

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HASTANELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN  
BİRLEŞİK ISI, GÜÇ, SOĞUTMA (BIGS) SİSTEMLERİNİN  
OPTİMUM KURULUM VE DEĞERLENDİRME  
PARAMETRELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**DOĞA CAN BAYRAM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
EYLÜL, 2012  
ANKARA**

**HASTANELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN  
BİRLEŞİK ISI, GÜÇ, SOĞUTMA (BIGS) SİSTEMLERİNİN  
OPTİMUM KURULUM VE DEĞERLENDİRME  
PARAMETRELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT AND EVALUATION OF OPTIMUM  
INSTALLATION PARAMETERS OF COMBINED HEAT,  
POWER, COOLING (CHPC) SYSTEMS FOR ENERGY  
EFFICIENCY IN HOSPITALS**

**DOĞA CAN BAYRAM**

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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından **ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....  
Prof. Dr. Tahir Yavuz

Üye (İkinci Danışman) :.....  
Prof. Dr. Birol Kılış

Üye (Danışman) :.....  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa Doğan

ONAY

Bu tez 24/08/2012 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri  
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../09/2012

Prof.Dr. Emin AKATA  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEŐEKKÜR**

Bu tez çalıőmasının yapılmasında değerli görüşlerine ve engin bilgilerine başvurduğum, değerlendirmeleri ile yardım ve destek veren, tez çalıőmasının her aşamasında yol gösterici olan saygıdeğer hocalarım ve danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. Mustafa Doğan'a ve Prof. Dr. Birol Kılış'a; tez çalışmasında değerli görüş ve düşüncelerini belirten, hataların düzeltilmesinde yardımcı olan sayın hocam Prof. Dr. Tahir Yavuz'a, rahat bir çalışma ortamı ile beraber imkânların kullanılmasına olanak sağlayan Prof. Dr. Emin Akata'ya teőekkürlerimi sunarım.

Maddi manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, her zaman yanımda olan, en değerli varlığım aileme sonsuz teőekkürler.

## ÖZ

### HASTANELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN BİRLEŞİK ISI, GÜÇ, SOĞUTMA (BIGS) SİSTEMLERİNİN OPTİMUM KURULUM VE DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Doğa Can Bayram

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı

Dünyada ve ülkemizde enerji verimliliği çalışmaları giderek artmaktadır. Enerji verimliliği çalışmalarında Birleşik Isı Güç ve Soğutma (BIGS) uygulamaları hem enerji hem de ekserji verimini arttırmak için en çok tercih edilen sistemlerden biridir. BIGS sistemlerinin en iyi uygulandığı tesislerin başında sürekli elektrik, ısı, buhar ve soğutma ihtiyacı olmasından dolayı hastaneler gelmektedir. Yeni kurulan ve mevcut hastanelerde enerji tasarrufu amacı ile projeler geliştirilmektedir.

Enerji tasarrufunda en yüksek oranın yakalanabilmesi, en uygun sistem seçimi yapılabilmesi için sistem özel olarak tasarlanmalıdır. Önerilen sistem ekonomik, çevresel ve yüksek performanslı bina kavramı çerçevesinde iyileştirilmelidir. Ayrıca, tasarımda uyulacak temel kısıtlar ve hesaplama yöntemleri araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında çözümlene tekniklerinin doğruluğundan ödün vermemek için amaca uygun ve yeterli veri havuzunun oluşabilmesini teminen yıllık ve saatlik esasta veriler alınmıştır. Verilerin ve hesaplar neticesi ortaya çıkan tasarımın ekonomik değerlendirmesinde gerekli olan ve 2012 yılından başlayan on yıllık zaman dilimi kapsayan yerel doğal gaz ve elektrik enerjisi fiyat kestirimleri yapılmıştır. Bu kestirimler yardımıyla toplam tasarruf ve yatırımın geri dönüş süresi hesaplanarak, önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Geri dönüş süresi sonuçları  $\pm\%6$ 'lık bir band içerisinde farklılık göstermiştir. Bu farklılığın etkin süreçlerin belirsizliğinden ötürü doğal olarak ortaya çıktığı öngörülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Üçlü Üretim, Enerji Verimliliği, Birleşik Isı, Güç ve Soğutma, Kestirim

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Mustafa Doğan, Doğu Üniversitesi, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü.

**Yrd. Danışman:** Prof. Dr. Birol Kılış, Başkent Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.

## ABSTRACT

### DEVELOPMENT AND EVALUATION OF OPTIMUM INSTALLATION PARAMETERS OF COMBINED HEAT, POWER, COOLING (CHPC) SYSTEMS FOR ENERGY EFFICIENCY IN HOSPITALS

Doğa Can Bayram

Başkent University, Institute of Science and Engineering  
Department of Energy Engineering

Research on exergy based efficiency analysis is gradually increasing both in Turkey and in the world. Combined Heating, Cooling and Power (CHCP) applications are preferred, which increase both first-law and second-law (exergy) efficiencies. Hospitals are among the best practices for CHCP systems, since they have almost constant electricity, heat, steam and cooling demands.

Such systems need to be custom designed for optimal energy savings, pay-back period, minimum emissions and maximum human comfort, indoor air and environment quality. The proposed system should be optimized with the framework of economy, environment-friendliness, and high performance building requirements. In this research, fundamental constraints and calculation methods were recognized for typical optimal design cases.

Data sets on an annual, monthly and hourly basis are processed for high accuracy of implemented analysis methods. For economic evaluation, estimations of natural gas and electricity prices that cover the next ten years were carried out. Total savings and pay-back period of investment were computed with the help of these predictions, which were also compared with the previous studies. Different results regarding the pay-back period remained in  $\pm 6\%$  band comparatively. It has been concluded that uncertainty in such applications is acceptable.

**Keywords:** Tri-generation, Energy efficiency, Combined Heating, Cooling and Power, Energy and power price predictions

**Advisor:** Assist. Prof. Mustafa Doğan, Doğuş University, The Department of Control and Automation Engineering.

**Co-Advisor:** Prof. Dr. Birol Kılış, Başkent University, The Department of Mechanical Engineering.

## İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ VE TEORİ .....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. TEMEL TANIM VE AÇIKLAMALAR .....	4
3.1. Ana Tanımlar .....	4
3.2. Diğer Tanımlar .....	8
3.3. Birlikte Üretimin Belirlenmesi .....	11
4. BİRLEŞİK ISI VE GÜÇ ÜRETİMİNE İLİŞKİN YÖNERGE VE KILAVUZLAR.....	12
4.1. Birlikte Üretilen Elektrik Enerjisinin Hesabı .....	12
4.2. Birleşik Isı Ve Güç Veriminin Belirlenmesi .....	13
4.2.1. Yüksek-verimli birlikte üretim .....	13
4.2.2. Birincil enerji tasarruf yüzdesi .....	14
5. AKILCI EKSERJİ VERİMİ .....	14
5.1. Akılcı Ekserji Verimi Tarifi .....	15
5.2. Çevresel Değerlendirme .....	15
6. HASTANELERDE ÜÇLÜ ÜRETİM SİSTEMİ MEKANİK OPTİMİZASYONU .....	16
6.1. Meteorolojik Veriler .....	17
6.2. Binanın Isıtma-Soğutma, Sıcak Su Ve Elektrik Yükleri Saatlik Verileri Önemi .....	17
6.3. Optimum Mekanik Sistem Tasarımı .....	19
6.4. Optimum Kapasite Tayini.....	21
7. FİYAT KESTİRİMLERİ VE GERİ DÖNÜŞ KARŞILAŞTIRMALARI .....	24
7.1. Doğrusal Kestirim.....	26
7.1.1. Geçmiş yılların doğrusal kestirimi .....	27

7.2.	Çok-Adımlı Kestirim .....	28
7.2.1.	Geçmiş yılların çok-adımlı kestirimi.....	29
7.3.	Kestirim Seçimi .....	30
7.4.	İleriye Yönelik Verilerin Tahmini.....	31
7.5.	Kestirim Programı Algoritması .....	34
7.6.	Hastanelerde Üçlü Üretim Sisteminin Ön Fizibilitesi .....	35
7.7.	Big 1 Sistemi İçin Geri Dönüş Hesabı.....	36
7.8.	Big 2 Sistemi İçin Geri Dönüş Hesabı.....	37
7.9.	Big 3 Sistemi İçin Geri Dönüş Hesabı.....	38
7.10.	Kısa Geri Dönüş Hesabı .....	39
8.	SONUÇ.....	42
	KAYNAKLAR LİSTESİ .....	43
	ÖZGEÇMİŞ .....	45
EK-1	MATLAB Kestirim Programı Çıktıları.....	46
EK-2	BIG 1,2 ve 3 İçin Doğrusal Kestirim Uygulanmış Geri Dönüş Hesap Tabloları .....	48



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Mevcut Sistem .....	3
Şekil 2.2. Seçilen Sistem .....	3
Şekil 3.1. Çoklu Birlikte Üretim .....	5
Şekil 3.2. Üçlü Birlikte Üretim .....	6
Şekil 3.3. Isı Öncelikli Birlikte Üretim Çevrimi .....	7
Şekil 3.4. Tüketiciye Sadece Elektrik Gücü Sağlayan Kombine Çeviri..... Güç Santrali.....	8
Şekil 3.5. Tüketiciye Elektrik Gücü İle Birlikte, Faydalı Isı Sağlayan .....	
Kombine Santral .....	9
Şekil 5.1. Termik santralden Elektrik Enerjisi Alan ve Doğal Gazla Isıtılan Bina ..	15
Şekil 6.1. Ankara İçin Meteorolojik Veriler .....	17
Şekil 6.2. Ankara İçin Soğutma Derece-Saat Verileri (Yaz) .....	18
Şekil 6.3. Ankara İçin Soğutma Derece-Saat Verileri (Yaz) .....	18
Şekil 6.4. Ankara İçin Isıtma Derece-Saat Verileri (Kış) .....	18
Şekil 6.5. Ankara İçin Isıtma Derece-Saat Verileri (Kış) .....	19
Şekil 6.6. Tipik buhar üretim oranı .....	19
Şekil 6.7. Öngörülen Yaz İşletme Rejimi Örneği .....	24
Şekil 7.1. 2000-2011 Elektrik Fiyat Değişim Grafiği .....	25
Şekil 7.2. 2000-2011 Doğal gaz Fiyat Değişim Grafiği .....	26
Şekil 7.3. Elektrik Fiyat Değişimi Doğrusal Kestirimi .....	27
Şekil 7.4. Doğal Gaz Fiyat Değişimi Doğrusal Kestirimi .....	28
Şekil 7.5. Elektrik Fiyat Değişimi Çok-Adımlı Kestirimi .....	29
Şekil 7.6. Doğal Gaz Fiyat Değişimi Çok-Adımlı Kestirimi .....	30
Şekil 7.7. Kestirim Sonuçlarının Kıyaslaması .....	31
Şekil 7.8. Geçmiş 12 Yıl Elektrik / Doğal Gaz oranı .....	32
Şekil 7.9. Geçmiş 12 Yıl Ve Gelecek 10 Yılın Elektrik Tahmini .....	32
Şekil 7.10. Geçmiş 12 Yıl Ve Gelecek 10 Yılın Doğal Gaz Tahmini .....	33
Şekil 7.11. Gelecek 10 Yıl Elektrik / Doğal Gaz Tahmini .....	33
Şekil 7.12. Kestirim Programı Algoritması .....	34

Şekil 7.13. Gelecek 10 Yıllık Elektrik Puant, Gece ve Gündüz Kestirimleri .....	35
Şekil 7.14. BIG 1 Geri Dönüş Hesabı .....	36
Şekil 7.15. Doğrusal Kestirim Uygulanmış BIG 2 Geri Dönüş Hesabı .....	36
Şekil 7.16. BIG 3 Geri Dönüş Hesabı .....	37
Şekil 7.17. Doğrusal Kestirim Uygulanmış BIG 1 Geri Dönüş Hesabı .....	37
Şekil 7.18. BIG 2 Geri Dönüş Hesabı .....	38
Şekil 7.19. Doğrusal Kestirim Uygulanmış BIG 3 Geri Dönüş Hesabı .....	38

## ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Veri Yokluğunda Kullanılacak Bazı C(Güç-Isı Oranı) Değerleri .....	13
Çizelge 4.2. Referans Verimlere Örnek .....	14
Çizelge 6.1. Sankey Diyagramındaki Oranlara Bağlı Kalarak Yapılan Hesaplamalar .....	20
Çizelge 6.2. Malatya Turgut Özal Tıp Merkezi Elektrik Sayaçlarından Okunan Veriler .....	23
Çizelge 7.1. Geçmiş 10 Yıllık Elektrik Verileri (kW) .....	24
Çizelge 7.2. Geçmiş 10 Yıllık Doğal Gaz Verileri (m <sup>3</sup> ) .....	25
Çizelge 7.3. Gelecek 10 Yıllık Elektrik Puant, Gece ve Gündüz Kestirimleri .....	35

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$C$	Güç-ısı oranı
$C_i$	Birim tüketici toplam faydalı ısı ve güç talebinin ( $P_i$ ) karşılamaında yakılan yakıtın saldığı $CO_2$ miktarı, $kg CO_2/kW$
$CHPH\eta$	Birlikte faydalı ısı üretim verimi
$CHPE\eta$	Birlikte güç üretim verimi
$CO_2$	Birincil Karbondioksit salımı, $kg CO_2$ (veya $Gton CO_2/yıl$ )
$\Delta CO_2$	Ekserji verimsizliğine bağlı (önlenebilir; ikincil) Karbondioksit salımı, $kg CO_2$ (veya $Gton CO_2/yıl$ )
$\Sigma CO_2$	Toplam Karbondioksit salımı, $kg CO_2$ (veya $Gton CO_2/yıl$ )
$E$	Etkinlik katsayısı
$EF$	Ekserji faktörü
$H$	Bölge enerji sisteminin pikleme santrali ve/veya ısıtma, soğutma, havalandırma cihazlarını büyük seçerek jeotermal sahadan (veya başka bir enerji kaynağından) daha fazla faydalı ısı alabilme durumundaki yıllık bölge ısıtma kapasitesi $kW\cdot h$ .
$H_{CHP}$	Birlikte üretilen faydalı ısı, $kW\cdot h$
$E_{CHP}$	Birlikte üretilen elektrik (mekanik güç) enerjisi (Birlikte üretim kapsamı dışında kalan miktar hariç), $kW\cdot h$
$K$	Tesis ve tüketici alanları arasında faydalı ısıyı taşıyan akışkan ekserjisine bağlı matematiksel üs
$L$	Faydalı ısının kapalı bir devrede dolaşan akışkan ile taşınabileceği en uzak tüketici alanı mesafesi, $km$
$RefH\eta$	Birlikte faydalı ısı üretimi referans değeri
$RefE\eta$	Birlikte güç üretimi referans değeri
$P_i$	Birlikte üretimin karşıladığı birim enerji talebi, $kW\cdot h$
$PES$	Birinci Yasaya göre birincil enerji tasarrufu, %
$PES_{RCHP}$	Birinci ve ikinci yasalara göre toplam birincil enerji tasarrufu, %
$Q_Y$	Yakıt girdisine eşdeğer enerji miktarı (ortalama alt ısıl değere göre), $kW\cdot h$
$Q_I$	Tüketicinin ısı ve güç talebini karşılayan enerji kaynağının toplam ısısı (Birinci yasaya göre), $kW\cdot h$
$Q_{II}$	Tüketicinin ısı ve güç talebini karşılayan enerji kaynağının

$T_a$	tasarım şartlarındaki ideal ekserjisi (İkinci Yasaya göre), kW·h Tasarım konfor sıcaklığı, $K$
$T_{appi}$	(i) uygulamasına giren faydalı ısı sıcaklığı (uygulama sıcaklığı), $K$
$T_E$	Birlikte güç üretimini terk eden işletme akışkanının sıcaklığı, $K$
$T_{ref}$	Çevrenin referans (denge) sıcaklığı, $K$
$T_f$	Yakıtın yanma (alev) sıcaklığı veya mekanik enerjinin ekserji eşdeğeri sanal yanma sıcaklığı, $K$
$YD$	Enerji kaynağından yararlanma düzeyi
$H$	Birinci Yasa verimi
$\eta_i$	Her hangi bir (i) uygulamasının verimi
$\eta_{CHP}$	BIG (CHP) sisteminin verimi
$\eta_T$	Merkezi santraldeki ilk enerji dönüşümünden sonra, tüketiciye kadar olan çevrim, iletim, dağıtım ve koşullandırma (transformatör gibi) aşamalarını kapsayan toplam verim
$\varepsilon_{app}$	(i) uygulamasının birim yükünü gerçekleştirebilecek en düşük ekserji
$\varepsilon_{max}$	(i) uygulamasının birim yükü için harcanan ve bir kısmı yok edilen ekserji
$\psi_{Ri}$	(i) uygulamasına ilişkin Akılcı Ekserji verimi
$\psi_{RCHP}$	BIG sisteminin Akılcı Ekserji verimi
$i$	Tüketici alanındaki her hangi bir uygulamanın indisi
$j$	Santralin indisi

## 1. GİRİŞ VE TEORİ

Birlikte Üretim Sistemleri (Cogeneration Systems), enerji ve ekserji ekonomisi yanında çevreye olan olumlu katkıları nedeni ile araştırmadan uygulamaya kadar uzanan geniş bir yelpaze içerisinde Ülkemizin de ilgisini çekmeye başlamıştır. Nitekim Ülkemiz Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı içerisinde önemli bir projeye katılmaktadır. Sanayi ağırlıklı uygulamalar, konut ve hizmet binaları gibi diğer sektörler açılmaya başlamıştır. Birlikte üretim sistemlerinin, birincil enerji tasarrufları; uygulama türü ve yeri, yıllık kullanım süresi, kapasite ve arz talep dengeleri gibi değişik faktörlere bağlı olarak, ortalama %10 ile %50 arasında değişmektedir.

Birleşik Isı ve Güç Sistemleri (Combined heat and power: CHP), mekanik/elektrik güç yanında sadece faydalı ısıyı kapsayan birlikte üretimdir [1, 2]. Birlikte üretim sistemlerinin önemli avantajlarının olması, değişik uygulama alanlarına ve sektörler hitap etmesi ve değişik sistem ve tipleri kapsamaması, ilk bakışta tanım, tarif ve analiz yöntemlerinin karmaşıklığını haklı gösterebilir [2, 3].

Birlikte üretimin beş koşulu vardır. Bunlar;

1. Birlikte üretim, faydalı ısıyı ve mekanik/elektrik gücü eş zamanlı olarak aynı yakıt girdisinden üretmelidir[4, 5 ,6]. Başka bir anlatımla, aynı yakıt girdisinden güç yanı sıra, en az bir başka tür faydalı ısıya dayalı enerji, aynı zamanda üretilmelidir.
2. Birlikte üretim, faydalı ısıyı, mekanik ve/veya elektrik gücü, sürdürülebilir bir biçimde, ölçerek, kendi dışındaki tüketicilere, birlikte sağlamalıdır [7].
3. Birlikte üretilen enerji faydalı enerji olmalıdır. Directive 2004/8/EC yönergesine göre faydalı ısı, tüketicinin gerçek ısıtma soğutma veya benzer taleplerini ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde karşılayan ısıdır [8, 9].
4. Birlikte üretim verimli olmalıdır. Birlikte üretim veriminin alt sınırları 2004/8/EC Yönergesine uygun olmalıdır. Bu verim, birlikte üretilen güç ve enerjinin birbirinden bağımsız tesis ve ünitelerde ayrı üretilmesi durumunda elde edilecek verimler toplamından yüksek olmalıdır [8, 10].
5. Birlikte üretim, verimli olma koşulunun bir gereği olarak sürdürülebilir bir biçimde enerji ve yakıt tasarrufu sağlamalı, çevreye olan zararlı salımları azaltmalıdır [7, 9, 11].

