

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKROTÜRBİNLERİN İNCELENMESİ VE  
OPTİMİZASYONU**

Makina Mühendisi Sezgin ŞAH

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı** : Yard. Doç Dr. Handan ÇUBUK (YTÜ)

Jüri: Prof. Dr. İsmail Teke (YTÜ)

Yard. Doç. Dr. Nur Bekiroğlu (YTÜ)

**İSTANBUL, 2009**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTIMA LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
3. KONUTLARDA KOJENERASYON SİSTEMLERİ.....	6
3.1 Mikrotürbinli Kojenerasyon Sistemleri .....	7
3.2 Mikrotürbin Elemanları ve Çalışma Prensipleri .....	10
4. METODOLOJİ.....	13
4.1 Bölgeler ve Örnek İller .....	14
4.2 Örnek Bina ve Binanın Isı Kaybı.....	16
4.2.1 Örnek Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı .....	18
4.2.2 Örnek Binanın Isıtma Enerjisi İhtiyacı .....	18
4.3 Binanın Sıcak Kullanım Suyu İhtiyacı .....	21
4.4 Örnek Binanın Toplam Isı Enerjisi İhtiyacı.....	26
4.5 Örnek Bina için Mikrotürbin Uygulaması.....	27
4.5.1 Başabaş Analizi .....	32
4.5.2 Yıllık Kar/Zarar Hesabı .....	39
4.6 Finansal Analiz .....	41
5. ÖRNEK İLLER İÇİN UYGULAMALAR.....	43
5.1 C30 Mikrotürbinli Sistemin Uygulanması .....	43
5.1.1 C30 - Birinci Bölge Antalya İçin Uygulama .....	43
5.1.2 C30 - İkinci Bölge İstanbul İçin Uygulama.....	44
5.1.3 C30 - Üçüncü Bölge Ankara İçin Uygulama.....	45
5.1.4 C30 - Dördüncü Bölge Erzurum İçin Uygulama.....	46
5.1.5 C30 - Tüm Bölge Ortalamalarının İncelenmesi.....	47
5.1.6 C30 - Tüm Bölgeler İçin Yatırım Modeline Göre İnceleme .....	48
5.2 C65 Mikrotürbinli Sistemin Uygulanması .....	50

5.2.1	C65 - Birinci Bölge Antalya İçin Uygulama .....	50
5.2.2	C65 - İkinci Bölge İstanbul İçin Uygulama.....	51
5.2.3	C65 - Üçüncü Bölge Ankara İçin Uygulama.....	52
5.2.4	C65 - Dördüncü Bölge Erzurum İçin Uygulama.....	53
5.2.5	C65 - Tüm Bölge Ortalamalarının İncelenmesi.....	54
5.2.6	C65 - Tüm Bölgeler İçin Yatırım Modeline Göre İnceleme .....	55
5.3	C65 - Tüm Bölgeler, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları.....	56
6.	SONUÇLAR.....	59
6.1	C30 ve C65 Mikrotürbinli Sistem Uygulamalarının Bölgelere Göre Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	60
6.2	Tüm Bölge Ortalamaları İncelendiğinde C30 Mikrotürbinli Sistem Uygulaması Sonuçları.....	61
6.3	Tüm Bölge Ortalamaları İncelendiğinde C65 Mikrotürbinli Sistem Uygulaması Sonuçları.....	62
6.4	C30 ve C65 Mikrotürbinli Sistemlerinin Tüm Bölgeler İçin Yatırım Modeline Göre Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	62
6.5	C65 Mikrotürbinli Sistemin 8 Blok 15 Katlı Yapılar İçin Tüm Bölgelere Göre Optimizasyonu Sonuçları.....	63
	KAYNAKLAR.....	64
	İNTERNET KAYNAKLARI.....	64
	EKLER .....	65
	Ek 1a 5 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı.....	66
	Ek 1b 10 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı .....	67
	Ek 1c 15 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı.....	68
	Ek 2 Binaların Kullanım Sıcak Suyu için Gerekli Kazan, Isıl Enerji ve Boyler İhtiyacı.....	69
	Ek 3a C30 Mikrotürbinli Sistemin I. Bölge - Antalya Hesap Sonuç Tabloları .....	75
	Ek 3b C30 Mikrotürbinli Sistemin II. Bölge - İstanbul Hesap Sonuç Tabloları .....	76
	Ek 3c C30 Mikrotürbinli Sistemin III. Bölge - Ankara Hesap Sonuç Tabloları .....	77
	Ek 3d C30 Mikrotürbinli Sistemin IV. Bölge - Erzurum Hesap Sonuç Tabloları.....	78
	Ek 4a C65 Mikrotürbinli Sistemin I. Bölge - Antalya Hesap Sonuç Tabloları.....	79
	Ek 4b C65 Mikrotürbinli Sistemin II. Bölge - İstanbul Hesap Sonuç Tabloları .....	80
	Ek 4c C65 Mikrotürbinli Sistemin III. Bölge - Ankara Hesap Sonuç Tabloları .....	81
	Ek 4d C65 Mikrotürbinli Sistemin IV. Bölge - Erzurum Hesap Sonuç Tabloları.....	82
	ÖZGEÇMİŞ.....	83

## SİMGE LİSTESİ

$c_s$	Suyun ısınma ısısı (1 kCal/kg·°C)
$F_n$	Net nakit girişi (TL)
$g$	Enflasyon oranı (%)
$H$	Binanın özgül ısı kaybı (W/m <sup>2</sup> )
$H_i$	İletim yolu ile gerçekleşen ısı kaybı
$H_h$	Havalandırma yolu ile gerçekleşen ısı kaybı
$H_n$	Hurda değeri (TL)
$i$	Faiz oranı (%)
$KKF_{\text{gün}}$	Kazançlar için günlük kullanım faktörü
$M_n$	Yatırım tutarı (TL)
$n$	Yatırımın ekonomik ömrü (yıl)
$Q_{\text{max}}$	Bina için gerekli maksimum ısı gücü (kW)
$Q_{\text{egzoz}}$	Türbin egzoz gazı ısı kapasitesi (kW)
$Q_{\text{gün}}$	Günlük ısıtma enerjisi ihtiyacı (kW)
$Q_h$	Kazanın toplam ısı yükünü (kW)
$Q_{\text{ısı}}$	Türbinlerin ısı kapasitesi (kW)
$Q_k$	Gerekli kazan gücü (kW)
$r$	Gerçek getiri oranı (%)
$T_i, T_d$	Günlük ortalama iç ve dış sıcaklıklar (°C)
$T_{ks}$	Kullanım sıcak suyu sıcaklığı (°C)
$T_{ss}$	Şebeke suyu sıcaklığı (°C)
$V_{\text{max}}$	1 saatte maksimum sıcak su ihtiyacı (l/h)
$Z_A$	Boylerin ısınma süresi (h)
$Z_B$	Kullanma süresi (h)
$Z_R$	Kazan ısı yükü artırım katsayısı (h)
$\varphi_n$	Eş zaman faktörü
$\rho_s$	Su yoğunluğu (1 kg/l) $\Phi$
$\eta_k$	Kazan verimi
$\varepsilon$	ATK etkinlik değeri
$\Phi_{i,\text{gün}}$	Günlük ortalama iç enerjisi kazançları
$\Phi_{g,\text{gün}}$	Günlük ortalama güneş enerjisi kazançları
$t$	Zaman

## KISALTMA LİSTESİ

BEYM	Birim Enerji Yatırım Maliyeti
BGMY	Birim Güç Başına Yatırım Maliyeti
EABF	Elektrik Alış Birim Fiyatı
EIO	Elektrik Isı Oranı
ESBF	Elektrik Satış Birim Fiyatı
CHP	Bileşik Isı ve Güç (Combine Heat and Power)
HHV	Üst Isıl Değer (Higher Heating Value)
HPNG	Yüksek Basıncılı Doğalgaz (High Pressure Natural Gas)
ISBF	Isı Satış Birim Fiyatı
LHV	Alt Isıl Değer (Lower Heating Value)
LPNG	Düşük Basıncılı Doğalgaz (Low Pressure Natural Gas)
NBD	Net Bugünkü Değer
NS	Net Satış
TS	Toplam Satış
YB	Yenileme Maliyeti

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Türkiye'nin enerji talebi (1974-2004).....	1
Şekil 3.1 Capstone C65 mikrotürbinli kojenerasyon tesisi (Fritolay, Kocaeli).....	6
Şekil 3.2 Capstone C30 mikrotürbini için biyo-yakıt deney düzeneği (BME üniversitesi, Jendrassik Isı Lab., Macaristan).....	9
Şekil 3.3 Capstone C30 mikrotürbini türbin kutusu ve diğer elemanları (BME Üniversitesi, Jendrassik Isı Lab., Macaristan).....	11
Şekil 3.4 Reküperatörlü mikro-gaztürbini ile kojenerasyon.....	12
Şekil 4.1 Günlük dış hava sıcaklık ortalamaları, Antalya - 2008 .....	14
Şekil 4.2 Günlük dış hava sıcaklık ortalamaları, İstanbul - 2008.....	15
Şekil 4.3 Günlük dış hava sıcaklık ortalamaları, Ankara - 2008.....	15
Şekil 4.4 Günlük dış hava sıcaklık ortalamaları, Erzurum - 2008.....	15
Şekil 4.5 Bölgelerin günlük sıcaklık farkları.....	16
Şekil 4.6 C30 mikrotürbinde elektriksel ve ısıl gücün ortam sıcaklığına göre değişimi.....	29
Şekil 4.7 C65 mikrotürbinde elektriksel ve ısıl gücün ortam sıcaklığına göre değişimi.....	30
Şekil 4.8 C30 mikrotürbinin deniz seviyesinde elektriksel ve ısıl veriminin ortam sıcaklığına göre değişimi.....	31
Şekil 4.9 C65 mikrotürbinin deniz seviyesinde elektriksel ve ısıl verimini ortam sıcaklığına göre değişimi.....	31
Şekil 4.10 C30 Mikrotürbinli sistemin Kar - Oransal Çalışma başabaş analizi .....	37
Şekil 4.11 C65 Mikrotürbinli sistemin Kar - Oransal Çalışma başabaş analizi .....	37
Şekil 5.1 C30 Mikrotürbinli Sisteminin Antalya için Sonuçları .....	43
Şekil 5.2 C30 Mikrotürbinli Sisteminin İstanbul için Sonuçları .....	44
Şekil 5.3 C30 Mikrotürbinli Sisteminin Ankara için Sonuçları .....	45
Şekil 5.4 C30 Mikrotürbinli Sisteminin Erzurum için Sonuçları .....	46
Şekil 5.5 C30 Mikrotürbinli Sisteminin 5, 10, 15 Kat Yüksekliklerine göre Ortalamalar.....	47
Şekil 5.6 C30 Mikrotürbinli Sistemin Tüm Bölgelerde Tek Dönem Yenilemesiz Sonuçları ..	48
Şekil 5.7 C30 Mikrotürbinli Sistemin Tüm Bölgelerde Çift Dönem Yenilemeli Sonuçları ....	48
Şekil 5.8 C65 Mikrotürbinli Sisteminin Antalya için Sonuçları .....	50
Şekil 5.9 C65 Mikrotürbinli Sisteminin İstanbul için Sonuçları .....	51
Şekil 5.10 C65 Mikrotürbinli Sisteminin Ankara için Sonuçları .....	52
Şekil 5.11 C65 Mikrotürbinli Sisteminin Erzurum için Sonuçları .....	53
Şekil 5.12 C65 Mikrotürbinli Sisteminin 5, 10, 15 Kat Yüksekliklerine göre Ortalamalar.....	54
Şekil 5.13 C65 Mikrotürbinli Sistemin Tüm Bölgelerde Tek Dönem Yenilemesiz Sonuçları	55

Şekil 5.14 C65 Mikrotürbinli Sistemin Tüm Bölgelerde Çift Dönem Yenilemeli Sonuçları ..	55
Şekil 5.15 C65 - I Bölge - Antalya, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları.....	56
Şekil 5.16 C65 - II Bölge - İstanbul, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları .....	57
Şekil 5.17 C65 - III Bölge - Ankara, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları .....	57
Şekil 5.18 C65 - IV Bölge - Erzurum, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları...	58

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Sektörlere göre doğal gaz tüketimi Türkiye (2006) .....	2
Çizelge 3.1 Bazı mikrotürbin firmaları ve kapasiteleri .....	8
Çizelge 4.1 Örnek binaların fiziksel özellikleri.....	17
Çizelge 4.2 Blokların kat sayılarına göre özgül ısı kaybı ve iç ısı kazancı .....	19
Çizelge 4.3 Blokların güneş enerjisi ısı kazancı – 5 katlı bina.....	20
Çizelge 4.4 Blokların güneş enerjisi ısı kazancı – 10 katlı bina.....	20
Çizelge 4.5 Blokların güneş enerjisi ısı kazancı – 15 katlı bina.....	21
Çizelge 4.6 Konutlar için sıcak su kullanımı.....	22
Çizelge 4.7 Binaların boyler su debileri ve tüketim değerleri.....	23
Çizelge 4.8 İllerin aylık ortalama şebeke su sıcaklıkları .....	24
Çizelge 4.9 Bölgelere göre binaların boyler ve kazan kapasiteleri .....	24
Çizelge 4.10 Bölgelere göre binaların sıcak su enerji gereksinimi .....	25
Çizelge 4.11 Binanın toplam günlük enerji ihtiyacı hesabı.....	26
Çizelge 4.12 Capstone C30 ve C65 model mikrotürbinlerin ISO şartlarında performans verileri (şebekeye bağlı/ada modunda) .....	27
Çizelge 4.13 Mikrotürbin fiyatları ve kurulum maliyetleri .....	32
Çizelge 4.14 Başabaş analiz hesaplama çizelgesi (C30 mikrotürbini).....	35
Çizelge 4.15 Başabaş analiz hesaplama çizelgesi (C65 mikrotürbini).....	36
Çizelge 4.16 Mikrotürbinli sistem ve eş çalıştırma hesap çizelgesi .....	38
Çizelge 4.17 Günlük kar – zarar hesabı.....	40
Çizelge 4.18 Net bugünkü değer girdileri (C30, Erzurum, 15 katlı bina).....	41
Çizelge 4.19 Net bugünkü değer çıktıları (C30, Erzurum, 15 katlı bina) .....	42

## ÖNSÖZ

Mikrotürbinler özellikle ABD’de olmak üzere Avrupa’da birçok sektörde kullanım şansı bulmaktadır. Fakat 2009 yılı itibariyle Türkiye’de birkaç fabrika dışında kullanım şansı bulamamışlardır. Türkiye’de enerji üretimi ve enerji verimliliği yakın zamana kadar pek gündeme gelen konular değildi. Fakat global enerji krizleri, işçilik maliyetleri gibi girdilerin artması, global çevre kirliliklerini önleme yolunda getirilen kısıtlamalar, otoriteleri bu konuda bir önlem almaya itmiştir. Özellikle son yıllarda Türkiye’de enerji kullanımı ve enerji verimliliği konuları gündemi oluşturmakta, özel ve kamusal kurumlar önümüzdeki ilk beş yıl için bir strateji planı oluşturmaktalar. Yeni enerji verimliliği yasası ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda faaliyet gösteren firma sayılarındaki artış bu konuya ilginin büyüklüğünü göstermektedir.

Mikrotürbinler mahalde elektrik üretimi sağlayan uygulaması ve işletmesi kolay fakat pahalı sistemlerdir. Fosil yakıtlarla olduğu kadar biyoyakıtlarla kullanılabilme avantajı ile çevreye dost sistemler olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerin hem enerji üretimi ve kullanımı konularında hem de enerji verimliliği konularında elektrik ve ısı enerjinin ayrı ayrı üretilmesine göre büyük üstünlük sağladığını söyleyebiliriz. Mikrotürbinli ısı ve güç santrali sistemleri şebekeye bağımlılığı azaltarak kaynaktan üretilen enerji ihtiyacını düşürecektir. Bu da iletim ve dağıtımla kaybolan enerjiyi ve iletim hatlarının üzerindeki yükü düşürerek devletin bu konuda daha az yatırım ve işletme harcaması yapmasını sağlayarak ülkenin ekonomik gelişmesine katkıda bulunacaktır.. Enerji hatlarındaki voltaj dalgalanmaları düşürerek cihazlarımızın daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Tabiki daha da önemlisi verimsiz yada düşük verimli termik santrallerde daha az bir enerji talebi ile bu santrallerin çevreye karbon salınımlarını düşürecektir.

Konutlar ve ticari yapılar mikrotürbinli ısı ve güç santralleri için iyi birer uygulama alanıdır. Devlet teşviki, üretici firmaların kullanıcıları iyi bilgilendirmesi ve iyi bir satış sonrası hizmet ile yakın zamanda bu sistemleri yaşamımızın her alanında çokça göreceğimizi düşünmekteyim.

Tez çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Sayın Yard. Doç. Dr. Handan Çubuk’a, tez süresince çalışmalarımı değerlendiren ve beni yönlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Teke’ye, teknik birçok konuda bilgilerini benimle paylaşan Sayın Yard. Doç. Dr. Derya B. Tümer Özkan’a, manevi desteğini eksik etmeyerek beni motive eden sayın Dr. Özden Ağra’ya ve Arş. Gör. Özlem Emanet’e ayrı ayrı teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında büyük sabır ve anlayışla bana sürekli destek veren, motive eden, sevgili annem Ferize Şah’a, doğduğum günden itibaren bana en iyi şartları sağlamak için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan babam Bereket Şah’a teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Enerji santrallerinde üretilen elektrik nihai kullanım noktasına ulaşana kadar kayıplara uğramaktadır. Bu kayıplar elektriğin üretildiği enerji santralinde termal kayıplar, dağıtım hatlarında trafo ve iletim kayıpları olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle enerji konusunda artan fiyatlara karşın endüstri kendi elektriğini üretme arayışı içerisine gitmiştir. Yeterli termal yüke ve elektrik talebine göre kuracağı santrali mikro yada makro olarak boyutlandırmaktadırlar.

Kurulacak sistemin boyutu enerjiyi en verimli kullanabilen ve santrali minimum atıl zamanla kullanabilen bir tasarım optimizasyonu ile belirlenmektedir. Bu çalışmada mikro ölçekli bir kojenerasyon sisteminin toplu konutlarda kullanılması durumunda sistemin teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır.

Yapısal karakteristikler bina tipi, boyutu ve sıcak su kullanımı olarak, bölgesel karakteristikler ise rakım ve dış hava sıcaklıkları olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de dört farklı bölgede uygulama durumları incelenmiştir. Yatırım ve işletme maliyetleri hesaba katılarak sistemin fizibilite çalışması yapılmıştır. Proje ömrü ekonomik analizleri Net Bugünkü Değer hesap metodu ile hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro-kojenerasyon, mikrotürbinler, binalarda mikrotürbinli sistemler, optimizasyon.

## **ABSTRACT**

Energy produced at the power plant has losses until it reaches the end-use site. Approximately two thirds of source energy is lost on the way. These are thermal losses at the power plant and losses in transmission and distribution systems. Energy prices are constantly rising. Energy security is another major issue for industry. All these aspects force industries to produce their own energy onsite.

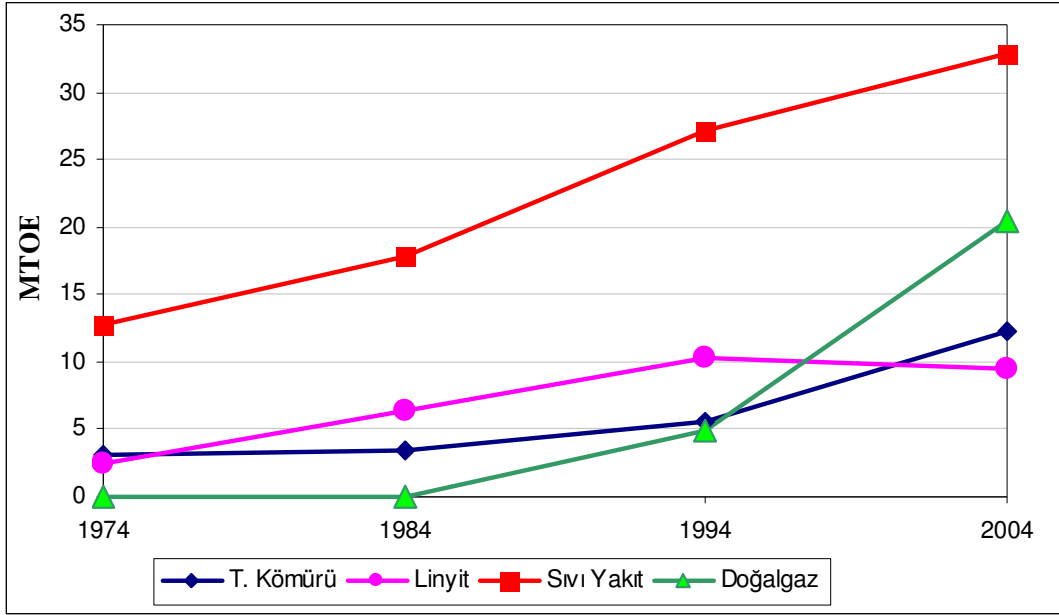
The best common use of source energy is the production of combined heat and power (CHP). To optimize return on investment, systems are sized to have maximum utilization and minimum idle time. This study carries out technical and economical analyses of the microturbine system for use in multi block residential buildings.

Construction characteristics appear as building type, dimensions and use of domestic hot water. Regional characteristics appear as altitude and ambient temperature. A detailed study considering the electrical and thermal energy needs of residential buildings located in four different regions in Turkey was carried out. Investment and operational costs are taken into account in calculating the feasibility of the project. In this study the net present value method is used for detailed life cycle cost economic analysis.

**Keywords:** Micro-cogeneration, microturbines, microturbine systems in buildings, optimization.

## 1. GİRİŞ

Türkiye, dinamik ekonomik gelişmeye ve hızlı bir popülasyon artışına sahiptir. Türkiye ayrıca makro-ekonomik ve özellikle finansal kararsızlığa sahiptir. Bu faktörlerin etkisi her yıl Türkiye'nin enerji talebini daha da arttırmakta ve artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir. Fakat bu büyüme gereksinimini karşılayacak gerekli yatırımlar beklenen seviyede olmayacaktır. 1990 yılından buyana, enerji tüketimi yıllık ortalama %4,3 oranında artmıştır (Akpınar vd., 2008).



Şekil 3.1 Türkiye'nin enerji talebi (1974-2004)

2007 yılında Türkiye'de elektrik üretimi 176 TWh, kurulu güç ise 42.053 MW olmuştur. Elektriğin %80,3'ü doğal gaz, kömür ve sıvı yakıtlı termik güç santrallerinden, %19,5'i hidroelektrik güç santrallerinden ve %0,2'lik kısmı rüzgar ve jeotermal enerjiden üretilmiştir. Kullanıcılara dağıtılan elektriğin ise yaklaşık %22'si dağıtım hatlarında kaybolmaktadır.

İstanbul'un ısıtma, kullanım sıcak suyu ve pişirme için gerekli enerji doğal gaz ve sıvı yakıtlardan karşılanmaktadır. Özet olarak enerji üretiminin %73,2'si ve ısıtma, kullanım sıcak suyu ve pişirme için kullanılan termal enerji gereksinimlerinin %100'ü özellikle doğal gaz olmak üzere fosil yakıtlar ile karşılanmaktadır (Sah ve Cubuk, 2008)

Türkiye bir çok enerji kaynaklarına sahip olmasına rağmen, bu enerji kaynakları sınırlıdır. Taşkömürü, linyit, asfaltit, petrol ürünleri, doğal gaz, hidroelektrik enerji ve jeotermal enerji Türkiye'nin temel enerji kaynaklarıdır. Türkiye'nin birincil enerji kaynakları fosil yakıtlardır. Buna rağmen enerji üretim seviyesi çok düşüktür. Kömür, Türkiye'nin ana enerji kaynağıdır.

En önemli kaynak linyit kömürüdür. Ne yazık ki kömürün düşük kalitede olması yani sülfür ve toz içeriğinin fazla olması çevresel sorunlara neden olmaktadır (Arıkol vd., 1984).

Son yıllarda Türkiye'nin yakıt tüketimi ve enerji talebi gitikçe artmaktadır. Şu anda Türkiye'nin enerji kullanımının yarısı petrol ve doğal gazdır. Petrol toplam birincil enerji tüketiminde %44 ile en büyük paya, doğal gaz ise %17'lik paya sahiptir ve bu pay sürekli bir şekilde artmaktadır (Sözen, ve Arcaklıoğlu, 2007).

Doğalgaz tüketimi 1987 yılında başlamış ve özellikle 1990'lı yılların ortalarında bu kullanım hızlıca artmıştır.

Çizelge 1.1 Sektörlere göre doğal gaz tüketimi Türkiye (2006)

Sektörler	Doğalgaz Tüketimi (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	Dağılım (%)
Güç Üretimi	13.226	59,8
Gübre Üretimi	0,527	2,4
Endüstri	3.891	17,6
Konutlar	4.462	20,2
Toplam	22.108	100

Türkiye'nin iç kaynaklı doğal gaz üretimi toplam gaz talebinin %3 ila %6'sını karşılamaktadır. Bu sebepten dolayı ülke neredeyse tamamen ithal gaza bağımlıdır. Türkiye'nin birincil enerji kaynakları enerji talebini karşılamaya yetecek kadar değildir. Toplam enerji tüketiminin yaklaşık %74'ü ithal edilmektedir [1].

Son yıllarda tasarım, üretim ve işletme konularında yapılan geliştirmeler ile mikrotürbinler mahalde elektrik üretimi ve binaların termal enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil yakıtların tüketiminin azaltılması konusunda mükemmel birer adaydır [2].

Diğer yandan enerji kaynaklarını çevreye olan etkilerinden bağımsız bir şekilde değerlendirmek mümkün değildir. Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları atmosferin kirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Birçok gelişmiş ülkede kömür yanmasından kaynaklanan zararlı hava kirleticilerinin emisyonları yetersiz çevresel yönetmelikler için önemli bir konu olmaya başlamıştır. Bu kirleticiler son on yılda bir çok önemli araştırmanın konusu olmaktadır [3].

Bu çalışmada her biri 4 daireden oluşan 5, 10 ve 15 katlı binaların ve 1 bloktan 8 bloka kadar bina adedine sahip toplu konutların dört farklı iklim bölgesinde ısı ihtiyaçları hesaplanmış, bu ısı ihtiyacını karşılayacak mikrotürbinli kojenerasyon sistemi uygulandığı kabul edilmiş ve mikrotürbinli kojenerasyon sisteminin proje ömrü boyunca karlılık analizi yapılmıştır. Mikrotürbinli sistemin 30 kW ve 65 kW elektrik çıkışına sahip aynı marka mikrotürbinlerden oluştuğu kabul edilmiştir. Mikrotürbinli kojenerasyonun daire başına düşen karı hesaplanarak sistemin optimizasyonu yapılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kaikko vd. (2005), çalışmalarında kombine ısı ve güç santrallerinde kullanılan mikrotürbinlerin teknik ve ekonomik analizlerini yapmışlardır. Yapılan çalışmada mikrotürbin elektrik yükünü takip ederek gerekli olan elektrik enerjisini karşılar ve mevcut kazan için ısı üretir. Kısmi yüklerde çalışan mikrotürbinlerin güç kontrol metotları ve reküperasyonun etkisi performans analizi ile ortaya çıkarılmıştır. Kontrol metotları, türbin giriş sıcaklığı ve shaft dönüş hızı gibi kontrol parametrelerini içermektedir. Bir mikrotürbin için sürekli rejim modelleri gerçeğe uygun bileşenleri ile oluşturulmuş, çalışma değerleri ise non-lineer denklem sistemlerinin çözümü ile elde edilmiştir. Ekonomik analizlerde ise birçok farklı mikrotürbin konfigürasyonları ve kontrol metotları kullanılan uygulamalara olanak sağlayacak maksimum yatırım maliyetleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada 200 kW'lık ısı çıkıtıya sahip reküperatörlü ve reküperatörsüz iki konfigürasyon kullanılmıştır. Mikrotürbinlerin optimal boyutlandırılması topyekun ekonomiklikte hayati bir önem taşımaktadır: boyutun artması ekipmanın spesifik fiyatını düşürmektedir fakat aynı zamanda kısmi yükte çalışma miktarını da verilen uygulama için arttırmaktadır ki bu da ekonomikliğe zarar vermektedir. Boyutun küçültülmesi spesifik fiyat ve kısmi yükte çalışmaya ters etki etmektedir. Bu durumda ekonomiklik yatırımla karşılaştırıldığında çok küçük bir fayda akışına maruz kalacaktır.

Luigi P. M. Colombo, Fabio Armanasco, Omar Perego, çalışmalarını bir kojeneratif tesisin enerji karakterizasyonu üzerine yapmış ve deney sonuçlarını raporlamışlardır. Jeneratör, CHP entegrasyonlu Turbec T100 mikrotürbindir. Standart çalışma koşullarında üretilen maksimum elektriksel güç 105 kW, ısı güç ise 167 kW'tır. Deneysel testler için üretilen elektrik yükü 10'ar kW adımlarla 50 ila 110 kW arasında değiştirilmiştir. Her bir adım için reküperatör çıkışındaki su sıcaklık set noktası 60°C'tan 80°C'a 5 °C'lık adımlar ile çıkartılmıştır. Ölçüm sistemi her bir çalışma şartında, tesisin enerji karakterizasyonu için gerekli olan enerji ve birincil enerji tasarrufu indeksleri gibi verilerin gerçek zaman hesaplamalarının yapılmasına olanak sunmaktadır. Görüldüğü üzere 80 kW ile 100 kW aralığında performanslar esasen aynı kalmaktadır. Aşırı olmayan azalmalar ise ancak 60 kW gibi değerlerde elde edilmiştir. Buna ek olarak, gazlı ve akustik emisyonlar bakımından çevresel etki de incelenmiştir. NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> hariç egzoz gazındaki diğer kirleticilerin konsantrasyonunda elektrik güç çıktısı düştükçe ciddi bir artış oluşmaktadır. Sonuç olarak, genellikle konutsal uygulamalarda küçük ölçekli santrallerin yönetimi kesin surette termal ihtiyaca bağlıdır. Önemli bir örnek olarak, 80 kW ile 110 kW aralığında birincil enerji tasarruf indeksi %30 gibi bir ortalama değeri göstermektedir

ki bu değer su sıcaklığının artmasıyla azalmaktadır. 60 kW ila 80 kW arasında ise bu değerde %10'luk bir azalma olmaktadır. 50 kW mertebelerinde ise su sıcaklığına bağlı olarak bu değer %16 ile %20 arasındadır.

Çakır (2006) alışmasında mikro gaz türbinli kojenerasyon sistemleri ve bu sistemlerde doğalgaz ile biyogazın kullanılması üzerine çalışmalar yapmıştır. Buna ilaveten Türkiye'deki bazı bölgelerde ve Avrupa'daki bazı şehirlerde mikro gaz türbinlerinin uygulanabilirliği hakkında araştırmalar yapmıştır. Kojenerasyon sistemlerinin temelde elektrik üretmek olduğu fakat atık gazlardan elde edilecek ısıl enerji ile de temiz ve verimli bir enerji üretimi gerçekleştirilebildiğini belirtmiştir. Bu araştırmada düzgün reküperatörlü sistem incelenmiştir.

