

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BALIKESİR İL MERKEZİNDE ISITMA SEKTÖRÜNDE
KULLANILAN YAKITLARIN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİ VE
ÇEVRESEL ETKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çev. Müh. Hande YALÇIN

Balıkesir, Şubat 2005

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BALIKESİR İL MERKEZİNDE ISITMA SEKTÖRÜNDE
KULLANILAN YAKITLARIN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİ VE
ÇEVRESEL ETKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çev. Müh. Hande YALÇIN

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Nadir İLTEN

Sınav Tarihi : 22.02.2005

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Bedri YÜKSEL (BAÜ)

Doç.Dr. Cengiz ÖZMETİN (BAÜ)

Yrd.Doç.Dr. Nadir İLTEN (Danışman-BAÜ)

Balıkesir, Şubat 2005

ÖZET

BALIKESİR İL MERKEZİNDE ISITMA SEKTÖRÜNDE KULLANILAN YAKITLARIN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİ VE ÇEVRESEL ETKİLER

Çev. Müh. Hande YALÇIN
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi/Tez Danışmanı : Yrd. Doç Dr. Nadir İLTEN)

Balıkesir, 2005

Giderek artan dünya nüfusu ve gelişen sanayi insanoğlunun enerji ihtiyacının her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Buna rağmen enerji kaynakları hızla tüketilmekte, meydana gelen çevre sorunları göz ardı edilmekte ve yeni enerji kaynakları bulmakta güçlük çekilmektedir. Bu durum yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları arayışını ortaya çıkarmış olsa da mevcut kaynaklara herhangi bir alternatif sunulamamıştır. Tüm bu sebeplerden dolayı yapılacak en doğru şey mevcut enerji kaynaklarının kullanım verimliliğini arttırmak ve ortaya çıkan kirliliği kontrol altına almaktır.

Balıkesir il merkezinde nüfus, iklim koşulları ve aylık hava sıcaklıkları göz önüne alınarak ısıtma sektöründe kullanılan yakıtların enerji ve ekserji verimliliklerinin analizi yapılmış, emisyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve enerji kullanım verimliliği ve çevresel etkileri incelenmiştir.

Enerji ve ekserji verimlilik değerleri, ortalama dış hava sıcaklığının yüksek olduğu yıllarda yakıt tüketiminin düşük olmasına paralel olarak daha yüksektir. Dış hava sıcaklığının yanında kullanılan yakıtların cinsi, yakma sistemleri ve yanma verim değerleri de enerji ve ekserji verimliliklerini etkilemektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER : Balıkesir / enerji / ekserji / hava kirliliği /konut ısıtma / verimlilik

ABSTRACT

ENERGY AND EXERGY ANALYSES OF FUELS USING IN RESIDENTIAL-COMMERCIAL HEATING AND ENVIROMENTAL EFFECT IN BALIKESIR CITY CENTER

**Env. Eng. Hande YALÇIN
Balikesir University, Institute of Science,
Department of Enviromental Engineering**

(M.Sc. Thesis / Supervisor : Assist. Prof. Dr. Nadir İLTEN)

Balikesir – Turkey, 2005

The increase in the world population and rapid devolopment in industry have been caused the increase in the energy need of humanity. In spite of this, the energy sources were decreasing and ignoring the environmental problems. There are also difficulties to find alternative energy sources then conventional. Thus, the efficient use of the present sources and control of air pollution are seems the best solution.

In this thesis the energy and exergy analysis of the fuel consunption for heating in Balikesir city center were by considering population, climate and average montly forecasts. The air pollution from the burning emission and their enviromental effects were also examined.

It has been found that the energy and exergy efficiencies were higher at the years which the temperature is higher due to the lower consumption of the fuels. The kind of the fuel and burning system were also found effective on energy and exergy efficiency.

KEY WORDS : Balikesir / energy / exergy / air pollution / space heating / efficiency

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	2
1.2 Termodinamik Kavramlar	15
1.2.1 Termodinamiğin Birinci Kanunu	16
1.2.2 Termodinamiğin İkinci Kanunu	19
1.2.3 Enerji ve Ekserji	25
1.2.4 Fiziksel Ekserji	30
1.2.5 Kimyasal Ekserji	33
1.2.6 Tersinmezlik (Ekserji Kaybı)	35
1.2.7 Ekserji ve Ekserji Verimliliği	36
1.2.8 Ekserji ve Ekonominin Birlikte Değerlendirme Yöntemleri	39
1.3 Hava Kirliliği Ölçümleri ve Standartları	40
1.4 Hava Kirliliğinin Halk Sağlığına Etkileri	43
2. MATERYAL ve YÖNTEM	45
2.1 Materyal	45
2.1.1. Balıkesir İli Özellikleri	45
2.1.2. Balıkesir İli İle İlgili İstatistik Veriler	46
2.1.2.1 Nüfus Dağılımı	46
2.1.2.2 Bina Sayısı Dağılımı	46
2.1.2.3 Yakıt Sistemi Dağılımı	46
2.1.3. Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri	48
2.1.4. Hava Kirliliği Ölçümleri	49
2.2 Yöntem	49
2.2.1 Isı Yükü ve Yakıt Tüketiminin Hesaplanması	49
2.2.2 Enerji Verimliliklerinin Hesaplanması	55
2.2.3 Ekserji Verimliliklerinin Hesaplanması	56
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	60
EKLER	

EK A	1996-2003 Yılları Arası SO ₂ ve PM Ölçümleri	65
EK B	Kış Sezonu Sıcaklık Dağılımı	73
EK C	TS 825 Standardına Uygun Örnek Bina Çözümü	74
KAYNAKLAR		76



SEMBOL LİSTESİ

Simge	Adı	Tanımı/Değeri	Birimi
ϵ_1	Enerji verimliliği		%
ϵ_2	Ekserji verimliliği		%
\int	integral		
δ	delta		
Q	ısı		W
W	iş		kgm
E	sistem enerjisi		W
U	iç enerji		W
PE	potansiyel enerji		W
KE	kinetik enerji		W
m	kütle		kg
g	yerçekimi ivmesi		m/s ²
V	hız		m/s
\bar{u}	molar iç enerji		
H	entalpi, özgül ısı kaybı		kJ/kg, kJ
h	özgül entalpi		kJ/kg
lim	limit		
Δt	zaman aralığı		s
\dot{Q}	ısı gücü		kWh
\dot{W}	güç		kW
η	ısı verim, basit verimlilik		%
β'	ısıtma tesir katsayısı		
β	soğutma tesir katsayısı		
ITK	ısıtma tesir katsayısı		
STK	soğutma tesir katsayısı		
P	basınç		Pa
S	entropi		kJ/kgK
C_p	sabit basınçtaki özgül ısı		kJ/kgK
R	üniversal gaz sabiti		
C	sabit özgül ısı		kJ/kg
V_m	özgül hacim		m ³ /kg
e_{ch}	kimyasal ekserji		
P_{00}	kısmi basınç		Pa
ΔG_0	Gibbs fonksiyonu		
V_k, V_j	stokiyometrik etki		
NCV	net yanma değeri		
\dot{I}	tersinmezlik		kJ/kg
E^{out}	çıkış ekserjisi		kJ/kg
E^{in}	giriş ekserjisi		kJ/kg
Ψ	rasyonel verimlilik		%
E_{tr}^B	geçişli ekserji		kJ/kg

Simge	Adı	Tanımı/Değeri	Birimi
UVS	uzun vadeli sınır değeri		$\mu\text{g}/\text{m}^3$
KVS	kısa vadeli sınır değeri		$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM	partikül madde		$\mu\text{g}/\text{m}^3$
WHO	Dünya Sağlık Teşkilatı		
mP	soğuk		
cP	çok soğuk		
DİE	Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü		
LPG	sıvılaştırılmış petrol gazı		
TS	Türk Standartları		
A_p	Dış kapı ve pencere alanları		m^2
A_D	Dış duvar alanı		m^2
A_T	Tavan alanı		m^2
A_t	Taban alanı		m^2
A_{top}	Toplam alan		m^2
$V_{\text{brüt}}$	Brüt hacim		m^3
$A_{\text{brüt}}$	Brüt alan		m^2
A_n	Bina kullanım alanı		m^2
V_h	Havalandırma hacmi		m^3
H_i	İletimle ısı kaybı		W
H_h	Havalandırma ısı kaybı		W
$Q_{\text{yakıt}}$	yakıt faktörü		
T_2	referans sıcaklığı		$^{\circ}\text{C}$
T_0	ısıtma ekipman sıcaklığı		$^{\circ}\text{C}$
$\epsilon_{2,\text{toplam}}$	toplam ekserji verimliliği		%
$\epsilon_{2,j}$	yakıtın ekserji verimliliği		%
a	yakıtın kullanım oranı		%
pJ	Petajoule= 10^{15} Joule		

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Adı	Sayfa
Şekil 1.1	Sistemin hal değişimleri	17
Şekil 1.2	(a) Isı makinesi ve (b) ısı pompası	21
Şekil 1.3	(a) Kelvin-Planck ifadesine, (b) Clausius ifadesine Aykırı makinelerin şemaları	23
Şekil 1.4	Aynı ısı kaynakları arasında çalışan ısı makineleri	25
Şekil 1.5	Verilen durumla çevre arasında çalışan tersinir bir ısı makinesinin gösterimi	27
Şekil 1.6	Ölü durumda sistemin çevresi ile termodinamik denge hali	28
Şekil 1.7	Verilen bir durumda sistemin fiziksel ekserji farkı	32
Şekil 1.8	Verilen iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı	33
Şekil 1.9	Endüstriyel proses akış şeması	37
Şekil 1.10	Separatör sisteminin materyal dengesinde b ve j indislerinin şematik gösterimi	41
Şekil 2.1	Örnek proje zemin kat planı	52
Şekil 2.2	Örnek proje normal kat planı	53
Şekil 3.1	Yıllara Göre Balıkesir İl Merkezi Isı Tüketimi	60
Şekil 3.2	Yıllık Isı Tüketimi ve Emisyon değerleri	61
Şekil 3.3	Enerji verimliliği değişimi	62
Şekil 3.4	Ekserji verimliliği değişimi	62
Şekil 3.5	Enerji ve ekserji verimlilikleri	63
Şekil 3.6	Sınır değerler	63

TABLO LİSTESİ

Tablo No	Adı	Sayfa
Tablo 1.1.	Türkiye için yapılan enerji ve ekserji verimliliği çalışmaları	15
Tablo1.2	Isı Makinesi, Isı Pompası ve Soğutma Makinesinin İyilik Dereceleri ile ilgili Esaslar	22
Tablo 1.3.	Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması	31
Tablo 1.4	Bazı maddelerin standart kimyasal ekserji Değerleri	34
Tablo 1.5	Kısa Vadeli ve Uzun Vadeli Hava Kalitesi Sınır Değerleri	41
Tablo 1.6	Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri	42
Tablo 1.7	Hedef Sınır Değerler	42
Tablo 1.8	Özel Sınır Değerler	42
Tablo 1.9	Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) Hava Kalitesi Rehber Değerleri	42
Tablo 2.1	Bina Kullanım Amacı ve Yıllara Göre Konut Sayıları	48
Tablo 2.2	Yakma Sistemi ve Yakıt Türüne Göre Konut Sayıları Dağılımı	48
Tablo 2.3	Yakıt Kullanım Oranları	49
Tablo 2.4	Kömür Analiz Değerleri	49
Tablo 2.5	2000 Yılı Balıkesir İli Örnek Bina Yıllık Isı ihtiyacı (İç sıcaklık 20 °C)	50
Tablo 2.6	Binadaki Yapı Elemanları	53
Tablo 2.7	Yıllara göre aylık ısı ihtiyacı değerleri, kWh/ay	54
Tablo 2.8	Balıkesir İli'nin Yıllara Göre Konut ve İş yeri Sayıları ve Isı İhtiyacı	55
Tablo 2.9	Yıllık Yakıt Tüketim Değerleri	55
Tablo 2.10	Yakıtların enerji verimlilik değerleri ve kullanım oranları	56
Tablo 2.11	Yakıtların ekserji verimlilikleri	57
Tablo 2.12	1996-3003 Arası Yakıtların enerji ve ekserji verimlilikleri	58
Ek A	1996-2003 Arası Emisyon Değerleri	65
Ek B	Kış Sezonu Sıcaklık Dağılımı	73

ÖNSÖZ

Sürekli tüketen insan artık yenilenebilir, sürdürülebilir, çevreye dost enerji kaynakları aramaktadır. Fakat enerji ihtiyacı hala büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanmakta olduğundan çevre kirliliği de büyük bir sorundur. Öyleyse yapılması gereken enerji kaynaklarını verimli ve en az atık yaratacak şekilde kullanmaktır. Balıkesir ilinin nüfusu, iklim özellikleri, kullanılan yakıtlar, hava sıcaklıkları ve emisyon değerleri göz önüne alınarak enerji ve ekserji verimliliği ortaya konmuş çevresel etkileri incelenmiştir. Daha temiz bir Balıkesir için yapılabileceklere küçük bir katkı sağlamasını diliyorum.

Bu çalışmanın her aşamasında bilgilerini benimle paylaşan, yol gösteren ve beni destekleyen tez danışmanım Sn. Yrd Doç. Dr. Nadir İLTEN'e, bilgisini, yardımlarını, zamanını ve desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Binbaşı Zafer UTLU'ya, Balıkesir ilinin istatistik değerleri ile ilgili bilgilerini paylaşan BALDAŞ işletme müdürü Adil ATABAY'a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam boyunca bilgisi, desteği, yardımları ve sabrıyla yanımda olan eşim Enver YALÇIN'a, anlayışı ve sabrı için kızım Zeynep Sude'ye teşekkür ederim.

Balıkesir, 2005

Hande YALÇIN

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artışı ve ülkelerin sanayileşmesi ile birlikte enerji ihtiyacı büyük bir hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak da enerji maliyetleri ve çevre problemleri de hızlı bir şekilde büyümektedir. Bundan dolayı temiz enerji kaynaklarının kullanımı ve halen kullanılan enerji sistemlerinde enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar her geçen gün önem kazanmaktadır.

Kullandığı enerjinin % 62'sini ithal eden ülkemizde binaların toplam enerji tüketimindeki payı yaklaşık % 34-35'dir. Her an yeni bir enerji kriziyle karşı karşıya kalınabileceği gerçeği göz ardı edilmeden bir değerlendirme yapılırsa, hem enerji tüketiminin azaltılması ve verimli kullanılması bakımından hem de çevreye yapacağı olumlu katkı bakımından konutlardaki enerji tüketimine yönelik yapılacak olan çalışmaların önemi daha iyi anlaşılacaktır.

Konutlarda ısı tüketimini azaltmak bakımından yaklaşık üç yıl süren revizyon süresi sonunda 14 Haziran 1999 tarih ve 23725 sayılı Resmi Gazetede TS 825 BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI Standardı yayınlanarak 14 Haziran 2000 tarihinde de yürürlüğe girmiştir. Bu standardın uygulamaya girişiyle yeni inşa edilen binalardaki ısı kayıplarında büyük oranda azalma olmuştur. Ancak mevcut yapıların durumu pek iç açıcı olmayıp ortalama % 50 oranında daha fazla ısı tüketimi söz konusudur. Buna bağlı olarak çevre kirliliği oluşumunda da payları o derece yüksektir.

Özellikle kış dönemini oluşturan Ekim-Mart ayları arası dönemde hızlı yakıt tüketimi paralelinde hava kirliliği de yoğun bir şekilde artmaktadır. Çalışmanın ilerideki bölümlerinde yakıt tüketimi miktarı, türü ve yakma sistemleri, enerji ve ekserji verimlilikleri ile SO₂ ve PM emisyonları arasındaki ilişki detaylı bir şekilde irdelenecektir.

Enerji ekonomisi geniş bir alandır. Birçok çalışma, enerji ve ekonomiyle birlikte yapılmıştır. Bu nedenle, günümüzde enerji maliyetleri ile enerji fiyatları terimleri yaygın olarak benzer kabul edilmektedir. Fakat maliyetler gerçekte ilişkili değildir. Genelde enerji maliyeti, bir hammadde maliyeti içerir. Bunun nedeni, enerjinin

genellikle değerinin olmayıştır. Oysa, ekserji ekonominin esasıdır, miktarlar gibi ücret ve maliyetleri hassasiyetle kapsar. [1]

1.1. Literatür Araştırması

Enerji, ekserji ve verimlilik üzerine bir çok araştırmalar yapılmıştır. Ekserji terimi ilk defa “Rant” tarafından 1953 yılında açıklanmıştır. 1. ve 2. kanun kavramları Von MAYER ve Carnot tarafından sırasıyla 19. yüzyılın ikinci yarısında saptanmıştır. Termodinamiğe önemli katkılar Gibbs tarafından 19. yüzyılın ikinci yarısında verilmiştir. 2. kanunun analizinin temeli 1889 yılında “Gouy” tarafından ve 1898 yılında Stodola tarafından yapılmıştır. Onlardan sonra isimlendirilmiştir. (Szargut, 1980) 2. kanun analizi 1907 yılında Jonguet ve 1905 yılında Stodola tarafından sunulmuştur [2].

1932 yılında Keenan tarafından fiziksel ekserji kavramı tanımlanmıştır ve kullanılabilirlik olarak adlandırılmıştır ve buhar türbinlerinin analizi için kullanılmıştır [3]. Kimyasal ekserji kavramı ve bunun referans durumları ile birleştirilmesi 1986 yılında Szargut tarafından açıklanmıştır [4]. Bu analiz, mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemleri tasarlanmanın mümkün olup olmayacağını açığa kavuşturacaktır. Bu analiz, mevcut sistemlerdeki tersinmezlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemleri tasarlanmanın mümkün olup olmayacağını açığa kavuşturacaktır. Sistemlerin analizinde Ekserji yönteminin düzenli kullanımına 20.yüzyılın 2. yarısında başlanmıştır.

Bu yüzyılın 70’li yıllarında, doğal kaynakların geniş ve kapsamlı kullanımının, bu kaynakların tüketilmesine yol açığının farkında olunmuştur. İkinci olarak kirlenmeden dolayı doğal kaynakların yaygın kullanımı insanoğlu için büyük bir problem olarak görölmüştür. Bu problemin çözümü için sürdürülebilir gelişme kavramı geliştirilmiştir. Bu kavram Birleşmiş Milletler komitesi tarafından tanımlanmıştır. Bu tanıma göre, toplumların şu andaki ve gelecekteki ihtiyaçlarını sağlayarak, gelecek nesillerin yeteneklerini kullanılması yolu ile onların kendi ihtiyaçlarının karşılama sürekliliğini ortaya koymaktır [5].

Ekserji analiz kavramı, özellikle 1970 ve 1974 enerji krizlerinden sonra, doğal kaynakların tüketilmesine ilişkin araştırmaların ve analizlerin, ekserji analizi metodolojisinin ve dönüşümlerinin etkin çalışmalarının yapılması uluslar arası enerji enstitüleri ve federasyonları tarafından önerilmiştir [6]. Bu çalışma, bu alandaki çalışmalardan bir tanesi olarak görülebilmektedir. Bununla birlikte, ekserji analizlerinin kullanımı onların derecelendirilmesinde çok başarılı olmamıştır. Bilimsel alanda başlangıçta yeteri kadar ilgi görmemiştir. Bu alanda en başarılı isim olarak Szargut bilinmektedir.

Termodinamiğin 2. kanunu ilk olarak Sadi Carnot tarafından 1824 yılında formüle edilmiştir. Çalışma temel olarak; ısının işe dönüşümünün sınırlarını belirler. 1840'lı yıllarda James Joule tarafından Carnot'un çalışmaları sürdürülmüştür. James Joule enerjinin dönüşümünü elde etmiştir. Yapmış olduğu deneylerde termodinamiğin 1. kanunu belirlenmiştir.

Enerjinin işe dönüşümündeki kullanılabilirlik kavramı ilk olarak Gibbs, Maxwell, Thomson ve Clasuis tarafından çalışılmıştır (Gibbs, 1961). Birinci ve ikinci kanunun direkt sonuçları enerji ve entropi fonksiyonları olarak belirlenmiştir. Bu kavramları "entalpi" kavramı izlemiştir. Helmholtz ve Gibbs tarafından çalışılmıştır. Gerçek şartlarda üretilen işin elde edilebilirliği Gouy (1889) ve Stodola (1898) tarafından çalışılmıştır. Onlar elde edilebilir işin üzerinde sıcaklığın etkisini göstermişlerdir. Ayrıca bunlara bağılı olarak elde edilen işin her zaman maksimum işten küçük olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmalardan sonra 1930'lara kadar ekserji kavramı üzerindeki çalışmalar yavaşlamıştır. 1930 yılında Darrieus potansiyel iş kavramını geliştirmiştir. Onu 1932 yılında Keenan takip etmiştir. Onlar termodinamik verimlilik kavramını açıklayarak, türbinlerdeki sabit akış proseslerindeki elde edilebilir işi hesaplamışlardır [24].

Ekserji kavramı, üzerindeki çalışmalar 1939 yılında Bosn Jakoviç tarafından "Isıl ve Endüstri Proseslerinde İkinci Kanun Analizi" adlı çalışma ile tekrar başlatılmıştır. Ayrıca ilk olarak çevrim ünitelerinin ekserji analizi entalpi ve entropi diyagramları kullanılarak sunulmuştur.

Ekserji terimi ilk olarak 1956 da Z.Rant tarafından önerilmiştir. Enerjinin kullanılabilirliğini ifade eden bir kavram olarak kazanılmıştır [2].

Szargut ve Petela (1965) [4] , ekserjetik ve rasyonel verimlilik fikrini açıklamışlardır ve ekserji balansı formlarında ekserji analizi veya sonuçlarının gösterilmesini teklif etmişlerdir. Ekserji hesaplamaları için referans aşamaları, diyagramlar ve eşitlikler sunmuşlardır.

1974 yılında petrol krizi süresince ekserji kavramı daha önemli hale gelmiştir. O tarihten günümüze değin bu konudaki çalışmalarda büyük artış gözlenmiştir. Genel ekserji analizi genellikle bölümler halinde, Termodinamik kitaplarında verilmiştir. Bu alanda en çok bilinen yayın; “Isıl, Kimyasal ve Metal Proseslerin Ekserji Analizi”, Szargut tarafından yayımlanmıştır [8]. Ayrıca “Isıl İşlemlerde Ekserji Analiz Metodu” Kotas tarafından yayınlanmıştır [12].

Ayrıntılı ekserji analizleri; ısıl ve endüstriyel prosesler için sunulmuştur. En çok bilinen ilk çalışmalar, ısıl ve endüstriyel projelerin ikinci kanun verimliliğinin belirlenmesinin metodolojisi üzerine yapılmıştır ve Szargut tarafından sunulmuştur [8].

Bununla birlikte son çalışmalar, bileşiklerin ve elementlerin standart kimyasal ekserjisi ve ekserjetik analizini ifade eden referansların belirlenmesi üzerine odaklanmıştır. Gallo ve Milanez (1990), maddelerin ekserjisi üzerinde referans durumlarının belirleyerek ölü durum ve etkileri yönünde bir çalışma sunmuşlardır. Bu çalışma da ekserjetik verimliliği çok iyi bilinen iki farklı tanımlaması karşılaştırılmıştır. Belirlenen ekserjetik verimliliğin ilkinde, yararlı enerji çıkışının istenilen ekserji girişine oranlanması olarak sunulmuştur. Bununla birlikte ikinci tanımlamada, her fiziksel sisteme uygulanabilmektedir. Ekseji kullanım verimliliği; en basit tanımlama ile çıkışın girişi oranı olarak ifade edilmektedir.

Morris ve Szargut (1986) [8] , yeryüzündeki bileşik ve elementlerin standart kimyasal ekserjilerinin ayrıntılı listesini verirler bu çalışmada; katılar, sıvılar ve gazlar için standart ölü hal referansları belirlenmiştir.

Van Gool (1987), enerji taşıyıcıları için nitelik faktörlerini ve çok iyi bilinen yakıtların nitelik faktörlerinin çeşitli değerlerini belirleyerek listelemiş, ayrıca ülke düzeyinde belirlenen minimum enerji ihtiyacına yönelik optimum model sunmuştur. Wall (1986), “Exergy a Useful Concept” isimli çalışmasında ekserji kavramı üzerinde doktora çalışması yapmıştır. “Ekserji” kavramını açıklayarak sistemlere uygulanabilirliğini göstermiştir [24].

Wall (1998), tarafından yayımlanan “Exergetics” adlı kitap ekserji kavramı ve onun etkileri konusunda ilk başvuru kaynakları arasında yer almıştır. Yayında temel enerji ve ekserji kaynakları belirlenerek, termodinamik uygulamaları gösterilmiştir. Ekserjinin genel proseslerle birlikte, bir çok kendine özgü prosesler uygulanması yapılmıştır. Ayrıca çevrim prosesleri, ısı transferi ve yanma konuları incelenerek elementlerin ve bileşiklerin katı, sıvı, gaz durumlarının entalpi ve ekserji değerleri sunulmuştur.