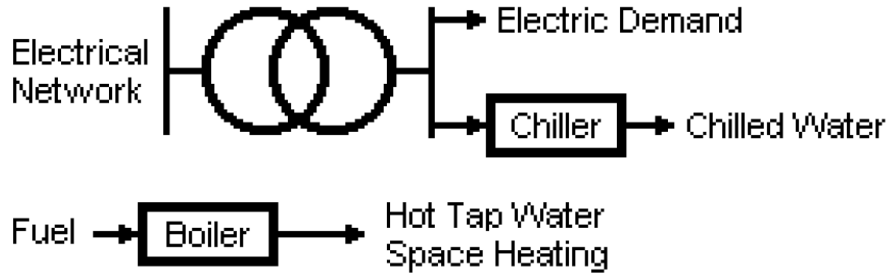
Bu koşullar çerçevesinde Ülkemizdeki birçok mevcut uygulamanın ve kombine güç santrallerinde üretilen elektrik gücünün birlikte üretim kapsamında olup olmadığı gibi sorular akla hemen gelmektedir [12, 13, 14].

Bu tez çalışmasında mevcut hastanelerde enerji verimliliği açısından Birleşik Isı Güç Soğutma Sistemleri kurulumundaki seçenekler incelenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde temel tanımlar ve açıklamalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, birleşik ısı ve güç üretimine ilişkin yönerge ve kılavuzlar anlatılmıştır. Bu yönergelere göre birlikte üretilen elektrik enerjisinin hesabı ve güç veriminin belirlenmesi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, akılcı ekserji verimi ve çevresel değerlendirilmesi anlatılmıştır. Hastanelerde üçlü üretim sistemi mekanik optimizasyonu içeren beşinci bölümde ise, meteorolojik veriler ve binanın ısıtma, soğutma, sıcak su ve elektrik yükleri verileri kullanılarak optimum mekanik sistem tasarımı ve sistemin kurulum ve işletim maliyetleri hakkında bilgi verilmiştir. Altıncı bölümde, enerji ve yakıt fiyatları kestirimleri anlatılmıştır. Doğrusal kestirimin tanımı ve tezdeki kullanım alanı anlatılmıştır. Yedinci bölümde ise, optimum kapasite tayini ve hastanelerdeki üçlü üretim sisteminin ön fizibilitesi ve ön fizibilite hesaplama ve karşılaştırma programı anlatılmıştır. Sonuç ve öneriler bölümünde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

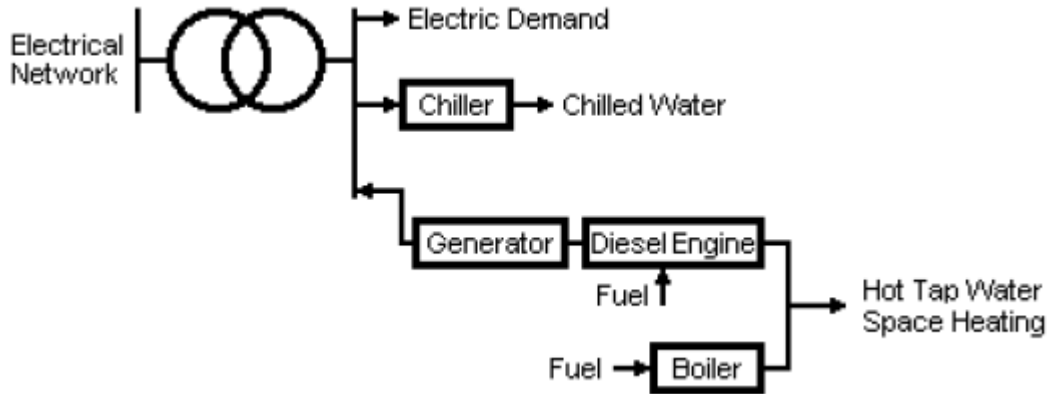
## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Literatür araştırmasında dünyada kurulmuş olan sistemler ve geri dönüş süreleri incelenmiştir. Örnek olarak İspanya'nın kuzeyinde toplam 80.000 m<sup>2</sup> kapalı alanı ve 1000'den fazla yatak kapasiteli bir hastane incelenmiştir. Bu inceleme sırasında bölgenin meteorolojik verileri incelenmiş ve kapasite tayinlerinde kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Mevcut Sistem [19]

Mevcut sistem Şekil 2.1'de görüldüğü gibidir. Hastanede ısıtma için yıllık 586.000 Euro, soğutma için 204.000 Euro harcanmaktadır, Elektrik tüketimi ise yıllık 763.500 Euro'dur. Aylık ve günlük saatlik dilimleri içinde tüketimleri incelenmişler ve yeni kurulacak sistemin kapasitesine ve değişik seçenekler içinden Şekil 2.2'deki sisteme karar verilmişlerdir.



Şekil 2.2. Seçilen Sistem [19]

Kurulan sistemin yıllık karlılığı incelenmiştir fakat geri dönüş süresi veya herhangi bir fiyat kestirimi yapılmamıştır. Çalışmada yıllık 661.000 Euro karlılık öngörmüşlerdir. Toplamda 3.161.600 Euro yatırım ön gördükleri göz önünde bulundurulur ise geri ödeme süresi beş seneden az olacağı ön görülebilmektedir. Detaylı geri dönüş hesapları yapılması daha kesin bir sonuç alınmasını sağlayacaktır. [19]



### 3. TEMEL TANIM VE AÇIKLAMALAR

Ülkemizde kısa bir geçmişe sahip birleşik ısı ve güç sistemleri ve benzer sistemlerin tanım ve kavramlarında eksiklik ve belirsizlikler gözlemlenmektedir. Örneğin, çoğu kez, kombine güç santrali, oto prodüktör, bölge ısıtması, birleşik ısı ve güç gibi farklı tanımlar eş anlamlı kullanılmaktadır. Bu nedenle tutarlı ve uyumlu tanım ve tariflerin oluşturulması gerekmektedir [1, 8, 9, 10]. Birlikte Üretim Standardı Terim ve Tarifler gibi standartların da bu konuya çok fayda sağlayabilir. Böylelikle mevcut veya hazırlanmakta olan yasa ve yönetmeliklerin uygulanmasında ve yorumunda karşılaşılabilecek sorunlar da önlenecektir.

#### 3.1. Ana Tanımlar

**Birlikte Üretim, BÜ (Cogeneration):** Birlikte Üretim, tek bir yakıt girdisinden mekanik/elektrik gücü ve faydalı ısıya dayalı farklı enerji türlerini aynı tesis veya üniteye eş zamanlı olarak üretilen, tesis dışındaki tüketicilere, ölçerek, sürekli, sürdürülebilir, faydalı ve verimli bir şekilde sağlayan, üretimdir.

**Birleşik Isı ve Güç, BIG (CHP):** Birleşik Isı ve Güç, mekanik/elektrik güç ve ısı enerjisini kapsayan birlikte üretimdir.

**Faydalı Isı, HCHP:** Faydalı Isı, ekonomik talebi karşılamak üzere, birlikte üretim yöntemi ile üretilen ısı veya ısıya dayalı diğer enerji türlerinin toplamıdır. Birimi, W·h dir.

**Ekonomik Talep:** Ekonomik talep, tüketicinin gerçek işletme koşullarındaki ısıtma, soğutma, sıcak su gibi ısıya dayalı farklı enerji taleplerinin toplamını aşmayan, aştığı takdirde; aşan miktarın serbest piyasa koşullarında birlikte üretim dışındaki yöntemlerle karşılanacağı toplam enerji talebidir. Birimi, W·h dir.

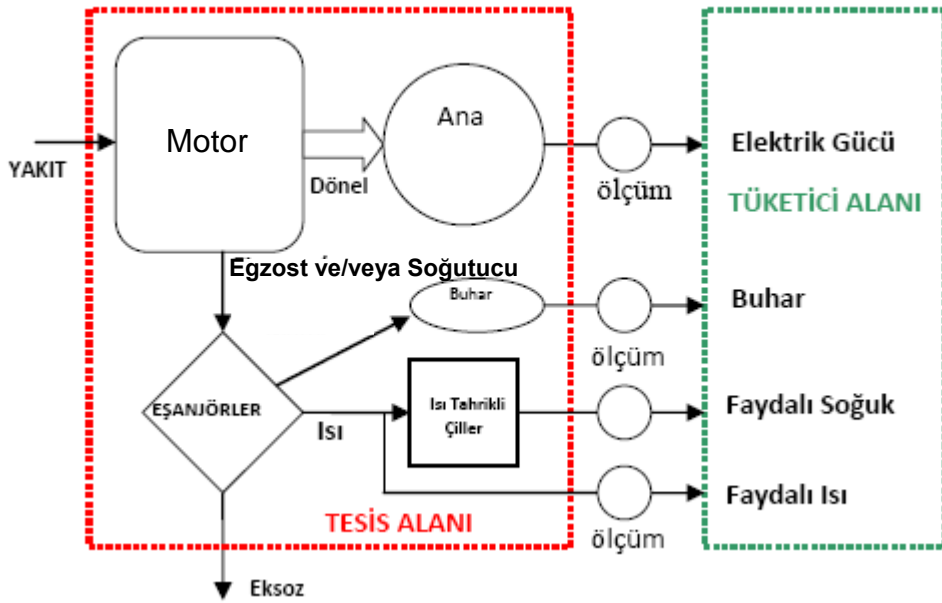
**En Uzak Mesafe, L:** En Uzak Mesafe, ekonomik ve teknik yönlerden, faydalı ısının uzaktaki bir tüketici alanına, ekonomik talepleri karşılamak üzere, kapalı devreli bir akışkan vasıtası ile taşınabileceği en uzak mesafedir. Birimi, km dir.

**Birlikte Güç, ECHP:** Birlikte Güç, belirli bir işletme süresi içerisinde faydalı ısı ile eş zamanlı olarak üretilen mekanik/elektrik gücün toplam enerji karşılığıdır. Birimi, W·h dir.

**Genel Verim:** Genel Verim, bir yıllık işletme süresince, tüketiciye sağlanan birlikte güç ve faydalı ısı toplamlarının, bu süre içerisinde brüt güç ve ısı üretimleri için tüketilen enerjiye oranıdır.

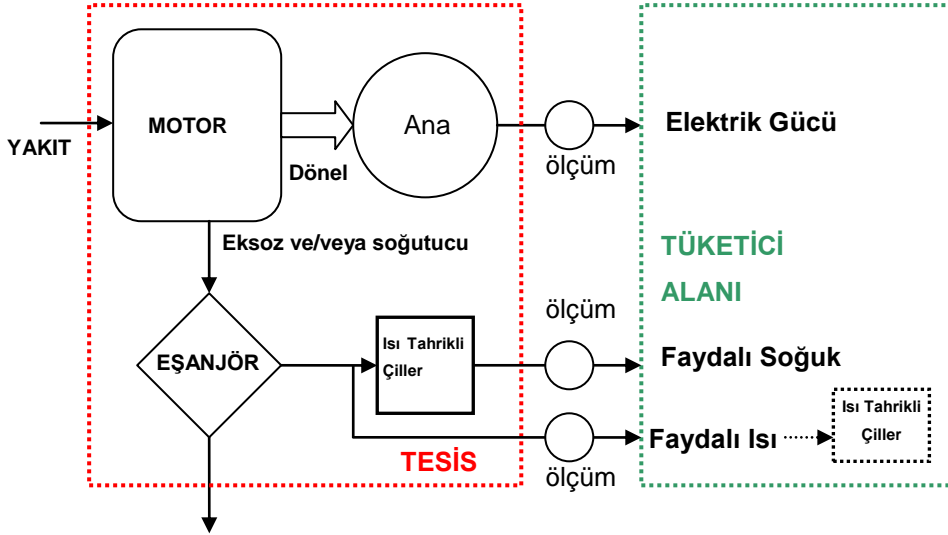
**Verim:** Verim, yakıtın alt ısı değerleri kullanılarak hesaplanan genel verimdir.

**Çoklu Birlikte Üretim, ÇÜ (Poly-generation):** Çoklu Birlikte Üretim, faydalı ısıdan buhar, soğutulmuş su, sıcak servis suyu gibi farklı ekonomik talepleri aynı tesis veya ünite de üretebilen ve tüketiciye sağlayan birlikte üretimdir. Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çoklu Birlikte Üretim

**Üçlü Birlikte Üretim, ÜÜ (Trigeneration):** Üçlü Birlikte Üretim, aynı tesis veya ünite de faydalı ısıdan sadece ısıtma ve soğutma enerjisi üreten çoklu birlikte üretimdir. Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Üçlü Birlikte Üretim

**Tesis Alanı:** Tesis Alanı, birlikte üretimin gerçekleştiği sahayı belirler. Bu alanın dışına tüketiciye sağlanan tüm faydalı enerji ve güç bağlantıları çıkar.

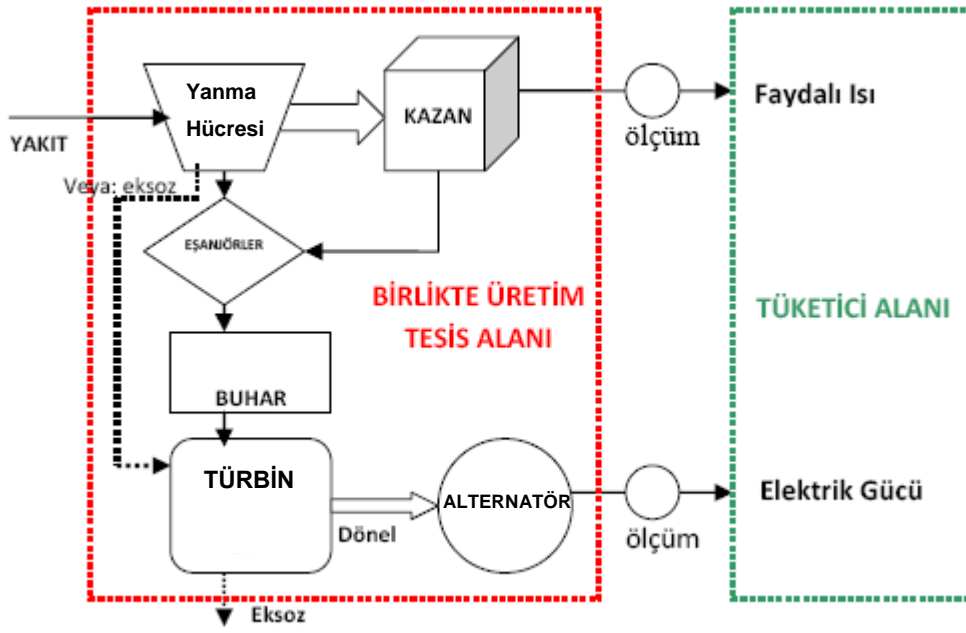
**Tüketici Alanı:** Tüketici Alanı, birlikte üretimin sağladığı faydalı enerji ve gücün tüketildiği sahaları belirler.

**Ölçüm Ünitesi:** Ölçüm Ünitesi, birlikte üretimin tükettiği enerji ve yakıt girdileri yanı sıra, tüketiciye sağlanan tüm ısıya dayalı enerji türlerini ve mekanik/elektrik gücün işletme süresi içerisinde enerji karşılıklarını ölçen ve kaydeden ünite veya cihazların her birisidir.

**Sınır:** Sınır, tesis alanı ile tüketici alanını ayırt eden sanal sınırların bütünüdür. Bu sanal sınır genellikle ölçüm ünitelerinin konumu da belirler. Tesis tüketici alanı içerisinde ise, sınır tüm tesisi çevreler.

**Güç Öncelikli Birlikte Üretim Çevrimi (Topping Cycle):** Yakıt girdisi öncelikle güç üretiminde kullanılan birlikte üretim çevrimidir.

**Faydalı Isı Öncelikli Birlikte Üretim Çevrimi (Bottoming Cycle):** Yakıt girdisi öncelikle faydalı ısı üretiminde kullanılan birlikte üretim çevrimidir. Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Faydalı Isı Öncelikli Birlikte Üretim Çevrimi

**Birlikte Üretimde Birleşik Çevrim (Coproductıon):** Birlikte üretilen elektrik enerjisini ardışık çevrimlerle üreten birlikte üretim çevrimidir.

**Güç Öncelikli Yük Takibi:** Tüketicinin değişken güç yüklerini takibeden ve öncelikle güç taleplerini karşılayan yük takibidir. Güç yüküne elektrik gücü dâhil bütün mekanik tüketici yükleri dâhildir.

**Isı Öncelikli Yük Takibi:** Tüketicinin değişken faydalı ısıya dayalı enerji yüklerini takibeden ve öncelikle faydalı ısı taleplerini karşılayan yük takibidir. Faydalı ısı yüküne, sıcak servis suyu, ısı tahrikli soğutma, buhar gibi tüm ısı yükleri dâhildir.

**Birlikte Üretim Ünitesi:** Birlikte üretimin gerekli tüm koşullarını karşılamak kaydı ile birlikte üretim yapabilen ünedir.

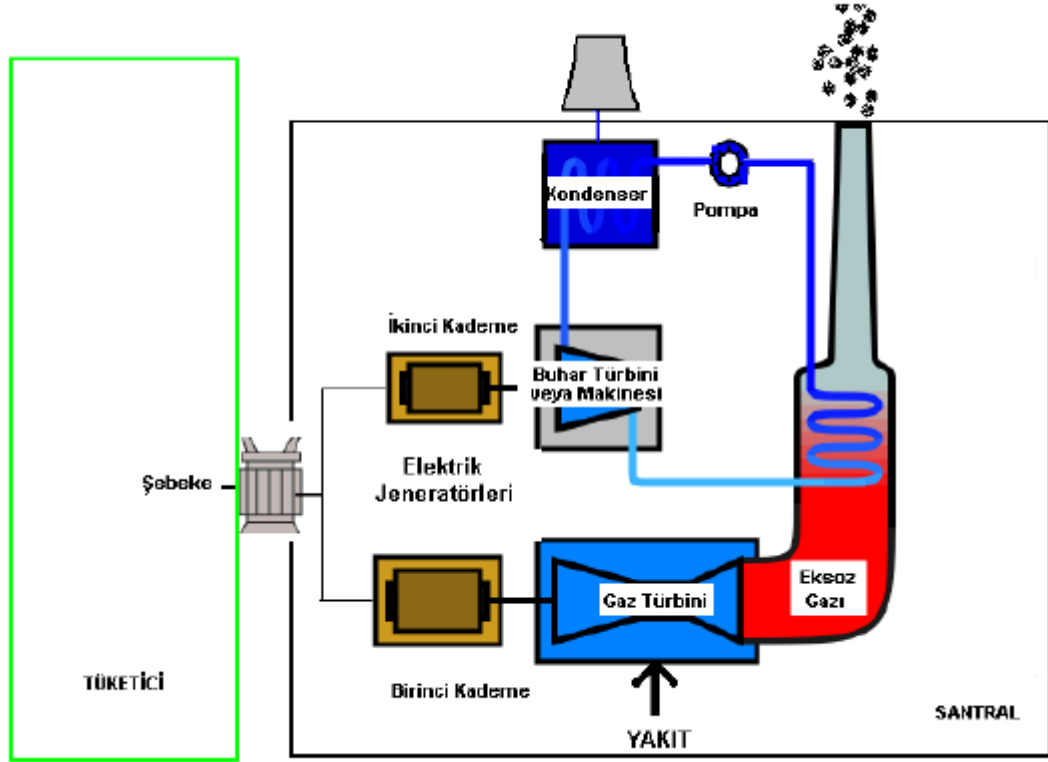
**Çok-Küçük-Ölçekli (Mikro) Birleşik Isı ve Güç Ünitesi:** Birlikte güç kapasitesi 50 kWe nin altında olan birlikte üretim ünitesidir.

