

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERKEZİ VE BİREYSEL ISITMA SİSTEMLERİNİN
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

Mak. Müh. Mehmet SAVAŞAN

**Fbe Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Düriye Bilge

İSTANBUL,2007

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yerel Isıtma.....	1
1.2 Bireysel Isıtma.....	2
1.3 Merkezi Isıtma.....	2
1.4 Bölgesel Isıtma.....	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1 Termodinamiğin Birinci Kanunu ve Enerji.....	4
2.2 Termodinamiğin İkinci Kanunu ve Entropi.....	5
2.2.1 Tersinmezlikler.....	5
2.2.2 Entropi.....	6
2.3 Sürekli Akışlı Açık Sistemlerin İkinci Yasaya Göre Çözümlemesi.....	6
2.4 İdeal Gaz Denklemleri.....	8
2.4.1 İdeal Gazların Entropi Değişimleri.....	9
2.4.2 İdeal Gaz Karışımları.....	9
2.5 Ekserji Kavramı.....	11
2.5.1 Ekserji Çeşitleri.....	12
2.5.2 Fiziksel Ekserji.....	13
2.5.3 Kimyasal Ekserji.....	14
2.5.3.1 Standart Kimyasal Ekserji.....	14
2.5.4 Nemli Havanın ve Suyun Ekserjileri.....	14
2.5.5 Ekserji Kaybı ve Yıkımı.....	15
2.5.6 Ekserji Maliyeti.....	15
3. TERMOEKONOMİK (EKSERJİEKONOMİK) ANALİZ.....	17
3.1 Termoekonomik Analiz Yapılacak Sistemin Tanımı.....	17
3.2 Isıtma Sisteminin Termoekonomik Modellemesi.....	18
3.3 Mahallerin Isı Kaybı Analizi.....	19
3.3.1 Radyatör Verimlerinin Hesaplanması.....	19
3.4 Isıtma Sistemi Enerji Hesapları.....	21
3.4.1 Merkezi Sistem Isıtma Sistemleri.....	21
3.4.2 Merkezi Isıtma Sisteminin Ekserji Dengesi.....	27
3.4.3 Bireysel Sistem Isıtma Hesapları.....	32
3.4.4 Bireysel Isıtma Sisteminin Ekserji Dengesi.....	38
3.5 Isıtma Sistemlerinin Ekserji Maliyeti ve Termoekonomik Tahlili.....	43
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50

KAYNAKLAR.....	51
EKLER.....	52
Ek 1 Merkezi sistem radyatör seçim tablosu.....	53
Ek 2 Bireysel sistem radyatör seçim tablosu.....	58
Ek 3 Mahallerin havadan dolayı sahip oldukları ekserji tablosu.....	63
Ek 4 Merkezi sistem ekserji birim maliyet tablosu.....	68
Ek 5 Bireysel sistem ekserji birim maliyet tablosu.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGE LİSTESİ

a	Sabit katsayı
b	Sabit katsayı
c	Sabit katsayı
$\&$	Birim ekserji maliyeti (YTL/kW)
$\&$	Yakıtın birim ekserji maliyeti (YTL/kW)
c_p	Sabit basınçta özgül ısı, (J/kg.K)
$\&_{su.b}$	Bireysel sistemde suya aktarılan ekserji birim maliyeti, (YTL/kW)
$\&_{su.m}$	Merkezi sistemde suya aktarılan ekserji birim maliyeti, (YTL/kW)
$\&_{oda.b}$	Bireysel sistemde nemli havaya aktarılan ekserji birim maliyeti, (YTL/kW)
$\&_{oda.m}$	Merkezi sistemde nemli havaya aktarılan ekserji birim maliyeti, (YTL/kW)
c_v	Sabit hacimde özgül ısı, (J/kg.K)
C_e	Çıkıştaki ürünlerin ekserji maliyeti, (YTL/h)
C_i	Girişteki ürünlerin ekserji maliyeti, (YTL/h)
C_q	Sistemde ısı transferinin ekserji maliyeti, (YTL/h)
C_w	Sistemde yapılan işin ekserji maliyeti, (YTL/h)
d	Sabit katsayı
e	Özgül enerji, (kJ/kg)
e_f	Nemli havanın molar ekserjisi, (kJ/kmol)
e_k	Özgül kinetik enerji, (kJ/kg)
e_p	Özgül potansiyel enerji, (kJ/kg)
Δe	Entalpi farkı, (kJ)
E	Toplam enerji, (kJ)
E_k	Kinetik enerji, (kJ)
E_p	Potansiyel enerji, (kJ)
f	Termoekonomik faktör
g	Yerçekimi ivmesi, (m/s ²)
\bar{g}_{DG}	Doğalgazın molar gibbs fonksiyonu, (kJ/kmol)
\bar{g}_F	Yakıtın molar gibbs fonksiyonu, (kJ/kmol)
h	Özgül entalpi, (kJ/kg)
\bar{h}	Molar entalpi, (kJ/kmol)
h_c	Açık sistemden çıkan akışkanın özgül entalpisi, (kJ/kg)

h_g	Açık sisteme giren akışkanın özgül entalpisi, (kJ/kg)
i	Özgül tersinmezlik, (kJ/kg)
i_{eff}	Geri ödeme oranı
\dot{I}	Tersinmezlik, (kJ)
k	Adyabatik üs
m	Kütle, (kg)
\dot{m}	Kütleli debi, (kg/s)
\bar{M}	Molar kütle, (kg/kmol)
n	Mol sayısı, (adet)
p	Basınç, (N/m^2), (Bar)
P	Pompa gücü, (W)
q	Isıl güç (kcal/h)
q_0	Isıl güç (kcal/h)
Q	Isı miktarı, (J), (kWh), (kcal)
r	Gizli buharlaşma ısı, (J/kg)
r_i	Faiz oranı
r_n	Eskalasyon oranı
R	Üniversal gaz sabiti, (kJ/kg.K)
\bar{R}	Üniversal gaz sabiti, (kJ/kmol.K)
s	Özgül entropi, (kJ/kg.K)
\bar{s}	Molar entropi, (kJ/kmol.K)
s_ϕ	Açık sistemden çıkan kütleli özgül entropisi, (kJ/kg.K)
s_g	Açık sisteme giren kütleli özgül entropisi, (kJ/kg.K)
$s_{\dot{u}}$	Üretilen özgül entropi, (kJ/kg.K)
S	Entropi, (kJ/K)
$S_{\dot{u}}$	Üretilen entropi, (kJ/K)
T	Sıcaklık, (K)
T_0	Çevre sıcaklığı, (K)
Δt	Sıcaklık farkı, ($^{\circ}C$)
Δt_0	Sıcaklık farkı, ($^{\circ}C$)
ΔT	Sıcaklık farkı, (K)
u	Özgül iç enerji, (kJ/kg)
\bar{u}	Molar iç enerji, (kJ/kmol)

U	İç enerji, (kJ)
v	Hız, (m/s)
V	Hacim, (m ³)
w _i	i gazının karışım içindeki kütleli oranı
w _{tr}	Birim kütle için tersinir iş, (kJ/kg)
W _{tr}	Tersinir iş, (kJ)
y _i	i gazının karışım içindeki molar oranı
z	Yükseklik, (m)
z _ç	Açık sistemden çıkan kütleli belli bir referansa göre yüksekliği, (m)
z _g	Açık sisteme giren kütleli belli bir referansa göre yüksekliği, (m)
Z _{bir}	Bireysel sistem yatırım ve işletme birim maliyeti , (YTL/h)
Z _i	Yatırım ve işletme birim maliyeti , (YTL/h)
Z _g	Tesisatın günlük çalışma süresi, (h/gün)
Z _{mer}	Merkezi sistem yatırım ve işletme birim maliyeti , (YTL/h)

Yunan harfleri :

α	Üs katsayısı
ϵ_{ph}	Fiziksel ekserji, (kJ)
$\epsilon_{\Delta T}$	Sıcaklık farkından dolayı olan ekserji, (kJ)
$\epsilon_{\Delta P}$	Basınç farkından dolayı olan ekserji, (kJ)
3	Özgül ekserji, (kJ/kg)
3 ^{CH}	Kimyasal ekserji, (kJ/kg)
3 ^{PH}	Fiziksel ekserji, (kJ/kg)
3 _f ^{CH}	Yakıtın kimyasal ekserjisi, (kJ/kg)
3 _{su}	Suyun sahip olduğu birim ekserji, (kJ/kg)
3 _D	Yıkılan ekserji miktarı, (kJ)
3 _e	Sistemde referans bir noktaya göre çıkıştaki ekserji, (kJ)
3 _i	Sistemde referans bir noktaya göre girişteki ekserji, (kJ)
3 _K	Kaybolan ekserji miktarı, (kJ)
3 _L	Transfer olan ekserji miktarı, (kJ)
3 _{mass}	Sistemin kütleli akış ekserjisi , (kJ)

3_q	Sistemde ısı transferinden dolayı transfer olan ekserji , (kJ)
$3_{w,e}$	Sistemde yapılan işten dolayı kaybedilen ekserji, (kJ)
κ	Bir değere getirilmiş fiyat düzeltme faktörü
λ	Düzeltilme faktörü
v	Özgül hacim, (m^3/kg)
v'	Suyun özgül hacmi, (m^3/kg)
ω	Mutlak nem, (kg su buharı/kg kuru hava)
$\tilde{\omega}$	Bağıl nem, (kg su buharı/kg kuru hava)
$\tilde{\omega}^0$	Oda şartlarındaki bağıl nem, (kg su buharı/kg kuru hava)

Alt indisler :

b	bireysel sistem
BG	Baca gazı
ç	çıkan
DG	Doğalgaz
e	sistemden çıkış
g	giren
i	sisteme giriş
k	kinetik enerji
kay	kaybolan
m	merkezi sistem
p	potansiyel enerji
rad	radyatör
tr	tersinir
ü	üretim

Üst indisler :

CH	kimyasal
o	çevre hali
PH	fiziksel

KISALTMA LİSTESİ

A	Bir değere getirilme faktörü
CELF	Eskalasyon düzeltme faktörü
CRF	Anapara geri kazanım faktörü
DG	Doğal Gaz
HY	Hava Yakıt Oranı
TS	Türk Standardı
TDBK	Termodinamiğin Birinci Kanunu
TDİK	Termodinamiğin İkinci Kanunu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Isıtma sistemlerinin toplam ekserji kayıpları.....	50
Şekil 3.2 Isıtma sistemlerinin termoeconomik karşılaştırılması.....	50

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Kazanda yakılan doğal gazın bileşimi ve bileşimi oluşturan gazların oranları....	24
Çizelge 3.2 Kazandaki yanma reaksiyonuna giren ve çıkan maddelerin entalpileri.....	26
Çizelge 3.3 Isıtma sisteminin ekserji referans noktalarında bulunan maddelerin çeşitli termodinamik özellikleri.....	28
Çizelge 3.4 Isıtma sisteminin referans noktalarında bulunan maddelerin ekserji değerleri....	33
Çizelge 3.5 Kombide yakılan doğal gazın bileşimi ve bileşimi oluşturan gazların oranları....	34
Çizelge 3.6 Kombideki yanma reaksiyonuna giren ve çıkan maddelerin entalpileri.....	36
Çizelge 3.7 Isıtma sisteminin ekserji referans noktalarında bulunan maddelerin çeşitli termodinamik özellikleri.....	38
Çizelge 3.8 Isıtma sisteminin referans noktalarında bulunan maddelerin ekserji değerleri....	43
Çizelge 3.9 Merkezi ve bireysel ısıtma sistemlerinin ekserji maliyetleri.....	44
Çizelge 3.10 Isıtma sistemlerinin termoekonomik tahlili.....	50

ÖNSÖZ

Bu tezde günümüzde ısıtma sektöründe özellikle kullanıcıların sıkça sorduğu bir durum olan, merkezi ve bireysel ısıtma sistemlerinin enerji ve ekserji açısından karşılaştırmasını yapabilme fırsatını buldum.

Bu tezimi hazırlamamda çok değerli katkılarını ve her aşamasında iyi niyetini benden esirgemeyen tez danışmanım Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Öğretim Üyesi Sn. Prof. Dr. Düriye Bilge'ye, çalışmalarımnda çok yardımlarını gördüğüm Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Öğretim Üyesi Sn. Prof. Dr. Galip Temir'e , desteklerini her zaman arkamda hissettiğim aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Fosil kökenli enerji kaynaklarının giderek azalması ve toplumların refah seviyesinin yükselmesi enerji maliyetlerinin giderek artmasına neden olmaktadır. Ayrıca insanların kullandıkları temel enerji kaynakları fosil yakıtlar olduğundan önemli çevre problemleri de ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar enerji kullanımında verimliliği, ekonomikliği ve temiz enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmektedir. Son yıllarda termal sistemlerin verimlilik analizi, bilim adamlarının en çok ilgilendikleri konular arasına girmiştir. Günümüzde termal sistemlerin analizinde, TDBK' nunun yanında TDİK' nuda kullanılmaktadır. Bu iki kanuna dayanan analiz yöntemine ekserji analizi denilmekte ve termal sistemlerin verimlilik ve ekonomiklik analizinde önemli yer tutmaktadır. Enerji tüketiminin üçte biri, binaların ısıtılması için harcanan ülkemizde ısıtma sistemlerinin enerji ve ekserji analizi de bu açıdan önem arz etmektedir.

Bu çalışmada; bireysel ve merkezi sistem olarak ısı yükleri hesaplanmış sistemlerin termoekonomik olarak incelenmesi sunulmuştur. İstanbul' da bulunan 5 katlı simetrik bir binanın merkezi ve bireysel ısıtma sistemi olarak maliyet analizi yapılmış, kullanılmayan ekserji miktarı hesaplanarak, bireysel sistemin termoekonomik faktörü merkezi sistemininkinden yüksek çıkmıştır. Bunun anlamı bireysel sistemde ilk yatırım maliyetinin daha fazla olduğu fakat ekserji yıkımını azaltarak, yani komponent verimini artırarak sistemin bütününde maliyet tasarrufu yapılabileceğini göstermektedir.

Buna benzer kıyaslamalar projede sunulmuştur. Bunun, bina ısıtmalarında kullanılacak ısıtma sistemi seçiminde, özellikle enerji tasarrufu yönünden ışık tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Merkezi ısıtma sistemi, bireysel ısıtma sistemi, ekserji, termoekonomi, enerji tasarrufu

ABSTRACT

Gradual decrease in the fossil based energy sources and the increase in the life standart of societies cause a gradual increase in energy costs. On the other and, use of fossil based fuel as the basic energy source by the communities introduces significant environmental problems. These problems have brought up the issues of efficiency, cost effectiveness and use of pure energy sources as far as energy consumption is concerned. Recently, efficiency analysis of thermal systems has been a popular concern for scientists. Today in the analysis of thermal systems, the second law of thermodynamics is used as well as the first law of thermodynamics. The analysis method bases on both of these rules is called exergy analysis and has a significant part in efficiency and cost effectiveness analysis. Seen from this aspect, in our country where 1/3 of energ consumption is allocated to heating at buildings, energy and exergy analysis is naturally a key point.

In this study, thermodynamical examination of systems of which heat load was calculated both individually and centrally has been deliverd. A cost analysis was conducted for a central and individual heating system of a 5 storeyed symmetrical building in İstanbul and it was found that thermodynamical factor of individual system was higher than that of central system by calculating the unused amount of exergy. This means that the cost of first investment in individual system is higher whereas by reducing the exergy destruction, in other words increasing the component efficiency, a cost saving method can be achieved in the entire system.

Similar comparisons have been offered in the whole project since they are considered to guide, especially in terms of energy savings, the process of selecting a heating system that will be used in buildings.

Keywords : Central heating system, individual heating system, exergy, thermoeconomy, energy savings.

1. GİRİŞ

Günümüzde modern ısıtmada kullanılan temel prensip, eski Romalılardan kalan merkezi ısıtma tekniğine dayanmaktadır. Günümüzdeki ısıtma devrelerinin bu eski teknikten farkı, kullanılan sıcak akışkanların cinsi ve sistemin büyüklüğüdür.

Akışkanın cinsi açısından günümüzde sıcak su, kaynar su, hava, sıcak yağ veya buhar kullanılabilir. Sistemlerin boyutu açısından ise bireysel, merkezi, bölge veya bileşik (kojenerasyon) adı verilen şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Ayrıca bütün bu sistemlerde radyatör, konvektör, yerden, duvardan ısıtma gibi değişik ısıtıcı eleman uygulamaları yapılabilmektedir.

Bütün bu sistemlerde birincil enerji kaynağı olarak katı, sıvı veya gaz yakacaklar kullanılabilir. Kullanılan sistemlerin ve yakacakların birbirlerine göre çeşitli üstünlük ve sakıncaları bulunabilmektedir. Bu nedenle her değişik uygulamada en uygun sistemin, ısıtıcı akışkanın ve ısıtıcı elemanın seçilebilmesi için bir mühendislik ve ekonomik analizinin yapılması gerekmektedir, (Heperkan 2001).

Bir ısıtma tesisatının uygun olabilmesi için aşağıdaki koşulları yerine getirmesi gerekir.

- Isıtılan ortamın sıcaklığı $\pm 1^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle kararlı olmalıdır.
- Hızlı ve etkili bir ayar tertibatına sahip olmalıdır.
- Yanma ile açığa çıkan gazlar, ısıtılan ortamı ve çevreyi kirletmemelidir.
- Tesisat tesis, işletme ve bakım giderleri yönünden ekonomik ve verimli olmalıdır.
- İşletmesi basit olmalıdır.

Bu çalışmada, aynı binanın farklı ısıtma sistemleri ile ısıtıldığında, I. Kanun'un yanı sıra II. Kanun ile de çözümlenmesi yapıldığında ekserjitik ve termoeekonomik açıdan ne gibi farklılıklar doğurduğu ortaya çıkarılmaya çalışıldı. Çeşitli hesaplamalarla hangi komponentlerin maliyeti arttırdığı, toplama ne kadar etkidiği gösterilmeye çalışıldı.

1.1. Yerel Isıtma

Isı, ısıtılacak ortamın bizzat içinde üretilir. Bu sistemin uygulandığı yerlerde ısıtılması gereken her ortamda bir ısı üreticisinin bulunması gereklidir. Şömine, odun ve kömür

sobaları, elektrikli ısıtma cihazları ile yapılan ısıtma teknikleri bu grup içinde düşünülür. Isıl kapasite 1 ile 10 kW arasındadır.

1.2. Bireysel Isıtma

Isı ihtiyacı 10 ile 40 kW arasındaki hacimlerin bireysel ısıtılması, kat kaloriferi olarak adlandırılır. Sistemde genellikle yakacak olarak motorin, doğalgaz veya sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanılır.