Cornelissen (1994) ekserji analizi ve teknikleri üzerine çalışmıştır. Damıtma proseslerinde ekserji analizi, ekserjetik verimliliğin farklı tanımlamaları konusundaki çalışmalar yapılmıştır [12].

Ülkelerin enerji ve ekserji kullanım verimliliğinin analizi için iki yaklaşım söz konusudur (Ertesvag, 2002). Bunlar; Reistad ve Wall yaklaşımı olarak bilinmektedir. Reistad yaklaşımında; enerji kullanımı için enerji taşıyıcılarının akışı göz önünde bulundurulmuştur. Reistad, enerji ve ekserji tüketim analizini, konut-hizmetler, sanayii ve taşımacılık sektörleri olmak üzere 3 ana sektöre ayırarak yapmıştır. Konut-hizmet sektörü ticari, kamu ve özel kuruluşlara ait binalar ile bunların hizmetleri sırasında tüketmiş oldukları enerji miktarını içermektedir. Çevrim sektörü, sanayi sektöründen ayrılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye elektrik üretim sektörünün tamamı ile elektrik iletim ve dağıtım sistemleri ve yakıt rafinerileri dahil edilmektedir.

Ulusal enerji ve ekserji kullanım verimliliği üzerinde ilk çalışma Rosen tarafından 1986 yılında yapılmıştır. Benzer çalışma Reistad tarafından 1975 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde yapılmıştır.

Rosen tarafından 1986 yılında aynı yöntem kullanılarak, Kanada'nın enerji tüketim analizi yapılmıştır. Brezilya'da 1987 yılında Schaeffer ve Wirt Shafter, Reistad yaklaşımını kullanmışlardır. Türkiye'de İleri ve Ünal (1994) tarafından 1991 yılı için , İleri ve Gürer (1998) 1995 yılı için aynı yaklaşımı uygulamışlardır. Nakicenovic, Gilli ve Kurz, OECD Ülkeleri, ve Dünya Ülkelerinin enerji ve ekserji kullanım analizini 1996 yılı için yapmışlardır.

İkinci yaklaşım, ilk olarak Wall tarafından İsveç toplumunun enerji ve ekserji analizini yapmak için 1977 yılında ortaya atılmıştır. Bu yaklaşımda, enerji ve materyal akışkanlarının tüm türleri değerlendirilmiştir. Ayrıca enerji kullanımı için enerji taşıyıcıları, bu akışkanlar için ham materyaller incelenmiştir. Örneğin, petrokimya endüstrisi için yakıt ve gaz, kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi için ağaç, yiyecek-ziraat ve yiyecek endüstrisi. Başlıca materyallerin ekserji değerlendirmesi için gerekli modeller 1975 yılında Reistad yaklaşımından sonra elde edilmiştir. Wall tarafından 1985 yılında Japonya'nın enerji tüketim analizi yapılmıştır. 1990 yılında Wall tarafından İtalya için aynı yaklaşım kullanılmıştır.

Wall enerji ve ekserji analizini 1975 yılında Gana, 1920, 1975, 1980, 1994 yılları için İsveç ve 1995 yılı için Norveç'te aynı yaklaşımı kullanarak ülke bazında enerji ve ekserji kullanım analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar ülkelerin enerji ve ekserji kullanım verimliliklerinin belirlenmesinin yanı sıra enerji ve ekserji tüketim modellerini de göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, genel olarak enerji ve ekserji akış diyagramlarında sunulmaktadır.

Earl Cook, (1976) ülke düzeyinde enerji tüketiminin belirlenmesini sunan ilk bilim adamıdır. Cook, 1950-1970 yılları arasında Amerika Birleşik Devletlerinde, sektörel bazda enerji tüketimlerini gösteren bir çalışmasında 20 yıllık periyot

süresince 1. kanun verimliliğini belirlemiş ve enerji akış diyagramları üzerinde elde etmiş olduğu sonuçları yayımlamıştır.

Enerji ve ekserji kullanımının verimliliğini belirleyen ilk komple çalışma Reistad (1975) tarafından yayımlanmıştır. Reistad, 1975 yılı süresince ülkelerin enerji ve ekserji tüketim değerlerini belirlemiştir. Bu çalışma; bu alanda yapılan çalışmalar için bir öncü çalışma olmuştur. Büyük enerji tüketim sistemleri ve prosesler sınıflandırılmıştır. Birinci ve ikinci kanun verimlilikleri ülke için belirlenmiştir. Elde edilen değerlendirmeler sonucunda enerji kullanımı için % 50,4 ve ekserji kullanımı için % 20,9 olarak verimlilikler elde edilmiştir.

Aynı çalışma, Rosen (1992) tarafından, 1986 yılı için Kanada'ya uygulanarak enerji ve ekserji kullanım verimlilikleri sırası ile % 50 ve % 24 olarak belirlenerek sunulmuştur. Bu çalışmada, tüketim dört sektöre bölünmüştür ve çevrim, taşımacılık, konut-hizmet sektörü ve sanayi sektörü olarak adlandırılmıştır. Çevrim sektörü son kullanıcıların enerjilerini destekleyen ara sektör olarak belirlenmiştir.

Nitelik faktörü kavramı, temel yakıtların entalpi değerlerinin belirlenen ekserji değerine bölünmesi yolu ile bulunmaktadır. Reistad'ın çalışmasında büyük enerji tüketim sistemleri için gösterilen 1. ve 2. kanun verimlilikleri kullanılmaktadır. Isıtma ve soğutma etkinlikleri, örneğin sıcak su ısıtma, konut ısıtma ve buzdolabı, tipik sıcaklıkları ikinci kanun verimlilikleri belirlenerek varsayılmaktadır.

Kanada'da 1986 yılı için sektörler ve toplam verimlilikleri belirlenmiştir. Diğer çalışmalardan farkı; sanayi sektörü, endüstriyel sektörlerle bölünmüştür ve orta, düşük ve yüksek olarak üç sıcaklık derecesi belirlenmiştir. Endüstri enerji tüketimi, elektrik ve yakıt olarak ikiye ayrılmıştır. Her endüstrinin birinci ve ikinci kanun verimlilikleri; türlerin verimlilik değerleri ile birlikte toplam enerji ve ekserji tüketimleri katsayıları ile hesaplanmaktadır. Çalışmanın sonunda; 1986 yılı için Kanada'da genel enerji ve ekserji kullanım akış diyagramları belirlenerek sunulmuştur.

Shaffer (1992), 1987 yılında Brezilya için yayımladığı çalışmasında Reistad ve Rosen'in aynı metodunu kullanarak, birinci ve ikinci kanun verimliliklerini % 32,4 ve % 24 olarak tahmin etmiştir. Kanada ve A.B.D. de yapılan çalışmalardan farkı; giren temel enerji ve ekserji tür ve miktarları daha ayrıntılı verilmiştir.

Sciubba ve Wall (1994) [24], 1990 yılı için İtalya da aynı çalışmayı sunmuştur. Bu çalışma da, toplam enerji ve ekserji tüketimi üretim ve üçüncül sektör olmak üzere iki kategoriye bölünmüştür, üretim sektörü; sanayi, taşımacılık ve ziraat olmak üzere 3 ana başlık altında toplanmıştır. Üçüncül sektör ise ticari, hizmet ve idari olmak üzere bölünmüştür. Diğer yandan belirlenen enerji tüketim şekillerinde iki senaryo önerilmiştir. Birinci senaryoda; fosil yakıtların yerine yenilenebilir yakıtlar konmuştur. İkinci senaryoda, kaynakların en iyi şekilde kullanımı önerilmiştir ve son kullanımlar karşılaştırılmıştır.

Erteswag tarafından 2001 yılında farklı toplumların ekserji analizlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Ülkelerin ekserji verileri literatürden elde edilerek karşılaştırılmış ve farklılıklar tartışılmıştır. Bununla birlikte her toplumun, ekserji analizini kullanarak, gelişimini değerlendirebileceği sonucuna varılmıştır (Erteswag, 2001) [24].

Türkiye'nin enerji ve ekserji tüketimi 1991 yılı için Ünal (1995) tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada için kullanılan yaklaşım uygulanarak, 1991 yılı için Türkiye'nin 1. ve 2. kanun verimliliği belirlenmiştir. Sonuçlar; enerji ve ekserji akış diyagramlarında sunulmuştur. Bu çalışmanın alanı, Türkiye'nin enerji ve ekserji tüketim modelleri 1995 yılı için Gürer ve İleri tarafından genişletilmiştir. Sonuçlar enerji kullanımı % 34 ve ekserji kullanımı için % 12 bulunmuştur (İleri ve Gürer, 1997) [24].

Sektörler arasında, sanayi sektörü en çok araştırmanın ve bilimsel çalışmaların yapıldığı sektördür. Daha öncede belirtildiği gibi enerji ve ekserji kullanım verimliliğinin belirlenmesinde var olan iki yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımlarda sektörlerin tamamında kullanılmasına rağmen, son yirmi yıldan beri, bazı bilim adamları tarafından sektörler tek tek ele alınıp incelenmektedir.

Konut-hizmet sektörünün ekserji analizi üzerindeki çalışmalar veri yetersizliği nedeniyle etkin bir şekilde yapılamamaktadır. Bu alanda yapılan ilk çalışma; Reistad tarafından sunulmuştur. Reistad 1960-1968 yılları arasındaki yıllık enerji tüketimleri ortalaması ile 1968 yılı rakamları göz önünde bulundurularak, 1970 yılı için ABD Konut ve hizmet sektöründe ekserji kullanım verimliliğini ortaya koymuştur (Reistad, 1975).

Schaefer ve Wirtshafter (1992), 1974-1975 yılları için, konutlarda su ısıtma amaçlı kullanılan elektrik tüketimini analiz etmişlerdir. Nieuwlaar ve Dijk, konut ısıtmada, potansiyel verimlilik gelişimini ekserji kullanımı yönünden değerlendirmişlerdir.

Ekserji kavramı bilim alanında ve akademik yaşamda genel kabul görmesine ve popüler hale gelmesine rağmen, ekserji kavramı ve yaklaşımı hala endüstride geniş bir alanda kullanılmamaktadır. Endüstrilerde enerji tüketimi analizinde bir çok çalışma vardır. Fakat İkinci kanun analizinin endüstri sektöründe kullanılmasına yönelik çok az sayıda çalışma vardır.

Ross (1987), 1983 yılında Amerika için iki bölümden oluşan bir çalışma sunmuştur. Birinci bölümde; sanayilerde büyük enerji tüketimlerinde endüstriyel enerji dönüşüm ölçümleri incelenmiştir. Burada; kağıt, çelik, kimya, petrol rafinerileri ve çimento sektörlerinin enerji yoğunluğu belirlenerek, termodinamik parametreler kullanmak sureti ile karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde ABD 'nin demir çelik endüstrisi enerji ve ekserji kullanım verimliliği üzerinde genel araştırma yapılmıştır. Burada ABD demir ve çelik endüstrisi için genel enerji tüketim şekilleri ve enerji tasarruf metotları verilmiştir. Çalışmanın sonunda; ABD orta ölçekli bir çelik fabrikasının durumsal çalışması sunulmuştur.

Ross ve Frenk (1991), bir başka çalışmada Çin çelik endüstrisini incelemişlerdir. Çalışmada demir-çelik endüstrisindeki genel materyal akışını vermiştir. Özgül enerji tüketimi, Japon ve ABD çelik endüstrileri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca enerji tasarruf metodları önerilmiştir.

Bu alanda, önemli sayıda araştırmaya yönelik ve sonuç çıkarıcı çalışmalar mevcuttur. Çalışmalar yalnızca çimento endüstrisindeki enerji yaklaşımı göstermekle birlikte, ayrıca çimento endüstrisinin enerji tüketimindeki gelişmeleri ortaya koyarak tasarruf potansiyellerini belirler.

1995 yılında Saxes (1995), Hindistan'ın çimento sektöründe enerji verimliliği incelenmiştir. Çalışma da enerji tüketim şekillerini ve tahmini tasarruflar ortaya konulmuştur. Diğer çalışmalar proseslerin enerji yoğun kısımlarında odaklanırken, çimento sektörü bir bütün olarak ele alınmaktadır.

Benzer bir çalışmada, Schuer, Alman çimento endüstrisinin enerji tasarruf metotlarını ve potansiyelini tanımlayarak enerji tüketim değerlerini vermiştir. Çalışma elektrik enerjisi tasarruf metotları ve ısıl enerji akış diyagramları formunda olmak üzere iki ayrı bölüm halinde sunulmuştur (Schuer ve Allerbock, 1992).

Endüstriyel proseslerde, enerji analizi ve verimliliği üzerine yapılan birçok çalışma olmasına rağmen, ekserji analizi üzerine yapılan çalışmalar az sayıdadır. Proseslerin, enerji kullanım verimliliğini geliştirmenin bir yolu da ikinci kanun verimlilik analizinin çok iyi yapılması ve buradan kazanılacak olan avantajların tespit edilerek, proseslerde uygulanmasının sağlanmasıdır. Her geçen gün bu konu da yapılan çalışmalar hızlı bir artış göstermektedir.

1970'de ABD'de ekserji kavramı üzerindeki çalışmaları Ford Foundation, enerji serileri ve sonuçları olarak başlatmış ve "Endüstride potansiyel yakıt verimliliği" olarak bir kitapta toplamıştır. (Gyftopoulos et al,1974). Bu çalışma, ABD'nin enerji ve kullanılabilir enerji şekillerini sunmuştur. Ayrıca, endüstride ikinci kanun verimliliği hesaplamaları ilk olarak verilmiştir. Burada verimlilik; bir termodinamik parametre olarak, proseslere giren toplam elde edilebilir enerjiyi tanımlamaktadır. İçerik olarak yakıtlardan ve ham materyallerden oluşmaktadır. Bununla birlikte Szargut'un yaklaşımları aynı endüstriler için karşılaştırılmıştır. Değerler termodinamik parametre olarak verilmiştir. Ürünlerin ekserjisi ve toplam elde edilebilir enerji kümülatif ekserji tüketimi olarak adlandırılmıştır. Bisio, 1983

yılında İtalyan çelik endüstrisinin ekserji verimliliği üzerindeki çalışmaları yaparken yeni bir yaklaşım önermiştir (Bisio, 1987). Bu çalışmada genel ekserji kullanımı, ekserji akış diyagramları ile birlikte değerlendirilmiş, enerji tasarruf potansiyeli ve metotları belirlenmiştir. Yazar tarafından önerilen yaklaşım “Yararlı Ekserji” kavramı olarak adlandırılmaktadır.

Radgen (1997), tarafından bir gübre endüstrisi için ekserji analizi elde edilmiştir. Çalışmada; üre ile birlikte amonyum işletmeleri birlikte incelenmiştir. Proseslerde oluşan yalnız başına ekserji kayıplarının dağılımı belirlenerek minimuma indirgenmiştir. Sonuçta; Amonyak ve üre işletmelerinin ekserjetik verimliliği belirlenerek, verimliliği arttırıcı düzenlemeler önerilmiştir.

Ekserji verimliliğinin belirlenmesinden sonra bilim adamları, elde edilen verimlilik değerlerinin çok düşük olduğu sonucuna varmışlardır. Enerji ve ekserjinin etkin kullanımı açısından tasarruf potansiyelleri araştırılmış ve üretim teknikleri üzerinde verimliliği arttırıcı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

İlk çalışmalar enerjinin etkin kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır. Reay, çalışmasında farklı endüstriler için (demir-çelik, aliminyum, kimya, kağıt, cam, yiyecek ve tekstil sektörleri) genel enerji tasarruf metotları üzerinde çalışmıştır. Enerji tasarruf yöntemleri; iki ana başlık altında ifade edilmiştir. Bunlar her endüstri için genel tasarruf yöntemleri ve kısmi tasarruf metotları olarak belirlenmiştir (Reay, 1977).

Uluslar arası demir-çelik enstitüsü tarafından en iyi uygulama fabrikaları ile bilinen fabrikaların enerji tüketimleri karşılaştırılarak rapor halinde sunulmuştur. Çalışma, iki ana başlık üzerinde odaklanmıştır. İlk olarak mevcut demir ve çelik fabrikalarının etkin enerji performansı ve fabrikaların enerji verimlilik performansının hesaplanması arasında bir karşılaştırma sunulmuştur. Daha sonra, enerji tasarruf yöntemleri ve potansiyeli tanımlanmıştır (Dcud, 1984).

13. Dünya enerji konferansında endüstriyel proseslerde enerji tüketimi çalışma grubu, çelik prosesleri üzerine bir rapor hazırlamışlardır. Raporda; çelik üretim prosesleri ve her ayrı prostedeki enerji tüketimi için yaklaşık göstergeler bulunmuştur. Çeşitli proseslerdeki teknolojik değişimler açıklanmıştır. Enerji taşıyıcılarının, muhtemel enerji tasarruf ölçümlerini içeren göstergesi belirlenmiştir. Çelik endüstrisindeki tasarrufun yöntemleri ve miktarları verilmiştir.

UNIDO tarafından 1993 yılında genel enerji auditi ve denemeleri yayımlanmıştır. Yapılan açıklamada; gelişen ülkeler için auditinin ve enerji dönüşümünün önemi vurgulanmıştır. Genel enerji tasarruf yöntemleri ayrıntılı olarak açıklamıştır (UNIDO, 1993).

Türkiye’de çevrim, sanayi, konut-hizmetler ve taşımacılık sektörlerinde girdi olarak kullanılan tüm enerji türlerinin enerji ve ekserji kullanım verimlilik analizi yapılan dokuz adet çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların tamamında Reistad yaklaşımı kullanılmıştır. Bununla birlikte sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının sektörlerde kullanımını içeren bir adet çalışmada bulunmaktadır. Türkiye için yapılan enerji ve ekserji kullanım verimliliği çalışmaları Tablo 2’de sunulmuştur. Verimlilik değerlerinin yıllar itibarı ile incelendiğinde küçük farklılıklar söz konusu olmasına rağmen, hem enerji hem ekserji kullanım verimliliklerinde büyük kayıplar söz konusudur.

Bu konuda Türkiye için yapılan ilk çalışma 1991 yılında Ünal ve İleri tarafından ortaya konulmuştur ve her sektör grubunun verimlilik değerleri tespit edilmiştir. Türkiye için genel enerji ve ekserji kullanım verimlilikleri sırası ile %45,30 ve %23,70 olarak belirlenmiştir. 1993 yılı için Türkiye’nin sektörel enerji ve ekserji analizi Rosen ve Dinçer tarafından yapılmıştır. Türkiye’nin toplam enerji ve ekserji verimlilikleri sırası ile % 41,40 ve % 27,10 olarak belirlenmiştir. Üçüncü çalışma ise 1995 yılı süresince Türkiye’nin sektörel enerji ve ekserji kullanım verimlilikleri İleri ve Gürer tarafından yapılmıştır. 1998 yılında yayımlanan bu çalışmada, elde edilen enerji ve ekserji verimlilikleri çevrim sektörü değerlendirilmeye katılmadığı zaman % 34,90 ve % 13,10 olarak tespit edilmiştir.

Çevrim sektörü de sisteme alındığında verimlilik değerleri sırası ile % 43,61 ve % 21,83 olarak bulunmuştur.

Utlu ve Hepbaşı tarafından sektörel bazda enerji ve ekserji kullanım verimliliği analizleri Reistad yaklaşımı kullanılarak farklı yıllar için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan ikisi sektörlerin tamamını kapsayacak şekilde 1999-2000, 2023 yılları için yapılmıştır. Bu çalışmalarda enerji kullanım verimlilikleri sırası ile; %43,24 - %44,91, %57,22 ve ekserji kullanım verimlilikleri ise; %24,04 - %24,78, %30,94 olarak bulunmuştur. Geriye kalan dört çalışmadan üç tanesi konut sektörünü içerirken, bir tanesi taşımacılık sektörüne yönelik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar 2001, 2002, 2020 yıllarını kapsamaktadır. Bu yılların enerji verimlilikleri sırası ile; %45,02, %46,02, %55,15 bulunmuştur, ekserji verimlilikleri ise %24,78, %24,99 ve %30,44 olarak belirlenmiştir. 2020 yılı için yapılan çalışma da hem konut-hizmet sektörü hem de taşımacılık sektörü ayrı ayrı çalışmada ortaya konmuştur. Türkiye için yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji ve ekserji kullanım verimlilikleri %49,84 ve %24,14 olarak bulunmuştur.

Yapılan çalışmalar farklı bakış açısı ile değerlendirildiğinde, üç tanesinde gerçekleşmiş değerler kullanılarak ilgili yılların enerji ve ekserji kullanım verimlilikleri ortaya konulmuştur. Diğer üç çalışmada ise geleceğe yönelik projeksiyonlar oluşturularak verimlilikler belirlenmiştir. Projeksiyonlar oluşturulurken nüfus sayıları, nüfus artış hızı, konut sayıları, şehirleşme oranı, sanayileşme ve ekonomik kalkınma, taşımacılık ile ilgili geleceğe yönelik projeksiyonlar, elektrik üretim, dağıtım, sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı olmak üzere bir çok parametre değerlendirmeye alınmıştır. Bununla birlikte Başbakanlık ve Devlet Planlama Teşkilatı'nın hazırladığı sekizinci beş yıllık kalkınma planı başta olmak üzere, ilgili kuruluşlar tarafından geleceğe yönelik olarak yapılan planlar, elde edilen veriler ile karşılaştırılarak kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar sektörel bazda değerlendirildiğinde, çevrim sektörünün enerji verimlilik değerleri %30,11 ile % 39,07 arasında, ekserji verimlilik değerleri ise %30,28 ile %39,07 arasında değişmektedir. Konut ve hizmetler sektörü için en düşük enerji verimliliği %55 iken en yüksek enerji verimliliği %68,25

olmuştur. Bu durum ekserji verimliliklerinde %6,21 ile %12,05 aralığında gerçekleşmiştir. Sanayi sektörü ise enerji kaynaklarını en verimli bir şekilde kullanan sektör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sektörde enerji verimliliği %57,59 ile %74,48 aralığında gerçekleşir iken ekserji verimliliği ise %28,30 ile %43,10 arasında gerçekleşmiştir. Son sektör olarak taşımacılık sektörü incelendiğinde, enerji ve ekserji kullanım verimlilikleri birbirine çok yakındır. Yapılan çalışmaların bütününde verimlilikler %10,00 ile %29,05 aralığında hesaplanmıştır.

Bu çalışma için Türkiye'nin enerji kullanımı konusunda geliştirilebilir potansiyeli de analiz edilmiştir. Analizde Hepbaşı ve Akdemir tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem; elde edilen ekserji verimliliğini, elde edilebilecek maksimum iş verimliliğinden çıkartılarak, sistemde kullanılan ekserji miktarına çarpılması yolu ile, kaybolan veya geliştirilebilecek ekserji miktarı belirlenmektedir. Bu formülasyon Utlu ve Hepbaşı tarafından yapılan çalışmalarda geliştirilerek potansiyel (kayıp) ekserji miktarının sisteme giren ekserji miktarına oranlanarak elde edilen değer kayıp potansiyelin verim değerini yüzde olarak ortaya koymaktadır. Daha açık bir ifade ile sistemdeki verimsizliği tespit etmektedir. Yapılan analiz sonucunda çalışma yapılan yıllar değerlendirilmiş olup genel enerji ve ekserji verimlilik gelişim potansiyelleri her bir sektörü de kapsayacak şekilde ortaya konmuştur.

Analiz sonuçlarına göre Türkiye'nin enerji kullanımının gelişim potansiyeli çalışma yapılan her bir yıl için değişmekle birlikte enerji verimliliği için %43 ile %65 arasında, ekserji verimliliği için %69 ile %86 arasındadır. Bu durum Türkiye'de enerji kullanımında geliştirilebilir potansiyelin yüksekliğini ifade etmektedir. Başka bir bakış açısı ile Türkiye' deki enerjinin ne kadar verimsiz kullanıldığının bir göstergesidir.

Aynı çalışmayı analizi yapılan yıllar itibari ile sektörel bazda incelediğimizde; çevrim sektöründe geliştirilebilir ekserji potansiyel miktarı %55 ile % 69 arasındadır. Konut-hizmet sektörü %88-94 aralığındaki değerler ile ekserji verimliliği en büyük geliştirilebilir potansiyele sahip sektör olarak ortaya çıkmaktadır. Sanayi sektörü enerji ve ekserji verimliliği en iyi sektör olmasına

rağmen burada da ekserji gelişim potansiyeli %56 ile %72 arasındadır. Kullandığı enerji girdisinin % 85' e yakın kısmını ithal eden taşımacılık sektöründe geliştirilebilir potansiyel miktarı %70 ile %90 aralığında hesaplanmıştır.

Tablo 1.1 Türkiye için Sektörel Bazda Yapılan Enerji ve Ekserji Kullanım Verimliliği Çalışmaları [24].