**Küçük-Ölçekli-Birleşik Isı ve Güç Ünitesi:** Kurulu birlikte güç kapasitesi 1 MWe nin altında olan birlikte üretim ünitesidir.

**Güç-Enerji (ısı) Oranı, C:** Sadece birlikte üretim modundaki işletme verileri itibarı ile üretilen mekanik/elektrik enerjinin üretilen faydalı ısıya oranıdır. Bu orana birlikte üretim modunda üretilmeyen ısı ve güç değerleri dâhil edilmez.

### 3.2. Diğer Tanımlar

**Kombine Çevrim Güç Santrali (Combined Cycle Power Plant):** Kendi tesisinde birden çok ardışık veya paralel sistem ve termodinamik çevrimlerle kendi atık ısısının bir bölümünü de kullanarak daha yüksek ısıl verimde elektrik gücü üreten güç santralidir.



Şekil 3.4. Tüketicie Sadece Elektrik Gücü Sağlayan Kombine Çevrim Güç Santrali



**Dağıtık Enerji (Distributed Energy):** Güvenirlik, güvenlik, şebeke kayıplarının azaltılması, daha iyi yük takibi, yerel ve alternatif küçük kaynakların etkin kullanımı gibi nedenlerle merkezi elektrik santrallerini ikame etmek üzere, yerinde enerji üretimini öngören enerji üretim yaklaşımıdır.

**Bireysel Enerji:** Tek bir tüketicinin taleplerini karşılayan dağıtık enerjidir.

**Elektrik Şebekesi (Grid):** Merkezi elektrik santrallerinde üretilen elektriği tüketiciye ileten, koşullandıran ve dağıtan sistemler toplamıdır.

**Şebekeden Bağımsız Birlikte Üretim (Grid Independent Cogeneration):** Elektrik şebekesinden tamamen bağımsız çalışan birlikte üretimdir.

**Şebekeye Bağlı Birlikte Üretim (Grid Connected Cogeneration):** Şebekeden gerektiğinde elektrik enerjisi alan, üretimi talebi aştığında şebekeye elektrik enerjisi verebilen üretimdir.

**Termik Santral:** Herhangi bir yakıtın yanmasından ortaya çıkan enerjiyi sadece elektrik gücüne çeviren güç üretim tesisidir. Termik bir santral, atık ısını faydalı ısıya dönüştürüp kendi dışındaki tüketicilere sağlıyorsa diğer koşulları da yerine getirmek kaydı ile birleşik ısı ve güç kapsamındadır.

**Merkezi Enerji Sistemi (Central Energy System):** Tüketicinin faydalı ısı, soğuk gibi enerji taleplerinin merkezi bir santralden karşılandığı ve tüketici alanına ulaştırılıp dağıtıldığı sistemdir. Bu sistem daha çok yerleşke, toplu konut alanları gibi orta büyüklükteki tüketici alanlarını kapsar. Sadece bir enerji türü söz konusu ise sistem o enerji türü ile örneğin, merkezi ısı sistemi şeklinde anılır.

### 3.3. Birlikte Üretimin Belirlenmesi

Birlikte üretim kapsamına kesin ve anlaşılır koşullar ve tanımlarla birlikte önemli sınırlamalar getirilmiştir. Bir sistemin birlikte üretim kapsamında olması, bu kısıtlara tümünden uyum sağlamasına bağlıdır. Bu sınırlar dışında kalıpta, yeni düzenlemelerle uyum sağlayabilen istisnalar varsa bunlar da birlikte üretim kapsamına girer. Örneğin, bir rüzgâr enerjisi ile güç üreten tesisi ele alım: ürettiği mekanik/elektrik gücün bir kısmını ısı pompasında kullanarak sıcak su, soğuk su şeklinde tesis dışındaki tüketicilere faydalı enerji de sağlarsa birlikte üretim kapsamına girebilir [12, 15]. Şekil 2.5'de gösterilen ve benzeri birlikte üretim yapan kombine çevrim santralleri ve termik santraller için de aynı koşullar geçerlidir. Bu konuya örneklerle açıklık getirmek mümkündür.

Örneğin termik santral abonelere sadece elektrik gücü iletmektedir. Atık ısı, faydalı ısıya dönüştürülmek üzere geri kazanılmaksızın çoğu kez soğutma kulelerinden çevreye atılmaktadır. Hâlbuki atık ısı faydalı ısı olarak bir bölge ısıtma sisteminde değerlendirilirse, diğer tüm koşulları da yerine getirmek kaydı ile aynı termik santral birleşik ısı ve güç sistemine dönüşebilir.

Bir başka örnek, kombi cihazın ısı verimi çok yüksek olmakla beraber tek bir enerji türü (ısı) üretmektedir. Bu nedenle, eş-zamanlı olarak güç ve ısı üretmediği için birlikte üretim kapsamında değildir. Ancak, konut tipi kombi cihaz boyutlarında ve doğal gazı çok küçük bir motor veya türbinde yakarak elektrik üreten, atık ısını da faydalı ısı olarak ısıtma sistemine veren çok-küçük-ölçekli (mikro) üniteler günümüzde ticarileşmiş durumdadır. Tesis alanı, ünitenin kendisi, tüketici alanı da ünitenin hizmet verdiği daire veya apartmandır. Verimi yüksek, ölçüm cihazları üzerinde veya yakınında takılıdır. Bu nedenlerle birlikte üretim kapsamındadır.



#### 4. BİRLEŞİK ISI VE GÜÇ ÜRETİMİNE İLİŞKİN YÖNERGE VE KILAVUZLAR

Avrupa parlamentosunun 2004 senesinde yayınlamış olduğu 2004/8/EC yönergesi ve buna bağlı olarak yayınlanan Uygulamaya Geçirilme Esasları ve CWA 45547 Birleşik Güç ve Isı Sistemlerinin Belirlenmesine Dair El Kitabı, önemli birer referans dokümanlarıdır [7, 8, 9, 10]. Bu referanslar, beraber yorumlandığında, birlikte üretimin belirlenmesi, tasarımları, performans ve çevresel değerlendirilmeleri netleşmektedir. Aynı şekilde, Yönerge koşullarını yerine getirmeyen sistemlerin de kolayca ayırt edilebilmeleri mümkün olmaktadır. Bu kaynakların içerdiği sayısal bilgiler ve koşullar Ülkemizdeki mevcut ve ileriki uygulamalar için de referans teşkil edebilir.

Bu yönergeler birlikte üretimin sadece birleşik ısı ve güç boyutunu (BIG) kapsar. Çoklu üretimde talep edilen enerji türleri ısıya dayalı olduklarından, bu gibi enerji talep verileri önce eşdeğer faydalı ısıya dönüştürülmeli ve tek bir faydalı ısı kalemi altında toplanmalıdır. Farklı faydalı enerji talepleri zamana göre değişiklik gösterdiği için bu matematiksel toplama işlemleri çok küçük zaman aralıklarında yapılmalıdır.

##### 4.1. Birlikte Üretilen Elektrik Enerjisinin Hesabı

Geri basınç buhar türbini, içten yanmalı motor, faydalı ısıya dönüşen geri kazanımlı gaz türbini, Mikro-türbinler, Stirling (dıştan yanmalı) motorlar ve organik rankin çevrimleri teknolojilerinde, yıllık genel verim, üye ülkelerin %75 den az olmamak üzere belirleyeceği alt sınırdan yüksek olmalıdır. Ayrıca faydalı ısıya dönüşen geri kazanımlı kombine çevrim gaz türbini ve buhar yoğunlaşmalı türbin teknolojilerinde, yıllık genel verim, üye ülkelerin %80 den az olmamak üzere belirleyeceği alt sınırdan yüksek olmalıdır. Bu genel verim alt sınırlarını aşmayan ünitelerde, birlikte üretilen elektrik enerjisi miktarı CWA 45547 esaslarına göre denklem 4-1 yöntemi ile hesaplanır.  $E_{CHP}$  elektrik çıktısını,  $H_{CHP}$  ısı çıktısını ve  $C$  güç-ısı oranını gösterir. [13, 14, 15].

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP} \quad \{E_{CHP} \text{ ve } H_{CHP} > 0\} \quad (4-1)$$

Yeterli veri bulunmadığı durumlarda çizelge 4.1 de verilen değerlerin kullanılması öngörülmüştür.

Çizelge 4.1 Veri Yokluğunda Kullanılacak Bazı C(Güç-Isı Oranı) Değerleri

Birleşik Isı ve Güç Teknolojileri	C
Faydalı ısı geri kazanımlı kombine çevrim gaz türbini	0.95
Geri basınç buhar türbini	0.45
Buhar yoğuşmalı türbin	0.45
Faydalı ısı geri kazanımlı gaz türbini	0.55
İçten yanmalı motor	0.75

CWA 45547 ye göre birleşik ısı ve güç kapsamı dışında bırakılacak elektrik enerjisi yoksa Denklem 4-1, Denklem 4-2 şeklinde yazılabilir.

$$CHPE\eta = C \cdot CHPH\eta \quad \{E_{CHP} \text{ ve } H_{CHP} > 0\} \quad (4-2)$$

#### 4.2. Birleşik Isı Ve Güç Veriminin Belirlenmesi

Birlikte üretilen güç verimi, faydalı ısı verimi ve birlikte ısı ve güç üretim verimi yanı sıra bu verimlerle ilintili birincil enerji tasarrufu (*PES*: Primary Energy Savings) potansiyelinin ne şekilde hesaplanacağı bu bölümde gösterilmektedir.

##### 4.2.1. Yüksek-Verimli Birlikte Üretim

Yönergeye göre, birlikte üretimin yüksek verimli sayılması, aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

- 1- Birlikte üretilen elektrik ve faydalı ısının birbirinden bağımsız olarak ayrı sistemlerde üretildiği varsayımını ve bu sistemlerin referans verimlerini kullanarak Denklem 4-3 den hesaplanacak birincil enerji tasarruf yüzdesinin (*PES*) en az %10 olması

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHPH\eta}{RefH\eta} + \frac{CHPE\eta}{RefE\eta}} \right] \times 100 \quad (4-3)$$

- 2- Küçük-ölçekli ve çok-küçük-ölçekli birlikte üretim üniteleri, %10 koşulu aranmaksızın yüksek verimli birlikte üretim ünitesi sayılabilir.

#### 4.2.2. Birincil Enerji Tasarruf Yüzdesi

Ayrı ayrı üretilen elektrik ve faydalı ısı referans verimleri pratikte kullanılan bazı değerleri Çizelge 4.2 de verilmiştir. Referans değerleri bazı düzeltme katsayılarına tabi olduğu gibi bu değerler üye ülkelerce geliştirme aşamasındadır. Denklem 4-3, C cinsinden de yazılabilir.

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{CHPH\eta \left( \frac{1}{RefH\eta} + \frac{C}{RefE\eta} \right)} \right] \times 100 \quad (4-4)$$

Örnek olarak RefH $\eta$ 'nin 0,90, RefE $\eta$ 'nin 0,52, C'nin 0,75 ve CHPH $\eta$ 'nin 0,55 olduğu bir sistemde, 4-4 deneklemine göre PES (Birincil Enerji Tasarrufu) %28,79 çıkacaktır.

Çizelge 4.2 Referans Verimlere Örnek [3]

Sistem	RefH $\eta$	RefE $\eta$
Buhar	0.90	0.52
Proses Isı	0.85	0.52

#### 5. AKILCI EKSERJİ VERİMİ

Termodinamiğin Birinci Kanunu'na göre hesaplanan enerji verimi ve İkinci Kanuna göre hesaplanan ekserji verimi, her ne kadar çevre, ekonomi, insan, tükenebilir enerji kaynakları dörtlemine ortak sürdürülebilirliği konusunda fikir vermekte ise de, karmaşık ve çok boyutlu insan ve çevre ilişkilerini bina, ünite, tesis, fabrika, santral gibi dar alanlar ve "tek-başına" kavramının dışına taşıyabilecek, arz ve talep ekserjileri arasındaki dengeyi bir bütün olarak değerlendirebilecek metrikler bu güne kadar henüz geliştirilmemiştir. Bu eksikliği gidermek üzere literatürde Akılcı Ekserji Yönetim Modeli geliştirilmiştir. [15]

## 5.1. Akılcı Ekserji Verimi Tarifi

Akılcı Ekserji Verimi,  $\psi_{Ri}$ ; herhangi bir (i) uygulamasının talep ettiği en az ekserjiye ( $\epsilon_{appi}$ ) karşın arz edilen ekserjinin ( $\epsilon_{max}$ ) ne kadar birbirleri ile dengede olduklarını sorgulamaktadır. Akılcı ekserji verimi, ekserji talebi ile ekserji arzı arasındaki uyumun ve dengenin bir ölçütüdür. Isıtma, havalandırma, iklimlendirme ve soğutma yükleri çok düşük ekserji kaynakları ile karşılanabilir. Doğal gaz ve diğer fosil yakıtlar çok yüksek ekserjiye sahiptirler. 5-1'deki denklem ile Akılcı Ekserji Verimi ( $\psi_{Ri}$ ) hesaplanır.

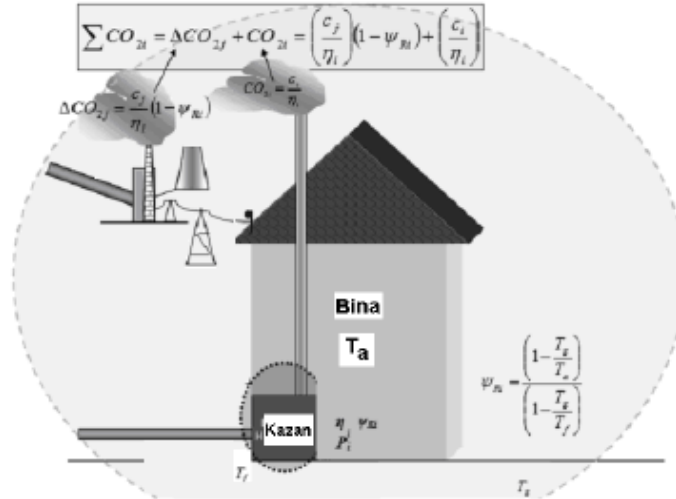
$T_{appi}$  : (i) uygulamasına giren faydalı ısı sıcaklığı (uygulama sıcaklığı),  $K$

$T_{ref}$  : Çevrenin referans (denge) sıcaklığı,  $K$

$T_f$  : Yakıtın yanma (alev) sıcaklığı veya mekanik enerjinin ekserji eşdeğeri sanal yanma sıcaklığı,  $K$

$$\psi_{Ri} = \frac{\epsilon_{appi}}{\epsilon_{max}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{appi}}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)} \quad (5-1)$$

## 5.2. Çevresel Değerlendirme



Şekil 5.1. Termik santralden Elektrik Enerjisi Alan ve Doğal Gazla Isıtılan Bina

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere, doğal gaz kazanı ile ısıtılan (i) indisli bir bina, elektrik talebinin tamamını uzaktaki bir termik santralden almaktadır. Kazanda yakılan yakıt türüne, yanma performansına, dış koşullara bağlı olarak binadan havaya belirli ölçüde zararlı salım, örneğin CO<sub>2</sub> salımı olmaktadır. Bu bacaları hepimiz görüyoruz ve enerji verimliliğini, çevre korumasını bu bacalara göre tayin ediyoruz. Ancak sorun bu kadarla bitmiyor: bu binanın kısmen sorumlu olduğu ve görülmeyen ikici, hatta daha fazla sayıda ek salımlardan sorumlu bacası vardır. Enerji kalitesinin kullanımındaki büyük uyumsuzluğa neden olan bu bina, BIG sistemi kullanmayıp elektrik enerjisini (j) indisli bir termik santralden almaktadır. Binanın bu elektrik yüküne karşılık, santralin toplam yükü artmakta ve bu oranda santral daha fazla CO<sub>2</sub> salımı yapmaktadır (ΔCO<sub>2j</sub>). [15, 16] Bu ikincil salım, binada BIG uygulanırsa büyük ölçüde önlenabilir. Birim toplam bina yükü P<sub>i</sub> başına iki bacadan çıkan toplam CO<sub>2</sub> salımı 5-2 denklemi ile hesaplanabilir.

$$\sum CO_{2i} = CO_{2i} + \Delta CO_{2j} = \left( \frac{c_i}{\eta_i} \right) + \left( \frac{c_j}{\eta_i \eta_T} \right) (1 - \psi_{Ri}) \quad (5-2)$$

## 6. HASTANELERDE ÜÇLÜ ÜRETİM SİSTEMİ MEKANİK OPTİMİZASYONU

Üçlü üretim sistemi için yapılacak optimizasyon çalışmaları dört büyük unsur içerir. Bunlar:

- 1- Meteorolojik veriler,
- 2- Binanın ısıtma, soğutma, sıcak su ve elektrik yüklerinin saatlik verileri,
- 3- Enerji ve yakıt fiyat kestirimleri,
- 4- Sistemlerin kurulum ve işletim maliyetleri

Birlikte ısı, güç ve soğuk sistemlerinin en uygun tasarım ve seçiminde ayrıca ısı ve güç taleplerinin oransal olarak genel seyri, mevsimsel değişimler ve tipik günlük yük profillerinin bilinmesi ve/veya modellenmesi gerekir [16,17,18]. Ülkemizde bu tür saatlik verilerin değeri ve gerekliliği son birkaç yıldır anlaşılmakta olup doğal olarak bu tür bilgiler mevcut değildir.

## 6.1. Meteorolojik Veriler

Sistemin mekanik ve termodinamik bağlamda optimize edilmesinin yanı sıra çevresel bağlamda da optimize edilmesi gerekir. Bu amaçla meteorolojik veriler önem kazanır. Şekil 6.1'de Ankara İçin Meteorolojik Veriler incelenmiştir.