Genellikle ülkemizde uygulamalarda akışkan, sıcaklığı en fazla 90 °C olan sudur. Sıcak su bir kat kaloriferi kazanı veya kombi adı verilen cihazlarda hazırlanır ve borular ile ısıtılacak ortamlardaki ısıtıcılara gönderilir. Özellikle A.B.D.' deki bu tip ısıtma tekniğinde kullanılan akışkan yaklaşık 40 ile 50 °C sıcaklıktaki havadır. Bir hava ısıtıcısında hazırlanan hava, kanallar ile ısıtılacak ortamlara gönderilir. Burada belirli bir miktar dış havada kullanılması, sistemde zorlanmış havalandırma da yapılmasını sağlar.

Bireysel ısıtma, merkezi sistem ısıtmaya göre ekonomik olmamasına rağmen, bu sistemin kendi başına bağımsız olması en büyük üstünlüğüdür. Bu nedenle bir apartman dairesinde otursa bile ülkemiz insanları tarafından çok tercih edilmektedir. Özellikle doğalgazın kullanımıyla orantılı olarak bu sistemin daha da yaygınlaşması beklenilmektedir.

1.3. Merkezi Isıtma

Blok halinde yapılmış bir binadaki en uygun ısıtma ihtiyacı, merkezi sistem ile karşılanır. Binadaki bir kazan dairesinde hazırlanan sıcak su, binadaki her daire veya birime ayrı ayrı gönderilir. Kazanda her türlü yakacağın mümkünse de çevre açısından doğalgaz veya sıvı yakıt tercih edilmektedir. Ülkemizde her bağımsız birimin kullandığı kadar ısı enerjisini ölçen cihazların yaygınlaşmamış olması nedeniyle, maalesef bu teknikle ısınmada bazen gereksiz yere büyük enerji savurganlığı ortaya çıkabilmektedir. Bilinçli kullanıldığında hem yatırım hem de işletme açısından merkezi ısıtma sistemi, bireysel ısıtma sistemine göre daha avantajlıdır.

1.4 Bölgesel Isıtma

Şehir ve uzaktan ısıtma tekniği adı da verilen bu sistemde, bir ısı merkezinde hazırlanan sıcak akışkan birkaç kilometre çapındaki binalara taşınır. Genellikle ısı merkezinde hazırlanan ve

birinci akışkan adını alan akışkan kaynar su veya buhardır. Bu akışkan her binanın altında bulunan bir ısı değiştirgeci (eşanjörü) yardımıyla ikinci devredeki ve maksimum 90 °C sıcaklıktaki suyu ısıtır. İkinci devredeki sistem, merkezi sistemde kullanılan devrenin aynıdır. Prensipte olarak sistemdeki binalar, ısıtma merkezinden bir kilometreden yakınsa, sistemde doğrudan doğruya 90 °C sıcaklıktaki su kullanılarak tek devreli yapılabilir. Daha yaygın ve dağınık sistemlerde ise birinci devre sıcaklığı 180 °C değerine kadar çıkabilen kaynar su kullanılır.

Bölgesel ısıtma teknik açısından da en ekonomik sistemdir. Özellikle doğalgaz dışında, kömür veya fuel oil gibi yakacakların kullanılması durumunda, yanmanın ve akışkan sıcaklıklarının tek bir merkezde hassas olarak kontrolü ancak bu sistemle yapılabilmektedir. Hastaneler, kışlalar, konut siteleri, üniversite kampüsleri bu ısıtma tekniği için uygundur.

Özellikle birçok bağımsız katılımcının bulunduğu konut sitelerinde, bölgesel ısıtmanın yalnızca teknik yönden çözümlenmiş olması yeterli olmamakta, hukuki, ticari ve idari yönlerden de eksiksiz bir çalışma yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Bölgesel ısıtmanın diğer bir uygulaması, hem elektrik hem de ısının üretildiği kojenerasyon tekniğidir. Özellikle verim açısından çok üstün bir teknik olması nedeniyle, ülkemizde bazı sanayi kuruluşlarının dışında uygulama alanı bulamamaktadır.

Bölgesel ısıtma şebekesi; yol şebekesi, su şebekesi ve elektrik şebekesi gibi bir altyapıdır. Isıtma projesini yapan mühendisin görevi vaziyet planı ve imar planı yapılırken başlamalıdır, (Heperkan 2001).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Termodinamiğin Birinci Kanunu ve Enerji

Doğanın en temel kanunlarından biri enerjinin korunumunu ifade eden termodinamiğin birinci kanunudur. Bu kanun bir termodinamik süreç sırasında bir enerji türünün farklı bir enerji türüne dönüşebileceğini fakat toplam miktarının sabit kalacağını belirtir. Bir başka ifadeyle enerji yoktan var edilemez veya var olan enerji yok edilemez.

Enerji çevrede değişiklik yapma yeteneğidir ve ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi değişik türlerde bulunabilir. Sistemin toplam enerjisi, belirtilen enerjilerin var olanlarının toplamıdır. Bir sistemin toplam enerjisi termodinamikte aşağıdaki bağıntılar ile verilmektedir, (Incropera P.F., De Witt D.P., 2001).

$$E = U + E_k + E_p \quad (2.1)$$

Veya birim kütle için;

$$e = u + e_k + e_p \quad (2.2)$$

Burada \bar{e} enerji, u iç enerji, \bar{e}_k kinetik enerji, \bar{e}_p potansiyel enerjiyi göstermektedir. Kinetik enerji, en genel anlamda sistemin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjidir ve

$$e_k = v^2 / 2 \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır. Potansiyel enerji ise sistemin bir yer çekimi alanındaki yüksekliğe bağlı olarak sahip olduğu enerjidir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$e_p = gz \quad (2.4)$$

2.2 Termodinamiğin İkinci Kanunu ve Entropi

Termodinamiğin birinci kanunu, enerjinin miktarı üzerinde durur ve enerjinin hal değişimleri sırasındaki dönüşümleri sayısal değerle ifade eder. Farklı enerji kaynaklarının nitelikleri arasında ayırım yapmaz. Termodinamiğin ikinci kanunu ise enerjinin miktarının yanında kalitesini de ön plana çıkarır. Dolayısıyla ikinci kanun, bir enerji kaynağının maksimum iş potansiyeli üzerinde durur. Bir sistemde entropi üretimi, iş yapma imkanlarının değerlendirilememesi, enerji niteliğinin azalmasına neden olur. Bu bakımdan araştırmacılar bir sistemin değerlendirilmesinde, termodinamiğin birinci kanunu ile ikinci kanunun birlikte düşünülerek analiz edilmesinin daha doğru olacağını söylemişlerdir, (Çengel ve Boles 1994). Termodinamiğin ikinci kanununun ortaya çıkardığı en önemli kavramlar tersinmezlik ve entropidir.

2.2.1 Tersinmezlikler

Bazı enerji türleri kayıpsız olarak ısı enerjisine dönüşürken, ısı enerjisi örneğin mekanik enerjiye kayıpsız olarak dönüşmesi mümkün değildir. Kayıpsız olarak enerji dönüşümü tersinir süreç olarak adlandırılmıştır. 19. yüzyılda Lord Kelvin, Carnot ve Clausius gibi bilim adamları yaptıkları çalışmalarda ısı enerjisiyle çalışan makinalarda enerji alışverişinin termodinamiksel esaslarını ortaya koymuşlardır. Bu esaslar, enerjinin değişik çeşitleri arasındaki dönüşümler sırasındaki bazı düzensizlikler olduğunu göstermiştir. Enerji dönüşümleri sırasında ortaya çıkan düzensizlikler, termodinamiğin ikinci yasasının temelini oluşturmuştur. Bu yasaya göre enerji dönüşümü sırasında oluşan düzensizliklere tersinmezlik adı verilmiştir, (Cornelissen 1997).

Termodinamiğin ikinci yasasına göre tüm doğal enerji dönüşüm süreçleri tersinmezdir. Dolayısıyla, ısı enerjisi hiçbir zaman tümüyle mekanik enerjiye dönüşmez. Bu tanıma göre; ısı enerjisinin bir kısmının yok olduğu anlamı çıkmaz. Bunun anlamı, ısı enerjisinin bir kısmının iş üretme yeteneğinin olmayışdır. Isı enerjisinden maksimum değerde iş elde etme miktarı carnot verimi ile ölçülür. Carnot veriminin büyüklüğü ise sıcak ve soğuk kaynakların sıcaklıklarına bağlıdır.

Tersinmezliklere sebep olan birçok etken vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır ;

- Sonlu sıcaklık farkında ısı transferi,
- Gazların ve sıvıların sonlu basınç farkıyla genişlemesi,
- Kimyasal reaksiyonlar,
- Farklı kimyasal potansiyellere sahip maddelerin karışması,
- Sürtünme,
- Direnç içerisindeki elektrik akımı,
- Elastik olmayan deformasyon,

Bu etkilerden herhangi birinin olması durumunda süreç tersinmez olur.

2.2.2 Entropi

Enerji dönüşümü sırasında ortaya çıkan düzensizlikler, aynı zamanda entropi kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu kavramı ilk kez Clausius kullanmıştır.

$$dS \geq (\delta Q / T)_{\text{terz}} \quad ; \quad dS = (\delta Q / T)_{\text{ter.}} \quad (2.5)$$

Bu ilişki çevredeki entropi artışının ısı enerjisi ile doğru orantılı olduğunun bir ifadesidir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre gerçek enerji dönüşüm süreçlerinde toplam entropi sürekli artar. Entropi, sıcaklık, basınç, vb. fiziksel büyüklükler gibi ölçülemez. Sistemlerdeki entropi değişim miktarı hesaplanarak bulunur. Entropi artışı ancak ısıl denge durumunda sabit kalır.

En genel halde kapalı bir sistem için entropi değişimi

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{\text{ü}} \quad (2.6)$$

Bağıntısı ile verilir.

2.3 Sürekli Akışlı Açık Sistemlerin İkinci Yasaya Göre Çözümlemesi

Bu şekilde ikinci yasa çözümlemesi, lüle, türbin, kompresör ve ısı değiştiricisi gibi içinde sürekli akışın gerçekleştiği açık sistemler için kullanılmıştır.

Sürekli akışlı açık sistem için termodinamiğin ikinci yasası aşağıdaki gibi yazılır.

$$S_{\dot{u}} = \sum \dot{m}_{\dot{c}} s_{\dot{c}} - \sum \dot{m}_{\dot{g}} s_{\dot{g}} + (Q_{\dot{c}evre} / T_0) \quad (2.7)$$

Burada $Q_{\dot{c}evre} = -Q$ ve $S_{\dot{u}}$, açık sistemin toplam entropi üretimidir. Bu birinci kanunda kullanarak ısı geçişi terimi yok edilirse,

$$W = \sum \dot{m}_{\dot{g}} (h_{\dot{g}} + v_{\dot{g}}^2/2 + gz_{\dot{g}} - T_0 s_{\dot{g}}) - \sum \dot{m}_{\dot{c}} (h_{\dot{c}} + v_{\dot{c}}^2/2 + gz_{\dot{c}} - T_0 s_{\dot{c}}) - T_0 S_{\dot{u}} \quad (2.8)$$

bulunur. Bu denklemde verilen W , açık sistemde yapılan gerçek iştir, aynı zamanda yararlı işe eşittir, çünkü sürekli akışlı açık sistemlerin sınırları sabit olup çevre işi söz konusu değildir.

Sürekli akışlı açık sistemin bir girişi ve bir çıkışı varsa, potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilirse, tersinir iş ;

$$W_{tr} = \dot{m} [(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c)] \quad (\text{kJ}) \quad (2.9)$$

Veya sistemden geçen birim kütle için ;

$$w_{tr} = (h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c) = T_0 \Delta s \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2.10)$$

Bir açık sistemde birim zamanda tersinmezlik \dot{I} veya birim kütle için tersinmezlik i , tersinir işle yararlı iş arasındaki farktır ;

$$\dot{I} = W_{tr} - W_y = T_0 S_{\dot{u}} \quad (\text{kJ}) \quad (2.11)$$

Birim kütle için tersinmezlik ise ;

$$i = w_{tr} - w_y = T_0 s_{\dot{u}} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2.12)$$

2.4 İdeal Gaz Denklemleri

Moleküller arası ortalama uzaklığın, moleküllerin çapına oranla çok büyük olduğu ve bu nedenle aralarında karşılıklı çekim kuvvetinin bulunmadığı gazlara ideal gaz adı verilir. Basınçların çok küçük olması veya sıfıra doğru yaklaşması halinde bütün gazlar ideal gaz gibi dikkate alınabilir, (Ayhan ve Çomaklı 1992).

Bir maddenin basıncı, sıcaklığı ve özgül hacmi arasındaki bağıntılara hal denklemleri denilmektedir. Bu denklemlerin en yaygın bilineni ve kullanılanı ideal gaz denklemleridir. İdeal gazlar için hal denklemleri ;

$$Pv = RT \quad (2.13)$$

$$R = \bar{R} / M \quad (2.14)$$

Bağıntıları ile hesaplanır. $\bar{R} = 8.314 \text{ kJ/kmol.K}$ universal gaz sabitidir. M ise gazın mol kütesidir. İdeal gaz hal denklemleri ve entalpi tanımı kullanılarak,

$$h = u + Pv \quad (2.15)$$

$$h = u + RT \quad (2.16)$$

yazılabilir. $u = u(T)$ olduğundan, ideal gazın entalpisi yalnızca sıcaklığın fonksiyonudur. İdeal gazlarda iç enerji ve entalpinin sadece sıcaklığın fonksiyonu olması nedeniyle sabit hacim ve sabit basınçtaki özgül ısılar sırasıyla c_v ve c_p de yalnızca sıcaklığın fonksiyonudur, ($c_v = du/dT$, $c_p = dh/dT$), (Çengel ve Boles 1994).

İdeal gazın özgül ısılarının sıcaklıkla değişimini molar olarak veren üçüncü dereceden polinomları ifade eden bağıntıları aşağıdaki şekilde verilmişlerdir.

$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (2.17)$$

$$c_v = (a - \bar{R}) + bT + cT^2 + dT^3 \quad (2.18)$$

bu denklemlerdeki a,b,c,d sabit katsayıları her bir gaz için farklı değerler almaktadır.

2.4.1 İdeal Gazların Entropi Değişimleri

İdeal gazlar için hal denklemleri ile entropi değişimleri hesaplanabilmektedir. İç enerji ve entalpi bağıntıları kullanılarak entropideki diferansiyel değişimler yardımıyla ile ideal gazın bir hal değişimi sırasındaki entropi değişimi,

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_v(T) \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.19)$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 c_p(T) \frac{dT}{T} + \bar{R} \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (2.20)$$

şeklinde yazılır.

2.4.2 İdeal Gaz Karışımları

Birçok termodinamik uygulamalarda, sistem tek bir gazdan değil birçok gazın karışımından oluşur. Özellikle yanma sistemlerinin çözümlenmesinde gaz karışımları kullanılmaktadır. Bu nedenle karışımların özelliklerinin belirlenmesi önem arz eder. Gaz karışımlarında önemli iki yasa vardır :

1. Dalton toplam basınçlar yasası : $P = \sum_i^N P_i(T, V)$ (2.21)

2. Amagat toplam hacimler yasası : $V = \sum_i^N V_i(T, P)$ (2.22)

Karışımın özelliklerini belirlemek için karışımı oluşturan gazların miktarlarını ve özelliklerini bilmek gerekir. Karışımı oluşturan gazların miktarlarını ve özelliklerini bilmek gerekir. Karışımı oluşturan gazların miktarları kütleli veya mol olarak verilebilir. Bu durumda karışımın toplam miktarı mol ve kütleli olarak;

$$n = \sum_i^N n_i \quad (2.23)$$

$$m = \sum_i^N m_i \quad (2.24)$$

Karışanların mol oranları ve kütle oranları ;

$$y = \frac{n_i}{n} \quad (2.25)$$

$$w = \frac{m_i}{m} \quad (2.26)$$

şeklinde hesaplanır. Karışımın mol kütlesi ;

$$M = \frac{m}{n} \quad (2.27)$$

veya

$$M = \sum_i^N y_i M_i \quad (2.28)$$

şeklinde hesaplanır. Bir gaz karışımının özellikleri genellikle her bir bileşenin özelliklerinin katkısı da dikkate alınarak bulunur. Buna göre gaz karışımlarının iç enerji, entalpi, entropi ve özgül ısıları molar ve kütle oranları olarak;

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^N y_i u_i \quad (2.29)$$

$$u = \sum_{i=1}^N w_i u_i \quad (2.30)$$

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^N y_i h_i \quad (2.31)$$

$$h = \sum_{i=1}^N w_i h_i \quad (2.32)$$

$$\bar{s} = \sum_{i=1}^N y_i s_i \quad (2.33)$$

$$s = \sum_{i=1}^N w_i s_i \quad (2.34)$$

$$\bar{C}_v = \sum_{i=1}^N y_i c_{v_i} \quad (2.35)$$

$$C_v = \sum_{i=1}^N w_i c_{v_i} \quad (2.36)$$

$$\bar{C}_p = \sum_{i=1}^N y_i c_{p_i} \quad (2.37)$$

$$C_p = \sum_{i=1}^N w_i c_{p_i} \quad (2.38)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu denklemlerde özgül ısıların birimleri kJ/kmol.°C ve kJ/kg.°C 'dir. Karışımı oluşturan gazların özelliklerinin değişimleri ideal gaz denklemleri kullanılarak bulunur.

2.5 Ekserji Kavramı

Ekserji kelimesi Yunaca ex (dış) ve ergon (kuvvet ve iş) kelimelerinden türetilmiştir. İlk kez 1824 yılında Carnot tarafından kullanıldığı kabul edilir, (Wall 1998). Ekserji analizi konusundaki çalışmalar ise Gouy ve Stodola ile başlamıştır. Daha sonraki yıllarda F. Bosnjokovic tarafından ekserji geliştirilerek modernize edilmiştir ve bu kavram değişik termodinamik kitaplarında yer almıştır, (Szargut 1988).

Rant , ekserjiyi tamamen başka bir enerjiye dönüşen enerjinin bir çeşidi olarak tanımlamıştır. Daha sonraları ekserji, verilen şartlardaki bir sistemin çevresi ile (ölü hal) aynı şartlara getirilmesi ile elde edilebilecek en büyük iş şeklinde tanımlanmıştır, (Szargut 1988).

Ölü hal : Bir sistemin ölü hal durumunda olması, çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelmektedir. Sistem ölü halde iken çevresiyle eşit sıcaklık ve basınçtır. Yani ısı ve mekanik dengededir. Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır. Ölü halde iken sistem çevre ile kimyasal reaksiyona giremez. Sistemin ölü haldeki özellikleri P_0 , T_0 , h_0, u_0 ,ve s_0 'dır. Ölü hal durumunda $P_0 = 1$ atmosfer (101,325 kPa) ve $T_0 = 25$ °C (298,15 K)'dir, (Çengel ve Boles 1994, Doldersum 1998).