Yazarlar	Yıl/Yayın tarihi	Nüfus (*1000)	Toplam Enerji (Ekserji) Girişi (PJ)	Toplam Enerji (Ekserji) Çıkışı (PJ)	Kişi başına enerji ve ekserji kullanımı GJ/Kişi	Çevrim ϵ_1 (ϵ_2)	Konut – Hizmet ϵ_1 (ϵ_2)	Sanayi ϵ_1 (ϵ_2)	Taşımacılık ϵ_1 (ϵ_2)	Toplam ϵ_1 (ϵ_2)
Ünal – İleri	1991/1994	57 024	2275 (2279)	1029,5 (539,5)	39,90 (39,97)	33,8 (33,8)	55,00 (10,90)	63,20 (28,30)	10,00 (10,00)	45,30 (23,70)
Rosen – Dinçer	1993/1997	58 808	1645,2 (680,6)	680,6 (445,2)	27,98 (11,57)	44,89 (44,89)	68,25 (12,05)	67,70 (43,10)	22,39 (22,39)	41,40 (27,10)
İleri – Gütrer	1995-1998	59 706	2695,2 (2697,3)	938,9 (352,3)	45,14 (45,17)	35,56 (35,63)	55,49 (6,21)	57,59 (32,69)	14,99 (14,99)	34,90 (13,10)
Utlü-Hepbaşlı	1999/2004	66 022	3391,66 (3380,34)	1153,46 (499,61)	51,37 (51,20)	30,10 (30,28)	57,76 (8,12)	68,97 (35,97)	23,88 (23,80)	43,24 (24,04)
Utlü-Hepbaşlı	2000/2004	67 803	3527,33 (3469,62)	1250,03 (252,77)	53,42 (52,55)	30,11 (30,47)	57,05 (8,02)	68,81 (35,52)	23,71 (23,65)	44,91 (24,78)
Utlü-Hepbaşlı	2001/2003	68 820	3194,90 (3137,77)	1438,34 (781,44)	51,37 (51,20)	30,34* (30,86)	55,75 (8,98)	69,75* (36,45)	23,94* (23,78)	45,02 (24,96)
Utlü-Hepbaşlı	2002/2004	69 645	3527,2 (3469,62)	1623,21 (867,06)	50,64 (49,81)	30,95* (31,05)	55,58 (9,33)	68,95* (36,02)	24,02* (23,89)	46,02 (24,99)
Utlü-Hepbaşlı	2020/2005	85 554	12898,51 (12636,99)	7098,18 (3848,69)	150,76 (147,78)	36,22* (36,45)	65,53 (10,07)	72,23* (37,65)	28,75 (28,85)	55,15 (30,44)
Utlü-Hepbaşlı	2023/2003	88 172	15305,82 (15024)	8758,67 (4649,69)	173,58 (170,39)	38,11 (39,07)	65,77 (10,14)	74,48 (39,07)	29,02 (29,05)	57,22 (30,94)

ϵ_1 : Enerji kullanım verimliliği, ϵ_2 : Ekserji kullanım verimliliği, PJ, peta joule, GJ, gija joule

1.2 Termodinamik Kavramlar

Termodinamiğin temeli 1. ve 2. kanunda ifade edilmiştir. Birinci kanun enerji dönüşümü olarak tanımlanırken, 2. kanun materyallerin ve enerjinin niteliği olarak tanımlanmaktadır. Enerji, genellikle iş yada iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Oysa, bunun yerine, *enerji*; hareket yada *hareket* üretebilme kabiliyeti olarak tanımlanmalıdır. Bunun yanı sıra, *ekserji*; bir sistemden maksimum iş ya da iş yapabilme kabiliyeti olarak ifade edilmektedir. Enerji, bir proseste daima

korunabilirken, ekserji ise daima tersinir proseslerde korunabilmekte, gerçek proseslerde ise, tersinmezlikler nedeniyle tüketilmektedir [1].

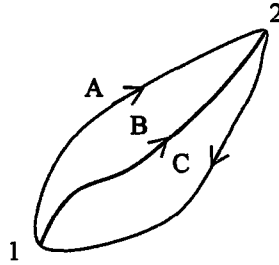
1.2.1 Termodinamiğin Birinci Kanunu [21]

Termodinamiğin Birinci Kanunu, bir sistemin herhangi bir çevrimi için, 'çevrim esnasında ısı alışverişi ile iş alışverişi (aynı birim sisteminde) birbirine eşittir, veya (farklı birimlerde) birbiri ile orantılıdır' şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade ispat edilemez, fakat yapılan deneylerle doğruluğu görülür. İngiliz fizikçisi James P. Joule (1818-1889) 1843 yılında oldukça hassas deneylerle ilk defa yukarıdaki ifadenin doğruluğunu göstermiştir. Sistemin çevrimi için, buna göre, termodinamiğin birinci kanunu aşağıdaki denklem şeklinde yazılabilir:

$$\oint \delta Q = \oint \delta W \quad (1.1)$$

burada $\oint \delta Q$ ve $\oint \delta W$ çevrim boyunca sırasıyla net ısı alışverişlerini ve net işi gösterir.

Sistemin herhangi iki hali (1 ve 2) arasında herhangi iki hal değişimi 1A2 ve 1B2 olsun (Şekil.1.1). 2C1 ise ilk hale dönülen herhangi bir hal değişimi olsun. Şimdi, 1A2C1 ve 1B2C1 çevrimlerine termodinamiğin birinci kanununu (1.1 denklemini) uygulayalım:



Şekil 4.1 Sistemin hal değişimleri

$$\int_{1A}^2 \delta Q + \int_{2C}^1 \delta Q = \int_{1A}^2 \delta W + \int_{2C}^1 \delta W \quad (1.2)$$

$$\int_{1B}^2 \delta Q + \int_{2C}^1 \delta Q = \int_{1B}^2 \delta W + \int_{2C}^1 \delta W$$

ikinci denklem birinciden çıkarılıp, sonra

$$\int_{1A}^2 (\delta Q - \delta W) = \int_{1B}^2 (\delta Q - \delta W) \quad (1.3)$$

şeklinde yazılabilir. 1A2 ve 1B2, aynı haller arasında herhangi iki hal değişimi olduğundan, $(\delta Q - \delta W)$ 'nin 1 ve 2 halleri arasındaki bütün hal değişimleri için aynı olduğu; diğer bir deyişle, yoldan bağımsız olduğu söylenebilir. Aynı ayrı δQ ve δW büyüklükleri yol fonksiyonu olmalarına rağmen, bunların farkı $(\delta Q - \delta W)$ nokta fonksiyonudur; tam diferansiyeldir. Böylece bunun bir özellik olduğu söylenebilir. Bu özellik sistemin enerjisidir ve E ile gösterilir. Sonuçta;

$$\delta Q - \delta W = dE \quad (1.4)$$

denklemini sonsuz küçük bir hal değişimi için yazılabilir. Bir hal değişimi için bu son denklemin integrali alınarak;

$$Q_{12} - W_{12} = E_2 - E_1 \quad (1.5)$$

sistemin bir hal değişimi için termodinamiğin birinci kanunu elde edilir. Burada E_1 ve E_2 sistemin ilk ve son hallerindeki toplam enerjileri; Q_{12} ve W_{12} , sıra ile, hal değişimi esnasındaki ısı ve iş alışverişleridir.

Termodinamikte enerjiyi, maddenin yapısına bağlı iç enerji (U), ve seçilen koordinat eksenleri ile ilgili potansiyel enerji (PE) ve kinetik enerji (KE) şeklinde ayırmak uygundur.

$$E = U + PE + KE \quad (1.6)$$

Buna göre (1.4 ve 1.5) denklemleri sırasıyla;

$$\delta Q - \delta W = dU + mg dz + mV dV \quad (1.7)$$

$$Q_{12} - W_{12} = U_2 - U_1 + mg(z_2 - z_1) + m \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \quad (1.8)$$

yazılabilirler.

Yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi, ister iç enerji olsun, isterse kinetik ve potansiyel enerjiler olsun, bunların mutlak değerleri hakkında herhangi bir bilgi verilmesine gerek yoktur. Esasında kimyasal reaksiyon olmayan işlemlerde keyfi referans sistemleri yeterlidir.

İç enerji (U) bağımlı bir özelliktir, çünkü sistemin kütesine bağlıdır. Birim kütlenin iç enerjisi (u) ve molar iç enerji (\bar{u}) bağımsız özelliklerdir.

Toplam entalpi;

$$H = U + PV \quad (1.9)$$

ve özgül entalpi

$$h = u + Pv \quad , \quad \bar{h} = \bar{u} + P\bar{v} \quad (1.10)$$

şeklinde tarif edilir.

Bazı hallerde termodinamik problemlerde sistemin bir andaki ısı alışverişi veya bir andaki iş alışverişinin (güç) bulunması istenebilir. Bu bakımdan termodinamiğin birinci kanununun aşağıda görüleceği gibi an denklemi şeklinde yazılması faydalıdır. Dengeli ortamlar termodinamiğinde zaman, hesaplamalarda birinci derecede rol oynamaz. An denklemi zamanla ilgili olduğundan gerçekte

dengeli ortamlar termodinamiğinden uzaklaşmakla beraber, an denkleminin elde edilmişinde klasik termodinamiğın kavramlarından hareket edildiğinden, termodinamik uygulamalarda an denklemi çok kullanılır. Ayrıca ileride açık sistemler için termodinamiğın birinci kanununun elde edilmesinde an denklemi kullanılacaktır.

Bir sistemin bir Δt zaman aralığında hal değışiminde enerjisinin değışimi ΔE , sistemin ısı alışverişı δQ ve iş alışverişı δW olsun. Birinci kanundan (1.4 denklemi),

$$\delta Q - \delta W = dE$$

yazılabilir. Δt ile bölüp Δt sıfıra giderken limit alırsak

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\delta Q}{\Delta t} = \dot{Q}, \text{ bir andaki ısı geçişı (ısıl güç)}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\delta W}{\Delta t} = \dot{W}, \text{ güç}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{dE}{dt}, \text{ Isıl güç - güç (an denklemi)}$$

O halde birinci kanun için an denklemi

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{dE}{dt} = \frac{dU}{dt} + \frac{d(KE)}{dt} + \frac{d(PE)}{dt} \quad (1.11)$$

1.2.2 Termodinamiğın İkinci Kanunu

Termodinamiğın birinci kanunu sistemin bir hal değışiminin mümkün olup olmayacağı hakkında herhangi bir açıklık getirmez. Buna karşılık termodinamiğın ikinci kanunu hal değışimlerinin ancak belirli bir yönde vuku bulacağı gerçeğini ifade eder.

İkinci kanunun ifadesine geçilmeden önce bazı kavramların açıklanmasına ihtiyaç vardır.

Isı kaynağı: Çevrede, üniform sıcaklıkta bulunan ısı çekebildiğimiz veya terk ettiğimiz bir kısımdır. Genel olarak ısı alışverişi ile kaynağın sıcaklığı değişmez. Ancak sonlu kapasiteli ısı kaynağında sıcaklık değişir. Birbirine göre daha sıcak olan kaynak sıcak ısı kaynağı, diğeri soğuk ısı kaynağı diye belirtilecektir.

Isı Makinesi: Bir termodinamik çevrime göre sürekli olarak çalışan, sıcak ısı kaynağından ısı alıp, soğuk ısı kaynağına ısı terk ederken belirli bir miktarda net pozitif iş yapan makinedir (şekil 1.2a).

Isı Pompası ve Soğutma Makinesi: Isı makinesi çevrimin tersi bir çevrime göre çalışan, dışarıdan iş yapılmasıyla soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına ısıyı nakleden makinelerdir. Benzer çevrime göre çalışmakla beraber, bir yerin ısıtılması (sıcak ısı kaynağına ısı verilmesi) veya soğutulması (soğuk ısı kaynağından ısı çekilmesi) söz konusu ise sırasıyla ısı pompası veya soğutma makinesi tabirleri kullanılır (şekil 1.2b).

Isı makinesi, ısı pompası ve soğutma makinesi çevrimlerinde kullanılan akışkana iş yapan akışkan denir. Çoğu zaman amonyak, freon gibi soğutma makinesinde kullanılan akışkanlara soğutucu akışkan da denir.

Isı makinesi, ısı pompası ve soğutma makinesinin iyilik dereceleri sırasıyla ısı verim (η), ısıtma tesir katsayısı (β') ve soğutma tesir katsayısı (β) ile belirtilir ve bunlar aşağıdaki genel şekilde tarif edilebilir.

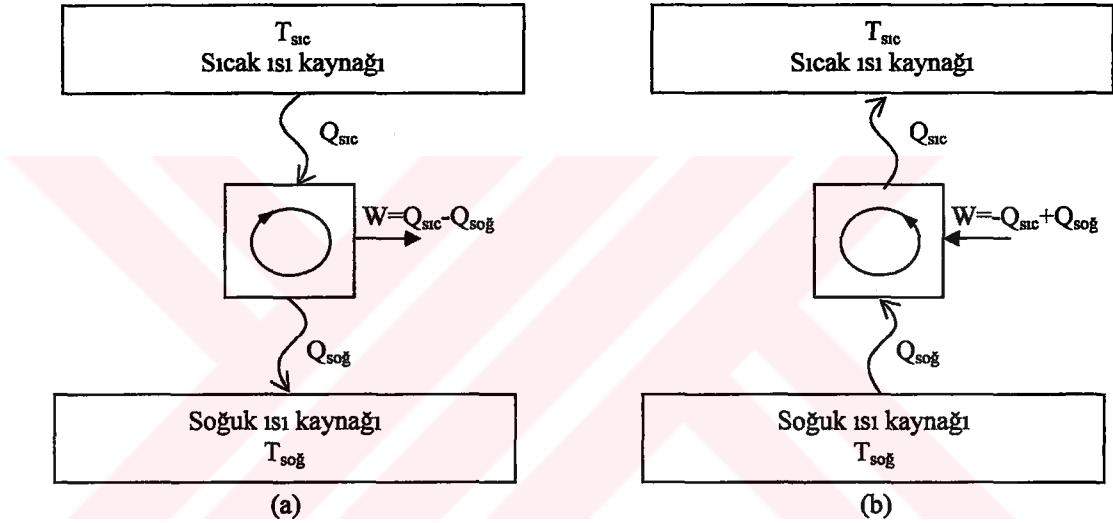
$$\left. \begin{array}{l} \eta \\ \beta' \\ \beta \end{array} \right\} = \frac{\text{maksadımız olan enerji}}{\text{kullanılan enerji}} \quad (1.12)$$

Maksadımız olan enerji, ısı makinesi için yapılan iş (W_{net}) ısı pompası için sıcak kaynağa verilen ısı (Q_{sic}) ve soğutma makinesi için soğuk kaynaktan çekilen ısı ($Q_{soğ}$); diğer taraftan kullanılan enerji, ısı makinesi için Q_{sic} , ısı pompası ve soğutma makinesi için W_{net} 'dir. Buna göre,

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{su}} = 1 - \frac{Q_{soğ}}{Q_{su}} \quad (1.13)$$

$$\beta' = \frac{Q_{su}}{W_{net}} = \frac{Q_{su}}{Q_{su} - Q_{soğ}} \quad (1.14)$$

$$\beta = \frac{Q_{soğ}}{W_{net}} = \frac{Q_{soğ}}{Q_{su} - Q_{soğ}} \quad (1.15)$$



Şekil 1.2 (a) Isı makinesi ve (b) ısı pompası

Burada şunu da belirtmek yerinde olur; atmosferik çevre ısı makinesi ve ısı pompası için soğuk ısı kaynağı, fakat soğutma makinesi için sıcak ısı kaynağıdır. Isı makinesi, ısı pompası ve soğutma makinesi ile ilgili bütün esaslar Tablo 1.2'de özetlenmiştir.

Kelvin-Planck ifadesine göre tek ısı kaynağından ısı çekmek suretiyle bunun tamamını işe çeviren bir ısı makinesi yapmak mümkün değildir.

Clausius ifadesine göre de çevrede hiçbir tesir bırakmaksızın ısıyı soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına nakleden bir ısı pompası (veya soğutma makinesi) yapmak mümkün değildir.

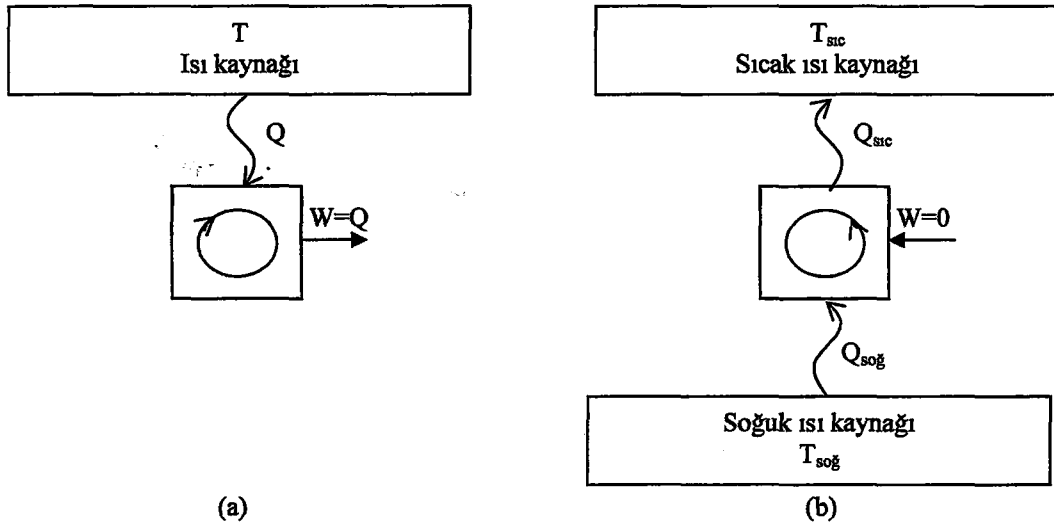
Tablo1.2 Isı Makinesi, Isı Pompası ve Soğutma Makinesinin
İyilik Dereceleri ile ilgili Esaslar

	ISI MAKİNESİ	ISI POMPASI	SOĞUTMA MAKİNESİ
İyilik derecesi	Verim= η	ITK= β'	STK= β
Maksadımız olan enerji	W_{net}	$Q_{sıc}$	$Q_{soğ}$
Kullanılan enerji	$Q_{sıc}$	W_{net}	W_{net}
Sıcak ısı kaynağı	Isı üreticisi	Isıtılan yer	Atmosferik çevre
Soğuk ısı kaynağı	Atmosferik çevre	Atmosferik çevre	Soğutulan yer

Bu ifadelerle ilgili olarak şu iki husus belirtilebilir;

- Her iki ifade de negatif ifadelerdir, ispat edilemezler fakat deneylerle doğrulukları görülmüştür,
- Her iki ifade birbirine denktirler. Clausius ifadesine uymayan bir makine Kelvin-Planck ifadesine de uymaz veya Kelvin-Planck ifadesine aykırı olan bir makine Clausius ifadesine de aykırıdır.

Şekil 1.3'de Kelvin-Planck ifadesine ve Clausius ifadesine aykırı makinelerin şemaları görülmektedir.



Şekil 1.3 (a) Kelvin-Planck ifadesine, (b) Clausius ifadesine
Aykırı makinelerin şemaları

Bir hal değişiminden sonra sistem çevrede hiçbir etki bırakmaksızın başlangıçtaki haline dönebiliyorsa, bu hal değişimi tersinirdir.

Tersinmezliğe sebep olan birçok faktör vardır. Bunların en önemlileri;

- 1- Sürtünme
- 2- Sonlu basınç farkında genişleme
- 3- Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi
- 4- Farklı iki maddenin karışımı
- 5- Yanma vs.

Tersinir bir hal değişiminde termodinamik denge halinden sapmalar sonsuz küçük mertebededir ve hal değişimi sonsuz küçük hızda vuku bulur. Gerçek işlemlerin belirli bir hızda meydana gelmesi istenir, bu yüzden gerçek hal değişimleri herhangi bir mertebede tersinmezdir. Denge halinden sapma büyüdükçe tersinmezlik de büyür ve hal değişimi daha çabuk vuku bulur.

Termodinamiğin ikinci kanununa göre hiçbir ısı makinesinin verimi % 100 olamaz. Verilen iki ısı kaynağı arasında çalışan bir ısı makinesinden elde edilecek maksimum verimi bulmak için bütün hal değişimlerinin tersinir (çevrim içinde ve dışında) olduğu bir çevrime ihtiyaç vardır, buna Carnot çevrimi denir. Bütün hal değişimleri tersinir olduklarından çevrim ters yönde de çalıştırılabilir ve buna ters Carnot çevrimi (tersinir soğutma çevrimi) denir.

Carnot çevrimi iş yapan akışkan ne olursa olsun ikisi sabit sıcaklıkta tersinir ve ikisi de tersinir adyabatik olmak üzere dört hal değişiminden meydana gelir. Çevrimde, sıcak ve soğuk ısı kaynakları ile ısı alışverişlerinde iş yapan akışkan sabit sıcaklıkta kalır.

Termodinamiğin ikinci kanunundan faydalanarak Carnot çevriminin verimi ile ilgili olarak aşağıdaki iki önemli netice elde edilir;

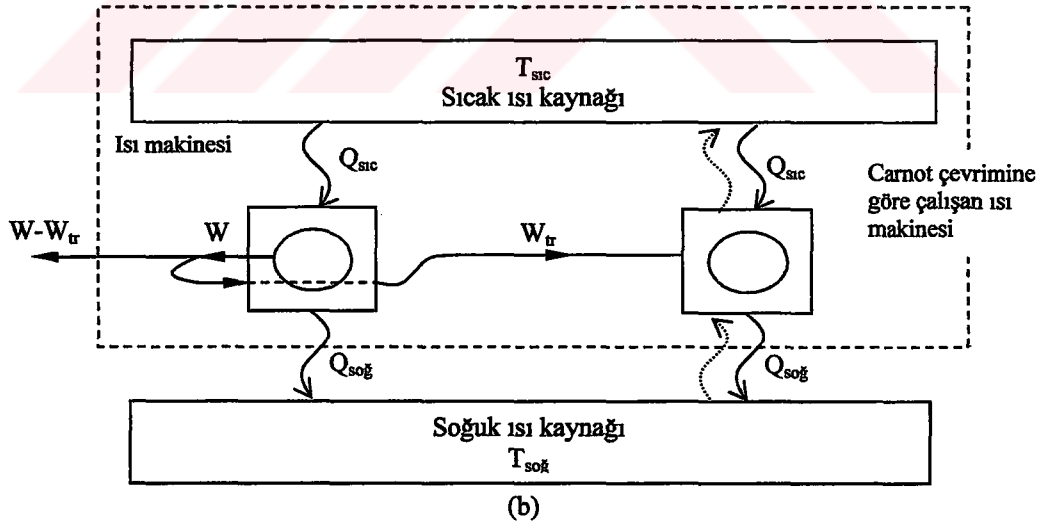
a- Verilen iki ısı kaynağı arasında çalışan ve verimi aynı ısı kaynakları arasında çalışan tersinir çevrim veriminden büyük olan bir ısı makinesi yapmak mümkün değildir.

Herhangi bir ısı makinesinin Carnot çevrimine göre çalışan ısı makinesinin veriminden büyük olduğunu farzedelim. Her ikisi de sıcak ısı kaynağından aynı $Q_{sıc}$ ısılarını aldıklarından;

$$W > W_{tr}$$

olur (Şekil 1.4). Verimin küçük olduğu farz edilen tersinir ısı makinesi, tersine ısı pompası gibi çalıştırılırsa, soğuk ısı kaynağını kullanarak $W - W_{tr}$ işini yapan bir ısı makinesi elde edilir ki, bu Kelvin-Planck ifadesine aykırıdır. O halde ilk kabul doğru değildir.

b- Aynı iki ısı kaynağı arasında tersinir çevrime (Carnot çevrimine) göre çalışan ısı makinelerinin verimleri birbirine eşittir.



Şekil 1.4 Aynı ısı kaynakları arasında çalışan ısı makineleri

Bu neticelerden de, tersinir çevrimin veriminin iş yapan akışkanın cinsine ve özelliklerine bağlı olmadığı ve sadece ısı kaynaklarının sıcaklıklarına bağlı olduğu söylenebilir.