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1970 - 2011)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.3	2.1	6.2	11.3	16.1	20.2	23.6	23.3	18.7	13.0	6.7	2.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.3	6.7	11.9	17.1	22.2	26.6	30.3	30.2	26.0	19.7	12.4	6.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.0	-2.0	1.1	5.7	9.7	13.1	16.1	16.1	12.0	7.4	2.2	-1.0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.4	3.5	5.3	6.3	8.4	10.3	11.3	10.5	9.2	6.4	4.2	2.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.1	10.4	10.6	12.3	12.5	8.9	3.9	3.0	3.8	7.5	8.8	11.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m <sup>2</sup> )	39.2	33.4	36.7	50.0	50.3	35.3	15.5	12.0	17.5	33.2	35.4	42.5
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1970 - 2011)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	16.6	19.9	26.4	30.6	33.0	37.0	40.8	40.4	36.0	32.2	24.4	19.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-21.2	-21.5	-19.2	-6.7	-1.6	5.0	6.8	7.2	2.5	-3.4	-8.8	-17.2
En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz.												
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı	11.06.1997	88.9 kg/m <sup>2</sup>	Günlük En Hızlı Rüzgar	13.03.1971	105.1 km/sa	En Yüksek Kar	05.01.2002	30.0 cm				

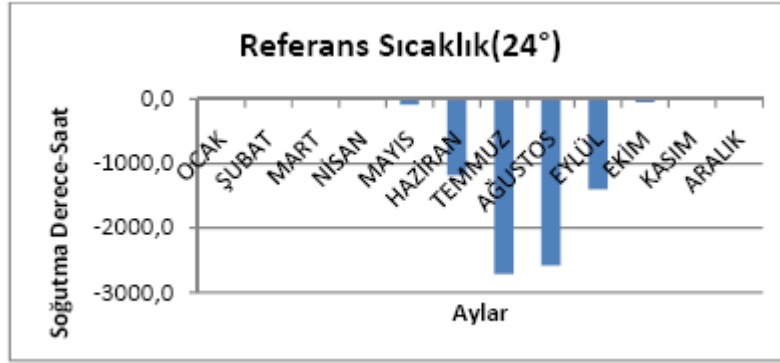
Şekil 6.1. Ankara İçin Meteorolojik Veriler [20]

## 6.2. Binanın Isıtma-Soğutma, Sıcak Su ve Elektrik Yükleri Saatlik Verileri Önemi

Hastane gibi tıp merkezlerinde ucuz enerjiden çok emniyetli ve kaliteli enerji önemlidir. Özellikle elektrik enerjisi konusunda taviz verilmemesi gerekir. Şebeke ile alış-veriş durumunda bile emniyet her zaman önde gelmelidir. Bu nedenle tezde alternatif enerji kaynakları esas sisteme dâhil edilmemiştir. Bununla birlikte ana sisteme paralel konumda bireysel ve mevzii anlamda bu tür enerji kaynaklarından yararlanılması örneğin sıcak su eldesi, çevre ve güvenlik aydınlatmasında güneş PV sistemleri, su pompalama ve depolamada rüzgâr enerjisi kullanımı, yağmur suyunun depolanması, atık su geri kazanımı, uygun yerlerde gri su kullanımı, çevre duyarlı ve suyu fazla kullanmayan çevre peyzajı, doğal günışığı aydınlatma sistemleri, binaya entegre edilebilecek pasif güneş enerjisi sistemleri ve benzer enerji tasarrufuna yönelik uygulamalar önerilmektedir. Bu uygulamalar aynı zamanda binanın yeşil hastane olmasına yönelik olası girişim ve sertifikasyon başvurularında kurulması önerilen üçlü üretim sistemine önemli ölçüde puan ekleyici niteliktedirler. Şekil 6.2'de yıl içinde veriler incelenerek soğutma yükleri Şekil 6.3'e aktarılmıştır. Şekil 6.4'de ise ısıtma yükleri Şekil 6.5'e aktarılmıştır. Bu sayede Üçlü üretim sistemlerinin hassas hesaplarında saatlik verilere gerek olduğu gibi ısıtma ve soğutma da yıllık bazda saatlik ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerine bulunmuştur.

SOĞUTMA DERECE-SAAT													
REFERANS SICAKLIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
17	0,0	0,0	0,0	-576,1	-946,6	-4382,6	-7301,0	-6751,2	-4789,6	-898,8	-20,0	0,0	-25665,8
18	0,0	0,0	0,0	-385,0	-722,6	-3789,0	-6567,6	-6061,0	-4189,9	-691,2	-6,4	0,0	-22412,7
19	0,0	0,0	0,0	-235,0	-535,8	-3236,9	-5848,7	-5401,6	-3615,1	-516,0	-0,6	0,0	-19389,7
20	0,0	0,0	0,0	-127,3	-380,4	-2728,9	-5147,6	-4768,2	-3073,5	-368,2	0,0	0,0	-16594,2
21	0,0	0,0	0,0	-59,8	-265,7	-2269,5	-4474,9	-4168,7	-2585,7	-251,9	0,0	0,0	-14076,1
22	0,0	0,0	0,0	-22,4	-178,0	-1854,3	-3844,4	-3603,4	-2144,9	-161,8	0,0	0,0	-11809,2
23	0,0	0,0	0,0	-7,7	-122,0	-1490,0	-3250,6	-3070,4	-1745,0	-96,2	0,0	0,0	-9782,0
24	0,0	0,0	0,0	-0,5	-80,3	-1178,5	-2711,8	-2583,0	-1399,4	-48,8	0,0	0,0	-8002,3
25	0,0	0,0	0,0	0,0	-49,9	-918,2	-2229,5	-2144,7	-1106,2	-20,8	0,0	0,0	-6469,3
26	0	0	0	0,5	-19,5	-658	-1747,18	-1706,402	-812,95	7,2	0	0	-4936,33

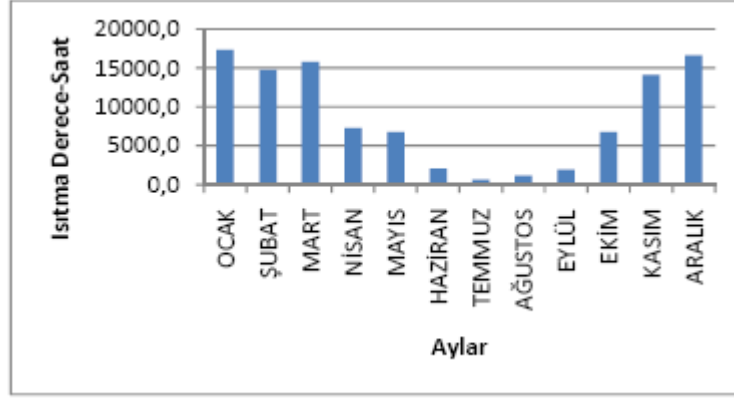
Şekil 6.2. Ankara İçin Soğutma Derece-Saat Verileri (Yaz) [20]



Şekil 6.3. Ankara İçin Soğutma Derece-Saat Verileri (Yaz) [20]

ISITMA DERECE-SAAT													
REFERANS SICAKLIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
17	12132,5	10007,3	10579,1	2775,6	2379,5	217,6	5,9	76,1	256,2	2395,2	9088,2	11369,6	61282,9
18	12876,5	10679,3	11323,1	3304,5	2899,6	344,0	16,5	129,9	376,5	2931,6	9794,6	12113,6	66789,7
19	13620,5	11351,3	12067,1	3874,5	3456,8	511,9	41,6	214,5	521,7	3500,4	10508,8	12857,6	72526,8
20	14364,5	12023,3	12811,1	4486,8	4045,4	723,9	84,5	325,2	700,1	4096,6	11228,2	13601,6	78491,2
21	15108,5	12695,3	13555,1	5139,3	4674,6	984,5	155,8	469,6	932,3	4724,3	11948,2	14345,6	84733,2
22	15852,5	13367,3	14299,1	5821,9	5331,0	1289,3	269,3	648,3	1211,5	5378,2	12668,2	15089,6	91226,2
23	16596,5	14039,3	15043,1	6527,2	6019,0	1645,0	419,5	859,4	1531,6	6056,6	13388,2	15833,6	97959,0
24	17340,5	14711,3	15787,1	7240,0	6721,3	2053,5	624,7	1116,0	1906,0	6753,2	14108,2	16577,6	104939,3
25	18084,5	15383,3	16531,1	7959,5	7434,9	2513,2	886,4	1421,7	2332,8	7469,2	14828,2	17321,6	112166,3

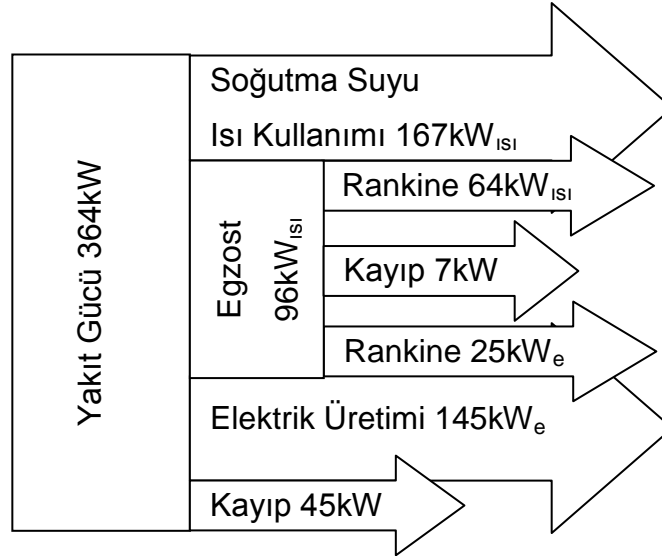
Şekil 6.4. Ankara İçin Isıtma Derece-Saat Verileri (Kış)



Şekil 6.5. Ankara İçin Isıtma Derece-Saat Verileri (Kış) [20]

### 6.3. Optimum Mekanik Sistem Tasarımı

Doğal gaz kullanan üçlü üretim sisteminin ekonomik kapasiteleri ve ekserji anlamında yakıtı en akılcı kullanan melez bileşenleri bulunabilir. Sistemler öncelikle buhar üretme zorunda olduğundan buhar ve sıcak su üretimli içten yanmalı motor bazlı birlikte ısı ve güç sistemi örnek alınabilir.



Şekil 6.6. Tipik buhar üretim oranı [3]

Şekil 6.6'daki oranlara bağlı kalarak önce birim elektrik gücü 1 MW olan bir sanal sistemin çıktıları çizelge 6.1'de hesaplanmıştır.



Çizelge 6.1 Sankey Diyagramındaki Oranlara Bağlı Kalarak Yapılan Hesaplamalar

1 MW <sub>e</sub> Birim Güç Kapasitesi İçin	KAPASİTE
Elektrik güç çıktısı	1 MW <sub>e</sub>
Yakıt Girdisi [alt ısıl değere göre]	3 MW
Buhar çıktısı (kışın ısıtma için)	0.75 MW
Sıcak su çıktısı, 95°C (sıcak servis suyu ve kazanlara dönen kondensin ön ısıtması)	0.85 MW
Buhar tahrikli, iki kademeli soğutma makinesi, 1.0 COP <sub>c</sub> (Yazın)	0.75 MW <sub>c</sub>
Sıcak su tahrikli adsorpsiyolu sistemi, 0.7 COP <sub>c</sub> (Yazın)	0.4 MW <sub>c</sub>
Toplam soğutma kapasitesi (Yazın) (0.3 MW yazın sıcak servis suyu rezerv)	1.15 MW <sub>c</sub>
Buz depose (Yazın soğutmada kullanılır)	8 MW <sub>c-h</sub>
Yüksek sıcaklık Su deposu (95°C)	5 MW <sub>t-h</sub>
Düşük Sıcaklık Su Deposu (40°C) Şebeke suyunun ön ısıtmasında	3.5 MW <sub>t-h</sub>
Derin soğutma çillerleri (Buz yapım için)	1 MW <sub>t</sub>
CHPE <sub>η</sub>	0.333
CHPH <sub>η</sub>	0.533
Birinci kanun verimi (CHPE <sub>η</sub> + CHPH <sub>η</sub> )x100	86.6%
Güç-ısı oranı	0.62
Güç soğuk oranı	0.87
Ekserji Verimi	0.49
Akılcı ekserji verimi, Ψ <sub>R</sub>	0.945
PES <sub>RCHP</sub> Soğutma için	>52%

Bu tür çalışmalarda en kritik ancak en verimli olabilecek işletmenin soğutma olacağı görüldüğünden önce soğutma sistemi optimize edilmiştir. Soğutma mevsiminde birleşik ısı ve güç sistemleri adsorpsiyonlu soğutma makinesinde de ürettikleri sıcak suyu yararlı bir biçimde kullanacaklarından daha akılcı ve verimli bir işletme sağlanacaktır. Birlikte ısı ve güç sistemleri buhardan biraz daha fazla sıcak su üretmektedir. Bu sıcak su yazın soğutmada değerlendirilebilirse de kışın soğutma yapılmayacağından sıcak su fazlası bulunmaktadır.

Bina ısıtma sistemi buhara dayalı olmasa idi bu sıcak suyun tamamı kış aylarında da ısıtmada kullanılabilecekti. Bu sıcak su fazlasının kış aylarında diğer binalara verilme olasılığı ciddi bir biçimde ele alınabilir çünkü fizibilite hesaplarında sıcak su fazlasının bir şekilde değerlendirileceği kabul edilmesi gerekir.

#### **6.4. Optimum Kapasite Tayini**

Hastane uygulamalarına örnek olarak Turgut Özal Tıp Merkezi alınmıştır. Hastanenin yıllık ve aylık bazda elektrik, ısıtma, soğutma ihtiyaçları, mevcut kapasiteler ve ölçülen değerler incelenerek hastanenin enerji karakteristiği belirlenmiş bunların günlük değişimleri örneklendirilerek tüketimleri modellenmiştir. Hastanenin dışında ısı merkezi bulunmaktadır bu merkezde üretilen buhar hastaneye iletilmekte ve burada buhar sıcak suya çevrilerek bina ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu işlem sırasında ekserji kayıpları meydana gelmektedir, bu durum ne kadar istenmese de mevcut sistemi sıcak suya çevirmek çok maliyetli olacağından bu sistem kullanılmaya devam edilecektir. Hastanenin soğutma merkezi ana binanın altındadır ve buradan hastanenin soğutması yapılmaktadır. Elektrik ihtiyacını ise enerji merkezindeki ana trafodan karşılamaktadır. 34,5 kV olan şebeke voltajı bu merkezden yine orta gerilimde dağıtılmaktadır. Hastanenin içindeki trafolarla 400V'a indirilerek hastane için alçak gerilimde dağıtılmaktadır. Kurulacak birleşik ısı, güç, soğutma sistemi, ısı beslemesi için buhar sistemine, soğutma için bina içindeki mevcut soğutma sistemine ve elektrik için ise mevcut enerji merkezine kurulacak dağıtım ve denge panosu ile enerji dağıtım sistemine bağlanması gerekmektedir. [3, 18]

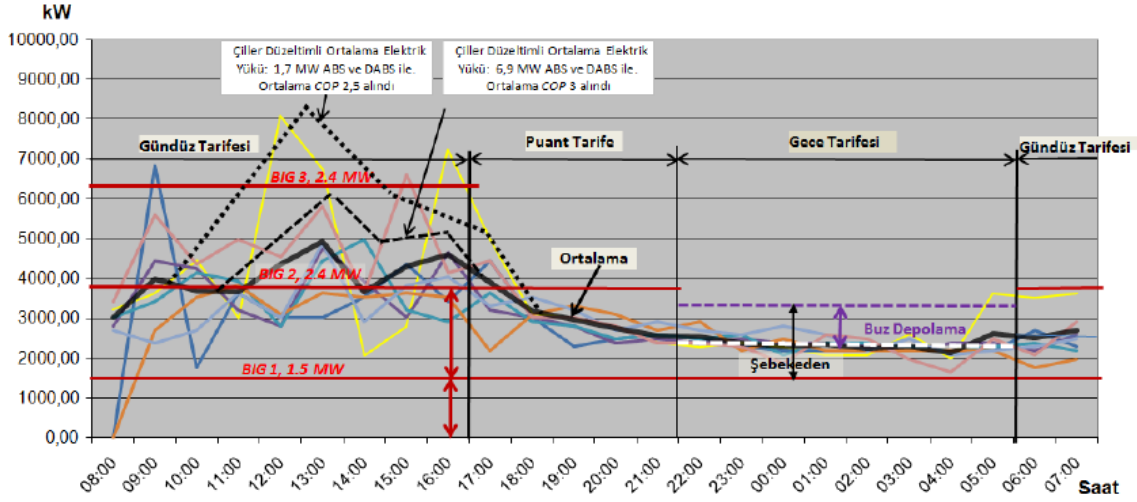
Hastanenin ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda birleşik ısı, güç, soğutma sisteminin elektrik ihtiyacını takip etmesinin daha verimli olacağına karar verilmiş ve bu nedenle hastanenin elektrik tüketimi yıl içinde değişik günlerde saatlik olarak alınan Çizelge 6.2'deki değerler, Şekil 6.7'deki grafiğe aktarılarak yıllık ortalama elektrik tüketimi grafiği çıkartılmıştır. Bu grafik incelendiğinde bir yıl içinde elektriğin en az tüketildiği gece saatlerinde bir baz tüketim seviyesi belirlenmiştir. Ülkemizde elektrik fiyatlandırmasında gece, gündüz ve puant fiyat tarifesi uygulanmaktadır. Saat gece on ve sabah altı arası uygulanan gece tarifesinde elektrik fiyatı en düşüktür. Isı talebi düşük olduğunda 1.5 MW elektrik seviyesinde bir üretim tesisi tasarlandığında yıl içinde bakım saatleri hariç %100 yükte 24 saat çalışacağı öngörülmektedir. Bu sayede birleşik ısı güç sistemi en yüksek verimin elde edildiği %90 yükte ve bu sayede geri dönüşü en kısa olacak şekilde işletilebilir. Bu seçime ek olarak elektrik fiyatının en yüksek olduğu, saat akşam beş ile gece on arası uygulanan puant ve sabah altı akşam beş saatleri arasında uygulanan gündüz tarifesinde üretilen elektrik enerjisi ve ısı enerjisinin toplan maliyeti sistemi karlı hale getirmektedir. Bu sebepten günün belli zamanlarında çalışmak üzere iki adet 2.4 MW gücünde birleşik ısı güç sistemi seçilmiştir. Elektriği takip eden bu sistemin ürettiği ısı kış aylarından ısıtma, yaz aylarında soğutma için kullanılacaktır. Bu sayede sistem kendini ödeyebilmektedir. [3, 18]

Yaz aylarında yüksek elektrik talebinin artmasına soğutma sistemleri neden olmaktadır. Kurulan sisteme ek olarak buz deposu eklendiğinde gece ucuz elektrikten faydalanılarak depolanan soğuk, gündüzleri talebin en yüksek olduğu zamanda kullanılarak en yüksek talep gücü düşürülebilir. Bu sayede hem daha verimli hem de daha az yatırım maliyeti olan bir sistem tasarlanmış olur. [13, 14].

Çizelge 6.2 Malatya Turgut Özal Tıp Merkezi elektrik sayaçlarından okunan veriler

MALATYA TURGUT ÖZAL TIP MERKEZİ ELEKTRİK SAYAÇ OKUMA DEĞERLERİ									
SAAT	Günlük Tüketim (kWs)								
	26.10.2010	27.10.2010	22.02.2011	23.02.2011	24.02.2011	30.04.2011	01.05.2011	02.05.2011	
08:00	0,00	3208,50	0,00	2794,50	3001,50	0,00	2691,00	3415,50	
09:00	3312,00	3622,50	6831,00	4450,50	3415,50	2691,00	2380,50	5589,00	
10:00	3622,50	4450,50	1759,50	4243,50	4140,00	3519,00	2691,00	4347,00	
11:00	3726,00	3001,50	3622,50	3208,50	3933,00	3829,50	3622,50	4968,00	
12:00	3933,00	8073,00	3001,50	2794,50	2794,50	3105,00	3001,50	4554,00	
13:00	4243,50	6727,50	3001,50	4761,00	4450,50	3622,50	4864,50	5796,00	
14:00	6417,00	2070,00	3519,00	3933,00	4968,00	3519,00	2898,00	3622,50	
15:00	8590,50	2794,50	4347,00	3001,50	3208,50	3622,50	3829,50	6624,00	
16:00	4243,50	7245,00	3415,50	4657,50	2898,00	3519,00	4036,50	4140,00	
17:00	3933,00	4968,00	4450,50	3208,50	3622,50	2173,50	3312,00	4450,50	
18:00	3726,00	3105,00	3001,50	3001,50	2898,00	3105,00	3519,00	3001,50	
19:00	3312,00	3001,50	2277,00	2794,50	2794,50	3312,00	3208,50	3001,50	
20:00	3105,00	2794,50	2484,00	2380,50	2484,00	3105,00	2691,00	2794,50	
21:00	2587,50	2380,50	2587,50	2484,00	2587,50	2691,00	2898,00	2380,50	
22:00	2794,50	2277,00	2484,00	2380,50	2484,00	2898,00	2691,00	2380,50	
23:00	2277,00	2380,50	2277,00	2484,00	2587,50	2173,50	2587,50	2277,00	
00:00	2277,00	2277,00	2173,50	2380,50	2070,00	2484,00	2794,50	1863,00	
01:00	2587,50	2070,00	2173,50	2380,50	2380,50	2173,50	2587,50	2587,50	
02:00	2277,00	2070,00	2173,50	2277,00	2380,50	2173,50	2173,50	2484,00	
03:00	2070,00	2587,50	2173,50	2173,50	2277,00	2173,50	2484,00	1966,50	
04:00	2484,00	1966,50	2173,50	2380,50	2173,50	2173,50	2070,00	1656,00	
05:00	2484,00	3622,50	2173,50	2380,50	2277,00	2173,50	2173,50	2484,00	
06:00	2070,00	3519,00	2691,00	2173,50	2380,50	1759,50	2277,00	2070,00	
07:00	2484,00	3622,50	2277,00	2587,50	2173,50	1966,50	2484,00	2898,00	

Birlikte ısı, güç, soğutma (BIG) sistemlerinin seçimlerinde mümkün olan en akılcı tasarım yapıldıktan sonra bu sistemin uygulanabilir olup olmadığını kestirebilmek için geri dönüş hesabı yapılmalıdır. Akılcı bir yatırım kendini 3 ila 5 sene içinde geri ödeyebilmelidir. Bu sebepten geri dönüş hesapları projenin gerçekleşmesi açısından çok önemlidir. Geri dönüş hesabını iki değişken girdisi vardır, bunlar elektrik ve doğal gaz fiyatlarıdır. Elektrik fiyatlar saatlik değişirken doğal gaz fiyatları bu kadar hızlı değişmez fakat elektrik ve doğal gaz fiyatları değişik açılarda artış eğilimindedir. Bu fiyatları öngörmek geri dönüş süreleri için önemlidir, bu nedenle en uygun kestirim yöntemini bulmamız gerekmektedir. Altıncı bölümde fiyat kestirimlerinin geri dönüş sürelerini nasıl etkilediği incelenmiştir.