Enerjinin faydalı kısmını ekserji oluşturmaktadır. Enerjinin kullanılmayan kısmına ise anerji adı verilmektedir. Buna göre ekserji ve anerji arasında;

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$$

bağıntısı geçerlidir. Bu tanımlardan hareketle termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu aşağıdaki şekilde daha basit ifade edilebilir. Birinci kanun,

- Bütün termodinamik süreçlerde anerji ve ekserjinin toplamı sabit kalır.

İkinci kanun ise ;

- Tersinir süreçlerde ekserji sabit kalır.
- Tersinmez süreçlerde ekserjinin bir kısmı veya tamamı anerjiye dönüşür.
- Anerji ekserjiye dönüşmez.

şeklinde ifade edilebilir.

2.5.1 Ekserji Çeşitleri

Bir sistemin ekserjisi potansiyel, kinetik ve termal ekserji olmak üzere üç temel kısımdan oluşur,(Szargut 1988). Kinetik ve potansiyel ekserji, sistemin potansiyel ve kinetik ekserjisine eşittir. Fiziksel ve kimyasal ekserjilerin toplamı ise toplam ekserjiyi oluşturur.

2.5.2 Fiziksel Ekserji

Fiziksel bir olay tersinir süreç yoluyla giriş sıcaklığı T ve giriş basıncı P ilk halinden, T_0 , P_0 halindeki çevre şartları ile termodinamik denge haline getirildiğinde elde edilecek maksimum iş fiziksel ekserji olarak tanımlanır.

Fiziksel ekserji aşağıdaki gibi yazılır ;

$$\varepsilon_{ph} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (2.39)$$

Eğer bir sistemde iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı söz konusu ise bu iki durum arasındaki fiziksel ekserji ;

$$\varepsilon_{ph1} - \varepsilon_{ph2} = h_1 - h_2 - T_0(s_1 - s_2) \quad (2.40)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Fiziksel ekserji bileşenleri :

Fiziksel ekserji aşağıda gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır.

$$\varepsilon_{ph} = \varepsilon_{\Delta T} + \varepsilon_{\Delta P} \quad (2.41)$$

burada birinci terim fiziksel ekserjinin termal bileşeni olup sıcaklık farkından, ikinci terim ise basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Basınç bileşeni izotermal durumda gerçek gazlar için kullanılır. Basınç bileşeni aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\varepsilon_{\Delta P} = T_0(s_0 - s_1) - (h_0 - h_1) \quad (2.42)$$

İdeal gazların fiziksel ekserjileri :

$$\varepsilon_{ph} = c_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (2.43)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

2.5.3 Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserji bir maddenin çevresiyle kimyasal denge haline geldiğinde ısı transferi ve madde alışverişinden dolayı, yaptığı maksimum iş olarak tanımlanır.

2.5.3.1 Standart Kimyasal Ekserji

Bazı uygun çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Standart kimyasal ekserjiler standart çevre (ölü hal) sıcaklığına ($T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}=298.15 \text{ K}$) ve basıncına ($P_0 =1 \text{ atm}$) bağlıdır. Referans maddeler genellikle üç grupta toplanmıştır. Bunlar ; atmosferdeki gaz bileşenler (1. grup), litosferdeki katılar (2.Grup) , deniz ve okyanuslardaki iyonik ve iyonik olmayan maddeler (3. grup)'tur. Literatürlerdeki çalışmalarda referans maddeler kullanılarak çeşitli maddeler ve bileşik için standart kimyasal ekserjiler hesaplanmış ve tablolar halinde çıkarılmıştır,(Çengel ve Boles 1994, Szargut 1988).

2.5.4 Nemli Havanın ve Suyun Ekserjileri

İklimlendirme işlemlerinde termodinamik hal değişimlerinden geçen akışkanlar nemli hava olarak adlandırılan hava-su buharı karışımı ve sudur. Nemli hava, kuru hava ve su buharından oluşan bir mükemmel gaz karışımı olarak ele alınır. Nemli havanın bir karışım olması ve hal değişimi sırasında karışım içindeki su ve kuru hava miktarlarının değişebilmesi, nemli havanın ve suyun ekserjilerini hesaplariken fiziksel ve kimyasal ekserjilerin göz önüne alınması gerekir. Fiziksel ekserji, bulunan halin çevre halinden fiziksel olarak farklı olmasından kaynaklanır. Başka bir deyişle, sistemin, karışımı oluşturan karışanların miktarı değişmeden çevre haline gelmesi durumunda yapabileceği en fazla yararlı iş veya ekserjidir. Kimyasal ekserji ise karışanların mol oranlarının çevre olarak kabul edilen karışımdaki oranlara eşitlenmesi sürecinde yapılabilecek en fazla yararlı iş veya ekserjiyi gösterir. Bu nedenle hesaplamalarda nemli hava ve suyun kimyasal ekserjileri hesaplanmayacaktır.

Nemli havanın ekserjisi aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir ; (Derbentli 2000).

$$e_f = T_0 \left[(C_{pa} + wC_{pv}) \left(\frac{T}{T_0} - 1 - \ln \frac{T}{T_0} \right) \right] + R_a T_0 \left[(1 + \tilde{\omega}) \ln \left(\frac{1 + \tilde{\omega}^0}{1 + \tilde{\omega}} \right) + \tilde{\omega} \ln \frac{\tilde{\omega}}{\tilde{\omega}^0} \right] +$$

$$+R_a T_0 \left[(1 + \tilde{\omega}) \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \right] \quad (2.44)$$

bu bağıntıda e_f , birim kuru hava kütlesi için nemli havanın akış ekserjisi olup, fiziksel ve kimyasal ekserjileri içermektedir. Ayrıca bağıl nem ω ,

$$\tilde{\omega} = \omega/0.622 \quad (2.45)$$

olarak tanımlanmıştır.

2.5.5 Ekserji Kaybı ve Yıkımı

Sistemin herhangi bir elemanı için birim zamanda kaybedilen ekserji miktarı E_k :

$$\dot{3}_k = \dot{3}_i - \dot{3}_e \quad (2.46)$$

olur ve,

$$\dot{3}_q - \dot{3}_{w,e} + \sum_i \dot{3}_{\text{mass},i} - \sum_e \dot{3}_{\text{mass},e} = \dot{3}_k \quad (2.47)$$

veya,

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \sum_i m_i e_i - \sum_e m_e e_e = \dot{3}_k \quad (2.48)$$

Bu eşitliklerden kaybedilen ısı akısı E_k , incelenen elemandan başka sisteme(örneğin soğutma suyuna) transfer edilen ekserji akısı E_L ile eleman içinde tersinmezlikler nedeniyle tüketilen ve başka hiçbir yerde kullanılmayan ekserji akısı E_D 'nin toplamıdır.

$$\dot{3}_k = \dot{3}_D + \dot{3}_L \quad (2.49)$$

2.5.6 Ekserji Maliyeti

Çevresiyle ısı, iş veya madde alışverişinde bulunan sistemlerde yok edilen ekserji verim kaybına yol açar. Kaybolan birim ekserji akısının fiyatı, yani ekserji akısının maliyeti C, birim ekserji maliyeti c ile ekserji akısının (e) çarpımıdır:

$$C = cE = cme \quad (2.50)$$

Herhangi bir komponent için maliyet denge denklemi,

$$\sum C_e + C_w = C_q + \sum_i C_i + Z_i \quad (2.51)$$

şeklinde yazılabilir. Burada Z bir komponentin yatırım, işletme, bakım bedellerini kapsayan, bir değere getirilmiş (levelized) parasal gideridir. Bu değer (Z) yıllık çalışma süresi sistem ömrü, faiz, eskelasyon gibi ekonomik parametrelerin fonksiyonudur.

Birim ekserji akısının maliyeti c, bu akımı oluşturmak için harcanan paradır. Bir üniteden elde edilmek istenen o ünitenin ürünü ve bu ürünü elde etmek için harcananlarda yakıt olarak tanımlanır. Bir ünitenin yakıtı başka bir üniteden gelen akımsa, bunun parasal değeri her iki ünite içinde de aynıdır. Bir üniteye iki veya daha fazla sayı akım varsa bunların fiyatları akımların ekserjileri farklı olsa eşit olur. Bir dış akımın taşıdığı ekserjinin tutarı bu çıktığı üniteye mal edilir. Parasal giderler iki grup altında toplanabilir. Biri ekserji harici, yatırım, işletme, bakım, onarım gibi masraflar, diğeri yok edilen ekserjinin parasal değeridir. Üniteyi değerlendirirken bunlardan hangisinin ekserji akımı maliyetinin daha ağırlıklı olduğunu bilmek, o ünitenin iyileştirilebilmesi için nereye odaklanılması gerektiğini gösterir. Bu değerlendirme ölçütü termoekonomik (ekserjiekonomik) faktör aşağıdaki gibi tanımlanır :

$$f = \frac{Z}{Z + c_F E_K} \quad (2.52)$$

f'nin nispeten büyük değeri, ele alınan ünitenin parasal giderlerinin ağırlıklı olarak yatırım, işletme masraflarından kaynaklandığını gösterir. Ünitenin veriminin yükseltilmeye çalışılması, örneğin ısı geçişinde sıcaklık farkını azaltmak maksadıyla yüzeyini büyütme ya da verimi yüksek olan daha pahalı donanım kullanmak pek de gerçekçi olmayacaktır. Küçük f değerleri ise bunun tersini gösterir. Buna göre, yatırım ve işletme masraflarını arttırmak pahasına da olsa yüksek verimli donanımlar kullanılmalıdır.

3. TERMOEKONOMİK (EKSERJİEKONOMİK) ANALİZ

Termoekonomi, ekserji analizi ile ekonominin prensiplerini birleştirerek maliyet etkili bir sistemin tasarımı veya işletilmesi için gerekli altyapıyı sağlayan mühendislik dalıdır.

Termoekonomide, ekserji analizi yapılarak maliyetin minimize edilmesi amaçlanır. Termoekonominin termodinamik yaklaşımları, ekserji konseptine dayanmaktadır. Termoekonomi terimi yerine ekserji analizi ile ekonominin birleşimi olduğu için ekserjiekonomi terimi de kullanılmaktadır.

Termoekonomik analiz yardımıyla, sistemlerin daha verimli ve ucuz tasarlanmaları, bu analizlerden çıkacak sonuçlara göre sistemlerin verimliliği için yapılması gereken temel değişikliklerin tespit edilmesi, sistemlerin maliyetlerinin ve sistemden elde edilecek ürünlerin fiyatlarının daha sağlıklı belirlenebilmesi mümkün olmaktadır.

Termoekonomik analiz çok kapsamlı ve geniş bir konu olup, bu çalışma içerisinde bir uygulama örneği ile irdelenecektir.

3.1 Termoekonomik Analiz Yapılacak Sistemin Tanımı

Binanın bodrum katına yerleştirilecek doğalgazlı,çelik gövdeli, 90/70 °C'de çalışan sıcak sulu kazanla merkezi sistem olarak, birde her dairede bir kombi olmak üzere bireysel sistem olarak ısıtılacağı düşünülmüştür.

Bina bir bodrum, bir zemin ve 4 normal kattan oluşmaktadır. Bodrumda 0, zemin ve normal katlarda ise 4'er daire bulunmaktadır.

Bina, II. Isı bölgesine giren İstanbul'dadır. Dış hava sıcaklığı -3 °C olup rüzgarlı bölgededir. Yapı bileşenleri ve bu bileşenlerin ısı iletim katsayıları,ısı kaybı hesapları ve radyatör seçimleri:

I)Merkezi sistem, dış cepheler ve daireler arası yalıtılmış ;

- Isıtılan Yer Sıcaklıkları

Banyo : 24 °C

Salon : 22 °C

Yatak odası : 20 °C

Mutfak: 18 °C

Hol : 18 °C

Antre : 18 °C

WC : 18 °C

- Isıtılmayan Yer Sıcaklıkları

Kazan Dairesi : 6 °C

Isıtılmamış mahaller : 12 °C

Merdiven-Asansör Boşluğu: 10 °C

Radyatörlerin toplam ısıl verimi : 166 080 kcal/h ,(Acarkan B., İstanbul, 2005).

II)Bireysel sistem, dış cepheler ve daireler arası yalıtılmış ;

- Isıtılan Yer Sıcaklıkları

Banyo : 24 °C

Salon : 22 °C

Yatak odası : 20 °C

Mutfak: 18 °C

Hol : 18 °C

Antre : 18 °C

WC : 18 °C

- Isıtılmayan Yer Sıcaklıkları

Isıtılmamış mahaller : 12 °C

Merdiven-Asansör Boşluğu: 10 °C

Radyatörlerin toplam ısıl verimi : 142 293 kcal/h

3.2 Isıtma Sisteminin Termoekonomik Modellemesi

- Isıtma sistemindeki ısıtma suyu, yakıt, baca gazı ve ısıtma havası akımları sürekli akışlı açık sistemlerdir.
- Tesisattaki akışkanların basınç düşümleri ihmal edilmiştir.
- Tesisat boruları, kazan ve kombiler ısı geçişine karşı yalıtımlıdır.
- Yakıt kazana çevre şartlarında girmektedir.
- Ekserji hesapları için standart çevre şartı 25 °C ve 1 bar olarak sabittir.

- Baca gazı sıcaklığı kazanda 500 K, kombide 423 K olarak sabittir.
- Kazan ve kombiler ısıl değeri sabit olan doğalgaz ile çalışır.
- Kazan ve kombi verimi sabittir.
- Kazan ve kombi içi çevre basıncındadır.
- Baca içerisi çevre basıncındadır.
- Tüm sistem akışkanları da çevre basıncındadır.
- Hesaplarda dış ortam sıcaklığı bütün ısıtma sezonu için Kasım-Nisan ayları arasında tek bir ortalama değeri olarak kullanılacaktır. ($T_{ort} = 8,2 \text{ } ^\circ\text{C}$), (DMİ, 2004).

3.3 Mahallerin Isı Kaybı Analizi

Her bir mahalin sıcaklık ve ısı kaybı değerleri “Bireysel ve Merkezi Isıtma Sistemlerinde Verimlilik ve Ekonomiklik Analizi, Acarkan B., İstanbul, 2005” den alınmıştır. Yalnız bireysel sistemde ısıtma sistemi (80-60 $^\circ\text{C}$) olarak çalışacağından, (90-70 $^\circ\text{C}$) olarak çalışan merkezi sisteme göre radyatör verimleri düşeceğinden radyatör boyutları büyüyecektir. Her odanın ısı kayıp ve radyatör seçim tablosu (Ek-I ve Ek-II)’de verilmiştir.

3.3.1 Radyatör Verimlerinin Hesaplanması

Radyatör Kapasitesi 90 - 70 derece'de 1 mtül radyatör için ;

18 $^\circ\text{C}$ ' de; 2 382 kcal/h

20 $^\circ\text{C}$ ' de; 2 287 kcal/h

22 $^\circ\text{C}$ ' de; 2 178 kcal/h

24 $^\circ\text{C}$ ' de; 2 079 kcal/h

olarak E.C.A. dokümanlarından alınmıştır.

Radyatör Kapasitesi 80 - 60 $^\circ\text{C}$ 'de 1 mtül radyatör için aşağıdaki şekilde hesaplanır ;

18 $^\circ\text{C}$ 'de ; $\Delta t_0 = (90+70)/2 - 18$

$\Delta t_0 = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\Delta t = (80+60)/2 - 18$

$\Delta t = 52 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$q = q_0 (52/62)^\alpha = q_0 \times \lambda$$

q = Radyatörlerin 80-60 °C sistemdeki ısı gücü

q_0 = Radyatörlerin 90-70 °C sistemdeki ısı gücü

α = Üs katsayısı (1.2 ile 1.3 arasında değişir, ancak deney yoluyla bulunabilir.)

Panel radyatörler için 1.3 alınabilir.

λ = Düzeltme faktörü

$$\lambda = (52/62)^{1.3} = 0.796$$

$q = 2\,382 \times 0.796 = 1\,896$ kcal /h olarak bulunur.

$$20\text{ °C'de ; } \Delta t_0 = (90+70)/2 - 20$$

$$\Delta t_0 = 60\text{ °C}$$

$$\Delta t = (80+60)/2 - 20$$

$$\Delta t = 50\text{ °C}$$

$$q = q_0 (50/60)^\alpha = q_0 \times \lambda$$

q = Radyatörlerin 80-60 °C sistemdeki ısı gücü

q_0 = Radyatörlerin 90-70 °C sistemdeki ısı gücü

α = Üs katsayısı (1.2 ile 1.3 arasında değişir, ancak deney yoluyla bulunabilir.)

Panel radyatörler için 1.3 alınabilir.

λ = Düzeltme faktörü

$$\lambda = (50/60)^{1.3} = 0.789$$

$q = 2\,287 \times 0.789 = 1\,804$ kcal /h olarak bulunur.

$$22\text{ °C'de ; } \Delta t_0 = (90+70)/2 - 22$$

$$\Delta t_0 = 58\text{ °C}$$

$$\Delta t = (80+60)/2 - 22$$

$$\Delta t = 48\text{ °C}$$

$$q = q_0 (48/58)^\alpha = q_0 \times \lambda$$

q = Radyatörlerin 80-60 °C sistemdeki ısı gücü

q_0 = Radyatörlerin 90-70 °C sistemdeki ısı gücü

α = Üs katsayısı (1.2 ile 1.3 arasında değişir, ancak deney yoluyla bulunabilir.)

Panel radyatörler için 1.3 alınabilir.

$\lambda =$ Düzeltme faktörü

$$\lambda = (48/58)^{1.3} = 0.782$$

$q = 2\,178 \times 0.782 = 1\,703$ kcal /h olarak bulunur.

$$24\text{ °C'de ; } \Delta t_0 = (90+70)/2 - 24$$

$$\Delta t_0 = 56\text{ °C}$$

$$\Delta t = (80+60)/2 - 24$$

$$\Delta t = 46\text{ °C}$$

$$q = q_0 (46/56)^\alpha = q_0 \times \lambda$$

$q =$ Radyatörlerin 80-60 °C sistemdeki ısı gücü

$q_0 =$ Radyatörlerin 90-70 °C sistemdeki ısı gücü

$\alpha =$ Üs katsayısı (1.2 ile 1.3 arasında değişir, ancak deney yoluyla bulunabilir.)

Panel radyatörler için 1.3 alınabilir.

$\lambda =$ Düzeltme faktörü

$$\lambda = (46/56)^{1.3} = 0.774$$

$q = 2\,079 \times 0.774 = 1\,609$ kcal /h olarak bulunur.

3.4 Isıtma Sistemi Enerji Hesapları

3.4.1 Merkezi Sistem Isıtma Hesapları

Gerekli ısı ihtiyacı hesapları yapıldığında, İstanbul'da bulunan bu binanın ortalama 8,2 °C dış hava sıcaklığı için ısıtma gücü ihtiyacı ;

$$Q_r = 168\,260 \text{ kcal/h}$$

$$Q_g = 168\,260 \times 1.1 = 185\,083 \text{ kcal/h} = 215.21 \text{ kW olduğu hesaplanmıştır.}$$

Bu ihtiyaca uygun olarak E.C.A-EMAS EKS-200 tip çelik kazan kullanılmıştır. Kazanın kapasitesi 232 kW'tır.