Sonuç olarak, 26 kW elektrik ve 60 kW termal güce sahip bir sistem günde 4 saat 15 dakika çalıştırılarak 3000 m<sup>3</sup> hacme sahip bir konutun elektrik enerjisini karşılayabildiğini göstermiştir. Isıtma ihtiyacının çok fazla olduğu bölgelerde elektrik geri satımından elde edilecek gelir doğalgaz giderini karşılamadığından sistem kar getirmemektedir. Isıtma ihtiyacının az olduğu bölgelerde sistemin uygulanabilirliği vardır ve sistem kendini 10 senede geri ödeyebilmektedir. Almanya'da elektrik birim fiyatlarının doğalgaza oranla yüksek olması bölgenin soğuk olmasına rağmen sistemi uygulanabilir kılmaktadır.

Ehyaei ve Bahadori (2007) alışmasında Tahran, Ahvaz ve Hamedan şehirlerindeki konutların elektrik, sıcak su ihtiyacı, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının karşılanması için mikro türbinlerin kullanılması araştırılmıştır. İnceleme yapılan bina 10 daireli ve 8000 m<sup>2</sup>'lik alana sahiptir. Binanın pik talepleri ölçülmüş daha sonra binanın ısı yalıtımı yapılarak pik enerji tüketimi düşürülerek yeni elektrik yüküne göre hesap yapılmıştır.

Yapılan bu hesaplamalardan sonra bir optimizasyon yapılarak 2 adet 30 kW yada 1 adet 40 kW gücünde Capstone marka Mikrotürbin seçilmiştir.

### 3. KONUTLARDA KOJENERASYON SİSTEMLERİ

Mikro kojenerasyon sistemleri konut sektöründe gittikçe artan bir kullanım potansiyeline sahiptir. Çünkü hem termal hem de elektrik enerjisini doğal gaz ve akar yakıt gibi tek bir enerji kaynağından üretebilmektedir. Kojenerasyon sistemleri ve ekipmanları, hastaneler, oteller ve kurumsal bina gibi küçük ölçekli ticari uygulamalar için uygun sistemlerdir. Bu sistemler binanın mekan ısıtması, kullanım sıcak suyu ihtiyacı ve hatta absorpsiyon ile soğutma ihtiyacını karşılamak için uygulanırlar. Konutsal kojenerasyon için gelişmekte olan teknolojileri, içten yanmalı motorlar, mikrotürbinler, yakıt pilleri, ve yer değiştirmeli dıştan yanmalı Stirling motorları olarak sıralanabilir (Onovwiona ve Ugursal, 2006).

Konutsal sektörlerde kojenerasyon kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması ve sera gazları emisyonlarının azaltılması imkanını da sunmaktadır. Stirling motorları ve yakıt pilleri yüksek verim ve düşük emisyonlarda çalışma imkanına sahip olduğundan binalarda küçük ölçekli kojenerasyon kullanımında umut verici sistemler olarak görülmektedirler. Fakat içten yanmalı motorlar günümüzde makul maliyetli ve teknolojisi en iyi bilinen sistemlerdir (Onovwiona ve Ugursal, 2006).



Şekil 3.1 Capstone C65 mikrotürbinli kojenerasyon tesisi (Fritolay, Kocaeli)

Kojenerasyon sisteminin verimi faydalı ısı ve gücün yakıt girdisine oranı olarak bulunabilir. Kalan enerji ise baca gazı içerisinde düşük sıcaklık olarak ve motordan ve jeneratörden radyasyon ve konveksiyonla ısı olarak kaybedilmektedir.

$$\text{Elektriksel Verim} = \frac{\text{Elektrik Çıktısı (kW)}}{\text{Yakıt Girdisi (kW)}} \quad (3.1)$$

Kojenerasyon sisteminin verimi güç sağlayıcı tipine, büyüklüğüne ve ısı geri kazanımı için sıcaklığa bağlıdır. Ayrıca verim, kojenerasyon ünitesinin çalışma rejimi ve şartlarına bağlıdır.

$$\text{Toplam Verim} = \frac{\text{Kullanılabilir Isı + Elektrik Çıktısı (kW)}}{\text{Yakıt Girdisi (kW)}} \quad (3.2)$$

Bina uygulamaları için bir kojenerasyon sistemi tasarımı yapılırken, sistemin kullanım seviyesi dikkate alınmalıdır. Bu seviye tipik olarak 4500 h/yıl'dır. Genellikle önleyici bakım için planlanmış bakım duruşlarında güvenilirliğin ve kullanılabilirliğin yüksek seviyelerde olması hayati öneme sahiptir. Ana bakım genellikle yılda bir kez yapılmaktadır. Planlanmamış duruşlar kojenerasyon kullanıcıları için istenmeyen bir durumdur ve bu nedenle duruşların etkilerini minimize etmek için önleyici adımlar muhakkak yerine getirilmelidir. Güvenilirlik ekipman arızalarının bir sonucu olarak ortaya çıkan planlanmamış duruşların (kesintilerin) sayısı olarak tanımlanır. Kullanılabilirlik ise burada kojenerasyon tesisinin ihtiyaç anında kullanılabilme süresinin bir kesri olarak ifade edilir. Güvenilirlik ve kullanılabilirlik şu şekilde tanımlanır:

$$\% \text{ Güvenilirlik} = \frac{T - (S + U)}{T - S} \times 100 \quad (3.3)$$

ve

$$\% \text{ Kullanılabilirlik} = \frac{T - (S + U)}{T} \times 100 \quad (3.4)$$

Burada  $S$ , saat/yıl olarak planlanmış bakım süresini;  $U$ , saat/yıl olarak planlanmamış bakım süresini;  $T$ , saat/yıl olarak gerekli tesis çalışma süresini ifade etmektedir. Konutlarda ve ticari binalarda kullanılan kojenerasyon sistemlerinin enerji performansından ayrı olarak ekonomik maliyetler (yakıt ve bakım maliyetleri), çevresel faydalar ve elektrik tarife yapıları gibi faktörlerde kojenerasyon sistemlerinin tekno-ekonomik fizibilitesine güçlü bir şekilde etki etmektedir.

### 3.1 Mikrotürbinli Kojenerasyon Sistemleri

Kojenerasyon sistemleri Topping Cycle ve Bottoming Cycle olmak üzere iki ana tahrik ünitesiyle uygulanmaktadır. Topping Cycle'da yani türbin kojenerasyonunda iki yöntem uygulanmaktadır. Buhar türbinleri yüksek basınçlı bir buhar kazanından gelen buharı kullanır.

Gaz türbinleri ise direk yakıtı kullanır. Buhar türbinleri daha az yakıtı ihtiyaç duyar fakat birim proses buharı başına gaz türbinleri daha fazla elektrik gücü üretir. Buhar ve gaz türbinlerinin kullanıldığı sistemler de mevcuttur. Bunlara bileşik ısı güç sistemleri denilmektedir. Motor kojenerasyonu ise (Bottoming Cycle) motor egzoz gazından ve atık ısısından enerji elde edilir (Çakır, 2006).

Mikrotürbinli sistemler, %30 gibi makul elektrik verimi sunan, multi yakıt kullanma kabiliyetleri, düşük emisyon seviyeleri, ısı geri kazanımı potansiyeli ve minimum bakım ihtiyacı olan yanmalı türbinlerin düşük kapasitelerdeki birer versiyonudur. Mikrotürbinlerin kojenerasyon uygulamalarında sistem verimi %80 seviyelerine ulaşmakta ve bu seviyelerin üzerine çıkılabilmektedir. Mevcut mikrotürbinler 25 kW ile 200 kW elektrik kapasitelerine kadar bulunmaktadır. Bu sınıf aralığı çok-aileli konutların, ticari ve kurumsal binaların hem elektrik hem de ısıl enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek açısından çok uygundur. Günümüzde mikrotürbinlerin, tek-aileli binalara uygun olabilecek 25 kW ve daha düşük kapasitelerde üretilmesi için tasarım çalışmaları yapılmaktadır (Onovwiona ve Ugursal, 2006).

Çizelge 3.1 Bazı mikrotürbin firmaları ve kapasiteleri

<b>Firma</b>	<b>Ülke</b>	<b>Kapasite</b>
Bowman Power System	İngiltere	80 kW
Capstone Microturbine Corporation	ABD	30, 60, 65, 200, 1000 kW
Elliot Energy System	ABD	80 kW
Ingersoll-Rand Energy Systems of Pordsmouth	ABD	70 ve 250 kW
Turbec AB	İtalya	100 kW

Diğer küçük ölçekli güç üretim teknolojileri ile karşılaştırıldığında mikrotürbinler birçok avantaja sahiptirler. Kompak ve hafif bir yapıya sahip olmaları nedeni ile kurulum sırasında inşaat maliyetlerinin düşük olması, hareketli çok az parçalarının bulunması, düşük gürültü seviyesi, çok yakıtlı özelliği ile düşük emisyon seviyelerinde çalışma imkanı sunması mikrotürbinlerin avantajlarını oluşturmaktadır. Ayrıca bu sistemler dizel yada gaz motorlara nazaran yüksek oranda atık ısıya, düşük bakım maliyetlerine, düşük titreşim seviyelerine ve kısa teslim sürelerine sahiptirler. Yer değiştirme (piston) ve sürtünme elemanlarının olmayışı ayar problemlerinin az, yağlama yağı kullanımının ise düşük olmasını sağlamaktadır.

Yakıt seçenekleri olarak doğalgaz dışında dizel, çöp gazları, endüstriyel atık gazlar, etanol ve diğer biyo bazlı sıvılar ve gazları içermektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Capstone C30 mikrotürbini için biyo-yakıt deney düzeneği (BME üniversitesi, Jendrassik Isı Lab., Macaristan)

Mikrotürbin teknolojilerinin uygulanmasında ana teknik engeller olarak basit konfigürasyonlu gaz türbini eşit güç çıktısına sahip bir pistonlu motora nazaran daha düşük enerji verimine sahiptir. Buna ek olarak, gaz türbininin verimi kısmi yüklerde düşmektedir ve mikrotürbin tipine bağlı olarak düşük ısısal değere sahip yakıtların yakılması uygun olamayabilmektedir.

Genellikle elektrik dağıtım sistemleri çok sayıda küçük santrallerin kurulumu için uygun olmamakta ve modifikasyona gereksinim duymaktadır ki bu maliyetler de dikkate alınmalıdır. Ayrıca mikrotürbin santralleri şebeke frekansında elektrik üretebilmesi için güç koşullandırmasına gereksinim duymaktadır.

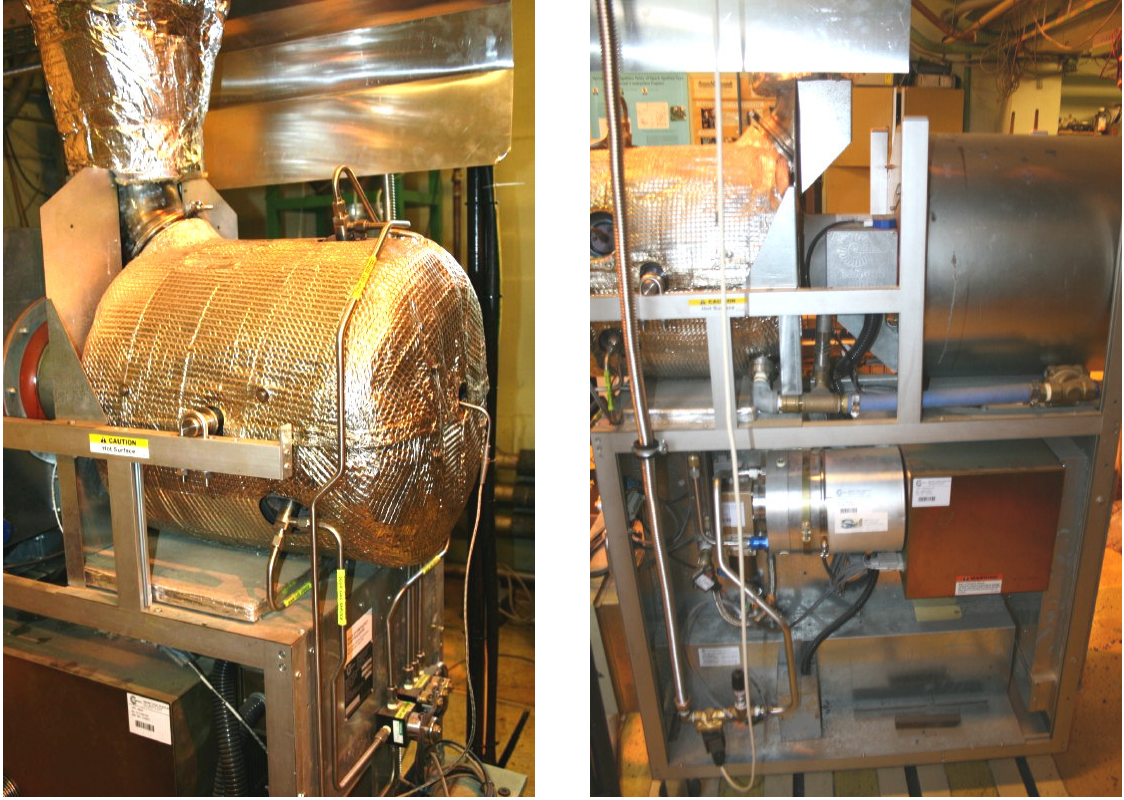
Gaz türbini teknolojilerinin uygulanmasında teknik olmayan ana engeller olarak sistemin bakımı pistonlu motorlara nazaran daha kalifiye personele ihtiyaç duymasındır. Küçük ölçekli gaz türbinleri pistonlu sistemlere göre daha pahalıdır. Şebeke bağlantı standartları da teknik olmayan engeller olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kombine ısı ve güç (combined heat and power, CHP) sistemlerinin uygulanmasında teknik olmayan ana engeller olarak yatırım geri ödemesinin daha uzun olması, şebeke bağlantı maliyetlerinin daha yüksek olması, makul fiyat hizmetleri ile elektrik ağına erişimin (güç satışı, güç yedeklemesi, güç alımı) her zaman mümkün olmaması olarak sıralanabilir. Buna ilaveten gaz şebekesine erişimin her zaman mümkün olmaması, bazı ülkelerde CHP uygulamalarında hala idari ve kurumsal bariyerlerin olması, CHP teknolojisinin ve faydalarının tam olarak bilinmemesi bu sistemlerin teknik olmayan engellerini oluşturmaktadır (Pilavachi, 2002).

### 3.2 Mikrotürbin Elemanları ve Çalışma Prensibi

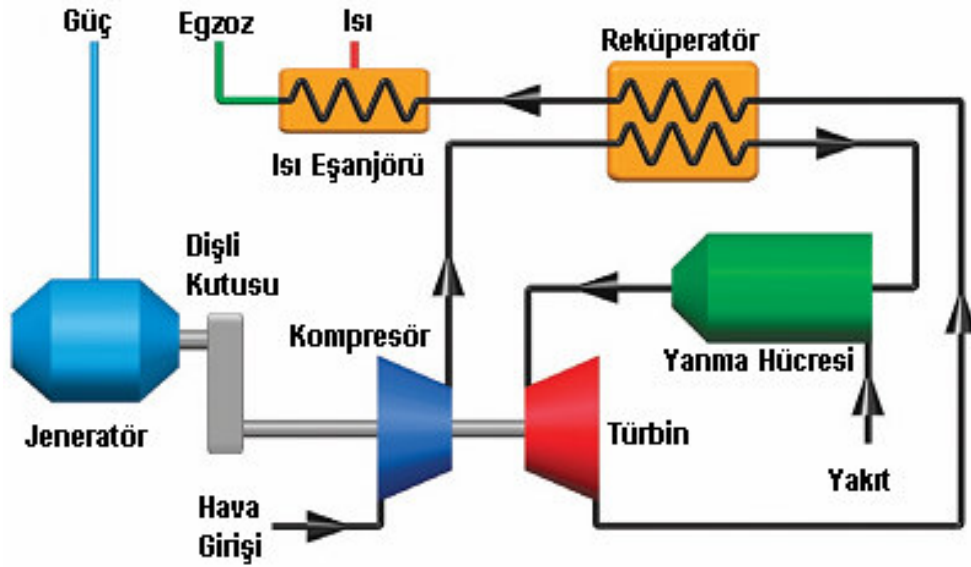
Mikrogaz türbininin çalışma prensibi gaz türbinlerinin çalışma prensiplerine benzemektedir. Bir mikrotürbinin termodinamik prosesi kompresörün yanma havasını basınçlandırmasını içerir. Sıkıştırılmış hava yanma hücresinde uygun yakıt ile karışarak ateşlenir. Ateşleme sonucu genleşen hava türbini çevirerek aynı shaft üzerinde bulunan kompresörü sürer ve güç üretir. Şayet sistemde reküperatör mevcut ise, sıcak egzoz gazı kompresörden geçerek yanma hücresine giden sıkıştırılmış havayı ısıtır. Tek shaftlı mikrotürbinlerde kompresör, türbin ve jeneratör bir shaft üzerinde bulunurlar. Tek shaft iki adet mil yatağı ile desteklenmektedir. Mil yataklaması rulman yada hava ile yapılabilir. Tek shaftlı mikrotürbinlerin en önemli özelliği bakım maliyetlerinin minimum olmasıdır. İki shaftlı mikrotürbinlerde türbin aynı mil üzerindeki kompresörü sürer. İkinci shaft ise bir dişli kutusu ile elektrik jeneratörünü sürer. Bu sistemlerde daha fazla hareketli parçanın olmasına rağmen en büyük avantajı yüksek frekanslı alternatif akımlı güç çıktısını istenilen frekansa çevirecek karmaşık güç elektroniği gereksiniminin olmamasıdır (Onovwiona ve Ugursal, 2006).

Hava yakıt karışımı yanmadan önce reküperatörden geçirilerek ısıtılır. Buradaki amaç sıkıştırılmış hava/yakıt karışımının reküperatörde atık gazlardaki yanmamış yakıt ile birleştirilmesi ve yakıt tüketiminin düşürülerek verimin artırılmasıdır. Mikrotürbinlerin çalışma prensibi düzgün reküperatörlü olarak adlandırılmaktadır. Fakat bir by-pass kanalı mevcut ise değişken reküperatörlü mikrotürbin elde edilmiş olunur (Çakır, 2006).



Şekil 3.3 Capstone C30 mikrotürbini türbin kutusu ve diğer elemanları (BME Üniversitesi, Jendrassik Isı Lab., Macaristan)

Rekuperatör kullanılması mikrotürbinin tasarım performansını şiddetle etkilemektedir. Elektrik verimi artmış fakat rekuperatörsüz bir eşdeğer türbine göre ısıl verimi de düşmüştür. Kısmi yüklerde, rekuperasyonlu mikrotürbinin elektrik verimini idame ettirmek için değişken devirli hızlarda çalışma uygulanabilir ve türbin giriş sıcaklığı kontrolünün tek kontrol parametresi olduğu durumlara nazaran daha da iyi bir uygulamadır. Rekuperasyonsuz konfigürasyonlarda değişken hızlı çalışma kısmi yük karakteristiklerinde daha az bir etkiye sahiptir. Elektrik ve ısı talebi verilmiş bir kombine ısı ve güç sistemi ısı geri kazanımı için harici araçlar kullanma imkanı sunar. Dolayısıyla, basit türbin giriş sıcaklık kontrollü, düşük güç çıktısına sahip rekuperasyonsuz bir mikrotürbin daha büyük rekuperatörlü bir mikrotürbine göre daha ekonomik bir alternatif sunabilir. Rekuperatörlü konfigürasyon seçilmesi durumunda, değişken hızla çalışma uygulanması ekonomik fizibilitiyi arttıracaktır (Kaikko vd., 2005).



Şekil 3.4 Reküperatörlü mikro-gaztürbini ile kojenerasyon

Mikrotürbinlerden elde edilen elektrik yüksek frekansta olduğundan jeneratörden sonra bir akım dönüştürücü ya da düzenleyici ile şebeke standartlarına getirilir. Mikrotürbinler tam randımanda çalıştırılarak yüksek verim elde etmek yerine oransal olarak ayarlanıp düşük verimde düzgün verimlilikte çalışması sağlanmaktadır.

Mikrotürbinlerde turbo-kompresör şaftı genellikle 80.000 ila 120.000 rpm gibi yüksek devir hızlarında çalışırlar. Mikrotürbin bileşenlerinin fiziki boyutları ve dönme hızları türbin ve kompresör spesifik tasarım karakteristiklerinden ciddi oranda etkilenirler. Düşük kapasitelerdeki mikrotürbinler daha yüksek şaft dönme hızına sahiptirler.

Birçok mikrotürbin tek kademeli radyal akışlı kompresörlerden oluşmaktadır. Bu mikrotürbinlerin 0,23 ila 2,3 kg/s hava/gaz akışı gibi daha geniş bir boyut aralığına sahip olması imkanını sunmaktadır. Bu aralıklar için, radyal akışlı komponentler büyük aksel akışlı kompresör ve türbinlere göre nispeten minimum yüzey ve duvar (end wall) kayıpları ve daha yüksek verim sağlamaktadır. Radyal akışlı türbin tahrikli kompresörler tasarım ve volümetrik akış bakımından küçük ölçekli pistonlu motorların turboşarjleri ile benzerdirler (Onovwiona ve Ugursal, 2006).

#### 4. METODOLOJİ

Genelde sıcak su ve ısınma ihtiyacı merkezi sistemli binalarda sıcak su kazanlarıyla, ferdi sistemli binalarda kat kaloriferi ya da kombiler ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada bir ve çok bloklu toplu konutların ısı ihtiyacının kazan ile değil de mikrotürbinli bir kojenerasyon sistemi ile karşılanmasının ekonomik fizibilitesi yapılmıştır. Kojenerasyon tesisinde ısı ile elektrik eş zamanlı üretilmektedir. Isı her dairede bulunan kalorimetreler ile ölçülüp satılacak, elektrik ise elektrik dağıtım şirketine satılacaktır. Isı birim fiyatı, kazanlı sistemlerde kilovatsaat enerji başına ödenen para ile sistemin amortisman ve bakım maliyetleri dahil olmak üzere tüm birim maliyetler eklenerek belirlenecektir. Toplu konutlar ayı ayrı 5, 10 ve 15 katlı bina bloklarından oluşmaktadır. Toplu konut öncelikle bir blok olarak hesap edilmiş, daha sonra 8 bloğa kadar hesaplamalar yapılarak sistemin ekonomik yapılabilirliğinin değişim profilleri incelenmiştir. Sistemde mikrotürbin sayısı, binanın tüm ısı talebini sağlayacak şekilde seçilecek, türbinler eş yaşlanma prensibine göre çalışacaktır. Üretilen ısı toplu konutun ısı ihtiyacını takip edeceğinden düşük ihtiyaçlarda türbinler düşük kapasitelerde çalışarak daha az enerji tüketenlerdir. Türbinlerin oransal çalışmasına göre başabaş analizi yapılmıştır. Bulunan başabaş noktası türbinlerin minimum çalışma noktasını belirlemektedir ve bu noktadan düşük kapasitelere denk ısı taleplerinde kazan (atık ısı kazan brülörü) devreye girecektir.

Mikrotürbinli kojenerasyon bir yardımcı işletme gibi kabul edilmiş ve kazan dairesi diye tanımlayabileceğimiz bir işletme binasında kurulacaktır. Mikrotürbinlerin egzoz gazları izolasyonlu atık ısı kanalında birleştirilecektir. Bu kanal atık ısı kazanını besleyerek 90 °C sıcak su üretecektir. Atık ısı kazanının egzoz gazı giriş ağzında gaz brülörü bulunarak gerekli durumlarda atık ısı kazanı, kazan görevini görebilecektir. Üretilen termal enerji hem ısıtma sistemi hem de sıcak kullanım suyu boylerleri için kullanılacaktır. İşletme binası ile apartman blokları arasında iletim kayıpları olmadığı kabul edilmiştir.

Mikrotürbinlerin bölgelere göre optimizasyonu yapılırken şu hesaplama adımları yapılmıştır:

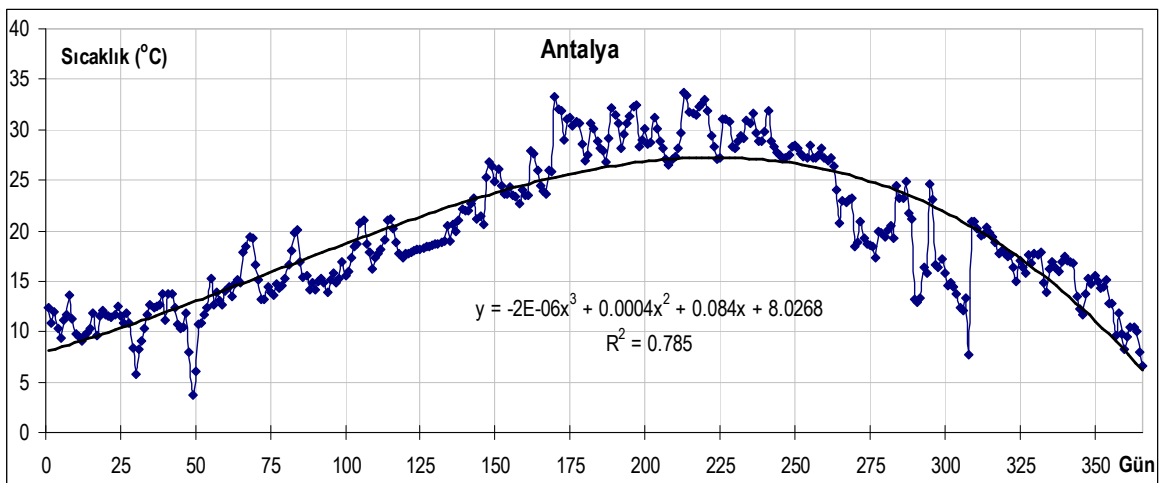
1. Formüle göre dış sıcaklık
2. İç ve dış sıcaklık farkı ( $\Delta T$ )
3. Özgül ısı kaybı hesabı
4. İç ısı kazançları
5. Birim güneş enerjisi kazançları

6. Toplam kazanç
7. KKO
8. KKF
9. Bina Toplam Isıtma İhtiyacı
10. Sıcak su İhtiyacı
11. Bu yükü karşılamak için gerekli türbin gücü
12. Başabaş analizi
13. Mikrotürbinli sistem ve Eş çalıştırma
14. Net Kar
15. Finansal Analiz (NBD)

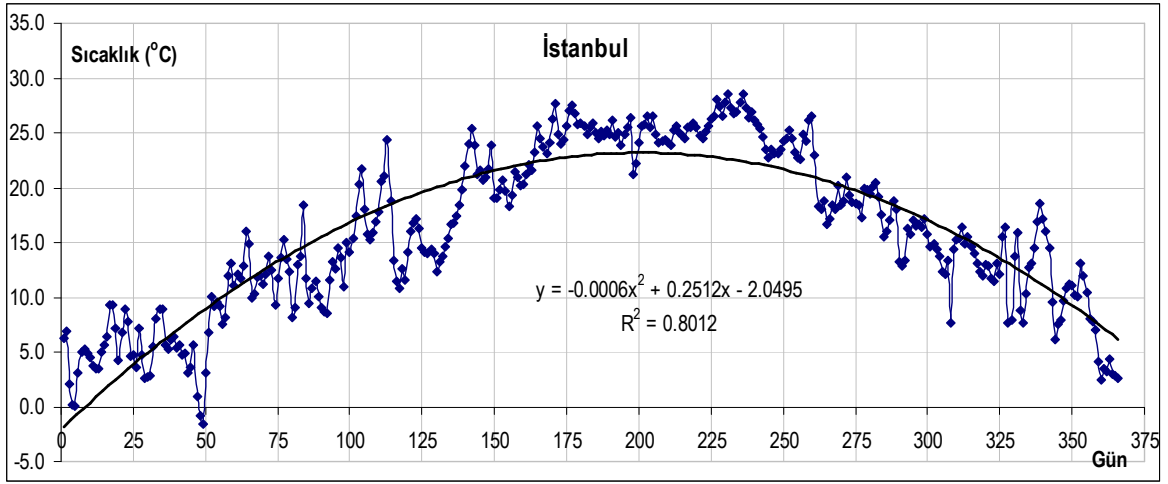
#### 4.1 Bölgeler ve Örnek İller

Bu çalışmada Türkiye'nin 4 farklı iklim bölgesi ele alınarak mikrotürbin uygulaması için bir optimizasyon yapılmıştır. Birinci bölge için Antalya, ikinci bölge için İstanbul, üçüncü bölge için Ankara ve dördüncü bölge için de Erzurum örnek il olarak seçilmiştir.

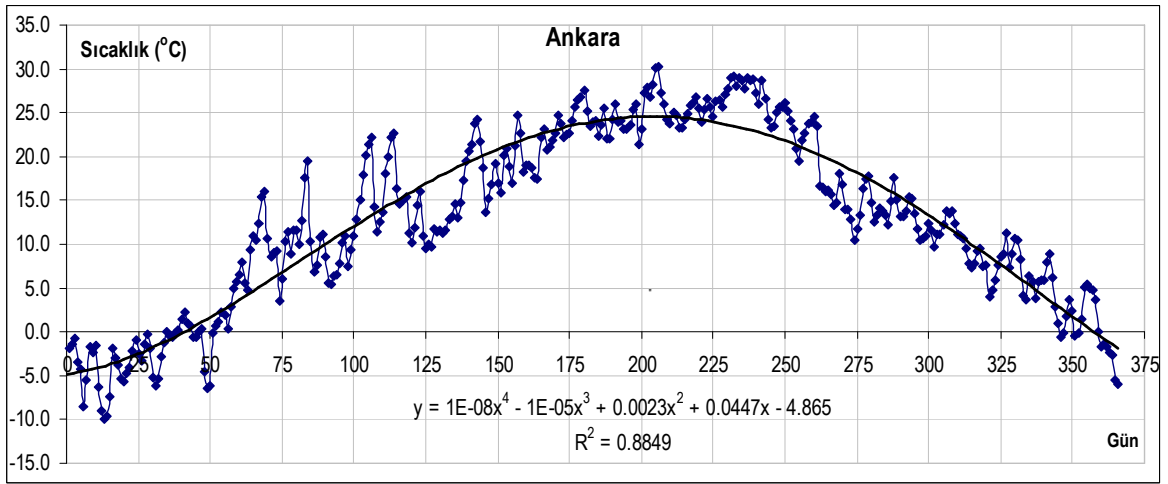
Hesaplamalarda bu örnek illerin meteoroloji istasyonlarından alınmış günlük dış hava sıcaklık ortalamaları fonksiyonel olarak kullanılmıştır [7].