Şekil 6.7. Öngörülen Yaz İşletme Rejimi Örneği [3]

## 7. FİYAT KESTİRİMLERİ VE GERİ DÖNÜŞ KARŞILAŞTIRMALARI

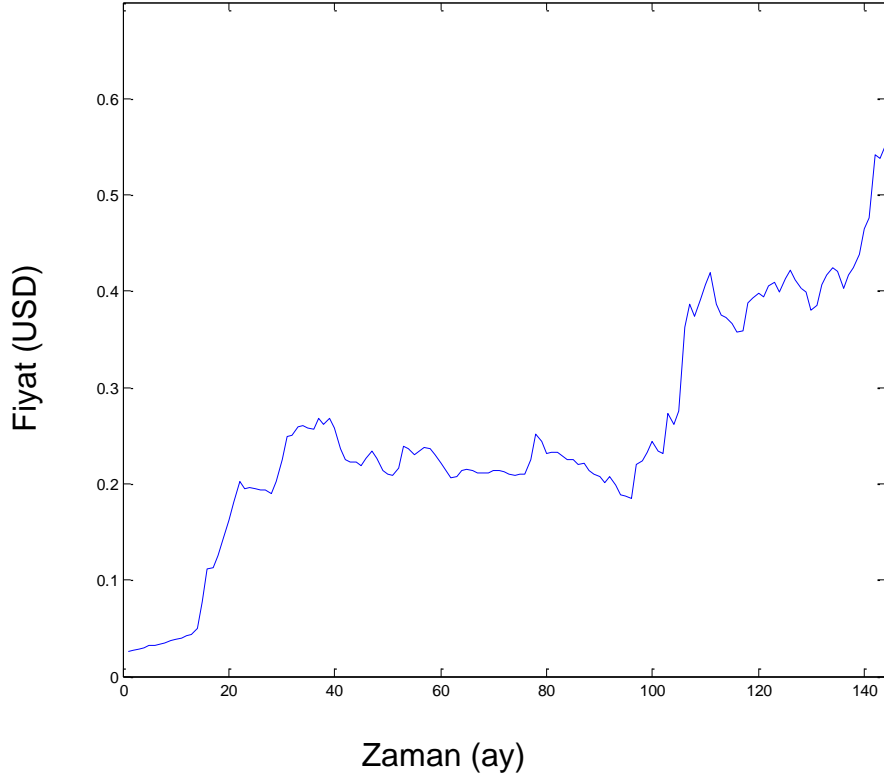
Öncelikle doğal gaz ve üç tarifeli elektrik fiyat kestirimleri on yıllık bir süre için yapılmıştır. Elektrik ve doğal gaz fiyat kestirimleri geriye dönük ölçülü verilerden elde edilmiştir.

Çizelge 7.1. Geçmiş 12 Yıllık Elektrik Verileri kW Cinsinden

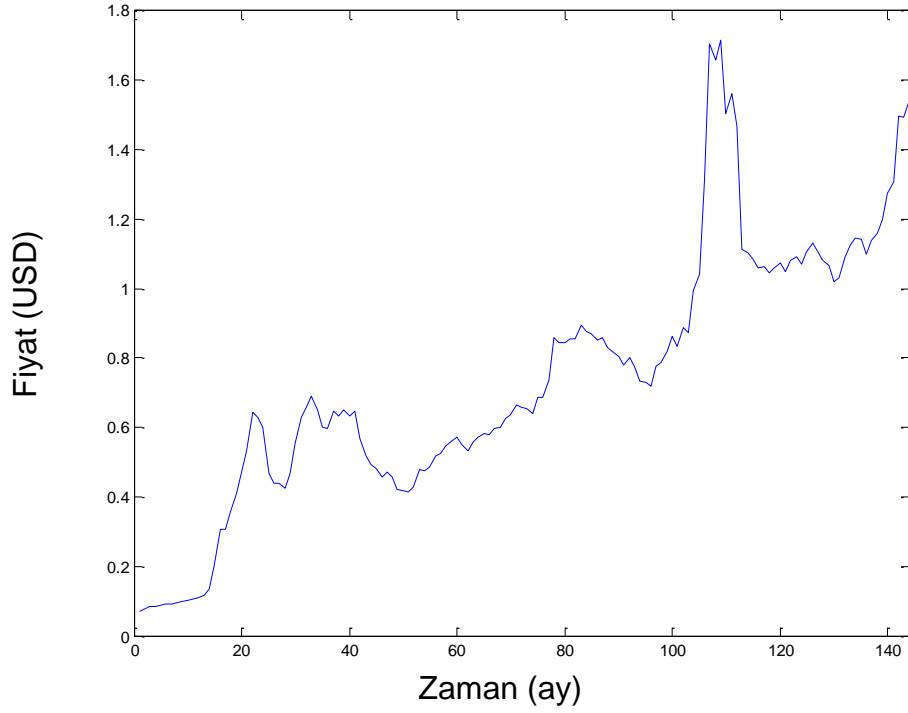
Yıl	Ocak (Dolar) (Cent)	Şubat (Dolar) (Cent)	Mart (Dolar) (Cent)	Nisan (Dolar) (Cent)	Mayıs (Dolar) (Cent)	Haziran (Dolar) (Cent)	Temmuz (Dolar) (Cent)	Ağustos (Dolar) (Cent)	Eylül (Dolar) (Cent)	Ekim (Dolar) (Cent)	Kasım (Dolar) (Cent)	Aralık (Dolar) (Cent)
2000	0,02568	0,02710	0,02855	0,02991	0,03163	0,03224	0,03357	0,03528	0,03707	0,03858	0,03979	0,04192
2001	0,04354	0,04923	0,07757	0,11116	0,11255	0,12494	0,14172	0,16208	0,18099	0,20230	0,19516	0,19621
2002	0,19430	0,19312	0,19314	0,18997	0,20259	0,22506	0,24859	0,24976	0,25938	0,25987	0,25810	0,25665
2003	0,26744	0,26169	0,26826	0,25789	0,23601	0,22570	0,22231	0,22214	0,21829	0,22681	0,23406	0,22695
2004	0,21332	0,21049	0,20928	0,21582	0,23946	0,23679	0,23030	0,23376	0,23837	0,23603	0,22963	0,22184
2005	0,21342	0,20681	0,20686	0,21435	0,21567	0,21410	0,21070	0,21159	0,21098	0,21370	0,21416	0,21277
2006	0,20981	0,20868	0,21040	0,21029	0,22537	0,25200	0,24460	0,23102	0,23320	0,23313	0,22944	0,22533
2007	0,22463	0,21973	0,22149	0,21405	0,21022	0,20779	0,20147	0,20691	0,19867	0,18889	0,18727	0,18530
2008	0,22071	0,22394	0,23311	0,24398	0,23412	0,23131	0,27258	0,26190	0,27503	0,36285	0,38677	0,37429
2009	0,39203	0,40694	0,41890	0,38711	0,37506	0,37246	0,36583	0,35819	0,35930	0,38836	0,39307	0,39830
2010	0,39364	0,40494	0,40975	0,39893	0,41333	0,42170	0,41165	0,40339	0,39872	0,38065	0,38485	0,40671
2011	0,41689	0,42379	0,42102	0,40300	0,41709	0,42450	0,43871	0,46484	0,47651	0,54158	0,53762	0,55315

Çizelge 7.2. Geçmiş 12 Yıllık Doğal gaz Verileri m<sup>3</sup> Cinsinden

Yıl	Ocak (Dolar Cent)	Şubat (Dolar Cent)	Mart (Dolar Cent)	Nisan (Dolar Cent)	Mayıs (Dolar Cent)	Haziran (Dolar Cent)	Temmuz (Dolar Cent)	Ağustos (Dolar Cent)	Eylül (Dolar Cent)	Ekim (Dolar Cent)	Kasım (Dolar Cent)	Aralık (Dolar Cent)
2000	0,07019	0,07726	0,08287	0,08527	0,08900	0,09004	0,09187	0,09458	0,09928	0,10341	0,10618	0,11008
2001	0,11650	0,13481	0,20200	0,30635	0,30786	0,35836	0,41181	0,47296	0,53078	0,64407	0,62989	0,60217
2002	0,46854	0,43830	0,43837	0,42633	0,46717	0,55460	0,63046	0,65918	0,68956	0,65112	0,60135	0,59798
2003	0,64730	0,63337	0,64929	0,63346	0,64580	0,56795	0,51969	0,49435	0,48219	0,45856	0,47150	0,45734
2004	0,42222	0,41649	0,41518	0,42893	0,47939	0,47688	0,48686	0,51790	0,52668	0,54829	0,56161	0,57254
2005	0,55053	0,53196	0,55665	0,57196	0,58124	0,57917	0,59862	0,60144	0,62623	0,63472	0,66370	0,65941
2006	0,65317	0,64182	0,68533	0,68497	0,73795	0,85894	0,84475	0,84584	0,85474	0,85445	0,89444	0,87814
2007	0,87010	0,85169	0,85852	0,82968	0,81480	0,80541	0,78090	0,80200	0,77283	0,73477	0,72811	0,71834
2008	0,77461	0,78691	0,82060	0,86368	0,83266	0,88820	0,87270	0,99324	1,04339	1,31398	1,70554	1,65790
2009	1,71633	1,50518	1,55988	1,46999	1,11256	1,10422	1,08352	1,06061	1,06195	1,04651	1,05978	1,07374
2010	1,04877	1,07949	1,09323	1,07138	1,10681	1,13157	1,10507	1,08215	1,06812	1,02073	1,03111	1,09028
2011	1,12239	1,14431	1,14030	1,10049	1,13895	1,16000	1,20079	1,27352	1,30821	1,49859	1,49199	1,53564



Şekil 7.1. 2000-2011 Elektrik Fiyat Değişim Grafiği



Şekil 7.2. 2000-2011 Doğal Gaz Fiyat Değişim Grafiği

### 7.1. Doğrusal Kestirim

İleri yönlü doğrusal kestirimde amaç, işaretin bir sonraki örneği  $\hat{y}(n)$ 'i,  $p$  adet geçmiş örneğin doğrusal kombinasyonu ile elde etmektir.

(7-1)

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=1}^p a_i y(n-i)$$

7-1'de  $a_i$  ile gösterilen katsayılar öngörü ya da doğrusal öngörü katsayıları olarak adlandırılır. Aşağıdaki süzgecin tasarımında bu katsayılar kullanılır.

$$H(z) = \frac{1}{A(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^p a_i z^{-i}} \quad (7-2)$$

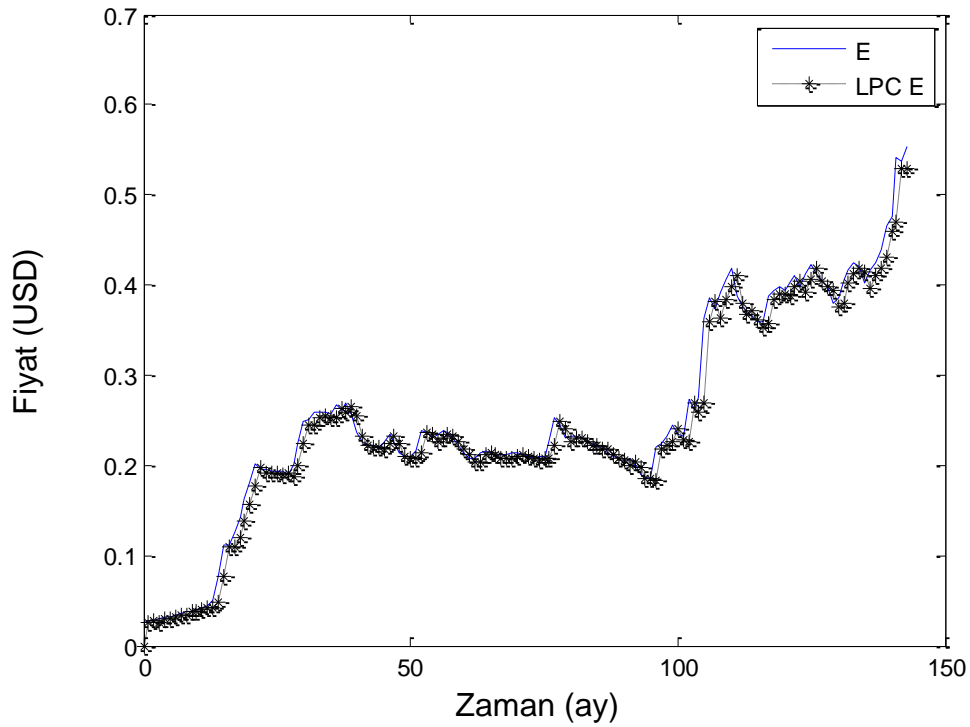
Bu süzgecin aktarım işlevi denklem 7-2'de verilmiş olup, bir tüm-kutup süzgeç tanımlamaktadır. Doğrusal öngöründe amaç ortalama karesel öngörü hatasını ( $e$ ) en az yapan süzgeç katsayılarını bulmaktır.

$$e = E \left\{ \left| y(n) - \sum_{i=1}^p a_i y(n-i) \right|^2 \right\} \approx \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left| y(n) - \sum_{i=1}^p a_i y(n-i) \right| \quad (7-3)$$

Burada  $E\{\cdot\}$ , beklenen değer operatörüdür. Bu hatayı minimize etmek için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır.

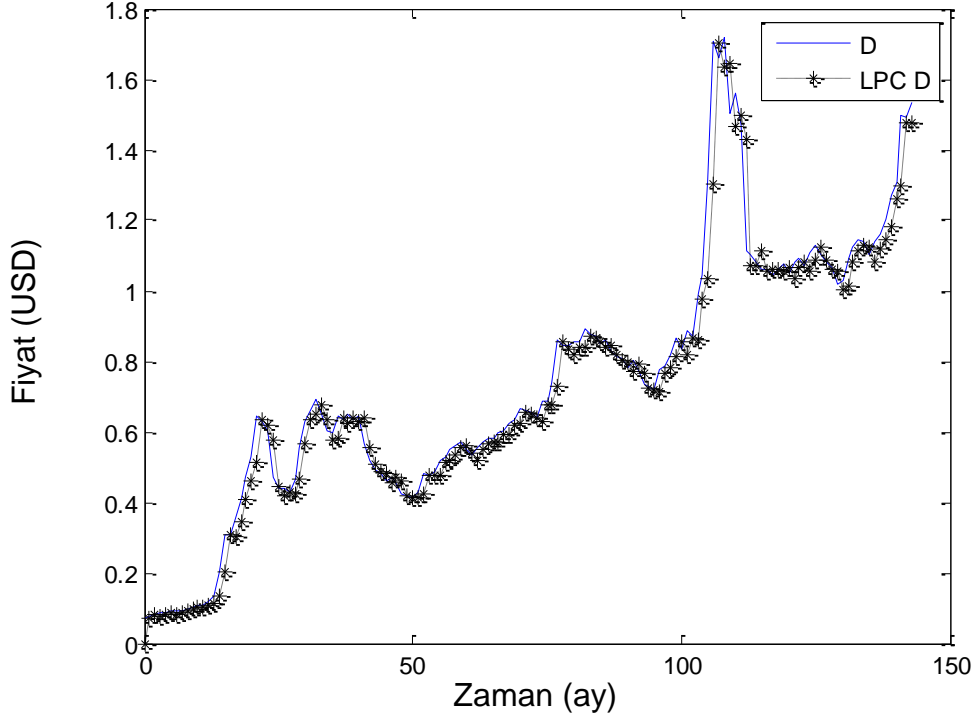
### 7.1.1. Geçmiş Yılların Doğrusal Kestirimi

Geçmiş yıllara ait elektrik verileri kW/TL cinsinden, doğal gaz verileri ise m<sup>3</sup>/Dolar-cent cinsinden elde edilmiştir. Çizelge 7.1 ve çizelge 7.2 ile gösterilen geçmiş yıllara ait elektrik ve doğal gaz verileri doğrusal kestirim yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal kestirim sonucunun elimizdeki değerlerle olan benzerliği sistemin doğru kestirim yapabildiğini gösterir.



