlıklı biçimde görmeyi sağladığı ortaya konmuştur.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
1996	Shwehdi ve Khan	Talepteki varyasyonları azaltmak	-	Tek yönlü iletişim sağlayan saatlik sayaçların kullanımıyla, talebin düzenlenebileceği savunulmuştur.
1997	Marechal ve Kalitventzeff	Minimum maliyet hedefi ile endüstriyel süreçlerin enerji entegrasi problemlerini çözmek	Karışık tam sayılı doğrusal programlama	Termodinamik analiz matematiksel programlama ile modellenerek, üretim süreçlerindeki değişikliklere uyarlanabilir bir model geliştirilmiş; kağıt ve maya endüstrilerinde yapılan uygulamalarla etkinliği kanıtlanmıştır.
1998	Paracha ve Doulai	Yük yönetimi kavramının ortaya çıkışından itibaren gelişiminin incelenmesi	-	Yük yönetiminin tarihçesi ve bu alanda kullanılan ilk teknikler sunulmuştur.
1998	Roos ve Lane	Gerçek zamanlı tarife altında bir sanayi kullanıcısının elektrik maliyeti minimizasyonu	Doğrusal olmayan programlama	Amaca yönelik bir optimum yük çizelgeleme stratejisi önerildi.
2004	Alvarez ve diğ.	Talep tarafı tekliflerinin yaratılması için bir yöntem geliştirmek	Sınıflandırma ve Simülasyon	Talepler miktarlarına göre sınıflandırılıp, her sınıf için farklı kontrol stratejileri önerilmiştir. TTY uygulaması yapılacak bir müşteriyi tanıma aşamaları bakımından katkı sağlamıştır.
2004	Wu ve diğ.	Bir elektrik şebekesindeki kullanıcıların sosyal faydalarını maksimize etmek	Çok hedefli optimizasyon ve Simülasyon	Zamana bağlı tarifelerle, kullanıcıların yüklerini kaydırma ve maliyetlerini minimize etme arasında optimal bir denge kurulabildiği görülmüştür.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2005	Al-Iriani	Elektrik maliyetinin çok düşük olduğu, dolayısıyla TTY programlarının göz ardı edildiği ülkelerde, tüketimde en büyük paya sahip iklimlendirme sistemleri üzerine analiz yapılarak gelecekteki TTY çalışmaları için bir başlangıç noktası belirlemek	Zaman serileri analizi	Kurulan dinamik regresyon modeli ile, talep edilen soğutma derecelerindeki küçük değişikliklerin enerji tüketimde büyük değişikliklere sebep olduğu gösterilmiştir. Benzer bölgelerde, enerji talebini düşürmek için ne yönde çalışılması gerektiği ortaya konmuştur.
2005	Chinese ve Meneghetti	Biyokütle kaynaklı bölgesel ısıtma sistemlerinin optimizasyon yaklaşımı ile tasarlanması	Karışık tam sayılı doğrusal programlama ve Doğrusal programlama	Üretici kurumlar ve kanun koyucular açısından bakılarak iki model kurulmuş; bunların, kar maksimizasyonu ve sera gazı salımı minimizasyonu hedefleri gerçekleştirilmiştir.
2006	Henning ve diğ.	İsveç'teki bölgesel ısıtma ağlarının daha verimli hale getirilmesi	Doğrusal programlama	Ülkenin ısıtma dağıtım ağları tanıtılmış; MODEST enerji sistemleri optimizasyon modeli kullanılarak, maliyetler ve karbon salımları birlikte minimize edilmiştir.
2006	Lu ve Yao	Büyük bir havalandırma sisteminin yük kullanımında, planlanan ve gerçekleşen miktarlar arasındaki farkı minimize etmek	Optimizasyon	Doğrudan yük kontrolü uygulanarak, en yüksek talep miktarları azaltılmış ve amaca ulaşılmıştır.
2006	Olsina ve diğ.	Elektrik piyasasında rekabet edebilir konumlara gelmek için uzun vadeli planlama yapılması	Simülasyon	Piyasanın uzun dönem fiyatları ve arz miktarları dikkate alınarak, üretici firmalar için kapasite artırma çalışmaları ve değişimlere hızlı cevap verebilir hale gelmeleri konusunda geliştirmeler önerilmiştir.
2006	Özil	Ulusal TTY kavramının önemini açıklamak ve bu açıdan Türkiye'nin durumunu sunmak	-	TTY alanında ülkemizdeki potansiyel ve eksiklikler ortaya konmuş, çözüm önerileri getirilmiştir.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2006	Trygg ve diğ.	Sanayide enerji üretimi ve tüketiminde uygulanacak geliştirmelerle verimliliği arttırmak	MODEST modeli – Doğrusal programlama	Uygulama yapılan tesisin enerji girdi – çıktıları analiz edilmiş, bir kojenerasyon sistemi tasarlanıp, alınabilecek verimlilik önlemleri modellenmiştir.
2006	Tunç ve diğ.	Türkiye ile Avrupa ülkelerinin elektrik enerjisi üretim ve tüketimlerinin karşılaştırılarak, Türkiye için genel bir arz optimizasyonu yapılması	Matematiksel modelleme	Türkiye'nin rüzgar enerjisi alanında kullanılmayan büyük bir potansiyeli olduğu; gelecekte Türkiye'nin elektrik üretiminde rüzgar, hidro ve nükleer enerjilerin büyük bir pay sahibi olmak zorunda olduğu belirtilmiştir.
2007	Ashok	Uzaktan üretim için kullanılabilecek optimum enerji kaynakları kombinasyonunun belirlenmesi	Optimizasyon	Mikro-hidro ile rüzgar santrallerinin kombinasyonu, ulaşılması güç kırsal alanlar için yapılacak üretimde en uygun seçenek olarak belirlenmiştir.
2007	Hamzaçebi	Türkiye'nin 2020 yılına kadar net elektrik tüketimini sektörlere göre tahmin etme	Yapay sinir ağları	Toplam 499.588 GWh olarak öngörülen tüketimde en büyük pay konut kullanıcılarının, ikinci büyük pay ise ona yakın bir yüzde ile sanayinin olacaktır.
2007	Kralj ve Glavic	Bir kojenerasyon sistemi tasarımıyla hem yakıt kullanımını hem de sera gazları salımını azaltmak	Doğrusal olmayan programlama	Tasarlanan sistemle eş zamanlı ve yerinde üretimin sağlanabileceği görülmüş, çevresel hedeflere de ulaşılmıştır.
2007	Lee ve Chang	Enerji tüketiminin ekonomik büyümeye etkilerinin araştırılması	Doğrusal ve Doğrusal olmayan programlama	Kanun koyucuların karar verme süreçlerine katkı sağlayacak sonuçlar elde edilmiştir.
2008	Babu ve Ashok	Akış tipi üretim yapılan bir işletmede yük yönetimiyle yük eğrilerinin düzeltilmesi	Doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama	Akış tipi üretim yapan sanayi kollarına uyarlanabilecek bir model elde edilmiş, bununla en yüksek talepte önemli azalmalar meydana getirilerek yük eğrileri düzeltilmiştir.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2008	Henning ve Trygg	Sanayideki elektrik kullanımını ve buna bağlı karbon salımlarını azaltma	MODEST modeli – Doğrusal programlama	Bölgesel ısıtma sistemlerine geçişler yapılarak ve talep yönetimi programları uygulanarak, enerji arzı ve tedariki maliyetlerinde ve karbon salım miktarlarında azalma elde edilmiştir.
2008	Strbac	TTY yaklaşımının faydalarını ve karşılaşılan zorlukları ortaya koymak	-	Birleşik Krallık’ın elektrik şebekeleri üzerinde yapılan incelemeler doğrultusunda, TTY üzerine kapsamlı bir sözel çalışma ortaya konmuştur.
2008	Ukil ve Siti	Bir elektrik dağıtım sisteminde faz dengeleme uygulaması yapmak	Bulanık mantık ve Kombinatoriyal optimizasyon	Kullanılan bulanık teknikten çıktı olarak elde edilen kW birimli değerler, optimizasyonla yük puanlarını dönüştürülmüş; bu yolla fazlar arası yük dengeleme yapılmıştır.
2009	Babu ve Ashok	Sanayide elektrik maliyet minimizasyonu ve en yüksek talebin azaltılması için yenilenebilir kaynaklı üretimle yük yönetimi yapılması	Doğrusal olmayan programlama	Yenilenebilir kaynaklı bağımsız güç üreticilerinin genel şebekelere optimal biçimde entegrasyonu, işletmelerin işletim maliyetlerini azaltabilecekleri görülmüştür.
2009	Chen ve diğ.	Dağıtım sistemlerindeki saatlik yükler arasındaki korelasyonların analiz edilmesi	Olasılık teorisi	Ortak olasılık ve AR(12) olmak üzere iki olasılıklı yük modeli önerilmiş; yeterli veriye ulaşılabildiğinde ilkinin, veriler sınırlı olduğunda ikincisinin kullanımının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
2009	Lopes ve diğ.	Elektrikli taşıtların şarj gereksinimlerinin yönetimi	Doğrusal programlama	Bu alandaki üç yaklaşım olan standart şarj, çift tarife akıllı şarj değerlendirilmiş. Gerekli enerji miktarı arttıkça, kullanılması gerekli yaklaşımların da yazıldığı sırada değişmesi gerektiği ve en verimli yaklaşımın akıllı şarj olduğu görülmüştür.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2009	Palensky	Mevcut çalışmalara göre daha geniş ölçekli YY programları uygulanmasına bilgi teknolojilerinin katkısını göstermek	-	Yeni teknoloji ve akıllı cihazlar tanıtılmış, küresel ölçekli bir enerji yönetimi yaklaşımına nasıl yardımcı olacakları aktarılmıştır.
2009	Shaw ve diğ.	YY'nin iletim ve dağıtım hattı kayıplarına etkisini ortaya koymak	-	Elektrik şebekelerindeki kayıplar üzerine detaylı bilgi verilmiş, yük yönetimi yapılarak nasıl iyileşme sağlanacağı açıklanmıştır.
2010	Mohsenian-Rad ve diğ.	Çift yönlü iletişim durumunda, YY ile bir grup konut kullanıcısının yük eğrisini düzeltmek	Oyun teorisi	Önerilen TTY stratejisi yük eğrisini düzeltmiş, toplam maliyeti ve bireysel faturaları azaltmıştır. Kurulan matematiksel model, TTY alanında oyun teorisi kullanımında öncü olmuştur.
2010	Samadi ve diğ.	Akıllı güç şebekesi altyapıları için bir gerçek zamanlı fiyatlandırma algoritması önerilerek, kullanıcıların ortak faydasını maksimize etmek	Optimizasyon ve Dualite	Algoritmanın işleyebilmesi için, yeni olarak, akıllı sayaçlara entegre edilerek çalıştırılacak tüketim kontrol ekipmanlarının kullanımı önerilmiştir. Simülasyon sonuçları, önerilen sistemin çift taraflı fayda sağladığını göstermiştir.
2011	Banos ve diğ.	Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla birlikte kullanılan optimizasyon metotları üzerine kapsamlı bir inceleme yapmak	-	Enerji kaynağı ve teknolojisine göre, modellemede kullanılması uygun matematiksel yöntemler sunulmuştur.
2011	Bazmi ve Zahedi	Optimizasyon tekniklerinin enerji üretim ve arz süreçlerine etkisini incelemek	-	Modelleme ve optimizasyonun enerji arzı sektöründe etkili bir araç olduğu, politika belirleyicilere ise detaylı değerlendirme ve analizi mümkün kıldığı için büyük katkı sağladığı ortaya konulmuştur.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2011	Chen ve diğ.	Konut kullanıcıları için gerçek zamanlı ücretlendirme tabanlı yük çizelgeleme	Stackelberg oyunu liderlik modeli	Kullanılan yöntemle tüketicilerin çizelgeleyici donanımları ile servis sağlayıcı arasındaki etkileşimler analiz edilmiştir. Elde edilen çizelgeler en yüksek talebi azaltmış ve planlanan ve gerçekleşen yük arzı arasındaki farkı azaltmıştır.
2011	Eissa	Değişken zamanlı perakende tarife kullanan bir üretici için, teşvik tabanlı talep tepkisi programlarının daha uygun olduğunun ispatlanması	Sınıflandırma	Kullanıcılar sınıflandırılarak analiz edilmiş, çalışmadaki firma için teşvik tabanlı programların uygunluğu gösterilmiştir.
2011	Gottwalt ve diğ.	Konutlardaki tüketim kalemlerine akıllı ekipmanlar entegre edilmesi durumunda yük profillerinin değişiminin gözlenmesi	Çizelgeleme	Gün öncesi fiyatlar uygulandığında üreticilerin yeni puant talep dönemleri ile karşılaştıkları, fakat önemli bir miktar yükün kaydırılmaya uygun olduğu görülmüştür.
2011	Valencia-Salazar ve diğ.	Elektrik tüketicilerinin ülke elektrik piyasasına katılım potansiyellerinin analizi	Simülasyon	Tüketicilerin katılımlarının kendilerine fayda sağlarken, piyasa verimliliğini de arttırdığı kanıtlanmıştır.
2011	Wang ve diğ.	Bir akıllı sayaç – ticaret – faturalandırma sisteminin tanıtılması	-	Kullanıcıların gerçek zamanlı fiyatlara göre tüketimlerini ayarlama ya da merkezi doğrudan kontrole dahil olma seçeneklerinin olduğu sistemin faydaları aktarılmıştır.
2011	Wang ve Li	Kritik puant ücretlendirme yönteminin tanıtılması ve tarife yapılarının belirlenmesi	-	Yöntem hakkında ayrıntılı bilgi verilmiş, CPP tarifeleri tasarlanmıştır.
2011	Wu ve diğ.	Rüzgar gücü üretiminin kesikli yapısının yarattığı maliyetlere çözüm bulmak	Dinamik potansiyel oyun teorisi	Yedek bir konvansiyonel kaynak ile beraber kullanılan mikro grid ve maliyet paylaşım sistemi ile elektrik maliyetleri azaltılmıştır.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2012	Baliban ve diğ.	Bir hibrit enerji rafinerisinde eş zamanlı ısı, elektrik ve buhar üretimindeki termo-kimyasal süreçlerin modellenmesi	Doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama	12 farklı vaka çalışması yapılmış; tüm süreçler başarıyla tamamlanırken, maliyetler ve sera gazı salımlarında azalma elde edilmiştir.
2012	Ferreira ve diğ.	Talep tepkisi bağlamında, tüketim çizelgelemesinde fiyatlar arası korelasyonun rolünü analiz etmek	Robust optimizasyon	Farklı zaman dilimlerindeki elektrik fiyatları arasındaki korelasyon, tüketicilerin kullandıklarını doğrudan etkileyen bir etmendir.
2012	Giacone ve Manco	Endüstriyel süreçlerde üretilenle dışarıdan alınan enerji arasındaki ilişkiyi analiz ederek, verimlilik önlemleriyle ilgili karar süreçlerine katkı sağlamak	Matematiksel programlama ve İstatistiksel analiz	Enerji verimliliğinin kullanılan teknoloji ve üretim seviyesinden etkilendiği, dolayısıyla farklı işletmeler karşılaştırılırken bu etkinin kaldırılarak kıyaslama yapılması gerektiği öne sürülmüştür.
2012	Gilbraith ve Powers	Zamana bağlı tarife kullanımının sera gazı salımları üzerindeki etkilerinin araştırılması	Optimizasyon	Yapılan uygulama ile, New York'un günlük NO salımında ortalama 1,5 ton azalma elde edilmiştir.
2012	Law ve diğ.	Talep tepkisi programları ve yük kaydırma algoritmaları üzerine ayrıntılı bilgi vermek	-	Klasik TTY yöntemleri ve güncel talep tepkisi yaklaşımları ortaya konmuş ve karşılaştırılmıştır. Algoritmaların genel yapıları aktarılmış, bu alandaki çalışma zorlukları ifade edilmiştir.
2012	Lujano-Rojas ve diğ.	Bir akıllı şebeke üzerindeki konut kullanıcıları için yük yönetimi yapılması	Matematiksel modelleme ve İstatistiksel tahmin	Önerilen model sayesinde, kullanıcıların günlük tüketimlerini kontrolü ve faturalarını ekonomik durumlarına göre şekillendirmesi mümkün olmuştur. Faturalarda azalma gözlenmiştir.
2012	Nishi ve diğ.	Şirketlerin enerji portföyü ve üretim planlarının belirlenmesi için bir model tasarlanması	Doğrusal olmayan karışık tam sayılı programlama ve Lagrange ayrışımı	Şirketler için doğrusal olmayan alt modeller kurulmuş, Lagrange ayrışımı yardımı ile bunlar çözülerek enerji, üretim ve maliyet hedefleri sağlanmıştır.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2012	Samadi ve diğ.	Akıllı fiyatlandırmanın sosyal faydalarını maksimize etmek	Oyun teorisi	Toplam faydayı maksimize ederken, maliyeti minimize eden bir VCG mekanizması önerilmiş, bununla güç kullanımı azaltılıp, düşük talep dönemlerine kaydırılmıştır.
2012	Xue ve Shengwei	Akıllı şebekeler ile ticari binalar arasında çift yönlü iletişimin olduğu bir YY sistemi tasarlanması	Termodinamik yasaları ve Matematiksel programlama	Binalar için operasyon maliyeti fonksiyonu ve dinamik fiyatlandırma algoritmaları geliştirilmiştir. Modellenen sistemle ticari binalarda yük değiştirme ve kaydırma hedeflerine ulaşılabilmektedir.
2012	Yang ve diğ.	Bir elektrik sisteminde maliyetleri azaltırken, kullanıcı tatminini arttırmak	Oyun teorisi	Kurulan modelin Nash dengesi sağlanarak optimal fiyatlar ve yük çizelgeleri elde edilmiştir.
2013	Atikol	Gelişmekte olan ülkelerde TTY programlarının uygulanmasını zorlaştıran altyapı ve izleme sistemlerinin yetersizliğine farklı bir çözüm önermek	Termodinamik yasaları ve Çizelgeleme	Konut kullanıcılarının puant dönemlerinde en çok tüketime sebep olan su ısıtma ihtiyacı üzerine yoğunlaşmış, bu talebin kontrolüyle yük eğrilerinin düzelmesine büyük katkı sağlanacağı görülmüştür.
2013	Atzeni ve diğ.	Dağıtık üretim ve depolamanın olduğu elektrik sistemlerinde maliyet optimizasyonu	Oyun teorisi	Üretim ve depolama, kurulan oyun modeline farklı iki boyut getirmiştir. Üç tür temel değişkene sahip model, dağıtık ve yinelemeli bir algoritma ile çözülmüştür. Sonuçta yük eğrileri yassılaşmış, en yüksek talepler azalmıştır.
2013	Figueiro ve diğ.	Brezilya'daki elektrik ağlarının akıllı şebeke sistemlerine uyarlanması sürecinde konut tüketicilerinin adaptasyonu	Monte Carlo yöntemi	Konutların yük eğrilerinin tepe noktalarından sorumlu kullanım alışkanlıkları önceden saptanıp, yeni tarife yapılarına uygun bir modelleme yaklaşımı geliştirilmiş, farklı senaryolar belirlenmiştir.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2013	Jebaraj ve diğ.	Elektrik talebindeki artışa karşı bir elektrik paylaşım modeli geliştirmek	Bulanık doğrusal programlama	Mevcut tüm güç teknolojileri dikkate alınarak kurulacak paylaşım modellerinin, kaynakların verimli kullanımı açısından karar alıcılara büyük katkı sağlayacağı görülmüştür.
2013	Kosek ve diğ.	Farklı TTY yaklaşımlarının kontrol biçimleri ve iç çalışma prensipleri bakımından değerlendirilmesi	Sınıflandırma	Yaklaşımlar, genel başlıkların yanında farklı karakteristikleri açısından da karşılaştırılmıştır. Tüm bunlar, uygulama aşamasında bir binanın özelliklerine göre doğru TTY yöntemini belirlemeye katkı sağlayacaktır.
2013	Lampropoulos ve diğ.	TTY yöntemlerinin tarihsel çerçevede incelenmesi ve sınıflandırılması	-	Detaylı bir TTY sınıflandırması sunulmuştur.
2013	Liu ve diğ.	Metro istasyonlarının havalandırmasında maliyetleri de göz önünde bulunduran bir kontrol sistemi tasarlamak	Optimal kontrol teorisi ve Çok hedefli optimizasyon	Enerji tüketimi minimize edilmiş; kurulan izleme sistemiyle uygulamanın devamı için sağlıklı şekilde veri sağlanması mümkün hale getirilmiştir.
2013	Lopez-Rodriguez ve diğ.	TTY çalışmalarını başlatmak için tüketicilerin tanınması, tüketim alışkanlıklarının analiz edilmesi	Anket çalışması	Konut kullanıcılarının tüketim profillerini görmek için anket uygulanmış; hangi zaman dilimlerinde ne tür TTY programlarının uygulanmasının uygun olacağı belirlenmiştir.
2013	Mangiatordi ve diğ.	TTY ile genel PAR'ı ve kullanıcı maliyetlerini azaltmak	Oyun teorisi ve Çok hedefli parçacık sürü optimizasyonu algoritması	Önerilen algoritmanın amaca uygun biçimde yüklerin yeniden çizelgelenmesinde işe yaradığı görülmüştür.
2013	Moon ve diğ.	Paralel makineli çizelgeleme problemlerinde enerji verimliliği	Hibrit genetik algoritma	Yayılma süreleri ve zamana bağlı elektrik maliyetlerinde azalma meydana gelmiştir.
2013	Öztemür ve Soysal	Akıllı sayaçların tanıtılması ve kullanımları için bir standart önerilmesi	-	Ülke özelinde, akıllı sayaç kullanımında güvenlik konusunun dikkate alınması gerektiği ortaya konmuştur.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2013	Rogers ve Polak	TTY'ye yönelik zaman dilimi kümelemesi	Tam sayılı doğrusal programlama	Ücretlendirme sistemleri için zaman dilimlerinin optimal bir kümelemesi yapılmıştır.
2013	Subramanian ve diğ.	Gün öncesi fiyat optimizasyonu	Doğrusal olmayan programlama ve Doğrusallaştırma teknikleri	Kısa zamanda optimale yakın sonuçlar elde edilmiş, gün öncesi fiyatlandırmanın karar destek mekanizmalarına dahil edilebilecek bir YY modeli elde edilmiştir.
2013	Şanlı ve Alanyalı	Türkiye elektrik piyasalarında talep tepkisi programlarının uygulanabilme potansiyelini ortaya koymak	-	Teknolojik ve yasal geliştirmelerle bu programlardan nasıl fayda sağlanabileceği açıklanmıştır.
2013	Wang ve Li	Sanayide üretim hedefleri kısıtı altında toplam elektrik tüketiminin minimizasyonu	Parçacık sürü optimizasyonu	Bu alandaki çoğunlukla konut ve işyerlerinin tüketimine yönelmiş çalışmaların aksine, kullanım zamanına bağlı tarifeler ile üretim sistemlerinde TTY uygulaması yapılmıştır.
2014	Adika ve Wang	Enerji depolama ve çizelgeleme yaklaşımlarının bir arada kullanımıyla konutlarda enerji yönetimi yapılması	Doğrusal programlama ve Çizelgeleme	Depolamanın olası olumsuz etkileri ortadan kaldırılarak yeni pikler oluşturması engellenmiş; sunulan akıllı şarj ve çizelgeleme sistemiyle hem güç şebekelerinin stabilliği hem de kullanıcıların mali tasarrufu sağlanmıştır.
2014	Bahrami ve Parniani	Elektrikli taşıtların şarj edilmesinin yük eğrileri üzerindeki büyük etkisinin en iyi şekilde yönetilmesi	Oyun teorisi ve Doğrusal olmayan programlama	Saatler arası kullanımı dengelerken, kullanıcıların faturalarını da optimize eden bir çizelgeleme algoritması önerilmiştir. Simülasyon çalışmalarından kabul edilebilir sonuçlar alınmıştır.
2014	Bergaentzle ve diğ.	TTY'nin enerji verimliliği ve çevresel etkiler bakımından incelenmesi	-	TTY'nin AB enerji verimliliği hedeflerine ulaşmakta yardımcı olduğu ve nispeten masrafsız ve basit TTY araçlarının kullanımının verimlilik için genellikle yeterli olacağı görülmüştür.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2014	Chen ve diğ.	Bencil kullanıcılar için ortak faydanın maksimize edildiği bir model kurmak	Oyun teorisi	Kolektif bir oyun modellenip, Nash denge denkleminin varlığı ve tekliği ispatlanmıştır. Üç farklı dağıtık algoritma önerilmiştir.
2014	Erol ve diğ.	Akıllı şebeke kullanımının TTY uygulamaları üzerindeki etkilerinin incelenmesi	-	Akıllı şebekelerle birlikte kullanılacak karar destek sistemlerinin giderek karmaşılaşan arz – talep dengeleme problemlerinde önemli bir rol oynayacağı sonucuna varılmıştır.
2014	Gelazanskas ve Gamage	TTY ve talep tepkisi konularının incelenmesi	-	Mevcut tüm TTY tekniklerinin yük kaydırma üzerine olduğu, çizelgeleme algoritmalarının yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür.
2014	Lorca ve Prina	Etkin risk yönetimi ve rekabet gücünü artırma amacıyla güç üreticileri için portföy optimizasyonu	Stokastik programlama	Yerel elektrik fiyatlarının çok değişkenli stokastik değişimi senaryo ağacı ile modellenerek optimum sonuçlara ulaşılmıştır.
2014	Mahmood ve diğ.	Elektrik tüketen cihazlara otonom çizelgeleyici entegre edilerek, en yüksek talebi azaltmak ve maliyeti düşürmek	Çizelgeleme optimizasyonu	Kullanım zamanına ve cihazın kullanımının kaydırılabilir olup olmamasına göre ilerleyen bir algoritma üretilmiş, bununla amaca ulaşılmıştır.
2014	Marwan ve diğ.	Elektrik tüketicilerinin piyasa fiyatlarına bağımsız tepkilerini modelleyerek, hem konutlarda hem işyerlerinde uygulanabilir bir model kurup elektrik fiyatlarını minimize etmek	Doğrusal olmayan programlama	Tüketicilerin farklı fiyat durumlarını dikkate alarak, havalandırma-soğutma kaynaklı elektrik maliyetlerini nasıl optimize ettikleri gösterilmiştir.
2014	Olanrewaju ve Jimoh	Sanayide kullanılan enerji modellerinin analizi	Yapay sinir ağları	Enerji arz güvenliğini ve ekonomik büyüme hedeflerini dikkate alan yeni bir model geliştirilmiştir.
2014	Su ve Huang	Perakende elektrik piyasası ile üretim yapan konut kullanıcıları için, bir oyun modeli ile net kar maksimizasyonu	Oyun teorisi	Yerel ve mutlak kısıtları göz önünde bulunduran bir matematiksel model kurulup, Nash dengesi sağlanmıştır.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2014	Swanepoel ve diğ.	Enerji yoğun üretim süreçlerinde verimlilik önlemleriyle maliyet tasarrufu	Simülasyon	İşletmelerdeki süreçlerin verimlilik çalışmalarında sistem bakış açısının faydaları ortaya konmuştur.
2015	Dahal ve diğ.	Elektrik üretimi çizelgelemesinde yalnızca bakım maliyetlerini minimize etmeyi hedefleyen yaklaşımı değiştirerek, liberalleşme sonrası eklenen maliyet bileşenlerinin yer aldığı modeller geliştirilmesi	Analitik hiyerarşi yöntemi ve Çizelgeleme	Deneysel sonuçlar, piyasa kaynaklı maliyet bileşenlerinin üretim çizelgelemesindeki önemini ortaya koymaktadır.
2015	He ve diğ.	Çin’deki akıllı şebeke yatırımlarının sürdürülebilir olması için uygun tarife mekanizmalarının belirlenmesi	Mühendislik ekonomisi yöntemleri ve Doğrusal olmayan programlama	Öncelikle şebekeleri farklı açılardan zenginleştirecek özel yatırımlar önerilmiştir; ardından dört tip elektrik tarifi sunulmuş ve vaka çalışmalarına bağlı olarak mevcut durum için en uygun olarak merdiven tipi tarife belirlenmiştir.
2015	Macedo ve diğ.	Akıllı elektrik sistemleri ile elde edilen büyük hacimdeki verileri faydalı bilgilere dönüştürmekte TTY’nin rolünün araştırılması	Yapay sinir ağları	TTY ile birlikte yük eğrilerinin sınıflandırılmasında yapay sinir ağları kullanılarak, akıllı sistemlerin katkılarında yüksek performans ile faydalanılabildiği görülmüştür.
2015	Merkert ve diğ.	Elektrik piyasasındaki liberalleşmelerin ve yenilenebilir kaynakların artan paylarının neden olduğu operasyonel zorlukların tartışılması	-	Gerçek endüstriyel vakalardan modelleme yaklaşımı ve çözüm yöntemi örnekleri verilmiş; bunların getirdiği zorluklar ile yarattıkları gelişme olanakları tartışılmıştır. Literatüre, son yılların enerji yönetimi ve tüketim çizelgeleme çalışmalarına ışık tutan, toparlayıcı bir makale katılmıştır.