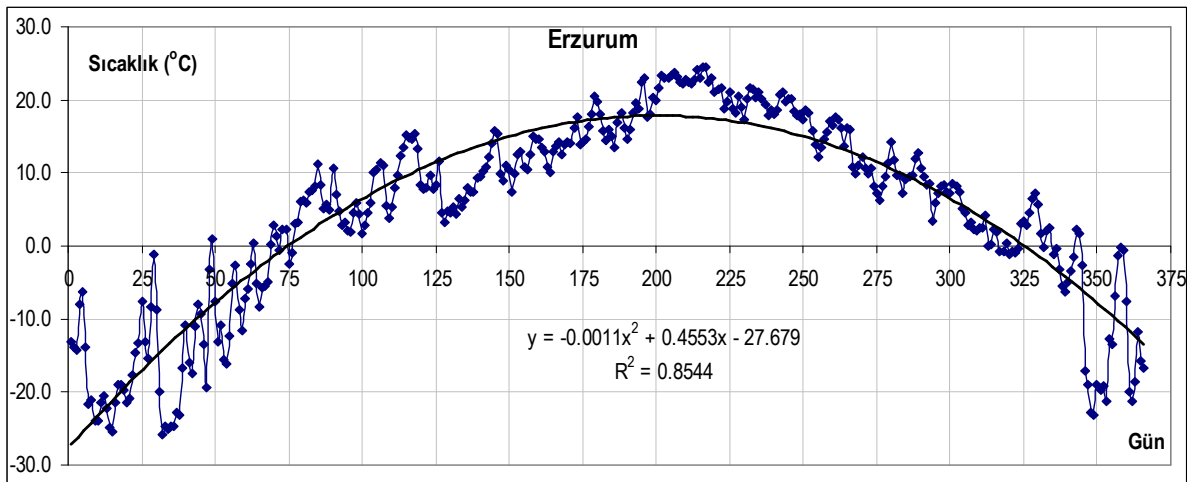
Şekil 4.1 Günlük dış hava sıcaklık ortalamaları, Antalya - 2008



Şekil 4.2 Günlük dış hava sıcaklık ortalamaları, İstanbul - 2008

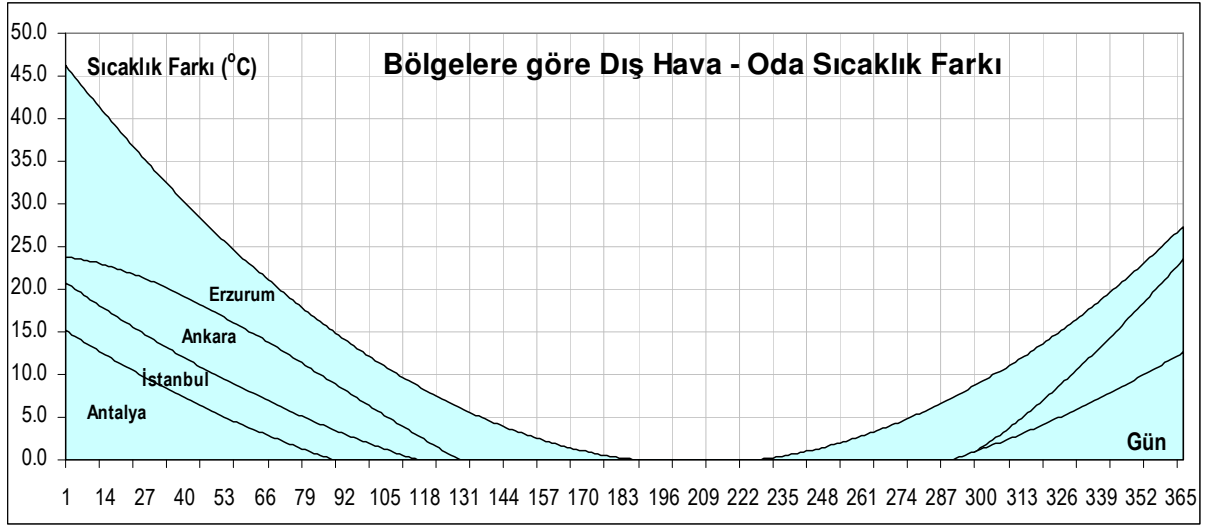


Şekil 4.3 Günlük dış hava sıcaklık ortalamaları, Ankara - 2008



Şekil 4.4 Günlük dış hava sıcaklık ortalamaları, Erzurum - 2008

Binaların iç ortam (oda) sıcaklıkları 19 °C olarak alınmıştır.



Şekil 4.5 Bölgelerin günlük sıcaklık farkları

Şekilden de görüldüğü gibi Erzurum ilinin bulunduğu dördüncü bölge iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının en fazla olduğu bölgedir. Bu gölgede ısıtma sezonu neredeyse tüm yıl boyunca sürecektir. Antalya ilinin bulunduğu birinci bölgede ise soğutma sezonu ısıtma sezonuna göre daha uzun sürmektedir.

#### 4.2 Örnek Bina ve Binanın Isı Kaybı

Yeterli seviyede ısı yalıtımı yapılmış bir binada, ısıtma periyodunda, iç ortamda belirli bir iç sıcaklık sağlamak için gereken ısı enerjisinin bir kısmı iç kaynaklardan ve güneş enerjisinden sağlanır. Kalan miktarın ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekir. TS 825'de tanımlanan hesap metodu kullanılarak, ısıtma sisteminin iç ortama iletmesi gereken ısı enerjisi miktarı belirlenebilir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak tanımlanan bu miktar, toplam kayıplardan, güneş enerjisi kazançları ve iç kazançlar çıkartılarak hesaplanır. Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur (Ertaş, 2000).

TS 825 standardında, iç ortamdaki ısı kaynaklarından ve binaya gelen güneş enerjisinden kaynaklanan ısı kazançları hesaplamalara dahil edilmektedir. Buhar geçişi hesaplamaları, analizi ve sınırlandırılması yapılmaktadır. Bina bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayıları (U) hesaplanmaktadır. Derece Gün bölgeleri sayısı 4 bölgeden oluşmaktadır. Binalarda ısı kaybeden toplam yüzeyin ısıtılmış yapı hacmine oranları ( $A_{top}/V_{brüt}$ ) için ısıtma enerjisi değerleri sınırlandırılmıştır. Buna göre; binalarda tek bölge için hesaplanan yıllık ısıtma

enerjisi ihtiyacının,  $A_{top}/V_{brüt}$  oranlarına bağlı olarak hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi değerinden küçük olması sağlanmalıdır. Bu TS 825 için gerek ve yeter şarttır. Ayrıca TS 825 standardında yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, binanın kullanım alanı ( $A_N$ ) veya ısıtılacak yapı hacmi ( $V_{brüt}$ ) ile ilişkilendirilmiştir. Yıllık ısıtma enerjisi hesabında, oda yükseklikleri 2,60 m. veya daha az olan binalarda  $A_N$  ile, 2,60 m. den yüksek olan binalarda  $V_{brüt}$  ile ilişkili değerler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ısıtma ihtiyacı TS 825 standartlarına göre yapılmıştır. Her biri 4 daireden oluşan 5, 10 ve 15 katlı binalar örnek olarak alınmıştır. Daireler  $140 \text{ m}^2$ , 3 oda ve 1 salondan oluşmaktadır. Her bir dairede 4 yetişkin olduğu kabul edilmiştir. 15 katlı binanın eni 22 m, boyu 30 m ve yüksekliği ise 30 m'dir. Aylık ortalama iç sıcaklık  $19 \text{ }^\circ\text{C}$ , birim iç ısı kazancı da  $5 \text{ W/m}^2$ , hava değişim katsayısı 1 l/h olarak alınmıştır. Hesap metodunda ısıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdaki ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereden oluşmuştur. Binalar toplam dış yüzeyin ortalama %25'i oranında pencere alanına sahiptir. Hesaplamalarda dıştan dışa ölçüler kullanılmıştır. Binanın tamamı aynı sıcaklığa kadar ısıtıldığı yani ortamlar arasındaki sıcaklık farkının  $4 \text{ K}$ 'den küçük olduğu kabul edilmiş ve bu nedenle binanın tamamı tek bölge olarak alınmış ve ısıtma enerjisi miktarı hesabı tek bölgeye göre yapılmıştır. Merkezi ısıtma yapılacağı ve sıcak su ihtiyacı da merkezi sistemden yani sıcak su kazanı tarafından sağlanacağı kabul edilmiştir. Binaların soğutma ihtiyacı hesaplara katılmamıştır.

Çizelge 4.1 Örnek binaların fiziksel özellikleri

	5 Katlı Bina	10 Katlı Bina	15 Katlı Bina
Binanın Hacmi $V_{brüt} (\text{m}^3)$	9.900	19.800	29.700
Binanın kullanım alanı $A_n (\text{m}^2)$	3.168	6.336	9.504
Binanın Döşeme Alanı $A_f (\text{m}^2)$	660	660	660
Binanın Tavan Alanı $A_T (\text{m}^2)$	660	660	660
Binadaki Toplam kapı ve pencere alanı $A_p (\text{m}^2)$	300	616	936
Binadaki Toplam Dış Duvar Alanı $A_D (\text{m}^2)$	1.260	2.504	3.744

#### 4.2.1 Örnek Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı

Bölgelere göre binaların özgül ısı kaybı hesabı TS 825 standartlarına göre yapılmıştır. Binanın kuzey-güney yönlerinde ve doğu-batı yönlerinde eşit pencere alanı olduğu kabul edilmiştir. Pencere alanı bina yüksekliğine bağlı olarak toplam yüzey alanının ortalama %25'ini kapsamaktadır. Binalarda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır.

**Binanın özgül ısı kaybı hesabı ( $H$ );**

$$H = H_i + H_h \quad (4.1)$$

**İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ( $H_i$ );**

$$H_i = \sum A \cdot U + I \cdot U_i \quad (4.2)$$

Burada  $\sum A \cdot U$  binanın tüm dış yüzeylerinden oluşacak ısı kaybının toplamını,  $I \cdot U_i$  ise ısı köprüleriyle oluşacak ısı kaybını sembolize eder.

**Yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı ( $\sum AU$ )**

$$\sum AU = U_D \cdot A_D + U_P \cdot A_P + 0,8U_T \cdot A_T + 0,5U_t \cdot A_t + U_d \cdot A_d + 0,5U_{dSIC} \cdot A_{dSIC} \quad (4.3)$$

**Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ( $H_h$ );**

$$H_h = 0,33 n_h \cdot V_h \quad (4.4)$$

$$V_h = 0,8 \cdot V_{brüt} \quad (4.5)$$

Binanın özgül ısı kaybı hesabı için, TMMOB Makina Mühendisleri Odasının hazırlamış olduğu otomatik ısı kaybı hesabı programı kullanılarak hesaplar otomatik olarak yapılmıştır. Bu program ile her bölge için binaların özgül ısı kayıpları Ek 1a, Ek 1b ve Ek 1c de sunulmuştur.

#### 4.2.2 Örnek Binanın Isıtma Enerjisi İhtiyacı

**Toplam günlük ısıtma enerjisi ( $Q_{gün}$ );**

$$Q_{gün} = \left( H (T_i - T_d) - KKF_{gün} \times (\Phi_{i,gün} - \Phi_{g,gün}) \right) \cdot t \quad (4.6)$$

**Günlük ortalama iç kazançlar ( $\Phi_{i,gün}$ );**

$$\text{Konutlarda.....: } \Phi_{i,gün} = 5 \times A_N \quad (4.7)$$

$$\text{Ticari binalarda...: } \Phi_{i,gün} = 10 \times A_N \quad (4.8)$$

$$A_N = 0,32 \times V_{brüt} \quad (4.9)$$

Çizelge 4.2 Blokların kat sayılarına göre özgül ısı kaybı ve iç ısı kazancı

Blok Sayısı	5 Katlı Bina		10 Katlı Bina		15 Katlı Bina	
	Binanın Özgül Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Binanın Özgül Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Binanın Özgül Isı Kaybı	İç Isı Kazancı
	kW/K	kW	kW/K	kW	kW/K	kW
1	4.50	15.84	8.60	31.68	12.71	47.52
2	9.00	31.68	17.20	63.36	25.42	95.04
3	13.50	47.52	25.80	95.04	38.13	142.56
4	18.00	63.36	34.40	126.72	50.84	190.08
5	22.50	79.20	43.00	158.40	63.56	237.60
6	27.00	95.04	51.60	190.08	76.27	285.12
7	31.50	110.88	60.20	221.76	88.98	332.64
8	36.00	126.72	68.80	253.44	101.69	380.16

**Günlük ortalama güneş enerjisi kazançları ( $\Phi_{g,gün}$ );**

$$\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (4.10)$$

Çizelge 4.3 Blokların güneş enerjisi ısı kazancı – 5 katlı bina

Blok Sayısı	5 Katlı Bina Güneş Enerjisi Isı Kazancı (kW)											
	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1	5	6	8	9	11	11	11	10	8	6	5	4
2	10	13	16	18	21	23	22	20	17	13	10	9
3	15	19	24	26	32	34	33	30	25	19	14	13
4	20	25	32	35	43	45	44	40	33	26	19	17
5	25	32	41	44	53	56	55	51	41	32	24	22
6	30	38	49	53	64	68	66	61	50	39	29	26
7	35	45	57	62	75	79	77	71	58	45	33	30
8	40	51	65	71	85	90	88	81	66	52	38	35

Çizelge 4.4 Blokların güneş enerjisi ısı kazancı – 10 katlı bina

Blok Sayısı	10 Katlı Bina Güneş Enerjisi Isı Kazancı (kW)											
	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1	11	13	17	19	22	24	23	21	17	14	10	9
2	21	27	34	37	45	47	46	43	35	27	20	18
3	32	40	51	56	67	71	69	64	52	41	30	28
4	42	54	68	74	90	95	92	85	70	55	40	37
5	53	67	86	93	112	119	115	107	87	68	50	46
6	63	81	103	112	135	142	138	128	105	82	61	55
7	74	94	120	130	157	166	161	149	122	96	71	64
8	84	107	137	149	180	190	184	170	140	110	81	73

Çizelge 4.5 Blokların güneş enerjisi ısı kazancı – 15 katlı bina

Blok Sayısı	15 Katlı Bina Güneş Enerjisi Isı Kazancı (kW)											
	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1	16	20	26	28	34	36	35	32	27	21	15	14
2	32	41	52	57	68	72	70	65	53	42	31	28
3	48	61	78	85	102	108	105	97	80	62	46	42
4	64	82	104	113	137	144	140	130	106	83	61	56
5	80	102	130	141	171	180	175	162	133	104	77	70
6	96	122	156	170	205	217	211	195	159	125	92	84
7	112	143	182	198	239	253	246	227	186	146	107	98
8	128	163	208	226	273	289	281	259	212	166	123	111

**Kazanç kayıp oranı ( $KKO_{gün}$ );**

$$KKO_{gün} = (\Phi_{i,gün} + \Phi_{g,gün}) / (H \times (T_{i,gün} - T_{d,gün})) \quad (4.11)$$

**Kazanç kullanım faktörü ( $KKF_{gün}$ );**

$$KKF_{gün} = 1 - e^{-1/KKO_{gün}} \quad (4.12)$$

### 4.3 Binanın Sıcak Kullanım Suyu İhtiyacı

Hesaplamalarda ortalama kullanım değerlerine göre bir ısıtıcı (boyler) cihazı göz önüne alınarak hesaplama yapılmıştır.

Sıcak su kullanımı sürekli olmadığı için gerekli ısıtıcı cihaz tasarımına esas olacak ısıtıcı ihtiyacı istatistiksel verilere dayanmaktadır ve bunun için farklı yöntemler bulunmaktadır. Burada TS 1253 Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları adlı Türk Standardının dayandığı orijinal Alman standardına göre tanımlanan yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, apartmanın maksimum su ihtiyacı;

$$V_{max} = 200 \cdot \varphi_n \cdot n \quad (4.13)$$

Burada,

200: Bir saatte 200 litre hacimli küvetin dolması için maksimum su ihtiyacı olarak kabul edilmiştir ( $l/h$ ),

$n$ : daire sayısını ifade etmektedir.

Banyo küvetli binalarda yıkanma süresinin 1,5 saat, duşlu yıkanmanın ise 1,0 saat sürdüğü düşünülmektedir. Bunlarda göz önünde tutularak bir kullanma faktörü aşağıdaki formül ile hesaplanır (Humbaracı, 1981).

$$\varphi_n = \frac{\sqrt{n}}{n} + a \quad (4.14)$$

- $a = 0,15$   $n = 1 \dots 10$  daire
- $a = 0,18$   $n = 11 \dots 300$  daire
- $a = 0,20$   $n > 300$  daire

Tasarım hesapları, binanın sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılması gereken sistemlerin seçimi ve kapasitesini belirlemek için yapılmıştır. Fakat binanın aylık sıcak su hazırlanması için gerekli olan ısı enerjisi belirlemek biraz daha zordur. Sıcak su kullanım ihtiyacı; konutlar ele alındığında sadece kişi sayısı değil, insanların yaşam düzeyi, yaşı, sistemin yapısı ve mevsim şartları gibi etkenlerden dolayı değişkenlik göstermektedir. Yıl süresince sıcak su için gerekli ısı enerjisi aylık olarak hesaplamak için sıcak su ihtiyacını karşılayacak kazanın günlük ısıtma süresini bilmemiz gerekmektedir. Binalarda gerekli ortalama sıcak su tüketim değerleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Karakoç, 2006).

Çizelge 4.6 Konutlar için sıcak su kullanımı

Yaşam Düzeyi	Toplam İhtiyaç (60 °C)
Basit	10 – 20 litre/gün-kişi
Orta	20 – 40 litre/gün-kişi
Yüksek	40 – 80 litre/gün-kişi

Tablodan günlük sıcak su tüketim değeri 80 litre olduğu alınmış ve her dairede 4 kişinin yaşadığı kabul edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda apartmanın günlük sıcak su tüketimi Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Binaların boyler su debileri ve tüketim değerleri

Boyer Kapasitesi	5 Katlı Bina	10 Katlı Bina	15 Katlı Bina
Eş zaman faktörü ( $\phi_n$ )	0,40	0,34	0,31
Daire Sayısı ( $n$ )	20	40	60
Boyer Kapasitesi ( $lt/h$ )	1.600	2.720	3.720
<b>Toplam Sıcak Su Tüketimi</b>			
Kişi Su Tüketimi ( $lt/gün.kişi$ )	80	80	80
Daire Su Tüketimi ( $lt/gün.daire$ )	320	320	320
Apartman Su Tüketimi ( $lt/gün$ )	6400	12800	19200
Kazan Çalışma Süresi ( $h/gün$ )	4,0	4,7	5,2

Kullanma suyu sıcaklığı yıkama amacıyla 35°C ila 45°C arasında, mutfakta kullanım amacıyla 35°C ila 60°C arasında olabilmektedir. (Karakoç, 2006). Bu çalışmada kullanım suyu sıcaklığı 60°C olduğu kabul edilmiştir. Apartman için gerekli olan maksimum ısı gücü ise;

$$Q_{\max} = \frac{V_{\max} \cdot \rho_s \cdot c_s \cdot (T_{ks} - T_{ss})}{860} \quad (4.15)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Eşitlikte yer alan 860, dönüştürme katsayısını (kWh/kCal) ifade etmektedir.

Boyer tasarım hesaplamalarında giriş şebeke suyu sıcaklığı 10°C olarak alınır. Fakat bölgelerin şebeke suyu sıcaklıkları değişiklik göstermektedir. Isı enerjisi ihtiyacı hesaplamamızı yaparken bölgelerin ortalama şebeke suyu sıcaklıkları kullanılmıştır [4].

Çizelge 4.8 İllerin aylık ortalama şebeke su sıcaklıkları

<b>Antalya Şebeke Suyu Sıcaklıkları (°C)</b>											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
13,8	13	13,9	16,1	19,5	23,5	26,8	28,5	27,8	25,2	21,5	17,0
<b>İstanbul Şebeke Suyu Sıcaklıkları (°C)</b>											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
10,2	9	9,5	11,8	15,4	19,2	21,9	22,9	22,4	19,8	16,9	13,2
<b>Ankara Şebeke Suyu Sıcaklıkları (°C)</b>											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
8,2	7	7,8	10,7	14,5	18,0	20,9	22,8	21,6	18,1	14,6	10,9
<b>Erzurum Şebeke Suyu Sıcaklıkları (°C)</b>											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2,7	2	1,1	3,2	7,5	11,8	14,8	16,8	16,1	12,5	8,5	5,3

Eğer boyler ani su ısıtıcısı olsaydı boyler ısıtma kapasitesi tasarım kapasitesi olarak boyler kapasitesi alınabilirdi. Fakat bu çalışmada kullanım sıcak suyu kazan tarafından sağlanacağı için, yani bir başka deyişle boyler kazan tarafından ısıtılacağı için bir kazan kapasitesi hesaplamamız gerekmektedir. Ani su ısıtıcıları olmayan yani dolaylı ısıtıcılarda kapasite hesabı yapılırken maksimum güce göre değil, boyler kapasitesinden daha düşük bir kapasitede seçim yapılır. Böylelikle atıl kapasiteden sakınılarak işletme maliyetlerinde bir düşüş ve ilk yatırım maliyetlerinden bir kazanç elde edilmiş olunur. Maksimum ısıl güç ile kazan kapasitesi arasındaki bağıntı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$Q_k = \frac{Z_B}{Z_A + Z_B} \cdot Q_{\max} \quad (4.16)$$

Bu verilere göre her bölge ve her bir blok için gerekli boyler ve kazan kapasiteleri hesaplanarak Çizelge 4.9'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 Bölgelere göre binaların boyler ve kazan kapasiteleri

	<b>5 Katlı Bina</b>		<b>10 Katlı Bina</b>		<b>15 Katlı Bina</b>	
	<b>Boyer (kW)</b>	<b>Kazan (kW)</b>	<b>Boyer (kW)</b>	<b>Kazan (kW)</b>	<b>Boyer (kW)</b>	<b>Kazan (kW)</b>
<b>I. Bölge, ANTALYA</b>	88	70	150	123	205	171
<b>II. Bölge, İSTANBUL</b>	95	76	161	133	221	185
<b>III. Bölge, ANKARA</b>	99	73	169	139	231	193
<b>IV. Bölge, ERZURUM</b>	110	88	186	154	255	213

Farklı blok sayılarındaki toplu konutlar için merkezi ısıtma sistemine binecek ilave ısıl yükler

bölgesel olarak Ek 2’de gösterilmiştir. Tablolarda bölgelere göre binaların kullanım sıcak suyu için enerji ihtiyacı aylık olarak sunulmuş, bir bloklu konutlar için yıllık toplam enerji ihtiyacı Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 Bölgelere göre binaların sıcak su enerji gereksinimi

	<b>I. Bölge Antalya</b>	<b>II. Bölge İstanbul</b>	<b>III. Bölge Ankara</b>	<b>IV. Bölge Erzurum</b>
	kWh/yıl	kWh/yıl	kWh/yıl	kWh/yıl
5 Katlı Bina	105.756	117.834	121.741	138.017
10 Katlı Bina	211.513	235.669	243.483	276.033
15 Katlı Bina	317.269	353.503	365.224	414.050

#### 4.4 Örnek Binanın Toplam Isı Enerjisi İhtiyacı

Hesaplar Microsoft excell dosyasında hazırlanan bir çizelge ile yapılmıştır.

Çizelge 4.11 Binanın toplam günlük enerji ihtiyacı hesabı

Bina Enerji Hesapları											
										Maksimum 62	Toplam 164,582
Günler	Özgül Isı Kaybı	İç Isı Kazançları	Birim Güneş Enerji Kazançları	Toplam kazanç	KKO	KKF	Bina Toplam Isıtma İhtiyacı	Sıcak Su İhtiyacı	Bina Toplam Isıl İhtiyacı	Enerji	
°C	kW	kW	kW	kW			kW	kW	kW	kWh/gün	
01.Oca	68	15.84	4.99	20.83	0.31	0.96	48	14	62	1499	
02.Oca	67	15.84	4.99	20.83	0.31	0.96	47	14	62	1476	
03.Oca	66	15.84	4.99	20.83	0.31	0.96	46	14	61	1453	
04.Oca	65	15.84	4.99	20.83	0.32	0.96	45	14	60	1430	
05.Oca	64	15.84	4.99	20.83	0.32	0.95	44	14	59	1407	
06.Oca	63	15.84	4.99	20.83	0.33	0.95	43	14	58	1384	
07.Oca	62	15.84	4.99	20.83	0.33	0.95	42	14	57	1362	
08.Oca	61	15.84	4.99	20.83	0.34	0.95	41	14	56	1339	
09.Oca	60	15.84	4.99	20.83	0.35	0.94	41	14	55	1317	
10.Oca	59	15.84	4.99	20.83	0.35	0.94	40	14	54	1295	
11.Oca	58	15.84	4.99	20.83	0.36	0.94	39	14	53	1273	
12.Oca	57	15.84	4.99	20.83	0.36	0.94	38	14	52	1252	
13.Oca	56	15.84	4.99	20.83	0.37	0.93	37	14	51	1230	
14.Oca	55	15.84	4.99	20.83	0.38	0.93	36	14	50	1209	
15.Oca	54	15.84	4.99	20.83	0.38	0.93	35	14	50	1188	
16.Oca	54	15.84	4.99	20.83	0.39	0.92	34	14	49	1167	
17.Oca	53	15.84	4.99	20.83	0.40	0.92	33	14	48	1147	
18.Oca	52	15.84	4.99	20.83	0.40	0.92	33	14	47	1126	
19.Oca	51	15.84	4.99	20.83	0.41	0.91	32	14	46	1106	
20.Oca	50	15.84	4.99	20.83	0.42	0.91	31	14	45	1086	
21.Oca	49	15.84	4.99	20.83	0.43	0.90	30	14	44	1066	
22.Oca	48	15.84	4.99	20.83	0.43	0.90	29	14	44	1046	
23.Oca	47	15.84	4.99	20.83	0.44	0.90	28	14	43	1027	
24.Oca	46	15.84	4.99	20.83	0.45	0.89	28	14	42	1008	
25.Oca	45	15.84	4.99	20.83	0.46	0.89	27	14	41	989	
26.Oca	44	15.84	4.99	20.83	0.47	0.88	26	14	40	970	
27.Oca	44	15.84	4.99	20.83	0.48	0.88	25	14	40	951	
28.Oca	43	15.84	4.99	20.83	0.49	0.87	25	14	39	933	
29.Oca	42	15.84	4.99	20.83	0.50	0.87	24	14	38	915	
30.Oca	41	15.84	4.99	20.83	0.51	0.86	23	14	37	897	
31.Oca	40	15.84	4.99	20.83	0.52	0.85	22	14	37	880	
01.Şub	39	15.84	6.36	22.20	0.57	0.83	21	15	36	852	
02.Şub	38	15.84	6.36	22.20	0.58	0.82	20	15	35	836	
03.Şub	38	15.84	6.36	22.20	0.59	0.82	19	15	34	819	
04.Şub	37	15.84	6.36	22.20	0.60	0.81	19	15	33	803	
05.Şub	36	15.84	6.36	22.20	0.62	0.80	18	15	33	787	
06.Şub	35	15.84	6.36	22.20	0.63	0.79	17	15	32	771	
07.Şub	34	15.84	6.36	22.20	0.65	0.79	17	15	31	755	
08.Şub	33	15.84	6.36	22.20	0.66	0.78	16	15	31	740	
09.Şub	33	15.84	6.36	22.20	0.68	0.77	16	15	30	725	
10.Şub	32	15.84	6.36	22.20	0.70	0.76	15	15	30	710	
11.Şub	31	15.84	6.36	22.20	0.72	0.75	14	15	29	696	
12.Şub	30	15.84	6.36	22.20	0.73	0.74	14	15	28	681	
13.Şub	29	15.84	6.36	22.20	0.75	0.73	13	15	28	668	
14.Şub	29	15.84	6.36	22.20	0.77	0.73	13	15	27	654	
15.Şub	28	15.84	6.36	22.20	0.80	0.72	12	15	27	640	
16.Şub	27	15.84	6.36	22.20	0.82	0.71	11	15	26	627	
17.Şub	26	15.84	6.36	22.20	0.84	0.70	11	15	26	614	
18.Şub	26	15.84	6.36	22.20	0.87	0.68	10	15	25	602	
19.Şub	25	15.84	6.36	22.20	0.89	0.67	10	15	25	589	
20.Şub	24	15.84	6.36	22.20	0.92	0.66	9	15	24	577	
21.Şub	23	15.84	6.36	22.20	0.95	0.65	9	15	24	566	
22.Şub	23	15.84	6.36	22.20	0.98	0.64	8	15	23	554	

#### 4.5 Örnek Bina için Mikrotürbin Uygulaması

Bu çalışmada Capstone marka C30 ve C65 model türbinler örnek türbin olarak alınmıştır. C30 ve C65 türbinlerinin dış hava sıcaklıklarına göre elektrik verimleri ve kapasite değişimleri firmanın vermiş olduğu teknik dokümanlardan elde edilmiştir.

Çizelge 4.12’de (reküperatörlü) mikrotürbinlerin tam kapasitede ve ISO şartlarında, doğalgaz yakıtı ile verdiği performans değerleri gösterilmiştir. ISO şartları, 15 °C’de %60 relatif nem ve 101,325 kPa (standart deniz seviyesi basıncı) değerleridir [5].

Çizelge 4.12 Capstone C30 ve C65 model mikrotürbinlerin ISO şartlarında performans verileri (şebekeye bağlı/ada modunda)

Performans	Capstone C30		Capstone C65
	HPNG Değerleri	LPNG Değerleri	HPNG Değerleri
Güç - tasarım değ.	30,0 (+0/-1) kW	28,0 (+0/-1) kW	65,0 (+0/-2) kW
Verim	26,0 $\%(\pm 2)$ LHV	25,0 $\%(\pm 2)$ LHV	29,0 $\%(\pm 2)$ LHV
Yakıt Enerji Debisi (LHV)	115 kW	112 kW	224 kW
Yakıt Enerji Debisi (HHV)	127 kW	123 kW	247 kW
Egzoz sıcaklığı	275 °C	275 °C	309 °C
Egzoz ısıl enerji	91 kW	91 kW	164 kW
Egzoz kütleli debisi	0,31 kg/s	0,31 kg/s	0,49 kg/s

Tabloda HHV, yakıtın üst ısıl değerini; LHV, alt ısıl değerini, HPNG ve LPNG ise doğalgaz yüksek ve düşük servis basıncını ifade etmektedir. Teknik dokümanlarda verilen performans değerleri doğalgaz giriş basıncına göre değişiklik göstermektedir. Dokümanlarda, yüksek basınçlı doğalgaz (HPNG) servis basıncı 55 ila 60 psia yani 3,79 ila 4,14 bar arası; düşük basınçlı doğalgaz (LPNG) basınç değeri ise 5,0 psia yani 345 mbar olarak verilmiştir. Hesaplamalar yapılmadan önce Türkiye’de doğalgaz dağıtımının yapıldığı basınca göre, kullanılacak olan performans değerleri belirlenmelidir.

Türkiye’de doğalgaz dağıtım servis basıncı ise; [6]

- RMS istasyonu çıkışı 20 bar
- Bölge regülatörü çıkışı 4 bar
- Servis kutusu çıkışı 21 mbar – 300 mbar

Bu verilere göre hesaplamalarda yüksek basınçlı doğalgaza göre performans verileri

kullanılmıştır.

Mikrotürbinler, egzoz gazlarının atık ısı kazanında kullanılmasıyla sıcak su üretmektedir. Atık ısı kazanlarının, su tarafı 90/70°C giriş ve çıkış sıcaklığındaki çalışma koşullarına göre etkinlik değerleri %85 olduğu kabul edilmiş ve türbinlerin ısıl kapasiteleri ve verimleri bu değerlere göre hesaplanmıştır.

Mikrotürbinlerin egzoz gazı ısı kapasitesi;

$$Q_{ısı} = \varepsilon \times Q_{egzoz} \quad (4.17)$$

bağıntısından bulunmuştur.