Bu ısı ihtiyacını giderebilmek için kazan girişinde 70 °C olan suya bu ısı iletilmelidir. Birinci kanun açık sistem enerji dengesini kurarsak transfer olan enerji eşitliği;

$$Q = \dot{m}_\phi h_\phi - \dot{m}_g h_g \quad (3.1)$$

şeklinde olur, (Isısan Çalışmaları No: 153, 1997).

Burada süreklilik denklemi,

$$\dot{m}_\phi = \dot{m}_g = \dot{m} \quad (3.2)$$

olarak yazılır.

Buradan ,

$$Q = \dot{m} (h_\phi - h_g) \quad (3.3)$$

$$232 \text{ kW} = \dot{m} (376.92 - 292.98) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = 9 \text{ 950 kg/h}$$

olarak bulunur.

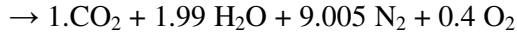
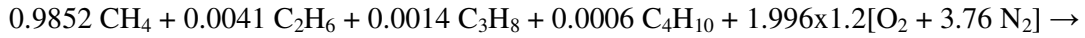
Kazanda ısıtma sezonu boyunca doğalgaz yakıtının çevre havasıyla yakıldığı yanma reaksiyonu gerçekleşir. Kazandan bundan sonra yakıcı olarak bahsedilecektir.

Yakıcıda kullanılan yakıtın kompozisyonu aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

Çizelge 3.1 Kazanda yakılan doğal gazın bileşimi ve bileşimi oluşturan gazların oranları

Gazlar	Kimyasal Formülü	Bir mol yakıttaki mol oranları
Metan	CH ₄	0.9852
Etan	C ₂ H ₆	0.0041
Propan	C ₃ H ₈	0.0014
Bütan	C ₄ H ₁₀	0.0006
Diğer yakıt bileşenleri ihmal edilmiştir.		

Kimyasal reaksiyon denklemini eşitlendikten sonra doğalgaz yakıtı için yanma denklemini aşağıdaki gibi olur:



yakıt ve havanın mol kütleleri aşağıdaki gibidir.

$$\bar{M}_{DG} = \frac{0.9852 \times 16 + 0.0041 \times 30 + 0.0014 \times 44 + 0.0006 \times 58}{0.9913}$$

$$\bar{M}_{DG} = 16.122 \text{ kg/kmol olarak elde edilir.}$$

Yakma havasının mol kütlesi aynı yolla,

$$\bar{M}_{Hava} = \frac{1.996 \times 1.2 (16 \times 2 + 3.76 \times 28)}{11.4}$$

$$\bar{M}_{Hava} = 28.84 \text{ kg/kmol olarak bulunur.}$$

Hava – Yakıt karışımının mol kütlesi aşağıdaki gibidir :

$$\overline{M}_{DG+Hava} = \frac{0.9852 \times 16 + 0.0041 \times 30 + 0.0014 \times 44 + 0.0006 \times 58 + 2.395 \times (32 + 3.76 \times 28)}{12.39}$$

$$\overline{M}_{DG+Hava} = 27.82 \text{ kg/kmol}$$

baca gazının mol kütlesi ise ;

$$\overline{M}_{BG} = \frac{1 \times 44 + 1.99 \times 18 + 9.005 \times 28 + 0.4 \times 32}{12.39}$$

$$\overline{M}_{BG} = 27.82 \text{ kg/kmol} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Denkleme göre 28.84 kmol yakıt, 16.122 kmol havayla yakılmaktadır ve bunun sonucunda 27.82 kg/kmol atık gaz meydana gelmektedir. Yanma işlemine 27.82 kg/kmol hava-yakıt karışımı girmektedir.

Yakıcı sisteminin enerji dengesi aşağıdaki şekilde gerçekleşir :

Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri yok sayılırsa, kimyasal reaksiyon sırasında bir sistemin enerji değişimi, hal değişimi ve kimyasal bileşimindeki değişimle ilişkili olacaktır.

$$\Delta E_{\text{sistem}} = \Delta E_{PH} + \Delta E_{CH} \quad (3.4)$$

olur.

Yanma ürünleri yanma odasından yanma işlemine girenlerin halinde çıkmamaktadır. Kazan sisteminde kazanı 500 °K sıcaklığında terk eden yanma ürünlerinin hal değişiminden olan bir enerji ve ayrıca yakıtın yanmasıyla açığa çıkan enerjiden söz edilebilir.

Havanın, yakıtın ve yanma ürünlerinin mükemmel gaz oldukları kabul edilirse, $h=h(T)$ olur ve tablolardan değerler elde edilerek aşağıdaki tablo hazırlanır.

Çizelge 3.2 Kazandaki yanma reaksiyonuna giren ve çıkan maddelerin entalpileri

Madde	h_f^0 (kJ/kmol)	h_{298K} (kJ/kmol)	h_{500K} (kJ/kmol)
CH ₄ (g)	-74 850	-	-
C ₂ H ₆ (g)	-84 680	-	-
C ₃ H ₈ (g)	-103 850	-	-
C ₄ H ₁₀ (g)	-126 150	-	-
O ₂	0	8 682	14 770
N ₂	0	8 669	14 581
H ₂ O (g)	-241 845	9 904	16 851
CO ₂	-393 520	9 364	17 665

Yukarıdaki tabloda. kazandaki yanma reaksiyonuna giren yakıt ile yanma ürünü olan baca gazı bileşenlerinin entropi hesaplarında kullanılan özellikleri görülmektedir.

Burada yanma işlemi sırasında çevreye olan ısı geçişi bulunmalıdır. Sürekli akışlı açık sistem için ısı geçişi;

$$Q-W = \sum n_c (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_c - \sum n_g (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_g \quad (\text{kJ/kmol}) \quad (3.5)$$

Burada n_c ve n_g sırasıyla yanma işleminden çıkan ve girenlerin mol sayılarıdır.

$W = 0$ olduğu göz önüne alınırsa ve tablodan değerler yerine konulursa ;

$$Q = (1\text{kmol CO}_2)[(-393\ 520+17\ 655-9\ 364)\text{ kJ/kmol CO}_2]$$

$$+(1.99\text{ kmol H}_2\text{O})[(-241\ 820 +16\ 851-9\ 904)\text{ kJ/kmol H}_2\text{O}]$$

$$+(0.4\text{ kmol O}_2)[(0+14\ 770-8\ 682)\text{ kJ/kmol O}_2]$$

$$+(9.005\text{ kmol N}_2)[(0+14\ 581-8\ 669)\text{ kJ/kmol N}_2]$$

$$-(0.9852\text{ kmol CH}_4)[(-74\ 850+\bar{h}_{298} - \bar{h}_{298})\text{kJ/kmol CH}_4]$$

$$-(0.0041\text{ kmol C}_2\text{H}_6)[(-84\ 680+\bar{h}_{298} - \bar{h}_{298})\text{kJ/kmol C}_2\text{H}_6]$$

$$- (0.0014 \text{ kmol C}_3\text{H}_8)[(-103\,850 + \overline{h}_{298} - \overline{h}_{298}) \text{ kJ/kmol C}_3\text{H}_8]$$

$$- (0.0006 \text{ kmol C}_4\text{H}_{10})[(-126\,150 + \overline{h}_{298} - \overline{h}_{298}) \text{ kJ/kmol C}_4\text{H}_{10}]$$

$$Q = -722\,500 \text{ kJ/kmol yakıt}$$

bulunur. Böylece 0.9913 kmol (15.98 kg) doğal gaz için yanma odasından çevreye 722 500 kJ ısı geçişi olmaktadır. Doğalgazın birim kütlesi için bu değer

$$\frac{722500}{15.98} = 45\,210 \text{ kJ/kg DG} = 12.558 \text{ kW/kg DG olur.}$$

Buna göre kazana 232 kW ısı üretmesi için gerekli olan doğalgaz debisi ise aşağıdaki birinci kanunun enerji eşitliğinden bulunur: (Odyakmaz 2005).

$$\dot{m}_{\text{DG}} = \frac{200000 \times 3600 / 860}{45210} = 18.518 \text{ kg/h}$$

DG kısaltması doğalgazı simgelemektedir. buradan bulunan kazanda yakılması gereken doğalgaz debisi.

$$\dot{m}_{\text{DG}} = \dot{m}_1 = 18.518 \text{ kg/h'tir.}$$

Doğal gazı yakmak için gerekli hava miktarını bulmak için yanma işlemi hava yakıt oranı (HY) bulunur, (Odyakmaz 2005).

$$\text{HY} = \frac{\dot{m}_{\text{hava}}}{\dot{m}_{\text{yakıt}}} \quad (3.6)$$

$$\text{HY} = \frac{328.81 \text{ kg hava}}{15.98 \text{ kg yakıt}} = 20.576 \text{ kg hava/kg yakıt}$$

Denklem 3.6'dan havanın kütleli debisi.

$$\dot{m}_{hava} = \dot{m}_T = HY \cdot \dot{m}_{DG} = 20.576 \text{ kg hava/kg DG} \times 18.518 \text{ kg/h DG} = 381.026 \text{ kg/h hava}$$

bulunur.

Kazana giren toplam kütle debisi, baca gazı kütle debisine eşittir:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 + \dot{m}_{1'} = 381.026 \text{ kg/h} + 18.518 \text{ kg/h} = 399.544 \text{ kg/h} \quad (3.7)$$

Bulunan değer, hava yakıt karışımının ve baca gazlarının toplam kütledebisidir.

Çizelge 3.3 Isıtma sisteminin ekserji referans noktalarında bulunan maddelerin çeşitli termodinamik özellikleri

Nokta	Madde	T (K)	\dot{m} (kg/h)	h (kJ/kg)	P (bar)
1'	Hava	298	381.026	-	1
1	Yakıt	298	18.518	-	1
2	Baca Gazları	500	399.544	-	1
3	Su	343	9 950	292.98	1
4	Su	363	9 950	376.92	1

Yukarıdaki tabloda, ısıtma sisteminin ekserji referans noktalarında bulunan maddelerin çeşitli termodinamik özellikleri görülmektedir.

3.4.2 Merkezi Isıtma Sisteminin Ekserji Dengesi

Yakılan yakıtların ekserjisinin hesaplanması ısıtma sisteminin ekserji hesaplarının ilk adımını oluşturur.

Yakıtın ve havanın girişindeki fiziksel ekserjiler ihmal edilmiştir. Yani 1 noktasında sadece yakıtın kimyasal ekserjisi vardır.

Yakıtın ekserjisi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$3_f^{CH} = \left[\bar{g}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{g}_{O_2} - a g_{CO_2} - \frac{b}{2} g_{H_2O(l)} \right] + \left[a \bar{e}_{CO_2}^{CH} + \frac{b}{2} \bar{e}_{H_2O}^{CH}(l) - \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{e}_{O_2}^{CH} \right] \quad (3.8)$$

(Bejan A., Tsatsaronis G. And Moran. M.J., 1996).

Toplam Gibbs fonksiyonları şu şekilde hesaplanır:

$$\bar{g}_F = \sum_i v_{r,i} g_{r,i} \quad (3.9)$$

$$\bar{g}_{DG} = 0.9852x(-50.81) + 0.0041x(-32.91) + 0.0014x(-23.52) + 0.0006x(-17.04)$$

$$\bar{g}_{DG} = -50.23 \text{ kJ/mol}$$

buradan uygun değerler ekserji tablolarından ve hesaplardan alınıp denklem 3.8'e konulursa,

$$3_{DG}^{CH} = [-50.23 - (-394.39) - 1.99x(-228.59)] + 2 \cdot 078 \approx 802 \text{ kJ/mol olarak yakıtın ekserjisi elde}$$

edilir.

Yakıtın birim kütle için ekserjisi ise ;

$$3_{DG}^{CH} = e_1 = \frac{802000 \text{ kJ} / \text{kmol}}{16.122 \text{ kg} / \text{kmol}} = 49 \text{ 755 kJ/kg olarak bulunur.}$$

Ekserji eşitliğini kurabilmek için dışarı atılan duman gazlarının ekserjisi de hesaplanmalıdır.

Yanma ürününün kimyasal ekserjisi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$3^{CH} = -\bar{R}T_0 \sum y_k \ln \frac{y_k^e}{y_k} \quad (3.10)$$

Bulunan değer karışımın birim molünün kimyasal ekserjisidir.

$$y_{CO_2} = \frac{1}{11.395} = 0.0877$$

$$y_{H_2O} = \frac{1.99}{11.395} = 0.1746$$

$$y_{N_2} = \frac{9.005}{11.395} = 0.7902$$

$$y_{O_2} = \frac{0.4}{11.395} = 0.0351$$

$${}_3 p^{CH} = -8.314 \times 298.15 \times \left[0.0877 \ln \frac{0.0003}{0.0877} + 0.1746 \ln \frac{0.019}{0.1746} + 0.7902 \ln \frac{0.7748}{0.7902} + 0.0351 \ln \frac{0.2059}{0.035} \right]$$

$${}_3 p^{CH} = 2078.73 \text{ kJ / kmol} = 2.0787 \text{ kJ / mol}$$

olarak ürünün kimyasal ekserjisi bulunur. Burada p alt indisi ürün anlamına gelmektedir. Bu değer (3.8) numaralı denklemde, kimyasal ekserji hesaplarının anlatıldığı şekilde denklemin ürünlerin ekserjisinin olduğu sağ tarafına alternatif olarak yazılır. Bu değer yukarıda yakıtın ekserjisinin olduğu eşitlikte görülmektedir.

Burada ayrıca y ile gösterilenler, yanma ürünü içerisindeki bir gazın mol sayısının yanma ürünlerinin toplam mol sayısına oranıdır.

Baca gazının kimyasal ekserjisi ürünün kimyasal ekserjisine dolayısıyla şemadaki 2 noktasının kimyasal ekserjisine eşittir.

$${}_3 2^{CH} = 2.0787 \text{ kJ / mol} \text{ baca gazının kimyasal ekserjisidir.}$$

Baca gazının fiziksel ekserjisi yani ${}_3 2^{PH}$ aşağıdaki gibi bulunur,

Baca gazı sıcaklığı $T_{BG} = 500 \text{ K}$ 'dır.

Baca gazı basıncı $P_{BG} = 1 \text{ bar}$ 'dır.

Baca gazının sabit basınçtaki özgül ısısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{P_{BG}} = \sum y_k c_{P_k} (T_{BG}, P_{BG})$$

$$C_{P_{BG}} = 0.0877 \times 44.569 + 0.1746 \times 35.337 + 0.7902 \times 29.636 + 0.0351 \times 31.114$$

$$C_{P_{BG}} = 34.59 \text{ kJ / kmol.K}$$

$$\frac{C_{V_{BG}}}{C_{P_{BG}}} = k = 1.373 \text{ olduğu kabul edildi.} \quad (3.11)$$

Buradan sabit hacimdeki özgül ısı,

$$C_{V_{BG}} = \frac{34.59 \text{ kJ / kmol.K}}{1.373} \cong 25.19 \text{ kJ / kmol.K}$$

Baca gazı için fiziksel ekserji eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$3^{PH} \times \frac{1}{C_p T_0} = \left[\frac{T}{T_0} - 1 - \ln \frac{T}{T_0} \right] + \ln \left(\frac{P}{P_0} \right)^{(k-1)/k} \quad (3.12)$$

Bu denkleme değerleri yerleştirirsek,

$$3^{PH} = (34.59 \text{ kJ / kmol.K}) \times 298.15 \text{ K} \left[\frac{500 \text{ K}}{298 \text{ K}} - 1 - \ln \frac{500 \text{ K}}{298 \text{ K}} \right] + 0$$

$$3^{PH} = 1650.04 \text{ kJ / kmol}$$

olarak baca gazının fiziksel ekserjisi hesaplanmış olur.

Buradan baca gazının sahip olduğu toplam ekserji 3_2 hesaplanabilir. Bunun için aşağıdaki ekserji eşitliğinden yararlanılır.

$$3_{BG} = 3_{BG}^{PH} + 3_{BG}^{CH} = 3_2 \quad (3.13)$$

Denkleme değerleri yerleştirirsek baca gazı toplam ekserjisi aşağıdaki gibi bulunur,

$$3_2 = 1650.04 \text{ kJ / kmol} + 2078.73 \text{ kJ / kmol} \cong 3729 \text{ kJ / kmol}$$

Baca gazının birim kütle için ekserjisi eşitlik yardımıyla bulunabilir:

$$3_2 = \frac{3729 \text{ kJ} / \text{kmol}}{27.82 \text{ kg} / \text{kmol}}$$

$3_2 = 0.038 \text{ kW/kg}$ baca gazının birim ekserjisidir.

ve 4 noktalarının ekserjileri saf maddeler için olan ekserji eşitliğinden bulunabilir. İki noktanın ekserjileri aynı yolla, denklem (2.39) ile aşağıdaki şekilde hesaplanır. Gerekli olan entropi ve entalpi değerleri ise ilgili termodinamik tablolarından okunur. 3 noktasının ekserji eşitliği denklem (2.39)' dan,

$$3_3 = (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0) \quad (\text{kJ/kg})$$

yazılır. Değerleri denklemde yerlerine koyarsak:

$$3_3 = (293.06 - 104.81) \text{ kJ} / \text{kg} - 298.15 \text{ K} (0.9551 - 0.3672) \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$3_3 = 13.06 \text{ kJ} / \text{kg}$ 3 noktasının birim ekserjisidir.

4 noktasının ekserjisi aynı yöntemle aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$3_4 = (h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0) \quad (\text{kJ/kg}) \text{ olur.}$$

Değerleri denklemde yerlerine koyarsak:

$$3_4 = (377.03 - 104.81) \text{ kJ} / \text{kg} - 298.15 \text{ K} (1.1928 - 0.3672) \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$3_4 = 26.1912 \text{ kJ} / \text{kg}$ 4 noktasının birim ekserjisidir.

Çizelge 3.4 Isıtma sisteminin referans noktalarında bulunan maddelerin ekserji değerleri

Nokta	Madde	\dot{m} (kg/h)	z (kJ/kg)	\dot{z} (kJ/h)
1'	Hava	380.96	0	0
1	Yakıt	18.52	49 755	921 463
2	Baca Gazları	371.09	135	50 097
3	Su (70 °C)	9 950	13.06	129 947
4	Su (90 °C)	9 950	26.19	260 591

3.4.3 Bireysel Sistem Isıtma Hesapları

Yukarıda hesaplanan merkezi sistemle ısıtılan binanın bireysel sistemle ısıtıldığı düşünülürse her bir daireye 24 kW gücündeki kombinin yeterli olacağı görülmüştür. Bu ihtiyaca uygun olarak E.C.A-Calora hermetik tip kombi kullanılmıştır. Kombinin kapasitesi 24 kW'tır. Binada 20 daire olduğundan toplam kapasite;

$$Q = 24 \times 20 = 480 \text{ kW olur.}$$

Bu ısı ihtiyacını giderebilmek için kombi girişinde 60 °C olan suya bu ısı iletilmelidir. Birinci kanun açık sistem enerji dengesini kurarsak transfer olan enerji eşitliği; (Isısan Çalışmaları No:153, 1997).

$$Q = \dot{m}_ç h_ç - \dot{m}_g h_g$$

şeklinde olur.