Çizelge A.1 (devam): Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2015	Nwulu ve Xia, 2015	Bir güç sisteminde üretimin yakıt ve sera gazı maliyetlerini eş zamanlı olarak minimize ederek, bu maliyetlere bağlı olarak saatlik elektrik fiyatlarının belirlenmesi	Oyun teorisi ve Çok hedefli optimizasyon	Model sanayi kullanıcılarından oluşan bir sistemde uygulanmış, amaca uygun biçimde maliyetleri azalttığı görülmüştür.
2015	Ratnam ve diğ.	Konutlardaki fotovoltaik depolama sistemleri için çizelgeleme optimizasyonu yapılması	Kuadratik programlama	Kurulan kuadratik optimizasyon algoritması ile tersine yük akışları ve pik yükler cezalandırılarak, müşterilerin günlük maliyet tasarrufu elde etmeleri sağlanmıştır.
2015	Sheikhi ve diğ.	Mevcut enerji yönetim birimlerinin güncellenerek akıllı birimlere dönüştürülmesi	Oyun teorisi	Çok sayıda üretici ve tüketici birim arasındaki haberleşme için bulut teknolojisi kullanımı önerilmiştir. Elektrik maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan oyun modeli simüle edildiğinde, PAR'ın ve faturalardaki miktarların önemli oranda azaldığı görülmüştür.

EK B

1. fabrikanın verilerinin üretiminde kullanılan makro kodları:

20'nin 2'li kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte  
  
X = 20  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
  
Next b  
Next a  
  
End Sub
```

20'nin 3'lü kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte  
  
X = 20  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
  
Next c  
Next b  
Next a  
  
End Sub
```

20'nin 4'lü kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte  
  
X = 20  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
For d = c + 1 To X  
  
z = z + 1
```

```
Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
```

```
Next d
Next c
Next b
Next a
```

```
End Sub
```

20'nin 5'li kombinasyonları için;

```
Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte
```

```
X = 20
```

```
For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
```

```
z = z + 1
```

```
Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
```

```
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a
```

```
End Sub
```

20'nin 6'lı kombinasyonları için;

```
Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte
```

```
X = 20
```

```
For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
```

```
z = z + 1
```

```
Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
```

```

Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```

End Sub

```

20'nin 7'li kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As
Byte

```

```

X = 20

```

```

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
For g = f + 1 To X

```

```

z = z + 1

```

```

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g

```

```

Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```

End Sub

```

20'nin 8'li kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As
Byte, h As Byte

```

```

X = 20

```

```

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
For g = f + 1 To X
For h = g + 1 To X

```

```

z = z + 1

```

```

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h

```

```

Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```
End Sub
```

20'nin 9'lu kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As
Byte, h As Byte, i As Byte

```

```
X = 20
```

```

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
For g = f + 1 To X
For h = g + 1 To X
For i = h + 1 To X

```

```
z = z + 1
```

```

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h
Cells(z, 9) = i

```

```

Next i
Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```
End Sub
```

20'nin 10'lu kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long

```

```
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As  
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte
```

```
X = 20
```

```
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
For d = c + 1 To X  
For e = d + 1 To X  
For f = e + 1 To X  
For g = f + 1 To X  
For h = g + 1 To X  
For i = h + 1 To X  
For j = i + 1 To X
```

```
z = z + 1
```

```
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
Cells(z, 4) = d  
Cells(z, 5) = e  
Cells(z, 6) = f  
Cells(z, 7) = g  
Cells(z, 8) = h  
Cells(z, 9) = i  
Cells(z, 10) = j
```

```
Next j  
Next i  
Next h  
Next g  
Next f  
Next e  
Next d  
Next c  
Next b  
Next a
```

```
End Sub
```

20'nin 11'li kombinasyonları için;

```
Sub Listele()
```

```
Dim X As Byte, z As Long
```

```
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As  
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte, k As Byte
```

```
X = 20
```

```
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
For d = c + 1 To X  
For e = d + 1 To X  
For f = e + 1 To X  
For g = f + 1 To X  
For h = g + 1 To X  
For i = h + 1 To X  
For j = i + 1 To X  
For k = j + 1 To X
```

```
z = z + 1
```

```
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b
```

```

Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h
Cells(z, 9) = i
Cells(z, 10) = j
Cells(z, 11) = k

```

```

Next k
Next j
Next i
Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```
End Sub
```

20'nin 12'li kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte, k As Byte, l As Byte

```

```
X = 20
```

```

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
For g = f + 1 To X
For h = g + 1 To X
For i = h + 1 To X
For j = i + 1 To X
For k = j + 1 To X
For l = k + 1 To X

```

```
z = z + 1
```

```

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h
Cells(z, 9) = i
Cells(z, 10) = j
Cells(z, 11) = k
Cells(z, 12) = l

```

```

Next l
Next k
Next j
Next i
Next h
Next g

```

```

Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```
End Sub
```

20'nin 13'lü kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte, k As Byte, l As Byte, m As Byte

```

```
X = 20
```

```

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
For g = f + 1 To X
For h = g + 1 To X
For i = h + 1 To X
For j = i + 1 To X
For k = j + 1 To X
For l = k + 1 To X
For m = l + 1 To X

```

```
z = z + 1
```

```

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h
Cells(z, 9) = i
Cells(z, 10) = j
Cells(z, 11) = k
Cells(z, 12) = l
Cells(z, 13) = m

```