C30 mikrotürbininin egzoz gazı ısıl kapasitesi (ISO şartlarında), bağıntı (4.17)'den;

$$Q_{egzoz} = 91 \text{ kW}$$

$$Q_{ısı} = 0,85 \times 91 = 77 \text{ kW}$$

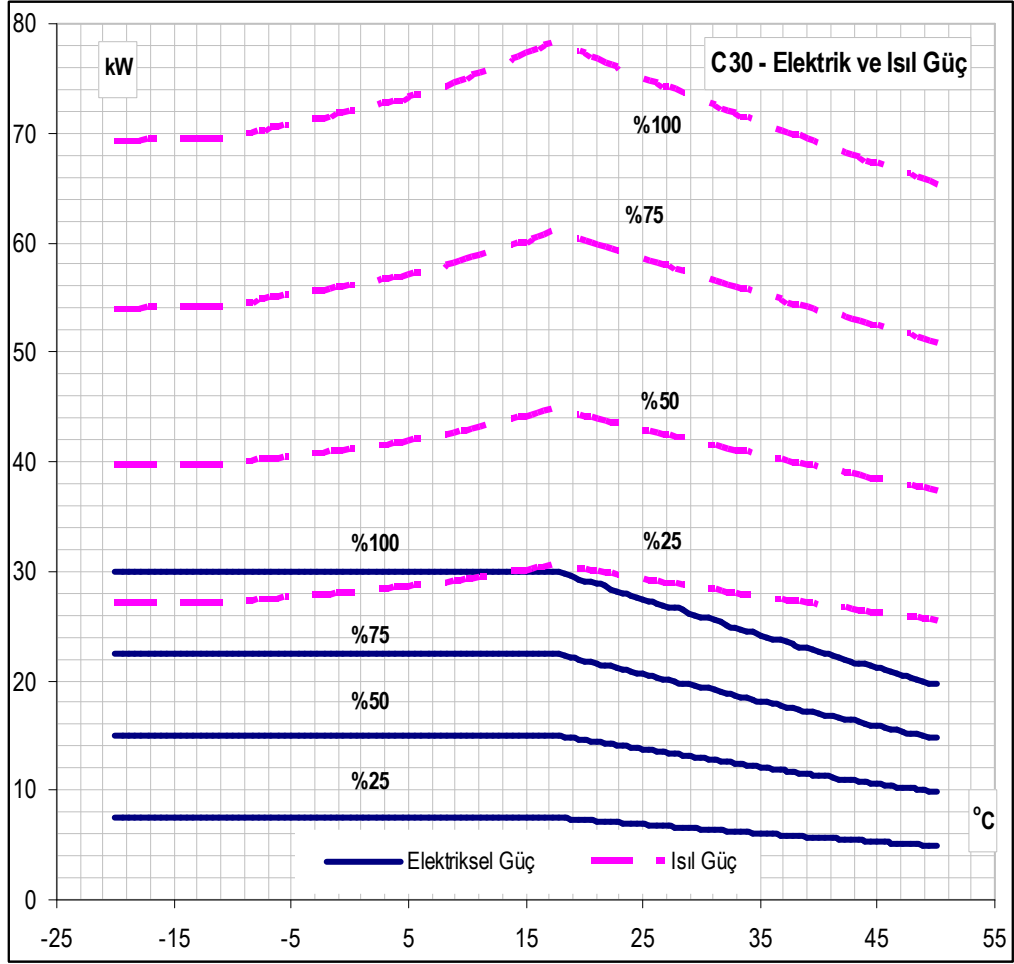
C65 mikrotürbininin egzoz gazı ısıl kapasitesi (ISO şartlarında);

$$Q_{egzoz} = 164 \text{ kW}$$

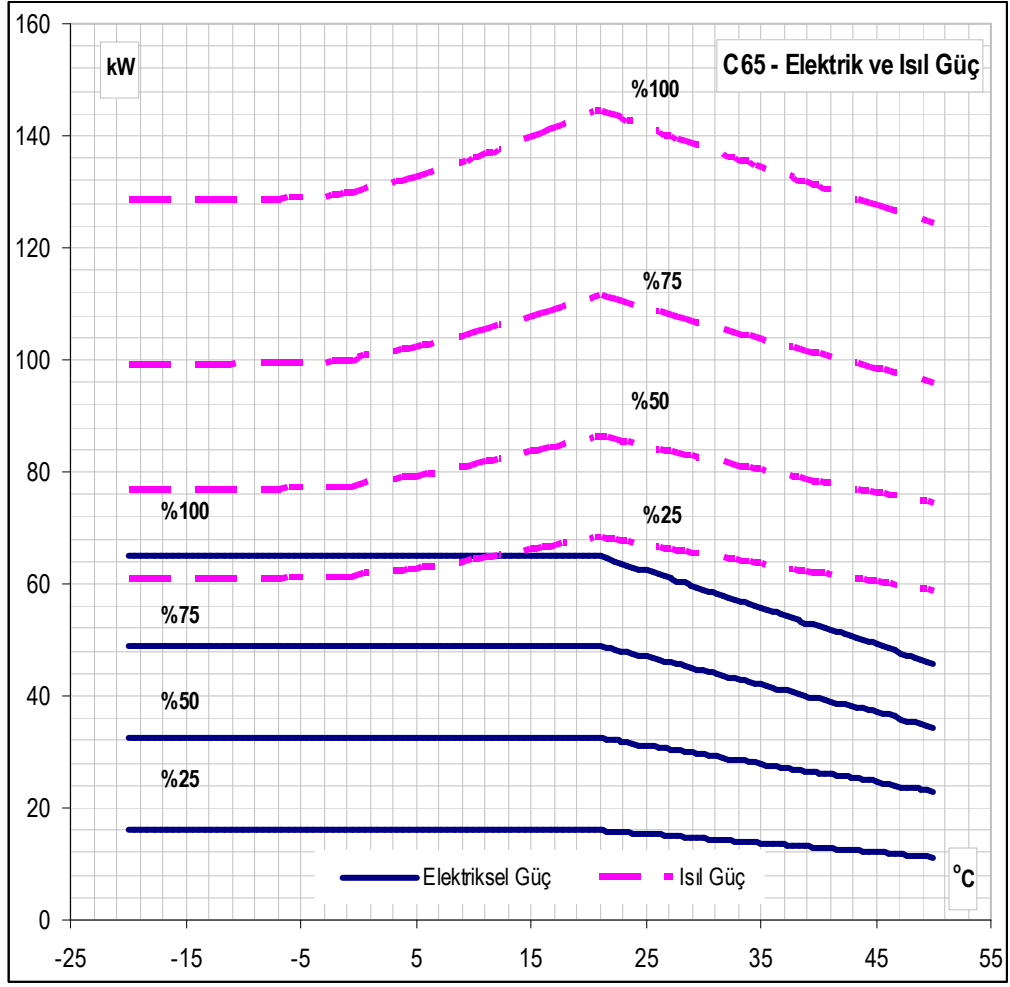
$$Q_{ısı} = 0,85 \times 164 = 140 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

C30 ve C65 mikrotürbinlerinin kısmi yüklerde, dış hava sıcaklığına bağlı olarak hesaplanmış elektrik ve ısı güçleri Şekil 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.

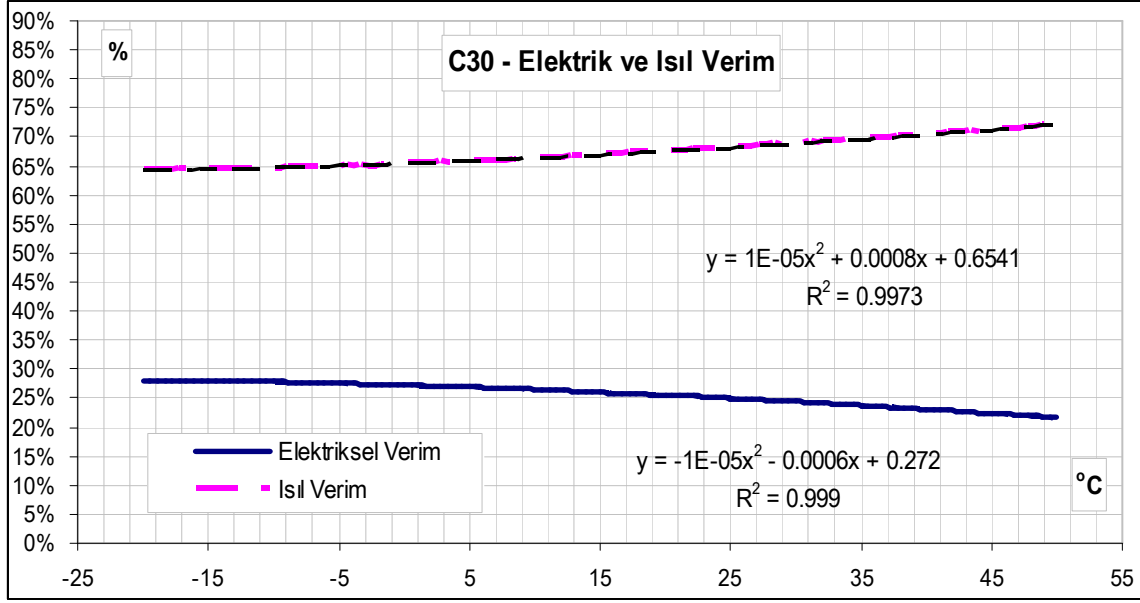


Şekil 4.6 C30 mikrotürbinde elektriksel ve ısı gücünün ortam sıcaklığına göre değişimi

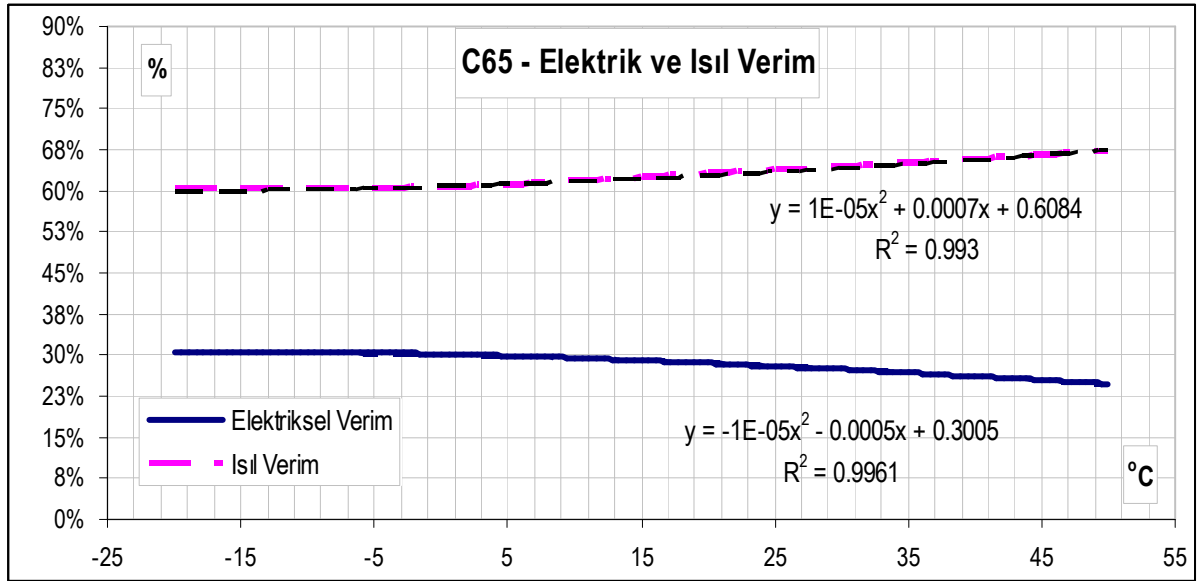


Şekil 4.7 C65 mikrotürbinde elektriksel ve ısı güçü ortam sıcaklığına göre değişimi

Atık ısıdan elde edilebilecek ısı güçü ile yakıt gücü oranı mikrotürbinlerin ısı verimlerini vermektedir. Şekil 4.8, C30 ve Şekil 4.9, C65 türbinin dış hava sıcaklığına göre elektrik ve ısı verimini göstermektedir.



Şekil 4.8 C30 mikrotürbinin deniz seviyesinde elektriksel ve ısıl veriminin ortam sıcaklığına göre değişimi



Şekil 4.9 C65 mikrotürbinin deniz seviyesinde elektriksel ve ısıl verimini ortam sıcaklığına göre değişimi

Mikrotürbinlerin ilk yatırım maliyetleri firmadan yaklaşık olarak alınmıştır. Hesaplamalarda mikrotürbin kurulum maliyetleri, kablolama, işçilik maliyetleri eklenerek türbinin toplam yatırım maliyetleri bulunmuştur. Türbinlerin yenileme maliyetleri ise 79.000 saatte toplam türbin fiyatının yaklaşık %80'i olarak hesaplara katılmıştır. Türbinin yıllık bakım masrafları ise 0,3 kuruş/kWh<sub>e</sub> olarak alınmıştır. Türbinler kısmi kapasitelerde eş yaşlanmalı olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

Çizelge 4.13 Mikrotürbin fiyatları ve kurulum maliyetleri

Kurulum Maliyeti	Capstone C30	Capstone C65
Mikrotürbin	41.500 USD	71.500 USD
Breaker panel ve bus bar	3.500 USD	6.000 USD
1000 A breakers	800 USD	1.300 USD
Kablolama (yaklaşık)	2.000 USD	2.000 USD
Site preparation	1.200 USD	1.200 USD
Kurulum	1.000 USD	1.000 USD
<b>Toplam Maliyet</b>	<b>50.000 USD</b>	<b>83.000 USD</b>

#### 4.5.1 Başabaş Analizi

Mikrotürbinler için oransal çalışması durumunda minimum kapasite oranının ne olması gerektiği, hangi kapasiteden sonra sistemin kar ettiği başabaş analizi ile bulunmuştur. Başabaş analizi yapılırken sistemin deniz seviyesinde ve 15 °C ortam koşullarında yer aldığı kabul edilmiştir.

#### Toplam Satış

Bina için gerekli olan ısı ihtiyacını karşılamaya yönelik ısı üretim maliyeti, Isı Satış Birim Fiyatı (ISBF) ile belirlenir. Bu ısı talebi belirli bir kar karşılığında satılmaktadır.

$$ISBF = Isı \text{ Maliyeti} \times Kar \quad (4.18)$$

Burada ISBF belirlenirken her hangi bir kar eklenmemiştir.

$$ISBF = Isı \text{ Maliyeti} \quad (4.19)$$

Isı maliyeti ise doğal gazdan elde edilen ısı miktarının birim fiyatıdır. Yani;

$$Isı \text{ Maliyeti} = \frac{\text{Doğal Gaz Birim Fiyatı}}{\eta_k} \quad (4.20)$$

Burada  $\eta_k$ ; kazan verimini ifade etmektedir.

Elektrik enerjisi birim satış (ESBF) fiyatı ise elektrik ısı oranı ile şebekenin üreticilere uyguladığı alış fiyatı ile belirlenir. Elektrik ısı oranı; bir birim ısı üretirken aynı zamanda üretilen elektrik enerjisi miktarına oranıdır.

$$ESBF = EIO \times EABF \quad (4.21)$$

$$EIO = \frac{\text{Elektriksel Güç}}{\text{Isıl Güç}} \quad (4.22)$$

Hesaplarda, EABF, elektrik dağıtım şirketinin kullanıcılara satış fiyatından %10 oranında tenzilatlı olarak satın aldığı kabul edilmiştir.

Kojenerasyon tesisi toplam enerji satışı birim fiyatı (TS), ısı satışı birim fiyatı (ISBF) ile elektrik satışı birim fiyatının (ESBF) toplamıdır. Yani;

$$TS = ISBF + ESBF \quad (4.23)$$

### **Amortisman**

Başabaş analizinde toplam enerji satış birim fiyatının yanında bir diğer girdi de amortisman maliyetleridir. Amortisman, 1 kWh'lik ısı üretimi için gerekli yatırım ve yenileme maliyetlerinin toplamı olarak hesaplanır.

### **Yatırım maliyeti**

Birim güç başına yatırım maliyeti (BGYM), 1 kW'lık ısı güç (kapasite) için gerekli yatırım maliyeti bir mikrotürbin bedelinin o türbinin ısı çıkıtısına oranı olarak hesaplanır.

$$BGYM = \frac{\text{Mikrotürbin Birim Bedeli}}{\text{Isı Gücü}} \quad (4.24)$$

Birim enerji başına yatırım maliyetini hesaplamak için öncelikle mikrotürbinin bir sene boyunca üreteceği enerji miktarının bilinmesi gereklidir. Fakat mikrotürbin sisteminin çalışma süresi belli olmadığından öncelikle 8760 saat yani tüm yıl boyunca çalıştığı kabul edilerek optimizasyon hesabı başlatılır. Daha sonra bulunan çalışma saati ile birim enerji başına düşen yatırım maliyeti bulunarak başabaş analizi yapılır.

$$BEYM = \frac{BGYM}{\text{Yıllık Operasyon Süresi}} \quad (4.25)$$

### **Yenileme maliyeti**

Üretici firmanın verileri doğrultusunda mikrotürbinlerin 76 bin saatte yenilenmesi gerekmektedir. Yenileme sırasında türbin kutusunun değiştirilmesi gerekmektedir ki bu da sistemin yaklaşık %80'ine denk geldiği kabul edilmiştir. Yenileme maliyeti (YB) de birim enerji üretimi başına olarak hesaplanır.

$$YB = \frac{\text{İlk Yatırım}}{79.000 \text{ saat} \times \text{Isıl Güç}} \quad (4.26)$$

Amortisman ise yatırım maliyeti ile yenileme maliyetinin toplamıdır. Yani;

$$\text{Amortisman} = \text{BEYM} + YB \quad (4.27)$$

### Net satış

Net satış, mikrotürbinli sistemde üretilen 1 kWh'lik enerjinin en az ne kadara satılacağını göstermektedir. Net satış, toplam satış yani toplam elektrik satışı ve toplam ısı satışından amortismanın çıkarılması ile bulunur.

$$NS = TS + \text{Amortisman} \quad (4.28)$$

### Enerji Maliyeti

Üretilen birim ısı enerjinin maliyetidir. Enerji maliyeti, yakıt ısı oranı ve doğal gaz birim fiyatı ile elde edilir.

$$\text{Enerji Maliyeti} = \frac{\text{Yakıt Akış Enerjisi}}{\text{Isıl Güç}} \times \text{Doğal Gaz Birim Fiyatı} \quad (4.29)$$

### Oran

Oran, net ısı enerjisi satışının enerji maliyetine oranıdır. Bu oranın 1'den büyük olması istenir. Başabaş noktası bu oranın 1'e eşit ve büyük olduğu noktadır.

$$\text{Oran} = \frac{\text{Net Satış}}{\text{Enerji Maliyeti}} \quad (4.30)$$

### Kar

Başabaş noktası karın sıfır olduğu noktadır. Bu noktaya denk gelen çalışma oranı mikrotürbinin kısmi yüklerde çalıştırılabileceği minimum noktayı verir.

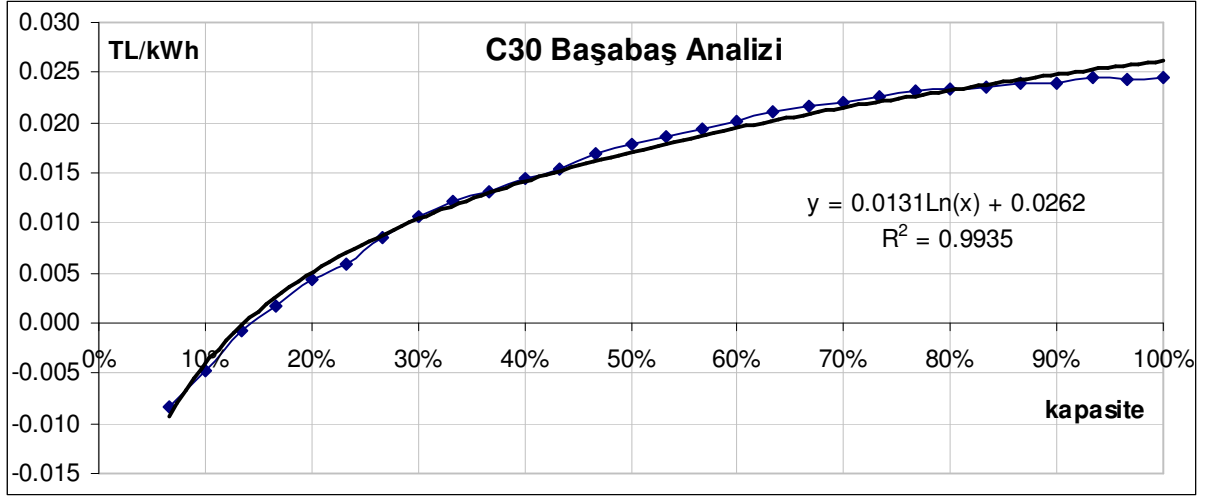
$$\text{Kar} = \text{Net Satış} - \text{Enerji Maliyeti} \quad (4.31)$$

Çizelge 4.14 Başabaş analiz hesaplama çizelgesi (C30 mikrotürbini)

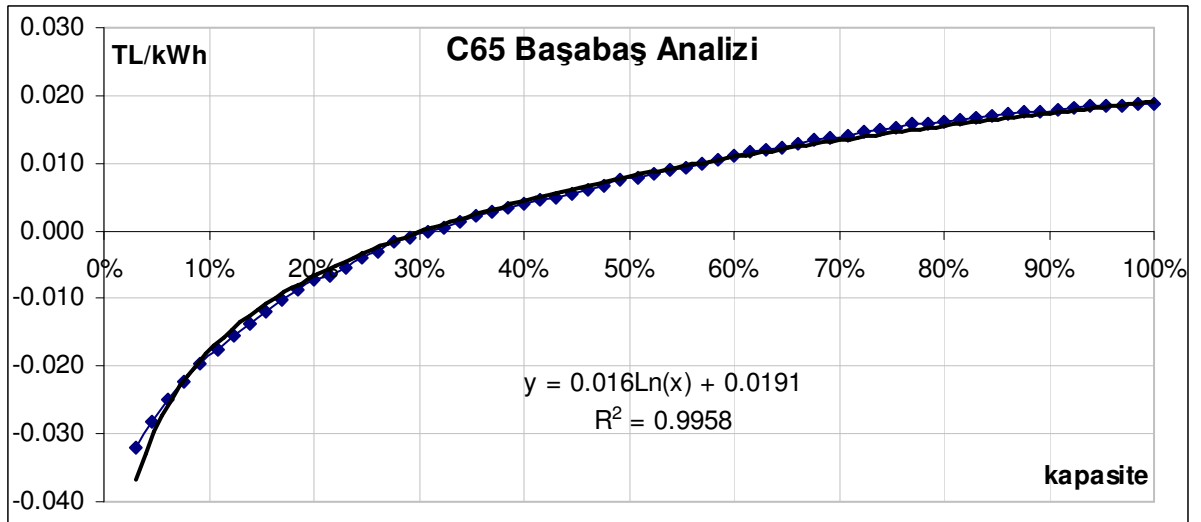
Oransal Çalışma	Yakıt Isı Oranı kW <sub>y</sub> /kW <sub>t</sub>	Elektrik ısı oranı kW <sub>e</sub> /kW <sub>t</sub>	Isı enj. satış fiyatı TL/kWh <sub>t</sub>	Elektrik enj. satış fiyatı TL/kWh <sub>t</sub>	Toplam satış fiyatı TL/kWh <sub>t</sub>	Amortisman TL/kWh <sub>t</sub>	Bakım TL/kWh <sub>t</sub>	Net Satış TL/kWh <sub>t</sub>	Maliyet TL/kWh <sub>t</sub>	Oran	Kar TL/kWh <sub>t</sub>
7%	1.23	0.11	0.0817	0.0203	0.1020	0.0205	0.0003	0.0812	0.0895	0.91	-0.0083
10%	1.28	0.15	0.0817	0.0278	0.1095	0.0205	0.0004	0.0886	0.0933	0.95	-0.0047
13%	1.30	0.18	0.0817	0.0337	0.1154	0.0205	0.0005	0.0943	0.0951	0.99	-0.0008
17%	1.34	0.20	0.0817	0.0385	0.1201	0.0205	0.0006	0.0990	0.0974	1.02	0.0017
20%	1.35	0.23	0.0817	0.0426	0.1243	0.0205	0.0006	0.1031	0.0987	1.04	0.0044
23%	1.38	0.24	0.0817	0.0462	0.1279	0.0205	0.0007	0.1067	0.1007	1.06	0.0059
27%	1.39	0.26	0.0817	0.0494	0.1311	0.0205	0.0007	0.1098	0.1012	1.09	0.0086
30%	1.40	0.28	0.0817	0.0526	0.1342	0.0205	0.0008	0.1129	0.1023	1.10	0.0106
33%	1.42	0.29	0.0817	0.0550	0.1367	0.0205	0.0008	0.1154	0.1032	1.12	0.0121
37%	1.44	0.30	0.0817	0.0576	0.1393	0.0205	0.0009	0.1179	0.1048	1.13	0.0131
40%	1.45	0.32	0.0817	0.0595	0.1412	0.0205	0.0009	0.1198	0.1055	1.14	0.0144
43%	1.45	0.32	0.0817	0.0613	0.1430	0.0205	0.0009	0.1215	0.1061	1.15	0.0155
47%	1.45	0.33	0.0817	0.0629	0.1446	0.0205	0.0009	0.1231	0.1061	1.16	0.0170
50%	1.46	0.34	0.0817	0.0643	0.1460	0.0205	0.0010	0.1245	0.1067	1.17	0.0179
53%	1.47	0.35	0.0817	0.0657	0.1473	0.0205	0.0010	0.1258	0.1072	1.17	0.0187
57%	1.48	0.35	0.0817	0.0669	0.1486	0.0205	0.0010	0.1270	0.1076	1.18	0.0194
60%	1.48	0.36	0.0817	0.0680	0.1497	0.0205	0.0010	0.1281	0.1080	1.19	0.0201
63%	1.48	0.37	0.0817	0.0690	0.1507	0.0205	0.0010	0.1291	0.1080	1.20	0.0211
67%	1.49	0.37	0.0817	0.0700	0.1517	0.0205	0.0010	0.1301	0.1084	1.20	0.0217
70%	1.49	0.37	0.0817	0.0705	0.1522	0.0205	0.0010	0.1306	0.1086	1.20	0.0220
73%	1.49	0.38	0.0817	0.0714	0.1531	0.0205	0.0011	0.1315	0.1089	1.21	0.0225
77%	1.49	0.38	0.0817	0.0719	0.1535	0.0205	0.0011	0.1319	0.1088	1.21	0.0232
80%	1.49	0.38	0.0817	0.0723	0.1540	0.0205	0.0011	0.1324	0.1090	1.21	0.0234
83%	1.50	0.38	0.0817	0.0727	0.1544	0.0205	0.0011	0.1328	0.1092	1.22	0.0236
87%	1.49	0.39	0.0817	0.0728	0.1545	0.0205	0.0011	0.1329	0.1089	1.22	0.0240
90%	1.49	0.39	0.0817	0.0729	0.1546	0.0205	0.0011	0.1330	0.1090	1.22	0.0240
93%	1.49	0.39	0.0817	0.0733	0.1550	0.0205	0.0011	0.1334	0.1089	1.22	0.0245
97%	1.50	0.39	0.0817	0.0736	0.1553	0.0205	0.0011	0.1337	0.1094	1.22	0.0243
100%	1.50	0.39	0.0817	0.0735	0.1552	0.0205	0.0011	0.1335	0.1091	1.22	0.0245
Minimum çalışma											17%

Bu hesaplamalara göre C30 mikrotürbini başabaş noktası %17 kapasite, C65 mikrotürbinlerinin ise %32 kapasite olarak bulunmuştur.





Şekil 4.10 C30 Mikrotürbinli sistemin Kar - Oransal Çalışma başabaş analizi



Şekil 4.11 C65 Mikrotürbinli sistemin Kar - Oransal Çalışma başabaş analizi

Çizelge 4.16 Mikrotürbinli sistem ve eş çalıştırma hesap çizelgesi

Günler	Mikrotürbin Sistemi						Mikrotürbin		Kazan		
	Elektrik Güç	Isıl Güç	MT Sayısı	Maks. 1	Yukarı Yuvarla	MT yükü	Ort. 0.10	Maks. 62	Toplam 80,775	Maks. 24	Toplam 83,808
				% Kapasite			Üretilen Isıl Güç	Üretilen Isıl Enerji	Isıl Güç	Isı Enerjisi	
°C	kWe	kWt	adet	adet	kWt/MT	Eş çalıştırma	kWt	kWh/gün	kW	kWh/gün	
01.Oca	30	74	0.85	1.0	62	0.81	62	1499	0	0	
02.Oca	30	74	0.83	1.0	62	0.79	62	1476	0	0	
03.Oca	30	74	0.82	1.0	61	0.77	61	1453	0	0	
04.Oca	30	74	0.81	1.0	60	0.76	60	1430	0	0	
05.Oca	30	74	0.79	1.0	59	0.74	59	1407	0	0	
06.Oca	30	74	0.78	1.0	58	0.72	58	1384	0	0	
07.Oca	30	74	0.76	1.0	57	0.71	57	1362	0	0	
08.Oca	30	74	0.75	1.0	56	0.69	56	1339	0	0	
09.Oca	30	74	0.74	1.0	55	0.68	55	1317	0	0	
10.Oca	30	74	0.73	1.0	54	0.66	54	1295	0	0	
11.Oca	30	74	0.71	1.0	53	0.65	53	1273	0	0	
12.Oca	30	75	0.70	1.0	52	0.63	52	1252	0	0	
13.Oca	30	75	0.69	1.0	51	0.61	51	1230	0	0	
14.Oca	30	75	0.67	1.0	50	0.60	50	1209	0	0	
15.Oca	30	75	0.66	1.0	50	0.59	50	1188	0	0	
16.Oca	30	75	0.65	1.0	49	0.57	49	1167	0	0	
17.Oca	30	75	0.64	1.0	48	0.56	48	1147	0	0	
18.Oca	30	75	0.63	1.0	47	0.54	47	1126	0	0	
19.Oca	30	75	0.61	1.0	46	0.53	46	1106	0	0	
20.Oca	30	75	0.60	1.0	45	0.51	45	1086	0	0	
21.Oca	30	75	0.59	1.0	44	0.50	44	1066	0	0	
22.Oca	30	75	0.58	1.0	44	0.49	44	1046	0	0	
23.Oca	30	75	0.57	1.0	43	0.47	43	1027	0	0	
24.Oca	30	75	0.56	1.0	42	0.46	42	1008	0	0	
25.Oca	30	75	0.55	1.0	41	0.45	41	989	0	0	
26.Oca	30	75	0.54	1.0	40	0.43	40	970	0	0	
27.Oca	30	75	0.53	1.0	40	0.42	40	951	0	0	
28.Oca	30	75	0.52	1.0	39	0.41	39	933	0	0	
29.Oca	30	75	0.51	1.0	38	0.40	38	915	0	0	
30.Oca	30	76	0.50	1.0	37	0.38	37	897	0	0	
31.Oca	30	76	0.49	1.0	37	0.37	37	880	0	0	
01.Şub	30	76	0.47	1.0	36	0.35	36	852	0	0	
02.Şub	30	76	0.46	1.0	35	0.34	35	836	0	0	
03.Şub	30	76	0.45	1.0	34	0.33	34	819	0	0	
04.Şub	30	76	0.44	1.0	33	0.32	33	803	0	0	
05.Şub	30	76	0.43	1.0	33	0.31	33	787	0	0	
06.Şub	30	76	0.42	1.0	32	0.30	32	771	0	0	
07.Şub	30	76	0.42	1.0	31	0.29	31	755	0	0	
08.Şub	30	76	0.41	1.0	31	0.28	31	740	0	0	
09.Şub	30	76	0.40	1.0	30	0.27	30	725	0	0	
10.Şub	30	76	0.39	1.0	30	0.26	30	710	0	0	
11.Şub	30	76	0.38	1.0	29	0.25	29	696	0	0	
12.Şub	30	76	0.37	1.0	28	0.24	28	681	0	0	
13.Şub	30	76	0.37	1.0	28	0.23	28	668	0	0	
14.Şub	30	76	0.36	1.0	27	0.22	27	654	0	0	
15.Şub	30	76	0.35	1.0	27	0.21	27	640	0	0	
16.Şub	30	76	0.34	1.0	26	0.20	26	627	0	0	
17.Şub	29	76	0.34	1.0	26	0.19	26	614	0	0	
18.Şub	29	76	0.33	1.0	25	0.18	25	602	0	0	
19.Şub	29	76	0.32	1.0	25	0.17	25	589	0	0	
20.Şub	29	76	0.32	1.0	24	0.00	0	0	24	577	
21.Şub	29	76	0.31	1.0	24	0.00	0	0	24	566	
22.Şub	29	76	0.30	1.0	23	0.00	0	0	23	554	
23.Şub	29	76	0.30	1.0	23	0.00	0	0	23	543	
24.Şub	29	76	0.29	1.0	22	0.00	0	0	22	532	
25.Şub	29	76	0.29	1.0	22	0.00	0	0	22	522	
26.Şub	29	76	0.28	1.0	21	0.00	0	0	21	512	
27.Şub	29	76	0.27	1.0	21	0.00	0	0	21	502	

Sistemin hesabı yapılırken, öncelikle dış hava sıcaklığına göre mikrotürbinin elektrik ve ısı gücü hesaplanır. Dış hava sıcaklığı bölgelere göre değişmekte ve türbinlerin çıktıları (outputları) bu sıcaklığına göre değişiklik göstermektedir. Bu output değerlerine göre mikrotürbin başına düşen ısı yük bulunur. Bu yük eş çalışma prensibine göre çalışacak mikrotürbin grubunun kısmi yükünü vermektedir. Kısmi yük başabaş noktasından büyük ise türbinlerin, değil ise kazanların çalıştığı kabul edilir ve sistemin ne kadar güç ve enerji ürettiği hesaplanır. Eğer türbin grubunun başabaş noktasından düşük yükte çalıştığı görülüyor ise kazanlar devreye girecek, değil ise türbinler gerekli ısı talebini karşılayacaktır. Çizelge 4.16'te günlük değerlere göre hesaplamaya bir örnek verilmiştir. Görüldüğü üzere 20 Şubat tarihinde bir adet türbin yükü %17'nin altına düşmektedir. Bu nedenle türbinler stop edilip, kazan devreye alınmıştır.