Şekil 7.3. Elektrik Fiyat Değişimi Doğrusal Kestirimi (LPC)





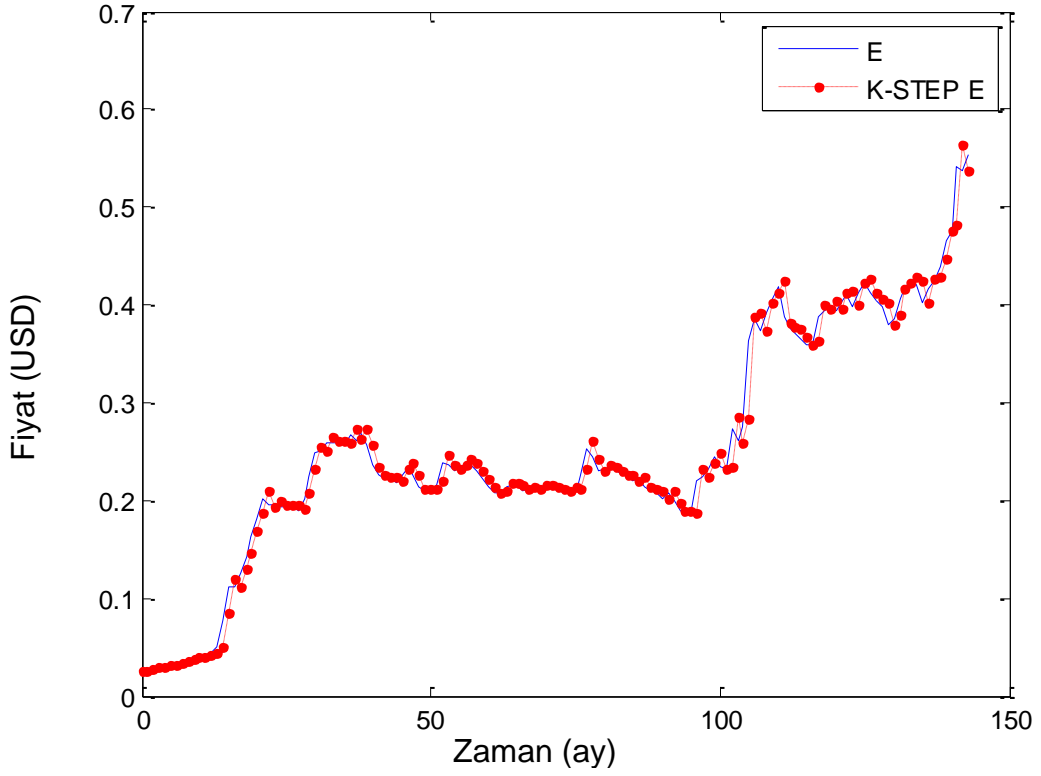
Şekil 7.4. Doğal gaz Fiyat Değişimi Doğrusal Kestirimi (LPC)

## 7.2. Çok-Adımlı Kestirim

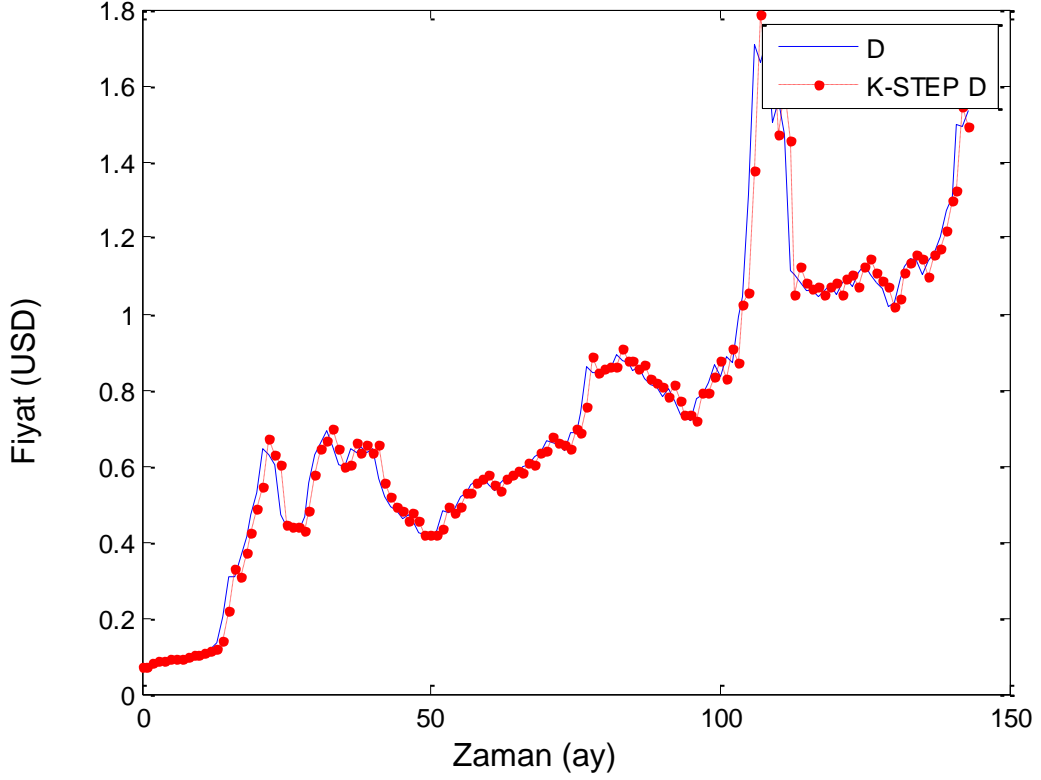
Çok-Adımlı kestirim, bir zaman serisinin gelecek değerlerini adım adım hesaplamaya dayanır. Öncelikle  $x_{t+1}$  değeri, önceki kestirim değerlerine göre,  $x_{t+1-p}, \dots, x_{t-1}, x_t$ , tahmin edilir. Daha sonra  $x_{t+2}$  değeri, önceki  $p$  değerleri ve kestirim yapılmış  $x_{t+1}$  değerine göre tahmin edilir. Bu işlem son  $x_{t+h}$  değeri hesaplanana kadar yapılır. Sonuç olarak, bu yöntemle tahmin yapmak için tek bir model oluşturmak yeterlidir.

### 7.2.1. Geçmiş Yılların Çok-Adımlı Kestirimi

Doğrusal Kestirim’de olduğu gibi Çizelge 7.1 ve çizelge 7.2 ile gösterilen geçmiş yıllara ait elektrik ve doğal gaz verileri Çok-Adımlı kestirim yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Çok-Adımlı kestirim sonucunun elimizdeki değerlerle olan benzerliği sistemin doğru çalıştığını gösterir.



Şekil 7.5. Elektrik Fiyat Değişimi Çok-Adımlı Kestirimi (K-STEP)



Şekil 7.6. Doğal Gaz Fiyat Değişimi Çok-Adımlı Kestirimi (K-STEP)

### 7.3. Kestirim Seçimi

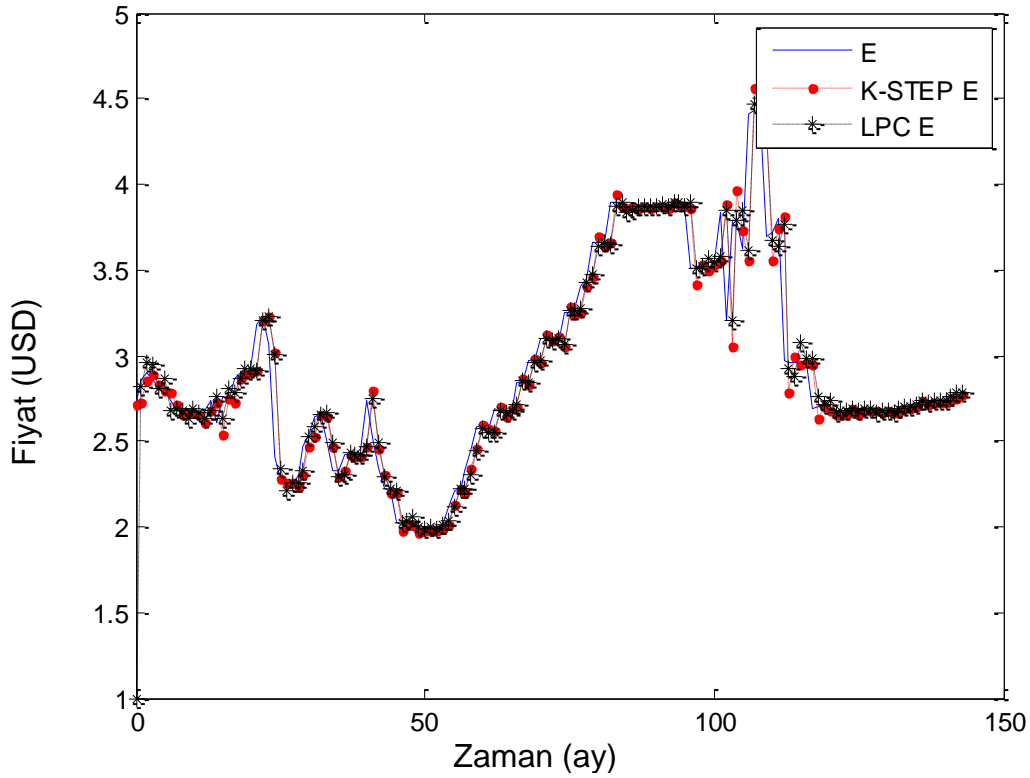
Yapılan çeşitli kestirimler sonucunda en iyi sonucu elde edebilmek için Doğrusal kestirim ve Çok-Adımlı kestirim algoritmaları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi, elektrik ve doğal gaz için uygulanan çok-adımlı kestirim oranı, elektrik ve doğal gaz için uygulanan doğrusal kestirim oranı, elimizdeki elektrik (E) ve doğal gaz (D) verileri kullanılarak yapılmıştır. En iyi sonucu veren kestirimi bulmak için aşağıdaki işlemler sırasıyla yapılmıştır:

$$\text{Parametre1} = \text{Çok-Adımlı Kestirim(D)} / \text{Çok-Adımlı Kestirim(E)}$$

$$\text{Parametre2} = \text{Doğrusal Kestirim(D)} / \text{Doğrusal Kestirim(E)}$$

$$\text{Fark1} = \text{Parametre1} - (D / E)$$

$$\text{Fark 2} = \text{Parametre2} - (D / E)$$

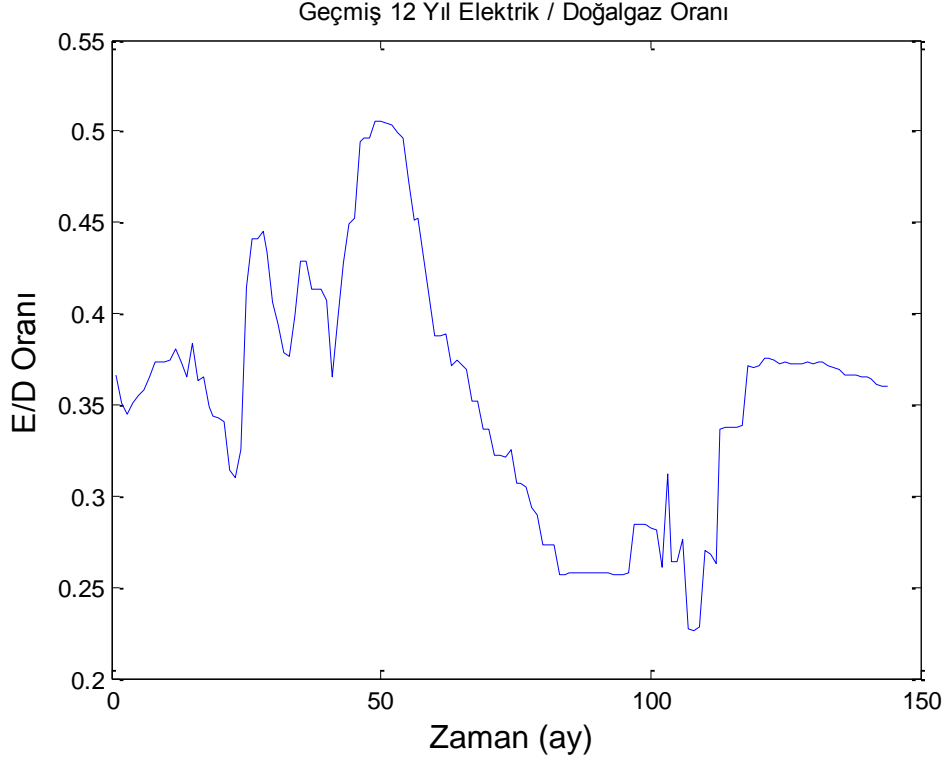


Şekil 7.7. Kestirim sonuçlarının kıyaslaması

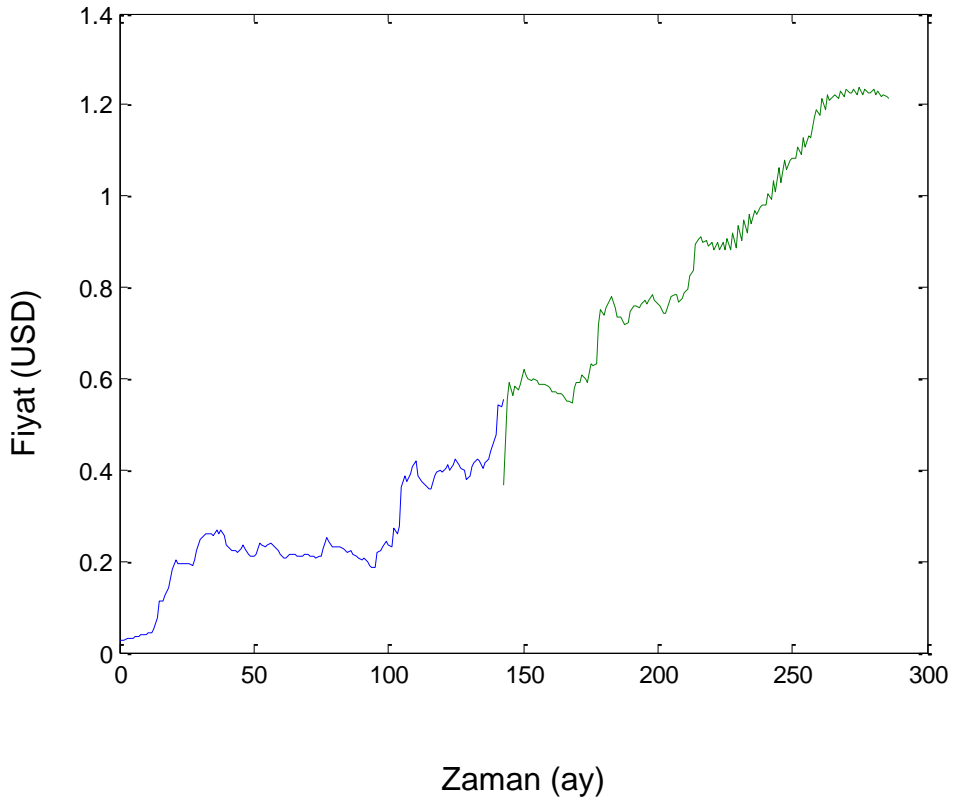
Bu işlemlerin sonucunda Çok-Adımlı Kestirim için bulunan ortalama karesel hata değeri 2.1213 bulunurken, Doğrusal Kestirim için bu hata değerinin 1.9793 olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre Doğrusal Kestirim, oniki yıllık (aylık bazda) verilerimiz için daha doğru sonuç vermiştir. Bu nedenle ileriye yönelik, verilerin izleyebileceği davranış için Doğrusal Kestirim kullanılmıştır.

#### 7.4. İleriye Yönelik Verilerin Tahmini

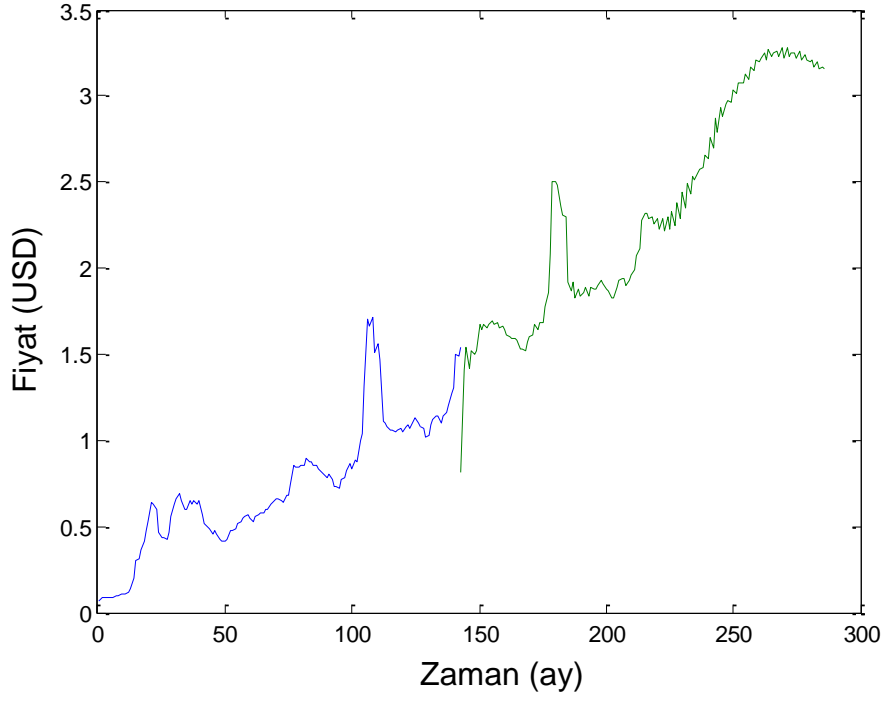
Doğrusal kestirim yöntemi kullanarak ve geçmiş 12 yılın Elektrik / Doğal gaz verileri baz alınarak, gelecek 10 yılın Elektrik / Doğal gaz tahmini yapılmıştır. Yapılan tahmin sonucunda elektrik ve doğal gaz verilerinde aylık bazda değişimler gözlenmekle birlikte, elektrik birim fiyatının doğal gaz birim fiyatına göre daha hızlı arttığı gözlemlenmiştir. Doğal gazın  $m^3$  cinsinden bulunan birim fiyatını kWh cinsine çevirmek için, 9.56 ile 10.64 arasında olan kalorifik değeri tezimizde 10 olarak seçilmiş ve işlemler buna göre yapılmıştır.  $m^3$  değerleri 10 değerine bölünerek kWh birimine dönüştürülmüştür.



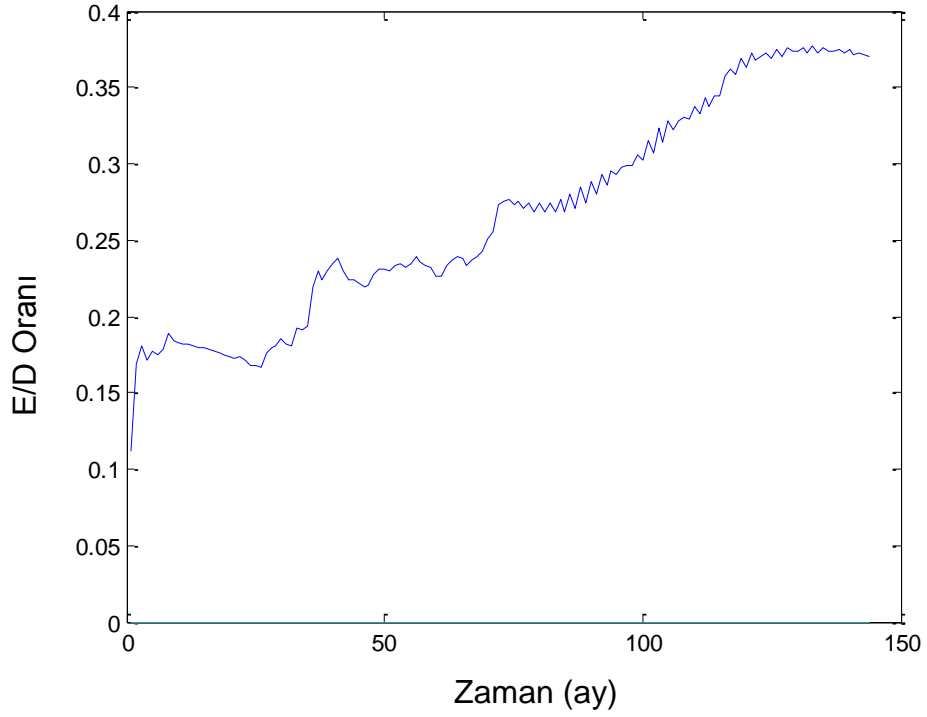
Şekil 7.8. Geçmiş 12 Yıl Elektrik / Doğal Gaz oranı



Şekil 7.9. Geçmiş 12 Yıl Ve Gelecek 10 Yılın Elektrik Tahmini



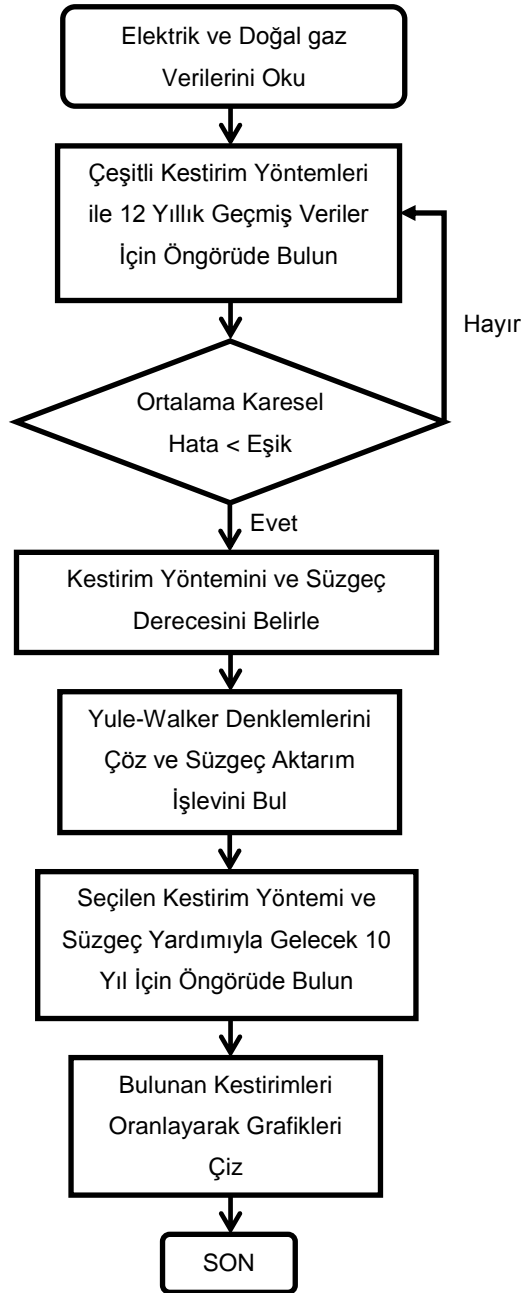
Şekil 7.10. Geçmiş 12 Yıl Ve Gelecek 10 Yılın Doğal Gaz Tahmini



Şekil 7.11. Gelecek 10 Yıl Elektrik / Doğal Gaz Tahmini

## 7.5. Kestirim Programı Algoritması

Tez çalışmamızda uygun verileri kullanarak gelecek yılların tahminini yapmak için MATLAB programı kullanılmıştır. Başlangıçta Şekil 7.12. 'daki algortma yazılmıştır. Algoritma başlangıçta elektrik ve doğal gaz verileri okunarak, Doğrusal ve Çok-Adımlı kestirim uygulanmıştır. Bölüm 7.3'de anlatılan formülleri uyguladıktan sonra en doğru sonuç veren kestirimi bulmaktadır. Daha sonra bulunan en doğru kestirim için işlemine devam eder ve gelecek yıllar için verilerin tahminini yapar.