Burada kütle eşitliği.

$$\dot{m}_ç = \dot{m}_g = \dot{m}$$

olarak yazılır.

Buradan .

$$Q = \dot{m} (h_ç - h_g)$$

$$480 \text{ kW} = \dot{m} (334.9 - 251.1) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_k = 20\,621 \text{ kg/h}$$

olarak bulunur.

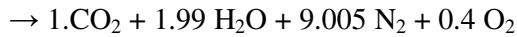
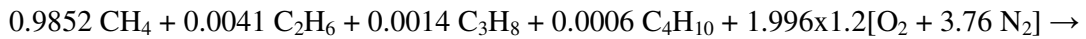
Kombide ısıtma sezonu boyunca doğalgaz yakıtının çevre havasıyla yakıldığı yanma reaksiyonu gerçekleşir. Kombiden bundan sonra yakıcı olarak bahsedilecektir.

Yakıcıda kullanılan yakıtın kompozisyonu aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

Çizelge 3.5 Kombide yakılan doğalgazın bileşimi ve bileşimi oluşturan gazların oranları

Gazlar	Kimyasal Formülü	Bir mol yakıttaki mol oranları
Metan	CH ₄	0.9852
Etan	C ₂ H ₆	0.0041
Propan	C ₃ H ₈	0.0014
Bütan	C ₄ H ₁₀	0.0006
Diğer yakıt bileşenleri ihmal edilmiştir.		

Kimyasal reaksiyon denklemleri eşitlendikten sonra doğalgaz yakıtı için yanma denklemi aşağıdaki gibi olur:



yakıt ve havanın mol ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

$$\bar{M}_{DG} = \frac{0.9852 \times 16 + 0.0041 \times 30 + 0.0014 \times 44 + 0.0006 \times 58}{0.9913}$$

$\bar{M}_{DG} = 16.122 \text{ kg/kmol}$ olarak elde edilir.

Yakma havasının mol ağırlığı aynı yolla,

$$\bar{M}_{Hava} = \frac{1.996 \times 1.2(16 \times 2 + 3.76 \times 2 \times 14)}{11.4}$$

$\bar{M}_{Hava} = 28.84 \text{ kg/kmol}$ olarak bulunur.

Hava – Yakıt karışımının mol ağırlığı aşağıdaki gibidir :

$$\bar{M}_{DG+Hava} = \frac{0.9852 \times 16 + 0.0041 \times 30 + 0.0014 \times 44 + 0.0006 \times 58 + 2.395 \times (32 + 3.76 \times 28)}{12.39}$$

$$\bar{M}_{DG+Hava} = 27.82 \text{ kg/kmol}$$

baça gazının mol ağırlığı ise ;

$$\bar{M}_{BG} = \frac{1 \times 44 + 1.99 \times 18 + 9.005 \times 28 + 0.4 \times 32}{12.39}$$

$$\bar{M}_{BG} = 27.82 \text{ kg/kmol} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Denkleme göre 28.84 kmol yakıt, 16.122 kmol havayla yakılmaktadır ve bunun sonucunda 27.82 kg/kmol atık gaz meydana gelmektedir. Yanma işlemine 27.82 kg/kmol hava-yakıt karışımı girmektedir.

Yakıcı sisteminin enerji dengesi aşağıdaki şekilde gerçekleşir :

Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri yok sayılırsa, kimyasal reaksiyon sırasında bir sistemin enerji değişimi, hal değişimi ve kimyasal bileşimindeki değişimle ilişkili olacaktır.

$$\Delta E_{\text{sistem}} = \Delta E_{\text{PH}} + \Delta E_{\text{CH}}$$

olur.

Yanma ürünleri yanma odasından yanma işlemine girenlerin halinde çıkmamaktadır. Bireysel sistemde kombiyi 423 °K sıcaklığında terk eden yanma ürünlerinin hal değişiminden olan bir enerji ve ayrıca yakıtın yanmasıyla açığa çıkan enerjiden söz edilebilir.

Havanın, yakıtın ve yanma ürünlerinin mükemmel gaz oldukları kabul edilirse, $h=h(T)$ olur ve tablolardan değerler elde edilerek aşağıdaki tablo hazırlanır.

Çizelge 3.6 Kombideki yanma reaksiyonuna giren ve çıkan maddelerin entalpileri

Madde	h_f^0 (kJ/kmol)	h_{298K} (kJ/kmol)	h_{423K} (kJ/kmol)
CH ₄ (g)	-74 850	-	-
C ₂ H ₆ (g)	-84 680	-	-
C ₃ H ₈ (g)	-103 850	-	-
C ₄ H ₁₀ (g)	-126 150	-	-
O ₂	0	8 682	12 450
N ₂	0	8 669	12 328
H ₂ O (g)	-241 845	9 904	14 203
CO ₂	-393 520	9 364	14 501

Yukarıdaki tabloda, kombideki yanma reaksiyonuna giren yakıt ile yanma ürünü olan baca gazı bileşenlerinin entropi hesaplarında kullanılan özellikleri görülmektedir.

Burada yanma işlemi sırasında çevreye olan ısı geçişi bulunmalıdır. Sürekli akışlı açık sistem için ısı geçişi;

$$Q-W = \sum n_c (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_c - \sum n_g (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_g \quad (\text{kJ/kmol})$$

Burada n_c ve n_g sırasıyla yanma işleminden çıkan ve girenlerin mol sayılarıdır.

$W = 0$ olduğu göz önüne alınırsa , ve tablodan değerler yerine konulursa ;

$$Q = (1\text{kmol CO}_2)[(-393\,520+14\,501-9\,364)\text{ kJ/kmol CO}_2]$$

$$+(1.99\text{ kmol H}_2\text{O})[(-241\,820 +14\,203-9\,904)\text{ kJ/kmol H}_2\text{O}]$$

$$+(0.4 \text{ kmol O}_2)[(0+12 450-8 682) \text{ kJ/kmol O}_2]$$

$$+(9.005 \text{ kmol N}_2) [(0+12 328-8 669) \text{ kJ/kmol N}_2]$$

$$- (0.9852 \text{ kmol CH}_4)[(-74 850+\overline{h}_{298} - \overline{h}_{298})\text{kJ/kmol CH}_4]$$

$$- (0.0041 \text{ kmol C}_2\text{H}_6)[(-84 680+\overline{h}_{298} - \overline{h}_{298})\text{kJ/kmol C}_2\text{H}_6]$$

$$- (0.0014 \text{ kmol C}_3\text{H}_8)[(-103 850+\overline{h}_{298} - \overline{h}_{298})\text{kJ/kmol C}_3\text{H}_8]$$

$$- (0.0006 \text{ kmol C}_4\text{H}_{10})[(-126 150+\overline{h}_{298} - \overline{h}_{298}) \text{ kJ/kmol C}_4\text{H}_{10}]$$

$$Q = -752 284 \text{ kJ/kmol yakıt}$$

bulunur. Böylece 0.9913 kmol (15.98 kg) doğal gaz için yanma odasından çevreye 752 284 kJ ısı geçişi olmaktadır. Doğalgazın birim kütlesi için bu değer

$$\frac{752284}{15.98} = 47 077 \text{ kJ/kg DG} = 13.077 \text{ kw/kg DG olur.}$$

Buna göre kombilere 480 kW ısı üretmesi için gerekli olan doğalgaz debisi ise aşağıdaki birinci kanunun enerji eşitliğinden bulunur: (Odyakmaz 2005).

$$\dot{m}_{\text{DG}} = \frac{480 \times 3600}{47077} = 36.706 \text{ kg/h}$$

DG kısaltması doğalgazı simgelemektedir. Buradan bulunan kombilerde yakılması gereken doğalgaz debisi,

$$\dot{m}_{\text{DG}} = \dot{m}_1 = 36.706 \text{ kg/h' tir.}$$

Doğal gazı yakmak için gerekli hava miktarını bulmak için yanma işlemi hava yakıt oranı (HY) bulunur, (Odyakmaz 2005).

$$HY = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{yakıt}}$$

$$HY = \frac{328,81 \text{ kg hava}}{15,98 \text{ kg yakıt}} = 20.576 \text{ kg hava/kg yakıt}$$

Denklem 3.6'dan havanın kütleli debisi,

$$\dot{m}_{hava} = \dot{m}_1 = HY \cdot \dot{m}_{DG} = 20.576 \text{ kg hava/kg DG} \times 36.706 \text{ kg/h DG} = 755.263 \text{ kg/h hava}$$

bulunur.

Kombilere giren toplam kütle debisi, baca gazı kütle debisine eşittir:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 + \dot{m}_{g1} = 755.263 \text{ kg/h} + 36.706 \text{ kg/h} = 791.969 \text{ kg/h}$$

Bulunan değer, hava yakıt karışımının ve baca gazlarının toplam kütleli debisidir.

Çizelge 3.7 Isıtma sisteminin ekserji referans noktalarında bulunan maddelerin çeşitli termodinamik özellikleri

Nokta	Madde	T (K)	\dot{m} (kg/h)	h (kJ/kg)	P (bar)
1'	Hava	298	755.263	-	1
1	Yakıt	298	36.706	-	1
2	Baca Gazları	423	791.969	-	1
3	Su	333	20 621	251.1	1
4	Su	353	20 621	334.9	1

Yukarıdaki tabloda. ısıtma sisteminin ekserji referans noktalarında bulunan maddelerin çeşitli termodinamik özellikleri görülmektedir.

3.4.4 Bireysel Isıtma Sisteminin Ekserji Dengesi

Yakılan yakıtların ekserjisinin hesaplanması ısıtma sisteminin ekserji hesaplarının ilk adımını oluşturur.

Yakıtın ve havanın girişindeki fiziksel ekserjiler ihmal edilmiştir. Yani 1 noktasında sadece yakıtın kimyasal ekserjisi vardır.

Yakıtın ekserjisi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$3_{f}^{CH} = \left[\bar{g}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{g}_{O_2} - a \bar{g}_{CO_2} - \frac{b}{2} \bar{g}_{H_2O(l)} \right] + \left[a \bar{e}_{CO_2}^{CH} + \frac{b}{2} \bar{e}_{H_2O}^{CH}(l) - \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{e}_{O_2}^{CH} \right]$$

Toplam Gibbs fonksiyonları şu şekilde hesaplanır:

$$\bar{g}_F = \sum_i v_{r,i} \bar{g}_{r,i}$$

$$\bar{g}_{DG} = 0.9852x(-50.81) + 0.0041x(-32.91) + 0.0014x(-23.52) + 0.0006x(-17.04)$$

$$\bar{g}_{DG} = -50.23 \text{ kJ/mol}$$

buradan uygun değerler ekserji tablolarından ve hesaplardan alınıp denklem 3.8'e konulursa.

$$3_{DG}^{CH} = [-50.23 - (-394.39) - 1.99x(-228.59)] + 2078 \approx 802 \text{ kJ/mol olarak yakıtın ekserjisi elde}$$

edilir.

Yakıtın birim kütle için ekserjisi ise ;

$$3_{DG}^{CH} = e_1 = \frac{802000 \text{ kJ} / \text{kmol}}{16.122 \text{ kg} / \text{kmol}} = 49755 \text{ kJ/kg olarak bulunur.}$$

Ekserji eşitliğini kurabilmek için dışarı atılan duman gazlarının ekserjisi de hesaplanmalıdır.

Yanma ürününün kimyasal ekserjisi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$3^{CH} = -\bar{RT}_0 \sum y_k \ln \frac{y_k^e}{y_k}$$

Bulunan değer karışımın birim molünün kimyasal ekserjisidir.

$$y_{CO_2} = \frac{1}{11.395} = 0.0877$$

$$y_{H_2O} = \frac{1.99}{11.395} = 0.1746$$

$$y_{N_2} = \frac{9.005}{11.395} = 0.7902$$

$$y_{O_2} = \frac{0.4}{11.395} = 0.0351$$

$$3_p^{CH} = -8.314 \times 298.15 \times \left[0.0877 \ln \frac{0.0003}{0.0877} + 0.1746 \ln \frac{0.019}{0.1746} + 0.7902 \ln \frac{0.7748}{0.7902} + 0.0351 \ln \frac{0.2059}{0.035} \right]$$

$$3_p^{CH} = 2078.73 \text{ kJ / kmol} = 2.0787 \text{ kJ / mol}$$

olarak ürünün kimyasal ekserjisi bulunur. Burada p alt indisi ürün anlamına gelmektedir. Bu değer (3.8) numaralı denklemde, kimyasal ekserji hesaplarının anlatıldığı şekilde denklemin ürünlerin ekserjisinin olduğu sağ tarafına alternatif olarak yazılır. Bu değer yukarıda yakıtın ekserjisinin olduğu eşitlikte görülmektedir.

Burada ayrıca y ile gösterilenler, yanma ürünü içerisindeki bir gazın mol sayısının yanma ürünlerinin toplam mol sayısına oranıdır.

Baca gazının kimyasal ekserjisi ürünün kimyasal ekserjisine dolayısıyla şemadaki 2 noktasının kimyasal ekserjisine eşittir.

$$3_p^{CH} = 2.0787 \text{ kJ / mol} \text{ baca gazının kimyasal ekserjisidir.}$$

Baca gazının fiziksel ekserjisi yani 3_2^{PH} aşağıdaki gibi bulunur.

Baca gazı sıcaklığı $T_{BG} = 423K$ 'dır.

Baca gazı basıncı $P_{BG} = 1bar$ 'dır.

Baca gazının sabit basınçtaki özgül ısısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{P_{BG}} = \sum x_k c_{P_k}(T_{BG}, P_{BG})$$

$$C_{P_{BG}} = 0.0877 \times 40.46 + 0.1746 \times 33.64 + 0.7902 \times 29.46 + 0.0351 \times 28.81$$

$$C_{P_{BG}} = 33.71 kJ / kmol.K$$

$$\frac{C_{P_{BG}}}{C_{V_{BG}}} = k = 1.373 \text{ olduğu kabul edildi.}$$

Buradan sabit hacimdeki özgül ısı.

$$C_{V_{BG}} = \frac{33.71 kJ / kmol.K}{1.373} \cong 24.55 kJ / kmol.K$$

Baca gazı için fiziksel ekserji eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$3_2^{PH} \times \frac{1}{C_P T_0} = \left[\frac{T}{T_0} - 1 - \ln \frac{T}{T_0} \right] + \ln \left(\frac{P}{P_0} \right)^{(k-1)/k}$$

Bu denkleme değerleri yerleştirirsek.

$$3_2^{PH} = (33.71 kJ / kmol.K) \times 298.15 K \times \left[\frac{423K}{298K} - 1 - \ln \frac{423K}{298K} \right] + 0$$

$$3_2^{PH} = 695.4 kJ/kmol$$

olarak baca gazının fiziksel ekserjisi hesaplanmış olur.

Buradan baca gazının sahip olduğu toplam ekserji z_2 hesaplanabilir. Bunun için aşağıdaki ekserji eşitliğinden yararlanılır.

$$z_{BG} = z_{BG}^{PH} + z_{BG}^{CH} = z_2$$

Denkleme değerleri yerleştirirsek baca gazı toplam ekserjisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$z_2 = 695.4 \text{ kJ / kmol} + 2078.73 \text{ kJ / kmol} \cong 2774.13 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazının birim kütle için ekserjisi eşitlik yardımıyla bulunabilir:

$$z_2 = \frac{2774.13 \text{ kJ / kmol}}{27.82 \text{ kg / kmol}}$$

$$z_2 = 99.72 \text{ kJ/kg} = 0.028 \text{ kW/kg} \text{ baca gazının birim ekserjisidir.}$$

Ve 4 noktalarının ekserjileri saf maddeler için olan ekserji eşitliğinden bulunabilir. İki noktanın ekserjileri aynı yolla, denklem (2.39) ile aşağıdaki şekilde hesaplanır. Gerekli olan entropi ve entalpi değerleri ise ilgili termodinamik tablolarından okunur. 3 noktasının ekserji eşitliği denklem (2.39)' dan.

$$z_3 = (h_3 - h_0) - T_0 (s_3 - s_0) \text{ (kJ/kg)}$$

yazılır. Değerleri denklemde yerlerine koyarsak:

$$z_3 = (251.1 - 104.81) \text{ kJ / kg} - 298.15 \text{ K} (0.831 - 0.3672) \text{ kJ / (kg.K)}$$

$$z_3 = 8.01 \text{ kJ/kg} \text{ 3 noktasının birim ekserjisidir.}$$

4 noktasının ekserjisi aynı yöntemle aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$z_4 = (h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0) \quad (\text{kJ/kg}) \text{ olur.}$$

Değerleri denklemden yerlerine koyarsak:

$$z_4 = (334.9 - 104.81) \text{ kJ/kg} - 298.15 \text{ K}(1.075 - 0.3672) \text{ kJ/(kg.K)}$$

$z_4 = 19.06 \text{ kJ/kg}$ 4 noktasının birim ekserjisidir.

Çizelge 3.8 Isıtma sisteminin referans noktalarında bulunan maddelerin ekserji değerleri

Nokta	Madde	\dot{m} (kg/h)	z (kJ/kg)	Z (kJ/h)
1'	Hava	755 263	0	0
1	Yakıt	36 706	49 755	1 826 307.03
2	Baca Gazları	791 969	99.72	78 975.149
3	Su (60 °C)	20 621	8.01	165 174.21
4	Su (80 °C)	20 621	19.06	393 036.26

3.5 Isıtma Sistemlerinin Ekserji Maliyeti ve Termoekonomik Tahlili

Sistemlerin yatırım ve işletme maliyetleri ;

Çizelge 3.9 Merkezi ve bireysel ısıtma sistemlerinin ekserji maliyetleri

Maliyetler	İncelenen ısıtma sistemleri	
	Merkezi	Bireysel
Yatırım maliyeti (YTL)	80 250	118 570
Yıllık doğal gaz masrafı (YTL)	26 029.7	25 464.304
Yıllık personel masrafı (YTL)	13 300	3 000
Sistemin saatlik masrafı (YTL/h)	13.172	10.722
Bir değere getirilmiş saatlik masraf Z (YTL/h)	16.887	13.746

- Sistem yılda 3392 saat çalışmaktadır.
- Doğal gazın alış fiyatı 0.523804 YTL/m³, tür.
- Tesis bileşenlerinin ömrü 15 yıl olarak kabul edilmiştir.
- Faiz oranı $r_i = \%3$. eskalasyon oranı $r_n = \%4$. geri ödeme oranı $i_{eff} = \%6$ kabul edilirse parasal giderler için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir : (Bejan A., Tsatsaronis G. And Moran. M.J., 1996).