#### **4.5.2 Yıllık Kar/Zarar Hesabı**

Kar - zarar hesabı, mikrotürbinli kojenerasyon işletmesinin dönem sonuna kadar kar - zarar durumunu ortaya koymak, gelir ve giderleri hesaplamak için yapılmıştır (Çizelge 4.17). Sistemin finansal analizi yapılmadan önce öncelikle sistemin günlük olarak bir yıl boyunca çalıştığı oransal yüklerde ürettiği ısı ve elektrik enerjinin parasal değeri hesaplanır. Girdi olarak doğal gaz enerjisi için alış maliyeti hesaplanır. Satışlar toplamı ile alış arasındaki fark sistemin geliri olacaktır. Günlük hesaplanan amortisman ve bakım girdi olarak yazılarak gelir ile arasındaki fark bulunarak karı hesaplanır. Çizelge 4.17 sistemin günlük kar hesabı için elde edilen değerleri göstermektedir.

Çizelge 4.17 Günlük kar – zarar hesabı

Kar - Zara Hesabı								
	Toplam 2,016	Toplam 6,624	Toplam 4,626	Toplam 8,329	Toplam 2,921	Toplam 1,650	Toplam 69	Toplam 1,202
Günler	Çalışma Saati	Isı Satışı	Elektrik Satışı	Doğalgaz Alış Maliyeti	Gelir	Amortism an	Bakım	Kar
°C	h/gün	TL/gün	TL/gün	TL/gün	TL/gün	TL/gün	TL/gün	TL/gün
01.Oca	24	123	104	161	66	30.6	1.5	33.4
02.Oca	24	121	102	159	64	30.2	1.5	32.5
03.Oca	24	119	99	156	63	29.7	1.5	31.6
04.Oca	24	117	97	153	61	29.2	1.4	30.7
05.Oca	24	115	95	150	60	28.7	1.4	29.9
06.Oca	24	114	93	148	59	28.3	1.4	29.0
07.Oca	24	112	91	145	57	27.8	1.3	28.2
08.Oca	24	110	89	143	56	27.4	1.3	27.3
09.Oca	24	108	87	140	55	26.9	1.3	26.5
10.Oca	24	106	85	137	53	26.5	1.3	25.7
11.Oca	24	104	83	135	52	26.0	1.2	24.9
12.Oca	24	103	81	132	51	25.6	1.2	24.1
13.Oca	24	101	79	130	50	25.1	1.2	23.4
14.Oca	24	99	77	127	48	24.7	1.1	22.6
15.Oca	24	97	75	125	47	24.3	1.1	21.8
16.Oca	24	96	73	123	46	23.8	1.1	21.1
17.Oca	24	94	71	120	45	23.4	1.1	20.4
18.Oca	24	92	69	118	44	23.0	1.0	19.6
19.Oca	24	91	67	116	43	22.6	1.0	18.9
20.Oca	24	89	66	113	41	22.2	1.0	18.2
21.Oca	24	87	64	111	40	21.8	0.9	17.6
22.Oca	24	86	62	109	39	21.4	0.9	16.9
23.Oca	24	84	60	106	38	21.0	0.9	16.2
24.Oca	24	83	59	104	37	20.6	0.9	15.6
25.Oca	24	81	57	102	36	20.2	0.8	14.9
26.Oca	24	80	55	100	35	19.8	0.8	14.3
27.Oca	24	78	54	98	34	19.4	0.8	13.7
28.Oca	24	77	52	96	33	19.1	0.8	13.1
29.Oca	24	75	51	94	32	18.7	0.7	12.5
30.Oca	24	74	49	92	31	18.3	0.7	11.9
31.Oca	24	72	47	90	30	18.0	0.7	11.3
01.Şub	24	70	45	87	29	17.4	0.7	10.4
02.Şub	24	69	44	85	28	17.1	0.6	9.9
03.Şub	24	67	42	83	27	16.7	0.6	9.4
04.Şub	24	66	41	81	26	16.4	0.6	8.8
05.Şub	24	65	40	79	25	16.1	0.6	8.3
06.Şub	24	63	38	77	24	15.8	0.6	7.8
07.Şub	24	62	37	76	23	15.4	0.5	7.3
08.Şub	24	61	36	74	23	15.1	0.5	6.9
09.Şub	24	59	34	72	22	14.8	0.5	6.4
10.Şub	24	58	33	70	21	14.5	0.5	5.9
11.Şub	24	57	32	69	20	14.2	0.5	5.5
12.Şub	24	56	31	67	19	13.9	0.5	5.0
13.Şub	24	55	30	66	19	13.6	0.4	4.6
14.Şub	24	54	28	64	18	13.4	0.4	4.2
15.Şub	24	53	27	63	17	13.1	0.4	3.8
16.Şub	24	51	26	61	17	12.8	0.4	3.4
17.Şub	24	50	25	60	16	12.6	0.4	3.0
18.Şub	24	49	24	58	15	12.3	0.4	2.6
19.Şub	24	48	23	57	15	12.0	0.3	2.2
20.Şub	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
21.Şub	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
22.Şub	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
23.Şub	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
24.Şub	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
25.Şub	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
26.Şub	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0

#### 4.6 Finansal Analiz

Sistemin finansal analizi Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi ile yapılmıştır. Bir yatırımın net bugünkü değeri, yatırımdan beklenen net nakit girişlerinin belli bir iskonto oranıyla indirgenmiş değerleri toplamından, yatırım harcamalarının bugünkü değerleri toplamının çıkarılmasıyla bulunur. Eğer bu yöntemle göre değer pozitif ( $NBD > 0$ ) ise yatırım yapılır, negatif ise yatırım yapılmaz. Net bugünkü değer yöntemi aşamaları şu şekilde yapılmıştır.

1. Adım: Sistemin yatırım tutarı belirlenmiştir.
2. Adım: Sistemin net nakit girişleri, günlük kar hesaplarının yıllık toplamlarından elde edilmiştir.
3. Adım: Sistemin çalışma süresi ve ömrü belirlenmiştir.
4. Adım: Sistemin tekrar yenilenme yada masraflar ile hurda değeri belirlenmiştir.
5. Adım: Nakit akışlarını bugüne indirgeyecek iskonto oranı yani getiri oranı belirlenmiştir.

Çizelge 4.18 Net bugünkü değer girdileri (C30, Erzurum, 15 katlı bina)

<b>GİRDİLER</b>	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
<b>Net Yatırımlar (1000 TL)</b>	560	1.050	1.610	2.100	2.660	3.150	3.640	4.200
<b>Net Tasarruflar (TL/yıl)</b>	59.343	121.488	186.112	248.216	313.079	375.321	439.367	502.096
<i>Çalışma Süresi (h/yıl)</i>	2.988	2.992	2.739	2.801	2.689	2.734	2.729	2.704
<i>Peryod (yıl)</i>	27	27	29	29	30	29	29	30
<b>Masraf (1000 TL)</b>	-448	-840	-1.288	-1.680	-2.128	-2.520	-2.912	-3.360
<b>Hurda değeri (1000 TL)</b>	112	210	322	420	532	630	728	840
<b>Getiri Oranı (%)</b>	5	5	5	5	5	5	5	5

NBD değeri formülle şu şekilde gösterilir;

$$NBD = \sum \frac{F_n}{(1+r)^n} - \frac{M_n}{(1+r)^n} \quad (4.32)$$

burada,  $F_n$ , net nakit girişlerini;  $M_n$ , yatırım tutarını;  $n$ , yatırımın ekonomik ömrünü ve  $r$ , iskonto oranını ifade etmektedir. Yatırımın tesis süresi uzun yıllar sürdüğünden, nakit

çıkışlarının da iskonto edilmiş değerleri göz önüne alınmıştır.

Yatırımın, ekonomik ömrü sonunda bir hurda değeri söz konusudur. Hurda değer nakit girişi olarak kabul edilerek, net nakit girişlerine ilave edilir. Ekonomik ömür sonundaki hurda değer ( $H_n$ ) dikkate alındığında, NBD formülü şu şekli alır:

$$NBD = \sum \frac{F_n}{(1+r)^n} + \frac{H_n}{(1+r)^n} - \frac{M_n}{(1+r)^n} \quad (4.33)$$

Net bugünkü değer yönteminde nakit giriş ve çıkışları önceden indirgenmektedir. Bu nedenle iskonto oranının belirlenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada iskonto oranı yerine gerçek getiri oranı kullanılmıştır. Bu oran hem sermayenin maliyetini yani faizi hem de enflasyonu içermektedir.

$$r = \frac{1+i}{1+g} \quad (4.34)$$

burada,  $i$ , faiz oranını ve  $g$ , enflasyon oranını ifade etmektedir. Çizelge 4.18’de gösterildiği gibi hesaplamalarda %5 olarak kullanılmıştır. NBD hesapları iki farklı yatırım senaryosuna göre hesaplanmıştır. Birinci senaryoda sistem yatırım yapıp, 79,000 çalışma saatini doldurduktan sonra mikrotürbinler hurdaya ayrılmaktadır. Bu senaryoya tek dönem yenilemesiz net bugünkü değer olarak adlandırılmıştır. İkinci yatırım senaryosu ise, sistem çalışma süresini doldurduktan sonra bakıma sokulmaktadır. Mikrotürbinlerin ilk yatırımının %80’i tekrar yenileme olarak yatırımı yapılarak ikinci çalışma süresini doldurana kadar tekrar kullanılır ve bu süre dolduğunda hurdaya ayrılır. Bu senaryoya da iki dönem yenilemeli net bugünkü değer denir. Çizelge 4.19’de Erzurum ili için, 15 katlı blokların NBD değerleri örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 4.19 Net bugünkü değer çıktıları (C30, Erzurum, 15 katlı bina)

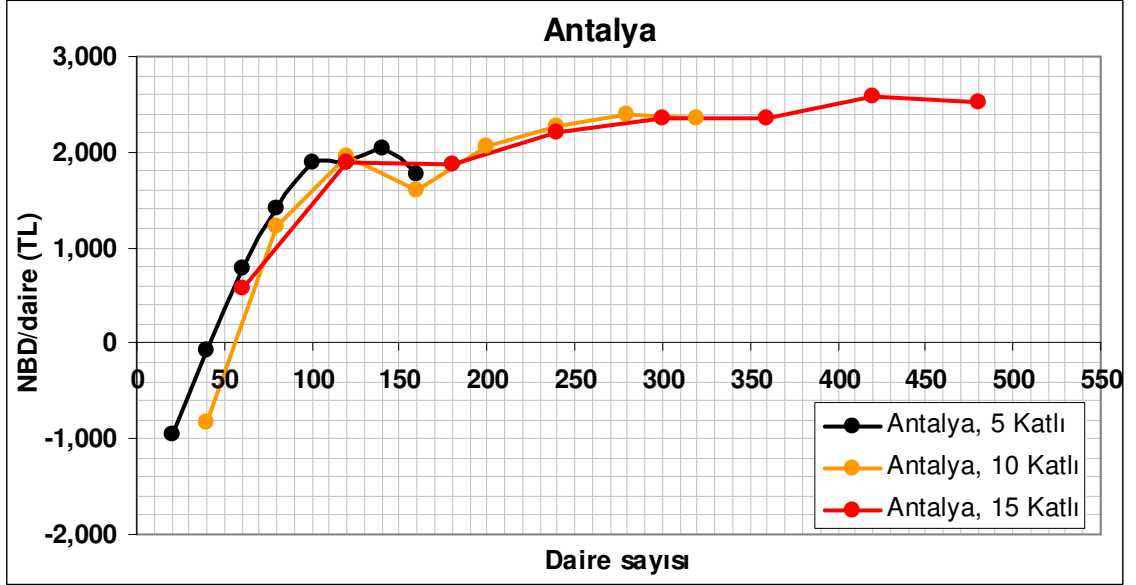
ÇIKTILAR	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
<b>Tek dönem yenilemesiz</b>								
<b>NBD (1000 TL)</b>	339	785	1.286	1.760	2.276	2.686	3.189	3.713
<b>İki dönem yenilemeli</b>								
<b>NBD (1000 TL)</b>	430	996	1.599	2.188	2.802	3.338	3.964	4.572

Tüm bölgelere ait net bugünkü değerler, tek dönem yenilemesiz, ve iki dönem yenilemeli hesaplar C30 için Ek 3’te ve C65 için Ek 4’te tablo halinde verilmiştir.

## 5. ÖRNEK İLLER İÇİN UYGULAMALAR

### 5.1 C30 Mikrotürbinli Sistemin Uygulanması

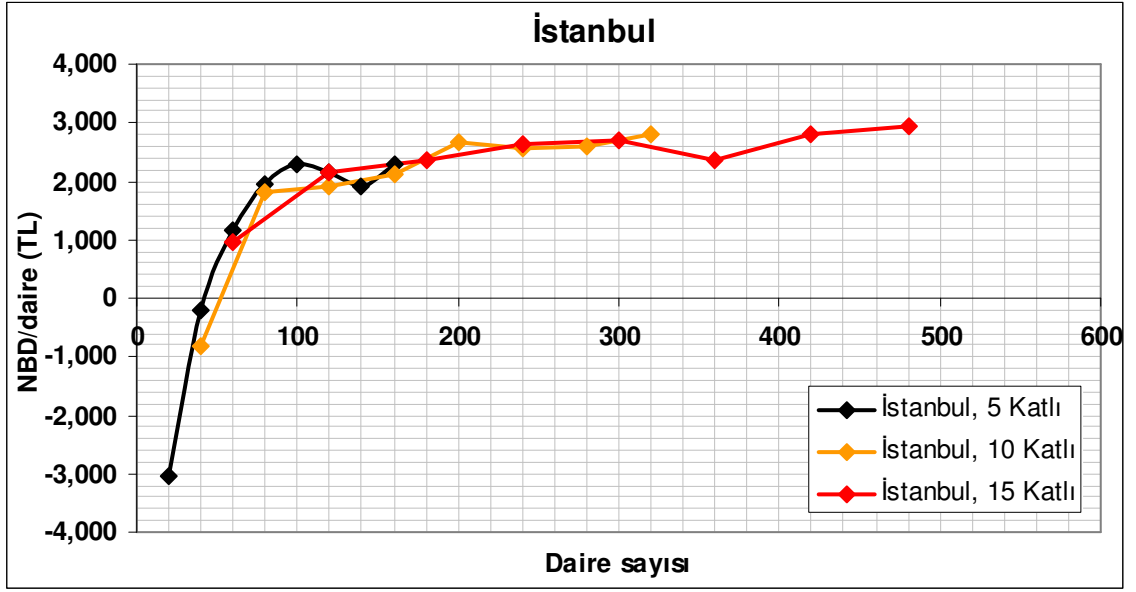
#### 5.1.1 C30 - Birinci Bölge Antalya İçin Uygulama



Şekil 5.1 C30 Mikrotürbinli Sisteminin Antalya için Sonuçları

C30 mikrotürbinli sistemlerde Antalya'nın iklim özelliklerine sahip bölgede mikrotürbinli sistemler 50 dairesi toplu konutlu yapılar için ekonomik bir sistem olmadığı görülmektedir. Sistemin karlılığı 120 dairesi toplu konutlara kadar artan bir eğilim göstermekte, bu daire sayısından sonraki daire sayılarında karlılık artışında çok küçük değişimler olmaktadır. 5 katlı bina tipine sahip toplu konutlarda sistem 10 ve 15 katlılara göre daha karlı olduğu görülmektedir. 10 katlı toplu konutlar ile 15 katlı toplu konutlar neredeyse aynı karlılığa sahiptir.

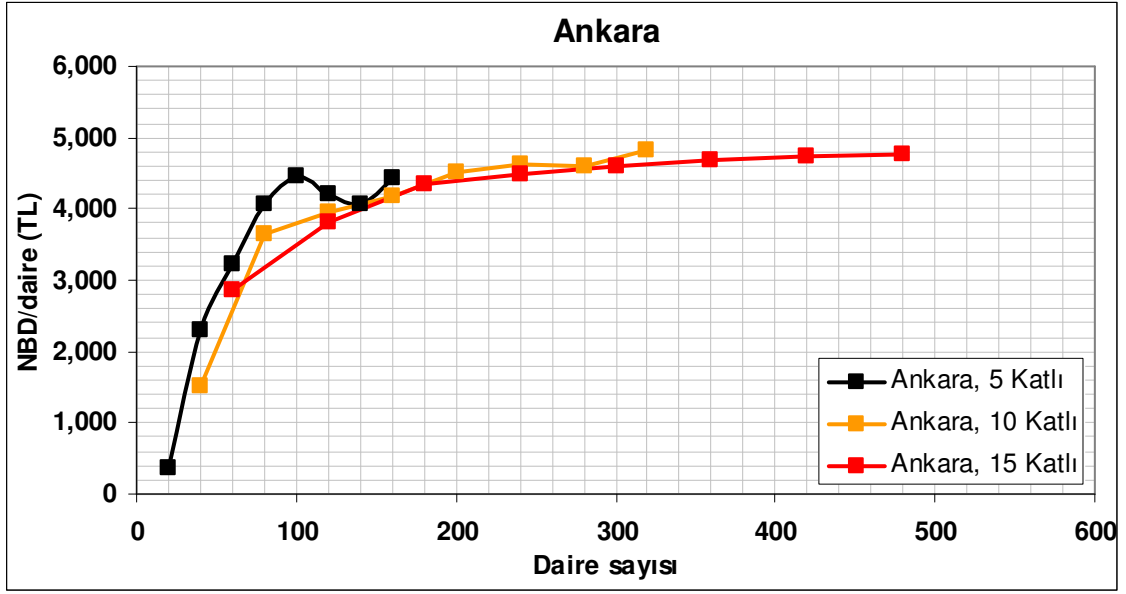
### 5.1.2 C30 - İkinci Bölge İstanbul İçin Uygulama



Şekil 5.2 C30 Mikrotürbinli Sisteminin İstanbul için Sonuçları

İstanbul bölgesi, C30 mikrotürbinli sistemlerde Antalya'nın iklim özelliklerine sahip bölgelerle hemen hemen aynı ekonomik değerlere sahiptir. Bu bölgede daire sayısına göre 180 daireden sonra karlılıktaki artış çok küçük miktarlarda olmaktadır. 5, 10 ve 15 katlı bina tipine sahip toplu konutlarda karlılık aynı karakteristiğe sahiptir.

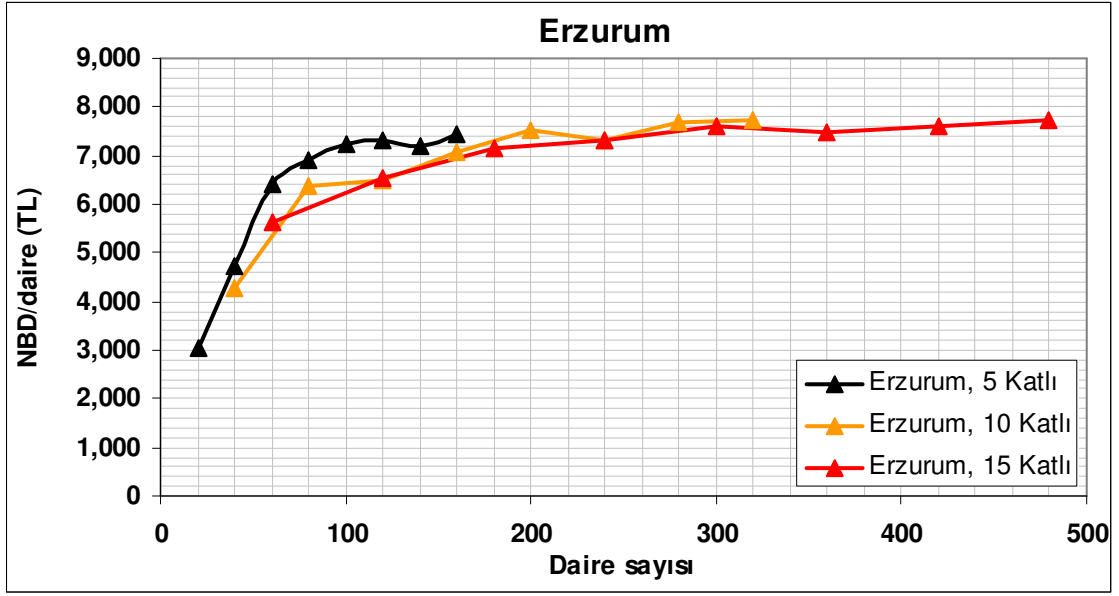
### 5.1.3 C30 - Üçüncü Bölge Ankara İçin Uygulama



Şekil 5.3 C30 Mikrotürbinli Sisteminin Ankara için Sonuçları

Ankara bölgesi, C30 mikrotürbinli sistemlerde 5 katlı tek bloktan oluşan konutlarda her zaman ekonomik bir sistemdir. Karlılık 200 daireli konutlara kadar artan bir grafik izlemekte ve 200 daireden sonra grafiğin eğimi düşmektedir. 5, 10 ve 15 katlı bina tipine sahip toplu konutlarda karlılık aynı karakteristiğe sahiptir.

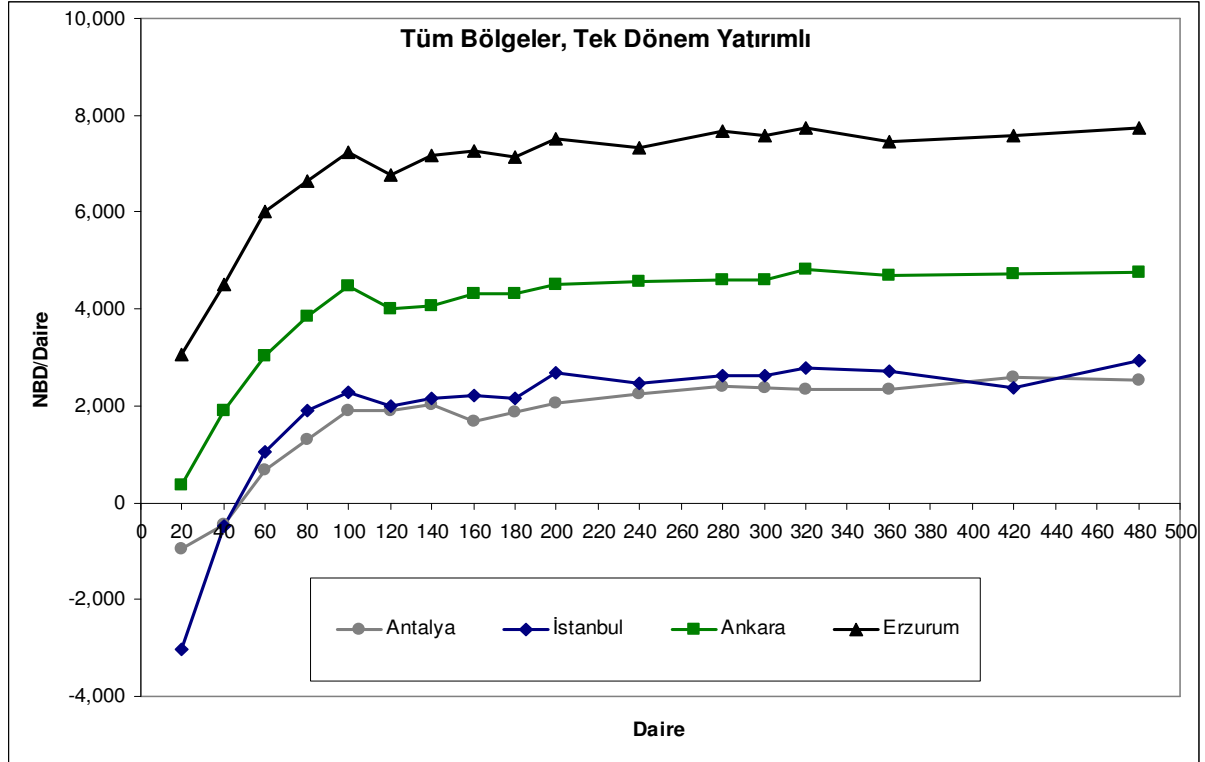
### 5.1.4 C30 - Dördüncü Bölge Erzurum İçin Uygulama



Şekil 5.4 C30 Mikrotürbinli Sisteminin Erzurum için Sonuçları

Erzurum bölgesi, C30 mikrotürbinli sistemlerde her zaman karlı sistemdir. 20 dairesi 5 katlı bloklarda dahi karlılık diğer bölgelere göre hayli yüksektir. 5 katlı tek bloktan oluşan konutlar diğer kat sayısına sahip bloklara göre her zaman karlı olduğu görülmektedir. 5 katlı 6 bloktan oluşan 120 dairesi konutlar, 10 katlı 120 daireye sahip 3 bloklu ve 15 katlı 120 dairesi 3 bloklu yapılara göre daha karlı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, aynı daire sayısına sahip, farklı katlardan oluşan toplu konutlarda, düşük katlı binalar daha çok sayıda bloktan oluşmakta ve daha fazla yüzey alanına sahip olmaktadır. Yüzey alanındaki artış, ısı ihtiyacındaki artışa neden olmaktadır. Isı talebi artan bir kojenerasyon tesisi daha yüksek verimlere sahip olmaktadır.

### 5.1.5 C30 - Tüm Bölge Ortalamalarının İncelenmesi

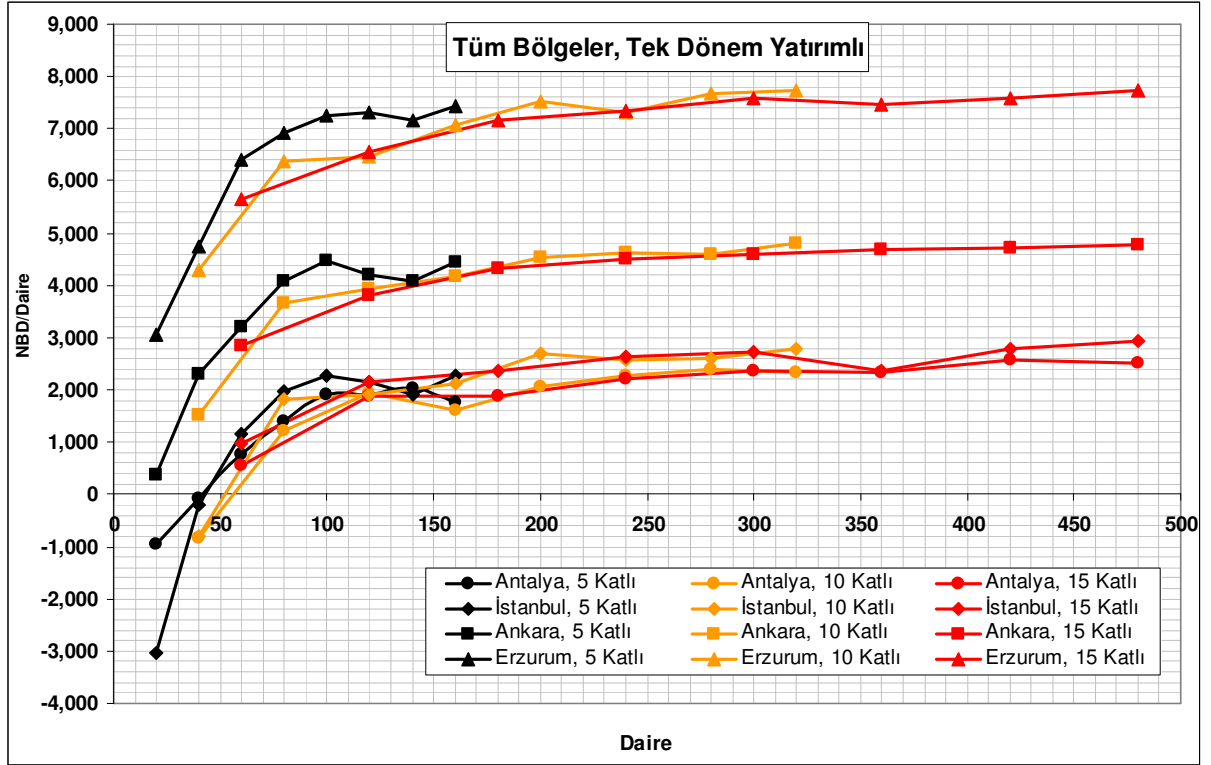


Şekil 5.5 C30 Mikrotürbinli Sisteminin 5, 10, 15 Kat Yüksekliklerine göre Ortalamalar

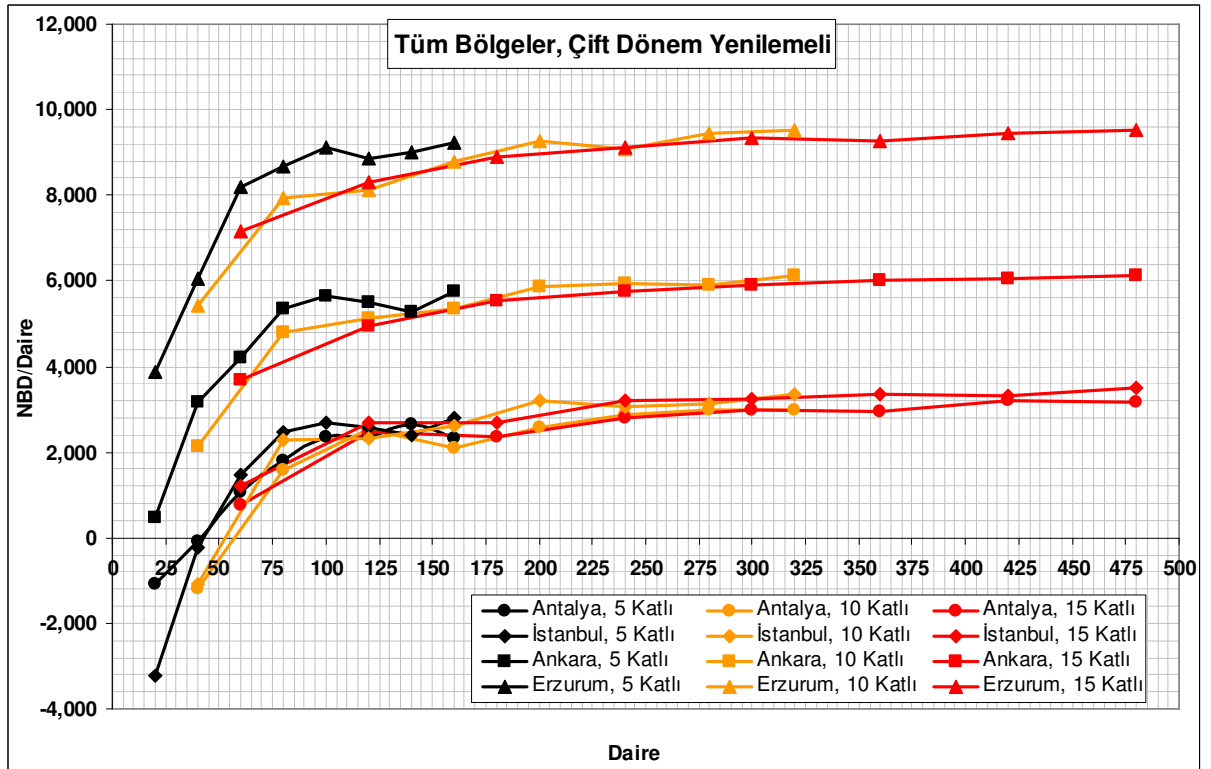
Antalya ve İstanbul, yani birinci ve ikinci bölge, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin iklimsel özelliklerine nazaran daha ılıman bir iklime sahiptir. Antalya ve İstanbul iklim olarak birbirlerine yakın özellikler içermektedir. Bu nedenle bu bölgelerdeki toplu konutların ısı ihtiyaçları da birbirlerine yakın değerlerdedir. Bu iki bölgenin ılıman iklime sahip olması daha az ısıtma enerjisi ihtiyacına neden olacaktır. Mikrotürbinli kojenerasyon sisteminin de ısı satışı bu nedenden dolayı daha az olacaktır ki bu da karlılığı düşüren bir faktördür.