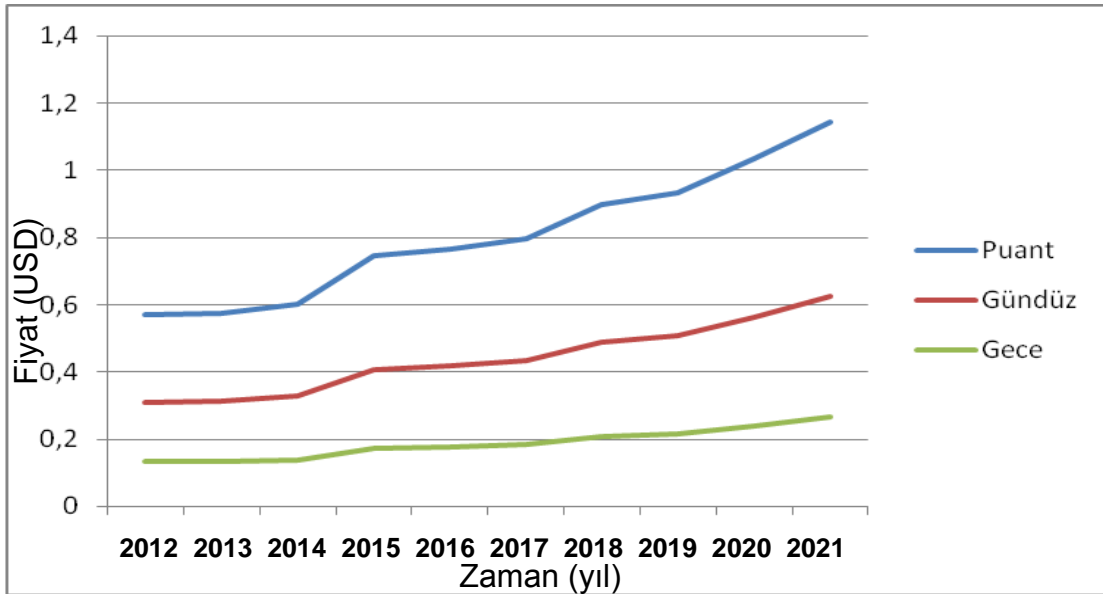
Şekil 7.12. Kestirim Programı Algoritması

## 7.6. Hastanelerde Üçlü Üretim Sisteminin Ön Fizibilitesi

Öncelikle doğal gaz ve üç tarifeli elektrik fiyat kestirimleri on yıllık bir süre için yapılmıştır. Elektrik kestirimleri geriye dönük ölçülü verilerden elde edilmiştir. Puant olarak elde edilen kestirim sonuçları geçiş yılların ortalamaları alınarak gündüz ve gece tarifeleri hesaplanmıştır. Puant ve gündüz tarifelerinin oranları 0,545'dir, puant ve gece tarifelerinin oranları 0,232'dir. [3]

Çizelge 7.3. Gelecek 10 Yıllık Elektrik Puant, Gece ve Gündüz Kestirimleri

Yıllar	Puant (USD / kWh)	Gündüz (USD / kWh)	Gece (USD / kWh)
2012	0,570091	0,3109	0,1321
2013	0,575811	0,3140	0,1334
2014	0,602007	0,3283	0,1395
2015	0,744818	0,4062	0,1725
2016	0,763949	0,4167	0,1770
2017	0,795015	0,4336	0,1842
2018	0,896146	0,4888	0,2076
2019	0,93328	0,5090	0,2162
2020	1,032693	0,5632	0,2392
2021	1,143353	0,6236	0,2649



Şekil 7.13. Gelecek 10 Yıllık Elektrik Puant, Gece ve Gündüz Kestirimleri

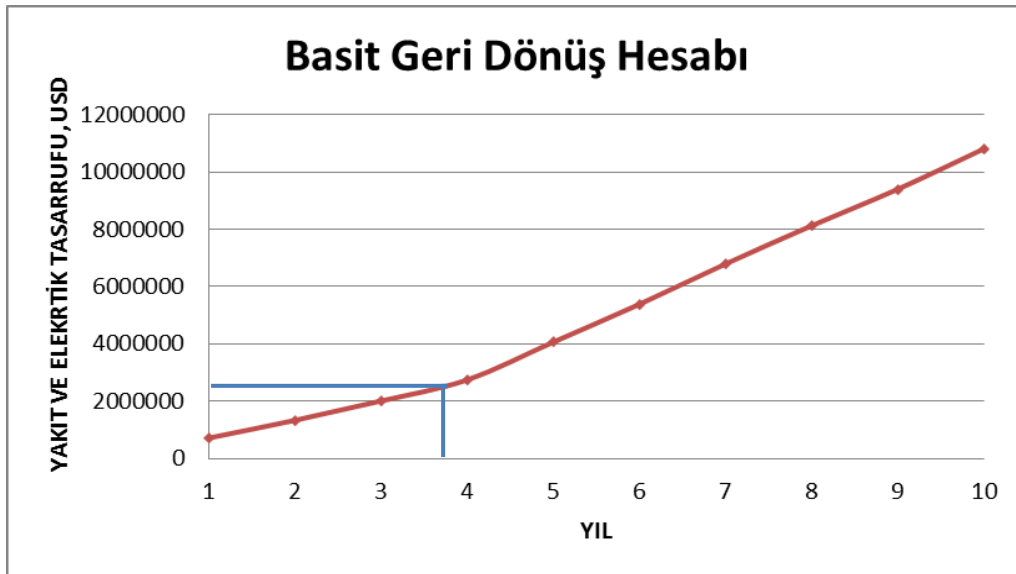


## 7.7. BIG 1 Sistemi İçin Geri Dönüş Hesabı

1,5 kWe kapasiteli, BIG 2 sistemi içi toplam ilk yatırım maliyeti 2.000.000 USD ve overhol maliyeti 450.000 USD olarak ön görülmektedir. Hesaplar ve yaptığımız kestirimler neticesinde yaklaşık 3,7 yıl sonra ilk yatırım maliyetini geri ödemiştir. Toplam 10 yıl sonunda net tasarrufu ise yaklaşık 10.800.000 USD'dir. Rapor sonucu, 3,8 yıl ile karşılaştırıldığında %3'lik geri dönüş farkı, toplam tasarruf 17.900.000TL ve 1,79USD/TL kuru ile %7 dir.



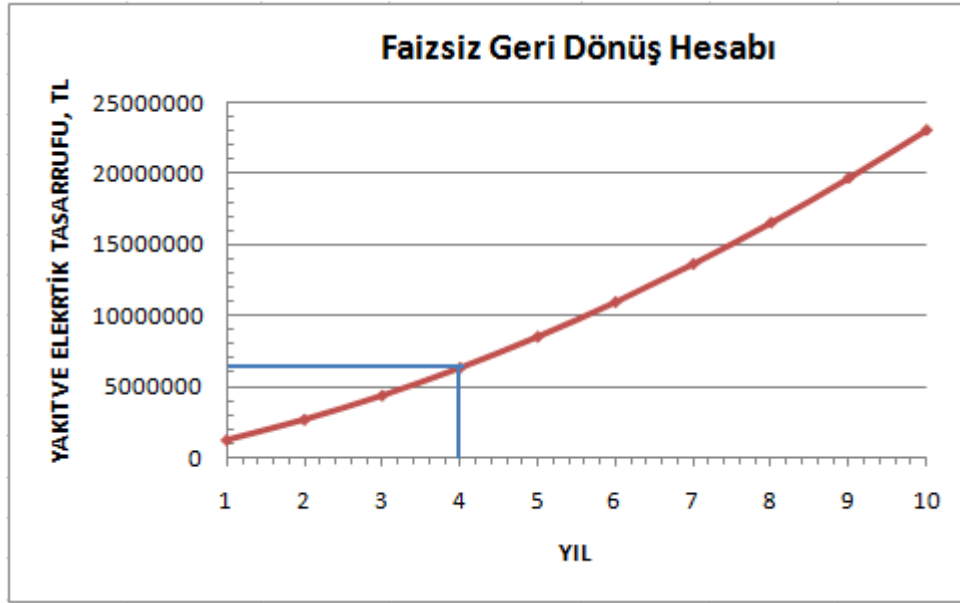
Şekil 7.14. BIG 1 Geri Dönüş Hesabı [3]



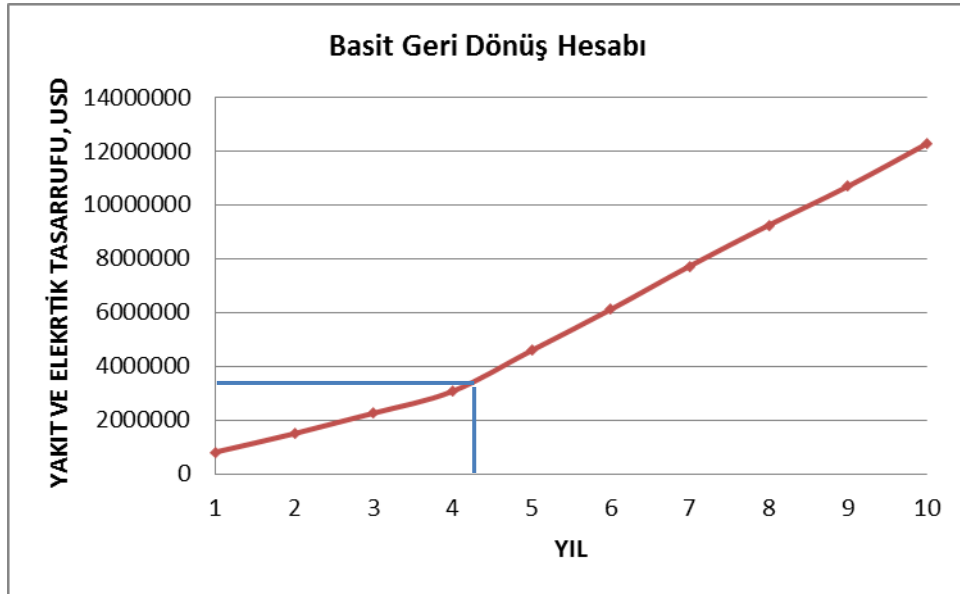
Şekil 7.15. Doğrusal Kestirim Uygulanmış BIG 1 Geri Dönüş Hesabı

## 7.8. BIG 2 Sistemi İçin Geri Dönüş Hesabı

2,4 kWe kapasiteli, BIG 2 sistemi için toplam ilk yatırım maliyeti 3.200.000 USD ve overhol maliyeti 500.000 USD olarak ön görülmektedir. Hesaplar ve yaptığımız kestirimler neticesinde yaklaşık 4,2 yıl sonra ilk yatırım maliyetini geri ödemiştir. Toplam 10 yıl sonunda net tasarrufu ise yaklaşık 12.200.000 USD'dir. Rapor sonucu, 4 yıl ile karşılaştırıldığında %5'lik geri dönüş farkı, toplam tasarruf 23.500.000TL ve 1,79USD/TL kuru ile %7 dir.



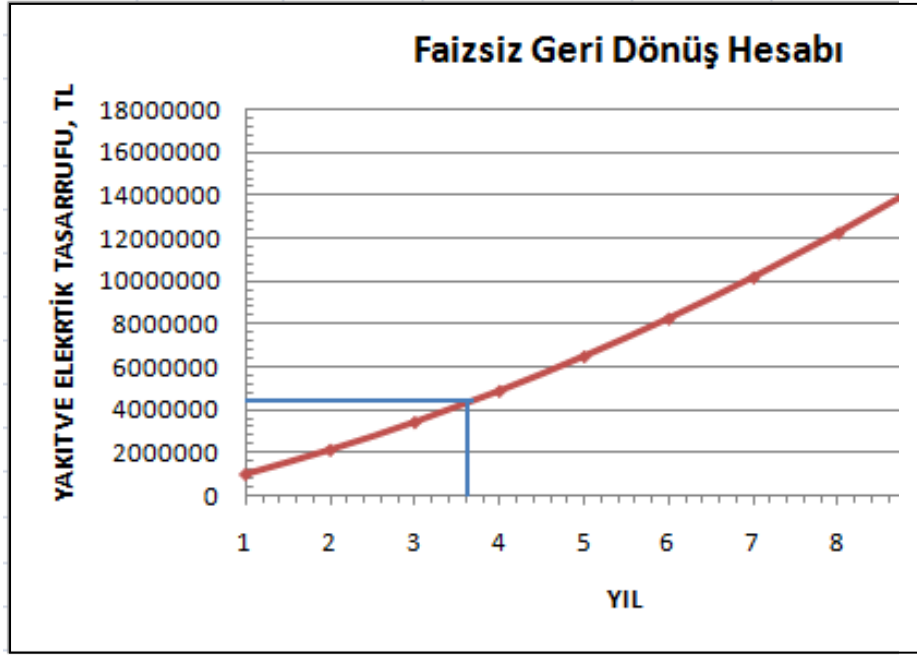
Şekil 7.16. BIG 2 Geri Dönüş Hesabı [3]



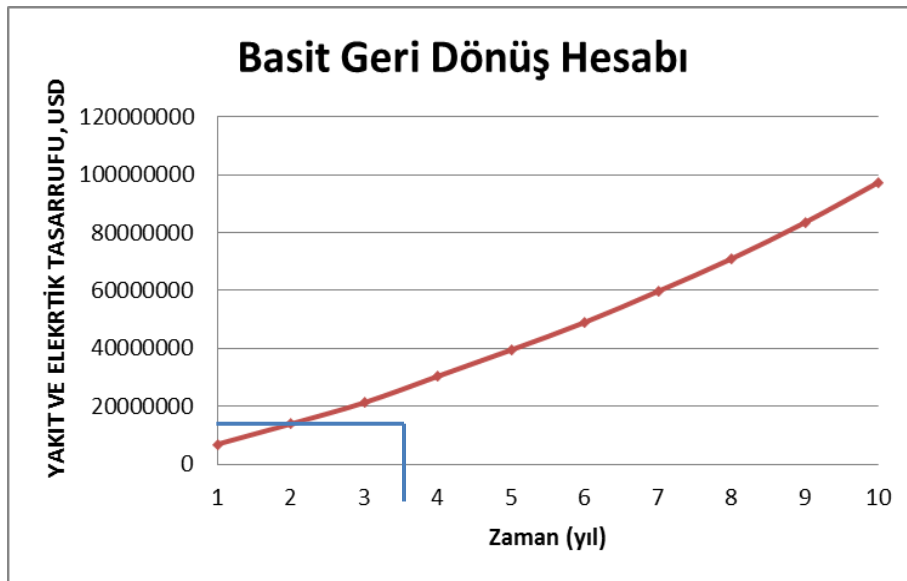
Şekil 7.17. Doğrusal Kestirim Uygulanmış BIG 2 Geri Dönüş Hesabı

## 7.9. BIG 3 Sistemi İçin Geri Dönüş Hesabı

2,4 kWe kapasiteli, BIG 3 sistemi için toplam ilk yatırım maliyeti 2.000.000 USD ve overhol maliyeti 360.000 USD olarak ön görülmektedir. Hesaplar ve yaptığımız kestirimler neticesinde yaklaşık 3.7 yıl sonra ilk yatırım maliyetini geri ödemiştir. Toplam 10 yıl sonunda net tasarrufu ise yaklaşık 9.800.000 USD'dir. Rapor sonucu, 3,5 yıl ile karşılaştırıldığında %6'lık geri dönüş farkı, toplam tasarruf 13.900.000TL ve 1,79USD/TL kuru ile %20 dir.



Şekil 7.18. BIG 3 Geri Dönüş Hesabı [3]

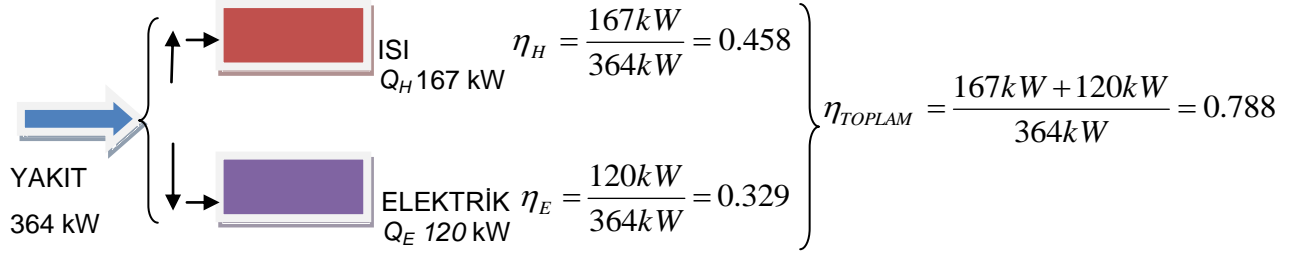


Şekil 7.19. Doğrusal Kestirim Uygulanmış BIG 3 Geri Dönüş Hesabı

Üstte incelenen üç birleşik ısı güç sisteminin geri dönüş süreleri yıl bazında farklılık göstermiştir. Fakat toplam tasarrufları incelendiğinde kestirimin etkisi daha çok görülmektedir.