1.2.3 Enerji ve Ekserji

Günümüzde birincil enerji kaynaklarının sınırlı olması ve enerji maliyetlerinin hızla artmasından dolayı termal sistemlerde enerji kayıplarının belirlenmesinde ekserjetik analizler büyük önem kazanmıştır. Ekserjetik analizde, maddenin korunumu, enerjinin korunumu ve Termodinamiğin 2. kanunu kullanılmaktadır [7]. Enerji, genellikle iş ya da iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Bunun yerine, hareket ya da hareket üretme yeteneği olarak da tanımlanmalıdır. Bu, şüphesiz daha az belirgindir, ama daha fazla doğru tanımlamadır. Başka bir bakış açısından, yani enerji verimliliği açısından enerji; yaşamı konforlu kılan ekonomik bir değerdir [7]

Diğer enerji türlerine dönüştürülebilirlik özelliği enerjinin değer ölçüsü olarak alınır, çeşitli enerji türleri üç ayrı grupta toplanmaktadır.

a- Diğer enerji türlerine sınırsız veya tamamen dönüştürülebilir enerji (örneğin mekanik enerji, elektrik enerjisi, potansiyel enerji, kinetik enerji vb.),

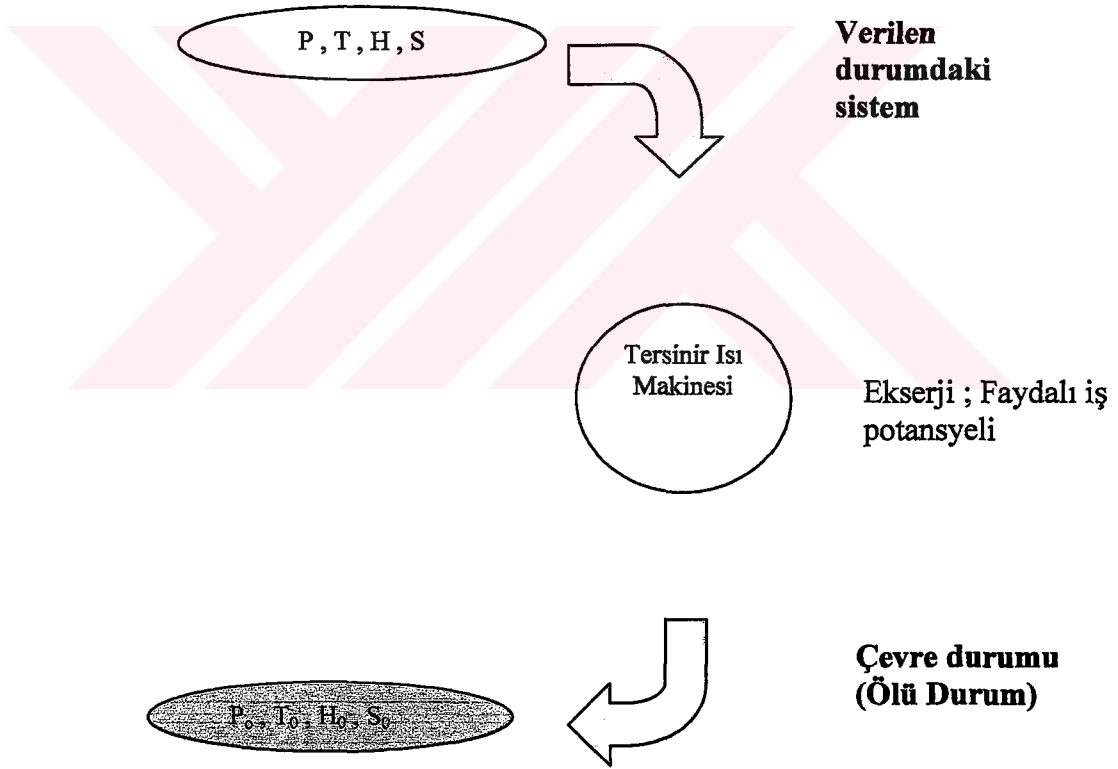
b- Diğer enerji türlerine sınırlı (kısmen) dönüştürülebilir enerji (örneğin iç enerji, ısı enerjisi vb.),

c- Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi imkansız enerji (örneğin çevrenin iç enerjisi vb-) [8]

Enerjinin bir başka enerjiye tamamen dönüşen kısmına ekserji denir. Ekserji kelimesi Yunanca ex (dış) ve ergon (kuvvet ve iş) kelimelerinden türetilmiştir. Aşağıda daha [9] geniş kapsamlı olarak ele alınacağı gibi, ekserji; enerji, çevre ve sürdürülebilir gelişmenin bir karışımı olarak karşımıza çıkar. Ekserji, en kısa ifade ile, kullanılabilir enerji şeklinde tanımlanmaktadır. Ekserji aynı zamanda, verilmiş bir durumda bütün diğer enerji türlerine dönüştürülebilir enerji miktarının bir ölçüsü de olmaktadır. Ekserji, maksimum iş (düzenli hareket) ya da iş üretebilme kabiliyetidir. Hareket, sık sık belirli bir yönü olmayan, yani anlamsız işler [1]. Başlangıçta ekserji, tamamen başka bir enerjiye dönüşen enerji oranını göstermektedir. Günümüzde ise

ekserji, verilen şartlardaki bir sistemin, çevresi (ölü hal) ile aynı şartlara getirilmesi sonucu elde edilebilecek maksimum iş potansiyeli şeklinde tanımlanmıştır[10].

Ölü hal: Bir sistemin ölü hal olması çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü halde iken sistem çevre sıcaklığında ve basıncındadır. Yani çevreyle ısıl ve mekanik dengededir. Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır. Sistem ölü halde iken çevre ile kimyasal reaksiyona girmez. 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.



Şekil 1.5 Verilen durumla çevre arasında çalışan tersinir bir ısı makinesinin gösterimi [11]

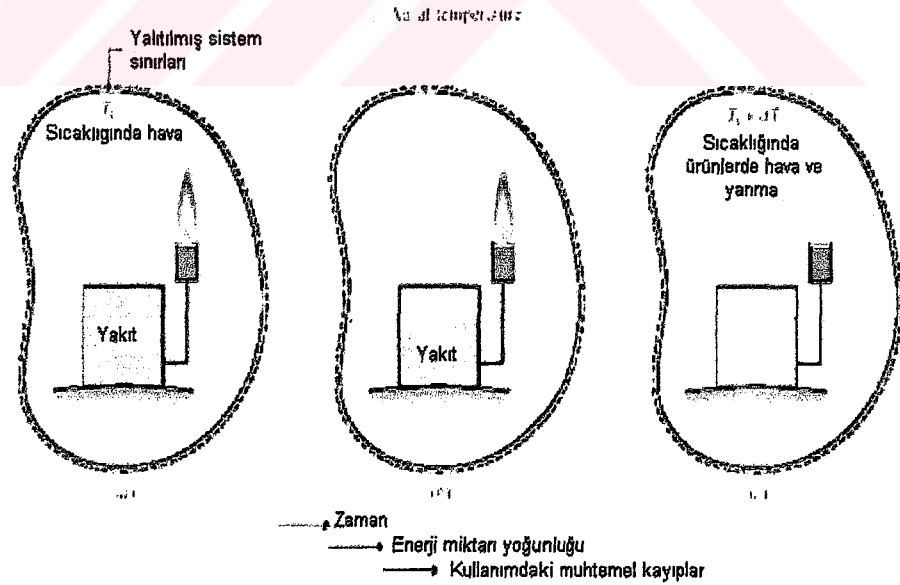
Ekserji bir sistemde iş yapabilme yeteneğini ifade etmektedir. Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi olanak dışı olan enerjiye kullanılmaz enerji, bağıl enerji ya da

anergi adı verilmektedir. Dolayısıyla bütün enerji türleri için en genel bir ifade şöyle yazılabilir [4],

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji} \quad (1.16)$$

Elektrik enerjisi ve mekanik enerji gibi enerji türlerinin anergi bölümü sifira eşittir. Aynı şekilde çevrenin iç enerjisinin tamamı anergi olduğu için çevre enerjisinin ekserjisi de sifira eşit olmaktadır [12]. Bu tanımlardan hareketle Termodinamiğin I. ve II. kanunu ekserji kapsamında kısaca şöyle ifade edilebilir; I. Kanun; bütün termodinamik süreçlerde anergi ve ekserjinin toplamı sabit kalır, II. Kanun ise; tersinir süreçlerde ekserji sabit kalır, yani tersinmez süreçlerde ekserjinin bir kısmı veya tamamı anerjiye dönüşür veya anergi ekserjiye dönüşmez şeklinde ifade edilebilir, Bu ifadeler ışığında ve aşağıdaki Şekil 1.6 dikkate alınarak ekserji için şöyle bir matematiksel denklem yazılabilir;

$$E = E_k + E_p + E_{ph} + E_{ch} \quad (1.17)$$



Şekil 1.6 Ölüm durumunda sistemin çevresi ile termodinamik denge hali

Potansiyel ve kinetik ekserjiler, sırasıyla, potansiyel ve kinetik enerjilere eşittir. Ekserji mühendislik bilminde şu iki temel konuyu da kapsamaktadır. Bunlar çevre ve ekonomi[13]. Ekserji, eko teknolojik bakımdan şu üç temel kavram kapsamında ele alınmaktadır;

- a. Minimum çevresel etki, maksimum enerji ve enerji kaynaklarının ideal koşullarda işletileceği teknolojiler,
- b. Çevreyi kirletme potansiyelleri yüksek olan maddelerin çevresel davranışları,
- c. Çevresel değerlendirme, enerji ve toplum güvenliği [14].

Yukarıdaki temel ekserji konseptlerine bakarak ekserjinin termodinamik bir potansiyel olduğu, iş yapabilme ve kullanılabilir enerjinin bir ölçütü olduğu söylenebilir [15].

Teknik iş yapma kapasitesi olarak da tanımladığımız Ekserji sadece faydalı enerji düşüncesinden oluşmamakta aynı zamanda çevreyi kirleten enerji kaynaklarının tüketiminin azaltılması ve yeni çevre dostu enerji kaynaklarının kullanıma sunulması gibi konuları da kapsayan çok önemli bir mühendislik yaklaşımıdır [16].

Termodinamik bakış açısından ekserji; bir referans çevreyle denge haline gelirken, bir sistem ya da madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak, değişime neden olan akış ya da sistemin potansiyelinin bir ölçüsüdür. Ekserji sistemde her zaman mevcuttur, negatif olamaz, ekserji muhafaza edilemez ancak dönüşümlerle kaldırılabilir. Ekserji kavramında, çevrenin tanımlaması mutlak bir özelliktir.

Enerjiden farklı olarak, ekserji; korunum yasasına uğramaz (ideal veya tersinir prosesler hariç olmak üzere). Ekserji daha çok, gerçek proseslerdeki tersinmezlikler nedeniyle, tüketilir ya da yok edilir. Bir proses boyunca ekserji tüketimi, prosesle ilişkili tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan entropiyle orantılıdır. Enerji ve ekserji kavramları, Tablo 1.3' de açık olarak kıyaslanmaktadır [1].

Enerji ile ekserji kıyaslandıktan sonra, kullanılabilir maksimum enerji analizi olarak da tanımlanan ekserji analizi yapmanın önemini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz [1]:

- a. Enerji kaynakları kullanımının çevreye olan etkilerinin en iyi şekilde belirlenmesinde ana bir araçtır.
- b. Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.
- c. Daha fazla verimli kaynak kullanılma amacını destekleyen uygun bir tekniktir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerleri, tipleri ve gerçek büyüklükleri ortaya çıkarılır.
- d. Mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemlerini tasarlamının nasıl mümkün olup- olamayacağını gösteren etkin bir tekniktir.
- e. Sürdürülebilir gelişmenin elde edilmesinde anahtar bir bileşendir.
- f. Enerji politikaların oluşturulmasında kullanılacak önemli bir araçtır.

Ekserji analizi, bir sistemin enerji analizinden farklıdır. Ekserji analizinin sonuçları, genellikle, bir sistemdeki proseslerin gerçek enerji kullanılabilirliklerini

ortaya çıkarılmasını sağlar. Bu yüzden, ekserji analizi, sistemlerin analizinde önemli bir araçtır. Çünkü, bir sistemdeki proseslerin daha fazla anlamlı ve duyarlı gösterilmesini sağlamak için göz önüne alınmaktadır [1].

1.2.5 Fiziksel Ekserji

Çevrenin P_0 basıncında ve T_0 sıcaklığında olduğu durumlarda, P basıncı ve T sıcaklığı sisteme giriş durumlarında, madde veya cisimler tersinir proseslerden elde edilebilir iş olarak adlandırılır. Verilen herhangi bir durumdaki sistemin fiziksel ekserjisini Şekil 1.7'de T-S diyagramında gösterilmiştir [8].

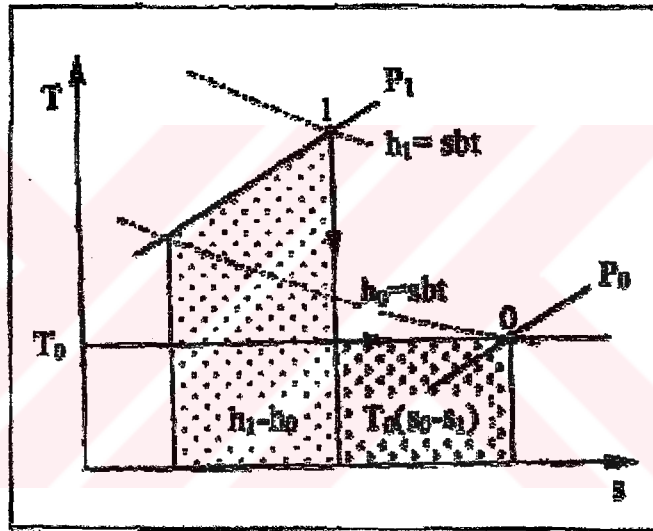
Tablo 1.3. Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması [1]

Enerji	Ekserji
Sadece madde yada enerji akış parametrelerine bağlıdır ve çevresel parametrelere bağlı değildir.	Madde veya enerji akışı ve çevresel parametrelerin her ikisine bağlıdır.
Sıfırdan farklı değerleri vardır (Einstein'ın bağıntısına göre, mc^2 ye eşittir).	Sıfıra eşittir (Çevreyle dengede olarak ölü durumda)
Tüm prosesler için termodinamiğin 1. Yasasıyla gösterilir.	Sadece tersinir prosesler için termodinamiğin birinci yasasıyla gösterilir (Tersinmez proseslerde, kısmen yada tamamen yok olur).
Tüm prosesler için termodinamiğin ikinci yasasıyla sınırlıdır (tersinir olanlar da dahil).	Termodinamiğin ikinci yasası nedeniyle tersinir prosesler için sınırlı değildir.
Hareket yada hareketi üretme kabiliyetidir.	İş yada iş üretme kabiliyetidir.
Bir proseste her zaman korunur; ne vardan yok olur, ne de yoktan var edilir.	Tersinir proseslerde her zaman korunur, ama tersinmez proseslerde her zaman tüketilir.
Miktarın (niceliğin) bir ölçüsüdür.	Niceliğin ve entropi nedeniyle niteliğin (kalitenin) bir ölçüsüdür.

Herhangi durumdaki sistemin fiziksel ekserjisi Şekil.1.7'den de görüleceği gibi,

$$E_{ph} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (1.18)$$

Burada H, entalpidir ve S= entropidir. Fiziksel ekserji bir termal(ısı) ve bir basınç parçaları içerisinde paylaşılabilmektedir ve mekanik parçalar olarak adlandırılmaktadır şeklinde ifade edilebilir. Ayrıca verilen iki durum arasındaki sistemin fiziksel ekserji farkı Şekil 1.8'de T-s diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 1.7 Verilen bir durumda sistemin fiziksel ekserji farkı [8]

Bir sistemde iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı Şekil 1.8'den;

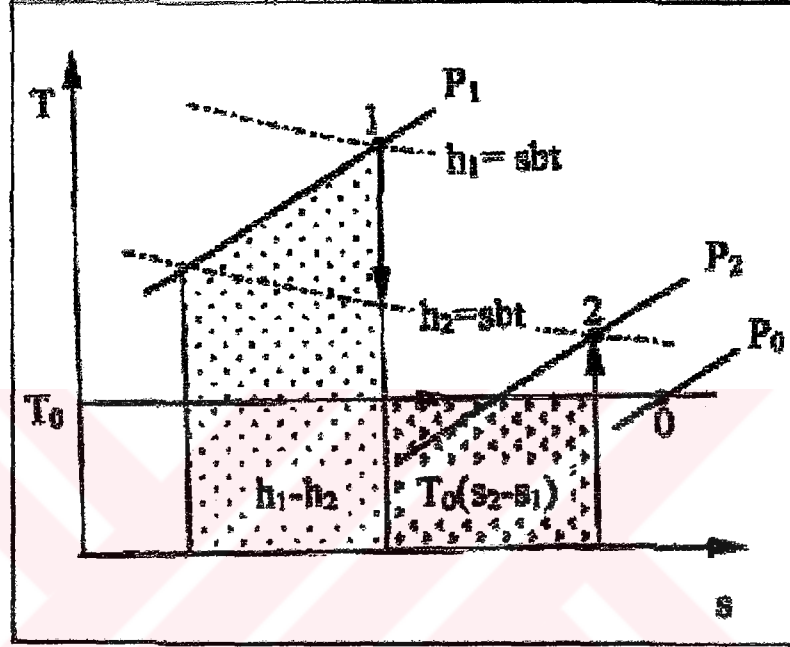
$$E_{ph1} - E_{ph2} = (h_1 - h_2) - T_0 (S_1 - S_2) \quad (1-19)$$

yazılabilir. Fiziksel ekserji aşağıda gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır.

$$E_{ph} = E_{\Delta t} + E_{\Delta p} \quad (1-20)$$

Denklem (1-20)'deki birinci terim, fiziksel ekserjinin termal bileşeni olup sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_{\Delta T} = \left[- \int_{T_1}^{T_0} \frac{T - T_0}{T} dh \right] \quad (1-21a)$$



Şekil 1.8 Verilen iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı [8]

Denklem (1-20) 'deki ikinci terim ise, basınç bileşeni olup basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Basınç bileşeni aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_{\Delta P} = T_0 (S_0 - S_1) - (h_0 - h_1) \quad (1-22)$$

İdeal Gazların Fiziksel Ekserjileri: Herhangi durumda ve ideal gazdan oluşan sistemin fiziksel ekserjisi Denklem (1-23)'dan hesaplanabilir. (1.18)'de mükemmel gaz kanunları kullanılarak ve sabit özgül izobarik ısı kapasitesi C_p alınarak, [7]

$$E_{ph} = C_p \left\{ (T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right\} + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (1-23)$$

şeklinde hesaplanabilir.

1.2.6 Kimyasal Ekserji

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

Uygun bazı çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Standart kimyasal ekserjiler standart çevre (ölü hal) sıcaklığına ($T_0=25\text{ }^\circ\text{C}$, 298.15K) ve basıncına ($P_0=1\text{ atm}$) bağlıdır. [12]

Referans maddeler genellikle üç grupta toplanmıştır;

- Atmosferdeki gaz bileşenler,
- Litosferdeki katılar
- Deniz, okyanuslardaki iyonik ve iyonik olmayan maddeler.

Tablo 1.4'de bazı maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri gösterilmiştir[12] .

Tablo 1.4 Bazı maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri [12]

Madde	Faz	Mol Ağırlığı (kg/kmol)	Standart Kimyasal Ekserji (kJ/kmol)
Ag	Katı	107.8	73730
Al ₂ O ₃	Katı	101.9	204270
CO ₂	Gaz	44	20140
H ₂ O	Gaz	18	11710
H ₂ O	Sıvı	18	3120
CH ₄	Gaz	16	836510
C ₈ H ₁₈	Sıvı	114	5440030

Termal sistemlerin çoğu, gaz karışımları içermektedir. Özellikle yanma ve kimyasal proseslerin ekserji analizlerinde gaz karışımları ön plana çıkmaktadır. Bundan dolayı, gaz karışımlarının ekserjilerinin bilinmesi önem arz etmektedir.

Kimyasal ekserji yalnız çevre ile parçaların değişimi ve ısı transferi içeren prosesler tarafından referans durumlarında T_0 ve P_0 parametreleri ile tanımlanan parçalar göz önünde bulundurulmuş şartlar altında çevreden getirilen elde edilebilir işin maksimum değerine eşittir.

Referans gazların kimyasal ekserjilerinin hesaplamaları için atmosferin referans durumlarını, standart basınçta parçalardan elde edilen iş, referans durumların kısmi basıncı olarak tanımlanmaktadır. Bu durum aşağıdaki formülle elde edilir.

$$e_{ch} = RT_0 \ln \frac{P_0}{P_{00}} \quad (1.24)$$

Burada P_{00} referans durumlarda parçaların kısmi basınçlarıdır. Referans olmayan saf bileşenlerin kimyasal ekserjisi sıralanan formülle tanımlanabilmektedir.

$$e_{ch} = -\Delta G_0 - \sum_i x_i^{in} e_{ch,i}^{in} + \sum_i x_i^{out} e_{ch,i}^{out} \quad (1.25)$$

ΔG_0 oluşumun Gibbs fonksiyonudur. ΔG_0 , genel bağıntıdan hesaplanabilmektedir.

$$\Delta G_0 = \sum_{prod} V_k \Delta_{gk} - \sum_{reac} V_j \Delta_{gj} \quad (1.26)$$

Burada v_k , v_j ve Δ_{gk} , Δ_{gj} sırasıyla oluşumun stokiyometrik etkileri ve Gibbs fonksiyonudur. J , J -th(thermal)-co(soğutma) etkisidir ve k , k -th(ısı) üretimdir. Karışımların kimyasal ekserjisi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$e_{chmix} = \sum_{i \in ch} e_{ch,i} + RT_0 \sum_{i \in ch} \ln \gamma_i x_i \quad (1.27)$$

Burada x_i , i-th bileşenlerinin mol parçasıdır. R molar gaz sabitidir ve γ_i etkinlik (coefficient) çalışması ideal çözümlerde coeffectif çalışması (durumu) 1'e eşittir.

Birçok yakıt kimyasal parçalar için bilinmezdir. Bu yakıtlar için kimyasal ekserji problem olarak üstesinden gelmektedir. Net yanma değerinin temeli üzerinde tahmin edilebilmektedir.

NCV (net yanma değeri) ile kimyasal ekserji arasındaki ilişki ;

$$e_{ch} = \phi.NCV \quad (1.28)$$

Burada ϕ atomik bileşenler üzerinde formüle edilerek hesaplanabilmektedir. Fuel oil ve petrol için nitelik faktörü ϕ 1.04 ve 1.08 arasındadır.

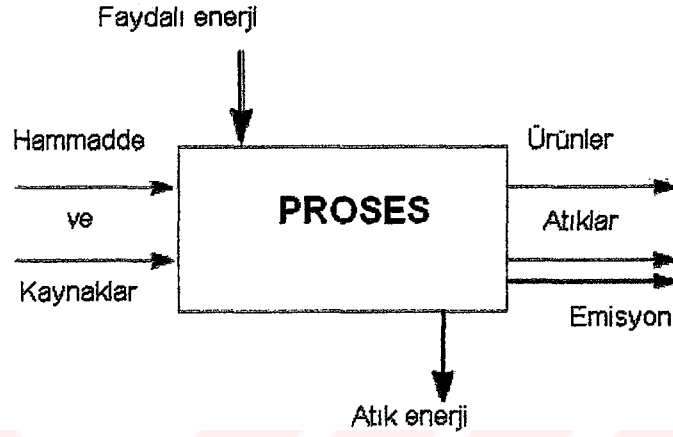
1.2.6 Tersinmezlik (Ekserji Kaybı)

Enerji analizi termodinamiğin 1. kanunu üzerine kurulmuştur. Enerjinin tüm formları bu eşitlik üzerinde göz önünde bulundurulmaktadır. Enerji niteliğinin kayıpları önemsizdir. Örneğin ısı enerjisinin niteliğindeki değişiklik onun yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa transferi, enerji analizi ile gösterilemez. Bu durum enerji akışı sürekliliğidir. Bir ekserji analizi termodinamiğin 1. ve 2. kanunları üzerinde temel alınmıştır. Bir prosesin termodinamik etkinliğini gösterir. Enerjisinin ve materyallerin tüm nitelik kayıplarını içerir.

Bir enerji balansı termodinamiğin 1. kanununda ifade edilmiş ve her zaman kapalıdır. Burada bir enerji kaybı yoktur. Yalnızca çevreye enerji transferi vardır. Bundan dolayı enerji balansı kullanışsızdır. Saptanan ve nitelenen tersinmezliklerin ekserji analizi ile belirlenmiştir..