Tüm bölgelerde ortalamalara göre 100 daireli konutlar en yüksek daire başına karı göstermektedir. Birinci bölgede uygulanacak C30 mikrotürbinli sisteminin karlılığı 2000 TL/daire mertebelerindedir. 100 daireden fazla konutlarda karlılıktaki değişiklik çok küçük olacaktır. Bu durum tüm bölgeler için de geçerlidir. İkinci bölge için daire başı karlılık 2500 TL civarındadır. Üçüncü bölge ilk iki bölgeye göre daha soğuk bir iklime sahiptir. Soğutma gün dereceleri bu iki bölgeye göre daha fazladır. Bu nedenden dolayı karlılık neredeyse iki kat daha fazladır yani 4500 TL/daire mertebelerindedir. Dördüncü bölgede karlılık 7500 TL/daire mertebelerindedir. Erzurum ve Ankara illerinin bulunduğu üç ve dördüncü bölgelerde, 5 katlı ve tek bloktan oluşan 20 daireli bir konutta mikrotürbin kullanılması her zaman karlı olacaktır.

### 5.1.6 C30 - Tüm Bölgeler İçin Yatırım Modeline Göre İnceleme



Şekil 5.6 C30 Mikrotürbinli Sistemin Tüm Bölgelerde Tek Dönem Yenilemesiz Sonuçları

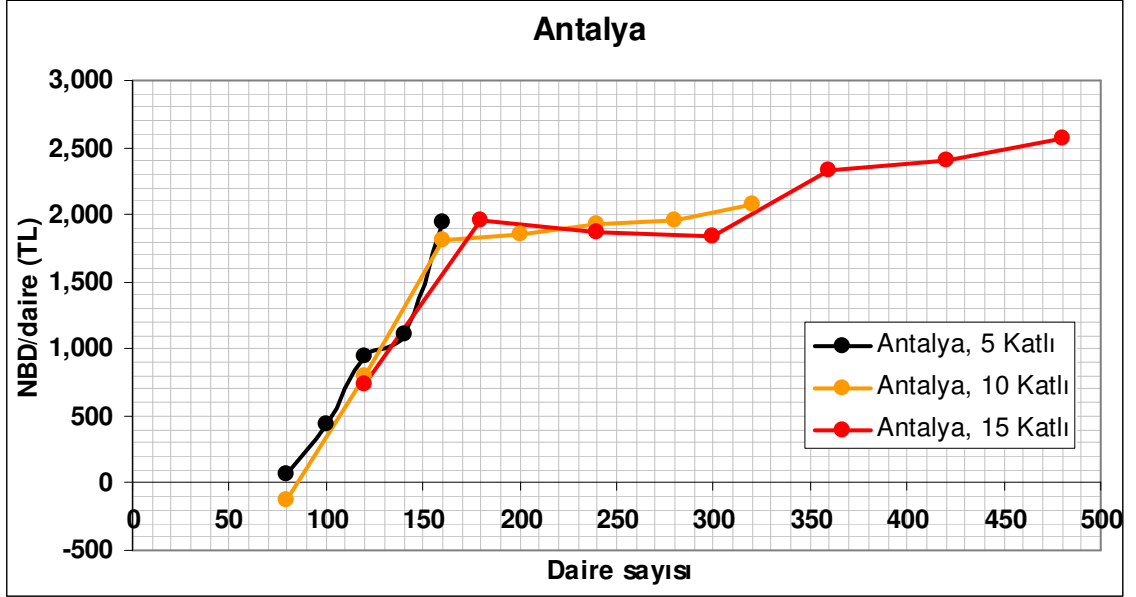


Şekil 5.7 C30 Mikrotürbinli Sistemin Tüm Bölgelerde Çift Dönem Yenilemeli Sonuçları

Sistemlerin yatırım senaryoları dikkate alındığında, sistemin sadece tek bir dönem kullanılarak hurdaya ayrılması ile iki dönem kullanılarak hurdaya ayrılması sistemin karlılığını etkilemektedir. Birinci ve ikinci bölgelerde bu etki çok küçük mertebelerde iken üç ve dördüncü bölgelerde fark edilebilir miktarlardadır. Antalya ve İstanbul NBD/daire değerleri 2500 TL/daire mertebelerinden 3000 TL/daire değerlerine yaklaşmış iken, Ankara'da 4000 TL/daire değerinden 6000 TL/daire mertebelerine kadar çıkmıştır. Erzurum'da ise 7500 TL/daire değerinden 9000 TL/daire mertebelerine çıkmıştır. Bunun nedeni tasarrufların yüksek olduğu yatırımların uzun sürede daha fazla pozitif geri ödeme yapmasıdır.

## 5.2 C65 Mikrotürbinli Sistemin Uygulanması

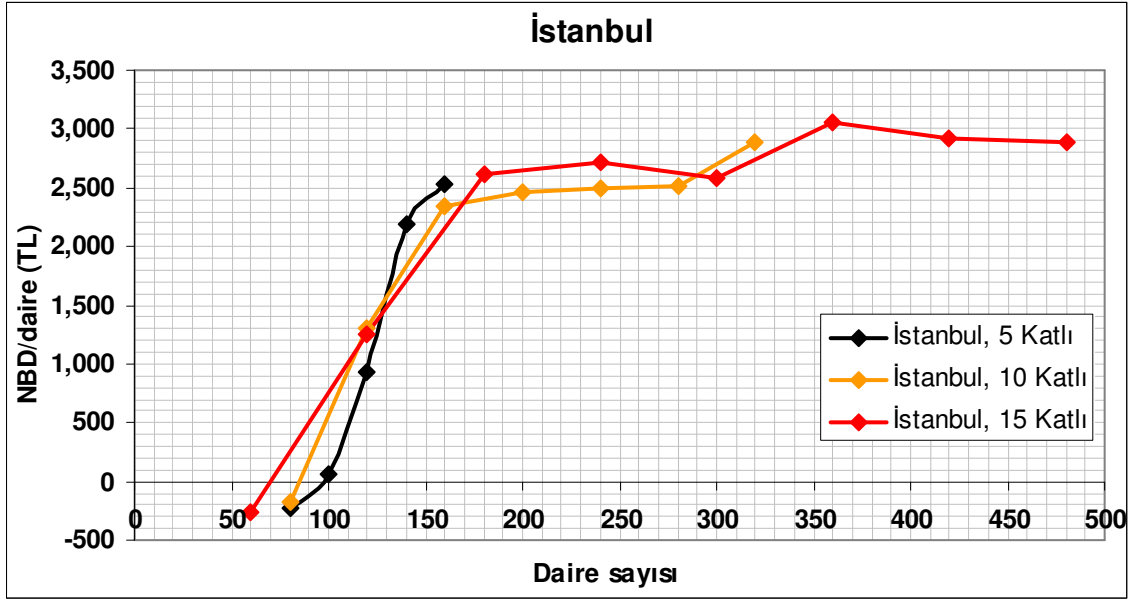
### 5.2.1 C65 - Birinci Bölge Antalya İçin Uygulama



Şekil 5.8 C65 Mikrotürbinli Sisteminin Antalya için Sonuçları

Antalya'nın iklim özelliklerine sahip bölgede C65 mikrotürbinli sistemler 110 daireye kadar toplu konutlu yapılar için ekonomik bir sistem olmadığı görülmektedir. Sistemin karlılığı 180 daireli toplu konutlara kadar artan bir eğilim göstermektedir. Bu noktadan sonraki daire sayılarında karlılık artışında çok küçük değişimler olmaktadır. 5, 10 ve 15 katlı binalardan oluşan toplu konutların karlılıkları aynı olduğu görülmektedir.

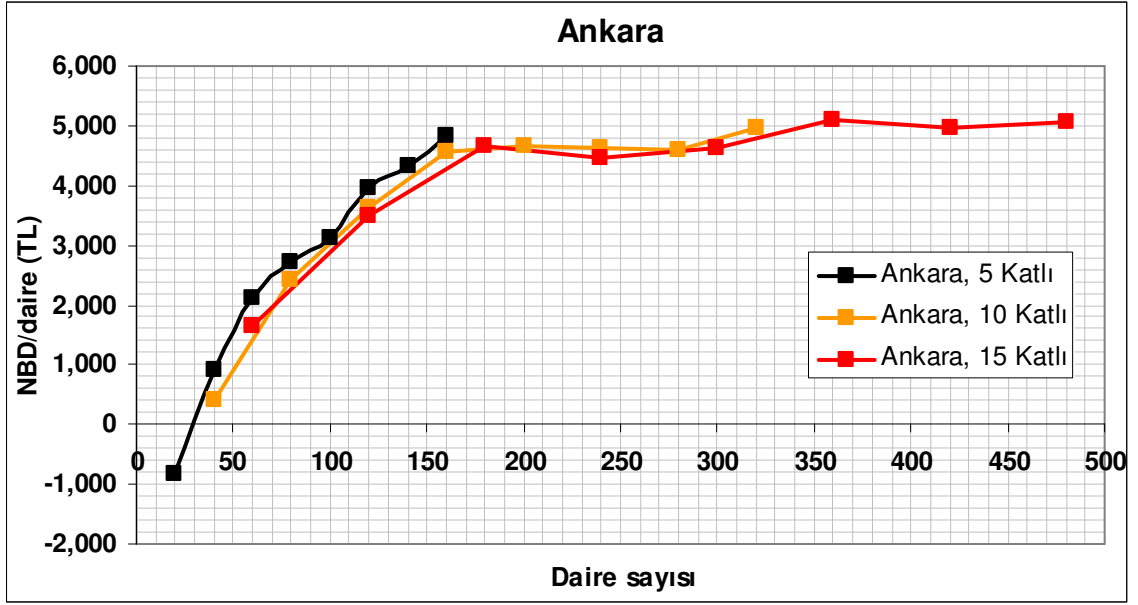
### 5.2.2 C65 - İkinci Bölge İstanbul İçin Uygulama



Şekil 5.9 C65 Mikrotürbinli Sisteminin İstanbul için Sonuçları

C65 mikrotürbinli sistemlerde 100 daireye kadarki toplu konutlarda sistem ekonomik değildir. 170 daireden sonra mikrotürbin sisteminin karlılığındaki artış eğilimi düşmektedir.

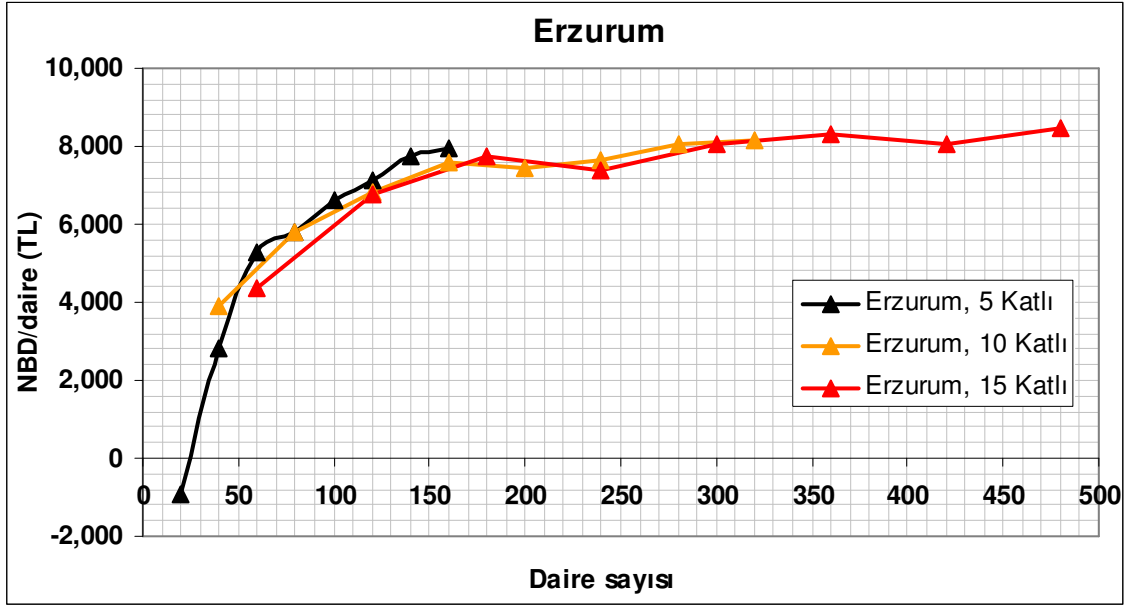
### 5.2.3 C65 - Üçüncü Bölge Ankara İçin Uygulama



Şekil 5.10 C65 Mikrotürbinli Sisteminin Ankara için Sonuçları

Ankara bölgesinde bulunan toplu konutlarda C65 mikrotürbinli sistem uygulaması sadece 5 katlı tek blokta negatif bir değere sahip iken diğer daire sayılarında karlılık daha pozitiftir. Karlılık 190 daireli konutlara kadar artan bir grafik izlemekte ve bu noktadan sonra grafiğin eğimi düşmektedir. 5, 10 ve 15 katlı bina tipine sahip toplu konutlarda karlılık aynı karakteristiğe sahiptir.

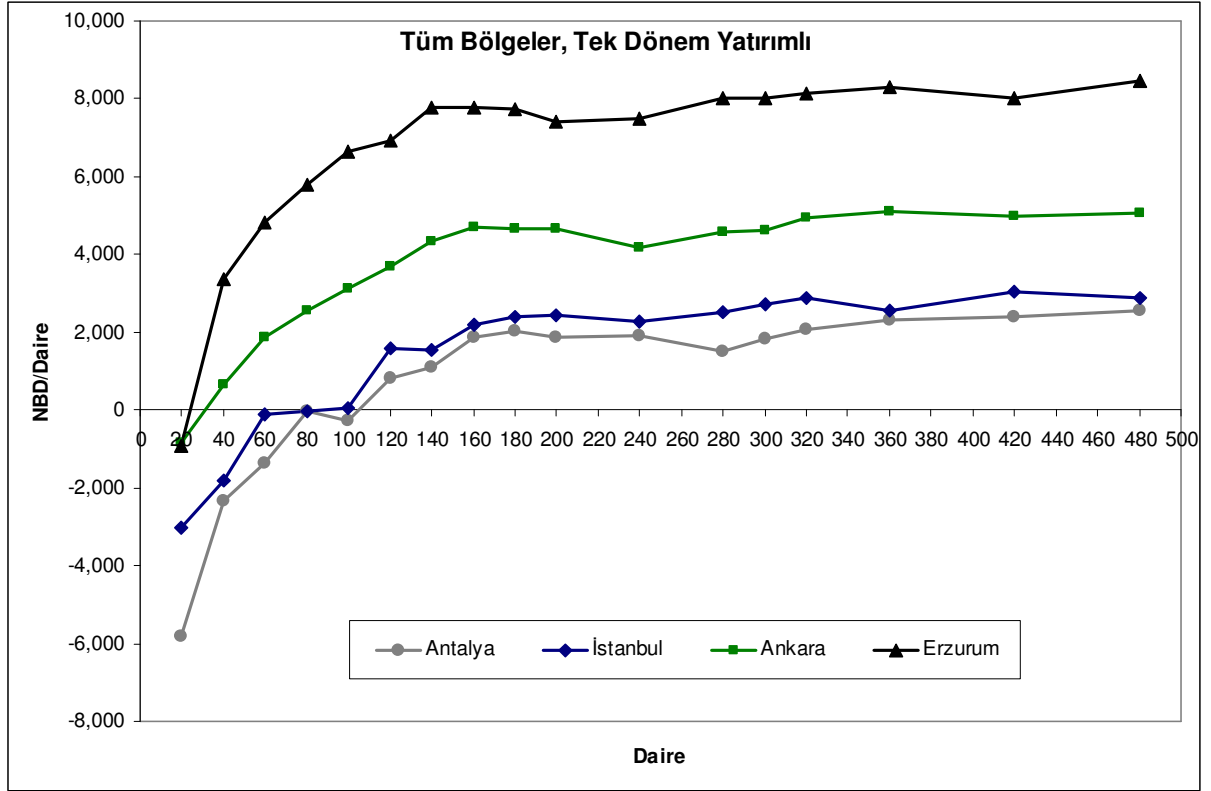
### 5.2.4 C65 - Dördüncü Bölge Erzurum İçin Uygulama



Şekil 5.11 C65 Mikrotürbinli Sisteminin Erzurum için Sonuçları

Erzurum bölgesinde, C65 mikrotürbinli sistemler 20 daireli 5 katlı blok hariç diğer bina yüksekliklerindeki tüm toplu konutlar için her zaman karlıdır. 160 daireden sonra, daire sayısı arttıkça her tip yükseklikteki binalardan oluşan toplu konutlar aynı karlılık değerlerine sahiptir.

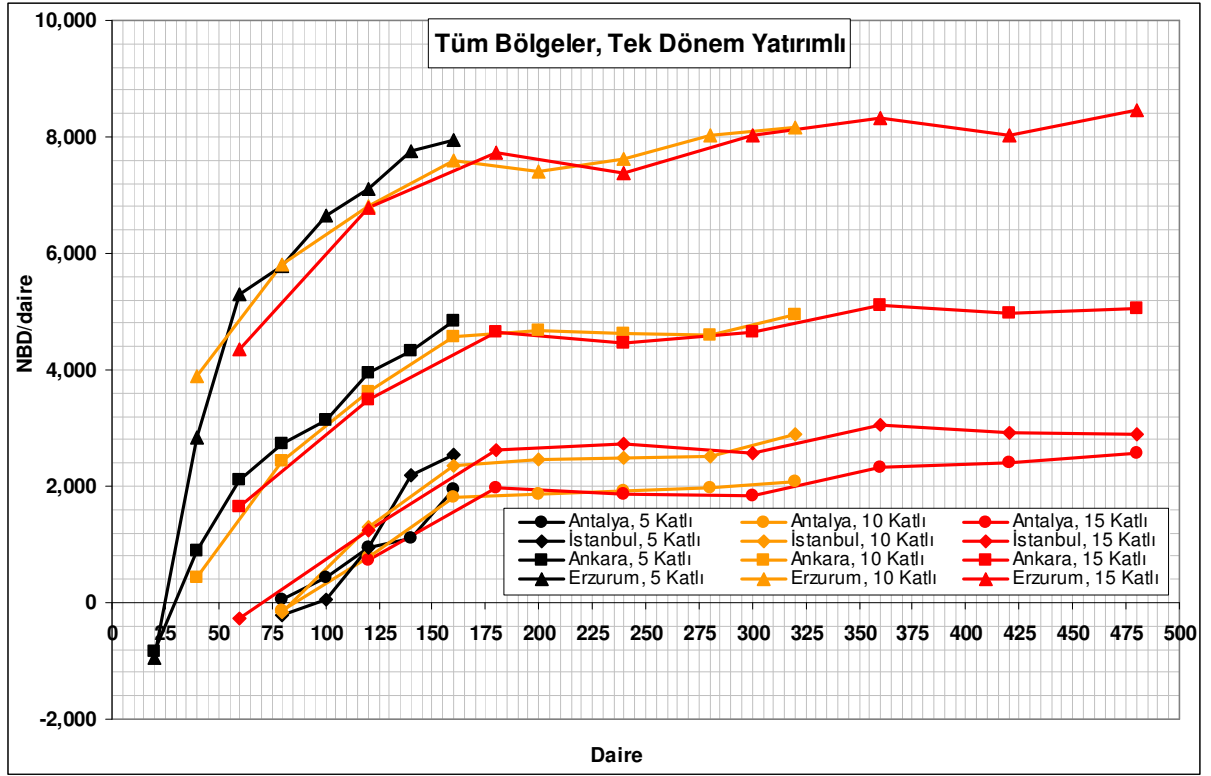
### 5.2.5 C65 - Tüm Bölge Ortalamalarının İncelenmesi



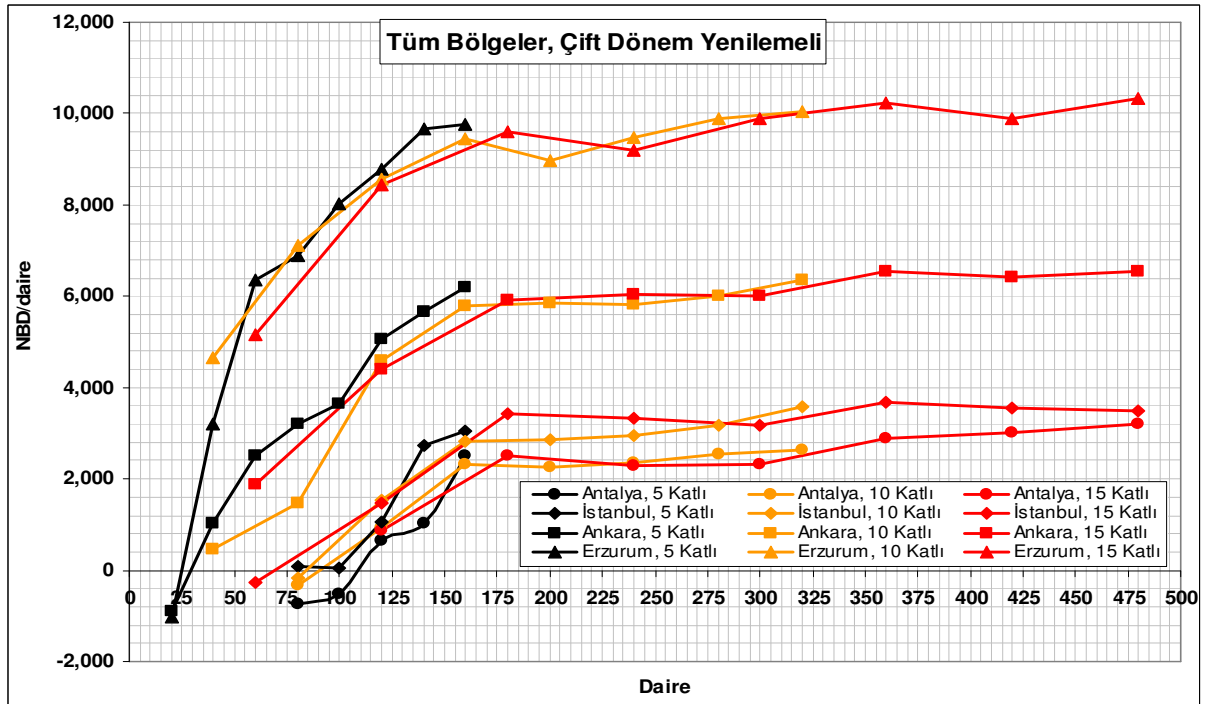
Şekil 5.12 C65 Mikrotürbinli Sisteminin 5, 10, 15 Kat Yüksekliklerine göre Ortalamalar

C65 mikrotürbin sistem uygulamasında C30'lu istemlerdeki gibi bir ve ikinci bölgelerin daire başı kar karakteristikleri birbirine yakın değerlerdedir. Tüm bölgelerde ortalamalara göre 180 dairesel konutlar optimum daire sayısını vermektedir. Birinci bölgede uygulanacak C30 mikrotürbinli sisteminin karlılığı 2000 TL/daire mertebelerindedir. 100 daireden az konutlar bu iki bölge için zarar teşkil edecektir. Bunun nedeni büyük kapasitelerdeki C65 türbinler düşük ısı taleplerinde başabaş noktası altında oranlarda çalışmak isteyecek ve bu değerler altında çalışamayacağı için kazan otomatikman devreye girecektir. Bu durumda bu dönemler için ısı satışı olmayacak ve türbinlerin atıl zamanı artacaktır. İkinci bölge için daire başı karlılık 2500 TL civarındır. Üçüncü ve dördüncü bölgeler için 5 katlı ve tek bloklu konutlarda sistem uygulanabilir olduğu halde C65 için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. 20 daireden büyük toplu konutlarda bu bölgelerde sistem her zaman kar edecektir. Üçüncü bölge karlılık neredeyse iki kat daha fazladır yani 4000 TL/daire mertebelerinde, dördüncü bölgede karlılık ise 8000 TL/daire mertebelerindedir.

### 5.2.6 C65 - Tüm Bölgeler İçin Yatırım Modeline Göre İnceleme



Şekil 5.13 C65 Mikrotürbinli Sistemin Tüm Bölgelerde Tek Dönem Yenilemesiz Sonuçları

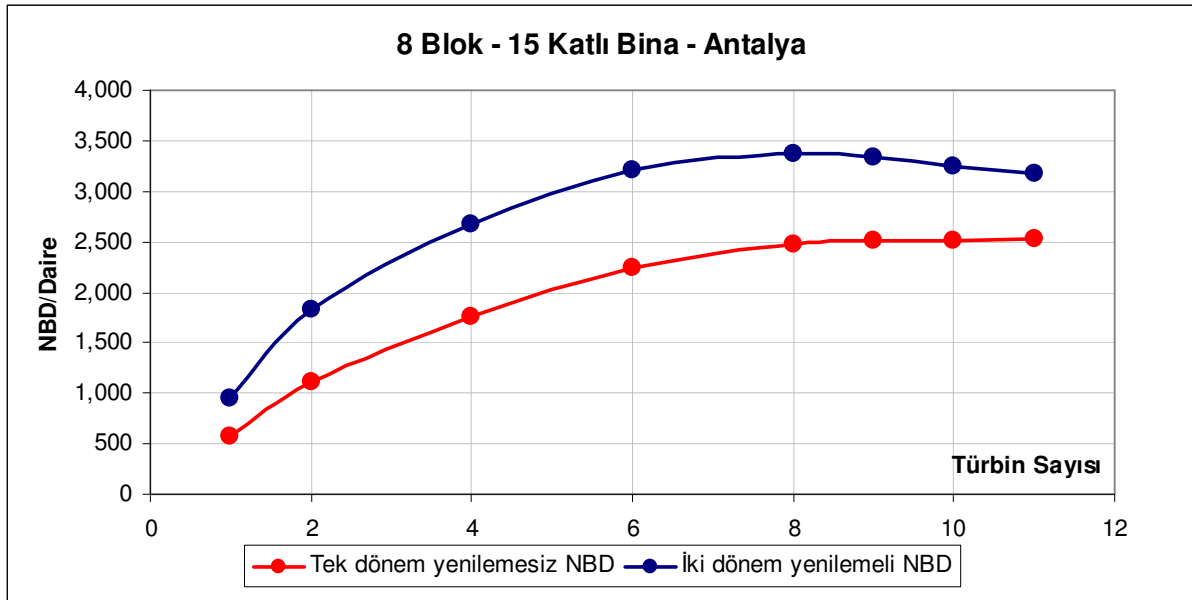


Şekil 5.14 C65 Mikrotürbinli Sistemin Tüm Bölgelerde Çift Dönem Yenilemeli Sonuçları

C65 mikrotürbinli sistemde C30 sisteminde olduğu gibi çift dönem ve yenilemeli yatırım modeli birinci ve ikinci bölgelerde etki küçük oranlarda karlılığı arttırırken üç ve dördüncü bölgelerde farkedilebilir miktarlarda arttırmaktadır. Antalya ve İstanbul NBD/daire değerleri 2500 TL/daire mertebelerinden 3000 TL/daire değerlerine yaklaşmış iken, Ankara'da 4000 TL/daire değerinden 6000 TL/daire mertebelerine kadar çıkmıştır. Erzurum'da ise 7500 TL/daire değerinden 10000 TL/daire mertebelerine çıkmıştır.

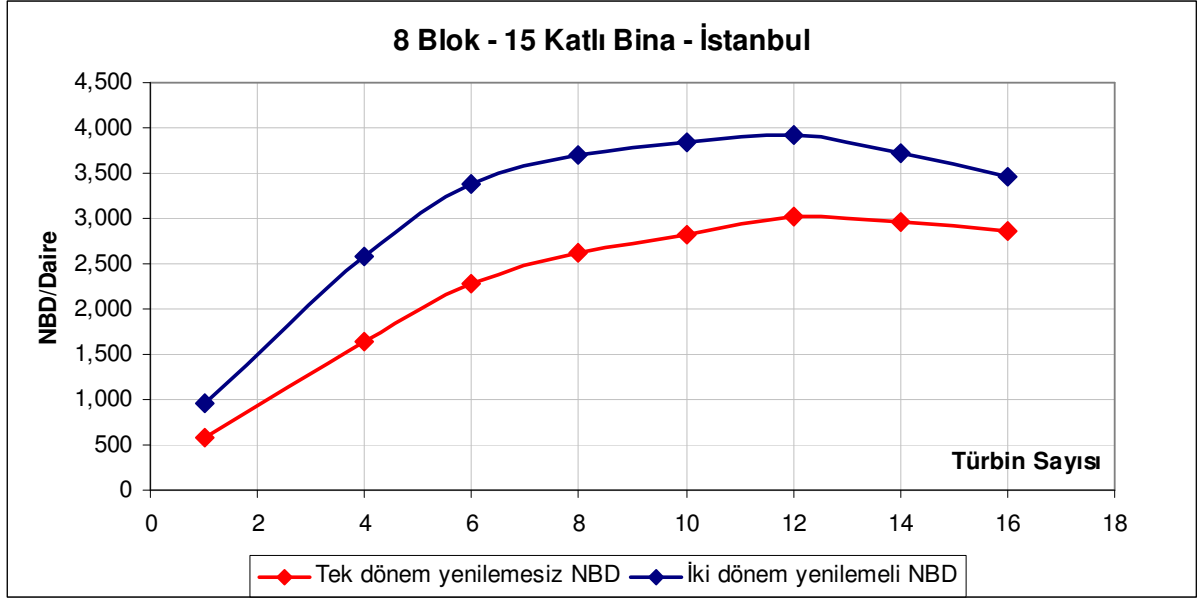
### 5.3 C65 - Tüm Bölgeler, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları

C65 mikrotürbinli sistemi için 15 katlı binalardan oluşan 8 bloklu toplu konut için farklı mikrotürbin sayılarına göre bir optimizasyon yapılmıştır.