```

Next m
Next l
Next k
Next j
Next i
Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```
End Sub
```

20'nin 14'lü kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As  
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte, k As Byte, l As Byte, m As Byte, n  
As Byte  
  
X = 20  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
For d = c + 1 To X  
For e = d + 1 To X  
For f = e + 1 To X  
For g = f + 1 To X  
For h = g + 1 To X  
For i = h + 1 To X  
  
For j = i + 1 To X  
For k = j + 1 To X  
For l = k + 1 To X  
For m = l + 1 To X  
For n = m + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
Cells(z, 4) = d  
Cells(z, 5) = e  
Cells(z, 6) = f  
Cells(z, 7) = g  
Cells(z, 8) = h  
Cells(z, 9) = i  
Cells(z, 10) = j  
Cells(z, 11) = k  
Cells(z, 12) = l  
Cells(z, 13) = m  
Cells(z, 14) = n  
  
Next n  
Next m  
Next l  
Next k  
Next j  
Next i  
Next h  
Next g  
Next f  
Next e  
Next d  
Next c  
Next b  
Next a  
  
End Sub
```

20'nin 15'li kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As  
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte, k As Byte, l As Byte, m As Byte, n  
As Byte, o As Byte
```

X = 20

```
For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
For g = f + 1 To X
For h = g + 1 To X
For i = h + 1 To X
For j = i + 1 To X
For k = j + 1 To X
For l = k + 1 To X
For m = l + 1 To X
For n = m + 1 To X
For o = n + 1 To X
```

z = z + 1

```
Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h
Cells(z, 9) = i
Cells(z, 10) = j
Cells(z, 11) = k
Cells(z, 12) = l
Cells(z, 13) = m
Cells(z, 14) = n
Cells(z, 15) = o
```

```
Next o
Next n
Next m
Next l
Next k
Next j
Next i
Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a
```

End Sub

20'nin 16'lı kombinasyonları için;

```
Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte, k As Byte, l As Byte, m As Byte, n
As Byte, o As Byte, p As Byte
```

X = 20

```
For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
```

```

For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
For g = f + 1 To X
For h = g + 1 To X
For i = h + 1 To X
For j = i + 1 To X
For k = j + 1 To X
For l = k + 1 To X
For m = l + 1 To X
For n = m + 1 To X
For o = n + 1 To X
For p = o + 1 To X

```

```

z = z + 1

```

```

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h
Cells(z, 9) = i
Cells(z, 10) = j
Cells(z, 11) = k
Cells(z, 12) = l
Cells(z, 13) = m
Cells(z, 14) = n
Cells(z, 15) = o
Cells(z, 16) = p

```

```

Next p
Next o
Next n
Next m
Next l
Next k
Next j
Next i
Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```

End Sub

```

20'nin 17'li kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte, k As Byte, l As Byte, m As Byte, n
As Byte, o As Byte, p As Byte, r As Byte

X = 20

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X

```

```

For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X

For g = f + 1 To X
For h = g + 1 To X
For i = h + 1 To X
For j = i + 1 To X
For k = j + 1 To X
For l = k + 1 To X
For m = l + 1 To X
For n = m + 1 To X
For o = n + 1 To X
For p = o + 1 To X
For r = p + 1 To X

z = z + 1

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h
Cells(z, 9) = i
Cells(z, 10) = j
Cells(z, 11) = k
Cells(z, 12) = l
Cells(z, 13) = m
Cells(z, 14) = n
Cells(z, 15) = o
Cells(z, 16) = p
Cells(z, 17) = r

Next r
Next p
Next o
Next n
Next m
Next l
Next k
Next j
Next i
Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

End Sub

```

20'nin 18'li kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As
Byte, h As Byte, i As Byte, j As Byte, k As Byte, l As Byte, m As Byte, n
As Byte, o As Byte, p As Byte, r As Byte, s As Byte

X = 20

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X

```

```

For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X
For g = f + 1 To X
For h = g + 1 To X
For i = h + 1 To X
For j = i + 1 To X
For k = j + 1 To X
For l = k + 1 To X
For m = l + 1 To X
For n = m + 1 To X
For o = n + 1 To X
For p = o + 1 To X
For r = p + 1 To X
For s = r + 1 To X

```

```

z = z + 1

```

```

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f
Cells(z, 7) = g
Cells(z, 8) = h
Cells(z, 9) = i
Cells(z, 10) = j
Cells(z, 11) = k
Cells(z, 12) = l
Cells(z, 13) = m
Cells(z, 14) = n
Cells(z, 15) = o
Cells(z, 16) = p
Cells(z, 17) = r
Cells(z, 18) = s

```

```

Next s
Next r
Next p
Next o
Next n
Next m
Next l
Next k
Next j
Next i
Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

```

```

End Sub

```

2. fabrikanın verilerinin üretiminde kullanılan makro kodları:

10'un 2'li kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte  
  
X = 10  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
  
Next b  
Next a  
  
End Sub
```

10'un 3'lü kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte  
  
X = 10  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
  
Next c  
Next b  
Next a  
  
End Sub
```

10'un 4'lü kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte  
  
X = 10  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
For d = c + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
Cells(z, 4) = d
```

```

Next d
Next c
Next b
Next a

```

```

End Sub

```

10'un 5'li kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte

X = 10

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X

z = z + 1

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e

Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

End Sub

```

10'un 6'lı kombinasyonları için;

```

Sub Listele()
Dim X As Byte, z As Long
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte

X = 10

For a = 1 To X
For b = a + 1 To X
For c = b + 1 To X
For d = c + 1 To X
For e = d + 1 To X
For f = e + 1 To X

z = z + 1

Cells(z, 1) = a
Cells(z, 2) = b
Cells(z, 3) = c
Cells(z, 4) = d
Cells(z, 5) = e
Cells(z, 6) = f

Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

End Sub

```

End Sub

10'un 7'li kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As  
Byte  
  
X = 10  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
For d = c + 1 To X  
For e = d + 1 To X  
For f = e + 1 To X  
For g = f + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
Cells(z, 4) = d  
Cells(z, 5) = e  
Cells(z, 6) = f  
Cells(z, 7) = g  
  
Next g  
Next f  
Next e  
Next d  
Next c  
Next b  
Next a  
  
End Sub
```

10'un 8'li kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte, e As Byte, f As Byte, g As  
Byte, h As Byte  
  
X = 10  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
For d = c + 1 To X  
For e = d + 1 To X  
For f = e + 1 To X  
For g = f + 1 To X  
For h = g + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
Cells(z, 4) = d  
Cells(z, 5) = e  
Cells(z, 6) = f  
Cells(z, 7) = g  
Cells(z, 8) = h
```

Next h
Next g
Next f
Next e
Next d
Next c
Next b
Next a

End Sub

3. fabrikanın verilerinin üretiminde kullanılan makro kodları:

6'nın 2'li kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte  
  
X = 6  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
  
Next b  
Next a  
  
End Sub
```

6'nın 3'lü kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte  
  
X = 6  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
  
Next c  
Next b  
Next a  
  
End Sub
```

6'nın 4'lü kombinasyonları için;

```
Sub Listele()  
Dim X As Byte, z As Long  
Dim a As Byte, b As Byte, c As Byte, d As Byte  
  