Bir değere getirilmiş fiyat düzeltme faktörü (κ) :

$$\kappa = \frac{1 + r_n}{1 + i_{eff}} \quad (3.14)$$

Anapara geri kazanım faktörü (CRF) :

$$CRF = \frac{i_{eff} (1 + i_{eff})^n}{(1 + i_{eff})^n - 1} \quad (3.15)$$

Eskalasyon düzeltme faktörü (CELF) :

$$CELF = \frac{\kappa(1 - \kappa^n)}{1 - \kappa} CRF \quad (3.16)$$

Bir değere getirilme faktörü (A) :

$$A = \frac{CELF}{1 + r_i} \quad (3.17)$$

olarak tanımlanır.

Yukarıdaki eşitliklerden;

$$\kappa = 0.98$$

$$CRF = 0.103$$

$$CELF = 1.32$$

$$A = 1.282$$

olarak bulunur.

Merkezi sistemin yatırım, bakım ve işletme maliyeti ;

Yatırım maliyeti 80 250 YTL, 13 300 YTL/yıl bakım ve onarım masrafı ve 26 029.7 YTL/yıl yakıt masrafı olan merkezi sistem için bir değere getirilmiş parasal değeri (Z) ;

$$Z_{mer} = \left[\frac{80250}{15 \times 3392} + \frac{26029.7 + 13300}{3392} \right] \times 1.282 = 16.887 \text{ YTL/h olur.}$$

Bireysel sistemin yatırım, bakım ve işletme maliyeti ;

Yatırım maliyeti 118 570 YTL. 3 000 YTL/yıl bakım ve onarım masrafı. 25 464.304 YTL/yıl yakıt masrafı olan merkezi sistem için bir değere getirilmiş parasal değeri (Z) ;

$$Z_{bir} = \left[\frac{118570}{15 \times 3392} + \frac{25464.304 + 3000}{3392} \right] \times 1.282 = 13.746 \text{ YTL/h olur.}$$

Merkezi sistemde suya aktarılan ekserjinin birim maliyeti ($\mathcal{E}_{su,m}$) ;

Suya aktarılan ekserjinin maliyetini bulmak için aşağıdaki eşitlikten faydalanılır.

$$m_{su} \times \Delta 3_{su} \times \mathcal{E}_{su,m} = [(m_{DG} \times 3_{DG}) - (m_{BG} \times 3_{BG})] \times \mathcal{E}_{DG} + Z_{mer} \quad (3.18)$$

$$Q_k = m_{su} \times (h_c - h_g)$$

$$232 \text{ kW} = m_{su} \times (376.92 - 292.98) \text{ kJ/kg}$$

$$232 \times 3600 = m_{su} \times 83.94$$

$$m_{su} = 9950 \text{ kg/h bulunur.}$$

$$m_{DG} = \left[\frac{232 \times 3600}{45210} \right] = 18.518 \text{ kg/h}$$

$$3_{DG} = 45 \text{ 210 kJ/kg} = 12.558 \text{ kW/kg olarak daha önce hesaplanmıştı.}$$

$$M_{BG} = 399.544 \text{ kg/h olarak daha önce hesaplanmıştı.}$$

$$3_{BG} = 135 \text{ kJ/kg} = 0.038 \text{ kW/kg olarak daha önce hesaplanmıştı.}$$

$$\mathcal{E}_{DG} = \left[\frac{0.524}{9.593} \right] = 0.055 \text{ YTL/kW} \times 1.282 = 0.07 \text{ YTL/kW olarak bulunur.}$$

$$Z_{mer} = \left[\frac{80250}{15 \times 3392} + \frac{13300}{3392} \right] \times 1.282 = 5.498 \text{ YTL/h olarak bulunur.}$$

Denklem 3.18 ile $\mathcal{E}_{su,m}$ hesabı yapılırsa ,

$$9 \text{ 950 kg/h} \times 0.023 \text{ kW/kg} \times \mathcal{E}_{su,m} = [(18.518 \text{ kg/h} \times 12.558 \text{ kW/kg}) - (399.544 \text{ kg/h} \times 0.038 \text{ kW/kg})] \times 0.07 \text{ YTL/kW} + 7.048 \text{ YTL/h}$$

$$\mathcal{E}_{su,m} = 0.097 \text{ YTL/kW bulunur.}$$

Bireysel sistemde suya aktarılan ekserjinin birim maliyeti ($\mathcal{E}_{su,b}$) ;

Suya aktarılan ekserjinin maliyetini bulmak için aşağıdaki eşitlikten faydalanılır.

$$\dot{m}_{su} \times \Delta 3_{su} \times \mathcal{E}_{su,b} = [(\dot{m}_{DG} \times 3_{DG}) - (\dot{m}_{BG} \times 3_{BG})] \times \mathcal{E}_{DG} + Z_{bir} \quad (3.19)$$

$$Q_k = \dot{m}_{su} \times (h_c - h_g)$$

$$24 \times 20 \text{ kW} = \dot{m}_{su} \times (334.9 - 251.1) \text{ kJ/kg}$$

$$480 \times 3600 = \dot{m}_{su} \times 83.8$$

$$\dot{m}_{su} = 20 \text{ 621 kg/h} \quad \text{bulunur.}$$

$$\dot{m}_{DG} = \left[\frac{480 \times 3600}{47077} \right] = 36.706 \text{ kg/h}$$

$$3_{DG} = 47 \text{ 077 kJ/kg} = 13.077 \text{ kW/kg} \text{ olarak daha önce hesaplanmıştır.}$$

$$M_{BG} = 791.969 \text{ kg/h} \text{ olarak daha önce hesaplanmıştır.}$$

$$3_{BG} = 99.72 \text{ kJ/kg} = 0.028 \text{ kW/kg} \text{ olarak daha önce hesaplanmıştır.}$$

$$\mathcal{E}_{DG} = \left[\frac{0.524}{9.593} \right] = 0.055 \text{ YTL/kW} \times 1.282 = 0.07 \text{ YTL/kW} \text{ olarak bulunur.}$$

$$Z_{bir} = \left[\frac{118570}{15 \times 3392} + \frac{3000}{3392} \right] \times 1.282 = 4.12 \text{ YTL/h} \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem 3.19 ile $\mathcal{E}_{su,b}$ hesabı yapılırsa .

$$20 \text{ 621 kg/h} \times 0.023 \text{ kW/kg} \times \mathcal{E}_{su,b} = [(36.706 \text{ kg/h} \times 13.077 \text{ kW/kg}) - (791.969 \text{ kg/h} \times 0.028 \text{ kW/kg})] \times 0.07 \text{ YTL/kW} + 4.12 \text{ YTL/h}$$

$$\mathcal{E}_{su,b} = 0.076 \text{ YTL/kW} \text{ bulunur.}$$

Merkezi sistemde her bir odanın ısıtılmasında nemli havanın ekserji maliyeti ($\mathcal{E}_{oda,m}$) ;

Sistemde nemli havaya aktardığımız ekserjinin maliyetini bulabilmek için her odanın ayrı ayrı aşağıdaki formül yardımıyla tahlilini yaparız.

$$3_{oda} \times \mathcal{E}_{oda,m} = (3_{rad} \times \mathcal{E}_{su}) - (3_{kay} \times \mathcal{E}_{DG}) + Z_{oda} \quad (3.20)$$

Örnek olarak bunu Z 02 isimli mahalimize uygularsak;

$$0.035 \text{ kW/h} \times \&_{\text{oda}} = (3.555 \text{ kW/h} \times 0.096 \text{ YTL/kW}) - (3.52 \text{ kW/h} \times 0.07 \text{ YTL/kW}) + \left[\frac{7.048 \times 1.4}{75} \right] = 6.486 \text{ YTL/kW bulunur.}$$

Bunu her odaya uyguladıktan sonra, bulunan değerlerin aritmetik ortalamasını alırsak sistemimiz için bu maliyeti ;

$$\&_{\text{oda,m}} = 6.723 \text{ YTL/kW olarak buluruz.}$$

Sistemimizde bulunan diğer tüm odaların hesaplanmış değerleri Ek-4'te sunulmuştur.

Bireysel sistemde her bir odanın ısıtılmasında nemli havanın ekserji maliyeti ($\&_{\text{oda,b}}$) ;

Örnek olarak yukarıdaki formülü Z 02 isimli mahalimize uygularsak;

$$0.035 \text{ kW/h} \times \&_{\text{oda}} = (3.555 \text{ kW/h} \times 0.076 \text{ YTL/kW}) - (3.52 \text{ kW/h} \times 0.07 \text{ YTL/kW}) + \left[\frac{4.12 \times 1.6}{81.9} \right] = 2.921 \text{ YTL/kW bulunur.}$$

Bunu her odaya uyguladıktan sonra, bulunan değerlerin aritmetik ortalamasını alırsak sistemimiz için bu maliyeti ;

$$\&_{\text{oda,b}} = 2.772 \text{ YTL/kW olarak buluruz.}$$

Sistemimizde bulunan diğer tüm odaların hesaplanmış değerleri Ek-5'te sunulmuştur.

Kazanın çalışmasını gerçekleştirmek için gerekli olan birim ekserji maliyeti $\&_1$ ile baca gazı birim ekserji maliyeti eşittir.

$$\&_{\text{mer}} = \frac{49675 \times 0.524 \times 1 \times 282}{18.518 \times 12.558 \times 3392} \frac{\text{YTL} / \text{h}}{\text{kW} / \text{h}} = 0.042 \text{ YTL/kW}$$

$$\&_{1,bir} = \frac{48596 \times 0.524 \times 1 \times 282}{36.706 \times 13.077 \times 3392} \frac{YTL/h}{kW/h} = 0.020 \text{ YTL/kW}$$

Kazan için (merkezi sistem) kayıp ekserji maliyeti aşağıdaki gibi yazılır ;

$$C_{k,kazan} = \&_{1,mer} \times Z_{k,kazan} = 0.042 \times 191.886 = 8.059 \text{ YTL/h} \quad (3.21)$$

Kombi için (bireysel sistem) kayıp ekserji maliyeti aşağıdaki gibi yazılır ;

$$C_{k,kombi} = \&_{1,bir} \times Z_{k,kombi} = 0.020 \times 163.753 = 3.275 \text{ YTL/h} \quad (3.22)$$

Merkezi sistem için termoekonomik faktör denklem (2.52) ile;

$$f_{mer} = \frac{16.887}{(16.887 + 8.059)} \frac{YTL/h}{YTL/h} = 0.717$$

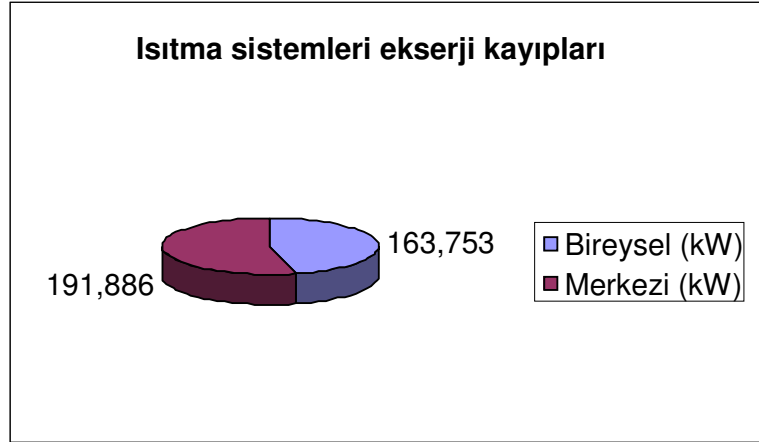
Bireysel sistem için termoekonomik faktör denklem (2.52) ile

$$f_{bir} = \frac{13.746}{(13.746 + 3.275)} \frac{YTL/h}{YTL/h} = 0.808$$

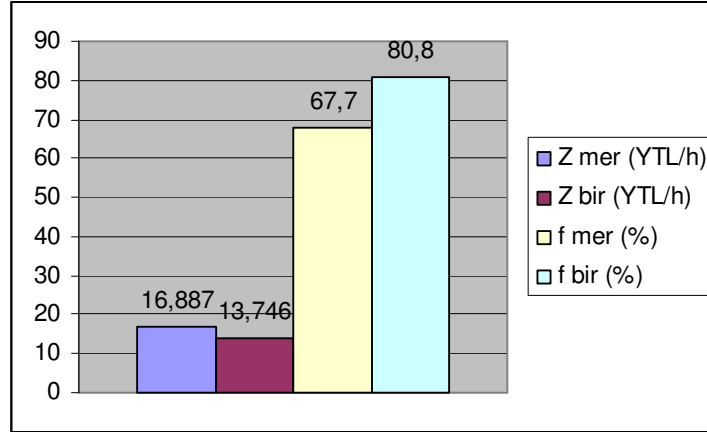
olarak bulunur.

Çizelge 3.10 Isıtma sistemlerinin termoekonomik tahlili

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı 3_k (kW)	Bir Değere	
		Getirilmiş Maliyet Z (YTL/h)	Termoekonomik Faktör f (%)
Merkezi	191.886	16.887	67.7
Bireysel	163.753	13.746	80.8



Şekil 3.1 Isıtma sistemlerinin toplam ekserji kayıpları



Şekil 3.2 Isıtma sistemlerinin termoekonomik karşılaştırılması

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde enerji tüketiminin üçte biri konutlarda ısıtma amaçlı kullanıldığı dikkate alındığında bunun için alınacak önlemler oldukça önem arz etmektedir. İncelemesini yaptığımız ısıtma sistemleri de bu örneklerden biridir. Yaptığımız çalışmaların sonuçlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- Aynı bina hem merkezi hem de bireysel ısıtma sistemleri açısından incelenmiş, oluşturulan ısı yükü tablolarıyla aradaki farklar ortaya konulmuştur.
- Bireysel sistemde dolaşabilecek su sıcaklığı merkezi sisteminkinden düşük olduğundan, radyatör ısı verimindeki düşmelerden dolayı bazı odalarda ısı kaybı değişmese de daha büyük radyatör kullanılmak zorunda kalmıştır.
- Baca gazı sıcaklıklarının ekserji kayıplarında ne kadar önemli olduğu sunulan iki ayrı hesaplama; 423 K ve 500 K' de ortaya konmuştur. Baca gazı sıcaklığının artışıyla kaybolan ekserjide meydana gelen artış dikkate değer bir husustur.
- Yaptığımız ekserji hesaplarında görüldü ki ekserji maliyetinin ana unsuru ilk yatırım ve işletme maliyetidir. Fakat verimli kullanım ve daha az kaybolan ekserji için hiçbir zaman bu yatırımlardan kaçmamamız gerekmektedir.
- Merkezi ve bireysel sistem kıyaslandığında, bireysel sistemin ilk yatırım maliyeti 20 adet kombi ve bunların tesisatları göz önüne alındığında merkezi sisteme göre daha pahalı olmaktadır. Buda termoekonomik faktörün büyüklüğünden de anlaşılmaktadır.
- Bir değere getirilmiş maliyetlere bakıldığında, bireysel sistemin bütün daireler ısıtıldığında ve tüm maliyet unsurları hesaba katıldığında merkezi sisteme göre daha avantajlı olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Kullanım açısından incelediğimizde eğer bireysel sistemde tüm daireler ısıtılıyorsa ısı yükü merkezi sistemle aynı çıkmıştır ve bu şartlarda bireysel sistem kullanımı sadece ısıtma göz önüne alındığında daha ucuz işletme giderlerine sahip olmaktadır.
- Oda bazında birim ekserji maliyetleri göz önüne alındığında bireysel sistem, merkezi sisteme göre oldukça avantajlı olmaktadır.
- Sistemlerin toplam ekserji kayıplarını karşılaştırdığımızda, bireysel sistemin daha düşük değerler ortaya koyduğunu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Acarkan, B.,(2005), “Bireysel ve Merkezi Isıtma Sistemlerinde Verimlilik ve Ekonomiklik Analizi”, Y.Lisans tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Ens. Makine Müh. A.B.D.
- Ayhan, T., Çamaklı, Ö., (1992), Termodinamik I. Atatürk Ü. Basımevi, 143, Erzurum.
- Bejan, A., (1987), “Advanced Thermodynamics” N. Carolina USA
- Bejan, A., Tsatsaronis, G. ve Moran, M.J., (1996), “Thermal Design and Optimization”, John Wiley&Sons, Inc. 542, New York USA.
- Cornelissen, R. L., (1997), Thermodynamic and Sustainable Development, Febodruk BV, 150, The Netherlands.
- Çengel, A. Y., Boles, M. (1996), “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Literatür Yayınları.
- Derbentli, T., (2000), “İklimlendirme Sistemlerinde Ekserji Çözümlemesi” 4. Ulusal Türk Isı Bilimi Tekniği Kongresi, Ankara.
- Dooldersum, A., (1998), Exergy Analysis Proves Viability of Process Modification. Energy Convers Magnet, 39, 19-18, 1781, 1789.
- Heperkan, H., (2001), “Isıtma Sistemlerinin Seçimi”, EMAS Teknik Yayınları.
- Incropera, P. F., De Witt, D. P., (2001) “Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayınları
- Isısan Çalışmaları No:153,(1997), “Kalorifer Tesisatı”
- Odyakmaz, O., (2005), ”İstanbul’daki bir Turizm Tesisinin İklimlendirme Tesisatının Termoeconomik Analizi”,Y. Lisans tezi, YTÜ Fen Bilimleri Ens. Makine Müh. A.B.D.
- Szargut, J., Morris, D.R. ve Stewart, F.R, (1988), Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgy Processes. Hemisphere, New York, 8.
- Wall, G., (1988), Exergetics, Mölndall, 24

EKLER

- | | |
|------|---|
| Ek 1 | Merkezi sistem radyatör seçim tablosu |
| Ek 2 | Bireysel sistem radyatör seçim tablosu |
| Ek 3 | Mahallerin havadan dolayı sahip oldukları ekserji tablosu |
| Ek 4 | Merkezi sistem ekserji birim maliyet tablosu |
| Ek 5 | Bireysel sistem ekserji birim maliyet tablosu |