### 7.10. Kısa Geri Dönüş Hesabı

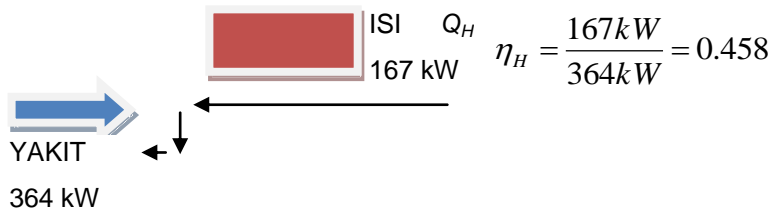
Herhangi bir BIG sisteminde, yakıt tüketimi hesabında sadece ısı üretim verimi veya sadece elektrik üretim verimi kullanılır. Örnek olarak aşağıdaki hesaplamalarda elektrik verimi ve ısı verimi kısmi olarak bulunmuştur. Güç ısı oranı ise verim oranından veya kapasite oranından bulunur.



$$C = \frac{Q_E}{Q_H} = \frac{120}{167} = 0.718 = \frac{\eta_E}{\eta_H} = \frac{0.329}{0.458}$$

Burada 0.458 ve 0.329 kısmi verimlerdir. 0.788 ise toplam verimdir.

Isı gücü ve verimi belli olan bir sistemin yakıt sarfiyatını bulmak için denklemin tersten çözmek gerekir.



Sonuç olarak bir BIG sisteminin yakıt sarfiyatı ya ısı kapasitesi veya elektrik kapasitesi ve ilgili verimleri kullanılarak tek terimle bulunabilir. Birim yakıt fiyatı ( $a$  TL/kW-h), elektrik birim fiyatı ( $b$  TL/kW-h), ısı gücü ( $Q_H$ ),  $C$  (Güç ısı oranı) ve toplam çalışma saati ( $h$  saat) biliniyor ise (Baz yükte: sürekli çalışma, diversite faktörü, kapasite faktörü 1 kabulü ile):

Toplam  $h$  saat sonunda (sabit birim fiyatlar ile) yakıt tüketiminden elde edilecek parasal tasarruf:

Parasal Tasarruf ( $PT$ ):

$$\frac{\text{BIG kullanılmasa (Kazan ve şebeke) toplam yakıt bedeli}}{1} - \frac{\text{BIG yakıt bedeli}}{2} \quad (7-3)$$

Aynı kapasiteler için birinci terim (Kazan+Şebeke Elektriği) ( $YB$ ):

$$YB = h \left[ \frac{a}{0.85} \times Q_H + b \times C \times Q_H \right] \quad (7-4)$$

Burada, 0.85 sayısı ortalama kazan verimidir.

1- Aynı kapasiteler için ikinci terim (BIG) ( $YB_{CHP}$ ):

$$YB_{CHP} = h \left[ \frac{a \times Q_H}{\eta_H} \right] \quad (7-5)$$

Denklem 2'den:

$$YB = h \left[ \frac{a}{0.85} \times 167 + b \times 0.718 \times 167 \right] = h[196.5a + 120b] \quad (7-6)$$

Denklem 1 kullanılarak;

$$PT = h[[196.5a + 120b] - 364a] = h[120b - 167.5a] \quad (7-7)$$

Bir BIG sisteminin kendini ödeyebilmesi için yakıt ve elektrik fiyatlarının arasında belirli bir farkın bulunması gerekir. 7-7 denkleminde  $PT=0$  koşulu için  $(b/a)$  oranı  $(167.5/120=1.4)$ 'den fazla olmalıdır. Örnek olarak  $a$  yaklaşık 0.07 TL/kW-h (Doğal gaz) ve elektrik bedeli de 0.14 TL/kW-h ise  $(b/a=2)$ ; bu fiyat farkında BIG sistemi ekonomik olur ve sonlu bir  $h$  saat sonra kendini ödemiş olur.

$$PT = h[120 \times 0.14 - 167.5 \times 0.07] = +5.07hTL$$

Bu BIG sistemi baz yükte tam kapasite ile çalıştığı her saat başına 5.07 TL kar eder. Eğer BIG sisteminde yıllık Kapasite Faktörü ( $KF$ ) ve baz-yük faktörü ( $BF$ ) bir'den az ise bu değerler de formülde yer alır:

$$PT = h[[196.5a + 120b] - 364a] \times KP \times BY = h[120b - 167.5a] \times KF \times BF \quad (7-9)$$

İlk yatırım maliyeti ( $YM$ ) olan bir BIG sisteminin  $PT$  ile dengeleneceği basit geri ödeme süresi:

$$h = \frac{YM}{PT \times (1 - x)} \quad (7-10)$$

7-10'da  $x$  saatlik parasal tasarruf cinsinden bakım ve onarım maliyetidir.

Bu denklemler kullanılarak her sene için doğrusal kestirim yapılmış fiyatlar kullanılarak tasarruf miktarları ve buna bağlı olarak BIG 1, BIG 2 ve BIG 3 için geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. EK-2'deki geri dönüş sonuçları diğer yöntemlerle mukayese edilmiştir. Geri dönüş hesaplamalarının sonuçları birbirlerine yakın çıkmaktadır.

## 8. SONUÇ

Bu tez çalışmasında mevcut hastanelerde enerji verimliliği açısından Birleşik Isı Güç Soğutma Sistemleri kurulumundaki seçenekler araştırılmıştır. Birleşik ısı ve güç üretimine ilişkin yönerge ve kılavuzlar desteğinde üretilen elektrik enerjisinin hesabı ve güç verimi belirlenmiştir. Akılcı ekserji verimi ve çevresel değerlendirilmesi yapılmıştır. Hastanelerde üçlü üretim sistemi mekanik optimizasyonu yapılarak, meteorolojik veriler ve binanın ısıtma, soğutma, sıcak su ve elektrik yükleri verileri kullanılarak ve sistemin kurulum ve işletim maliyetleri hesaplanmıştır. Enerji ve yakıt fiyatları kestirimleri çeşitli yöntemler ve ölçütler denenerek, optimal kestirim yapılmıştır. Seçilen doğrusal kestirim yönteminin ortalama karesel hatasının eşik değerinden küçük olmasından dolayı özgün verilere en uygun sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Optimum kapasite tayini, hastanelerdeki üçlü üretim sisteminin ön fizibilitesi, ön fizibilite hesaplama ve karşılaştırma programına uygulanarak geri ödeme hesapları yapılmıştır.

Verilerin ve hesaplar neticesi ortaya çıkan tasarımın ekonomik değerlendirmesinde gerekli olan ve 2012 yılından başlayan on yıllık zaman dilimi kapsayan yerel doğal gaz ve elektrik enerjisi fiyat kestirimleri yapılmıştır. Bu kestirimler yardımıyla toplam tasarruf ve yatırımın geri dönüş süresi hesaplanarak, önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Geri dönüş süresi sonuçları  $\pm\%6$ 'lık bir band içerisinde farklılık göstermiştir. Bu farklılığın etkin süreçlerin belirsizliğinden ötürü doğal olarak ortaya çıktığı öngörülmektedir. Kestirim yöntemlerinin ve nümerik hataların bu farklılığa katkısı yadsınamaz.

Grafikler arasındaki eğim farkından anlaşılacağı gibi bu tezde öngörülen geri ödeme süresi %3 ile %6 arasındaki oranlarda farklı çıkmıştır. Geri ödeme süresinin kesin olarak bulunamayacağı çeşitli belirsizliklerden dolayı doğal olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu çalışma ve daha önceki çalışmalar arasındaki farklılık bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda da farklı kestirimlerle bulunabileceğini gösterir. Gerçekçi bir yaklaşım olarak geri ödeme süresinin belli bir aralıkta öngörülmesi önerilmektedir. Bu aralığın saptanması ise çeşitli duyarlılık analizlerinin yapılmasını gerektirir.

## KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] J. A. Orlando, Cogeneration Design Guide, ASHRAE, Atlanta, Georgia, USA 1996 .
- [2] M. Meckler, L. B. Hyman, Sustainable On-Site CHP Sytems, McGraw-Hill, New York, USA, 2010.
- [3] B. Kılış, Ö. Erol, Turgut Özal Tıp Merkezi'nde Enerji Verimli Birlikte Isı/Soğuk ve Güç Sisteminin Kurulmasına İlişkin Proje Danışmanlık Raporu, Başkent Üniversitesi, Ankara, 2011.
- [4] ASHRAE, 2004. ASHRAE Handbook ISITMA, HAVALANDIRMA, IKLIMLENDİRME VE SOĞUTMA Systems and Equipment, Chapter 7, Cogeneration Systems and Engine and Turbine Drives, Atlanta.
- [5] ASTM. 2000. Standard Guide for Specifying Thermal Performance of Geothermal Power Systems, Standard E 974-00.
- [6] CEN/CENELEC. 2005. Workshop Agreement. Manual for Determination of Combined Heat and Power (CHP), CWA 45547.
- [7] CMI. Carbon Mitigation Initiative, Princeton University, <http://www.princeton.edu/~cmi/>
- [8] EC DG TREN. 2006a. Analysis and Guidelines for the Implementation of the CHP Directive 2004/8/EC: Reference Values- Matrix.
- [9] EC DG TREN. 2006-b. Guidelines for the Implementation of the CHP Directive 2004/8/EC: Guidelines for Implementation of Annex II and Annex III, Draft.
- [10] EU. 2004. Directive 2004/8/EC, on the Promotion of Cogeneration Based on Useful Heat Demand in the Internal Energy Market and Amending Directive 92/42/EEC. EU Official Journal, L52/50, Vol. 47, pp. 50-60.
- [11] Kılış, Ş. 2007-a. Development of a Rational Exergy Management Model to Reduce CO2 Emissions with Global Exergy Matches, Honors Thesis, Georgetown University, 112p.
- [12] Kılış, Ş. 2007-b, A Rational Exergy Management Model for Curbing CO2 Emissions, ASHRAE Transactions, ASHRAE: Atlanta.



- [13] Kılış, I. B. ve C. Güngör. 2000. Düşük Entalpili Alternatif Enerji Kaynaklarının Bölge Isıtma ve Soğutmasında Etkin Kullanımı, Tebliğler Kitabı, s. 731-738, Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 15-17 Kasım, İstanbul, Türkiye.
- [14] Kılış, I. B. 2002. Environmental Economy of Low-Enthalpy Energy Resources in District Energy Systems, ASHRAE Transactions, Vol. 108, Part 2, pp. 580-588.
- [15] Kılış, I. B. ve Kılış, Ş. 2007. Upgrading Directive 2004/8/EC with Rational Exergy Model, ASHRAE Transactions, ASHRAE: Atlanta.
- [16] Nuno, A. M., Eliseu, M. and Salvador, M. 2007. Portuguese Start-transposition of the EU Cogeneration Directive, Cogeneration and On-site Power Production, January-February 2007, pp. 45-51.
- [17] OECD. 2006. Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050: in Support of the G8 Plan of Action/IEA, Paris: OECD/IEA, 479 p.
- [18] Kılış, I. B., Erol, Ö. ve Bayram, D., A Tri-Generation Retrofit Towards Green Hospitals, International Green Energy Conference-VI (IGEC-VI), Haziran 5-9, 2011, Eskişehir, Türkiye.
- [19] Renedo C. J., Ortiz A., Mañana M., Pérez S. and Carcedo J., D., Cogeneration in a Hospital: a case Study, ESTI Industriales y Telecomunicación, University of Cantabria Av Los Castros s/n, 39005 Santander, Spain.
- [20] <http://www.mgm.gov.tr>

## **ÖZGEÇMİŞ**

Yazar 1983 yılında Ankara'da doğdu. İlkokul eğitimini Aykan Koleji, ortaokul ve lise eğitimini Büyük Kolej'de tamamladı. 2001-2006 yılları arasında lisans öğrenimini Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olarak tamamlamıştır. 2009 yılında başladığı yüksek lisans eğitimini Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda sürdürmektedir.

## EK-1 MATLAB Kestirim Programı Çıktıları

```
clear all;
clc;
close all;
fid = fopen('elektrik.txt');
E = fscanf(fid, '%f');
fclose(fid);
fid2 = fopen('dogalgaz_1.txt');
D = fscanf(fid2, '%f');
fclose(fid2);
siz=length(D);
CC = E;
CC2 = D;
degree = 17;

for i=1:siz-1;
aw = lpc(E,degree);
est_x2 = filter([0 -aw(2:end)],1,E); % Estimated signal
est_x4 = est_x2(siz/2+1:siz);
est_x2(i)= est_x2(i+1);
e2 = E - est_x2;% Prediction error
[acs2,lags2] = xcorr(e2,'coeff'); % ACS of prediction error
en2(i)=norm(e2);
aw = lpc(D,degree);
est_x3 = filter([0 -aw(2:end)],1,D); % Estimated signal
est_x6 = est_x3(siz/2+1:siz);
est_x3(i)= est_x3(i+1)
e3 = D - est_x3; % Prediction error
[acs3,lags3] = xcorr(e3,'coeff'); % ACS of prediction error
en3(i)=norm(e3);
end;
for d=1:siz/2-1;
CC(siz+d) = est_x2(siz);
aww = lpc(CC(d+1:end),degree);
est_x2 = filter([0 -aww(2:end)],1,CC(d+1:end));
end;
for d=1:siz/2-1;
CC2(siz+d) = est_x3(siz);
aww = lpc(CC2(d+1:end),degree);
est_x3 = filter([0 -aww(2:end)],1,CC2(d+1:end));
end;
CC = CC';
t=0:siz-1;
```

```

t=t';
na = 1;
nb = 1;
sys = armax(E,[na nb]);
yp = predict(sys,E,3);
EKSTEP = yp{1,1};
C = est_x3./est_x2;
figure(5);
plot(E./D);
title('Geçmiş 12 Yıl Elektrik / Doğal gaz Oranı');
ED = est_x2./est_x3;
figure(6);
plot([1:120],ED(25:end,1));
axis([0 120 0.03 0.05]);
title('Gelecek 10 Yıl Elektrik / Doğal gaz Oranı');
figure(7);
plot([1:120],est_x2(25:end,1));
figure(8);
plot(t,E,t+(siz-1),est_x2);
figure(9);
plot([1:120],est_x3(25:end,1));
figure(10);
plot(t,D/10,t+(siz-1),est_x3);
figure(11);
plot(est_x2/est_x3);

```

EK-2 BIG 1,2 ve 3 İçin Doğrusal Kestirim Uygulanmış Geri Dönüş Hesap Tabloları

BIG 1														
TAHMINİĞÖĞL GAZ VE ELEKTRİK FİYATLARI TL/kWh														
Yıllar	ELEKTRİK				D. GAZ		ORT/DG	TASARRUF* USD		İşletme M** USD	Toplam Maliyet USD	Net Toplam Tasaruf USD/yl	KümülatifTasaruf (Brüt) USD	
	ORT	P	GE	GU	DG	DG		KIŞ	YAZ					
1	2012	0,3078	0,57009	0,1321	0,3109	0,15512	1,985	4936465	5948449	199629	493647	5430111,582	717966,4791	717966
2	2013	0,3109	0,57581	0,1334	0,3140	0,16281	1,910	5181363	6114436	202715	518136	5699499,077	617652,0329	1335619
3	2014	0,3251	0,60201	0,1395	0,3283	0,16855	1,929	5364092	6363772	211644	536409	5900500,873	674915,2988	2010534
4	2015	0,4022	0,74482	0,1725	0,4062	0,21417	1,878	6815949	7971011	262846	681595	7497544,123	736312,4678	2746846
5	2016	0,4125	0,76395	0,1770	0,4167	0,18769	2,198	5973325	7621950	263953	597323	6570547,701	1315355,386	4062202
6	2017	0,4293	0,79502	0,1842	0,4336	0,19811	2,167	6304746	7980116	275178	630475	6935220,087	1320073,982	5382276
7	2018	0,4839	0,89615	0,2076	0,4888	0,22794	2,123	7254071	9075398	311000	725407	7979478,643	1406919,099	6789195
8	2019	0,5040	0,93328	0,2162	0,5090	0,24496	2,057	7795623	9582571	325223	779562	8575185,122	1332608,339	8121803
9	2020	0,5577	1,03269	0,2392	0,5632	0,2825	1,974	8990283	10801512	361885	899028	9889310,765	1274086,571	9395890
10	2021	0,6174	1,14335	0,2649	0,6236	0,31293	1,973	9958646	11961684	400692	995865	10954510,36	1407865,11	10803755

BIG 2														
TAHMINİĞÖĞL GAZ VE ELEKTRİK FİYATLARI TL/kWh														
Yıllar	ELEKTRİK				D. GAZ		ORT/DG	TASARRUF* USD		İşletme M** USD	Toplam Maliyet USD	Net Toplam Tasaruf USD/yl	KümülatifTasaruf (Brüt) USD	
	ORT	P	GE	GU	DG	DG		KIŞ	YAZ					
1	2012	0,3078	0,57009	0,1321	0,3109	0,15512	1,985	5835719	6704897	526342	583572	6419291	811948	811948
2	2013	0,3109	0,57581	0,1334	0,3140	0,16281	1,910	6125229	6891339	535523	612523	6737752	689109,7	1501058
3	2014	0,3251	0,60201	0,1395	0,3283	0,16855	1,929	6341245	7172530	558828	634124	6975369	755989,1	2257047
4	2015	0,4022	0,74482	0,1725	0,4062	0,21417	1,878	8057581	8983437	694976	805758	8863339	815074,7	3072121
5	2016	0,4125	0,76395	0,1770	0,4167	0,18769	2,198	7061341	8593360	692509	706134	7767475	1518394	4590516
6	2017	0,4293	0,79502	0,1842	0,4336	0,19811	2,167	7453253	8996864	722439	745325	8198579	1520725	6111241
7	2018	0,4839	0,89615	0,2076	0,4888	0,22794	2,123	8575514	10231184	817279	857551	9433065	1615398	7726639
8	2019	0,5040	0,93328	0,2162	0,5090	0,24496	2,057	9215717	10802117	855955	921572	10137289	1520783	9247422
9	2020	0,5577	1,03269	0,2392	0,5632	0,2825	1,974	10628003	12174951	954403	1062800	11690803	1438551	10685973
10	2021	0,6174	1,14335	0,2649	0,6236	0,31293	1,973	11772769	13482625	1056774	1177277	12950045	1589353	12275326

BIG 3														
TAHMINİ DOĞL GAZ VE ELEKTRİK FİYATLARI TL/kWh														
Yıllar	ELEKTRİK				D. GAZ		ORT/DG	TASARRUF* USD		İşletme M** USD	Toplam Maliyet USD	Net Toplam Tasaruf USD/yl	KümülatifTasaruf (Brüt) USD	
	ORT	P	GE	GU	DG	DG		KIŞ	YAZ					
1	2012	0,3078	0,57009	0,1321	0,3109	0,15512	1,985	3018475	9699382	526342	301848	3320323	6905400	6905400
2	2013	0,3109	0,57581	0,1334	0,3140	0,16281	1,910	3168222	9970035	535523	316822	3485044	7020514	13925915
3	2014	0,3251	0,60201	0,1395	0,3283	0,16855	1,929	3279954	10376597	558828	327995	3607950	7327475	21253390
4	2015	0,4022	0,74482	0,1725	0,4062	0,21417	1,878	4167714	12997317	694976	416771	4584486	9107808	30361198
5	2016	0,4125	0,76395	0,1770	0,4167	0,18769	2,198	3652418	12428148	692509	365242	4017660	9102997	39464195
6	2017	0,4293	0,79502	0,1842	0,4336	0,19811	2,167	3855131	13012163	722439	385513	4240644	9493959	48958154
7	2018	0,4839	0,89615	0,2076	0,4888	0,22794	2,123	4435611	14798102	817279	443561	4879172	10736209	59694363
8	2019	0,5040	0,93328	0,2162	0,5090	0,24496	2,057	4766750	15625084	855955	476675	5243425	11237614	70931976
9	2020	0,5577	1,03269	0,2392	0,5632	0,2825	1,974	5497243	17612656	954403	549724	6046967	12520093	83452069
10	2021	0,6174	1,14335	0,2649	0,6236	0,31293	1,973	6089363	19504402	1056774	608936	6698299	13862876	97314946