X = 6  
  
For a = 1 To X  
For b = a + 1 To X  
For c = b + 1 To X  
For d = c + 1 To X  
  
z = z + 1  
  
Cells(z, 1) = a  
Cells(z, 2) = b  
Cells(z, 3) = c  
Cells(z, 4) = d
```

Next d
Next c
Next b
Next a

End Sub

EK C

Çizelge C.1 : Birinci fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01.11.14	1175	125	1625	245	1445,5	925	155	275	1007	1417	807	267	707,5	417	507	317	1017	597	635	1135	395,5	655	565	775
02.11.14	1195	695	995	735	1165,5	165	655	1315	447	1207	717	1347	1507,5	777	587	57	897	257	605	1205	605,5	1345	145	1325
03.11.14	1075	845	575	245	745,5	835	85	725	657	57	677	377	417,5	1607	1497	1277	557	867	605	1245	195,5	515	115	1565
04.11.14	215	1125	1315	455	975,5	635	1085	215	337	487	1427	307	1157,5	137	107	1227	1297	27	1105	275	905,5	1085	795	185
05.11.14	1465	1265	475	455	1535,5	1615	855	1095	1077	1617	287	1647	107,5	317	317	1197	1617	737	935	505	1115,5	1065	1045	695
06.11.14	155	215	365	155	1345,5	775	755	495	767	1457	1057	1087	207,5	987	517	497	327	387	625	1565	875,5	1085	1555	765
07.11.14	635	125	485	1545	205,5	1075	385	1265	1167	1207	817	507	747,5	277	767	1337	1167	1467	175	1045	35,5	415	305	1625
08.11.14	1085	535	1325	815	1115,5	595	1045	1035	617	817	587	1137	1247,5	497	1017	1337	627	757	1525	1025	145,5	1005	925	1595
09.11.14	1165	175	1445	15	1165,5	1285	215	1125	1227	1457	1137	377	227,5	1427	157	77	337	457	605	1175	495,5	745	195	1435
10.11.14	1435	885	935	65	45,5	1345	575	785	1557	557	1087	1397	947,5	137	597	1307	347	1617	675	775	175,5	1005	335	535
11.11.14	1235	95	295	845	385,5	65	745	1615	67	57	477	927	1177,5	1457	957	377	1487	687	635	535	1135,5	395	1595	1115
12.11.14	995	385	565	815	85,5	1345	1535	1225	1337	737	327	1197	1167,5	207	1507	1097	1347	1517	685	1135	1285,5	605	1415	1625
13.11.14	1105	1075	85	465	655,5	55	475	295	1017	157	247	437	607,5	1147	1037	1337	1247	177	1255	1505	1465,5	1615	385	1045
14.11.14	275	1405	1245	1415	295,5	1235	745	445	1607	647	1487	1057	987,5	957	607	1067	727	1307	1405	1225	695,5	725	1355	1045
15.11.14	985	1295	495	1315	1095,5	385	95	1465	887	737	267	167	1367,5	447	1657	1407	347	587	1565	1585	1285,5	1255	605	155
16.11.14	1315	535	605	1495	125,5	655	1235	595	187	1537	57	267	827,5	1267	227	57	1077	167	1145	365	85,5	875	1475	1455
17.11.14	145	495	1665	115	985,5	125	205	545	107	477	1427	1397	587,5	1527	1057	927	897	827	1355	765	845,5	955	1285	705
18.11.14	765	1295	125	835	1315,5	1645	1555	345	387	1187	1167	867	1487,5	1497	697	827	477	1607	1005	1195	265,5	775	625	65
19.11.14	175	95	945	295	1075,5	905	545	1175	1097	1437	297	627	1317,5	1067	1377	1357	867	477	1095	1165	485,5	415	185	1195
20.11.14	245	385	1115	385	495,5	1175	1135	695	1367	1587	357	1407	147,5	967	967	747	947	887	25	1385	1615,5	485	595	35
21.11.14	1145	425	715	565	1385,5	785	895	1055	1287	1617	357	27	1037,5	837	1647	837	977	327	65	785	1275,5	1495	1205	525

Çizelge C.1 (devam): Birinci fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
22.11.14	1495	55	1435	455	215,5	555	1435	945	857	827	167	1437	1137,5	1317	1187	137	1577	1027	1105	1185	595,5	685	625	735
23.11.14	295	1355	275	1215	1625,5	345	935	1125	357	647	1027	1137	1157,5	1227	867	807	327	357	615	75	395,5	1625	255	1555
24.11.14	275	915	1015	565	535,5	1565	1395	1025	837	807	597	917	1407,5	637	857	627	247	497	1055	525	175,5	935	1515	715
25.11.14	1535	1135	85	455	1475,5	655	1475	885	1487	867	957	1397	27,5	1517	417	167	1667	1467	445	655	1615,5	535	1545	1235
26.11.14	775	1405	325	1085	1395,5	625	1535	315	1017	1317	1527	407	1467,5	897	507	497	1267	487	685	1485	115,5	1225	1605	1405
27.11.14	1235	985	835	485	1585,5	1285	1235	355	147	1157	1637	1077	1127,5	1307	1037	937	1647	747	625	1465	1225,5	525	605	275
28.11.14	515	595	305	945	445,5	15	715	775	1317	1257	947	957	487,5	1377	1107	807	1227	1467	125	1445	1165,5	95	1055	65
29.11.14	735	1275	1085	745	415,5	1115	1245	1265	527	497	717	267	287,5	1387	287	1637	657	1457	185	1225	935,5	405	685	465
30.11.14	85	915	205	575	1285,5	1125	775	185	587	1297	287	57	1397,5	177	437	147	1417	1077	285	995	305,5	1225	1585	295
01.12.14	745	885	155	1045	1025,5	215	1085	835	947	257	77	1317	537,5	1197	427	1317	1267	1577	1075	1605	1015,5	345	255	755
02.12.14	1085	955	355	505	155,5	1335	1375	635	197	687	1217	257	1497,5	1487	177	1277	857	27	1055	1125	935,5	1535	765	605
03.12.14	1355	1355	455	335	215,5	1045	55	1395	1347	1577	177	1177	1227,5	227	157	1627	417	1017	1645	485	1145,5	1615	455	495
04.12.14	975	485	1445	1385	395,5	1345	1355	205	387	107	137	1307	377,5	1507	1247	897	927	1447	375	1635	1385,5	1015	1015	715
05.12.14	1285	835	775	1515	265,5	695	1635	1565	1077	127	1027	177	137,5	1127	557	1497	987	777	1315	775	135,5	1625	835	1385
06.12.14	575	465	565	1285	1025,5	665	455	15	1097	1017	417	1497	717,5	1647	657	1207	447	1087	615	1615	745,5	875	965	1265
07.12.14	895	1375	385	1235	1165,5	125	85	945	287	1527	1347	497	167,5	977	427	167	1577	1327	985	395	245,5	995	995	65
08.12.14	1275	25	1235	545	705,5	575	115	1155	1487	577	1257	1227	1257,5	1087	427	1427	767	1487	95	1575	995,5	1435	985	1055
09.12.14	1395	1595	1145	1155	655,5	605	965	1025	807	907	147	1067	657,5	1577	1077	447	97	1537	235	105	615,5	1395	695	535
10.12.14	295	785	1595	565	1175,5	205	1005	135	1437	1027	1527	287	1557,5	1397	1557	987	317	337	655	585	755,5	475	1015	765
11.12.14	155	835	635	105	575,5	445	1445	1135	657	1147	1587	1577	947,5	237	617	1107	77	1557	1445	15	275,5	1305	265	905
12.12.14	815	1665	1405	725	1665,5	1385	435	1195	227	737	1527	577	937,5	1107	1307	1607	157	817	1505	1565	545,5	235	325	1155
13.12.14	565	1645	745	1285	85,5	1145	1585	215	867	227	1617	1457	517,5	1017	847	507	207	787	335	595	205,5	1115	295	725

Çizelge C.1 (devam): Birinci fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
14.12.14	1075	1145	1535	95	1395,5	1425	1555	1645	197	1287	317	87	1037,5	1627	847	377	287	1367	1265	25	355,5	785	1385	1165
15.12.14	205	1425	1505	1205	1215,5	1635	145	55	537	1197	577	1147	357,5	1347	1557	1417	217	337	1425	355	1315,5	1255	185	805
16.12.14	275	1535	635	1245	325,5	1355	905	1535	1377	1427	777	1377	1157,5	467	487	497	1487	1127	915	35	1545,5	1025	885	25
17.12.14	1475	1125	425	1175	1445,5	185	1255	805	1177	1607	1317	397	1287,5	1387	337	1457	827	837	295	1245	255,5	1305	365	1075
18.12.14	1485	1275	1325	1295	1315,5	245	1115	1345	1287	797	597	947	1067,5	537	1137	517	1277	1197	35	985	55,5	1655	1035	1315
19.12.14	715	555	1375	655	1375,5	1405	1015	555	1587	867	897	647	287,5	467	187	1367	1327	1097	575	695	745,5	1405	1435	305
20.12.14	415	1635	1325	755	735,5	725	715	605	897	1457	607	597	1197,5	1287	137	1027	507	867	25	445	115,5	205	395	205
21.12.14	1605	805	605	385	235,5	585	1615	1085	407	1047	947	1457	87,5	1387	1477	1167	957	1357	955	665	595,5	1615	475	1285
22.12.14	1475	445	265	1105	295,5	685	505	1255	1277	867	977	1267	427,5	557	317	187	497	1497	835	1095	955,5	85	445	1565
23.12.14	1165	445	45	15	15,5	805	665	15	1367	437	167	347	347,5	1407	1137	437	1667	137	905	1555	965,5	885	1295	475
24.12.14	1235	1245	1325	1255	775,5	655	405	875	1177	317	557	247	1157,5	477	497	797	1167	37	215	445	715,5	735	1275	525
25.12.14	205	1545	1475	205	575,5	655	755	875	647	1617	1497	557	197,5	1377	1607	567	497	1347	585	1415	955,5	1075	135	685
26.12.14	935	175	1655	1245	915,5	65	1205	545	647	27	417	1367	1127,5	1367	417	1427	1557	1197	425	1535	1315,5	605	685	455
27.12.14	1025	475	805	95	1115,5	515	695	1175	1577	477	1607	237	617,5	1247	437	177	1407	1287	295	815	65,5	1595	1135	445
28.12.14	455	555	1205	335	315,5	1265	525	455	1647	927	47	377	1467,5	977	1017	1277	1637	1467	1605	1645	1215,5	1055	345	625
29.12.14	1615	455	1515	225	595,5	1605	25	415	1577	1087	1027	1507	1017,5	1257	447	1527	1027	1137	295	1015	575,5	835	515	35
30.12.14	1255	325	1315	145	185,5	95	355	235	1417	1607	737	1277	307,5	1657	1367	927	527	1457	715	805	745,5	1005	485	35
31.12.14	955	595	1055	1105	1125,5	1625	665	765	127	577	287	957	177,5	207	687	1437	1177	927	275	1215	895,5	885	1355	1345

Çizelge C.2 : İkinci fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01.11.14	214	104	304	254	204,5	124	354	424	346	246	86	336	346,5	96	426	86	66	416	334	424	204,5	404	364	184
02.11.14	74	224	354	224	94,5	74	284	364	66	366	416	66	296,5	86	26	356	176	196	134	374	204,5	224	374	134
03.11.14	244	434	344	384	184,5	34	344	214	386	206	346	386	106,5	416	246	246	16	156	424	244	454,5	444	294	384
04.11.14	134	244	214	194	414,5	204	4	424	86	406	236	206	36,5	116	176	366	166	16	44	424	154,5	434	54	344
05.11.14	134	124	394	404	114,5	124	214	314	296	316	316	386	36,5	86	356	416	146	296	244	324	104,5	284	244	214
06.11.14	24	324	174	194	244,5	304	174	314	316	376	16	36	316,5	106	256	286	36	346	54	334	14,5	274	164	394
07.11.14	394	264	74	34	34,5	384	84	34	146	416	126	336	426,5	336	316	366	276	106	354	294	354,5	114	354	164
08.11.14	4	424	424	424	24,5	54	74	234	176	386	296	416	356,5	216	226	336	66	226	424	54	264,5	414	414	434
09.11.14	264	244	364	404	204,5	74	154	384	86	356	326	316	96,5	66	226	286	186	276	144	34	364,5	384	24	434
10.11.14	94	244	264	424	404,5	54	44	264	156	146	296	36	86,5	156	316	436	376	296	434	244	314,5	14	274	194
11.11.14	104	434	354	114	344,5	184	84	124	436	136	416	246	386,5	406	126	46	336	226	54	424	434,5	264	104	34
12.11.14	364	104	104	34	404,5	384	54	334	326	86	356	356	296,5	426	386	316	306	226	264	244	154,5	154	314	64
13.11.14	14	64	204	214	204,5	354	254	144	406	36	336	86	296,5	176	386	406	176	206	194	354	194,5	144	204	354
14.11.14	74	34	164	334	434,5	74	144	404	166	316	66	226	296,5	286	386	26	326	106	344	134	14,5	314	104	184
15.11.14	384	124	314	274	254,5	264	234	344	86	436	246	116	46,5	426	26	56	286	186	174	134	404,5	124	394	104
16.11.14	124	134	334	224	184,5	264	214	34	146	346	166	156	416,5	16	186	336	146	346	334	254	214,5	364	284	314
17.11.14	24	124	334	104	184,5	364	334	4	296	246	66	136	206,5	36	246	136	326	86	4	224	324,5	414	384	214
18.11.14	124	214	184	384	364,5	404	424	434	326	196	86	16	176,5	66	296	66	306	126	54	154	104,5	174	274	394
19.11.14	194	154	44	134	194,5	44	294	374	86	326	286	166	146,5	366	436	326	196	396	264	314	124,5	24	14	84
20.11.14	364	414	84	294	354,5	154	284	434	316	66	376	216	166,5	26	136	386	316	426	204	404	14,5	74	284	284
21.11.14	394	384	34	144	294,5	434	344	424	436	56	246	106	366,5	286	406	216	226	296	284	44	384,5	34	434	404

Çizelge C.2 (devam): İkinci fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
22.11.14	104	204	104	34	154,5	354	34	264	116	156	86	316	196,5	176	66	266	66	126	334	344	154,5	264	294	244
23.11.14	134	54	334	404	334,5	254	154	114	266	156	116	276	136,5	66	206	156	366	166	64	124	74,5	34	394	424
24.11.14	314	264	374	254	144,5	24	134	294	396	196	136	216	206,5	136	156	26	276	176	134	114	194,5	84	64	324
25.11.14	424	334	214	154	434,5	354	164	334	126	86	416	386	436,5	246	336	356	206	86	434	64	124,5	254	124	334
26.11.14	254	354	214	184	224,5	54	284	204	396	326	366	186	206,5	26	66	126	26	46	154	14	264,5	404	54	274
27.11.14	4	424	214	104	144,5	334	154	64	406	296	436	66	226,5	316	226	26	196	106	384	174	334,5	424	304	344
28.11.14	34	144	264	174	354,5	254	54	334	306	196	286	176	46,5	36	156	416	226	76	424	424	194,5	244	214	424
29.11.14	104	434	4	64	334,5	384	374	174	156	256	216	276	386,5	206	336	176	376	246	424	424	414,5	334	424	264
30.11.14	294	124	314	404	104,5	174	74	274	226	246	366	226	316,5	76	416	436	46	186	34	424	84,5	274	44	344
01.12.14	124	34	104	384	324,5	244	84	384	36	256	16	306	406,5	236	356	346	176	226	124	294	254,5	244	294	324
02.12.14	144	104	254	404	264,5	344	214	264	406	316	176	266	226,5	246	316	56	106	366	314	354	344,5	104	294	424
03.12.14	414	184	264	314	84,5	104	344	284	316	436	46	356	296,5	336	26	246	36	186	324	364	434,5	104	194	144
04.12.14	264	334	194	264	414,5	94	384	264	386	16	336	216	226,5	76	356	346	166	436	424	494	444,5	194	424	214
05.12.14	374	104	264	264	394,5	134	174	164	276	86	416	416	416,5	346	376	66	196	376	474	214	234,5	544	414	284
06.12.14	104	414	264	244	294,5	244	94	304	416	96	176	276	296,5	126	316	46	46	456	244	474	504,5	514	14	364
07.12.14	54	104	244	224	124,5	4	244	214	106	376	186	426	86,5	316	246	276	336	476	334	454	314,5	484	134	104
08.12.14	174	144	74	224	424,5	104	334	294	226	266	236	106	206,5	246	416	316	86	366	474	244	484,5	474	164	404
09.12.14	364	204	54	234	114,5	334	104	134	306	176	316	226	56,5	196	196	56	346	436	224	404	484,5	414	64	194
10.12.14	384	214	394	244	374,5	54	234	104	116	16	426	176	196,5	396	106	176	136	506	184	344	444,5	144	424	34
11.12.14	214	94	244	84	84,5	114	364	394	296	336	246	276	46,5	366	116	66	36	346	504	184	194,5	564	244	4
12.12.14	214	54	14	294	404,5	364	124	54	66	416	116	286	26,5	156	256	296	266	516	564	494	434,5	384	44	214
13.12.14	404	124	294	184	384,5	214	34	144	296	66	26	16	246,5	226	36	156	66	546	494	414	504,5	174	344	314

Çizelge C.2 (devam): İkinci fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
14.12.14	214	214	44	104	294,5	434	304	134	206	316	186	276	26,5	36	226	36	276	536	494	284	364,5	384	384	304
15.12.14	34	424	144	74	424,5	194	54	404	166	416	346	316	166,5	156	46	436	316	366	264	524	414,5	274	34	424
16.12.14	334	394	44	54	324,5	264	44	304	356	316	266	366	136,5	66	36	136	406	376	254	424	304,5	174	174	74
17.12.14	174	4	114	364	364,5	274	384	264	366	326	36	356	426,5	186	236	276	56	326	324	534	404,5	454	104	94
18.12.14	214	194	14	54	224,5	184	344	324	16	366	386	66	176,5	226	36	166	126	226	314	534	244,5	474	204	144
19.12.14	14	374	324	264	194,5	124	24	124	146	356	126	36	296,5	296	286	326	266	176	484	384	534,5	284	34	234
20.12.14	384	414	144	14	384,5	104	374	314	66	336	296	156	286,5	16	266	106	56	456	484	314	404,5	254	244	214
21.12.14	194	214	14	124	34,5	384	364	194	226	246	56	416	226,5	336	236	336	256	476	454	404	154,5	344	144	164
22.12.14	64	174	234	154	84,5	264	194	224	136	216	366	246	16,5	226	296	166	276	416	404	194	434,5	374	424	304
23.12.14	414	54	334	174	144,5	234	134	94	176	26	56	166	146,5	36	306	426	226	416	434	464	244,5	164	144	274
24.12.14	354	434	144	144	234,5	144	134	204	316	296	386	56	226,5	236	106	416	296	46	34	354	314,5	314	144	234
25.12.14	304	104	174	274	424,5	414	294	424	236	276	266	226	156,5	26	56	286	66	246	204	334	74,5	264	104	404
26.12.14	294	364	384	54	84,5	264	354	354	136	256	306	176	146,5	396	136	276	316	276	424	104	124,5	164	304	344
27.12.14	234	54	334	74	144,5	384	264	144	246	386	156	316	376,5	106	56	56	66	146	124	354	404,5	94	314	44
28.12.14	54	364	114	204	244,5	194	184	144	206	276	136	56	406,5	366	76	66	246	406	254	104	384,5	214	174	54
29.12.14	134	224	404	274	84,5	14	164	354	146	46	276	116	436,5	86	226	356	136	16	34	244	364,5	244	264	134
30.12.14	284	394	124	4	164,5	154	184	54	106	166	356	186	416,5	336	36	46	416	246	324	244	174,5	144	134	164
31.12.14	94	354	404	174	54,5	54	184	34	246	366	296	56	26,5	86	166	366	86	146	204	354	274,5	264	184	134

Çizelge C.3 : Üçüncü fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01.11.14	153	603	1403	1303	1123,5	1303	1253	1853	1405	735	1755	505	605,5	735	1185	1185	635	1185	1303	1303	1853,5	1173	1903	1123
02.11.14	723	1253	1853	503	1753,5	153	53	603	1305	605	555	635	1905,5	1135	1255	55	105	1735	1853	1273	1623,5	1903	1753	1753
03.11.14	503	53	1273	1903	1253,5	603	623	1903	1255	555	155	55	1755,5	1285	1405	1405	635	1235	1253	1303	1253,5	1403	553	1123
04.11.14	503	153	53	723	723,5	603	1303	1253	555	735	1135	1855	155,5	1405	1405	685	1255	1755	1273	1223	1623,5	1623	53	1853
05.11.14	553	673	623	1273	1753,5	1403	1253	623	735	55	1755	505	1185,5	635	1255	55	55	1255	1273	1853	1903,5	1803	723	103
06.11.14	1403	723	723	1853	503,5	1253	1173	53	505	1405	635	635	505,5	55	685	1255	155	1755	1903	1223	1273,5	1253	503	553
07.11.14	1903	103	1403	1253	1403,5	1403	1403	603	1905	735	155	105	1305,5	1135	685	505	1905	1255	1253	1753	1353,5	1273	603	1303
08.11.14	1273	53	1753	1853	503,5	723	1123	1403	635	1755	55	1255	555,5	1755	55	1305	1755	1255	1753	1623	1903,5	1753	503	553
09.11.14	1753	1123	1853	1403	1273,5	1853	1753	623	555	735	605	55	1305,5	1905	1255	1255	1135	1285	1853	1303	1403,5	1303	53	1273
10.11.14	1173	103	53	1253	603,5	623	1903	603	1755	605	685	555	555,5	505	155	1185	1135	1255	1903	1273	1303,5	1623	673	1273
11.11.14	1403	553	1173	673	1253,5	1123	1853	1253	1305	1305	1185	505	735,5	1255	155	1255	1855	1905	1853	1273	1303,5	1273	153	673
12.11.14	553	673	1403	623	623,5	1753	623	53	1135	1905	105	1305	1405,5	1135	605	1855	505	1855	1403	1903	1753,5	1853	553	1853
13.11.14	1903	603	1753	623	623,5	1403	603	153	735	1185	1905	1285	735,5	1755	155	55	1185	1355	1623	1853	1303,5	1253	503	1253
14.11.14	1273	1403	673	553	53,5	1273	1753	1903	1405	1255	1755	1905	735,5	1305	1285	1185	1255	1255	1303	1273	1903,5	1223	673	1173
15.11.14	503	1273	603	603	103,5	1753	503	623	1305	1755	55	105	1255,5	155	1755	1285	685	1285	1223	1303	1253,5	1253	673	723
16.11.14	1303	153	1403	673	673,5	673	1753	553	1755	1855	55	1305	1305,5	1185	505	55	1305	1635	1753	1353	1173,5	1353	1173	1753
17.11.14	623	553	503	503	673,5	1753	623	1403	1285	635	1305	1405	1305,5	1755	1285	1135	685	1405	1273	1673	1303,5	1303	603	1903
18.11.14	1853	1273	1853	103	1753,5	153	153	1753	735	1755	685	1305	635,5	1855	1255	1305	635	1235	1223	1723	1353,5	1673	1173	1903
19.11.14	1403	723	1173	553	503,5	1173	103	503	555	685	1305	1755	1755,5	55	505	1255	555	1755	1803	1623	1753,5	1353	1173	603
20.11.14	1853	553	1903	1403	723,5	623	723	723	1305	605	1905	155	1755,5	735	55	1185	1285	1235	1273	1253	1273,5	1273	603	53
21.11.14	553	503	53	1403	603,5	1903	1853	603	635	555	1305	1905	1285,5	685	55	1185	1305	1235	1253	1753	1803,5	1303	1253	153

Çizelge C.3 (devam): Üçüncü fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
22.11.14	1303	623	503	103	1273,5	673	153	1403	605	1255	505	1135	55,5	1185	505	735	1255	1255	1173	1173	1253,5	1253	103	53
23.11.14	1853	153	723	1903	1253,5	1273	1173	623	1905	1285	1255	1135	555,5	1285	505	1135	635	1405	1173	1753	1753,5	1223	103	553
24.11.14	603	723	673	1403	553,5	553	623	1173	635	1185	1285	1285	1905,5	735	105	555	1255	1805	1173	1803	1753,5	1853	553	723
25.11.14	723	623	1253	1273	723,5	603	1303	503	1755	1905	155	635	1305,5	1255	105	1285	155	1405	1753	1623	1803,5	1853	1253	1853
26.11.14	623	1273	1903	1403	1273,5	603	1173	1903	735	505	1185	1905	635,5	1905	1135	555	55	1905	1303	1753	1303,5	1173	673	1303
27.11.14	53	1303	1753	1403	1253,5	1403	553	1253	1855	735	505	1305	155,5	505	1135	635	1255	1285	1803	1173	1353,5	1673	1303	603
28.11.14	1753	553	1753	1273	503,5	1173	103	1903	555	685	1405	505	1405,5	1405	555	605	735	1805	1253	1303	1173,5	1623	153	1303
29.11.14	603	623	103	623	1753,5	1903	1903	1903	1305	1855	635	635	1255,5	1305	1185	1855	55	1635	1303	1173	1303,5	1403	1853	1403
30.11.14	153	553	1123	1903	623,5	723	723	1903	1185	1185	1305	1135	55,5	55	1905	1255	155	1305	1353	1403	1253,5	1803	1273	153
01.12.14	1903	553	603	1753	103,5	503	1273	1303	1305	55	155	685	1755,5	1755	1905	685	1185	1235	1253	1903	1253,5	1803	603	1123
02.12.14	103	153	53	53	103,5	723	1173	553	605	735	555	1905	105,5	635	635	55	1855	1255	1903	1253	1223,5	1253	1253	1273
03.12.14	1753	1303	1853	1273	1853,5	723	53	1753	635	635	105	1135	1855,5	1135	735	555	105	1185	1403	1273	1303,5	1403	53	1273
04.12.14	603	623	1403	153	503,5	603	603	1853	555	1135	1755	605	555,5	1905	505	1255	1405	1735	1353	1273	1173,5	1623	103	1123
05.12.14	1853	673	623	1853	1853,5	623	1253	1273	1185	1905	1305	505	1135,5	505	635	1755	1255	1755	1753	1353	1253,5	1303	1273	1173
06.12.14	503	1753	603	103	1853,5	1303	1273	673	1855	1185	635	735	1305,5	1905	735	505	635	1305	1853	1303	1673,5	1303	1253	1123
07.12.14	503	1853	1123	1903	1123,5	1253	153	1123	1305	555	105	1135	1255,5	1755	1285	735	1855	1305	1803	1403	1253,5	1273	1273	53
08.12.14	553	1303	1173	1273	503,5	673	723	1753	1255	105	1285	1755	605,5	685	505	605	1255	1255	1753	1253	1173,5	1623	1173	553
09.12.14	1903	153	1173	1253	623,5	103	623	153	555	1305	635	1755	55,5	555	505	555	1185	1755	1303	1253	1623,5	1803	53	1123
10.12.14	1123	623	1903	723	1403,5	1303	1253	1753	685	1855	1185	1285	1755,5	105	1135	1905	685	1255	1253	1753	1673,5	1273	1123	723
11.12.14	553	153	673	153	1253,5	1123	1903	1253	505	1755	605	1905	1135,5	635	505	505	1185	1685	1753	1853	1253,5	1173	53	1853
12.12.14	1123	103	1173	623	503,5	1303	553	153	1255	1305	605	1905	735,5	505	505	1185	505	1355	1253	1353	1273,5	1903	603	1903
13.12.14	1273	553	503	1903	1753,5	723	723	603	1755	1905	55	605	1755,5	605	1255	105	1285	1635	1753	1253	1303,5	1253	1403	1303

Çizelge C.3 (devam): Üçüncü fabrika için simülasyon ile üretilmiş 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
14.12.14	553	1903	53	1173	1753,5	1303	1253	1403	1135	55	685	1305	605,5	605	605	1135	1305	1255	1903	1303	1223,5	1903	1403	1273
15.12.14	153	1253	1303	553	1903,5	1903	1273	603	55	605	605	1135	1905,5	605	1405	1755	1855	1255	1303	1253	1253,5	1673	1253	1173
16.12.14	603	53	503	103	553,5	503	623	603	555	605	555	505	1255,5	1305	505	685	1905	1255	1903	1753	1353,5	1723	1403	153
17.12.14	1273	603	503	603	153,5	153	1273	623	155	685	55	1135	505,5	1135	1255	1135	1305	1255	1753	1753	1403,5	1303	503	1903
18.12.14	673	153	603	1753	1903,5	153	603	673	155	555	735	1305	505,5	1905	1305	685	1185	1685	1273	1253	1753,5	1853	1753	1253
19.12.14	603	1753	1903	1123	1173,5	673	503	503	1285	635	1305	635	55,5	155	685	1855	1855	1735	1803	1903	1753,5	1803	1123	1303
20.12.14	603	1403	1253	673	553,5	623	1903	723	155	1135	155	635	105,5	1405	1305	1855	1135	1185	1253	1173	1303,5	1673	1753	503
21.12.14	1123	1853	1903	53	103,5	103	1303	1303	1905	605	1255	555	505,5	505	505	1905	605	1735	1273	1173	1273,5	1623	1173	603
22.12.14	623	503	503	1173	1253,5	1753	1853	1303	1285	1905	635	155	555,5	1405	555	55	635	1285	1353	1623	1303,5	1303	1273	623
23.12.14	103	553	723	153	1253,5	1853	673	103	1305	1755	1185	1305	735,5	605	1855	505	1285	1685	1753	1903	1223,5	1903	1303	503
24.12.14	553	1853	723	503	1403,5	153	1853	1903	1755	635	105	1185	685,5	1135	55	1185	1285	1305	1853	1273	1403,5	1623	1273	503
25.12.14	503	1903	1303	553	1253,5	53	1753	1853	555	735	1855	605	635,5	1285	155	1185	105	1805	1353	1753	1173,5	1903	603	603
26.12.14	1273	1173	553	1403	603,5	1253	553	603	505	635	1855	685	735,5	1905	55	1755	1255	1635	1173	1623	1753,5	1623	1753	1173
27.12.14	1853	1123	1253	673	1173,5	723	153	153	1855	1135	1305	1285	1855,5	1855	1185	735	605	1305	1723	1803	1273,5	1623	1903	673
28.12.14	1123	1273	503	603	1253,5	153	503	1903	505	155	155	735	1135,5	1855	1305	1755	1285	1855	1303	1273	1253,5	1803	673	1173
29.12.14	1903	1403	1253	1173	1903,5	53	623	1303	1755	1405	155	605	1905,5	55	105	555	1285	1755	1273	1803	1853,5	1273	503	1753
30.12.14	53	1903	1853	1173	1253,5	1273	103	203	1405	505	55	1905	735,5	735	1135	105	155	1285	1303	1753	1253,5	1173	1753	1273
31.12.14	1853	1753	1173	1903	1753,5	1403	153	673	1255	1255	1185	635	635,5	1135	1305	1905	735	1755	1753	1673	1623,5	1173	1173	153

Çizelge C.4 : Tesis genelinin 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01.11.14	1542	832	3332	1802	2774	2352	1762	2552	2758	2398	2648	1108	1660	1248	2118	1588	1718	2198	2272	2862	2454	2232	2832	2082
02.11.14	1992	2172	3202	1462	3014	392	992	2282	1818	2178	1688	2048	3710	1998	1868	468	1178	2188	2592	2852	2434	3472	2272	3212
03.11.14	1822	1332	2192	2532	2184	1472	1052	2842	2298	818	1178	818	2280	3308	3148	2928	1208	2258	2282	2792	1904	2362	962	3072
04.11.14	852	1522	1582	1372	2114	1442	2392	1892	978	1628	2798	2368	1350	1658	1688	2278	2718	1798	2422	1922	2684	3142	902	2382
05.11.14	2152	2062	1492	2132	3404	3142	2322	2032	2108	1988	2358	2538	1330	1038	1928	1668	1818	2288	2452	2682	3124	3152	2012	1012
06.11.14	1582	1262	1262	2202	2094	2332	2102	862	1588	3238	1708	1758	1030	1148	1458	2038	518	2488	2582	3122	2164	2612	2222	1712
07.11.14	2932	492	1962	2832	1644	2862	1872	1902	3218	2358	1098	948	2480	1748	1768	2208	3348	2828	1782	3092	1744	1802	1262	3092
08.11.14	2362	1012	3502	3092	1644	1372	2242	2672	1428	2958	938	2808	2160	2468	1298	2978	2448	2238	3702	2702	2314	3172	1842	2582
09.11.14	3182	1542	3662	1822	2644	3212	2122	2132	1868	2548	2068	748	1630	3398	1638	1618	1658	2018	2602	2512	2264	2432	272	3142
10.11.14	2702	1232	1252	1742	1054	2022	2522	1652	3468	1308	2068	1988	1590	798	1068	2928	1858	3168	3012	2292	1794	2642	1282	2002
11.11.14	2742	1082	1822	1632	1984	1372	2682	2992	1808	1498	2078	1678	2300	3118	1238	1678	3678	2818	2542	2232	2874	1932	1852	1822
12.11.14	1912	1162	2072	1472	1114	3482	2212	1612	2798	2728	788	2858	2870	1768	2498	3268	2158	3598	2352	3282	3194	2612	2282	3542
13.11.14	3022	1742	2042	1302	1484	1812	1332	592	2158	1378	2488	1808	1640	3078	1578	1798	2608	1738	3072	3712	2964	3012	1092	2652
14.11.14	1622	2842	2082	2302	784	2582	2642	2752	3178	2218	3308	3188	2020	2548	2278	2278	2308	2668	3052	2632	2614	2262	2132	2402
15.11.14	1872	2692	1412	2192	1454	2402	832	2432	2278	2928	568	388	2670	1028	3438	2748	1318	2058	2962	3022	2944	2632	1672	982
16.11.14	2742	822	2342	2392	984	1592	3202	1182	2088	3738	278	1728	2550	2468	918	448	2528	2148	3232	1972	1474	2592	2932	3522
17.11.14	792	1172	2502	722	1844	2242	1162	1952	1688	1358	2798	2938	2100	3318	2588	2198	1908	2318	2632	2662	2474	2672	2272	2822
18.11.14	2742	2782	2162	1322	3434	2202	2132	2532	1448	3138	1938	2188	2300	3418	2248	2198	1418	2968	2282	3072	1724	2622	2072	2362
19.11.14	1772	972	2162	982	1774	2122	942	2052	1738	2448	1888	2548	3220	1488	2318	2938	1618	2628	3162	3102	2364	1792	1372	1882
20.11.14	2462	1352	3102	2082	1574	1952	2142	1852	2988	2258	2638	1778	2070	1728	1158	2318	2548	2548	1502	3042	2904	1832	1482	372
21.11.14	2092	1312	802	2112	2284	3122	3092	2082	2358	2228	1908	2038	2690	1808	2108	2238	2508	1858	1602	2582	3464	2832	2892	1082

Çizelge C.4 (devam): Tesis genelinin 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
22.11.14	2902	882	2042	592	1644	1582	1622	2612	1578	2238	758	2888	1390	2678	1758	1138	2898	2408	2612	2702	2004	2202	1022	1032
23.11.14	2282	1562	1332	3522	3214	1872	2262	1862	2528	2088	2398	2548	1850	2578	1578	2098	1328	1928	1852	1952	2224	2882	752	2532
24.11.14	1192	1902	2062	2222	1234	2142	2152	2492	1868	2188	2018	2418	3520	1508	1118	1208	1778	2478	2362	2442	2124	2872	2132	1762
25.11.14	2682	2092	1552	1882	2634	1612	2942	1722	3368	2858	1528	2418	1770	3018	858	1808	2028	2958	2632	2342	3544	2642	2922	3422
26.11.14	1652	3032	2442	2672	2894	1282	2992	2422	2148	2148	3078	2498	2310	2828	1708	1178	1348	2438	2142	3252	1684	2802	2332	2982
27.11.14	1292	2712	2802	1992	2984	3022	1942	1672	2408	2188	2578	2448	1510	2128	2398	1598	3098	2138	2812	2812	2914	2622	2212	1222
28.11.14	2302	1292	2322	2392	1304	1442	872	3012	2178	2138	2638	1638	1940	2818	1818	1828	2188	3348	1802	3172	2534	1962	1422	1792
29.11.14	1442	2332	1192	1432	2504	3402	3522	3342	1988	2608	1568	1178	1930	2898	1808	3668	1088	3338	1912	2822	2654	2142	2962	2132
30.11.14	532	1592	1642	2882	2014	2022	1572	2362	1998	2728	1958	1418	1770	308	2758	1838	1618	2568	1672	2822	1644	3302	2902	792
01.12.14	2772	1472	862	3182	1454	962	2442	2522	2288	568	248	2308	2700	3188	2688	2348	2628	3038	2452	3802	2524	2392	1152	2202
02.12.14	1332	1212	662	962	524	2402	2762	1452	1208	1738	1948	2428	1830	2368	1128	1388	2818	1648	3272	2732	2504	2892	2312	2302
03.12.14	3522	2842	2572	1922	2154	1872	452	3432	2298	2648	328	2668	3380	1698	918	2428	558	2388	3372	2122	2884	3122	702	1912
04.12.14	1842	1442	3042	1802	1314	2042	2342	2322	1328	1258	2228	2128	1160	3488	2108	2498	2498	3618	2152	3402	3004	2832	1542	2052
05.12.14	3512	1612	1662	3632	2514	1452	3062	3002	2538	2118	2748	1098	1690	1978	1568	3318	2438	2908	3542	2342	1624	3472	2522	2842
06.12.14	1182	2632	1432	1632	3174	2212	1822	992	3368	2298	1228	2508	2320	3678	1708	1758	1128	2848	2712	3392	2924	2692	2232	2752
07.12.14	1452	3332	1752	3362	2414	1382	482	2282	1698	2458	1638	2058	1510	3048	1958	1178	3768	3108	3122	2252	1814	2752	2402	222
08.12.14	2002	1472	2482	2042	1634	1352	1172	3202	2968	948	2778	3088	2070	2018	1348	2348	2108	3108	2322	3072	2654	3532	2322	2012
09.12.14	3662	1952	2372	2642	1394	1042	1692	1312	1668	2388	1098	3048	770	2328	1778	1058	1628	3728	1762	1762	2724	3612	812	1852
10.12.14	1802	1622	3892	1532	2954	1562	2492	1992	2238	2898	3138	1748	3510	1898	2798	3068	1138	2098	2092	2682	2874	1892	2562	1522
11.12.14	922	1082	1552	342	1914	1682	3712	2782	1458	3238	2438	3758	2130	1238	1238	1678	1298	3588	3702	2052	1724	3042	562	2762
12.12.14	2152	1822	2592	1642	2574	3052	1112	1402	1548	2458	2248	2768	1700	1768	2068	3088	928	2688	3322	3412	2254	2522	972	3272
13.12.14	2242	2322	1542	3372	2224	2082	2342	962	2918	2198	1698	2078	2520	1848	2138	768	1558	2968	2582	2262	2014	2542	2042	2342

Çizelge C.4 (devam): Tesis genelinin 2 aylık saatlik elektrik tüketim verileri (kWh).

Saat Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
14.12.14	1842	3262	1632	1372	3444	3162	3112	3182	1538	1658	1188	1668	1670	2268	1678	1548	1868	3158	3662	1612	1944	3072	3172	2742
15.12.14	392	3102	2952	1832	3544	3732	1472	1062	758	2218	1528	2598	2430	2108	3008	3608	2388	1958	2992	2132	2984	3202	1472	2402
16.12.14	1212	1982	1182	1402	1204	2122	1572	2442	2288	2348	1598	2248	2550	1838	1028	1318	3798	2758	3072	2212	3204	2922	2462	252
17.12.14	2922	1732	1042	2142	1964	612	2912	1692	1698	2618	1408	1888	2220	2708	1828	2868	2188	2418	2372	3532	2064	3062	972	3072
18.12.14	2372	1622	1942	3102	3444	582	2062	2342	1458	1718	1718	2318	1750	2668	2478	1368	2588	3108	1622	2772	2054	3982	2992	2712
19.12.14	1332	2682	3602	2042	2744	2202	1542	1182	3018	1858	2328	1318	640	918	1158	3548	3448	3008	2862	2982	3034	3492	2592	1842
20.12.14	1402	3452	2722	1442	1674	1452	2992	1642	1118	2928	1058	1388	1590	2708	1708	2988	1698	2508	1762	1932	1824	2132	2392	922
21.12.14	2922	2872	2522	562	374	1072	3282	2582	2538	1898	2258	2428	820	2228	2218	3408	1818	3568	2682	2242	2024	3582	1792	2052
22.12.14	2162	1122	1002	2432	1634	2702	2552	2782	2698	2988	1978	1668	1000	2188	1168	408	1408	3198	2592	2912	2694	1762	2142	2492
23.12.14	1682	1052	1102	342	1414	2892	1472	212	2848	2218	1408	1818	1230	2048	3298	1368	3178	2238	3092	3922	2434	2952	2742	1252
24.12.14	2142	3532	2192	1902	2414	952	2392	2982	3248	1248	1048	1488	2070	1848	658	2398	2748	1388	2102	2072	2434	2672	2692	1262
25.12.14	1012	3552	2952	1032	2254	1122	2802	3152	1438	2628	3618	1388	990	2688	1818	2038	668	3398	2142	3502	2204	3242	842	1692
26.12.14	2502	1712	2592	2702	1604	1582	2112	1502	1288	918	2578	2228	2010	3668	608	3458	3128	3108	2022	3262	3194	2392	2742	1972
27.12.14	3112	1652	2392	842	2434	1622	1112	1472	3678	1998	3068	1838	2850	3208	1678	968	2078	2738	2142	2972	1744	3312	3352	1162
28.12.14	1632	2192	1822	1142	1814	1612	1212	2502	2358	1358	338	1168	3010	3198	2398	3098	3168	3728	3162	3022	2854	3072	1192	1852
29.12.14	3652	2082	3172	1672	2584	1672	812	2072	3478	2538	1458	2228	3360	1398	778	2438	2448	2908	1602	3062	2794	2352	1282	1922
30.12.14	1592	2622	3292	1322	1604	1522	642	492	2928	2278	1148	3368	1460	2728	2538	1078	1098	2988	2342	2802	2174	2322	2372	1472
31.12.14	2902	2702	2632	3182	2934	3082	1002	1472	1628	2198	1768	1648	840	1428	2158	3708	1998	2828	2232	3242	2794	2322	2712	1632

EK D

1. fabrika için GAMS kodu:

sets