Tersinmezlik, ekserjinin yok oluşu veya ekserji kayıpları olarak adlandırılmaktadır. Ekserji balansı kurularak ve tüm giren ve çıkan ekserji arasındaki farklılıklardan elde edilir veya formüller ile bulunur.

$$I = \sum_{in} E_i - \sum_{out} E_j \quad (1.29)$$



Şekil 1.9 Endüstriyel proses akış şeması

Tersinmezlikleri hesaplamının başka bir yolu “Gouy-stodola” tarafından yapılmıştır. Burada, entropi artışları çevresel sıcaklık tarafından katsayılandırılarak formüle edilir.

$$I = T_0 \left(\sum_{out} S_j - \sum_{in} S_i \right) = T_0 \cdot \Delta S \quad (1.30)$$

1.2.7 Ekserji ve Ekserji Verimliliği

Sabit durumlar için ekserji verimliliğinin 3 tanımı vardır.

a. Toplam çıkış ekserji akışının, toplam giren ekserji akışına oranıdır.

b. Ekserji verimliliğinin ikinci formu rasyonel verimlilik olarak adlandırılır. Kotas (1995) tarafından tanımlanmıştır. İstenilen (arzu edilen) ekserji çıkışının kullanılan ekserjiye oranıdır.

c. Son ekserji verimliliği Kostanka tarafından açıklanmış ve Brodyansky tarafından geliştirilmiştir. (Sorin and Le Goff, 1994) Bu form toplam çıkan ekserji akışının, ekserjinin dönüştürülemeyen parçalarından çıkarılmasının, toplam giren ekserji akışının ekserjinin dönüştürülemeyen parçalarından çıkarılmasına oranıdır.[17]

Ekserji verimliliğinin değerlendirilmesinde esas alınan ölçüt ; ünitelerin veya farklı proseslerin performanslarının karşılaştırılmasını zorunlu kılmıştır. Bunun amacı ekserji analizinde temel performansların kullanım kriterlerine karar vermektir. Bu genel olarak ekserjetik verimliliği olarak bilinmektedir. Bu türün ölçütü üretim proseslerinin farklı türlerinin performanslarının karşılaştırılmasında kullanılabilir.

Ekserjetik verimliliği verilen bir fabrikadaki farklı proseslerin termodinamik yeterliliğin derecesinin karşılaştırılmasında kullanılabilir.

Fabrikaların ve fabrika üretim ünitelerinin ekserjetik verimlilik hesaplamalarına ilave olarak, bu ölçüt tersinmezlik oranlarının hesaplamalarında kullanılmaktadır.

Ekserjetik verimliliğin temel formu basit verimlilik formülüdür. Bu verimliliğin temel formülü, giren ve çıkan akışkanların ekserji balansının (dengesinin) kurulmasıdır.

Burada \dot{I} tersinmezliktir.

$$\dot{E}_m = \dot{E}^{out} + \dot{I} \quad (1.31)$$

Basit verimlilik toplam çıkış ekserji akışının, toplam giren ekserji akışına oranıdır.

$$\eta = \frac{\dot{E}_{out}}{\dot{E}_{in}} \quad (1.32)$$

Bu tanımlama tüm proses fabrikalarında ve ünitelerinde kullanılabilir. Giren ekserji akışının, tüm parçalardan diğer parçalara transfer edildiği zaman sistemin termodinamik yeterliliğinin iyi bir görünümünü verir. Örneğin; güç istasyonlarında böyle bir durum yoktur. Transfer edilmeyen parçalar, fabrikaların proses veya ünitelerin performansında yanlış bir etki verir. Basit (temel) verimliliğin duyarlılığı; transfer edilmeyen parçaların nitelik artışları ile fabrika proseslerinde veya ünitelerindeki azalması ile değişir [19].

Ekserjetik verimliliğin bu formu “rasyonel verimlilik” olarak adlandırılmaktadır. Arzulanan (istenilen) ekserji çıkışının kullanılan ekserjiye oranı olarak (Katos 1995) tarafından tanımlanmıştır [12].

$$\Psi = \frac{\dot{E}_{desiredoutput}}{\dot{E}_{used}} \quad (1.33)$$

$\dot{E}_{desiredoutput}$ sistemden transfer edilen ekserjilerin toplamıdır. Ayrıca her ürün sistem tarafından üretilmektedir. Arzulanan (istenilen) çıkış sistem fonksiyonlarının denemeleri yolu ile belirlenmiştir. Arzulanan çıkışın sürekliliğine dikkat edilmelidir.

\dot{E}_{used} proses için gerekli olan ekserji girişi olarak sunulmuştur. Eğer $\dot{E}_{desiredoutput}$ ve \dot{E}_{used} bir kontrol yüzeyi ilişkisinde doğru tanımlanırsa, ortaya çıkan tüm tersinmezliklerin tamamı, göz önünde bulundurulmuş proseslerle ilgilidir. Bundan sonra bu tersinmezliklerin tamamı tüm ekserji transferi için önemlidir. Bir başka deyişle, ekserji balansında hiç ekserji transferi olamaz, bu durum ne \dot{E}_{used} ne de $\dot{E}_{desiredoutput}$ içermez. Fakat ekserji transferleri mevcuttur. Ekserji transferlerindeki eksiklik harici tersinmezliklerin sonucudur. Ancak bu durum hesaba katılmaz.

Böylece aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\dot{E}_{used} = \dot{E}_{desiredoutput} + \dot{I} \quad (1.34)$$

rasyonelliğin alternatif formu elde edilebilir. [18]

$$\Psi = 1 - \frac{\dot{I}}{\dot{E}_{used}} \quad (1.35)$$

rasyonel verimlilik, her sistem için kullanılabilir. Çünkü, elde edilemeyen üretim bu yolla belirlenmektedir.

Geçişli ekserji verimliliği Kostenko tarafından açıklanmıştır ve Brodyansky, Sorin ve Lee Goff (1994) tarafından daha da geliştirilmiştir. Verimliliğin bu formu basit verimliliğin üzerinde bir gelişmedir. Çünkü giren ve çıkan akışkanlardan, transfer edilmeyen parçalar çıkarılır. Verimlilik; geçişli ekserji ile aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. [17]

$$\eta_e = \frac{\dot{E}_{out} - \dot{E}_t}{\dot{E}_{in} - \dot{E}_t} \quad (1.36)$$

Burada \dot{E}_t geçişli ekserjidir. 1994 yılında (Sorin) tarafından açıklanmıştır. [17] Geçişli ekserji, ekserjinin bir parçası olarak göz önünde bulundurulmalıdır ki bir sistemde termal ve kimyasal etkisini göstermektedir.

1.2.8 Ekserji ve Ekonominin Birlikte Değerlendirme Yöntemleri

Ekonomik analizlerin performansları için bir çok YÖNTEM, ekserji esas alınarak geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Bu yöntemler, aşağıdaki isimler altında tanımlanır:

- a. Termoekonomik analiz,
- b. 2. yasa maliyet analizi,
- c. Ekserjik-ekonomik analiz.

Ekserji-ekonomi araştırmacısı Tsatsaronis [1], zor ve karmaşık yapıya sahip ekserji-ekonomi yöntemlerini dört ana grupta toplamıştır.

- a. Ekserji-ekonomi maliyet hesabı,
- b. Ekserji-ekonomi hesap analizi,
- c. Ekserji-ekonomi benzerlik sayısı ve
- d. Üretim / maliyet verimlilik diyagramlarıdır.

Bu teknikler bir sistemin, işletilmesi ve tasarımıının optimize edilmesine ve ekonomik kaynakların doğru tahsisinde yardımcı olur. Bir sistemin karlılığı, ekonomik fizibilitesinin en yüksek düzeyde doğrululuğunun sağlanmasıyla mümkündür [1].

1.3 Hava Kirliliği Ölçümleri, Standartları

Hava Kalitesinin Korunması yönetmeliği 02.11 1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiş olup sekiz bölümden oluşmakta olup, bu yönetmelikte;

- | | |
|----------|---|
| 1. bölüm | kanuni dayanak, amaç, kapsam, istisnalar, tanımlar |
| 2. bölüm | hava kalitesi sınır değerleri, izne tabi tesisler için sınır değerler |
| 3. bölüm | izne tabi tesisler, izin alma, izne tabi olmayan tesisler |
| 4. bölüm | emisyonun tespiti ve sınırlanması |
| 5. bölüm | taşıtlar |
| 6. bölüm | hassas kirlenme bölgelerinin korunması ve temiz hava planları |
| 7. bölüm | müşterek hükümler |
| 8. bölüm | son hükümler |

tanımlanmaktadır.

Hava Kalitesi Sınır Değerleri; insan sağlığının korunması, çevrede kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için, atmosferdeki hava kirleticilerinin bir arada bulduklarında, değişen zararlı etkileri de göz önüne alınarak tespit edilmiş konsantrasyon birimleri ile ifade edilen seviyelerdir.

Bunlar;

- Uzun Vadeli (1 yıllık) Sınır Değer (UVS): Bir yıl içinde aşılmaması gereken, tüm ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalamasıdır.
- Kısa Vadeli (24 saatlik) Sınır Değer (KVS): 24 saatlik ortalamalar veya bir yıl içinde bütün ölçüm sonuçlarının sayısal değerlerinin büyüklüklerine göre sıralandığında ölçüm sonuçlarının % 95'ini aşmaması gereken değerdir.
- UVS ve KVS için verilen süreler genellikle 1 yıllık dönemleri kapsamaktadır.

Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri; Ekim –Mart kış döneminde ısınmadan kaynaklanan hava kirleticilerinin yerleşim bölgelerinde yapılan ölçümlerinin ortalama değerleridir.

Tablo 1.5 Kısa Vadeli ve Uzun Vadeli Hava Kalitesi Sınır Değerleri

	Birim	UVS	KVS(*)
a)Genel	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150	400(900)
b)Endüstri Bölgeleri	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	250	400(900)
Karbonmonoksit (CO)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10000	30000
Azotdioksit (NO ₂)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	300
Azotmonoksit (NO)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200	600
Klor (Cl ₂)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	300
Klorlu hidrojen (HCl) ve gaz halde anorganik klorürler (Cl')	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	(240)
Ozon (O ₃) ve fotokimyasal oksitleyiciler	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	140(280)
Hidrokarbonlar (HC)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	40(100)
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Havada asılı partikül maddeler (PM) 10 mikron ve daha küçük partiküller	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
a)Genel	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150	300
b)Endüstri Bölgeleri	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200	400
PM içinde kurşun (Pb) ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2	-
PM içinde kadmiyum (Cd) ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.04	-
Çöken tozlarda kurşun (Pb) ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{gün}$	500	-
Çöken tozlarda kadmiyum (Cd) ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{gün}$	7.5	-

(*) Parantez içindeki değerler saatlik ortalama değerlerdir.

Tablo 1.6 Kış Sezonu Ortalaması Sınır Değerleri

Kükürtdioksit (SO ₂) (µg/m ³)	250
Havada Asılı Partiküler Maddeler (PM ₁₀) (µg/m ³)	200

Hedef Sınır Değerler; Hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla, hava kirletici konsantrasyonlarının zaman içinde ulaşması gereken değerlerdir.

Tablo 1.7 Hedef Sınır Değerler

	Kükürtdioksit (SO ₂) (µg/m ³)	Asılı Partiküler Maddeler (PM ₁₀) (µg/m ³)
Yıllık Aritmetik Ortalama	60	60
Kış sezonu (Ekim-Mart) Ortalaması	120	120
24 saatlik Maksimum Değer	150	150
1 saatlik Maksimum Değer	450	-

Özel Sınır Değerler; Özellikle hassas hayvan, bitki ve eşyayı hava kirliliğinin zararlı etkilerinden korumak için özel koruma alanlarında özel sınır değerler uygulanmaktadır.

Tablo 1.8 Özel Sınır Değerler

Kirleticiler	Uzun Vadeli Sınır Değer (UVS)
Kükürtdioksit (SO ₂) (µg/m ³)	60
Gaz halinde anorganik klor bileşikleri (µg/m ³)	60
Gaz halinde anorganik flor bileşikleri (µg/m ³)	0.3
Kurşun (Pb) (µg/m ² gün)	250
Kadmiyum (Cd) (µg/m ² gün)	2.5

Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) Hava Kalitesi Rehber Değerleri; Halk sağlığının korunması amacıyla WHO tarafından önerilen rehber değerler Tablo 1.9'da verilmiştir.

Tablo 1.9 Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) Hava Kalitesi Rehber Değerleri

Hava Kirleticileri (µg/m ³)	Kükürtdioksit (SO ₂)	Duman	Azotdioksit (NO ₂)	Karbonmonoksit (CO)	Havada asılı partiküler madde (PM ₁₀)
Saatlik ortalama	350	-	400	-	
8 saatlik ortalama	-	-	-	10000	
24 saatlik ortalama	100-150	100	150	-	100-150
Yıllık ortalama	40-60	150	50	-	40-60

1.4 Hava Kirliliğinin Halk Sağlığına Etkileri

Partikül halindeki kirleticiler: Partiküllerin solunum organlarındaki birikme yerleri ve buradaki kalma süreleri bir takım fiziksel faktörlere ve bilhassa zerreciklerin büyüklüğüne bağlıdır. Kirleticilerin, akciğerlerin 'alveoller' (hava torbalarının bulunduğu bölge) bölgesindeki birikmesi özellikle önemlidir. Çünkü bu bölgede partikülleri uzaklaştırmaya yarayan ve 'titrek tüyler' adı verilen tüycükler mevcut değildir. Bunun için zerrecikler bu bölgede izafi olarak uzun süre kalabilir. 0.1 mikrondan daha küçük çaplı olan zerrecikler, Brownian hareket sayesinde akciğerlerin hava torbalarına kadar gitmekte ve buradaki 'alveoli' denilen çukurlara yerleşmektedir. İri zerrecikler ancak teneffüs yollarındaki tüycükler tarafından yakalanmadıkları takdirde akciğerlerin bu bölgelerine kadar gelebilir. Genel olarak 1 mikrondan büyük zerrecikler bu bölgeye ulaşmadan tutulur.

Zerreciklerin akciğerlerde birikme miktarlarını etkileyen diğer faktörler, nefes alma sıklığı (birim zamandaki nefes alma sayısı) ve nefes alıp verme esnasında akciğerlerin hacminde meydana gelen değişimin büyüklüğüdür. Düşük nefes alma sıklığı neticesinde birikme yüzdesi hayli yüksek olmaktadır. Bunun sebebi düşük nefes alma sıklığında partiküllerin kalma süresinin artmış olmasıdır. Nefes alma sırasında ciğer hacmindeki değişikliğin büyük olması, çok miktarda havanın içeri çekilmesini gerektirdiğinden, hav ile birlikte içeri giren zerreciklerin miktarı da çok olmakta ve birikme yüzdesi artmaktadır.

Partiküllerin akciğerlerde birikmesinden sonra bunların dışarı atılması değişik yollarla olabilir. Bunlardan biri 'titrek tüylerin' faaliyetleri ile parçacıkların balgamla birlikte teneffüs yollarından dışarı atılmasıdır. Bir diğer yol aksırmak veya öksürmek suretiyle zerreciklerin vücudu terketmesidir. Bu arada akciğere kadar gitmiş olan zerreciklerden çözünebilir karakterde olanlarının kana karıştığı unutulmamalıdır.

Kükürt dioksit (SO₂), suda ve dolayısıyla sıvısında (kanda) büyük ölçüde çözünebilir bir gazdır. Bunun en önemli tesiri üst solunum yollarının cidarlarını zedeleyerek, neticede hava akışına olan mukavemetini azaltmasıdır. Araştırmalar kükürt dioksitin, sodyum klorür gibi aerosollar (gaz ortamda askı halinde bulunan

çok küçük zerrecikler) ile birlikte bulunması halinde çok daha tehlikeli olduğunu göstermiştir. SO₂ nin tesiri kronik olmaktan ziyade akut olarak meydana gelmektedir. Kükürt dioksit aynı zamanda solunum sisteminin koruyucusu olan tüycüklere de zarar vermektedir.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1. Balıkesir İli Özellikleri

Balıkesir İlinin büyük bir kısmı Güney Marmara'da yer almakla birlikte, hem Marmara hem de Ege Bölgesi'nde toprakları bulunmaktadır. Doğuda Bursa, Kütahya, güneyde İzmir, Manisa; batıda Ege Denizi, Çanakkale ve kuzeyde Marmara Denizi ile çevrilidir. TS 825 standardına göre 2. Derece gün bölgesinde bulunmaktadır.

Yüzölçümü	:14528 km ²
Rakım	:139 m
İlçe sayısı	:19
Belediye sayısı	:52
Belde içi mahalle sayısı	:261

Hava Kütleleri ve Hava Basınç Sistemleri: Balıkesir çevresi kış dönemi kuzeyden sokulan soğuk (mP) ve çok soğuk (cP) hava kütleleri ile Akdeniz üzerinden sokulan nispeten ılık etki yapan hava kütlelerinin etkisi altında kalır. Bu hava kütleleri ile birlikte kış dönemi etkili olan en önemli sistem Orta Akdeniz'de oluşarak ilk önce Türkiye'nin batı kıyılarını diğer bir deyişle Balıkesir çevresini etkileyen gezici alçak basınç sistemleridir (Orta Enlem Siklonları). Balıkesir çevresinde soğuk dönemde Sibirya kaynaklı yüksek basınç (Antisiklon) sistemi, Doğu Anadolu'da olduğu derece etkili olmaz. Kış dönemi sokulan gezici alçak basınçlar ve bağlı cephe sistemleri ile hava kütleleri daha çok yağış getirici etki yapar. Etkili olan bu alçak basınç sistemlerinde hava hareketleri (rüzgar) hızlı gelişir ve bu hava hareketleri Balıkesir merkez ilçede çok tehlikeli noktalara ulaşan hava kirliliğini dağıtıcı bir faktör olarak devreye girer. Bu nedenledir ki; kış döneminde gezici alçak basınç ve buna bağlı sistemlerin doğal ve sosyal ortam üzerinde olumlu etkileri fazladır. Kış döneminde etkili olan yüksek basınç sistemleri (daha çok Sibirya ve Asor sistemleri) yağış oluşumunu azaltır ve hava kirliliğinin daha yoğun yaşanmasının ortamını hazırlar. Bu nedenledir ki kış döneminde yüksek basınç sistemlerinin ne zaman ve hangi sıklıkta etkili olacağını bilmesi yaşanacak hava kirliliği ile ilgili sorunlara karşı önceden tedbir alınmasını sağlar.

Sıcaklık: Bütün iklim elemanlarında olduğu gibi sıcaklık faktörü de alınan güneş enerjisinin durumuna bağlı olarak şekillenmektedir. Balıkesir İli'nde güneş ışınları en düşük açı ile 22 Aralık tarihinde 26" -16' ile Bandırma'ya gelmektedir; en yüksek açı ile 21 Haziran tarihinde 74" 08' ile Ayvalık istasyonuna gelmektedir. Balıkesir İlinde bütün iklim elemanlarında olduğu gibi sıcaklık özellikleri de güneyden-kuzeye, batıdan-doğuya değişmektedir.

Rüzgarlar: Balıkesir İli genel hatları ile rüzgar bakımından dikkati çeken bir saha olarak ifade edilebilir. Poyraz ve Etesiyen olarak ifade edilen kuzey sektörlü rüzgarlar egemendir. Atmosferdeki genel hava hareketine bağlı olarak şekillenen rüzgar yer şekli özelliklerine göre önemli farklılaşmalar göstermektedir. Rüzgar özellikleri bakımından en fazla dikkati çeken istasyonlar Bandırma ve Balıkesir'dir. Hakim rüzgar yönü olarak kuzey-kuzeydoğu dikkati çekmektedir. Yıl içinde değişmeler dikkate alındığında yaz döneminde rüzgar kuzey sektörlü olmak üzere daha etkindir. Kış dönemi ise; gezici alçak basınçların devreye girmesi nedeni ile güney sektörlü rüzgarların etkinliği artmaktadır. Balıkesir genelinde rüzgar hızı bakımından kış ve ilkbahar döneminde bir azalma, yaz ve sonbahar döneminde bir artış dikkat çekmektedir

2.1.2. Balıkesir İli İle İlgili İstatistik Veriler

2.1.2.1 Nüfus Dağılımı

Balıkesir ili 2000 yılı genel nüfus sayımı sonuçlarına göre toplam il nüfusu **1.076.347** olup, merkez ilçe nüfusu ise 246329'dur. Bu nüfusa merkez ilçeye bağlı köy nüfusları da dahildir. Merkez ilçeyi oluşturan semtler arasında da nüfus yoğunluğu bakımından da farklılıklar vardır. Yaklaşık olarak konut sayısını 80 bin kabul edersek konut başına kişi sayısı 3 kişi kabul edilebilir.

2.1.2.2 Bina Sayısı Dağılımı

Balıkesir ili için bina sayısı dağılımı Tablo 2.1'de verilmiştir.

2.1.2.3 Yakıt Sistemi Dağılımı

Yakıt sistemi dağılımı Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Bina Kullanım Amacı ve Yıllara Göre Konut Sayıları

YIL	BİNANIN KULLANIM AMACI											
	TOPLAM BİNA SAYISI 1	KONUT 2	ÇOĞUNLUĞU KONUT 3	ÇOĞUNLUĞU KONUT DIŞI 4	TÜMÜ İŞYERİ 5	EĞİTİM KÜLTÜR	SAĞLIK	RESMİ DAİRE	DİNİ	KONUT DIŞI KARIŞIK	DİĞER	BİLİNMEYEN
1996	26625	21068	1947	251	2790							
1997	27618	21832	2050	262	2886							
1998	28648	22623	2158	273	2984							
1999	29717	23444	2271	284	3086							
2000	30918	24294	2391	296	3191	83	21	116	59	171	289	7
2001	31975	25144	2511	308	3296							
2002	33168	26024	2636	320	3405							
2003	34405	26935	2768	333	3517							

DİE 1984 ve 2000 verilerine göre ortalama yıllık artış oranı

1. % 3,73 olarak hesaplanmıştır.
2. % 3,5 olarak hesaplanmıştır.
3. % 5 olarak hesaplanmıştır.
4. % 4 olarak hesaplanmıştır.
5. % 3 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2.2 Yakma Sistemi ve Yakıt Türüne Göre Konut Sayıları Dağılımı

Yıllar	SOBA (1)						BİNA İÇİ VE MERKEZİ SİSTEM (2)						KAT KALORİFERİ (2)						BİLİNMEYEN (2)
	Kömür	Odun	LPG	Elektri k	Sıvı Yakıt	Bilimn eyen	Kömür	Odun	LPG	elektrik	Sıvı Yakıt	bilimn eyen	Kömür	Odun	LPG	elektrik	Sıvı Yakıt	bilimn eyen	
1998	20691	3413	278	251	475	991	1519				180								
1999	21475	3543	288	260	493	1028	1582				187								
2000	22288	3677	299	270	512	1067	1648				195		2				240		720
2001	23102	3811	310	280	531	1106	1714				203						243		749
2002	23945	3950	321	290	550	1146	1782				211						246		779
2003	24819	4095	333	301	570	1188	1854				220		6				250		810

(1) Yıllık değişim ±% 3,65 alınmıştır.

(2) Yıllık değişim ±% 4,00 alınmıştır.

2.1.3. Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri

Balıkesir ilinde konut ısıtılmasında ağırlıklı olarak Soma linyit kömürü kullanılmakta olup bunun yanında Dursunbey linyit kömürü, odun, LPG, elektrik ve sıvı yakıt da tüketilmektedir. Kullanılan yakıtların kullanım oranları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3 Yakıt Kullanım Oranları*

YAKMA SİSTEMİ	Kullanılan Yakıt Türü						
	KÖMÜR	ODUN	LPG	ELEKTRİK	SIVI YAKIT	BİLİNMEYEN	KONUT TİPİ ORANI
SOBA	79,28	13,08	1,06	0,96	1,82	2,14	90,93
KAT KALORİFERİ	-	-	0,8	-	99,2	-	0,8
BINA İÇİ SİSTEM	89,37	-	-	-	10,63	-	3,64
MERKEZİ SİSTEM	89,56	-	-	-	10,44	-	2,31
KARMA SİSTEM	-	-	-	-	-	-	0,19
BİLİNMEYEN	-	-	-	-	-	-	2,13

* DİE 2000 verileri

Herhangi bir sağlıklı ve resmi veri olmamasına rağmen yıllar itibari ile tüketilen kömürün yaklaşık (2000 yılı için) % 20’si civarı ithal Sibiryâ kömürüdür ve yıl yıl küçük artışlar göstermiştir.

Balıkesir il merkezinde kullanılan kömürlerin özellikleri Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4 Balıkesir İl Merkezinde Kullanılan Kömürlerin Analiz Değerleri

Yakıt türü	Analiz tipleri							
	Nem, %	Kül, %	Uçucu Madde, %	Sabit Karbon, %	Toplam, %	Toplam Kükürt, %	Alt Isıl değer Kcal/kg	Üst Isıl değer Kcal/kg
Linyit kömürü	16,62	8,59	36,55	38,24	100	0,88	4747	5069
Sibiryâ kömürü	5,68	6,16	21,92	66,34	100	0,34	7249	7486

2.1.4.Hava Kirliliği Ölçümleri

1996-2003 yılları arasında Balıkesir il merkezindeki hava kirletici olarak SO₂ ve PM değerleri EK A'da kış dönemi için çizelgeler halinde verilmiştir. Bu ölçümler Balıkesir İl Halk Sağlığı Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Isı Yükü ve Yakıt Tüketiminin Hesaplanması

Herhangi bir yapının ısı kaybı hesaplamaları TS 825 ve TS 2164 standartlarına göre yapılmaktadır. TS 825 standardı 2000 yılında yürürlüğe girmiş olup, bu tarihten sonra inşa edilen yapılarda uygulanabilmektedir. Isı kayıplarının hesaplanmasında bu standart kullanılmış ancak ortalama dış sıcaklık değerleri olarak standartta ifade edilen değerler değil yıllara göre Balıkesir ili için ölçülen ortalama dış sıcaklık değerleri kullanılmıştır (Ek B). iç mekan sıcaklığı için de verimlilik hesaplamalarında kullanılan sıcaklıkla uyum sağlaması açısından 20 °C kullanılmıştır.