Ek 1 Merkezi sistem radyatör seçim tablosu

MERKEZİ SİSTEM ZEMİN KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
Z 01	ANTRE	18		344	310					
Z 02	SALON	22		2923	2631	2178	1400	600	3049,2	PKKP
Z 03	YATAK ODASI	20		944	850	2287	500	600	1143,5	PKKP
Z 04	YATAK ODASI	20		822	740	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 05	BANYO	24		275	247	2079	400	600	831,6	PKKP
Z 06	BANYO	24		233	210	2079	400	600	831,6	PKKP
Z 07	YATAK ODASI	20		737	663	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 08	MUTFAK	18		508	457	2382	400	600	952,8	PKKP
Z 11	ANTRE	18		344	310					
Z 12	SALON	22		2923	2631	2178	1400	600	3049,2	PKKP
Z 13	YATAK ODASI	20		944	850	2287	500	600	1143,5	PKKP
Z 14	YATAK ODASI	20		822	740	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 15	BANYO	24		275	247	2079	400	600	831,6	PKKP
Z 16	BANYO	24		233	210	2079	400	600	831,6	PKKP
Z 17	YATAK ODASI	20		737	663	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 18	MUTFAK	18		508	457	2382	400	600	952,8	PKKP
Z 21	ANTRE	18		344	310					
Z 22	SALON	22		2796	2516	2178	1300	600	2831,4	PKKP
Z 23	YATAK ODASI	20		892	803	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 24	YATAK ODASI	20		822	740	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 25	BANYO	24		275	247	2079	400	600	831,6	PKKP
Z 26	BANYO	24		222	199	2079	400	600	831,6	PKKP
Z 27	YATAK ODASI	20		737	663	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 28	MUTFAK	18		485	437	2382	400	600	952,8	PKKP
Z 31	ANTRE	18		344	310					
Z 32	SALON	22		2796	2516	2178	1300	600	2831,4	PKKP
Z 33	YATAK ODASI	20		892	803	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 34	YATAK ODASI	20		822	740	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 35	BANYO	24		275	247	2079	400	600	831,6	PKKP
Z 36	BANYO	24		222	199	2079	400	600	831,6	PKKP
Z 37	YATAK ODASI	20		737	663	2287	400	600	914,8	PKKP
Z 38	MUTFAK	18		485	437	2382	400	600	952,8	PKKP

MERKEZİ SİSTEM BİRİNCİ NORMAL KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
101	ANTRE	18		251	226					
102	SALON	22		2705	2435	2178	1300	600	2831,4	PKKP
103	YATAK ODASI	20		867	781	2287	400	600	914,8	PKKP
104	YATAK ODASI	20		742	667	2287	400	600	914,8	PKKP
105	BANYO	24		247	222	2079	400	600	831,6	PKKP
106	BANYO	24		190	171	2079	400	600	831,6	PKKP
107	YATAK ODASI	20		643	579	2287	400	600	914,8	PKKP
108	MUTFAK	18		454	408	2382	400	600	952,8	PKKP
111	ANTRE	18		251	226					
112	SALON	22		2705	2435	2178	1300	600	2831,4	PKKP
113	YATAK ODASI	20		867	781	2287	400	600	914,8	PKKP
114	YATAK ODASI	20		742	667	2287	400	600	914,8	PKKP
115	BANYO	24		247	222	2079	400	600	831,6	PKKP
116	BANYO	24		190	171	2079	400	600	831,6	PKKP
117	YATAK ODASI	20		643	579	2287	400	600	914,8	PKKP
118	MUTFAK	18		454	408	2382	400	600	952,8	PKKP
121	ANTRE	18		251	226					
122	SALON	22		2598	2338	2178	1200	600	2613,6	PKKP
123	YATAK ODASI	20		822	740	2287	400	600	914,8	PKKP
124	YATAK ODASI	20		742	667	2287	400	600	914,8	PKKP
125	BANYO	24		247	222	2079	400	600	831,6	PKKP
126	BANYO	24		182	164	2079	400	600	831,6	PKKP
127	YATAK ODASI	20		643	579	2287	400	600	914,8	PKKP
128	MUTFAK	18		436	393	2382	400	600	952,8	PKKP
131	ANTRE	18		251	226					
132	SALON	22		2598	2338	2178	1200	600	2613,6	PKKP
133	YATAK ODASI	20		822	740	2287	400	600	914,8	PKKP
134	YATAK ODASI	20		742	667	2287	400	600	914,8	PKKP
135	BANYO	24		247	222	2079	400	600	831,6	PKKP
136	BANYO	24		182	164	2079	400	600	831,6	PKKP
137	YATAK ODASI	20		643	579	2287	400	600	914,8	PKKP
138	MUTFAK	18		436	393	2382	400	600	952,8	PKKP

MERKEZİ SİSTEM İKİNCİ NORMAL KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
201	ANTRE	18		251	226					
202	SALON	22		2705	2435	2178	1300	600	2831,4	PKKP
203	YATAK ODASI	20		867	781	2287	400	600	914,8	PKKP
204	YATAK ODASI	20		742	667	2287	400	600	914,8	PKKP
205	BANYO	24		247	222	2079	400	600	831,6	PKKP
206	BANYO	24		190	171	2079	400	600	831,6	PKKP
207	YATAK ODASI	20		643	579	2287	400	600	914,8	PKKP
208	MUTFAK	18		454	408	2382	400	600	952,8	PKKP
211	ANTRE	18		251	226					
212	SALON	22		2705	2435	2178	1300	600	2831,4	PKKP
213	YATAK ODASI	20		867	781	2287	400	600	914,8	PKKP
214	YATAK ODASI	20		742	667	2287	400	600	914,8	PKKP
215	BANYO	24		247	222	2079	400	600	831,6	PKKP
216	BANYO	24		190	171	2079	400	600	831,6	PKKP
217	YATAK ODASI	20		643	579	2287	400	600	914,8	PKKP
218	MUTFAK	18		454	408	2382	400	600	952,8	PKKP
221	ANTRE	18		251	226					
222	SALON	22		2598	2338	2178	1200	600	2613,6	PKKP
223	YATAK ODASI	20		822	740	2287	400	600	914,8	PKKP
224	YATAK ODASI	20		742	667	2287	400	600	914,8	PKKP
225	BANYO	24		247	222	2079	400	600	831,6	PKKP
226	BANYO	24		182	164	2079	400	600	831,6	PKKP
227	YATAK ODASI	20		643	579	2287	400	600	914,8	PKKP
228	MUTFAK	18		436	393	2382	400	600	952,8	PKKP
231	ANTRE	18		251	226					
232	SALON	22		2598	2338	2178	1200	600	2613,6	PKKP
233	YATAK ODASI	20		822	740	2287	400	600	914,8	PKKP
234	YATAK ODASI	20		742	667	2287	400	600	914,8	PKKP
235	BANYO	24		247	222	2079	400	600	831,6	PKKP
236	BANYO	24		182	164	2079	400	600	831,6	PKKP
237	YATAK ODASI	20		643	579	2287	400	600	914,8	PKKP
238	MUTFAK	18		436	393	2382	400	600	952,8	PKKP

MERKEZİ SİSTEM ÜÇÜNCÜ NORMAL KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
301	ANTRE	18		262	236					
302	SALON	22		2759	2484	2178	1300	600	2831,4	PKKP
303	YATAK ODASI	20		890	801	2287	400	600	914,8	PKKP
304	YATAK ODASI	20		759	683	2287	400	600	914,8	PKKP
305	BANYO	24		253	228	2079	400	600	831,6	PKKP
306	BANYO	24		194	174	2079	400	600	831,6	PKKP
307	YATAK ODASI	20		656	590	2287	400	600	914,8	PKKP
308	MUTFAK	18		463	416	2382	400	600	952,8	PKKP
311	ANTRE	18		262	236					
312	SALON	22		2759	2484	2178	1300	600	2831,4	PKKP
313	YATAK ODASI	20		890	801	2287	400	600	914,8	PKKP
314	YATAK ODASI	20		759	683	2287	400	600	914,8	PKKP
315	BANYO	24		253	228	2079	400	600	831,6	PKKP
316	BANYO	24		194	174	2079	400	600	831,6	PKKP
317	YATAK ODASI	20		656	590	2287	400	600	914,8	PKKP
318	MUTFAK	18		463	416	2382	400	600	952,8	PKKP
321	ANTRE	18		262	236					
322	SALON	22		2652	2386	2178	1300	600	2831,4	PKKP
323	YATAK ODASI	20		845	760	2287	400	600	914,8	PKKP
324	YATAK ODASI	20		759	683	2287	400	600	914,8	PKKP
325	BANYO	24		253	228	2079	400	600	831,6	PKKP
326	BANYO	24		186	168	2079	400	600	831,6	PKKP
327	YATAK ODASI	20		656	590	2287	400	600	914,8	PKKP
328	MUTFAK	18		445	400	2382	400	600	952,8	PKKP
331	ANTRE	18		262	236					
332	SALON	22		2652	2386	2178	1300	600	2831,4	PKKP
333	YATAK ODASI	20		845	760	2287	400	600	914,8	PKKP
334	YATAK ODASI	20		759	683	2287	400	600	914,8	PKKP
335	BANYO	24		253	228	2079	400	600	831,6	PKKP
336	BANYO	24		186	168	2079	400	600	831,6	PKKP
337	YATAK ODASI	20		656	590	2287	400	600	914,8	PKKP
338	MUTFAK	18		445	400	2382	400	600	952,8	PKKP

MERKEZİ SİSTEM DÖRDÜNCÜ NORMAL KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
401	ANTRE	18		422	379					
402	SALON	22		3118	2807	2178	1500	600	3267	PKKP
403	YATAK ODASI	20		1012	911	2287	500	600	1143,5	PKKP
404	YATAK ODASI	20		881	793	2287	400	600	914,8	PKKP
405	BANYO	24		298	268	2079	400	600	831,6	PKKP
406	BANYO	24		255	230	2079	400	600	831,6	PKKP
407	YATAK ODASI	20		808	727	2287	400	600	914,8	PKKP
408	MUTFAK	18		556	500	2382	400	600	952,8	PKKP
411	ANTRE	18		422	379					
412	SALON	22		3118	2807	2178	1500	600	3267	PKKP
413	YATAK ODASI	20		1012	911	2287	500	600	1143,5	PKKP
414	YATAK ODASI	20		881	793	2287	400	600	914,8	PKKP
415	BANYO	24		298	268	2079	400	600	831,6	PKKP
416	BANYO	24		255	230	2079	400	600	831,6	PKKP
417	YATAK ODASI	20		808	727	2287	400	600	914,8	PKKP
418	MUTFAK	18		556	500	2382	400	600	952,8	PKKP
421	ANTRE	18		422	379					
422	SALON	22		2985	2687	2178	1400	600	3049,2	PKKP
423	YATAK ODASI	20		958	863	2287	500	600	1143,5	PKKP
424	YATAK ODASI	20		881	793	2287	400	600	914,8	PKKP
425	BANYO	24		298	268	2079	400	600	831,6	PKKP
426	BANYO	24		243	219	2079	400	600	831,6	PKKP
427	YATAK ODASI	20		808	727	2287	400	600	914,8	PKKP
428	MUTFAK	18		531	478	2382	400	600	952,8	PKKP
431	ANTRE	18		422	379					
432	SALON	22		2985	2687	2178	1400	600	3049,2	PKKP
433	YATAK ODASI	20		958	863	2287	500	600	1143,5	PKKP
434	YATAK ODASI	20		881	793	2287	400	600	914,8	PKKP
435	BANYO	24		298	268	2079	400	600	831,6	PKKP
436	BANYO	24		243	219	2079	400	600	831,6	PKKP
437	YATAK ODASI	20		808	727	2287	400	600	914,8	PKKP
438	MUTFAK	18		531	478	2382	400	600	952,8	PKKP

Ek 2 Bireysel sistem radyatör seçim tablosu

BİREYSEL SİSTEM ZEMİN KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
Z 01	ANTRE	18		344	310					
Z 02	SALON	22		2923	2631	1703	1600	600	2724,8	PKKP
Z 03	YATAK ODASI	20		944	850	1804	500	600	902	PKKP
Z 04	YATAK ODASI	20		822	740	1804	500	600	902	PKKP
Z 05	BANYO	24		275	247	1609	400	600	643,6	PKKP
Z 06	BANYO	24		233	210	1609	400	600	643,6	PKKP
Z 07	YATAK ODASI	20		737	663	1804	400	600	721,6	PKKP
Z 08	MUTFAK	18		508	457	1896	400	600	758,4	PKKP
Z 11	ANTRE	18		344	310					
Z 12	SALON	22		2923	2631	1703	1600	600	2724,8	PKKP
Z 13	YATAK ODASI	20		944	850	1804	500	600	902	PKKP
Z 14	YATAK ODASI	20		822	740	1804	500	600	902	PKKP
Z 15	BANYO	24		275	247	1609	400	600	643,6	PKKP
Z 16	BANYO	24		233	210	1609	400	600	643,6	PKKP
Z 17	YATAK ODASI	20		737	663	1804	400	600	721,6	PKKP
Z 18	MUTFAK	18		508	457	1896	400	600	758,4	PKKP
Z 21	ANTRE	18		344	310					
Z 22	SALON	22		2796	2516	1703	1500	600	2554,5	PKKP
Z 23	YATAK ODASI	20		892	803	1804	500	600	902	PKKP
Z 24	YATAK ODASI	20		822	740	1804	500	600	902	PKKP
Z 25	BANYO	24		275	247	1609	400	600	643,6	PKKP
Z 26	BANYO	24		222	199	1609	400	600	643,6	PKKP
Z 27	YATAK ODASI	20		737	663	1804	400	600	721,6	PKKP
Z 28	MUTFAK	18		485	437	1896	400	600	758,4	PKKP
Z 31	ANTRE	18		344	310					
Z 32	SALON	22		2796	2516	1703	1500	600	2554,5	PKKP
Z 33	YATAK ODASI	20		892	803	1804	500	600	902	PKKP
Z 34	YATAK ODASI	20		822	740	1804	500	600	902	PKKP
Z 35	BANYO	24		275	247	1609	400	600	643,6	PKKP
Z 36	BANYO	24		222	199	1609	400	600	643,6	PKKP
Z 37	YATAK ODASI	20		737	663	1804	400	600	721,6	PKKP
Z 38	MUTFAK	18		485	437	1896	400	600	758,4	PKKP

BİREYSEL SİSTEM BİRİNCİ NORMAL KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
101	ANTRE	18		251	226					
102	SALON	22		2705	2435	1703	1500	600	2554,5	PKKP
103	YATAK ODASI	20		867	781	1804	500	600	902	PKKP
104	YATAK ODASI	20		742	667	1804	500	600	902	PKKP
105	BANYO	24		247	222	1609	400	600	643,6	PKKP
106	BANYO	24		190	171	1609	400	600	643,6	PKKP
107	YATAK ODASI	20		643	579	1804	400	600	721,6	PKKP
108	MUTFAK	18		454	408	1896	400	600	758,4	PKKP
111	ANTRE	18		251	226					
112	SALON	22		2705	2435	1703	1500	600	2554,5	PKKP
113	YATAK ODASI	20		867	781	1804	500	600	902	PKKP
114	YATAK ODASI	20		742	667	1804	400	600	721,6	PKKP
115	BANYO	24		247	222	1609	400	600	643,6	PKKP
116	BANYO	24		190	171	1609	400	600	643,6	PKKP
117	YATAK ODASI	20		643	579	1804	400	600	721,6	PKKP
118	MUTFAK	18		454	408	1896	400	600	758,4	PKKP
121	ANTRE	18		251	226					
122	SALON	22		2598	2338	1703	1400	600	2384,2	PKKP
123	YATAK ODASI	20		822	740	1804	500	600	902	PKKP
124	YATAK ODASI	20		742	667	1804	400	600	721,6	PKKP
125	BANYO	24		247	222	1609	400	600	643,6	PKKP
126	BANYO	24		182	164	1609	400	600	643,6	PKKP
127	YATAK ODASI	20		643	579	1804	400	600	721,6	PKKP
128	MUTFAK	18		436	393	1896	400	600	758,4	PKKP
131	ANTRE	18		251	226					
132	SALON	22		2598	2338	1703	1400	600	2384,2	PKKP
133	YATAK ODASI	20		822	740	1804	500	600	902	PKKP
134	YATAK ODASI	20		742	667	1804	400	600	721,6	PKKP
135	BANYO	24		247	222	1609	400	600	643,6	PKKP
136	BANYO	24		182	164	1609	400	600	643,6	PKKP
137	YATAK ODASI	20		643	579	1804	400	600	721,6	PKKP
138	MUTFAK	18		436	393	1896	400	600	758,4	PKKP

BİREYSEL SİSTEM İKİNCİ NORMAL KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
201	ANTRE	18		251	226					
202	SALON	22		2705	2435	1703	1500	600	2554,5	PKKP
203	YATAK ODASI	20		867	781	1804	500	600	902	PKKP
204	YATAK ODASI	20		742	667	1804	400	600	721,6	PKKP
205	BANYO	24		247	222	1609	400	600	643,6	PKKP
206	BANYO	24		190	171	1609	400	600	643,6	PKKP
207	YATAK ODASI	20		643	579	1804	400	600	721,6	PKKP
208	MUTFAK	18		454	408	1896	400	600	758,4	PKKP
211	ANTRE	18		251	226					
212	SALON	22		2705	2435	1703	1500	600	2554,5	PKKP
213	YATAK ODASI	20		867	781	1804	500	600	902	PKKP
214	YATAK ODASI	20		742	667	1804	400	600	721,6	PKKP
215	BANYO	24		247	222	1609	400	600	643,6	PKKP
216	BANYO	24		190	171	1609	400	600	643,6	PKKP
217	YATAK ODASI	20		643	579	1804	400	600	721,6	PKKP
218	MUTFAK	18		454	408	1896	400	600	758,4	PKKP
221	ANTRE	18		251	226					
222	SALON	22		2598	2338	1703	1400	600	2384,2	PKKP
223	YATAK ODASI	20		822	740	1804	500	600	902	PKKP
224	YATAK ODASI	20		742	667	1804	400	600	721,6	PKKP
225	BANYO	24		247	222	1609	400	600	643,6	PKKP
226	BANYO	24		182	164	1609	400	600	643,6	PKKP
227	YATAK ODASI	20		643	579	1804	400	600	721,6	PKKP
228	MUTFAK	18		436	393	1896	400	600	758,4	PKKP
231	ANTRE	18		251	226					
232	SALON	22		2598	2338	1703	1400	600	2384,2	PKKP
233	YATAK ODASI	20		822	740	1804	500	600	902	PKKP
234	YATAK ODASI	20		742	667	1804	400	600	721,6	PKKP
235	BANYO	24		247	222	1609	400	600	643,6	PKKP
236	BANYO	24		182	164	1609	400	600	643,6	PKKP
237	YATAK ODASI	20		643	579	1804	400	600	721,6	PKKP
238	MUTFAK	18		436	393	1896	400	600	758,4	PKKP