```
j cihazlar /1*26/  
t saatler /1*24/;
```

```
positive variables l(j, t)  
                  buyukl(t);
```

```
binary variables y(j, t)  
                v(j, t);
```

```
variable z;
```

```
scalar buyukm /1000000000/;
```

```
parameter tao(j)
```

```
/ 1 12  
 2 10  
 3 4  
 4 4  
 5 3  
 6 3  
 7 2  
 8 2  
 9 1  
10 1  
11 1  
12 1  
13 2  
14 2  
15 2  
16 2  
17 2  
18 2  
19 2  
20 2  
21 24  
22 24  
23 1  
24 1  
25 1  
26 10 /;
```

```
parameter omega(j)
```

```
/ 1 800  
 2 500  
 3 200  
 4 200  
 5 150  
 6 150  
 7 100  
 8 100  
 9 100  
10 100  
11 20  
12 20  
13 50  
14 50  
15 50  
16 50  
17 40  
18 30
```

```

19 30
20 30
21 3
22 2
23 0.5
24 0.5
25 0.5
26 2 /;

```

```

equation amac, kisit1, kisit2, kisit4, kisit5, kisit6, kisit7, kisit8,
kisit9, kisit10, kisit11, kisit12, kisit13, kisit14, kisit15, kisit16,
kisit17, kisit19, k1, k2, k3, k4, k5, k6, k7, k8, k9, kisit20, kisit21,
kisit22, kisit23, kisit24, kisit25, kisit26, kisit27, kisit28, kisit29,
kisit30, kisit31, kisit32, kisit33, kisit34, kisit35, kisit36, kisit37,
kisit38, kisit39, kisit40, kisit41, kisit42, kisit43, kisit44, kisit45,
kisit46, kisit47, kisit48, kisit49, kisit50, kisit51, kisit52, kisit53,
kisit54, kisit55, kisit56, kisit57, kisit58, kisit59, kisit60, kisit61,
kisit62, kisit63, kisit64, kisit65, kisit66, kisit67, kisit68, kisit69,
kisit70, kisit71, kisit72, kisit73, kisit74, kisit75, kisit76, kisit77,
kisit78, kisit79, kisit80, kisit81, kisit82, kisit83, kisit84, kisit85,
kisit86, kisit87, kisit88, kisit89, kisit90, kisit91, kisit92, kisit93,
kisit94, kisit95, kisit96, kisit97, kisit98, kisit99, kisit100, kisit101,
kisit102, kisit103, kisit104, kisit105, kisit106, kisit107, kisit108,
kisit109, kisit110, kisit111, kisit112, kisit113, kisit114, kisit115,
kisit116, kisit117, kisit118, kisit119, kisit120, kisit121, kisit122,
kisit123, kisit124, kisit125, kisit126, kisit127, kisit128, kisit129,
kisit130, kisit131, kisit132, kisit133, kisit134, kisit135, kisit136,
kisit137, kisit138, kisit139, kisit140, kisit141, kisit142, kisit143,
kisit144, kisit145, kisit146, kisit147, kisit148, kisit149, kisit150,
kisit151, kisit152, kisit153, kisit154, kisit155, kisit156, kisit157,
kisit158, kisit159, kisit160;

```

```
amac.. z =e= 1;
```

```

kisit1(t).. sum(j, l(j,t)) =e= buyukl(t);
kisit2.. sum(t, buyukl(t)) =e= 18541.5;

```