Birim alandan kaybolan ısı miktarı hesaplanarak ortalama konut başına ısı kayıpları tespit edilmiştir. Baz alınan konut örneği Şekil 2.1 ve 2.2'de verilmiştir.

Hesaplama Örneği

TS 825 Ek-4'e göre 2. Derece gün bölgesinde olan Balıkesir'de ve bulunan zemin kat+normal kat planları Şekil 2.1 ve 2.2'de verilen bir bina dıştan dışa ölçülerle 10 metre eninde ve 10 metre derinliğinde 3 katlı ve 7,80 metre yüksekliğinde olup mesken olarak kullanılmaktadır. Bu verilere göre binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır.

Dış kapı ve pencere alanları,	$A_p=41,055 \text{ m}^2$
Dış duvar alanı,	$A_D=270,95 \text{ m}^2$
Tavan alanı,	$A_T=100 \text{ m}^2$

Taban alanı,	$A_t=100 \text{ m}^2$
Toplam alan,	$A_{top}=512 \text{ m}^2$
Brüt hacim,	$V_{brüt}=780 \text{ m}^3$
Brüt alan,	$A_{brüt}=300 \text{ m}^2$
Bina kullanım alanı,	$A_n=0,8A_{brüt}=240 \text{ m}^2$
Havalandırma hacmi,	$V_h=0,8V_{brüt}=624 \text{ m}^3$
İletimle ısı kaybı (H_i),	$H_i=657,08 \text{ W/K}$
Havalandırma ısı kaybı (H_h),	$H_h=205,92 \text{ W/K}$
Özgül ısı kaybı ($H=H_i+H_h$),	$H=863 \text{ W/K}$

TS825'e göre ısı yalıtım projesi yapımında özgül ısı kaybı hesabından sonra yapılması gerekli işlem yıllık ısıtma ısısı ihtiyacını hesaplamaktır.

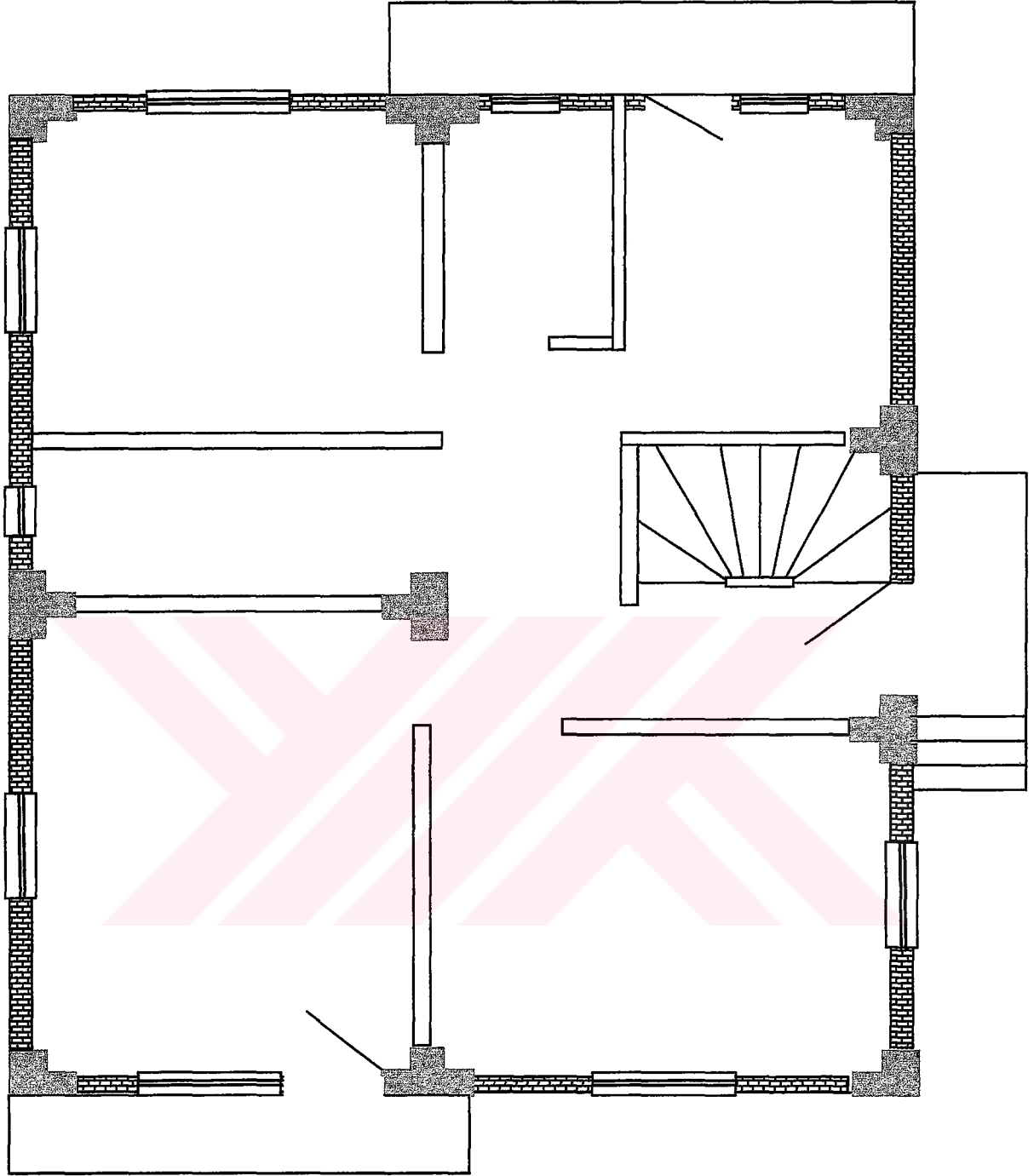
Tablo 2.5 2000 Yılı Balıkesir İli Örnek Bina Yıllık Isı ihtiyacı (İç sıcaklık 20 °C)

Aylar	ISI KAYBI			ISI KAZANCI			Kazanç Kayıp Oranı γ	Kazanç Kullanım Faktörü η_{ay}	Aylık Toplam Isı İhtiyacı $Q_{ay}, \text{ kJ}$	
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Kaybı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Isı Kazancı	Toplam				
	$H=H_i+H_h$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	$\phi_i, \text{ W}$	$\phi_g, \text{ W}$	$\phi_t=\phi_i+\phi_g$				
OCAK	863	18,2	15707	1200	1044	2244	0,14	0,999	34901912	
ŞUBAT		15	12945		1292	2492	0,19	0,994	27132932	
MART		12,4	10701		1717	2917	0,27	0,975	20365149	
NİSAN		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
MAYIS		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
HAZİRAN		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
TEMMUZ		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
AĞUSTOS		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
EYLÜL		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
EKİM		4,7	4056		1365	2565	0,63	0,795	5227610	
KASIM		8,8	7594		995	2195	0,29	0,968	14176270	
ARALIK		13,1	11305		907	2107	0,19	0,994	23873984	
$Q_{yıl}=125677857 \text{ kJ/yıl}$										

$$Q=Q_{yıl}/A_n=125677857/240=523658 \text{ kJ/m}^2\text{yıl}$$

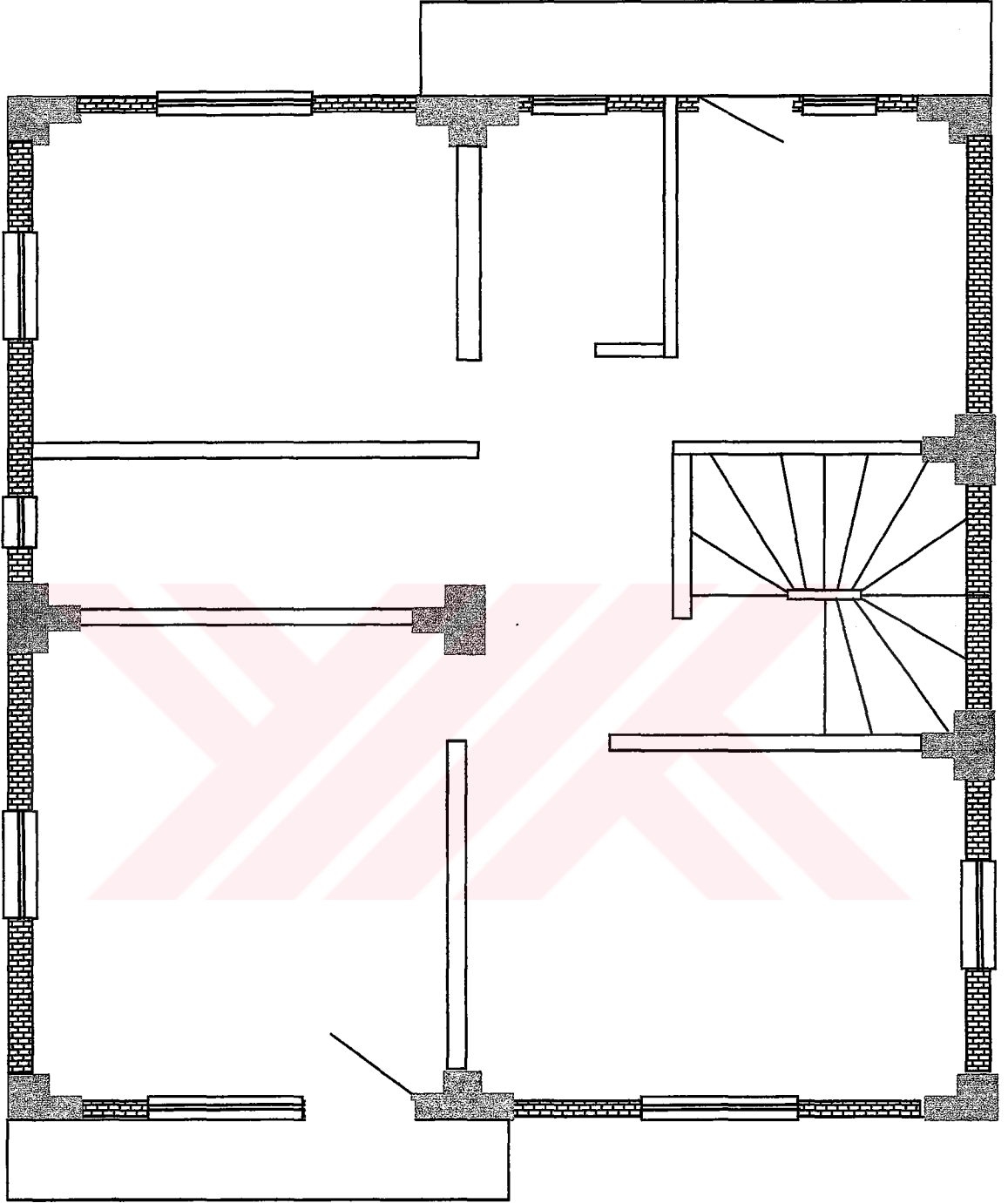
$$=146 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$$

100 m² alana sahip kaloriferli bir konut için yıllık ısı ihtiyacı, $Q_{yıl}=14600 \text{ kWh/yıl}$



ZEMİN KAT

Şekil 2.1 Örnek proje zemin kat planı



NORMAL KAT

Şekil 2.2 örnek proje normal kat planı

Tablo 2.6 Örnek Bina Yapı Elemanları

Binadaki Yapı Elemanları		Yapı Elemanının Kalınlığı d mm	Isıl iletkenlik hesap değeri λ W/mK	d/λ , $1/\alpha$ m ² K/W	Isı İletkenlik Katsayısı U W/m ² K	Isı Kaybedilen Yüzey A m ²
Duvar	$1/\alpha_i$			0,13		
	İç sıva	20	0,87	0,023		
	Yatay delikli tuğla	190	0,45	0,422		
	Dış sıva	30	0,87	0,23		
	$1/\alpha_d$			0,04		
Toplam				0,845	1,184	270,95
Taban	$1/\alpha_i$			0,17		
	PVC yer döşemesi	3	0,23	0,013		
	Şap	30	1,4	0,021		
	Donatılı Beton	120	2,1	0,071		
	$1/\alpha_d$			0,0		
Toplam				0,275	0,5x3,91	100
Tavan	$1/\alpha_i$			0,13		
	Alt sıva	20	0,87	0,023		
	Donatılı Beton	120	2,1	0,071		
	Tesviye şapı	30	0,87	0,23		
	$1/\alpha_d$			0,13		
Toplam				0,454	0,8x2,2	100
Pencere	Tek cam				5,00	41,055

Hesaplamalar mevcut yapılara göre yapıldığından TS 825 standardına uymamaktadır. Bulunan değerler de bu nedenle yüksektir. Yukarıda belirtilen yöntem ile yıllara göre ayrı ayrı 100 m² alana sahip konut için aylık ısı ihtiyaçları hesaplanmış ve Tablo 2.7’de verilmiştir.

Yıllara göre Balıkesir il merkezi için konut ve işyeri sayıları ve ısı ihtiyacı değerleri Tablo 2.8’de verilmiştir. Isıtma sistemine bağlı olarak konut başına birim ısı ihtiyacı tespit edilirken sobalı konut ve iş yerlerinde kısmi ısınma, merkezi ısıtmalı ve kat kaloriferi olan konutlarda ise tam ısıtma uygulandığı kabul edilmiştir.

Tablo 2.7 Yıllara göre aylık ısı ihtiyacı değerleri, kWh/ay

AYLAR	YILLAR							
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
OCAK	3758	2877	3058	3136	4043	2747	3913	2462
ŞUBAT	2987	3091	2495	2987	3143	2728	2262	3842
MART	2981	2670	2592	2203	2359	1063	1919	3162
EKİM	813	658	424	243	606	295	631	346
KASIM	1487	1590	1746	1850	1642	2031	2134	2316
ARALIK	2092	2792	3102	2299	2765	3361	3439	3102
TOPLAM	14118	13678	13417	12718	14558	12225	14298	15230

2000 yılı için birim ısı ihtiyaçları;

Sobalı konut ısı ihtiyacı ($\approx 40 \text{ m}^2$)	: 5840 kWh/yıl
Sobalı iş yeri ısı ihtiyacı	: 2920 kWh/yıl
Merkezi ısıtmalı konutlarda ısı ihtiyacı (100 m^2)	: 14558 kWh/yıl
Merkezi ısıtmalı iş yeri ısı ihtiyacı	: 5840 kWh/yıl

Tablo 2.8 Balıkesir İli'nin Yıllara Göre Konut ve İş yeri Sayıları ve Isı İhtiyacı

YILLAR	Sobalı Konut Sayısı Isı tüketimi, pJ	Sobalı İş yeri Sayısı Isı tüketimi, pJ	Merkezi Isıt. Konut Sayısı Isı tüketimi, pJ	Merkezi Isıt. İş Yeri Sayısı Isı tüketimi, pJ	Kat Kaloriferli Konut Sayısı Isı tüketimi, pJ	Bilinmeyen Konut Sayısı Isı tüketimi, pJ	Toplam Isı İhtiyacı, pJ
1996	62444 1,316	10388 0,110	4377 0,231	1490 0,0314	549 0,0289	619 0,0131	1,730
1997	64773 1,322	10775 0,110	4420 0,226	1545 0,0315	569 0,0291	633 0,0129	1,732
1998	67188 1,345	11177 0,112	4540 0,227	1603 0,0321	591 0,0296	656 0,0131	2,025
1999	69695 1,323	11594 0,110	4710 0,224	1663 0,0316	613 0,029	681 0,0129	1,73
2000	72512 1,580	12063 0,131	4900 0,266	1730 0,0377	637 0,0346	720 0,0157	2,065
2001	74991 1,368	12475 0,114	5068 0,231	1789 0,0326	659 0,0300	749 0,0137	1,789
2002	77789 1,66	12941 0,138	5257 0,28	1856 0,0396	684 0,0365	779 0,0166	2,171
2003	80690 1,834	13423 0,153	5453 0,31	1925 0,0438	709 0,0403	810 0,0184	2,400

Hesaplanan ısı ihtiyacına göre yıllık yakıt tüketim değerleri Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9 Yakıt Türlerine Göre Yıllık Tüketim değerleri, TEP/yıl

YAKIT TÜRÜ	YILLAR							
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
KÖMÜR	79043	79043	77511	66220	79043	68478	83100	91865
ODUN	10760	10760	5253	4498	10760	9321	11311	12504
LPG	44	44	39	34	44	38	46	51
SIVI YAKIT	394	394	386	331	394	341	414	458

2.2.2 Enerji Verimliliklerinin Hesaplanması

Isıtma amaçlı kullanılan yakıtların enerji verimlilik değerleri Tablo 2.9'de verilmiştir [24]. Yakıtların kullanım oranlarına bağlı olarak da toplam enerji verimlilik değerleri hesaplanmaktadır. Toplam enerji verimliliği (2.1) nolu denklem ile bulunur [24].

$$\varepsilon_{1, \text{toplam}} = \frac{\sum_{j=1}^n \varepsilon_{1,j} a_j}{100} \quad (2.1)$$

$\varepsilon_{1, \text{toplam}}$: toplam enerji verimliliği

ε : yakıtın enerji verimliliği

a : yakıtın kullanım oranı

Tablo 2.10 Yakıtların enerji verimlilik değerleri ve kullanım oranları

Yakıtlar	Enerji verimleri	Kullanım oranı, %
Linyit kömürü (soba)	45	58
Linyit kömürü	50	6
Sibiry kömürü (soba)	45	14
Sibiry kömürü	50	2
Odun	35	15
LPG	90	1
Elektrik	98	1
Sıvı yakıt	65	3

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_{1,\text{lin.köm.}} \%_{\text{lin.köm.soba}} + \varepsilon_{1,\text{lin.köm.}} \%_{\text{lin.köm}} + \varepsilon_{1,\text{sib.köm.}} \%_{\text{sib.köm.soba}} + \varepsilon_{1,\text{sib.köm.}} \%_{\text{sib.köm.}} + \varepsilon_{1,\text{odun}} \%_{\text{odun}} + \varepsilon_{1,\text{LPG}} \%_{\text{LPG}} + \varepsilon_{1,\text{elek.}} \%_{\text{elek.}} + \varepsilon_{1,\text{sıv yakıt}} \%_{\text{sıv yakıt}}}{100}$$

$$\varepsilon_{1,\text{toplam}} = \frac{45.58 + 50.6 + 45.14 + 50.2 + 35.15 + 90.1 + 98.1 + 65.3}{100} = 45,48$$

2.2.3 Ekserji Verimliliklerinin Hesaplanması

Konut ısıtmada termodinamiğin ikinci kanun verimi (ekserji verimi) her bir yakıt için aşağıdaki (2.2) nolu denklem ile hesaplanır.

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1}{q_{\text{yakıt}}} \left\{ 1 - \left[\frac{T_0}{T_2 - T_0} \right] \ln \left(\frac{T_2}{T_0} \right) \right\} \quad (2.2)$$

ε_2 : ikinci kanun verimi

ε_1 : birinci kanun verimi

$q_{\text{yakıt}}$: yakıt faktörü

T_2 : referans sıcaklığı, °C

T_0 : ısıtma ekipman sıcaklığı, °C

İfadede yer alan yakıt faktörü 0,99, ekipman sıcaklığı 50 °C ve ortam sıcaklığı 20 °C kabul edilerek yakıtların ekserji verimleri hesaplanmaktadır ve Tablo 2.11’de verilmiştir.

$$\varepsilon_{2,\text{toplam}} = \frac{\sum_{j=1}^n \varepsilon_{2,j} a_j}{100} \quad (2.3)$$

$\varepsilon_{2,\text{toplam}}$: toplam ekserji verimliliği

$\varepsilon_{2,j}$: yakıtın ekserji verimliliği

a : yakıtın kullanım oranı

Tablo 2.11 Yakıtların ekserji verimlilikleri [24].

Yakıtlar	Ekserji verimleri	Kullanım oranı, %
Linyit kömürü (soba)	3,2	58
Linyit kömürü	3,6	6
Sibiry kömürü (soba)	3,2	14
Sibiry kömürü	3,6	2
Odun	2,5	15
LPG	7,4	1
Elektrik	7,3	1
Sıvı yakıt	4,9	3

$$\varepsilon_{2,\text{toplam}} = \frac{\varepsilon_{2,\text{lin.köm.soba}} \%_{\text{lin.köm.soba}} + \varepsilon_{2,\text{lin.köm.}} \%_{\text{lin.köm}} + \varepsilon_{2,\text{sib.köm.soba}} \%_{\text{sib.köm.soba}} + \varepsilon_{2,\text{sib.köm.}} \%_{\text{sib.köm.}} + \varepsilon_{2,\text{odun}} \%_{\text{odun}} + \varepsilon_{2,\text{LPG}} \%_{\text{LPG}} + \varepsilon_{2,\text{elek.}} \%_{\text{elek.}} + \varepsilon_{2,\text{suv yakıt}} \%_{\text{suv yakıt}}}{100}$$

$$\varepsilon_{2,\text{toplam}} = \frac{3,2 \cdot 58 + 3,6 \cdot 6 + 3,2 \cdot 14 + 3,6 \cdot 2 + 2,5 \cdot 15 + 7,4 \cdot 1 + 7,3 \cdot 1 + 4,9 \cdot 3}{100} = 3,26$$

Tablo 2.12 1996-2003 Yılları İçin Yakıtların Enerji ve Ekserji verimlilikleri

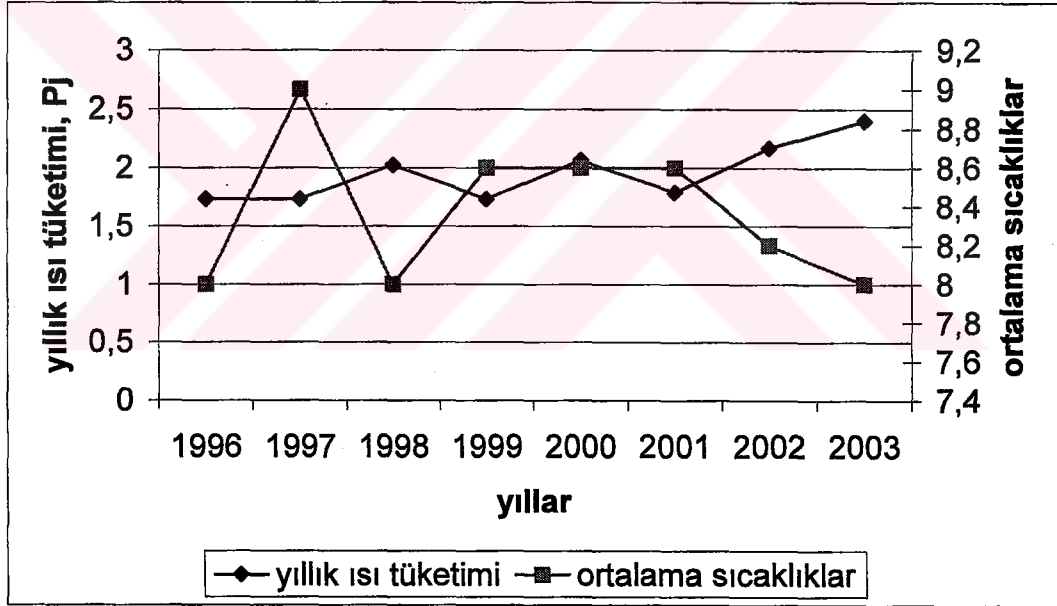
YAKIT	1996				1997				1998				1999			
	Isı tüketimi PJ	Yakıt Miktarı ton	e ₁	e ₂	Isı tüketimi PJ	Yakıt Miktarı ton	e ₁	e ₂	Isı tüketimi PJ	Yakıt Miktarı ton	e ₁	e ₂	Isı tüketimi PJ	Yakıt Miktarı ton	e ₁	e ₂
TAŞ KÖMÜRÜ	SOBA	127545	45	3,2	128807	45	3,2	1,130	108056	45	3,2	1,106	105761	45	3,2	3,2
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	0,0609	5824	50	6053	50	3,6	0,0544	5202	50	3,6	0,0505	4829	50	3,6	3,6
	MERKEZİ SİSTEM	0,0383	3662	50	3691	50	3,6	0,0346	3309	50	3,6	0,0321	3070	50	3,6	3,6
TOPLAM	1,433	137031	45,35	3,23	138551	45,35	3,23	1,2192	116567	45,35	3,23	1,1886	113660	45,35	3,23	3,23
SİBİRYA KÖMÜRÜ	SOBA	--	--	--	--	--	--	--	15313	45	3,2	0,2444	16230	45	3,2	3,2
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	704	50	3,6	0,0111	737	50	3,6	3,6
	MERKEZİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	445	50	3,6	0,0067	465	50	3,6	3,6
TOPLAM	0,2475	39445	35	2,5	35349	35	2,5	0,2342	16462	45,35	3,23	0,2625	17432	45,35	3,23	2,5
ODUN	SOBA	--	--	--	--	--	--	--	37326	35	2,5	0,2227	35493	35	2,5	2,5
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	MERKEZİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
TOPLAM	0,2475	39445	35	2,5	35349	35	2,5	0,2342	37326	35	2,5	0,2227	35493	35	2,5	2,5
LPG	SOBA	0,018	790	90	833	90	7,4	0,0189	831	90	7,4	0,018	790	90	7,4	7,4
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	MERKEZİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
TOPLAM	0,018	790	90	7,4	833	90	7,4	0,0189	831	90	7,4	0,018	790	90	7,4	7,4
SIVI YAKIT	SOBA	0,0273	1243	65	1407	65	4,9	0,0309	1480	65	4,9	0,0310	1412	65	4,9	4,9
	KAT KALORİFERİ	0,0131	597	65	665	65	4,9	0,0146	710	65	4,9	0,0143	651	65	4,9	4,9
	BİNA İÇİ SİSTEM	0,0067	305	65	328	65	4,9	0,0076	346	65	4,9	0,0073	332	65	4,9	4,9
	MERKEZİ SİSTEM	0,0041	187	65	205	65	4,9	0,0045	214	65	4,9	0,0045	205	65	4,9	4,9
TOPLAM	0,0512	2332	65	2605	65	4,9	0,0572	2750	65	4,9	0,0604	2600	65	4,9	4,9	
SOBA	0,0163	4368,4 MW	98	4368,4 MW	98	7,3	0,0157	4207,6 MW	98	7,3	0,0219	5869,2 MW	98	7,3	7,3	
KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
BİNA İÇİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
MERKEZİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
TOPLAM	0,0163	4368,4 MW	98	4368,4 MW	98	7,3	0,0159	4261,2 MW	98	7,3	0,0219	5869,2 MW	98	7,3	7,3	
TOPLAM	1,7679		45,36	3,25		45,65	3,28	1,8002		45,50	3,26	1,7708		45,79	3,29	