BİREYSEL SİSTEM ÜÇÜNCÜ NORMAL KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
301	ANTRE	18		262	236					
302	SALON	22		2759	2484	1703	1500	600	2554,5	PKKP
303	YATAK ODASI	20		890	801	1804	500	600	902	PKKP
304	YATAK ODASI	20		759	683	1804	400	600	721,6	PKKP
305	BANYO	24		253	228	1609	400	600	643,6	PKKP
306	BANYO	24		194	174	1609	400	600	643,6	PKKP
307	YATAK ODASI	20		656	590	1804	400	600	721,6	PKKP
308	MUTFAK	18		463	416	1896	400	600	758,4	PKKP
311	ANTRE	18		262	236					
312	SALON	22		2759	2484	1703	1500	600	2554,5	PKKP
313	YATAK ODASI	20		890	801	1804	500	600	902	PKKP
314	YATAK ODASI	20		759	683	1804	400	600	721,6	PKKP
315	BANYO	24		253	228	1609	400	600	643,6	PKKP
316	BANYO	24		194	174	1609	400	600	643,6	PKKP
317	YATAK ODASI	20		656	590	1804	400	600	721,6	PKKP
318	MUTFAK	18		463	416	1896	400	600	758,4	PKKP
321	ANTRE	18		262	236					
322	SALON	22		2652	2386	1703	1500	600	2554,5	PKKP
323	YATAK ODASI	20		845	760	1804	500	600	902	PKKP
324	YATAK ODASI	20		759	683	1804	400	600	721,6	PKKP
325	BANYO	24		253	228	1609	400	600	643,6	PKKP
326	BANYO	24		186	168	1609	400	600	643,6	PKKP
327	YATAK ODASI	20		656	590	1804	400	600	721,6	PKKP
328	MUTFAK	18		445	400	1896	400	600	758,4	PKKP
331	ANTRE	18		262	236					
332	SALON	22		2652	2386	1703	1500	600	2554,5	PKKP
333	YATAK ODASI	20		845	760	1804	500	600	902	PKKP
334	YATAK ODASI	20		759	683	1804	400	600	721,6	PKKP
335	BANYO	24		253	228	1609	400	600	643,6	PKKP
336	BANYO	24		186	168	1609	400	600	643,6	PKKP
337	YATAK ODASI	20		656	590	1804	400	600	721,6	PKKP
338	MUTFAK	18		445	400	1896	400	600	758,4	PKKP

BİREYSEL SİSTEM DÖRDÜNCÜ NORMAL KAT RADYATÖR HESAP CETVELİ										
ODANIN						RADYATÖRLERİN				
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	HESAP EDİLEN ISI KAYBI	BİRİM VERİMİ	UZUNLUK	YÜKSEKLİK	VERİMİ	CİNSİ
		°C	m ³	W	kcal/h	kcal/mtül	mm	mm	kcal	
401	ANTRE	18		422	379					
402	SALON	22		3118	2807	1703	1700	600	2895,1	PKKP
403	YATAK ODASI	20		1012	911	1804	600	600	1082,4	PKKP
404	YATAK ODASI	20		881	793	1804	500	600	902	PKKP
405	BANYO	24		298	268	1609	400	600	643,6	PKKP
406	BANYO	24		255	230	1609	400	600	643,6	PKKP
407	YATAK ODASI	20		808	727	1804	500	600	902	PKKP
408	MUTFAK	18		556	500	1896	400	600	758,4	PKKP
411	ANTRE	18		422	379					
412	SALON	22		3118	2807	1703	1700	600	2895,1	PKKP
413	YATAK ODASI	20		1012	911	1804	600	600	1082,4	PKKP
414	YATAK ODASI	20		881	793	1804	500	600	902	PKKP
415	BANYO	24		298	268	1609	400	600	643,6	PKKP
416	BANYO	24		255	230	1609	400	600	643,6	PKKP
417	YATAK ODASI	20		808	727	1804	500	600	902	PKKP
418	MUTFAK	18		556	500	1896	400	600	758,4	PKKP
421	ANTRE	18		422	379					
422	SALON	22		2985	2687	1703	1600	600	2724,8	PKKP
423	YATAK ODASI	20		958	863	1804	500	600	902	PKKP
424	YATAK ODASI	20		881	793	1804	500	600	902	PKKP
425	BANYO	24		298	268	1609	400	600	643,6	PKKP
426	BANYO	24		243	219	1609	400	600	643,6	PKKP
427	YATAK ODASI	20		808	727	1804	500	600	902	PKKP
428	MUTFAK	18		531	478	1896	400	600	758,4	PKKP
431	ANTRE	18		422	379					
432	SALON	22		2985	2687	1703	1600	600	2724,8	PKKP
433	YATAK ODASI	20		958	863	1804	500	600	902	PKKP
434	YATAK ODASI	20		881	793	1804	500	600	902	PKKP
435	BANYO	24		298	268	1609	400	600	643,6	PKKP
436	BANYO	24		243	219	1609	400	600	643,6	PKKP
437	YATAK ODASI	20		808	727	1804	500	600	902	PKKP
438	MUTFAK	18		531	478	1896	400	600	758,4	PKKP

ZEMİN KAT NEMLİ HAVA EKSERJİ HESAPLARI						
ODANIN						
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	e_f	m_{hava}	z_{oda}
		°C	m^3	kJ/kg	kg/h	kw/h
Z 01	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
Z 02	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
Z 03	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
Z 04	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
Z 05	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
Z 06	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
Z 07	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
Z 08	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
Z 11	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
Z 12	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
Z 13	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
Z 14	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
Z 15	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
Z 16	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
Z 17	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
Z 18	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
Z 21	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
Z 22	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
Z 23	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
Z 24	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
Z 25	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
Z 26	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
Z 27	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
Z 28	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
Z 31	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
Z 32	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
Z 33	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
Z 34	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
Z 35	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
Z 36	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
Z 37	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
Z 38	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010

BİRİNCİ NORMAL KAT NEMLİ HAVA EKSERJİ HESAPLARI						
ODANIN						
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMİ	e_f	m_{hava}	z_{oda}
		°C	m ³	kJ/kg	kg/h	kW/h
101	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
102	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
103	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
104	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
105	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
106	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
107	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
108	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
111	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
112	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
113	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
114	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
115	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
116	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
117	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
118	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
121	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
122	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
123	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
124	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
125	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
126	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
127	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
128	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
131	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
132	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
133	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
134	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
135	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
136	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
137	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
138	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010

İKİNCİ NORMAL KAT NEMLİ HAVA EKSERJİ HESAPLARI						
ODANIN						
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	e_f	m_{hava}	z_{oda}
		°C	m ³	kJ/kg	kg/h	kW/h
201	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
202	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
203	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
204	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
205	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
206	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
207	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
208	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
211	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
212	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
213	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
214	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
215	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
216	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
217	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
218	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
221	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
222	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
223	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
224	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
225	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
226	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
227	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
228	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
231	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
232	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
233	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
234	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
235	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
236	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
237	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
238	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010

ÜÇÜNCÜ NORMAL KAT NEMLİ HAVA EKSERJİ HESAPLARI						
ODANIN						
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMI	e_f	m_{hava}	z_{oda}
		°C	m ³	kJ/kg	kg/h	kW/h
301	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
302	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
303	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
304	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
305	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
306	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
307	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
308	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
311	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
312	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
313	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
314	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
315	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
316	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
317	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
318	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
321	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
322	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
323	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
324	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
325	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
326	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
327	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
328	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
331	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
332	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
333	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
334	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
335	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
336	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
337	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
338	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010

DÖRDÜNCÜ NORMAL KAT NEMLİ HAVA EKSERJİ HESAPLARI						
ODANIN						
NO	ADI	SICAKLIĞI	HACMİ	e_f	m_{hava}	z_{oda}
		°C	m ³	kJ/kg	kg/h	kW/h
401	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
402	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
403	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
404	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
405	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
406	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
407	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
408	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
411	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
412	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
413	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
414	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
415	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
416	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
417	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
418	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
421	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
422	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
423	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
424	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
425	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
426	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
427	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
428	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010
431	ANTRE	18	72	0.698	87.36	0.017
432	SALON	22	120	0.875	143.60	0.035
433	Y. ODASI	20	39	0.778	46.98	0.010
434	Y. ODASI	20	48	0.778	57.82	0.012
435	BANYO	24	15	1.319	17.82	0.007
436	BANYO	24	21	1.319	24.94	0.009
437	Y. ODASI	20	57	0.778	68.66	0.015
438	MUTFAK	18	42	0.698	50.96	0.010

Ek 4 Merkezi sistem ekserji birim maliyet tablosu

MERKEZİ SİSTEM ZEMİN KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	\dot{m}_{su}	\dot{Q}_{rad}	\dot{Q}_{kay}	C_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
Z 01	ANTRE					
Z 02	SALON	3049.2	152.46	3.555	3.520	6.589
Z 03	Y. ODASI	1143.5	57.18	1.333	1.323	8.244
Z 04	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.383
Z 05	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.838
Z 06	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.960	7.047
Z 07	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.544
Z 08	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.910
Z 11	ANTRE					
Z 12	SALON	3049.2	152.46	3.555	3.520	6.589
Z 13	Y. ODASI	1143.5	57.18	1.333	1.323	8.244
Z 14	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.383
Z 15	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.838
Z 16	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.960	7.047
Z 17	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.544
Z 18	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.910
Z 21	ANTRE					
Z 22	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.124
Z 23	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.609
Z 24	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.383
Z 25	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.838
Z 26	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.047
Z 27	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.544
Z 28	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.910
Z 31	ANTRE					
Z 32	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.124
Z 33	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.609
Z 34	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.383
Z 35	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.838
Z 36	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.047
Z 37	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.544
Z 38	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.910

MERKEZİ SİSTEM BİRİNCİ NORMAL KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	\dot{m}_{su}	\dot{Q}_{rad}	\dot{Q}_{kay}	C _{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
101	ANTRE					
102	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.127
103	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
104	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
105	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
106	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
107	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
108	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
111	ANTRE					
112	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.127
113	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
114	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
115	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
116	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
117	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
118	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
121	ANTRE					
122	SALON	2613.6	130.68	3.051	3.016	5.661
123	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
124	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
125	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
126	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
127	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
128	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
131	ANTRE					
132	SALON	2613.6	130.68	3.051	3.016	5.661
133	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
134	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
135	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
136	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
137	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
138	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914

MERKEZİ SİSTEM İKİNCİ NORMAL KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	m_{su}	z_{rad}	z_{kay}	C_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
201	ANTRE					
202	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.127
203	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
204	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
205	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
206	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
207	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
208	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
211	ANTRE					
212	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.127
213	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
214	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
215	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
216	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
217	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
218	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
221	ANTRE					
222	SALON	2613.6	130.68	3.051	3.016	5.661
223	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
224	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
225	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
226	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
227	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
228	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
231	ANTRE					
232	SALON	2613.6	120	3.051	3.016	5.661
233	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
234	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
235	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
236	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
237	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
238	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914

MERKEZİ SİSTEM ÜÇÜNCÜ NORMAL KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	m_{su}	3_{rad}	3_{kay}	C_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
301	ANTRE					
302	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.127
303	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
304	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
305	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
306	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
307	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
308	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
311	ANTRE					
312	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.127
313	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
314	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
315	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
316	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
317	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
318	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
321	ANTRE					
322	SALON	2831.4	141.57	3.301	3.266	6.127
323	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
324	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
325	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
326	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
327	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
328	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
331	ANTRE					
332	SALON	2831,4	141.57	3.301	3.266	6.127
333	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.057	6.613
334	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
335	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
336	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
337	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
338	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914

MERKEZİ SİSTEM DÖRDÜNCÜ NORMAL KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	m_{su}	3_{rad}	3_{kay}	C_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
401	ANTRE					
402	SALON	3267	163.35	3.814	3.779	7.059
403	Y. ODASI	1143.5	57.18	1.335	1.325	8.249
404	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.055	5.386
405	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.963	9.844
406	BANYO	831.6	41.58	0.97	0.961	7.051
407	Y. ODASI	914.8	45.74	1.067	1.052	4.547
408	MUTFAK	952.8	47.64	1.111	1.101	6.914
411	ANTRE					
412	SALON	3267	120	3.814	3.779	7.059
413	Y. ODASI	1143.5	57.18	1.335	1.325	8.249
414	Y. ODASI	914.8	45.74	0.778	1.055	5.386
415	BANYO	831.6	41.58	1.319	0.963	9.844
416	BANYO	831.6	41.58	1.319	0.961	7.051
417	Y. ODASI	914.8	45.74	0.778	1.052	4.547
418	MUTFAK	952.8	47.64	0.698	1.101	6.914
421	ANTRE					
422	SALON	3049.2	120	3.560	3.525	6.593
423	Y. ODASI	1143.5	57.18	1.335	1.325	8.249
424	Y. ODASI	914.8	45.74	0.778	1.055	5.386
425	BANYO	831.6	41.58	1.319	0.963	9.844
426	BANYO	831.6	41.58	1.319	0.961	7.051
427	Y. ODASI	914.8	45.74	0.778	1.052	4.547
428	MUTFAK	952.8	47.64	0.698	1.101	6.914
431	ANTRE					
432	SALON	3049.2	120	3.560	3.525	6.593
433	Y. ODASI	1143.5	57.18	1.335	1.325	8.249
434	Y. ODASI	914.8	45.74	0.778	1.055	5.386
435	BANYO	831.6	41.58	1.319	0.963	9.844
436	BANYO	831.6	41.58	1.319	0.961	7.051
437	Y. ODASI	914.8	45.74	0.778	1.052	4.547
438	MUTFAK	952.8	47.64	0.698	1.101	6.914

Ek 5 Bireysel sistem ekserji birim maliyet tablosu

BİREYSEL SİSTEM ZEMİN KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	\dot{m}_{su}	\dot{Q}_{rad}	\dot{Q}_{kay}	C_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
Z 01	ANTRE					
Z 02	SALON	2724.8	136.24	3.171	3.136	2.921
Z 03	Y. ODASI	902	45.1	1.050	1.040	3.168
Z 04	Y. ODASI	902	45.1	1.050	1.037	2.587
Z 05	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
Z 06	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
Z 07	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
Z 08	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
Z 11	ANTRE					
Z 12	SALON	2724.8	136.24	3.171	3.136	2.921
Z 13	Y. ODASI	902	45.1	1.050	1.040	3.168
Z 14	Y. ODASI	902	45.1	1.050	1.037	2.587
Z 15	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
Z 16	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
Z 17	Y. ODASI	721.6	36.08	0.84	0.825	1.766
Z 18	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
Z 21	ANTRE					
Z 22	SALON	2554.5	127.73	2.973	2.938	2.743
Z 23	Y. ODASI	902	45.1	1.050	1.040	3.168
Z 24	Y. ODASI	902	45.1	1.050	1.037	2.587
Z 25	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
Z 26	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
Z 27	Y. ODASI	721.6	36.08	0.84	0.825	1.766
Z 28	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
Z 31	ANTRE					
Z 32	SALON	2554.5	127.73	2.973	2.938	2.743
Z 33	Y. ODASI	902	45.1	1.050	1.040	3.168
Z 34	Y. ODASI	902	45.1	1.050	1.037	2.587
Z 35	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
Z 36	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
Z 37	Y. ODASI	721.6	36.08	0.84	0.825	1.766
Z 38	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643

BİREYSEL SİSTEM BİRİNCİ NORMAL KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	m_{su}	z_{rad}	z_{kay}	c_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
101	ANTRE					
102	SALON	2554.5	127.73	2.973	2.938	2.743
103	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
104	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.037	2.587
105	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
106	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
107	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
108	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
111	ANTRE					
112	SALON	2554.5	127.73	2.973	2.938	2.921
113	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
114	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
115	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
116	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
117	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
118	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
121	ANTRE					
122	SALON	2384.2	119.21	2.775	2.740	2.565
123	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
124	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
125	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
126	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
127	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
128	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
131	ANTRE					
132	SALON	2384.2	119.21	2.775	2.775	2.495
133	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.050	3.098
134	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.840	2.014
135	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.749	3.771
136	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.749	2.694
137	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.840	1.696
138	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.883	2.573

BİREYSEL SİSTEM İKİNCİ NORMAL KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	m_{su}	z_{rad}	z_{kay}	c_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
201	ANTRE					
202	SALON	2554.5	127.73	2.973	2.938	2.743
203	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
204	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
205	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
206	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
207	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
208	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
211	ANTRE					
212	SALON	2554.5	127.73	2.973	2.938	2.743
213	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
214	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
215	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
216	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
217	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
218	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
221	ANTRE					
222	SALON	2384.2	119.21	2.775	2.740	2.565
223	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
224	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
225	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
226	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
227	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
228	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
231	ANTRE					
232	SALON	2384.2	119.21	2.775	2.740	2.565
233	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
234	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
235	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
236	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
237	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
238	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643

BİREYSEL SİSTEM ÜÇÜNCÜ NORMAL KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	m_{su}	z_{rad}	z_{kay}	c_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
301	ANTRE					
302	SALON	2554.5	127.73	2.973	2.938	2.743
303	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
304	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
305	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
306	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
307	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
308	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
311	ANTRE					
312	SALON	2554.5	127.73	2.973	2.938	2.743
313	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
314	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
315	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
316	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
317	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
318	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
321	ANTRE					
322	SALON	2384.2	127.73	2.973	2.938	2.743
323	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
324	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
325	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
326	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
327	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
328	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
331	ANTRE					
332	SALON	2384.2	127.73	2.973	2.938	2.743
333	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
334	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.827	2.084
335	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
336	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
337	Y. ODASI	721.6	36.08	0.840	0.825	1.766
338	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643

BİREYSEL SİSTEM DÖRDÜNCÜ NORMAL KAT EKSERJİ BİRİM MALİYET HESABI						
ODANIN						
NO	ADI	RADYATÖR VERİMİ	m_{su}	z_{rad}	z_{kay}	c_{oda}
		kcal/h	kg/h	kW/h	kW/h	YTL/kW
401	ANTRE					
402	SALON	2895.1	144.76	3.370	3.335	3.099
403	Y. ODASI	1082.4	54.12	1.260	1.250	3.788
404	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.037	2.587
405	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
406	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
407	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.035	2.190
408	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
411	ANTRE					
412	SALON	2895.1	144.76	3.370	3.335	3.099
413	Y. ODASI	1082.4	54.12	1.260	1.250	3.788
414	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.037	2.587
415	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
416	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
417	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.035	2.190
418	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
421	ANTRE					
422	SALON	2724.8	136.24	3.171	3.136	2.921
423	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
424	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.037	2.587
425	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
426	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
427	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.035	2.190
428	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643
431	ANTRE					
432	SALON	2724.8	136.24	3.171	3.136	2.921
433	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.040	3.168
434	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.037	2.587
435	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.743	3.841
436	BANYO	643.6	32.18	0.749	0.740	2.764
437	Y. ODASI	902	45.10	1.050	1.035	2.190
438	MUTFAK	758.4	37.92	0.883	0.873	2.643

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	22.02.1980	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1990-1997	Vefa Anadolu Lisesi
Lisans	1998-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı Kurumlar

2003-2004	Sözeri Mühendislik; Taahhüt ve Proje Sorumlusu
2004-2005	Evre Mühendislik; Taahhüt ve Proje Sorumlusu
2006-Devam ediyor	Yetki Mühendislik ; Şantiye ve Proje Sorumlusu