```

kisit4(t).. y('21',t) =e= 1;
kisit5(t).. y('22',t) =e= 1;

```

```

kisit6.. y('23','5') =e= 1;
kisit7.. sum(t$(ord(t)<5 and ord(t)>5),y('23',t)) =e= 0;

```

```

kisit8.. y('24','13') =e= 1;
kisit9.. sum(t$(ord(t)<13 and ord(t)>13),y('24',t)) =e= 0;

```

```

kisit10.. y('25','21') =e= 1;
kisit11.. sum(t$(ord(t)<21 and ord(t)>21),y('25',t)) =e= 0;

```

```

kisit12.. sum(t$(ord(t)>8 and ord(t)<19),y('26',t)) =e= 10;
kisit13.. sum(t$(ord(t)<9 and ord(t)>18),y('26',t)) =e= 0;

```

```

kisit14(j,t).. l(j,t) =e= y(j, t) * omega(j);
kisit15(j).. sum(t, y(j,t)) =e= tao(j);

```

```

kisit16.. y('1','1') =e= 0;
kisit17.. y('2','1') =e= 0;
kisit19.. y('2','2') =e= 0;

```

```

k1.. v('2','3')+v('2','4')+v('2','5')+v('2','6')+v('2','7') =e= 4;
k2.. v('5','13')+v('5','14')+v('5','15')+v('5','16')+v('5','17') =e= 4;
k3.. v('9','16')+v('9','17')+v('9','18')+v('9','19')+v('9','20') =e= 4;
k4.. v('15','17')+v('15','18')+v('15','19')+v('15','20')+v('15','21') =e=
4;
k5.. v('19','19')+v('19','20')+v('19','21')+v('19','22')+v('19','23') =e=
4;
k6.. v('6','13')+v('6','14')+v('6','15')+v('6','16')+v('6','17') =e= 4;
k7.. v('10','16')+v('10','17')+v('10','18')+v('10','19')+v('10','20') =e=

```

```

4;
k8.. v('16','17')+v('16','18')+v('16','19')+v('16','20')+v('16','21') =e=
4;
k9.. v('20','19')+v('20','20')+v('20','21')+v('20','22')+v('20','23') =e=
4;

kisit20.. y('1','2')+y('1','3')+y('1','4')+y('1','5')+y('1','6')+y('1','7')
+y('1','8')+y('1','9')+y('1','10')+y('1','11')+y('1','12')+y('1','13') =e=
12;
kisit21.. y('3','14')+y('3','15')+y('3','16')+y('3','17') =e= 4;
kisit22.. y('7','18')+y('7','19') =e= 2;
kisit23.. y('11','20') =e= 1;
kisit24.. y('13','21')+y('13','22') =e= 2;
kisit25.. y('17','23')+y('17','24') =e= 2;
kisit26.. y('4','14')+y('4','15')+y('4','16')+y('4','17') =e= 4;
kisit27.. y('8','18')+y('8','19') =e= 2;
kisit28.. y('12','20') =e= 1;
kisit29.. y('14','21')+y('14','22') =e= 2;
kisit30.. y('18','23')+y('18','24') =e= 2;

kisit31.. 10 - sum(t $ (ord(t) > 2 and ord(t) < 13), y('2',t)) =l= buyukm *
v('2','3');
kisit32.. y('2','3') =l= buyukm * (1-v('2','3'));
kisit33.. sum(t $ (ord(t) < 13), y('5',t)) =l= buyukm * v('2','3');
kisit34.. sum(t $ (ord(t) < 13), y('6',t)) =l= buyukm * v('2','3');

kisit35.. 10 - sum(t $ (ord(t) > 3 and ord(t) < 14), y('2',t)) =l= buyukm *
v('2','4');
kisit36.. y('2','4') =l= buyukm * (1-v('2','4'));
kisit37.. sum(t $ (ord(t) < 14), y('5',t)) =l= buyukm * v('2','4');
kisit38.. sum(t $ (ord(t) < 14), y('6',t)) =l= buyukm * v('2','4');

kisit39.. 10 - sum(t $ (ord(t) > 4 and ord(t) < 15), y('2',t)) =l= buyukm *
v('2','5');
kisit40.. y('2','5') =l= buyukm * (1-v('2','5'));
kisit41.. sum(t $ (ord(t) < 15), y('5',t)) =l= buyukm * v('2','5');
kisit42.. sum(t $ (ord(t) < 15), y('6',t)) =l= buyukm * v('2','5');

kisit43.. 10 - sum(t $ (ord(t) > 5 and ord(t) < 16), y('2',t)) =l= buyukm *
v('2','6');
kisit44.. y('2','6') =l= buyukm * (1-v('2','6'));
kisit45.. sum(t $ (ord(t) < 16), y('5',t)) =l= buyukm * v('2','6');
kisit46.. sum(t $ (ord(t) < 16), y('6',t)) =l= buyukm * v('2','6');

kisit47.. 10 - sum(t $ (ord(t) > 6 and ord(t) < 17), y('2',t)) =l= buyukm *
v('2','7');
kisit48.. y('2','7') =l= buyukm * (1-v('2','7'));
kisit49.. sum(t $ (ord(t) < 17), y('5',t)) =l= buyukm * v('2','7');
kisit50.. sum(t $ (ord(t) < 17), y('6',t)) =l= buyukm * v('2','7');

kisit51.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 12 and ord(t) < 16), y('5',t)) =l= buyukm *
v('5','13');
kisit52.. y('5','13') =l= buyukm * (1-v('5','13'));
kisit53.. sum(t $ (ord(t) < 16), y('9',t)) =l= buyukm * v('5','13');

kisit54.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 13 and ord(t) < 17), y('5',t)) =l= buyukm *
v('5','14');
kisit55.. y('5','14') =l= buyukm * (1-v('5','14'));
kisit56.. sum(t $ (ord(t) < 17), y('9',t)) =l= buyukm * v('5','14');

kisit57.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 14 and ord(t) < 18), y('5',t)) =l= buyukm *
v('5','15');
kisit58.. y('5','15') =l= buyukm * (1-v('5','15'));
kisit59.. sum(t $ (ord(t) < 18), y('9',t)) =l= buyukm * v('5','15');

kisit60.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 15 and ord(t) < 19), y('5',t)) =l= buyukm *
v('5','16');

```

```

kisit61.. y('5','16') =1= buyukm * (1-v('5','16'));
kisit62.. sum(t $ (ord(t) < 19), y('9',t)) =1= buyukm * v('5','16');

kisit63.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 20), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','17');
kisit64.. y('5','17') =1= buyukm * (1-v('5','17'));
kisit65.. sum(t $ (ord(t) < 20), y('9',t)) =1= buyukm * v('5','17');

kisit66.. 1 - y('9','16') =1= buyukm * v('9','16');
kisit67.. y('9','16') =1= buyukm * (1-v('9','16'));
kisit68.. sum(t $ (ord(t) < 17), y('15',t)) =1= buyukm * v('9','16');

kisit69.. 1 - y('9','17') =1= buyukm * v('9','17');
kisit70.. y('9','17') =1= buyukm * (1-v('9','17'));
kisit71.. sum(t $ (ord(t) < 18), y('15',t)) =1= buyukm * v('9','17');

kisit72.. 1 - y('9','18') =1= buyukm * v('9','18');
kisit73.. y('9','18') =1= buyukm * (1-v('9','18'));
kisit74.. sum(t $ (ord(t) < 19), y('15',t)) =1= buyukm * v('9','18');

kisit75.. 1 - y('9','19') =1= buyukm * v('9','19');
kisit76.. y('9','19') =1= buyukm * (1-v('9','19'));
kisit77.. sum(t $ (ord(t) < 20), y('15',t)) =1= buyukm * v('9','19');

kisit78.. 1 - y('9','20') =1= buyukm * v('9','20');
kisit79.. y('9','20') =1= buyukm * (1-v('9','20'));
kisit80.. sum(t $ (ord(t) < 21), y('15',t)) =1= buyukm * v('9','20');

kisit81.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 19), y('15',t)) =1= buyukm *
v('15','17');
kisit82.. y('15','17') =1= buyukm * (1-v('15','17'));
kisit83.. sum(t $ (ord(t) < 19), y('19',t)) =1= buyukm * v('15','17');

kisit84.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 17 and ord(t) < 20), y('15',t)) =1= buyukm *
v('15','18');
kisit85.. y('15','18') =1= buyukm * (1-v('15','18'));
kisit86.. sum(t $ (ord(t) < 20), y('19',t)) =1= buyukm * v('15','18');

kisit87.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 18 and ord(t) < 21), y('15',t)) =1= buyukm *
v('15','19');
kisit88.. y('15','19') =1= buyukm * (1-v('15','19'));
kisit89.. sum(t $ (ord(t) < 21), y('19',t)) =1= buyukm * v('15','19');

kisit90.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 19 and ord(t) < 22), y('15',t)) =1= buyukm *
v('15','20');
kisit91.. y('15','20') =1= buyukm * (1-v('15','20'));
kisit92.. sum(t $ (ord(t) < 22), y('19',t)) =1= buyukm * v('15','20');

kisit93.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 23), y('15',t)) =1= buyukm *
v('15','21');
kisit94.. y('15','21') =1= buyukm * (1-v('15','21'));
kisit95.. sum(t $ (ord(t) < 23), y('19',t)) =1= buyukm * v('15','21');

kisit96.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 18 and ord(t) < 21), y('19',t)) =1= buyukm *
v('19','19');
kisit97.. y('19','19') =1= buyukm * (1-v('19','19'));

kisit98.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 19 and ord(t) < 22), y('19',t)) =1= buyukm *
v('19','20');
kisit99.. y('19','20') =1= buyukm * (1-v('19','20'));

kisit100.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 23), y('19',t)) =1= buyukm
* v('19','21');
kisit101.. y('19','21') =1= buyukm * (1-v('19','21'));

```

```

kisit102.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 21 and ord(t) < 24), y('19',t)) =l= buyukm
* v('19','22');
kisit103.. y('19','22') =l= buyukm * (1-v('19','22'));

kisit104.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 22 and ord(t) < 25), y('19',t)) =l= buyukm
* v('19','23');
kisit105.. y('19','23') =l= buyukm * (1-v('19','23'));

kisit106.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 12 and ord(t) < 16), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','13');
kisit107.. y('6','13') =l= buyukm * (1-v('6','13'));
kisit108.. sum(t $ (ord(t) < 16), y('10',t)) =l= buyukm * v('6','13');

kisit109.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 13 and ord(t) < 17), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','14');
kisit110.. y('6','14') =l= buyukm * (1-v('6','14'));
kisit111.. sum(t $ (ord(t) < 17), y('10',t)) =l= buyukm * v('6','14');

kisit112.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 14 and ord(t) < 18), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','15');
kisit113.. y('6','15') =l= buyukm * (1-v('6','15'));
kisit114.. sum(t $ (ord(t) < 18), y('10',t)) =l= buyukm * v('6','15');

kisit115.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 15 and ord(t) < 19), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','16');
kisit116.. y('6','16') =l= buyukm * (1-v('6','16'));
kisit117.. sum(t $ (ord(t) < 19), y('10',t)) =l= buyukm * v('6','16');

kisit118.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 20), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','17');
kisit119.. y('6','17') =l= buyukm * (1-v('6','17'));
kisit120.. sum(t $ (ord(t) < 20), y('10',t)) =l= buyukm * v('6','17');

kisit121.. 1 - y('10','16') =l= buyukm * v('10','16');
kisit122.. y('10','16') =l= buyukm * (1-v('10','16'));
kisit123.. sum(t $ (ord(t) < 17), y('16',t)) =l= buyukm * v('10','16');

kisit124.. 1 - y('10','17') =l= buyukm * v('10','17');
kisit125.. y('10','17') =l= buyukm * (1-v('10','17'));
kisit126.. sum(t $ (ord(t) < 18), y('16',t)) =l= buyukm * v('10','17');

kisit127.. 1 - y('10','18') =l= buyukm * v('10','18');
kisit128.. y('10','18') =l= buyukm * (1-v('10','18'));
kisit129.. sum(t $ (ord(t) < 19), y('16',t)) =l= buyukm * v('10','18');

kisit130.. 1 - y('10','19') =l= buyukm * v('10','19');
kisit131.. y('10','19') =l= buyukm * (1-v('10','19'));
kisit132.. sum(t $ (ord(t) < 20), y('16',t)) =l= buyukm * v('10','19');

kisit133.. 1 - y('10','20') =l= buyukm * v('10','20');
kisit134.. y('10','20') =l= buyukm * (1-v('10','20'));
kisit135.. sum(t $ (ord(t) < 21), y('16',t)) =l= buyukm * v('10','20');

kisit136.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 19), y('16',t)) =l= buyukm
* v('16','17');
kisit137.. y('16','17') =l= buyukm * (1-v('16','17'));
kisit138.. sum(t $ (ord(t) < 19), y('20',t)) =l= buyukm * v('16','17');

kisit139.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 17 and ord(t) < 20), y('16',t)) =l= buyukm
* v('16','18');
kisit140.. y('16','18') =l= buyukm * (1-v('16','18'));
kisit141.. sum(t $ (ord(t) < 20), y('20',t)) =l= buyukm * v('16','18');

kisit142.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 18 and ord(t) < 21), y('16',t)) =l= buyukm
* v('16','19');
kisit143.. y('16','19') =l= buyukm * (1-v('16','19'));
kisit144.. sum(t $ (ord(t) < 21), y('20',t)) =l= buyukm * v('16','19');

```

```

kisit145.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 19 and ord(t) < 22), y('16',t)) =1= buyukm
* v('16','20');
kisit146.. y('16','20') =1= buyukm * (1-v('16','20'));
kisit147.. sum(t $ (ord(t) < 22), y('20',t)) =1= buyukm * v('16','20');

kisit148.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 23), y('16',t)) =1= buyukm
* v('16','21');
kisit149.. y('16','21') =1= buyukm * (1-v('16','21'));
kisit150.. sum(t $ (ord(t) < 23), y('20',t)) =1= buyukm * v('16','21');

kisit151.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 18 and ord(t) < 21), y('20',t)) =1= buyukm
* v('20','19');
kisit152.. y('20','19') =1= buyukm * (1-v('20','19'));

kisit153.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 19 and ord(t) < 22), y('20',t)) =1= buyukm
* v('20','20');
kisit154.. y('20','20') =1= buyukm * (1-v('20','20'));

kisit155.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 23), y('20',t)) =1= buyukm
* v('20','21');
kisit156.. y('20','21') =1= buyukm * (1-v('20','21'));

kisit157.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 21 and ord(t) < 24), y('20',t)) =1= buyukm
* v('20','22');
kisit158.. y('20','22') =1= buyukm * (1-v('20','22'));

kisit159.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 22 and ord(t) < 25), y('20',t)) =1= buyukm
* v('20','23');
kisit160.. y('20','23') =1= buyukm * (1-v('20','23'));

model fabrika1 /all/;
solve fabrika1 using mip minimizing z;
display l.l, y.l;

```

2. fabrika için GAMS kodu:

```
sets
    j cihazlar /1*16/
    t saatler /1*24/;

positive variables l(j, t)
    buyukl(t);

binary variables y(j, t)
    v(j, t);

variable z;

scalar buyukm /10000000000/;

parameter tao(j)
/ 1 16
  2 14
  3 12
  4 4
  5 4
  6 6
  7 2
  8 2
  9 2
 10 1
 11 24
 12 24
 13 1
 14 1
 15 1
 16 10 /;

parameter omega(j)
/ 1 100
  2 100
  3 80
  4 20
  5 20
  6 200
  7 10
  8 10
  9 50
 10 30
 11 2.5
 12 1.5
 13 0.5
 14 0.5
 15 0.5
 16 2 /;

equation amac, kisit1, kisit2, kisit4, kisit5, kisit6, kisit7, kisit8,
kisit9, kisit10, kisit11, kisit12, kisit13, kisit14, kisit15, kisit16,
kisit17, kisit19, k1, k2, k3, k4, k5, k6, kisit20, kisit21, kisit22,
kisit23, kisit24, kisit25, kisit26, kisit27, kisit28, kisit29, kisit30,
kisit31, kisit32, kisit33, kisit34, kisit35, kisit36, kisit37, kisit38,
kisit39, kisit40, kisit41, kisit42, kisit43, kisit44, kisit45, kisit46,
kisit47, kisit48, kisit49, kisit50, kisit51, kisit52, kisit53, kisit54,
kisit55, kisit56, kisit57, kisit58, kisit59, kisit60, kisit61, kisit62,
kisit63, kisit64, kisit65, kisit66, kisit67, kisit68, kisit69, kisit70,
kisit71, kisit72, kisit73, kisit74;

amac.. z =e= 1;
```

```

kisit1(t).. sum(j, l(j,t)) =e= buyuk1(t);
kisit2.. sum(t, buyuk1(t)) =e= 5607.5;

kisit4(t).. y('11',t) =e= 1;
kisit5(t).. y('12',t) =e= 1;

kisit6.. y('13','5') =e= 1;
kisit7.. sum(t$(ord(t)<5 and ord(t)>5),y('13',t)) =e= 0;

kisit8.. y('14','13') =e= 1;
kisit9.. sum(t$(ord(t)<13 and ord(t)>13),y('14',t)) =e= 0;

kisit10.. y('15','21') =e= 1;
kisit11.. sum(t$(ord(t)<21 and ord(t)>21),y('15',t)) =e= 0;

kisit12.. sum(t$(ord(t)>8 and ord(t)<19),y('16',t)) =e= 10;
kisit13.. sum(t$(ord(t)<9 and ord(t)>18),y('16',t)) =e= 0;

kisit14(j,t).. l(j,t) =e= y(j, t) * omega(j);
kisit15(j).. sum(t, y(j,t)) =e= tao(j);

kisit16.. y('1','1') =e= 0;
kisit17.. y('2','1') =e= 0;
kisit19.. y('3','1') =e= 0;

k1.. v('2','2')+ v('2','3')+v('2','4') =e= 2;
k2.. v('5','16')+ v('5','17')+v('5','18') =e= 2;
k3.. v('8','20')+ v('8','21')+v('8','22') =e= 2;
k4.. v('3','2')+ v('3','3')+v('3','4') =e= 2;
k5.. v('6','14')+ v('6','15')+v('6','16')+v('6','17') =e= 3;
k6.. v('9','21')+ v('9','22')+v('9','23') =e= 2;

kisit20.. ('1','2')+y('1','3')+y('1','4')+y('1','5')+y('1','6')+y('1','7')+
y('1','8')+y('1','9')+y('1','10')+y('1','11')+y('1','12')+y('1','13')+y('1',
'14')+y('1','15')+y('1','16')+y('1','17') =e= 16;
kisit21.. y('4','18')+y('4','19')+y('4','20')+y('4','21') =e= 4;
kisit22.. y('7','22')+y('7','23') =e= 2;
kisit23.. y('10','24') =e= 1;

kisit24.. 14 - sum(t $ (ord(t) > 1 and ord(t) < 16), y('2',t)) =l= buyukm *
v('2','2');
kisit25.. y('2','2') =l= buyukm * (1-v('2','2'));
kisit26.. sum(t $ (ord(t) < 16), y('5',t)) =l= buyukm * v('2','2');

kisit27.. 14 - sum(t $ (ord(t) > 2 and ord(t) < 17), y('2',t)) =l= buyukm *
v('2','3');
kisit28.. y('2','3') =l= buyukm * (1-v('2','3'));
kisit29.. sum(t $ (ord(t) < 17), y('5',t)) =l= buyukm * v('2','3');

kisit30.. 14 - sum(t $ (ord(t) > 3 and ord(t) < 18), y('2',t)) =l= buyukm *
v('2','4');
kisit31.. y('2','4') =l= buyukm * (1-v('2','4'));
kisit32.. sum(t $ (ord(t) < 18), y('5',t)) =l= buyukm * v('2','4');

kisit33.. 4 - sum(t$ (ord(t) > 15 and ord(t) < 20), y('5',t)) =l= buyukm *
v('5','16');
kisit34.. y('5','16') =l= buyukm * (1-v('5','16'));
kisit35.. sum(t $ (ord(t) < 20), y('8',t)) =l= buyukm * v('5','16');

kisit36.. 4 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 21), y('5',t)) =l= buyukm *
v('5','17');
kisit37.. y('5','17') =l= buyukm * (1-v('5','17'));
kisit38.. sum(t $ (ord(t) < 21), y('8',t)) =l= buyukm * v('5','17');

kisit39.. 4 - sum(t$ (ord(t) > 17 and ord(t) < 22), y('5',t)) =l= buyukm *
v('5','18');
kisit40.. y('5','18') =l= buyukm * (1-v('5','18'));
kisit41.. sum(t $ (ord(t) < 22), y('8',t)) =l= buyukm * v('5','18');

```

```

kisit42.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 19 and ord(t) < 22), y('8',t)) =l= buyukm *
v('8','20');
kisit43.. y('8','20') =l= buyukm * (1-v('8','20'));

kisit44.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 23), y('8',t)) =l= buyukm *
v('8','21');
kisit45.. y('8','21') =l= buyukm * (1-v('8','21'));

kisit46.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 21 and ord(t) < 24), y('8',t)) =l= buyukm *
v('8','22');
kisit47.. y('8','22') =l= buyukm * (1-v('8','22'));

kisit48.. 12 - sum(t $ (ord(t) > 1 and ord(t) < 14), y('3',t)) =l= buyukm *
v('3','2');
kisit49.. y('3','3') =l= buyukm * (1-v('3','2'));
kisit50.. sum(t $ (ord(t) < 14), y('6',t)) =l= buyukm * v('3','2');

kisit51.. 12 - sum(t $ (ord(t) > 2 and ord(t) < 15), y('3',t)) =l= buyukm *
v('3','3');
kisit52.. y('3','3') =l= buyukm * (1-v('3','3'));
kisit53.. sum(t $ (ord(t) < 15), y('6',t)) =l= buyukm * v('3','3');

kisit54.. 12 - sum(t $ (ord(t) > 3 and ord(t) < 16), y('3',t)) =l= buyukm *
v('3','4');
kisit55.. y('3','4') =l= buyukm * (1-v('3','4'));
kisit56.. sum(t $ (ord(t) < 16), y('6',t)) =l= buyukm * v('3','4');

kisit57.. 6 - sum(t$ (ord(t) > 13 and ord(t) < 20), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','14');
kisit58.. y('6','14') =l= buyukm * (1-v('6','14'));
kisit59.. sum(t $ (ord(t) < 20), y('9',t)) =l= buyukm * v('6','14');

kisit60.. 6 - sum(t$ (ord(t) > 14 and ord(t) < 21), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','15');
kisit61.. y('6','15') =l= buyukm * (1-v('6','15'));
kisit62.. sum(t $ (ord(t) < 21), y('9',t)) =l= buyukm * v('6','15');

kisit63.. 6 - sum(t$ (ord(t) > 15 and ord(t) < 22), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','16');
kisit64.. y('6','16') =l= buyukm * (1-v('6','16'));
kisit65.. sum(t $ (ord(t) < 22), y('9',t)) =l= buyukm * v('6','16');

kisit66.. 6 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 23), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','17');
kisit67.. y('6','17') =l= buyukm * (1-v('6','17'));
kisit68.. sum(t $ (ord(t) < 23), y('9',t)) =l= buyukm * v('6','17');

kisit69.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 23), y('9',t)) =l= buyukm *
v('9','21');
kisit70.. y('9','21') =l= buyukm * (1-v('9','21'));

kisit71.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 21 and ord(t) < 24), y('9',t)) =l= buyukm *
v('9','22');
kisit72.. y('9','22') =l= buyukm * (1-v('9','22'));

kisit73.. 2 - sum(t$ (ord(t) > 22 and ord(t) < 25), y('9',t)) =l= buyukm *
v('9','23');
kisit74.. y('9','23') =l= buyukm * (1-v('9','23'));

model fabrika2 /all/;
solve fabrika2 using mip minimizing z;
display l.l, y.l;

```

3. fabrika için GAMS kodu:

```
sets
    j cihazlar /1*12/
    t saatler /1*24/;

positive variables l(j, t)
                  buyukl(t);

binary variables y(j, t)
                 v(j, t);

variable z;

scalar buyukm /10000000000/;

parameter tao(j)
/ 1 18
  2 18
  3 18
  4 3
  5 3
  6 3
  7 24
  8 24
  9 1
 10 1
 11 1
 12 10 /;

parameter omega(j)
/ 1 400
  2 500
  3 500
  4 40
  5 40
  6 40
  7 2
  8 1
  9 0.5
 10 0.5
 11 0.5
 12 2 /;

equation amac, kisit1, kisit2, kisit4, kisit5, kisit6, kisit7, kisit8,
kisit9, kisit10, kisit11, kisit12, kisit13, kisit14, kisit15, kisit16,
kisit17, kisit18, kisit19, kisit20, k1, k2, k3, k4, k5, k6, kisit21a,
kisit21b, kisit22, kisit23a, kisit23b, kisit24, kisit25a, kisit25b,
kisit26, kisitaraeka, kisitaraekb, kisit27a, kisit27b, kisit28a, kisit28b,
kisit29a, kisit29b, kisit30a, kisit30b, kisit31a, kisit31b, kisit32a,
kisit32b, kisit33a, kisit33b, kisit34a, kisit34b, kisit35a, kisit35b,
kisit36a, kisit36b, kisit37a, kisit37b, kisit38a, kisit38b, kisit39a,
kisit39b, kisit40a, kisit40b, kisita1, kisita2, kisita3, kisita4, kisita5,
kisita6, kisita7, kisita8, kisita9, kisita10, kisita11, kisita12, kisita13,
kisita14, kisita15, kisita16, kisita17, kisita18, kisita19, kisita20,
kisita21, kisita22, kisita23, kisita24, kisita25, kisita26, kisita27,
kisita28, kisita29, kisita30, kisita31, kisita32, kisita33, kisita34,
kisitb1, kisitb2, kisitb3, kisitb4, kisitb5, kisitb6, kisitb7, kisitb8,
kisitb9, kisitb10, kisitb11, kisitb12, kisitb13, kisitb14, kisitb15,
kisitb16, kisitb17, kisitb18, kisitb19, kisitb20, kisitb21, kisitb22,
kisitb23, kisitb24, kisitb25, kisitb26, kisitb27, kisitb28, kisitb29,
kisitb30, kisitb31, kisitb32, kisitb33, kisitb34;

amac.. z =e= 1;
```

```

kisit1(t).. sum(j, l(j,t)) =e= buyuk1(t);
kisit2.. sum(t, buyuk1(t)) =e= 25653.5;

kisit4(t).. y('7',t) =e= 1;
kisit5(t).. y('8',t) =e= 1;

kisit6.. y('9','5') =e= 1;
kisit7.. sum(t$(ord(t)<5 and ord(t)>5),y('9',t)) =e= 0;

kisit8.. y('10','13') =e= 1;
kisit9.. sum(t$(ord(t)<13 and ord(t)>13),y('10',t)) =e= 0;

kisit10.. y('11','21') =e= 1;
kisit11.. sum(t$(ord(t)<21 and ord(t)>21),y('11',t)) =e= 0;

kisit12.. sum(t$(ord(t)>8 and ord(t)<19),y('12',t)) =e= 10;
kisit13.. sum(t$(ord(t)<9 and ord(t)>18),y('12',t)) =e= 0;

kisit14(j,t).. l(j,t) =e= y(j, t) * omega(j);
kisit15(j).. sum(t, y(j,t)) =e= tao(j);

kisit16.. y('1','1') =e= 0;
kisit17.. y('2','1') =e= 0;
kisit18.. y('2','2') =e= 0;
kisit19.. y('3','1') =e= 0;
kisit20.. y('3','2') =e= 0;

k1.. v('1','2')+ v('1','3')+v('1','4') =e= 2;
k2.. v('4','8')+ v('4','9')+v('4','10')+v('4','11')+v('4','12')+v('4','13')+
v('4','14')+ v('4','15')+v('4','16')+v('4','17')+v('4','18')+v('4','19')+
v('4','20')+ v('4','21')+v('4','22') =e= 14;
k3.. v('2','3')+ v('2','4') =e= 2;
k4.. v('5','9')+v('5','10')+v('5','11')+v('5','12')+v('5','13')+v('5','14')+
v('5','15')+v('5','16')+v('5','17')+v('5','18')+v('5','19')+v('5','20')+
v('5','21')+v('5','22') =e= 13;
k5.. v('3','3')+ v('3','4') =e= 2;
k6.. v('6','9')+v('6','10')+v('6','11')+v('6','12')+v('6','13')+v('6','14')+
v('6','15')+v('6','16')+v('6','17')+ v('6','18')+v('6','19')+v('6','20')+
v('6','21')+v('6','22') =e= 13;

kisit21a.. 18 - sum(t $ (ord(t) > 1 and ord(t) < 20), y('1',t)) =l= buyukm
* v('1','2');
kisit21b.. y('1','2') =l= buyukm * (1-v('1','2'));
kisit22.. sum(t $ (ord(t) < 8), y('4',t)) =l= buyukm * v('1','2');

kisit23a.. 18 - sum(t $ (ord(t) > 2 and ord(t) < 21), y('1',t)) =l= buyukm
* v('1','3');
kisit23b.. y('1','3') =l= buyukm * (1-v('1','3'));
kisit24.. sum(t $ (ord(t) < 9), y('4',t)) =l= buyukm * v('1','3');

kisit25a.. 18 - sum(t $ (ord(t) > 3 and ord(t) < 22), y('1',t)) =l= buyukm
* v('1','4');
kisit25b.. y('1','4') =l= buyukm * (1-v('1','4'));
kisit26.. sum(t $ (ord(t) < 10), y('4',t)) =l= buyukm * v('1','4');

kisitaraeka.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 7 and ord(t) < 11), y('4',t)) =l= buyukm
* v('4','8');
kisitaraekb.. y('4','8') =l= buyukm * (1-v('4','8'));

kisit27a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 8 and ord(t) < 12), y('4',t)) =l= buyukm *
v('4','9');
kisit27b.. y('4','9') =l= buyukm * (1-v('4','9'));

kisit28a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 9 and ord(t) < 13), y('4',t)) =l= buyukm *
v('4','10');
kisit28b.. y('4','10') =l= buyukm * (1-v('4','10'));

```

```

kisit29a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 10 and ord(t) < 14), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','11');
kisit29b.. y('4','11') =1= buyukm * (1-v('4','11'));

kisit30a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 11 and ord(t) < 15), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','12');
kisit30b.. y('4','12') =1= buyukm * (1-v('4','12'));

kisit31a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 12 and ord(t) < 16), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','13');
kisit31b.. y('4','13') =1= buyukm * (1-v('4','13'));

kisit32a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 13 and ord(t) < 17), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','14');
kisit32b.. y('4','14') =1= buyukm * (1-v('4','14'));

kisit33a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 14 and ord(t) < 18), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','15');
kisit33b.. y('4','15') =1= buyukm * (1-v('4','15'));

kisit34a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 15 and ord(t) < 19), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','16');
kisit34b.. y('4','16') =1= buyukm * (1-v('4','16'));

kisit35a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 20), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','17');
kisit35b.. y('4','17') =1= buyukm * (1-v('4','17'));

kisit36a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 17 and ord(t) < 21), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','18');
kisit36b.. y('4','18') =1= buyukm * (1-v('4','18'));

kisit37a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 18 and ord(t) < 22), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','19');
kisit37b.. y('4','19') =1= buyukm * (1-v('4','19'));

kisit38a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 19 and ord(t) < 23), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','20');
kisit38b.. y('4','20') =1= buyukm * (1-v('4','20'));

kisit39a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 24), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','21');
kisit39b.. y('4','21') =1= buyukm * (1-v('4','21'));

kisit40a.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 21 and ord(t) < 25), y('4',t)) =1= buyukm *
v('4','22');
kisit40b.. y('4','22') =1= buyukm * (1-v('4','22'));

kisita1.. 18 - sum(t $ (ord(t) > 2 and ord(t) < 21), y('2',t)) =1= buyukm *
v('2','3');
kisita2.. y('2','3') =1= buyukm * (1-v('2','3'));
kisita3.. sum(t $ (ord(t) < 9), y('5',t)) =1= buyukm * v('2','3');

kisita4.. 18 - sum(t $ (ord(t) > 3 and ord(t) < 22), y('2',t)) =1= buyukm *
v('2','4');
kisita5.. y('2','4') =1= buyukm * (1-v('2','4'));
kisita6.. sum(t $ (ord(t) < 10), y('5',t)) =1= buyukm * v('2','4');

kisita7.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 8 and ord(t) < 12), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','9');
kisita8.. y('5','9') =1= buyukm * (1-v('5','9'));

kisita9.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 9 and ord(t) < 13), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','10');
kisita10.. y('5','10') =1= buyukm * (1-v('5','10'));

```

```

kisita11.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 10 and ord(t) < 14), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','11');
kisita12.. y('5','11') =1= buyukm * (1-v('5','11'));

kisita13.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 11 and ord(t) < 15), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','12');
kisita14.. y('5','12') =1= buyukm * (1-v('5','12'));

kisita15.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 12 and ord(t) < 16), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','13');
kisita16.. y('5','13') =1= buyukm * (1-v('5','13'));

kisita17.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 13 and ord(t) < 17), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','14');
kisita18.. y('5','14') =1= buyukm * (1-v('5','14'));

kisita19.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 14 and ord(t) < 18), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','15');
kisita20.. y('5','15') =1= buyukm * (1-v('5','15'));

kisita21.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 15 and ord(t) < 19), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','16');
kisita22.. y('5','16') =1= buyukm * (1-v('5','16'));

kisita23.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 20), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','17');
kisita24.. y('5','17') =1= buyukm * (1-v('5','17'));

kisita25.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 17 and ord(t) < 21), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','18');
kisita26.. y('5','18') =1= buyukm * (1-v('5','18'));

kisita27.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 18 and ord(t) < 22), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','19');
kisita28.. y('5','19') =1= buyukm * (1-v('5','19'));

kisita29.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 19 and ord(t) < 23), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','20');
kisita30.. y('5','20') =1= buyukm * (1-v('5','20'));

kisita31.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 24), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','21');
kisita32.. y('5','21') =1= buyukm * (1-v('5','21'));

kisita33.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 21 and ord(t) < 25), y('5',t)) =1= buyukm *
v('5','22');
kisita34.. y('5','22') =1= buyukm * (1-v('5','22'));

kisitb1.. 18 - sum(t $ (ord(t) > 2 and ord(t) < 21), y('3',t)) =1= buyukm *
v('3','3');
kisitb2.. y('3','3') =1= buyukm * (1-v('3','3'));
kisitb3.. sum(t $ (ord(t) < 9), y('6',t)) =1= buyukm * v('3','3');

kisitb4.. 18 - sum(t $ (ord(t) > 3 and ord(t) < 22), y('3',t)) =1= buyukm *
v('3','4');
kisitb5.. y('3','4') =1= buyukm * (1-v('3','4'));
kisitb6.. sum(t $ (ord(t) < 10), y('6',t)) =1= buyukm * v('3','4');

kisitb7.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 8 and ord(t) < 12), y('6',t)) =1= buyukm *
v('6','9');
kisitb8.. y('6','9') =1= buyukm * (1-v('6','9'));

kisitb9.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 9 and ord(t) < 13), y('6',t)) =1= buyukm *
v('6','10');
kisitb10.. y('6','10') =1= buyukm * (1-v('6','10'));

```