Tablo 2.12 (devam)

YAKIT	YAKMA SİSTEMİ	2000				2001				2002				2003			
		Isı tüketimi PJ	Yakıt Miktarı ton	e ₁	e ₂	Isı tüketimi PJ	Yakıt Miktarı ton	e ₁	e ₂	Isı tüketimi PJ	Yakıt Miktarı ton	e ₁	e ₂	Isı tüketimi PJ	Yakıt Miktarı ton	e ₁	e ₂
TAŞ KÖMÜRÜ	SOBA	1,2985	124169	45	3,2	1,1511	110074	45	3,2	1,4052	127793	45	3,2	1,5943	152455	45	3,2
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	0,0586	5604	50	3,6	0,0524	5011	50	3,6	0,0644	5766	50	3,6	0,0719	6875	50	3,6
	MERKEZİ SİSTEM	0,0373	3567	50	3,6	0,0333	3184	50	3,6	0,0410	3672	50	3,6	0,0458	4380	50	3,6
	TOPLAM	1,3944	133340	45,34	3,23	1,2368	118269	45,35	3,23	1,5106	137231	45,34	3,23	1,712	163710	45,34	3,23
SİBİRYA KÖMÜRÜ	SOBA	0,3203	21270	45	3,2	0,2532	16814	45	3,2	0,2727	18109	45	3,2	0,2711	18003	45	3,2
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	0,0145	963	50	3,6	0,0114	757	50	3,6	0,0123	817	50	3,6	0,0123	817	50	3,6
	MERKEZİ SİSTEM	0,0092	611	50	3,6	0,0072	478	50	3,6	0,0078	518	50	3,6	0,0077	511	50	3,6
	TOPLAM	0,344	22844	45,34	3,23	0,2718	18049	45,35	3,23	0,2928	19444	45,34	3,23	0,2911	19331	45,34	3,23
ODUN	SOBA	0,2642	42107	35	2,5	0,2306	36752	35	2,5	0,2774	44211	35	2,5	0,3077	49040	35	2,5
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	MERKEZİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	TOPLAM	0,2642	42107	35	2,5	0,2306	36752	35	2,5	0,2774	44211	35	2,5	0,3077	49040	35	2,5
LPG	SOBA	0,0214	939	90	7,4	0,0187	820	90	7,4	0,0222	974	90	7,4	0,0249	1092	90	7,4
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	MERKEZİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	TOPLAM	0,0214	939	90	7,4	0,0187	820	90	7,4	0,0222	974	90	7,4	0,0249	1092	90	7,4
SIVI YAKIT	SOBA	0,0368	1676	65	4,9	0,0322	1466	65	4,9	0,0386	1758	65	4,9	0,0429	1954	65	4,9
	KAT KALORİFERİ	0,0169	770	65	4,9	0,0152	692	65	4,9	0,0182	829	65	4,9	0,0207	943	65	4,9
	BİNA İÇİ SİSTEM	0,0086	392	65	4,9	0,0075	342	65	4,9	0,0095	433	65	4,9	0,0100	455	65	4,9
	MERKEZİ SİSTEM	0,0053	241	65	4,9	0,0045	205	65	4,9	0,0059	269	65	4,9	0,0062	282	65	4,9
	TOPLAM	0,0676	3079	65	4,9	0,0594	2705	65	4,9	0,0722	3289	65	4,9	0,0798	3634	65	4,9
ELEKTRİK	SOBA	0,0267	7169,5 MW	98	7,3	0,016	4296,3 MW	98	7,3	0,0318	8338,9 MW	98	7,3	0,0346	9073,1 MW	98	7,3
	KAT KALORİFERİ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	BİNA İÇİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	MERKEZİ SİSTEM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	TOPLAM	0,0267	7169,5 MW	98	7,3	0,016	4296,3 MW	98	7,3	0,0318	8338,9 MW	98	7,3	0,0346	9073,1 MW	98	7,3
TOPLAM	2,1000		46,19	3,31	1,8333		45,60	3,27	2,2070		45,90	3,29	2,4501		45,88	3,29	

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

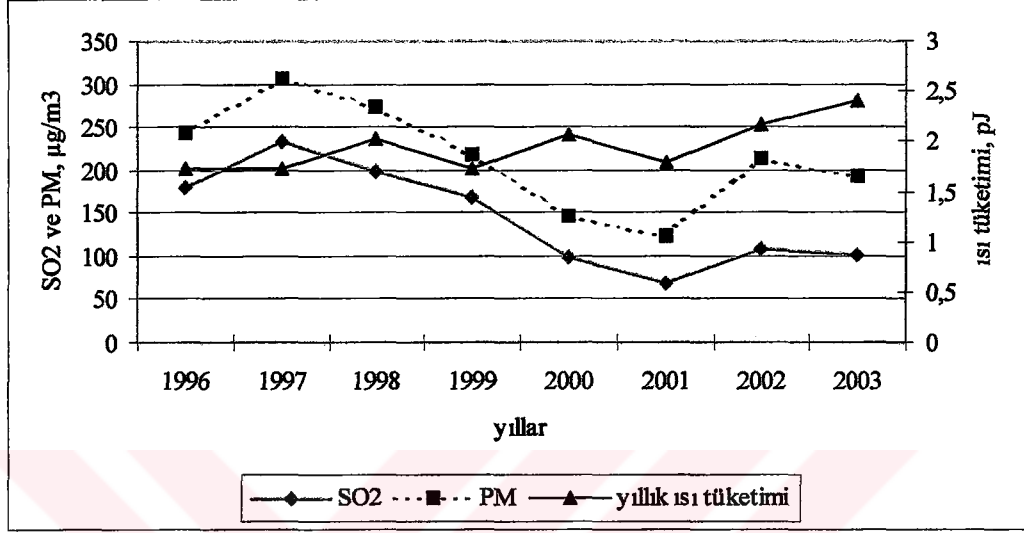
Yıllar itibari ile kent nüfusunun artışı paralelinde konut sayısında da artışlar doğal olarak gerçekleşmektedir. Her ne kadar her yıl aynı artış oranı gerçekleşmese de uzun yıllar ortalaması alındığında yaklaşık olarak konut sayılarını tespit etmek mümkündür (DİE 2000). DİE verileri kullanılarak Balıkesir il merkezinde bulunan konut sayıları ve tipleri yıllar bazında belirlenmiş olup Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu sayılar ve Ek B’deki ortalama aylık sıcaklık değerleri kullanılarak TS 825 standardına uygun olarak konutların yıllık metre kare bazında ısı kayıpları bulunmuştur (Tablo 2.8). Hesaplanan bu ısı kaybı değerleri Şekil 3.1’de verilen grafikte görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi her yıl konut sayısı artmasına rağmen yıllık ısı tüketiminde azalmalar ve artışlar görülmektedir.



Şekil 3.1 Yıllara Göre Balıkesir İl Merkezi Isı Tüketimi

Tablo 2.3’te verilen yakıt kullanım oranlarını kullanarak yıllık bazda her bir yakıtın tüketim miktarları hesaplanmış ve Tablo 2.12’de verilmiştir. Yakıt tüketiminde de lineer bir artış olmayıp azalma ve artışlar görülmektedir. Konut sayısını sabit kabul ederek bir orantı kuracak olursak yakıt tüketiminin düşük olduğu yıllarda ısı tüketimi oranının daha da düşük olacağı görülebilir.

Şekil 3.2’de görülen grafikte SO₂ ve PM değerlerinin değişimi verilmiştir. Yakıt tüketimindeki artışa rağmen bazı yıllarda emisyonlarda azalma meydana gelmiştir.

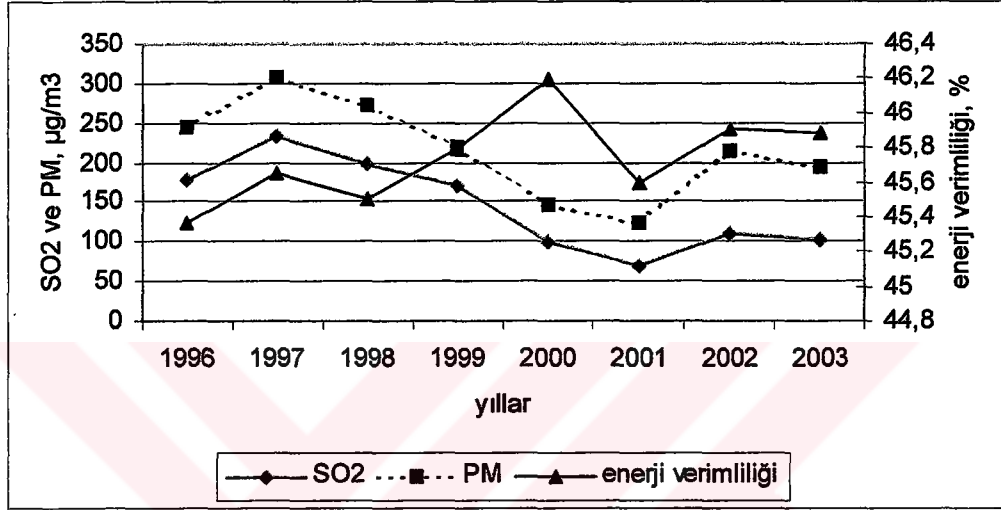


Şekil 3.2 Yıllık Isı Tüketimi ve Emisyon değerleri

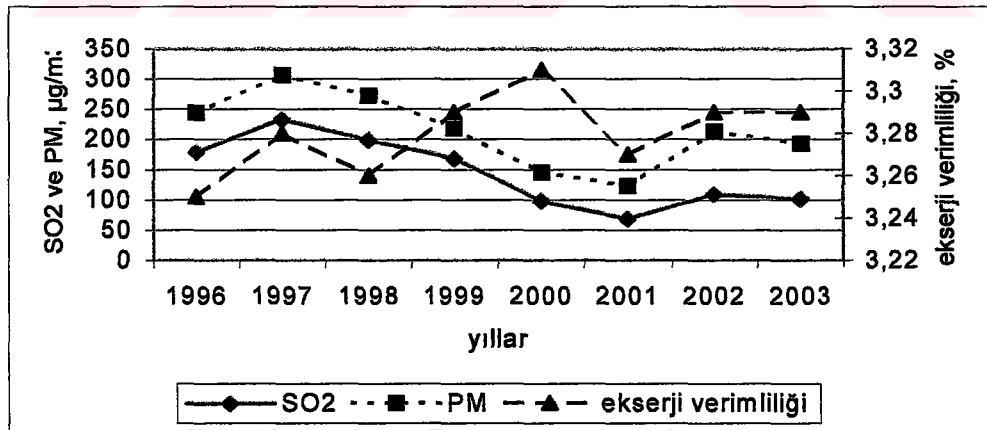
Enerji ve ekserji verimlilik değerleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te verilmiştir. Şekil 3.2 incelendiğinde 1997 – 2001 yılları arasında SO₂ ve PM değerlerinde bir düşüş eğilimi görülmektedir. İthal kömür kullanımının başlaması ve Çan Linyit kömürü kullanımının yasaklanması emisyon değerlerinin düşüşünde etkili olduğu düşünülmektedir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te de görüleceği üzere aynı yıllar arasında enerji ve ekserji verimlerinde de bir artış söz konusudur. Bu durum, enerji verimliliğine etki eden yakma sistemlerinin verimli kullanımını göstermektedir. Aynı zamanda, verimli yanma sonucunda meydana gelen emisyon değerlerinde standart değerlere yaklaşımını sağlamaktadır. Şekil 3.6’da da ayrıntılı biçimde görülebilmektedir.

1996-2003 yılları arasındaki enerji verimlilik değerleri % 45,4 ile % 46,19 arasında değişmektedir. En düşük verimlilik değeri 1996 yılında % 45,36 ile gerçekleşirken en yüksek değer 2000 yılında % 46,19 olarak bulunmuştur. Isıtma sistemi 1. kanun verimliliği açısından değerlendirildiğinde büyük verim kaybı meydana gelmektedir.

Ekserji verimlilik değerleri ise aynı yıllar için % 3,25 ile %3,31 arasında gerçekleşmektedir. Verimlilik değerlerinin düşük olması, düşük enerji ihtiyacı için yüksek nitelikli enerji kaynaklarının ısıtma sistemlerinde kullanılmasından kaynaklanmakta olduğu görülebilir.



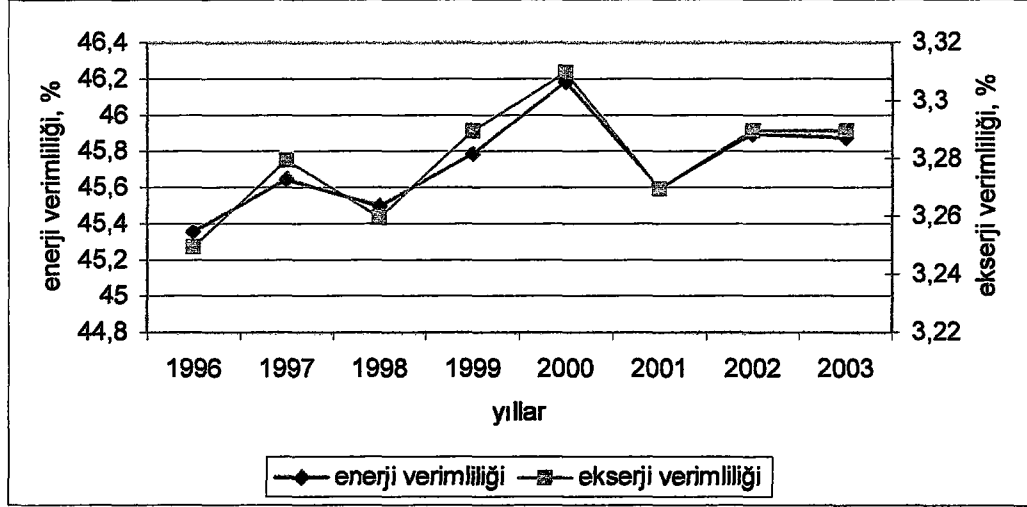
Şekil 3.3 Enerji verimliliği değişimi



Şekil 3.4 Ekserji verimliliği değişimi

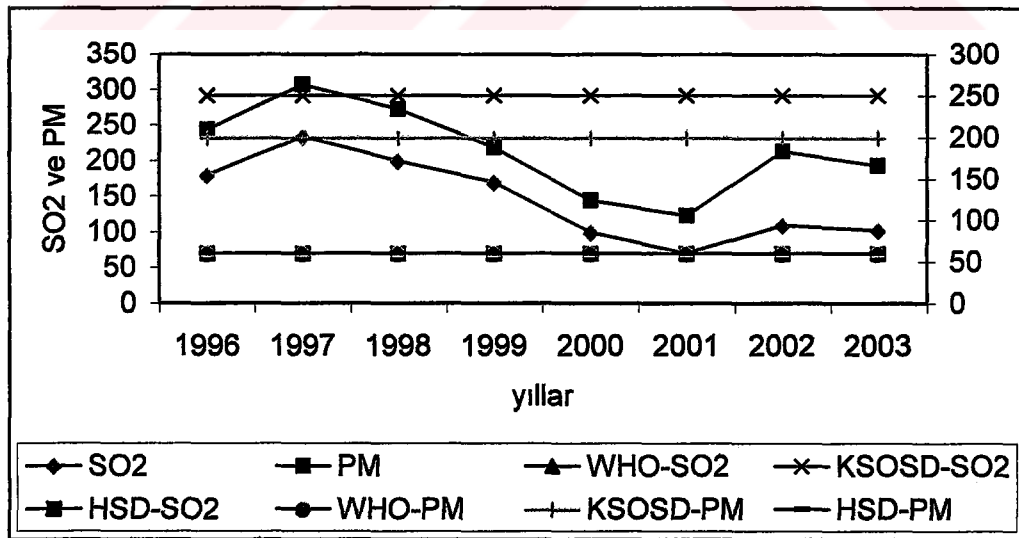
Şekil 3.5 incelendiğinde grafikte verilen enerji ve ekserji değerlerinin bir paralellik arz ettiği görülebilir. Her iki değer eğimleri birbirine çok yakın olup

hemen hemen aynı diyebiliriz. Sıcaklıkların düşük seyrettiği yıllarda yakıt tüketiminin az olması yanında verimlilik değerlerinde de bir yükseliş söz konusudur.



Şekil 3.5 Yıllara göre enerji ve ekserji verimlilikleri

Şekil 3.6'da verilen grafikte emisyon değerleri görülmektedir. İncelenen tüm yıllarda emisyon değerleri hedef sınır değerlerin her zaman üzerindedir.



Şekil 3.6 Emisyon Değerleri ve Sınır Değerler

1997 yılında emisyon değerleri en yüksek seviyelerde seyretmekte 2001 yılında da minimum değerleri almaktadır. Sıcaklıkların düşük olması emisyonları artırıcı bir rol oynamaktadır. Buna bağlı olarak yakıt tüketimi artmakta ve verimlilik değerleri de düşmektedir. Yakma sistemlerinin durumu, kullanılan yakıtın cinsi, dış hava sıcaklıkları, binaların yalıtımlı veya yalıtımsız olması gibi parametreler hava kirliliği konusunda etkili olan önemli parametrelerdir.

SO₂ ve PM emisyonları ile değerlendirilen hava kirliliğinde yakma sistemlerinin rolü çok büyüktür. Bu sistemlerin yaklaşık % 90'ı kömürlü-sobalıdır. Sobalı yakmalarda enerji verimleri % 45-47 arası, ekserji verimleri % 3,2-3,31 arasında bulunmuştur. Kullanılan kömürlerde yaklaşık %1 oranında kükürt vardır.

Kullanılan yakma sistemlerinin verimlerinin çok düşük olması nedeniyle yeterli ısıyı almak için daha fazla yakıtı ihtiyaç vardır. Fazla yakıt tüketimi sonucu atmosferdeki SO₂ konsantrasyonu da artacaktır.

Enerji ve ekserji verimlerinin düşük olması eksik yanma oranını artırmaktadır. Eksik yanma sonucu, CO, PM, yanmamış karbon ve hidrokarbon gibi kirlenimler atmosfere yayılarak hava kirliliğine yol açarlar ve enerji kaybına neden olurlar.

Bu sonuçlara göre; verimlilikleri iyileştirmek ve hava kirliliğini azaltmak için

- Yapılarda optimum ısı yalıtımı uygulanarak ısı kayıplarının minimuma indirilmesi,
- Doğal gaz gibi çevre kirliliği yaratmayan yakıtların kullanılması,
- Yakma sistemlerinin daha verimli yapılması, bu konuda operatörlerin ve halkın eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi,
- Kullanılan yakıtlara uygun yakma sistemi seçilmesi,
- Merkezi yakma sistemlerinin yaygınlaştırılması,
- Jeotermal enerji açısından zengin olan Balıkesir ilinin bu potansiyelinin ısıtma sistemlerinde değerlendirilmesi, gerekmektedir.

EK A

Tablo 1A (1996 YILI)

TARİH	Ocak 1996		Şubat 1996		Mart 1996		Ekim 1996		Kasım 1996		Aralık 1996	
	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM
1	288	121,9	160	47	180	148	51	45	160	38	160	24
2	128	53	176	60	208	161	54	37	142	21	240	34
3	167	83	288	96	128	113	29	61	160	45	192	34
4	96	40,6	240	66	320	246	49	46	177	52	269	69
5	128	47	227	97	192	66	45	25	227	98	168	49
6	48	66	162	93	304	60	36	49	225	97	276	74
7	80	41	145	65	240	53	57	45	266	135	290	50
8	80	47	178	89	208	47	55	36	213	116	176	40
9	80	28	163	60	160	29	80	47	235	84	320	65
10	160	80	176	53	176	53	64	56	185	49	272	47
11	272	113	208	53	192	66	96	40	168	45	353	69
12	160	105	192	53	192	66	88	54	266	125	303	43
13	134	73	180	75	192	80	99	47	244	132	202	49
14	96	53	354	176	144	60	87	56	284	125	204	50
15	96	47	304	80	144	47	124	55	248	60	192	66
16	96	47	144	41	112	34	88	45	355	135	208	80
17	86	32	176	53	48	29	192	65	302	78	288	88
18	80	34	224	73	96	47	170	26	320	98	165	42
19	128	73	192	66	240	66	170	26	462	178	151	30
20	160	96	224	80	112	86	128	40	508	184	253	49
21	288	113	128	19	218	69	149	45	207	47	288	47
22	128	73	96	20	176	47	185	36	207	55	96	29
23	192	65	80	14	96	41	202	42	263	70	128	35
24	96	53	48	9	80	53	168	56	244	62	176	47
25	272	105	160	29	176	89	151	42	188	47	160	41
26	336	131	112	96	208	96	197	45	101	56	352	89
27	336	131	192	172	144	41	163	42	218	49	284	32
28	160	53	208	131	240	80	188	56	50	10	208	34
29	128	40	256	172	80	24	210	45	213	73	304	88
30	176	66			64	41	197	56	168	49	208	34
31	96	29			48	35	180	45			128	34
ORTALAMA	153,9	69,0	186,0	73,7	165,1	70,1	121,0	45,5	233,5	80,4	226,3	50,4

Tablo 2A (1997 YILI)

TARİH	Oca.9		Şub.9		Mar.97		Eki.9		Kas.9		Ara.9	
	7		7		97		7		7		7	
	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM
1	197	74	102	45	160	24	29	37	50	24	295	82
2	213	82	102	32	240	34	36	30	84	42	184	53
3	320	84	95	29	192	34	30	27	67	36	172	53
4	328	124	140	54	269	69	45	32	180	50	221	92
5	295	90	169	85	168	49	52	39	152	31	246	53
6	246	48	248	102	276	74	35	39	168	50	270	82
7	240	50	152	98	290	50	47	36	400	121	221	63
8	188	43	259	105	176	40	64	42	234	107	246	72
9	130	23	298	115	320	65	35	30	277	117	241	63
10	252	56	341	132	272	47	30	27	213	87	369	62
11	252	56	392	245	353	69	36	30	213	71	221	36
12	286	100	458	195	303	43	53	21	64	20	517	188
13	269	49	480	104	202	49	64	26	346	188	560	267
14	178	54	348	92	204	50	53	20	266	122	673	203
15	263	48	132	30	192	66	43	21	106	35	266	89
16	294	54	181	75	208	80	53	21	133	50	480	147
17	381	108	247	68	288	88	40	26	133	42	160	92
18	374	111	248	47	165	42	74	20	293	78	480	189
19	289	70	213	24	151	30	64	21	234	63	246	92
20	459	182	259	54	253	49	64	26	186	99	586	203
21	545	258	148	9	288	47	88	32	240	57	560	109
22	340	63	241	34	96	29	84	30	123	29	400	89
23	337	73	273	41	128	35	71	32	172	62	533	175
24	357	94	225	24	176	47	64	23	172	58	187	78
25	540	141	471	137	160	41	84	20	246	91	453	122
26	285	27	480	135	352	89	71	15	133	48	507	176
27	315	50	252	53	284	32	71	21	213	57	400	99
28	84	32	505	118	208	34	168	32	400	147	480	148
29	198	65			304	88	151	30	123	72	320	89
30	93	51			208	34	134	30	172	44	293	78
31	243	90			128	34	101	39			400	148
ORTALA MA	283,6	79,0	266,4	81,5	226,3	50,4	65,6	28,2	193,1	69,9	360,9	112,6
% FARK			-6,1	3,1	-15,1	-38,2	##### #	##### #	194,3	147,8	86,9	61,1