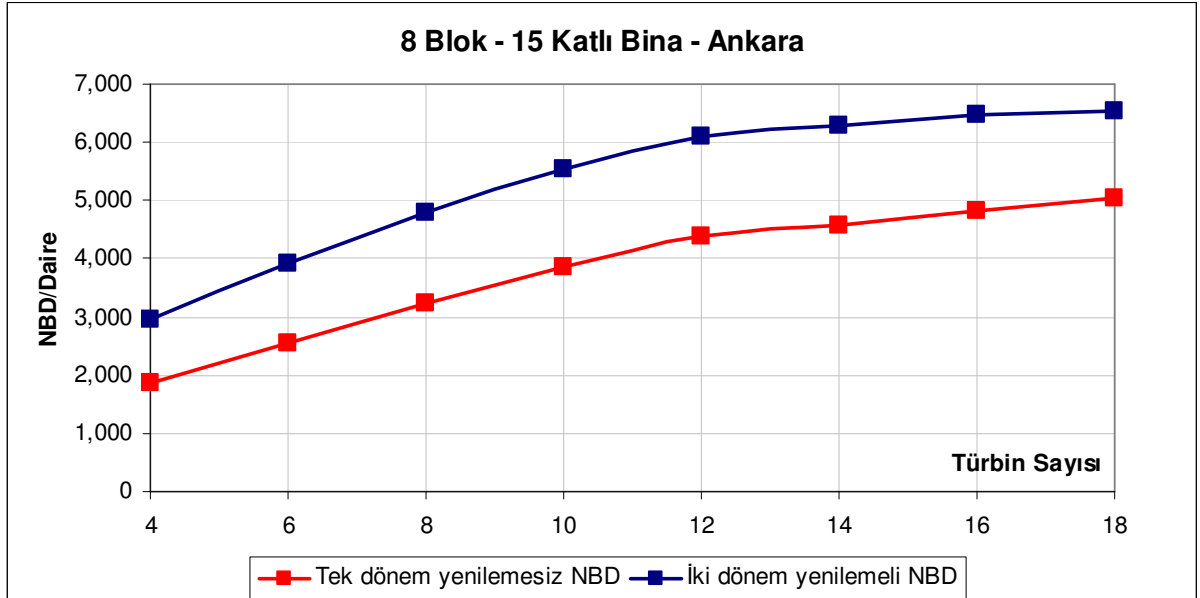
Şekil 5.15 C65 - I Bölge - Antalya, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları

Antalya bölgesi için 480 dairesi ve 15 katlı binalardan oluşan toplu konut için uygulanacak sistemde 11 türbin yerine 8 türbin olması sistemi daha ekonomik yapmaktadır. Gerekli olan eksik yükü kazan sağlayacaktır.



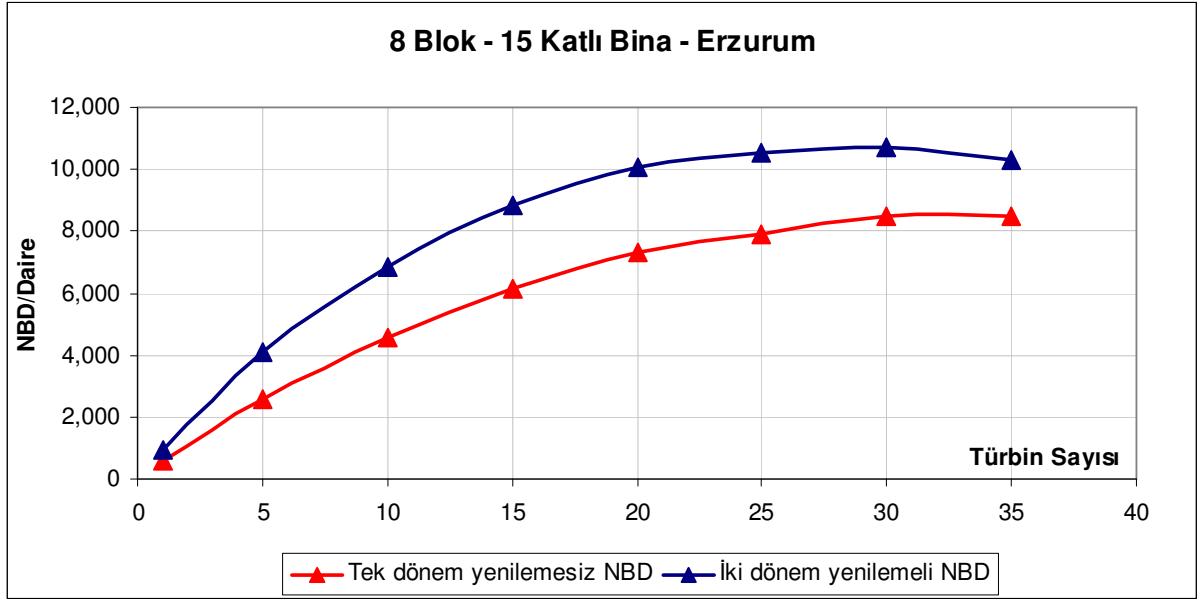
Şekil 5.16 C65 - II Bölge - İstanbul, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları

İstanbul için bu sayı 12 türbindir. İstanbul bölgesinde bulunan bu toplu konut için 16 türbinli sistem hesaplanmıştır.



Şekil 5.17 C65 - III Bölge - Ankara, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları

Ankara bölgesi için sistemin karlılığı artan bir eğri göstermektedir. Fakat 12 türbinli sistem optimum nokta olmaktadır.



Şekil 5.18 C65 - IV Bölge - Erzurum, 8 Blok 15 Katlı Yapı için Optimum Türbin Sayıları

Erzurum bölgesinde kojenerasyon sistemi 30 türbine kadar artan bir grafik izlemişken, bu noktadan sonra karlılık düşmüştür. Bu toplu konut için optimum türbin sayısı 30'dur.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'nin 4 farklı iklim bölgesi ele alınarak toplu konutlarda mikrotürbin uygulaması için bir optimizasyon yapılmıştır. Birinci bölge için Antalya, ikinci bölge için İstanbul, üçüncü bölge için Ankara ve dördüncü bölge için de Erzurum örnek il olarak seçilmiştir. Hesaplamalarda bu örnek illerin meteoroloji istasyonlarından alınmış günlük dış hava sıcaklık ortalamaları fonksiyonel olarak kullanılmıştır.

Her biri 140 m<sup>2</sup>'lik 4 daireden oluşan 5, 10 ve 15 katlı binalar örnek olarak alınmıştır. Her bir dairede 4 yetişkin olduğu kabul edilmiştir. 15 katlı binanın eni 22 m, boyu 30 m ve yüksekliği ise 30 m olarak kabul edilmiştir. Binalar, toplam dış yüzeyin ortalama %25'i oranında pencere alanına sahiptir. Aylık ortalama iç sıcaklık 19°C, birim iç ısı kazancı da 5 W/m<sup>2</sup>, hava değişim katsayısı 1 l/h olarak alınmıştır. Merkezi ısıtma yapılacağı ve sıcak su ihtiyacı da merkezi sistemden yani sıcak su kazanı tarafından sağlanacağı kabul edilmiştir. Binaların soğutma ihtiyacı hesaplara katılmamıştır.

Bölgelere göre binaların özgül ısı kaybı hesabı TS 825 standartlarına göre yapılmıştır.

4.bölümde anlatılan metodoloji izlenerek binaların özgül ısı kayıpları ve ısı kazançları ile kullanım sıcak su ihtiyacı hesaplanarak binaların toplam ısı enerjisi ihtiyaçları belirlenmiştir.

Bu çalışmada Capstone marka C30 ve C65 model türbinler örnek türbin olarak alınmış ve türbinlerin kısmi kapasitelerde eş yaşlanmalı olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

Mikrotürbinler için oransal çalışması durumunda minimum kapasite oranının ne olması gerektiği, hangi kapasiteden sonra sistemin kar ettiği başabaş analizi ile bulunmuştur. Başabaş analizi yapılırken sistemin deniz seviyesinde ve 15 °C ortam koşullarında yer aldığı kabul edilmiş, başabaş analizinde amortisman, 1 kWh'lik ısı üretimi için gerekli yatırım ve yenileme maliyetlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır. Birim güç başına yatırım maliyeti ise (BGYM), 1 kW'lık ısı güç (kapasite) için gerekli yatırım maliyeti bir mikrotürbin bedelinin o türbinin ısı çıkışına oranı olarak hesaplanmıştır. Yenileme maliyeti (YB) de birim enerji üretimi başına olarak hesaplanmıştır. Net ısı enerjisi satışının enerji maliyetine oranının 1'den büyük olması istenir. Başabaş noktası bu oranın 1'e eşit ve büyük olduğu ve aynı zamanda karın sıfır olduğu noktadır. Bu noktaya denk gelen çalışma oranı mikrotürbinin kısmi yüklerde çalıştırılabileceği minimum noktayı verir. Buna göre C30 mikrotürbin için minimum nokta %17 olarak, C65 içinse %32 olarak elde edilmiştir.

Sistemin finansal analizi yapılmadan önce öncelikle sistemin günlük olarak bir yıl boyunca çalıştığı oransal yüklerde ürettiği ısı ve elektrik enerjisinin parasal değeri hesaplanmıştır. Girdi

olarak doğal gaz enerjisi için alış maliyeti hesaplanmış, satışlar toplamı ile alış arasındaki fark sistemin geliri olarak kaydedilmiş, günlük hesaplanan amortisman ve bakım girdi olarak yazılarak gelir ile arasındaki fark bulunarak kar hesaplanmıştır.

Sistemin finansal analizi Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi ile yapılmıştır. Yukarıda belirtilen hesaplamalarda elde edilen net tasarruflar, çalışma süreleri ve ömür, işletim masrafları ile hurda değerleri ele alınarak ekonomik analiz yapılmıştır.

Tüm bölgeler için C30 ve C65 mikrotürbinli sistemlerin uygulamaları sonucunda elde edilen NBD'ler tek dönem (yenilemesiz) ve iki dönem (yenilemeli) ömür için yinelenmiştir.

Bu hesaplamalara göre:

### **6.1 C30 ve C65 Mikrotürbinli Sistem Uygulamalarının Bölgelere Göre Sonuçlarının Karşılaştırılması**

- C30 mikrotürbinli sistemlerin 1. bölgede 50 dairesi toplu konutlu yapılar için ekonomik olmadığı görülmektedir. Sistemin karlılığı 120 dairesi toplu konutlara kadar artan bir eğilim göstermekte, bu daire sayısından sonraki daire sayılarında karlılık artışında çok küçük değişimler olmaktadır. 5 katlı bina tipine sahip toplu konutlarda sistem 10 ve 15 katlılara göre daha karlı olduğu görülmektedir.

C65 mikrotürbinli sistemlerin de 1. bölgede 110 daireye kadar toplu konutlu yapılar için ekonomik bir sistem olmadığı görülmektedir. Sistemin karlılığı 180 dairesi toplu konutlara kadar artan bir eğilim göstermektedir. Bu noktadan sonraki daire sayılarında karlılık artışında çok küçük değişimler olmaktadır.

- 2. bölgede uygulanan C30 mikrotürbinli sistemlerin 1. bölge ile hemen hemen aynı ekonomik değere sahip olduğu görülmüştür. Bu bölgede daire sayısına göre 180 daireden sonra karlılıktaki artış çok küçük miktarlarda olmaktadır.

C65 mikrotürbinli sistemler de 2.bölgede 100 daireye kadarki toplu konutlarda ekonomik olmadığı görülmüştür. 170 daireden sonra mikrotürbin sisteminin karlılığındaki artış eğilimi düşmektedir.

- 3. ve 4.bölgede uygulanan C30 mikrotürbinli sistemlerin 50 dairesi toplu konutlarda her zaman ekonomik bir sistem olduğu görülmüştür. Karlılık 200 dairesi konutlara kadar artan bir grafik izlemekte ve 200 daireden sonra grafiğin eğimi düşmektedir.

3. bölgede bulunan toplu konutlarda C65 mikrotürbinli sistem uygulaması sadece 5

katlı tek blokta negatif bir değere sahip iken diğer daire sayılarında karlılığın daha pozitif olduğu görülmüştür. Karlılık 190 dairesli konutlara kadar artan bir grafik izlemekte ve bu noktadan sonra grafiğin eğimi düşmektedir.

- 4. bölgede uygulanan C30 mikrotürbinli sistemlerin 20 dairesli 5 katlı bloklarda dahi karlılık oranının diğer bölgelere göre hayli yüksek olduğu görülmüştür. C65 mikrotürbinli sistemlerin ise 20 dairesli 5 katlı blok hariç diğer bina yüksekliklerindeki tüm toplu konutlar için her zaman karlı olduğu görülmüştür.
- 4. bölgede 5 katlı tek bloktan oluşan konutlarda C30 mikrotürbin uygulamasının diğer kat sayısına sahip bloklara göre her zaman karlı olduğu görülmektedir. 5 katlı 6 bloktan oluşan 120 dairesli konutlar, 10 katlı 120 daireye sahip 3 bloklu ve 15 katlı 120 dairesli 3 bloklu yapılara göre daha karlı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, aynı daire sayısına sahip, farklı katlardan oluşan toplu konutlarda, düşük katlı binalar daha çok sayıda bloktan oluşmakta ve daha fazla yüzey alanına sahip olmaktadır. Yüzey alanındaki artış, ısı ihtiyacındaki artışa neden olmakta; ısı talebi artan bir kojenerasyon tesisi ise daha yüksek verimlere sahip olmaktadır.

## 6.2 Tüm Bölge Ortalamaları İncelendiğinde C30 Mikrotürbinli Sistem Uygulaması Sonuçları

- Antalya ve İstanbul, yani birinci ve ikinci bölge, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin iklimsel özelliklerine nazaran daha ılıman bir iklime sahip olup, iklim olarak birbirlerine yakın özellikler içermektedir. Bu nedenle bu bölgelerdeki toplu konutların ısı ihtiyaçları da birbirlerine yakın değerlerdedir. Bu iki bölgenin ılıman iklime sahip olması daha az ısıtma enerjisi ihtiyacına neden olmaktadır. Mikrotürbinli kojenerasyon sisteminin de ısı satışı bu nedenden dolayı daha az olmaktadır ki, bu da karlılığı düşüren bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Tüm bölgelerde ortalamalar incelendiğinde, C30 Mikrotürbin sistemlerinin uygulanması sonucunda; 100 dairesli konutlar için NBD/daire değerinin en yüksek orana ulaştığı görülmektedir. Birinci bölgede uygulanacak C30 mikrotürbinli sisteminin karlılığı 2000 TL/daire mertebesinde iken ikinci bölge için bu değer 2500 TL/daire civarındadır. 100 daireden fazla konutlarda karlılıktaki değişiklik çok küçük olmaktadır. Bu durum tüm bölgeler için de geçerlidir. Üçüncü bölge ilk iki bölgeye göre daha soğuk bir iklime sahiptir. Soğutma gün dereceleri bu iki bölgeye göre daha fazladır. Bu nedenden dolayı karlılık neredeyse iki kat daha fazladır yani 4500

TL/daire mertebelerindedir. Dördüncü bölgede karlılık 7500 TL/daire mertebelerindedir. Erzurum ve Ankara illerinin bulunduğu üç ve dördüncü bölgelerde, 5 katlı ve tek bloktan oluşan 20 daireli bir konutta dahi C30 mikrotürbinli sistemin kullanılması her zaman karlı olacaktır.

### **6.3 Tüm Bölge Ortalamaları İncelendiğinde C65 Mikrotürbinli Sistem Uygulaması Sonuçları**

- C65 mikrotürbin sistem uygulamasında C30'lu istemlerdeki gibi 1. ve 2. bölgelerin daire başı kar karakteristikleri birbirine yakın değerlerdedir. Tüm bölgelerde ortalamalara göre 180 daireli konutlar optimum daire sayısını vermektedir. Birinci bölgede uygulanacak C30 mikrotürbinli sisteminin karlılığı 2000 TL/daire mertebelerindedir. Büyük kapasitelerdeki C65 türbinlerin düşük ısı taleplerinde başabaş noktası altındaki oranlarda çalıştırılmayarak kazanın otomatik olarak devreye girmesi sonucu, 100 daireden az olan konutlarda C65 mikrotürbinli sistemin uygulanması bu iki bölge için ekonomik olarak fayda sağlamayacaktır. Bu durumda bu dönemler için ısı satışı olmayacak ve türbinlerin atıl zamanı artacaktır. İkinci bölge için daire başı karlılık 2500 TL civarındadır. Üçüncü ve dördüncü bölgeler için 5 katlı ve tek bloklu konutlarda sistem uygulanabilir olduğu halde C65 için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. 20 daireden büyük toplu konutlarda bu bölgelerde sistem her zaman kar edecektir. Üçüncü bölge karlılık neredeyse iki kat daha fazladır yani 4000 TL/daire mertebelerinde, dördüncü bölgede karlılık ise 8000 TL/daire mertebelerindedir. C30 Mikrotürbinli sistemde olduğu gibi, C65 Mikrotürbinli sisteminde 3. ve 4. bölgede uygulanmasının her durumda uygun olacağı görülmüştür.

### **6.4 C30 ve C65 Mikrotürbinli Sistemlerinin Tüm Bölgeler İçin Yatırım Modeline Göre Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Sistemlerin yatırım senaryoları dikkate alındığında, sistemin sadece tek bir dönem kullanılarak hurdaya ayrılması ile iki dönem kullanılarak hurdaya ayrılması sistemin karlılığını etkilemektedir. Bu değerlendirmeye göre:

- Birinci ve ikinci bölgelerde bu etki çok küçük mertebelerde iken üç ve dördüncü bölgelerde fark edilebilir miktarlardadır. 1. ve 2. bölgeler için hesaplanan NBD/daire değerleri 2500 TL/daire mertebelerinden 3000 TL/daire değerlerine yaklaşmış iken, 3.bölgede 4000 TL/daire değerinden 6000 TL/daire mertebelerine kadar çıkmıştır.

4. bölgede ise 7500 TL/daire değerinden 9000 TL/daire mertebelerine çıkmıştır. Bunun nedeni tasarrufların yüksek olduğu yatırımların uzun sürede daha fazla pozitif geri ödeme yapmasıdır.

- C65 mikrotürbinli sistemde de, C30 sisteminde olduğu gibi çift dönem ve yenilemeli yatırım modeli 1. ve 2. bölgelerde küçük oranlarda karlılığı artırırken 3. ve 4. bölgelerde farkedilebilir miktarlarda arttırmaktadır. 1. ve 2. bölgede NBD/daire değerleri 2500 TL/daire mertebelerinden 3000 TL/daire değerlerine yaklaşmış iken, 3. bölgede 4000 TL/daire değerinden 6000 TL/daire mertebelerine kadar çıkmıştır. 4. bölgede ise 7500 TL/daire değerinden 10000 TL/daire mertebelerine çıkmıştır.

#### **6.5 C65 Mikrotürbinli Sistemin 8 Blok 15 Katlı Yapılar İçin Tüm Bölgelere Göre Optimizasyonu Sonuçları**

Çalışmada son olarak C65 mikrotürbinli sistem uygulamasında 15 katlı binalardan oluşan 8 bloklu toplu konut için farklı mikrotürbin sayılarına göre bir optimizasyon yapılmıştır. Buna göre elde edilen değerler aşağıda özetlenmiştir:

- Antalya bölgesi için 480 dairesel ve 15 katlı binalardan oluşan toplu konut için uygulanacak sistemde 11 türbin yerine 8 türbin olması sistemi daha ekonomik yapmaktadır. Gerekli olan eksik yükü kazan sağlayacaktır.
- İstanbul için bu sayı 12 türbindir. İstanbul bölgesinde bulunan bu toplu konut için 16 türbinli sistem hesaplanmıştı.
- Ankara bölgesi için sistemin karlılığı artan bir eğri göstermektedir. Fakat 12 türbinli sistem optimum nokta olmaktadır.
- Erzurum bölgesinde kojenerasyon sistemi 30 türbine kadar artan bir grafik izlemişken, bu noktadan sonra karlılık düşmüştür. Bu toplu konut için optimum türbin sayısı 30 olarak belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akpınar, A., Kömürcü, M.I., Kankal, M., Özölçer, İ.H. ve Kaygusuz, K. (2008), “Energy Situation and Renewables in Turkey and Environmental Effects of Energy Use”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12:2013-2039.
- Arıkol M, Kınayyığıt G., Özdoğan S., Uyar T.S. ve Vural H., (1984), “Coal Transportation and Utilization Technologies”, Tübitak-MAE Publication, Gebze-Kocaeli, Turkey.
- Çakır, D., (2006), “Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinde Yakıt Olarak Doğalgaz Kullanımının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ehyaey, M., ve Bahadori, M., (2007), “Selection of Micro Turbines to Meet Electrical and Thermal Energy Needs of Buildings in Iran” Energy and Buildings.
- Ertan, K. (2000), “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Hesap Metodunun Bilgisayar Programı Vasıtasıyla Uygulanması.” Tesisat Mühendisliği, Mayıs – Haziran, 53-64.
- Humbaracı, İ., (1981), Sıhhi Tesisat 3, İstanbul.
- Kaikko, J. Backman, J. Koskelainen, L. ve Larjola, J. (2005), “Technical and Economic Performance Comparison Between Recuperated and Non-recuperated Variable-speed Microturbines in Combined Heat and Power Generation”, Applied Thermal Engineering, 27:2173-2180.
- Karakoç, H., (2006), KTH Kalorifer Tesisatı Hesabı, Demirdöküm Teknik Yayınları No:6, Anadolu Üniversitesi.
- Onovwiona, H.I. ve Ugursal, V.I., (2006), “Residential Cogeneration Systems: Review of the Current Technology”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10:389-431
- Pilavachi, P.A. (2002), “Mini- and Micro-gaz Turbines for Combined Heat and Power”, Applied Thermal Engineering, 22:2003-2014.
- Sah, S. ve Cubuk, H., (2009) “CHP Microturbine Configuration Model and Economic Analysis”, Cogeneration and Distributed Generation Journal, Volume 24, Number 2, 51 – 61.
- Sözen, A. ve Arcaklıoğlu, E. (2007), “Prediction of Net Energy Consumption Based on Economic Indicators (GNP and GDP) in Turkey”, Energy Policy, 35:4981-4992.

## İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] TEAS. (2008), [www.teias.gov.tr](http://www.teias.gov.tr).
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2008), [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr).
- [3] IPCC, Climate Change, (2001), <http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf>.
- [4] [www.solartek.com](http://www.solartek.com).
- [5] Capstone Microturbines Co. “410004\_C30\_Performance Rev A (April 2006), 410048A\_C65\_Performance Rev A (April 2005)”, (2009) [www.capstone.com](http://www.capstone.com).
- [6] İstanbul Gaz Dağıtım Şirketi, (2009), [www.igdas.com](http://www.igdas.com).
- [7] Devlet Meteoroloji İstasyonları, (2009), <http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/>

**EKLER**

Ek 1a	5 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı
Ek 1b	10 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı
Ek 1c	15 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı
Ek 2	Binaların Kullanım Sıcak Suyu için Gerekli Kazan, Isıl Enerji ve Boyler İhtiyacı
Ek 3a	C30 Mikrotürbinli Sistemin I. Bölge - Antalya Hesap Sonuç Tabloları
Ek 3b	C30 Mikrotürbinli Sistemin II. Bölge - İstanbul Hesap Sonuç Tabloları
Ek 3c	C30 Mikrotürbinli Sistemin III. Bölge - Ankara Hesap Sonuç Tabloları
Ek 3d	C30 Mikrotürbinli Sistemin IV. Bölge - Erzurum Hesap Sonuç Tabloları
Ek 4a	C65 Mikrotürbinli Sistemin I. Bölge - Antalya Hesap Sonuç Tabloları
Ek 4b	C65 Mikrotürbinli Sistemin II. Bölge - İstanbul Hesap Sonuç Tabloları
Ek 4c	C65 Mikrotürbinli Sistemin III. Bölge - Ankara Hesap Sonuç Tabloları
Ek 4d	C65 Mikrotürbinli Sistemin IV. Bölge - Erzurum Hesap Sonuç Tabloları

### Ek 1a 5 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı

BINADAKİ YAPI ELEMANLARI	Yapı Elemanı Kalınlığı	Yapı Elemanının Yoğunluğu	Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	d / lamda	Isı Geçiş Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey alanı	Yüzey çarpım katsayısı	ISI KAYBI
	d		$\mu$	lamda					
	m		-	W / m.K	m <sup>2</sup> / K. W	W / m <sup>2</sup> .K.	m <sup>2</sup>	-	W / K
DUVAR BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	İç sıva	0.020	1800.000	15.0	0.870	0.023			
	Yatay Delikli Tuğla	0.190	1000.000	5.0	0.450	0.422			
	Poliüretan Sert Köpük	0.040	30.000	30.0	0.028	1.429			
	Dış Sıva	0.030	2000.000	15.0	1.400	0.021			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					0.040			
TOPLAM =					2.065	0.4842	1260.00	1.00	610.11
TABAN-DÖŞEME BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	Karo mozaik	0.030			1.300	0.023			
	Tesviye betonu (çimento harçlı)	0.050			1.400	0.036			
	Grobeton	0.150			1.740	0.086			
	Isı yalıtım malzemesi (curuf)	0.250			0.230	1.087			
	Blokaj	0.100			0.700	0.143			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
TOPLAM =					1.635	0.61	660.00	0.50	201.86
TAVAN BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	İç sıva	0.020	1800.000	15.0	0.870	0.023			
	Demirli beton	0.120	2400.000	70.0	2.100	0.057			
	Cam yünü	0.100	100.000	10000.0	0.050	2.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					0.040			
TOPLAM =					2.250	0.44	660.00	0.80	234.65
PENCERE						2.80	300.00	1.00	840.00
YAPI ELEMANLARINDAN GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI TOPLAMI =									1886.62

BİNADAKİ ISI KAYBEDEN YÜZEYLER TOPLAMI: Atoplam = **2880.00** (m<sup>2</sup>)

HAVALANDIRMA YOLU İLE GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI: (Hh)	
Hh = [Yoğunluk x Özgül Isı x Hava değişim sayısı x Havalandırılan hacim]	formülü ile hesaplanır
Binanın havalandırma hesabında kullanılacak hacmi : Vh = <b>7920.00</b> (m <sup>3</sup> )	[0.8 x Vbrüt]
Hava Değişim Sayısı : nh = <b>1.00</b> (1/h)	
HAVALANDIRMA YOLU İLE GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI: Hh = <b>2613.60</b> (W/K)	

BİNANIN TOPLAM ÖZGÜL ISI KAYBI: H = **4500.22** (W/K)

## Ek 1b 10 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI	Yapı Elemanı Kalınlığı	Yapı Elemanının Yoğunluğu	Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	d / lamda	Isı Geçiş Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey alanı	Yüzey çarpım katsayısı	ISI KAYBI
	d		$\mu$	lamda					
	m		-	W / m.K	m <sup>2</sup> / K. W	W / m <sup>2</sup> .K.	m <sup>2</sup>	-	W / K
DUVAR BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	İç sıva	0.020	1800.000	15.0	0.870	0.023			
	Yatay Delikli Tuğla	0.190	1000.000	5.0	0.450	0.422			
	Poliüretan Sert Köpük	0.040	30.000	30.0	0.028	1.429			
	Dış Sıva	0.030	2000.000	15.0	1.400	0.021			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					0.040			
TOPLAM =					2.065	0.4842	2504.00	1.00	1212.47
TABAN -DÖŞEME BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	Karo mozaik	0.030			1.300	0.023			
	Tesviye betonu (çimento harçlı)	0.050			1.400	0.036			
	Grobeton	0.150			1.740	0.086			
	Isı yalıtım malzemesi (curuf)	0.250			0.230	1.087			
	Blokaj	0.100			0.700	0.143			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					1.130			
TOPLAM =					1.635	0.61	660.00	0.50	201.86
TAVAN BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	İç sıva	0.020	1800.000	15.0	0.870	0.023			
	Demirli beton	0.120	2400.000	70.0	2.100	0.057			
	Cam yünü	0.100	100.000	10000.0	0.050	2.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					0.040			
TOPLAM =					2.250	0.44	660.00	0.80	234.65
PENCERE						2.80	616.00	1.00	1724.80
YAPI ELEMANLARINDAN GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI TOPLAMI =									3373.78

BİNADAKİ ISI KAYBEDEN YÜZEYLER TOPLAMI: Atoplam = 4440.00 (m<sup>2</sup>)

HAVALANDIRMA YOLU İLE GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI: (Hh)	
Hh = [Yoğunluk x Özgül Isı x Hava değişim sayısı x Havalandırılan hacim] formülü ile hesaplanır	
Binanın havalandırma hesabında kullanılacak hacmi : Vh = 15840.00 (m <sup>3</sup> ) [0.8 x Vbrüt]	
Hava Değişim Sayısı : nh = 1.00 (1/h)	
HAVALANDIRMA YOLU İLE GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI: Hh = 5227.20 (W/K)	

BİNANIN TOPLAM ÖZGÜL ISI KAYBI: H = 8600.98 (W/K)

## Ek 1c 15 Katlı Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI	Yapı Elemanı Kalınlığı	Yapı Elemanının Yoğunluğu	Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	d / lamda	Isı Geçiş Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey alanı	Yüzey çarpım katsayısı	ISI KAYBI
	d		$\mu$	lamda					
	m		-	W / m.K	m <sup>2</sup> / K. W	W / m <sup>2</sup> .K.	m <sup>2</sup>	-	W / K
DUVAR BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	İç sıva	0.020	1800.000	15.0	0.870	0.023			
	Yatay Delikli Tuğla	0.190	1000.000	5.0	0.450	0.422			
	Poliüretan Sert Köpük	0.040	30.000	30.0	0.028	1.429			
	Dış Sıva	0.030	2000.000	15.0	1.400	0.021			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					0.040			
T O P L A M =					2.065	0.4842	3744.00	1.00	1812.89
TABAN -DÖŞEME BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	Karo mozaik	0.030			1.300	0.023			
	Tesviye betonu (çimento harçlı)	0.050			1.400	0.036			
	Grobeton	0.150			1.740	0.086			
	Isı yalıtım malzemesi (curuf)	0.250			0.230	1.087			
	Blokaj	0.100			0.700	0.143			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					1.130			
T O P L A M =					1.635	0.61	660.00	0.50	201.86
TAVAN BİLEŞENLERİ	İç Isı Taşınım Katsayısı					0.130			
	İç sıva	0.020	1800.000	15.0	0.870	0.023			
	Demirli beton	0.120	2400.000	70.0	2.100	0.057			
	Cam yünü	0.100	100.000	10000.0	0.050	2.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
						0.000			
	Dış Isı Taşınım Katsayısı					0.040			
T O P L A M =					2.250	0.44	660.00	0.80	234.65
PENCERE						2.80	936.00	1.00	2620.80
<b>YAPI ELEMANLARINDAN GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI TOPLAMI =</b>									<b>4870.20</b>