```

kisitb11.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 10 and ord(t) < 14), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','11');
kisitb12.. y('6','11') =l= buyukm * (1-v('6','11'));

kisitb13.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 11 and ord(t) < 15), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','12');
kisitb14.. y('6','12') =l= buyukm * (1-v('6','12'));

kisitb15.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 12 and ord(t) < 16), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','13');
kisitb16.. y('6','13') =l= buyukm * (1-v('6','13'));

kisitb17.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 13 and ord(t) < 17), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','14');
kisitb18.. y('6','14') =l= buyukm * (1-v('6','14'));

kisitb19.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 14 and ord(t) < 18), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','15');
kisitb20.. y('6','15') =l= buyukm * (1-v('6','15'));

kisitb21.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 15 and ord(t) < 19), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','16');
kisitb22.. y('6','16') =l= buyukm * (1-v('6','16'));

kisitb23.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 16 and ord(t) < 20), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','17');
kisitb24.. y('6','17') =l= buyukm * (1-v('6','17'));

kisitb25.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 17 and ord(t) < 21), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','18');
kisitb26.. y('6','18') =l= buyukm * (1-v('6','18'));

kisitb27.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 18 and ord(t) < 22), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','19');
kisitb28.. y('6','19') =l= buyukm * (1-v('6','19'));

kisitb29.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 19 and ord(t) < 23), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','20');
kisitb30.. y('6','20') =l= buyukm * (1-v('6','20'));
kisitb31.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 20 and ord(t) < 24), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','21');
kisitb32.. y('6','21') =l= buyukm * (1-v('6','21'));

kisitb33.. 3 - sum(t$ (ord(t) > 21 and ord(t) < 25), y('6',t)) =l= buyukm *
v('6','22');
kisitb34.. y('6','22') =l= buyukm * (1-v('6','22'));

model fabrika3 /all/;
solve fabrika3 using mip minimizing z;
display l.l, y.l;

```

EK E

$$j_2 = 1, j_3 = 1;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11}|\theta_{21}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,595) = -1,18635$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12}|\theta_{21}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,807) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13}|\theta_{21}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,177) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14}|\theta_{21}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,847) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1}|\theta_{21}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{21}, \theta_{31}) = -1,18635$$

$$j_2 = 1, j_3 = 2;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11}|\theta_{21}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,742) = -1,23486$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12}|\theta_{21}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,992) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13}|\theta_{21}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,342) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14}|\theta_{21}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,003) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1}|\theta_{21}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{21}, \theta_{32}) = -1,23486$$

$$j_2 = 1, j_3 = 3;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11}|\theta_{21}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,571) = -1,17843$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12}|\theta_{21}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,778) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13}|\theta_{21}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,151) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14}|\theta_{21}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,823) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1}|\theta_{21}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{21}, \theta_{33}) = -1,17843$$

$$j_2 = 1, j_3 = 4;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11}|\theta_{21}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,631) = -1,19823$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12}|\theta_{21}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,852) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13}|\theta_{21}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{21}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,217) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14} | \theta_{21} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{21} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,885) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1} | \theta_{21} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{21} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{21}, \theta_{34}) = -1,19823$$

$$j_2 = 2, j_3 = 1;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11} | \theta_{22} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,577) = -1,18041$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12} | \theta_{22} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,783) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13} | \theta_{22} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,157) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14} | \theta_{22} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,828) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1} | \theta_{22} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{22}, \theta_{31}) = -1,18041$$

$$j_2 = 2, j_3 = 2;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11} | \theta_{22} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,722) = -1,22826$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12} | \theta_{22} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,965) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13} | \theta_{22} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,319) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14} | \theta_{22} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,982) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1} | \theta_{22} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{22}, \theta_{32}) = -1,22826$$

$$j_2 = 2, j_3 = 3;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11} | \theta_{22} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,554) = -1,17282$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12} | \theta_{22} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,754) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13} | \theta_{22} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,131) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14} | \theta_{22} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,804) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1} | \theta_{22} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{22}, \theta_{33}) = -1,17282$$

$$j_2 = 2, j_3 = 4;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11} | \theta_{22} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,613) = -1,19229$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12} | \theta_{22} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{22} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,827) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13}|\theta_{22}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{22}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,196) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14}|\theta_{22}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{22}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,865) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1}|\theta_{22}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{22}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{22}, \theta_{34}) = -1,19229$$

$$j_2 = 3, j_3 = 1;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11}|\theta_{23}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,610) = -1,1913$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12}|\theta_{23}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,828) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13}|\theta_{23}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,195) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14}|\theta_{23}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,864) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1}|\theta_{23}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{23}, \theta_{31}) = -1,1913$$

$$j_2 = 3, j_3 = 2;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11}|\theta_{23}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,758) = -1,24014$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12}|\theta_{23}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-5,015) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13}|\theta_{23}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,361) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14}|\theta_{23}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,021) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1}|\theta_{23}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{23}, \theta_{32}) = -1,24014$$

$$j_2 = 3, j_3 = 3;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11}|\theta_{23}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,586) = -1,18338$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12}|\theta_{23}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,798) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13}|\theta_{23}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,168) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14}|\theta_{23}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,839) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1}|\theta_{23}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{23}, \theta_{33}) = -1,18338$$

$$j_2 = 3, j_3 = 4;$$

$$j_1 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{11}|\theta_{23}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{23}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{11})} \cdot u_1(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{1 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,646) = -1,20318$$

$$j_1 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{12} | \theta_{23} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{23} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{12})} \cdot u_1(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,873) = 0$$

$$j_1 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{13} | \theta_{23} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{23} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{13})} \cdot u_1(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-4,235) = 0$$

$$j_1 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{14} | \theta_{23} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{23} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{14})} \cdot u_1(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,33 \cdot 0,25)}{0,25} \cdot (-3,902) = 0$$

$$\sum_{j_1=1}^4 \frac{p(\theta_{1j_1} | \theta_{23} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{23} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{1j_1})} \cdot u_1(\theta_{1j_1}, \theta_{23}, \theta_{34}) = -1,20318$$

$$\mathbf{argmaks} = -1,17282 \Rightarrow \boldsymbol{\theta}_{-1} = (\theta_{22}, \theta_{33})$$

$$j_1 = 1, j_3 = 1;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{11}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,412) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{11}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,218) = -0,79886$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23}|\theta_{11}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,601) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2}|\theta_{11}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{2j_2}, \theta_{31}) = -0,79886$$

$$j_1 = 1, j_3 = 2;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{11}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,559) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{11}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,363) = -0,82633$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23}|\theta_{11}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,749) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2}|\theta_{11}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{2j_2}, \theta_{32}) = -0,82633$$

$$j_1 = 1, j_3 = 3;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{11}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,388) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{11}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,195) = -0,79449$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23}|\theta_{11}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,577) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2}|\theta_{11}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{2j_2}, \theta_{33}) = -0,79449$$

$$j_1 = 1, j_3 = 4;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{11}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,448) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{11}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,254) = -0,80567$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23}|\theta_{11}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,637) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2}|\theta_{11}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{11}, \theta_{2j_2}, \theta_{34}) = -0,80567$$

$$j_1 = 2, j_3 = 1;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{12}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{12}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,784) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{12}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{12}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,584) = -0,86816$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23} | \theta_{12} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,979) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{12} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{2j_2}, \theta_{31}) = -0,86816$$

$$j_1 = 2, j_3 = 2;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21} | \theta_{12} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,969) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22} | \theta_{12} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,766) = -0,90263$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23} | \theta_{12} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-5,166) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{12} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{2j_2}, \theta_{32}) = -0,90263$$

$$j_1 = 2, j_3 = 3;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21} | \theta_{12} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,755) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22} | \theta_{12} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,555) = -0,86267$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23} | \theta_{12} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,949) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{12} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{2j_2}, \theta_{33}) = -0,86267$$

$$j_1 = 2, j_3 = 4;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21} | \theta_{12} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,829) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22} | \theta_{12} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,628) = -0,87650$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23} | \theta_{12} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-5,024) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{12} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{12} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{12}, \theta_{2j_2}, \theta_{34}) = -0,87650$$

$$j_1 = 3, j_3 = 1;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21} | \theta_{13} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,601) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22} | \theta_{13} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,405) = -0,83426$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23} | \theta_{13} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,793) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{13} \cap \theta_{31}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{31})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{2j_2}, \theta_{31}) = -0,83426$$

$$j_1 = 3, j_3 = 2;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{13}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,766) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{13}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,567) = -0,86494$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23}|\theta_{13}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,959) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2}|\theta_{13}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{2j_2}, \theta_{32}) = -0,86494$$

$$j_1 = 3, j_3 = 3;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{13}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,575) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{13}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,379) = -0,82934$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23}|\theta_{13}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,766) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2}|\theta_{13}\cap\theta_{33}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{33})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{2j_2}, \theta_{33}) = -0,82934$$

$$j_1 = 3, j_3 = 4;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{13}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,641) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{13}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,444) = -0,84165$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23}|\theta_{13}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,833) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2}|\theta_{13}\cap\theta_{34}) \cdot p(\theta_{13}\cap\theta_{34})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{13}, \theta_{2j_2}, \theta_{31}) = -0,84165$$

$$j_1 = 4, j_3 = 1;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{14}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{14}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,497) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{14}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{14}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,302) = -0,81476$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23}|\theta_{14}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{14}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,688) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2}|\theta_{14}\cap\theta_{31}) \cdot p(\theta_{14}\cap\theta_{31})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{2j_2}, \theta_{31}) = -0,81476$$

$$j_1 = 4, j_3 = 2;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21}|\theta_{14}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{14}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,653) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22}|\theta_{14}\cap\theta_{32}) \cdot p(\theta_{14}\cap\theta_{32})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,456) = -0,84392$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23} | \theta_{14} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,845) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{14} \cap \theta_{32}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{32})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{2j_2}, \theta_{32}) = -0,84392$$

$$j_1 = 4, j_3 = 3;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21} | \theta_{14} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,473) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22} | \theta_{14} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,278) = -0,81021$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23} | \theta_{14} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,663) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{14} \cap \theta_{33}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{33})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{2j_2}, \theta_{33}) = -0,81021$$

$$j_1 = 4, j_3 = 4;$$

$$j_2 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{21} | \theta_{14} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{21})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,535) = 0$$

$$j_2 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{22} | \theta_{14} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{22})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,339) = -0,82176$$

$$j_2 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{23} | \theta_{14} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{23})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,25)}{0,33} \cdot (-4,726) = 0$$

$$\sum_{j_2=1}^3 \frac{p(\theta_{2j_2} | \theta_{14} \cap \theta_{34}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{34})}{p(\theta_{2j_2})} \cdot u_2(\theta_{14}, \theta_{2j_2}, \theta_{34}) = -0,82176$$

$$\mathbf{argmaks} = -0,79449 \Rightarrow \boldsymbol{\theta}_{-2} = (\theta_{11}, \theta_{33})$$

$$\begin{aligned} j_3 = 1 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{31}|\theta_{11}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{31})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,745) = 0 \\ j_3 = 2 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{32}|\theta_{11}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{32})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,285) = 0 \\ j_3 = 3 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{33}|\theta_{11}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{33})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,662) = -1,53846 \\ j_3 = 4 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{34}|\theta_{11}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,872) = 0 \\ & \sum_{j_3=1}^4 \frac{p(\theta_{3j_3}|\theta_{11}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{21}, \theta_{3j_3}) = -1,53846 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} j_3 = 1 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{31}|\theta_{11}\cap\theta_{22}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{22})}{p(\theta_{31})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,727) = 0 \\ j_3 = 2 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{32}|\theta_{11}\cap\theta_{22}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{22})}{p(\theta_{32})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,265) = 0 \\ j_3 = 3 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{33}|\theta_{11}\cap\theta_{22}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{22})}{p(\theta_{33})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,645) = -1,53285 \\ j_3 = 4 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{34}|\theta_{11}\cap\theta_{22}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{22})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,854) = 0 \\ \sum_{j_3=1}^4 & \frac{p(\theta_{3j_3}|\theta_{11}\cap\theta_{22}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{22})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{3j_3}) = \mathbf{-1,53285} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} j_3 = 1 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{31}|\theta_{11}\cap\theta_{23}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{23})}{p(\theta_{31})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,760) = 0 \\ j_3 = 2 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{32}|\theta_{11}\cap\theta_{23}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{23})}{p(\theta_{32})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,301) = 0 \\ j_3 = 3 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{33}|\theta_{11}\cap\theta_{23}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{23})}{p(\theta_{33})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,677) = -1,54341 \\ j_3 = 4 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{34}|\theta_{11}\cap\theta_{23}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{23})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,887) = 0 \\ & \sum_{j_3=1}^4 \frac{p(\theta_{3j_3}|\theta_{11}\cap\theta_{23}) \cdot p(\theta_{11}\cap\theta_{23})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{11}, \theta_{23}, \theta_{3j_3}) = -1,54341 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 j_3 = 1 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{31}|\theta_{12}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{12}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{31})} \cdot u_3(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,117) = 0 \\
 j_3 = 2 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{32}|\theta_{12}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{12}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{32})} \cdot u_3(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,695) = 0 \\
 j_3 = 3 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{33}|\theta_{12}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{12}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{33})} \cdot u_3(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,029) = -1,65957 \\
 j_3 = 4 \text{ ise, } & \frac{p(\theta_{34}|\theta_{12}\cap\theta_{21}) \cdot p(\theta_{12}\cap\theta_{21})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{12}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,253) = 0
 \end{aligned}$$

$$j_3 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{34} | \theta_{13} \cap \theta_{22}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{22})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,044) = 0$$

$$\sum_{j_3=1}^4 \frac{p(\theta_{3j_3} | \theta_{13} \cap \theta_{22}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{22})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{13}, \theta_{22}, \theta_{3j_3}) = -1,59357$$

$$j_1 = 3, j_2 = 3;$$

$$j_3 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{31} | \theta_{13} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{31})} \cdot u_3(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,952) = 0$$

$$j_3 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{32} | \theta_{13} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{32})} \cdot u_3(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,511) = 0$$

$$j_3 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{33} | \theta_{13} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{33})} \cdot u_3(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,866) = -1,60578$$

$$j_3 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{34} | \theta_{13} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,083) = 0$$

$$\sum_{j_3=1}^4 \frac{p(\theta_{3j_3} | \theta_{13} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{13} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{13}, \theta_{23}, \theta_{3j_3}) = -1,60578$$

$$j_1 = 4, j_2 = 1;$$

$$j_3 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{31} | \theta_{14} \cap \theta_{21}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{21})}{p(\theta_{31})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,830) = 0$$

$$j_3 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{32} | \theta_{14} \cap \theta_{21}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{21})}{p(\theta_{32})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,379) = 0$$

$$j_3 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{33} | \theta_{14} \cap \theta_{21}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{21})}{p(\theta_{33})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,747) = -1,56651$$

$$j_3 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{34} | \theta_{14} \cap \theta_{21}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{21})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,959) = 0$$

$$\sum_{j_3=1}^4 \frac{p(\theta_{3j_3} | \theta_{14} \cap \theta_{21}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{21})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{21}, \theta_{3j_3}) = -1,56651$$

$$j_1 = 4, j_2 = 2;$$

$$j_3 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{31} | \theta_{14} \cap \theta_{22}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{22})}{p(\theta_{31})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,811) = 0$$

$$j_3 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{32} | \theta_{14} \cap \theta_{22}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{22})}{p(\theta_{32})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,358) = 0$$

$$j_3 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{33} | \theta_{14} \cap \theta_{22}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{22})}{p(\theta_{33})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,728) = -1,56024$$

$$j_3 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{34} | \theta_{14} \cap \theta_{22}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{22})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,939) = 0$$

$$\sum_{j_3=1}^4 \frac{p(\theta_{3j_3} | \theta_{14} \cap \theta_{22}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{22})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{22}, \theta_{3j_3}) = -1,56024$$

$$j_1 = 4, j_2 = 3;$$

$$j_3 = 1 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{31} | \theta_{14} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{31})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{31}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,847) = 0$$

$$j_3 = 2 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{32} | \theta_{14} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{32})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{32}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-5,397) = 0$$

$$j_3 = 3 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{33} | \theta_{14} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{33})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{33}) = \frac{1 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,763) = -1,57179$$

$$j_3 = 4 \text{ ise, } \frac{p(\theta_{34} | \theta_{14} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{34})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{34}) = \frac{0 \cdot (0,25 \cdot 0,33)}{0,25} \cdot (-4,976) = 0$$

$$\sum_{j_3=1}^4 \frac{p(\theta_{3j_3} | \theta_{14} \cap \theta_{23}) \cdot p(\theta_{14} \cap \theta_{23})}{p(\theta_{3j_3})} \cdot u_3(\theta_{14}, \theta_{23}, \theta_{3j_3}) = -1,57179$$

$$\mathbf{arg maks} = -1,53285 \Rightarrow \boldsymbol{\theta}_{-3} = (\theta_{11}, \theta_{22})$$

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Zeynep Bektaş

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara, 23.10.1989

E-Posta: bektasz@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- Araştırma Görevlisi - İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü (Şubat 2014 - ...)