Tablo 3A (1998 YILI)

TARİH	Oca.98		Şub.98		Mar.98		Eki.98		Kas.98		Ara.98	
	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM
1	480	188	260	75	420	83	43	17	168	38	375	58
2	640	323	320	92	440	92	36	21	160	45	444	58
3	666	303	213	107	192	39	42	23	170	35	391	62
4	586	251	324	23	300	120	40	14	177	31	302	45
5	613	234	239	55	260	119	48	10	142	21	266	59
6	506	175	149	52	240	78	64	24	177	27	213	52
7	453	175	149	42	220	83	46	18	160	32	177	45
8	480	148	170	45	120	67	25	20	142	26	192	58
9	640	234	213	48	180	92	30	22	124	32	231	45
10	533	174	170	48	192	43	22	19	142	28	198	62
11	320	57	213	52	200	51	42	24	120	35	222	73
12	266	89	227	52	160	30	50	30	303	117	199	66
13	666	286	234	50	220	75	64	31	185	20	213	73
14	586	365	405	118	320	77	74	30	185	46	200	59
15	560	304	235	54	220	57	50	27	168	35	208	59
16	533	235	384	150	260	59	48	26	85	30	176	52
17	324	142	512	229	320	132	46	32	160	27	168	42
18	367	204	192	80	193	42	64	30	213	60	250	56
19	302	89	220	63	213	57	71	24	213	32	288	82
20	365	114	160	30	280	100	40	23	231	45	240	74
21	434	162	220	84	220	75	43	30	284	73	400	96
22	206	58	200	75	160	59	48	26	213	45	426	71
23	200	67	260	100	180	59	43	21	177	38	266	59
24	160	91	480	167	240	83	50	20	213	45	288	63
25	200	67	280	80	360	100	84	25	320	52	320	48
26	180	67	160	43	320	68	67	25	195	45	240	66
27	256	63	200	67	284	96	68	25	160	38	288	62
28	160	30	240	59	320	75	85	10	142	58	336	89
29	140	51			240	60	106	25	391	66	285	65
30	200	43			242	51	168	50	355	52	286	62
31	180	43			280	75	134	38			338	74
ORTALA MA	393,6	155,9	251,0	76,4	251,5	74,1	59,4	24,5	195,8	42,5	271,8	62,4
% FARK			-36,2	-51,0	0,2	-3,1			229,8	73,2	38,8	47,0

Tablo 4A (1999 YILI)

TARİH	Oca.99		Şub.99		Mar.99		Eki.99		Kas.99		Ara.99	
	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM
1	356	52	240	38	177	66	40	26	86	26	142	52
2	373	81	140	25	134	42	49	21	92	32	248	175
3	382	89	213	26	117	58	53	15	110	21	355	190
4	378	82	160	32	71	21	62	26	145	26	142	59
5	408	167	177	27	160	73	53	26	116	32	266	106
6	288	59	231	25	88	26	62	21	151	25	284	116
7	213	62	160	27	71	23	40	26	151	42	174	52
8	286	92	195	32	67	21	45	21	202	62	142	45
9	408	125	168	38	67	15	49	21	144	35	168	59
10	373	73	303	73	85	32	45	15	149	32	176	66
11	382	89	240	66	151	26	53	21	174	40	355	145
12	391	106	88	32	84	21	49	26	156	47	266	73
13	315	81	160	73	80	21	60	24	195	26	172	52
14	296	98	200	66	75	19	47	24	177	21	168	45
15	288	73	240	85	80	23	51	21	231	52	297	59
16	288	68	248	106	96	19	60	35	284	73	303	79
17	256	52	231	81	125	37	62	45	165	45	289	66
18	272	73	240	98	128	23	68	54	106	32	290	38
19	240	52	140	32	96	19	58	50	124	21	297	45
20	256	65	177	66	112	23	53	36	142	21	277	35
21	240	59	160	52	112	23	55	45	177	21	150	45
22	288	73	142	45	120	43	80	65	195	21	173	42
23	286	73	106	45	160	52	87	45	88	20	193	38
24	272	81	71	32	177	38	88	43	106	25	84	32
25	195	87	106	55	167	45	88	42	168	28	87	21
26	360	67	142	52	151	52	64	40	177	32	186	87
27	400	119	117	26	120	23	87	42	231	26	169	73
28	320	64	124	38	105	43	80	42	266	52	126	45
29	213	46			110	23	71	26	311	73	107	25
30	177	27			113	23	88	32	248	66	106	26
31	160	37			115	38	53	21			101	15
ORTALAMA	301,9	76,5	175,7	49,8	113,4	32,6	61,3	32,2	168,9	35,8	203,0	64,7
% FARK			-41,8	-35,0	-35,5	-34,4			175,6	11,4	20,2	80,6

Tablo 5A (2000 YILI)

TARİH	Oca.00		Şub.00		Mar.00		Eki.00		Kas.00		Ara.00	
	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM
1	115	21	200	66	73	21	28	35	144	80	45	26
2	84	26	167	52	98	20	36	29	80	88	50	48
3	135	32	209	45	53	14	30	29	75	52	53	59
4	145	47	89	10	48	22	32	29	81	65	45	31
5	203	56	122	24	62	26	30	31	72	59	49	38
6	85	32	155	36	52	12	33	30	75	60	67	59
7	186	59	172	21	75	28	32	30	65	52	82	66
8	216	66	153	15s	105	52	30	29	54	38	38	26
9	225	58	178	21	109	55	25	24	88	27	37	21
10	201	69	173	10	79	49	26	22	79	38	45	38
11	222	56	95	10	52	21	27	21	71	73	168	106
12	154	32	76	28	83	10	22	19	35	26	108	98
13	223	46	84	26	53	26	25	21	35	25	52	37
14	110	21	110	38	50	32	22	18	62	37	88	66
15	225	32	105	45	57	52	19	16	78	66	93	89
16	289	48	76	55	58	21	20	18	110	89	95	106
17	265	42	159	134	38	32	18	16	213	89	62	59
18	189	21	99	40	44	38	21	18	210	87	44	28
19	133	38	94	51	51	32	17	13	225	98	106	59
20	237	52	98	40	58	26	16	13	227	106	48	32
21	184	46	74	35	87	45	27	21	160	81	45	32
22	291	73	106	52	60	38	32	26	158	98	43	30
23	245	59	106	50	53	26	35	29	80	52	60	52
24	208	55	93	31	87	36	37	30	65	32	58	45
25	243	26	116	47	82	10	59	30	142	59	55	21
26	304	21	194	117	73	21	59	30	175	156	55	20
27	202	36	127	52	64	19	65	80	155	81	57	20
28	279	57	132	32	63	52	88	53	53	45	71	52
29	186	66	128	10	54	44	73	37	47	32	60	29
30	237	81			53	24	80	46	38	21	112	45
31	152	38			40	23	48	65			59	37
ORTALA MA	199,1	45,5	127,2	43,3	65,0	29,9	35,9	29,3	105,1	63,7	66,1	47,6
% FARK			-36,1	-5,0	-48,9	-30,9			192,9	117,6	-37,1	-25,3

Tablo 6A (2001 YILI)

TARİH	Oca.01		Şub.01		Mar.01		Eki.01		Kas.01		Ara.01	
	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM
1	115	59	30	13	52	29	13,9	25,1	40,4	115,5	65,9	49,9
2	122	62	27	12	47	25	11,4	33,2	38	58,4	46,7	21,6
3	56	32	57	32	52	28	11,6	25,2	31,7	29,4	42,5	19,2
4	53	29	59	35	55	27	14	27,7	25,2	28,4	71	41,2
5	68	52	68	37	49	24	18	27,3	17	73,8	113,5	69,7
6	124	81	76	38	60	29	13,3	26,2	35,5	67	89,4	58,8
7	133	89	80	35	57	26	16,2	27	44,1	68,8	88,3	42,9
8	151	145	85	33	49	25	12	24,1	59,2	87,6	58,2	24,4
9	105	98	80	32	46	24	10,7	24,6	94,3	119,1	68,1	30,5
10	48	26	69	33	52	27	11,1	24,8	78	110,3	93,2	54,9
11	62	45	72	30	50	27	10	25,2	83,7	116,4	103,7	50,6
12	124	45	86	34	45	27	12,2	24,4	63,5	87,1	128,6	65,7
13	158	81	64	29	42	23	11,7	25,1	41,6	48	104,9	62,4
14	147	52	60	24	30	26	10,5	22,3	31,5	96,2	106,1	65,9
15	42	21	48	19	61	24	12	24,6	82,2	111,3	161,2	125,1
16	42	20	82	27	52	26	11,1	29,3	87,4	60,4	128	101,7
17	38	19	70	36	27	14	11,3	24	50,8	53,6	102,5	43,4
18	37	20	81	40	25	15	10,6	28,8	99,2	61,4	85,2	39,4
19	45	28	65	32	26	10	10,7	25,7	145,8	208,6	176,9	78,4
20	53	32	53	18	55	36	13,6	28,5	25,8	96,4	163	97,1
21	55	32	72	55	32	27	14,7	32,6	76,8	99,3	296,8	187,1
22	71	38	86	80	37	35	11,5	29,9	154,9	170,8	286,8	163
23	70	42	65	22	35	16	9,9	25,2	169,6	146	244,3	131,4
24	75	49	58	20	47	22	15,3	26,7	66,7	46,1	76,8	44
25	68	37	63	22	60	28	19,2	34,8	131,7	82,7	62,5	33,8
26	67	35	80	23	52	26	24	36,7	228,5	134,6	123,9	79,9
27	204	106	47	32	36	17	26,1	46,1	212,6	222	260,5	222,9
28	195	89	52	27	45	25	23,5	38,9	273,3	270,6	187,7	138,2
29	88	38			22	12	27,7	38,3	100,6	139,2	115,9	70,2
30	39	26			27	16	59	66,3	81,6	48	93,1	23,2
31	37	25			32,1	29	89,8	152,6			118	63,2
ORTALAMA	86,8	50,1	65,5	31,1	43,8	24,0	18,3	33,9	89,0	101,9	124,6	74,2
% FARK			-24,5	-38,0	-33,2	-22,7			387,2	200,5	40,0	-27,2

Tablo 7A (2002 YILI)

TARİH	Oca.02		Şub.02		Mar.02		Eki.02		Kas.02		Ara.02	
	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM
1	55	36	204,5	172,4	85	61,8	13,6	20,8	90,9	99,5	178,7	134,6
2	103,9	47	117	109,9	86,3	64,8	11,0	20,2	93,4	121,9	224,8	146,6
3	214,6	134,4	94,4	95,9	70,4	69,9	19,8	29,7	94,9	120,0	226,9	147,0
4	85,5	45,8	160,1	207,5	71,2	65,2	26,1	36,6	102,6	92,2	315,1	175,6
5	101,3	41,2	209,8	185,6	95,4	88,9	28,2	45,6	40,3	65,5	122,7	85,6
6	116	64,9	172,8	122,2	97,7	125,8	32,0	53,6	40,9	36,9	118,0	104,4
7	288,6	197,9	170,1	154,5	79,3	116,3	20,7	34,4	86,2	93,7	38,5	31,4
8	259,5	169,1	188,9	177,2	63,1	106,3	15,0	38,1	59,0	53,7	39,4	30,0
9	91,2	41,7	133,5	152,3	33,7	75,5	22,1	54,0	62,6	54,1	51,1	28,1
10	84,3	30,5	173,9	171,7	85,9	118,4	25,2	59,5	44,9	46,8	75,1	38,1
11	134	98,6	112,5	89,6	35,6	60,3	33,3	83,7	40,7	53,9	154,1	84,8
12	157,6	101,2	93,1	65	33	64,1	27,2	68,6	118,9	141,4	179,7	108,8
13	162,5	103,7	150	132,2	37	43,5	12,0	24,8	197,9	190,2	292,6	220,6
14	110,3	82,5	149,7	116,8	76,1	74,7	22,7	35,3	237,8	191,8	239,9	151,6
15	124	84	94,1	93	69,1	81,2	13,7	20,3	187,9	148,2	98,2	57,9
16	198,2	96,5	52,4	47,6	54,9	78,9	18,3	25,6	190,8	184,7	239,5	159,7
17	199,7	201,6	67,4	57,2	31,9	45,8	23,6	58,8	181,8	166,1	205,2	161,6
18	288,3	243,7	245,2	217,9	49,4	45,9	43,4	89,6	189,1	225,4	208,7	175,3
19	97,8	146,9	208,7	185,6	72,7	70,1	38,0	63,5	212,4	200,9	105,1	85,6
20	69,7	68,8	86,3	80,8	116	128,3	15,5	33,8	185,6	188,7	72,9	86,0
21	108,6	78,8	111,6	117,3	89,5	86,7	23,8	36,0	197,0	198,3	170,8	127,5
22	147,5	125,7	99,4	116,9	109,2	94,1	47,1	92,0	239,6	228,2	286,0	231,2
23	185,8	184,2	73,8	67	41	58,4	53,9	96,4	152,9	107,5	332,2	242,4
24	165,3	133,8	67,7	50,1	29,6	22,2	58,9	70,6	129,8	92,0	180,9	168,8
25	230,6	184,4	53,9	44,5	31,3	27,1	29,4	33,1	192,2	154,9	106,0	74,7
26	144,8	119,6	121	78,2	42,9	34	23,6	47,1	148,9	157,3	151,6	107,7
27	154,9	135,1	120,1	91	51,9	48,7	22,4	49,6	135,4	136,3	302,8	195,6
28	170,6	141,7	84,3	50,5	58,5	52,5	34,0	59,1	171,5	150,6	325,7	213,1
29	177,1	168,6			87,9	74,7	53,5	40,2	251,1	216,3	227,4	115,3
30	200,2	177,9			87,8	77,3	53,7	66,7	264,0	246,5	188,4	109,1
31	190,2	159,9			55,5	53,1	98,6	105,0			197,3	136,0
ORTALAMA	155,4	117,6	129,2	116,1	65,4	71,4	31,0	51,4	144,7	138,8	182,4	126,9
% FARK			-16,9	-1,3	-49,3	-38,5			367,1	170,2	26,1	-8,5

Tablo 8A (2003 YILI)

TARİH	Oca.03		Şub.03		Mar.03		Eki.03		Kas.03		Ara.03	
	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM	SO2	PM
1	85,8	64,1	132,4	93,1	171,6	79,4						
2	75,5	58,4	49,7	51,8	215,3	125,0						
3	140,0	118,2	85,7	69,9	138,7	121,4						
4	147,8	94,6	111,5	79	119,7	57,3						
5	192,2	151,6	57,2	36,2	39,7	38,4						
6	85,2	76,2	38,1	36,4	39,3	36,1						
7	139,7	113,2	50,7	41,3	69,7	89,9						
8	80,1	78,1	113,0	74	52,1	91,6						
9	168,5	134,2	120,0	151,6	58,2	89,5						
10	135,6	110,9	143,3	119,8	67,5	102,3						
11	130,3	120,0	77,6	94,8	57,1	89,9						
12	43,1	39,8	48,2	48,7	85,1	102,9						
13	72,6	47,2	47,5	41,6	98,9	129,1						
14	124,1	94,6	52,9	48,2								
15	236,3	192,7	99,3	68,5								
16	330,4	255,0	98,0	104,7								
17	266,4	174,3	92,1	87,8								
18	152,7	160,7	47,6	30,3								
19	114,1	148,3	75,2	47,5								
20	90,2	71,1	102,3	72,6								
21	127,0	111,0	137,4	105,6								
22	196,0	171,3	80,1	53,8								
23	234,4	218,5	84,7	55,9								
24	156,4	139,5	61,2	65,2								
25	47,1	48,5	64,1	38,6								
26	49,1	45,9	90,7	40,1								
27	62,5	40,7	144,5	95,8								
28	88,5	65,1	193,4	123,3								
29	110,4	92,6										
30	54,6	35,9										
31	63,1	26,4										
ORTALAMA	129,0	106,4	89,2	70,6	93,3	88,7						
% FARK			-30,8	-33,7	4,6	25,6						

EK C

BİNANIN ÖZGÜL ISI KAYBI HESABI

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı elemanının kalınlığı	Isı iletkenlik hesap değeri	d/λ, 1/α	Isı iletkenlik katsayısı	Isı kaybedilen yüzey	Isı Kaybı
			d (m)	λ (W/mK)	(m ² K/W)	U (W/m ² K)	A m ²	AxU (W/K)
DUVAR	1/α _i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
		Kireç harcı	0,02	0,87	0,023			
		Yatay delikli tuğla	0,19	0,45	0,422			
		Kireç harcı	0,03	0,87	0,034			
	1/α _D	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
TOPLAM					0,65	1,54	270,95	416,99
TAVAN	1/α _i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
		Kireç harcı	0,02	0,87	0,023			
		Donatılı beton	0,12	2,1	0,057			
		Kireç harcı	0,03	0,87	0,034			
	1/α _D	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,08			
TOPLAM					0,32	0,8x3,08	100	246,4
TABAN	1/α _i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
		PVC kaplama	0,005	0,23	0,022			
		Çimento harçlı şap	0,03	1,4	0,021			
		Donatılı beton	0,12	2,1	0,057			
	1/α _D	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)						
TOPLAM					0,23	0,5x3,69	100	184,95
PENCERE						5,00	41,06	205,27
Yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı:							1053,64	

$$H=H_i+H_h$$

$$H_i = 1053,64 \text{ W/K}$$

$$H_h = 205,9 \text{ W/K}$$

$$H = 1259,55 \text{ W/K}$$

YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI

Aylar	ISI KAYBI			ISI KAZANCI			Kazanç Kayıp Oranı	Kazanç Kullanım Faktörü	Aylık Toplam Isı İhtiyacı	
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Kaybı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Isı Kazancı	Toplam				
	$H=H_i+H_h$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	ϕ_i, W	ϕ_g, W	$\phi_r=\phi_i+\phi_g$				γ
OCAK	1259,55	15,7	19774	1248	672	1920	0,10	1,00	46277568	
ŞUBAT		14,5	18263		860	2108	0,12	1,00	41873760	
MART		11,8	14862		1210	2351	0,16	1,00	32428512	
NİSAN		6,4	8061		1467	2458	0,30	0,96	14777821	
MAYIS		1,2	1511		1551	2715	1,8	0,43	890481	
HAZİRAN		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
TEMMUZ		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
AĞUSTOS		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
EYLÜL		Td yüksek	-		-	-	-	-	-	-
EKİM		4,9	6171		879	2127	0,34	0,95	10757707	
KASIM		9,9	12469		644	1892	0,15	1,00	27415584	
ARALIK		14,1	17759		584	1832	0,10	1,00	41282784	
$Q_{yıl}=215704217 \text{ kJ/yıl}$										

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 1/1000 \times 215704217 = 59965 \text{ kWh}$$

Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı $Q' = 77,30 \text{ kWh/m}^2$

Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı $Q = 240,25 \text{ kWh/m}^2$

Bu bina için yapılmış olan ısı yalıtım projesi standarda uygun değildir.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZGENER Leyla,HEPBAŞLI Arif , ‘HVAC sistemlerinde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulamaları’, VI Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 2003.
- [2] Cornelissen,R.L.,1994 , Bibliograpy on exergy analysis and releated Techniques 1985-1994 , Universe of Twente
- [3] Keenan,J.H., Asteam Chart for second-law analysis, a study of thermodynamic availbality in the Stream Power Plant,Mechanical Engineering 54,pp. 195-204
- [4] Szargut,1986,Standart Chemical Exergy of some Elements and Compounds on the planet Earth,Energy 11 no.8,pp 7333-735
- [5] Brundtland,G.H. et al , 1987 , our common future , World commisson on environment and development (WCED).
- [6] Slessor,M.,1974, Energy Analysis Workshop on Metodology and Convention , international federation of institutes for advanced Study,Stockholm.
- [7] K.Çomaklı,S.Karşlı,M.YILMAZ.; Atatürk Ü. Müh- Fak. Makina Müh. Bölümü, Ö Çomaklı, Atatürk Ü. Pasinler M.Y.O. “Termal Sistemlerin Ekserjetik Analizi”
- [8] Szargut, J, Morris, D.R., Steward, F.R., Exergy Analysis Of Thermal, Chemical And Metallurgical Pricesses, Hemisphere Publishing Corporal Kin, NewYork, 1988.
- [9] ROSEN, M.A. ve DINCER, I., “Exergy as the Confluence of Energy, Environment, and Sustainable Development”, Exergy- An International Journal, Cilt No: 1(1), Sayfa: 3-13, 2001.
- [10] WALL, G., “Exergy Conversion in the Japanese Society”, Energy, Cilt No: 15(5), Sayfa: 435-444, 1990.
- [11] Yüncü, R, KJasik Termodinamik Prensipleri, Tıp.Teknik Yayınlan, 2000.
- [12] Kotas, T.J. The exergy method of thermal plant analysis. Kriger publishing, 1995
- [13] Wall. (J. And Gong, M., Un exergy and sustainable development-Part2]: Conditions and concepts. Energy Int. J., 1(3), 128-145, 21X11
- [14] Wall, J. And Cong, M.,Un exergy and sustninnble dcvelopment- Part 2; Indicators and methods. Exergy Int. J., 1(4), 217-233,2001

- [15] Keenan, J.H.. Thermodynamics;, 3 rd. Ed. Wiley, New York, 1948.
- [16] Rant, Z., Exergie ein neues Wort für 'technische Arbeitsfähigkeit'(Exergy. a New Word for technical available work), Forschungen imIngenieurwesen, 22, 36-37,1956
- [17] Brodyansky, V.M., Sorin and Le Golf, P., 1994, The Efficiency of Industrial Process: Exergy Analysis and Optimization , Elsevier Science B.V.
- [18] Cornelissen ,R.L. , Bibliografya on Exergy Analysis and Related Techniques 1985 -1994 and Cornelissen ,R.L.'s publication in 1985 – 1997
- [19] Dr.Zafer UTLU ,”Sektörel Enerji ve Ekserji verilerinin belirlenmesi”Doktora tezi Ege Üniversitesi Fen bilim. Enst. Makine Müh.Güneş Enerjisi Ana bilim Dalı
- [20] Perry , R.H., Perry's Chemical Engineers Handbook, Mc Graw-Hill Book Company, Sixth Edition !984
- [21] Öztürk, A., Kılıç A., Termodinamik, ISBN 975-436-031-6, 3. Yayım, 1998
- [22] UTLU, Z., HEPBAŞLI, A., ‘A study on the evaluation of energy utilization efficiency in the Turkish residential-commercial sector using energy and exergy analyses’, Energy and Buildings 35 (2003) 1145-1153, Elsevier
- [23] İLTEN, N., SELİÇİ, A.T., ‘Balıkesir şehir merkezinde hava kirliliği ve doğal gaz’, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Mayıs 2004, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
- [24] UTLU, Z., HEPBAŞLI, A., ‘Ülkemizin sektörel bazda enerji kullanım verimliliğinin değerlendirilmesi’, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Mayıs 2004, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
- [25] TOPAL, H., ERBAŞ, O., DURMAZ, A., ‘Sobalardan kaynaklanan hava kirliliği ve alınabilecek önlemlerin incelenmesi’, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Mayıs 2004, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
- [26] DURMAZ, A., ‘Kömürün yanması, yakma sistemleri ve tasarımı’, , II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Mayıs 2004, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
- [27] www.balikesir.gov.tr ,Balıkesir Valiliği Web Sitesi
- [28] ‘1996-2003 yılları Balıkesir İl Merkezi Sıcaklık Dağılımı’, Balıkesir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü

- [29] ‘1996-2003 Balıkesir İl Merkezi Emisyon Değerleri’, Balıkesir İl Halk Sağlığı Müdürlüğü
- [30] KARPUZCU, M., ‘Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü’,Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Çevre Müh. Böl., 1996
- [31] Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği, 2.11.1996 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete
- [32] Sanayide Enerji Yönetimi Esasları, Cilt II, EİE, Ocak 1997
- [33] ‘TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’, 14 Haziran 1999 tarih ve 23725 Sayılı Resmi Gazete
- [34] DİE 1986 ve DİE 2000, Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü
- [35] ÇENGEL, Y., Mühendislik Yaklaşımı İle Termodinamik