BİNADAKİ ISI KAYBEDEN YÜZEYLER TOPLAMI: Atoplam = **6000.00** (m<sup>2</sup>)

HAVALANDIRMA YOLU İLE GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI: (Hh)	
Hh = [Yoğunluk x Özgül Isı x Hava değişim sayısı x Havalandırılan hacim] formülü ile hesaplanır	
Binanın havalandırma hesabında kullanılacak hacmi : Vh =	<b>23760.00</b> (m <sup>3</sup> ) [0.8 x Vbrüt]
Hava Değişim Sayısı : nh =	<b>1.00</b> (1/h)
<b>HAVALANDIRMA YOLU İLE GERÇEKLEŞEN ISI KAYBI: Hh =</b>	<b>7840.80</b> (W/K)

BİNANIN TOPLAM ÖZGÜL ISI KAYBI: H = **12711.00** (W/K)

**Ek 2 Binaların Kullanım Sıcak Suyu için Gerekli Kazan, Isıl Enerji ve Boyler İhtiyacı**

I. Bölge, ANTALYA						5 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	1,600	13.8	60	86	10,314	14	29	43	57	72	86	100	115
2	1,600	13	60	88	10,560	15	29	44	59	73	88	103	117
3	1,600	13.9	60	86	10,292	14	29	43	57	71	86	100	114
4	1,600	16.1	60	82	9,801	14	27	41	54	68	82	95	109
5	1,600	19.5	60	75	9,042	13	25	38	50	63	75	88	100
6	1,600	23.5	60	68	8,149	11	23	34	45	57	68	79	91
7	1,600	26.8	60	62	7,412	10	21	31	41	51	62	72	82
8	1,600	28.5	60	59	7,033	10	20	29	39	49	59	68	78
9	1,600	27.8	60	60	7,189	10	20	30	40	50	60	70	80
10	1,600	25.2	60	65	7,769	11	22	32	43	54	65	76	86
11	1,600	21.5	60	72	8,595	12	24	36	48	60	72	84	96
12	1,600	17.0	60	80	9,600	13	27	40	53	67	80	93	107

I. Bölge, ANTALYA						10 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	2,720	13.8	60	146	20,629	29	57	86	115	143	172	201	229
2	2,720	13	60	150	21,120	29	59	88	117	147	176	205	235
3	2,720	13.9	60	146	20,584	29	57	86	114	143	172	200	229
4	2,720	16.1	60	139	19,602	27	54	82	109	136	163	191	218
5	2,720	19.5	60	128	18,084	25	50	75	100	126	151	176	201
6	2,720	23.5	60	115	16,298	23	45	68	91	113	136	158	181
7	2,720	26.8	60	105	14,824	21	41	62	82	103	124	144	165
8	2,720	28.5	60	100	14,065	20	39	59	78	98	117	137	156
9	2,720	27.8	60	102	14,378	20	40	60	80	100	120	140	160
10	2,720	25.2	60	110	15,539	22	43	65	86	108	129	151	173
11	2,720	21.5	60	122	17,191	24	48	72	96	119	143	167	191
12	2,720	17.0	60	136	19,200	27	53	80	107	133	160	187	213

I. Bölge, ANTALYA						15 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	3,720	13.8	60	200	30,943	43	86	129	172	215	258	301	344
2	3,720	13	60	205	31,680	44	88	132	176	220	264	308	352
3	3,720	13.9	60	199	30,876	43	86	129	172	214	257	300	343
4	3,720	16.1	60	190	29,403	41	82	123	163	204	245	286	327
5	3,720	19.5	60	175	27,126	38	75	113	151	188	226	264	301
6	3,720	23.5	60	158	24,447	34	68	102	136	170	204	238	272
7	3,720	26.8	60	144	22,236	31	62	93	124	154	185	216	247
8	3,720	28.5	60	136	21,098	29	59	88	117	147	176	205	234
9	3,720	27.8	60	139	21,567	30	60	90	120	150	180	210	240
10	3,720	25.2	60	151	23,308	32	65	97	129	162	194	227	259
11	3,720	21.5	60	167	25,786	36	72	107	143	179	215	251	287
12	3,720	17.0	60	186	28,800	40	80	120	160	200	240	280	320

II. Bölge, İSTANBUL						5 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	1,600	10.2	60	93	11,118	15	31	46	62	77	93	108	124
2	1,600	9	60	95	11,386	16	32	47	63	79	95	111	127
3	1,600	9.5	60	94	11,274	16	31	47	63	78	94	110	125
4	1,600	11.8	60	90	10,761	15	30	45	60	75	90	105	120
5	1,600	15.4	60	83	9,957	14	28	41	55	69	83	97	111
6	1,600	19.2	60	76	9,109	13	25	38	51	63	76	89	101
7	1,600	21.9	60	71	8,506	12	24	35	47	59	71	83	95
8	1,600	22.9	60	69	8,283	12	23	35	46	58	69	81	92
9	1,600	22.4	60	70	8,394	12	23	35	47	58	70	82	93
10	1,600	19.8	60	75	8,975	12	25	37	50	62	75	87	100
11	1,600	16.9	60	80	9,622	13	27	40	53	67	80	94	107
12	1,600	13.2	60	87	10,448	15	29	44	58	73	87	102	116

II. Bölge, İSTANBUL						10 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	2,720	10.2	60	158	22,236	31	62	93	124	154	185	216	247
2	2,720	9	60	161	22,772	32	63	95	127	158	190	221	253
3	2,720	9.5	60	160	22,549	31	63	94	125	157	188	219	251
4	2,720	11.8	60	152	21,522	30	60	90	120	149	179	209	239
5	2,720	15.4	60	141	19,914	28	55	83	111	138	166	194	221
6	2,720	19.2	60	129	18,218	25	51	76	101	127	152	177	202
7	2,720	21.9	60	121	17,012	24	47	71	95	118	142	165	189
8	2,720	22.9	60	117	16,566	23	46	69	92	115	138	161	184
9	2,720	22.4	60	119	16,789	23	47	70	93	117	140	163	187
10	2,720	19.8	60	127	17,950	25	50	75	100	125	150	175	199
11	2,720	16.9	60	136	19,245	27	53	80	107	134	160	187	214
12	2,720	13.2	60	148	20,897	29	58	87	116	145	174	203	232

II. Bölge, İSTANBUL						15 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	3,720	10.2	60	215	33,354	46	93	139	185	232	278	324	371
2	3,720	9	60	221	34,158	47	95	142	190	237	285	332	380
3	3,720	9.5	60	218	33,823	47	94	141	188	235	282	329	376
4	3,720	11.8	60	208	32,283	45	90	135	179	224	269	314	359
5	3,720	15.4	60	193	29,872	41	83	124	166	207	249	290	332
6	3,720	19.2	60	176	27,327	38	76	114	152	190	228	266	304
7	3,720	21.9	60	165	25,518	35	71	106	142	177	213	248	284
8	3,720	22.9	60	160	24,848	35	69	104	138	173	207	242	276
9	3,720	22.4	60	163	25,183	35	70	105	140	175	210	245	280
10	3,720	19.8	60	174	26,925	37	75	112	150	187	224	262	299
11	3,720	16.9	60	186	28,867	40	80	120	160	200	241	281	321
12	3,720	13.2	60	202	31,345	44	87	131	174	218	261	305	348

III. Bölge, ANKARA						5 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	1,600	8.2	60	96	11,565	16	32	48	64	80	96	112	128
2	1,600	7	60	99	11,922	17	33	50	66	83	99	116	132
3	1,600	7.8	60	97	11,654	16	32	49	65	81	97	113	129
4	1,600	10.7	60	92	11,007	15	31	46	61	76	92	107	122
5	1,600	14.5	60	85	10,158	14	28	42	56	71	85	99	113
6	1,600	18.0	60	78	9,377	13	26	39	52	65	78	91	104
7	1,600	20.9	60	73	8,729	12	24	36	48	61	73	85	97
8	1,600	22.8	60	69	8,305	12	23	35	46	58	69	81	92
9	1,600	21.6	60	71	8,573	12	24	36	48	60	71	83	95
10	1,600	18.1	60	78	9,354	13	26	39	52	65	78	91	104
11	1,600	14.6	60	84	10,136	14	28	42	56	70	84	99	113
12	1,600	10.9	60	91	10,962	15	30	46	61	76	91	107	122

III. Bölge, ANKARA						10 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	2,720	8.2	60	164	23,129	32	64	96	128	161	193	225	257
2	2,720	7	60	169	23,844	33	66	99	132	166	199	232	265
3	2,720	7.8	60	165	23,308	32	65	97	129	162	194	227	259
4	2,720	10.7	60	156	22,013	31	61	92	122	153	183	214	245
5	2,720	14.5	60	144	20,316	28	56	85	113	141	169	198	226
6	2,720	18.0	60	133	18,753	26	52	78	104	130	156	182	208
7	2,720	20.9	60	124	17,459	24	48	73	97	121	145	170	194
8	2,720	22.8	60	118	16,610	23	46	69	92	115	138	161	185
9	2,720	21.6	60	121	17,146	24	48	71	95	119	143	167	191
10	2,720	18.1	60	133	18,709	26	52	78	104	130	156	182	208
11	2,720	14.6	60	144	20,272	28	56	84	113	141	169	197	225
12	2,720	10.9	60	155	21,924	30	61	91	122	152	183	213	244

III. Bölge, ANKARA						15 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	3,720	8.2	60	224	34,694	48	96	145	193	241	289	337	385
2	3,720	7	60	231	35,766	50	99	149	199	248	298	348	397
3	3,720	7.8	60	226	34,962	49	97	146	194	243	291	340	388
4	3,720	10.7	60	213	33,020	46	92	138	183	229	275	321	367
5	3,720	14.5	60	197	30,474	42	85	127	169	212	254	296	339
6	3,720	18.0	60	182	28,130	39	78	117	156	195	234	273	313
7	3,720	20.9	60	169	26,188	36	73	109	145	182	218	255	291
8	3,720	22.8	60	161	24,915	35	69	104	138	173	208	242	277
9	3,720	21.6	60	166	25,719	36	71	107	143	179	214	250	286
10	3,720	18.1	60	181	28,063	39	78	117	156	195	234	273	312
11	3,720	14.6	60	196	30,407	42	84	127	169	211	253	296	338
12	3,720	10.9	60	212	32,886	46	91	137	183	228	274	320	365

IV. Bölge, ERZURUM						5 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	1,600	2.7	60	107	12,793	18	36	53	71	89	107	124	142
2	1,600	2	60	109	13,060	18	36	54	73	91	109	127	145
3	1,600	1.1	60	110	13,150	18	37	55	73	91	110	128	146
4	1,600	3.2	60	106	12,681	18	35	53	70	88	106	123	141
5	1,600	7.5	60	98	11,721	16	33	49	65	81	98	114	130
6	1,600	11.8	60	90	10,761	15	30	45	60	75	90	105	120
7	1,600	14.8	60	84	10,091	14	28	42	56	70	84	98	112
8	1,600	16.8	60	80	9,645	13	27	40	54	67	80	94	107
9	1,600	16.1	60	82	9,801	14	27	41	54	68	82	95	109
10	1,600	12.5	60	88	10,605	15	29	44	59	74	88	103	118
11	1,600	8.5	60	96	11,498	16	32	48	64	80	96	112	128
12	1,600	5.3	60	102	12,212	17	34	51	68	85	102	119	136

IV. Bölge, ERZURUM						10 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	2,720	2.7	60	181	25,585	36	71	107	142	178	213	249	284
2	2,720	2	60	185	26,121	36	73	109	145	181	218	254	290
3	2,720	1.1	60	186	26,300	37	73	110	146	183	219	256	292
4	2,720	3.2	60	180	25,362	35	70	106	141	176	211	247	282
5	2,720	7.5	60	166	23,442	33	65	98	130	163	195	228	260
6	2,720	11.8	60	152	21,522	30	60	90	120	149	179	209	239
7	2,720	14.8	60	143	20,182	28	56	84	112	140	168	196	224
8	2,720	16.8	60	137	19,289	27	54	80	107	134	161	188	214
9	2,720	16.1	60	139	19,602	27	54	82	109	136	163	191	218
10	2,720	12.5	60	150	21,209	29	59	88	118	147	177	206	236
11	2,720	8.5	60	163	22,995	32	64	96	128	160	192	224	256
12	2,720	5.3	60	173	24,424	34	68	102	136	170	204	237	271

IV. Bölge, ERZURUM						15 Katlı Bina							
Ay	Su Tüketimi	Şebeke Su Sıcaklığı (T <sub>ss</sub> )	Kullanım Su Sıcaklığı (T <sub>ks</sub> )	Gerekli Kazan Kap.	Isıl Enerji İhtiyacı	Gerekli Boyler Kapasitesi							
						1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
	lt/h	°C	°C	kW	kWh/ay	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	3,720	2.7	60	248	38,378	53	107	160	213	267	320	373	426
2	3,720	2	60	253	39,181	54	109	163	218	272	327	381	435
3	3,720	1.1	60	255	39,449	55	110	164	219	274	329	384	438
4	3,720	3.2	60	246	38,043	53	106	159	211	264	317	370	423
5	3,720	7.5	60	227	35,163	49	98	147	195	244	293	342	391
6	3,720	11.8	60	208	32,283	45	90	135	179	224	269	314	359
7	3,720	14.8	60	196	30,273	42	84	126	168	210	252	294	336
8	3,720	16.8	60	187	28,934	40	80	121	161	201	241	281	321
9	3,720	16.1	60	190	29,403	41	82	123	163	204	245	286	327
10	3,720	12.5	60	205	31,814	44	88	133	177	221	265	309	353
11	3,720	8.5	60	223	34,493	48	96	144	192	240	287	335	383
12	3,720	5.3	60	237	36,636	51	102	153	204	254	305	356	407

### Ek 3a C30 Mikrotürbinli Sistemin I. Bölge - Antalya Hesap Sonuç Tabloları

Antalya, 5 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	20	40	60	80	100	120	140	160
Türbin Sayısı	1	2	3	4	5	6	6	7
Çalışma Süresi	2,016	2,940	3,696	3,144	2,731	2,748	3,220	3,377
Periyot	40.0	27.0	22.0	26.0	29.0	29.0	25.0	24.0
IRR	3.02%	4.81%	7.17%	8.42%	9.25%	9.25%	10.78%	10.09%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-953	-77	779	1,405	1,899	1,900	2,041	1,767
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-1,089	-98	1,045	1,801	2,361	2,361	2,643	2,315

Antalya, 10 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	40	80	120	160	200	240	280	320
Türbin Sayısı	2	4	5	7	9	10	12	13
Çalışma Süresi	4,884	3,084	3,230	3,312	2,824	2,950	2,784	3,007
Periyot	17.0	26.0	25.0	24.0	28.0	27.0	29.0	27.0
IRR	1.99%	8.01%	10.68%	9.62%	10.20%	11.23%	11.12%	11.60%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-831	1,231	1,949	1,597	2,068	2,266	2,397	2,348
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-1,193	1,577	2,525	2,092	2,595	2,873	2,980	2,977

Antalya, 15 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	60	120	180	240	300	360	420	480
Türbin Sayısı	3	5	8	10	12	15	17	19
Çalışma Süresi	3,624	3,216	3,015	2,930	2,984	2,830	2,795	2,925
Periyot	22.0	25.0	27.0	27.0	27.0	28.0	29.0	28.0
IRR	6.59%	10.52%	9.89%	11.08%	11.73%	11.30%	11.91%	12.06%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	565	1,891	1,867	2,209	2,361	2,348	2,578	2,519
NBD/daire <sup>(2)</sup>	758	2,449	2,367	2,801	2,993	2,947	3,204	3,161

<sup>1</sup> Tek dönem yenilemesiz yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

<sup>2</sup> İki dönem yenilemeli yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

### Ek 3b C30 Mikrotürbinli Sistemin II. Bölge - İstanbul Hesap Sonuç Tabloları

İstanbul, 5 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	20	40	60	80	100	120	140	160
Türbin Sayısı	2	3	4	5	7	8	9	10
Çalışma Süresi	1,392	2,776	3,102	2,827	2,263	2,547	2,787	2,674
Periyot	57.0	29.0	26.0	28.0	35.0	32.0	29.0	30.0
IRR	2.25%	4.70%	7.14%	8.63%	8.28%	8.41%	8.38%	9.00%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-3,034	-188	1,153	1,966	2,274	2,139	1,920	2,277
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-3,222	-234	1,477	2,467	2,686	2,588	2,386	2,804

İstanbul, 10 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	40	80	120	160	200	240	280	320
Türbin Sayısı	3	5	8	10	12	15	17	19
Çalışma Süresi	3,440	2,770	2,478	2,609	2,448	2,362	2,447	2,401
Periyot	23.0	29.0	32.0	31.0	33.0	34.0	33.0	33.0
IRR	3.46%	8.31%	8.07%	8.68%	9.60%	9.19%	9.43%	9.82%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-807	1,822	1,912	2,127	2,681	2,578	2,610	2,792
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-1,069	2,265	2,313	2,596	3,217	3,069	3,131	3,350

İstanbul, 15 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	60	120	180	240	300	360	420	480
Türbin Sayısı	4	7	11	14	18	21	25	28
Çalışma Süresi	3,018	2,808	2,498	2,510	2,391	2,408	2,364	2,353
Periyot	27.0	29.0	32.0	32.0	34.0	33.0	34.0	34.0
IRR	6.76%	9.15%	9.06%	9.73%	9.57%	9.64%	9.73%	10.05%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	962	2,163	2,352	2,637	2,714	2,375	2,789	2,927
NBD/daire <sup>(2)</sup>	1,220	2,688	2,685	3,190	3,231	3,363	3,320	3,485

<sup>1</sup> Tek dönem yenilemesiz yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

<sup>2</sup> İki dönem yenilemeli yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

### Ek 3c C30 Mikrotürbinli Sistemin III. Bölge - Ankara Hesap Sonuç Tabloları

Ankara, 5 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	20	40	60	80	100	120	140	160
Türbin Sayısı	2	3	5	6	8	9	11	12
Çalışma Süresi	2,664	3,976	3,418	3,424	3,018	3,312	3,229	3,250
Periyot	30.0	20.0	24.0	24.0	27.0	24.0	25.0	25.0
IRR	5.43%	9.44%	9.87%	11.72%	11.38%	11.92%	11.27%	12.07%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	372	2,295	3,213	4,078	4,462	4,205	4,079	4,432
NBD/daire <sup>(2)</sup>	458	3,160	4,209	5,342	5,657	5,509	5,283	5,740

Ankara, 10 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	40	80	120	160	200	240	280	320
Türbin Sayısı	3	6	9	12	14	17	20	23
Çalışma Süresi	4,392	3,332	3,219	3,136	3,166	3,136	3,102	2,989
Periyot	18.0	24.0	25.0	26.0	25.0	26.0	26.0	27.0
IRR	8.21%	11.05%	11.34%	11.53%	12.68%	12.58%	12.46%	12.58%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	1,511	3,646	3,945	4,179	4,521	4,632	4,593	4,821
NBD/daire <sup>(2)</sup>	2,139	4,777	5,110	5,354	5,856	5,935	5,885	6,113

Ankara, 15 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	60	120	180	240	300	360	420	480
Türbin Sayısı	5	9	13	17	21	25	29	33
Çalışma Süresi	3,264	3,179	3,109	3,099	3,087	3,066	3,060	3,048
Periyot	25.0	25.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
IRR	9.23%	11.15%	11.99%	12.37%	12.61%	12.80%	12.91%	13.01%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	2,853	3,819	4,332	4,498	4,599	4,682	4,726	4,772
NBD/daire <sup>(2)</sup>	3,695	4,947	5,550	5,763	5,892	5,999	6,055	6,114

<sup>1</sup> Tek dönem yenilemesiz yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

<sup>2</sup> İki dönem yenilemeli yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

### Ek 3d C30 Mikrotürbinli Sistemin IV. Bölge - Erzurum Hesap Sonuç Tabloları

Erzurum, 5 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	20	40	60	80	100	120	140	160
Türbin Sayısı	3	6	8	11	14	16	19	22
Çalışma Süresi	2,960	3,096	3,120	2,869	2,715	2,951	2,832	2,726
Periyot	27.0	26.0	26.0	28.0	30.0	27.0	28.0	29.0
IRR	7.45%	8.82%	10.68%	10.66%	10.70%	11.01%	10.93%	10.93%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	3,056	4,737	6,404	6,908	7,419	6,975	7,175	7,430
NBD/daire <sup>(2)</sup>	3,874	6,069	8,205	8,670	9,135	8,843	9,005	9,236

Erzurum, 10 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	40	80	120	160	200	240	280	320
Türbin Sayısı	6	11	16	21	26	31	36	41
Çalışma Süresi	2,972	2,753	2,834	2,743	2,692	2,742	2,701	2,690
Periyot	27.0	29.0	28.0	29.0	30.0	29.0	30.0	30.0
IRR	8.39%	10.14%	10.48%	10.92%	11.20%	11.19%	11.37%	11.45%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	4,289	6,387	6,475	7,077	7,534	7,305	7,665	7,737
NBD/daire <sup>(2)</sup>	5,438	7,939	8,126	8,796	9,277	9,080	9,439	9,527

Erzurum, 15 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	60	120	180	240	300	360	420	480
Türbin Sayısı	8	15	23	30	38	45	52	60
Çalışma Süresi	2,988	2,992	2,739	2,801	2,689	2,734	2,729	2,704
Periyot	27.0	27.0	29.0	29.0	30.0	29.0	29.0	30.0
IRR	9.93%	11.01%	11.12%	11.40%	11.40%	11.51%	11.67%	11.60%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	5,649	6,543	7,145	7,335	7,586	7,461	7,594	7,735
NBD/daire <sup>(2)</sup>	7,163	8,296	8,881	9,116	9,342	9,273	9,439	9,525

<sup>1</sup> Tek dönem yenilemesiz yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

<sup>2</sup> İki dönem yenilemeli yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

### Ek 4a C65 Mikrotürbinli Sistemin I. Bölge - Antalya Hesap Sonuç Tabloları

Antalya, 5 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	20	40	60	80	100	120	140	160
Türbin Sayısı	-	1	2	2	3	3	4	4
Çalışma Süresi	-	984	984	1,560	1,320	2,248	2,226	3,174
Peryod	-	81.0	81.0	51.0	60.0	36.0	36.0	25.0
IRR	-	3.07%	3.14%	5.14%	4.55%	7.31%	7.36%	10.67%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-	-1,511	-1,302	68	-270	948	1,112	1,937
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-	-1,069	-1,436	-385	-520	645	1,026	2,510

Antalya, 10 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	40	80	120	160	200	240	280	320
Türbin Sayısı	-	2	3	4	5	6	7	8
Çalışma Süresi	-	1,476	2,184	3,108	2,472	2,620	2,400	2,997
Peryod	-	54.0	37.0	26.0	32.0	31.0	33.0	27.0
IRR	-	4.73%	6.92%	10.20%	9.68%	9.95%	8.74%	10.76%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-	-127	796	1,815	1,856	1,930	1,494	2,077
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-	-336	927	2,325	2,246	2,355	1,793	2,633

Antalya, 15 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	60	120	180	240	300	360	420	480
Türbin Sayısı	-	3	5	6	7	9	10	11
Çalışma Süresi	-	2,160	2,616	2,604	2,887	2,771	2,878	2,915
Peryod	-	37.0	31.0	31.0	28.0	29.0	28.0	28.0
IRR	-	6.79%	9.73%	9.80%	10.36%	11.14%	11.77%	12.44%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-	743	2,046	1,871	1,839	2,329	2,407	2,561
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-	865	2,497	2,283	2,308	2,894	3,021	3,214

<sup>1</sup> Tek dönem yenilemesiz yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

<sup>2</sup> İki dönem yenilemeli yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

### Ek 4b C65 Mikrotürbinli Sistemin II. Bölge - İstanbul Hesap Sonuç Tabloları

İstanbul, 5 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	20	40	60	80	100	120	140	160
Türbin Sayısı	-	-	-	3	4	5	5	6
Çalışma Süresi	-	-	-	1,464	1,392	1,896	2,736	2,472
Peryod	-	-	-	54.0	57.0	42.0	29.0	32.0
IRR	-	-	-	5.12%	5.07%	6.28%	9.14%	9.27%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-	-	-	87	55	935	2,187	2,529
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-	-	-	93	58	1,055	2,719	3,059

İstanbul, 10 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	40	80	120	160	200	240	280	320
Türbin Sayısı	-	3	4	6	7	8	9	10
Çalışma Süresi	-	1,384	2,286	2,408	2,115	2,262	2,856	2,743
Peryod	-	58.0	35.0	33.0	38.0	35.0	28.0	29.0
IRR	-	4.77%	7.41%	8.91%	9.04%	8.17%	10.34%	11.10%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-	-173	1,302	2,345	2,456	1,732	2,520	2,892
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-	-183	1,538	2,814	2,841	2,046	3,163	3,594

İstanbul, 15 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	60	120	180	240	300	360	420	480
Türbin Sayısı	2	4	6	8	10	12	14	16
Çalışma Süresi	1,416	2,274	2,524	2,607	2,647	2,428	2,474	2,516
Peryod	56.0	35.0	32.0	31.0	30.0	33.0	32.0	32.0
IRR	4.59%	7.31%	10.31%	10.21%	10.05%	10.61%	10.49%	10.40%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-263	1,246	2,831	2,721	2,576	3,054	2,929	2,881
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-280	1,471	3,425	3,321	3,172	3,664	3,544	3,485

<sup>1</sup> Tek dönem yenilemesiz yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

<sup>2</sup> İki dönem yenilemeli yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

**Ek 4c C65 Mikrotürbinli Sistemin III. Bölge - Ankara Hesap Sonuç Tabloları**

Ankara, 5 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	20	40	60	80	100	120	140	160
Türbin Sayısı	1	2	3	4	5	5	6	7
Çalışma Süresi	1,488	2,052	2,280	2,292	2,165	3,120	3,312	3,144
Peryod	54.0	39.0	35.0	35.0	37.0	26.0	24.0	26.0
IRR	4.12%	6.07%	7.60%	8.31%	8.68%	11.69%	12.46%	12.71%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-833	899	2,113	2,719	3,131	3,955	4,329	4,836
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-892	1,033	2,496	3,212	3,646	5,068	5,671	6,197

Ankara, 10 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	40	80	120	160	200	240	280	320
Türbin Sayısı	2	4	5	7	8	10	11	13
Çalışma Süresi	1,920	2,148	3,014	3,027	2,907	2,873	3,351	3,102
Peryod	42.0	37.0	27.0	27.0	28.0	28.0	24.0	26.0
IRR	5.49%	7.88%	11.01%	12.14%	12.75%	11.69%	13.55%	13.45%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	421	2,424	3,622	4,569	4,672	4,155	4,593	4,956
NBD/daire <sup>(2)</sup>	475	1,468	4,592	5,793	5,863	5,215	6,018	6,349

Ankara, 15 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	60	120	180	240	300	360	420	480
Türbin Sayısı	3	5	7	9	12	14	16	18
Çalışma Süresi	2,128	2,986	3,209	3,144	3,184	3,125	3,243	3,264
Peryod	38.0	27.0	25.0	26.0	25.0	26.0	25.0	25.0
IRR	6.94%	10.79%	13.50%	12.81%	13.26%	14.04%	14.21%	14.51%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	1,638	3,480	4,652	4,207	4,637	5,102	4,965	5,062
NBD/daire <sup>(2)</sup>	1,894	4,412	6,025	5,390	6,007	6,537	6,431	6,557

<sup>1</sup> Tek dönem yenilemesiz yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

<sup>2</sup> İki dönem yenilemeli yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

### Ek 4d C65 Mikrotürbinli Sistemin IV. Bölge - Erzurum Hesap Sonuç Tabloları

Erzurum, 5 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	20	40	60	80	100	120	140	160
Türbin Sayısı	2	4	5	7	8	10	11	13
Çalışma Süresi	1,548	1,932	2,462	2,345	2,526	2,678	2,793	2,647
Peryod	52.0	41.0	33.0	34.0	32.0	30.0	29.0	30.0
IRR	4.50%	6.62%	8.97%	9.05%	10.20%	10.55%	11.49%	11.29%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	-941	2,825	5,290	5,788	6,639	7,121	7,768	7,935
NBD/daire <sup>(2)</sup>	-1,016	3,207	6,348	6,890	8,033	8,769	9,655	9,771

Erzurum, 10 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	40	80	120	160	200	240	280	320
Türbin Sayısı	3	6	9	12	15	18	21	24
Çalışma Süresi	2,424	2,596	2,861	2,750	2,523	2,760	2,687	2,635
Peryod	33.0	31.0	28.0	29.0	32.0	29.0	30.0	30.0
IRR	8.26%	9.97%	11.13%	11.64%	11.13%	11.67%	11.85%	11.96%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	3,883	5,818	6,812	7,599	7,418	7,635	8,027	8,155
NBD/daire <sup>(2)</sup>	4,659	7,100	8,550	9,445	8,975	9,489	9,885	10,041

Erzurum, 15 Katlı								
	1 Blok	2 Blok	3 Blok	4 Blok	5 Blok	6 Blok	7 Blok	8 Blok
Daire Sayısı	60	120	180	240	300	360	420	480
Türbin Sayısı	5	9	13	18	22	26	31	35
Çalışma Süresi	2,299	2,819	2,745	2,727	2,686	2,662	2,647	2,632
Peryod	35.0	29.0	29.0	29.0	30.0	30.0	30.0	31.0
IRR	8.19%	10.97%	11.98%	11.47%	12.00%	12.34%	11.96%	12.25%
NBD/daire <sup>(1)</sup>	4,364	6,784	7,718	7,387	8,027	8,311	8,035	8,461
NBD/daire <sup>(2)</sup>	5,155	8,432	9,593	9,182	9,885	10,234	9,894	10,326

<sup>1</sup> Tek dönem yenilemesiz yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

<sup>2</sup> İki dönem yenilemeli yatırım modeli için Net Bugünkü Değer/daire

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	16.02.1981	
Doğum yeri	HATAY	
Lise	1995-1998	Mersin Salim Yılmaz Lisesi
Lisans	2000-2005	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

**Çalıştığı kurum(lar)**

2006-2007	Globalnet Energy Services International-Turkey, İstanbul, Türkiye
2007-Devam	Envo Energy Services, İzmir, Türkiye

**Makaleler (Konferanslarda yayınlanmış)**

**“CHP Microturbine Configuration Model and Economic Analysis”** Şah, S., Çubuk, H., published at proceedings of World Energy Engineers Congress, Washington, DC, USA. 1st – 3th October, 2008. Published at Cogeneration and Distributed Generation Journal, Volume 24, Number 2, Spring 2009, Pages 51 – 61.

**“Energy Cost Reduction by Energy Conservation Measures at a Pharmaceutical Plant in Izmit-Turkey”** Şah, S., Good, L., Korakan, A., Çubuk, H. Published at proceedings of International Youth Conference: on Energetic 2007, Hungary, 3-5 June 2007.

**“Case Study: Energy Efficiency & Savings Program for Five Star Hotel in Antalya, Turkey”** Şah, S., Good, L., Korakan, A., Published at proceedings of International Youth Conference: on Energetic 2009, Hungary, 4-6 June 2009.