

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

**ENERJİ KULLANIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR  
GELİŞME: BALIKESİR ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çev. Müh. A.Tülay SELİCİ**

**Balıkesir, Temmuz 2006**

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

ENERJİ KULLANIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR  
GELİŞME: BALIKESİR ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çev. Müh. A.Tülay SELİCİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Nadir İLTEN

Sınav Tarihi : 06.07.2006

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

Doç. Dr. Cengiz ÖZMETİN (BAÜ)

Yard. Doç. Dr. Nadir İLTEN (BAÜ)



Balıkesir, Haziran 2006

## ÖZET

### ENERJİ KULLANIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR GELİŞME: BALIKESİR ÖRNEĞİ

Çev. Müh. A. Tülay SELİCİ  
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Balıkesir, 2006

**ANAHTAR SÖZCÜKLER :** enerji / ekserji /sürdürülebilir gelişme / çevresel etki / hava kirliliği / meteorolojik parametreler

Hava kirliliği kış aylarında, Türkiye'nin batısında yer alan Balıkesir için en önemli çevresel problemlerden biridir. Şehrin topoğrafik yapısının çanak şeklinde olmasıyla oluşan iklim özellikleri, yakıt kullanımı hava kirliliğinde ciddi problemler oluşturmaktadır. Kirlilik konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler arasında yakın bir ilişki vardır. Bu çalışmada, günlük olarak ölçülen Partikül Madde (PM) ve Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)konsantrasyonları ile rüzgar hızı, sıcaklık, mutlak nem ve basınç arasındaki ilişki belirlenmiştir. Bu veriler 1999-2005 kış sezonlarında lineer regresyon analiz yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiştir. Analizlerde Partikül Madde ve Kükürt dioksit parametrelerinin konsantrasyonları ile soğuk hava arasında kuvvetli, rüzgar hızı, basınç ve mutlak nem arasında daha düşük bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada enerji kullanımı; enerji verimliliği, çevre ve sürdürülebilir gelişme açısından analiz edilmiştir. Konut ısıtma, su ısıtma, pişirme, taşımacılık, elektrik tüketimi, sanayide kullanılan enerjinin nüfus ve sıcaklığa bağlı olarak ekserji ve enerji analizleri yapılmıştır.

## **ABSTRACT**

### **ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE USE ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT : THE APPLICATION OF BALIKESİR**

**Env. Eng. A. Tülay SELİCİ**  
**Balikesir University, Institute of Science,**  
**Department of Environmental Engineering**

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

**Balikesir – Turkey, 2006**

**KEY WORDS :** energy / exergy / sustainable development / energy efficiency / environmental impact / air pollution / meteorological parameters

The air pollution is the one of most important environmental problems in Balikesir, situated in the eastern of Turkey, during the winter periods. The unfavorable climate as well as the city's topography, and inappropriate fuel usage cause serious air pollution problems. The air pollutant concentrations in a city have a close relationship with its meteorological parameters. In the present study, the relationship between daily average total suspended particulate (TSP) and sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) concentrations with meteorological factors, such as wind speed, temperature, relative humidity and pressure, in 1999–2005 winter seasons was statistically analyzed using the stepwise multiple linear regression analysis. According to the results obtained through analysis, higher TSP and SO<sub>2</sub> concentrations are strongly related to colder temperatures, lower wind speed, higher pressure system and higher relative humidity.

In this study, energy utilization, energy efficiency, environment and sustainable development are analyzed. In this thesis the energy and exergy analysis of the fuel consumption in space heating and cooking activities, electrical energy uses and transportation and industrial energy uses by industry in Balikesir city center were by considering population, climate between 1996 and 2004.

	<b>Sayfa</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	i
ABSTRACT, KEY WORDS	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Araştırması	2
<b>2.SİSTEM ANALİZİNDE ENERJİ-ÇEVRE VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK</b>	<b>13</b>
2.1 Termodinamik Kavramlar	13
2.1.1 Termodinamiğin Birinci Kanunu	13
2.1.2 Termodinamiğin İkinci Kanunu	16
2.1.3 Enerji ve Ekserji	22
2.1.4 Fiziksel Ekserji	27
2.1.5 Kimyasal Ekserji	30
2.1.6 Tersinmezlik ( Ekserji Kaybı )	31
2.1.7 Ekserji ve Ekserji Verimliliği	33
2.2 Çevresel Kavramlar	36
2.2.1 Çevre	36
2.2.2 Çevreyi Etkileyen Faktörler	37
2.2.3 Hava Kirliliği	38
2.2.4 Hava Kirliliğini Etkileyen Meteorolojik Bileşenler	38
2.2.5 Hava Kirliliğinin Kaynakları	38
2.2.6 Otomobillerin Oluşturduğu Kirlilik	39
2.2.7 Hava Kirliliğini Oluşturan Kirleticiler	41
2.2.7.1 Kükürt Oksitler	41
2.2.7.2 Partiküller Madde	45
2.2.8 Hava Kirliliği ve Etkiler	46
2.2.8.1 Asit Yağmurları	46
2.2.8.2 Strosferik Ozonun İncelmesi	48
2.2.8.3 Sera Etkisi	49
2.3 Sürdürülebilir Kalkınma	50
2.3.1 Sürdürülebilir Kalkınma Tanımı	50
2.3.2 Sürdürülebilir Kalkınmayı Etkileyen Parametreler	52
2.3.3 Sürdürülebilir Dünya Toplumunun Özellikleri	52
2.3.4 Sürdürülebilir Kalkınmanın Dünyada ve Ülkemizde Durumu	54

2.3.5	Enerji Kullanımı ve Çevre	55
2.3.6	Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma	56
2.3.7	Enerji-Sürdürülebilir kalkınma	56
2.3.8	Enerji-Çevre-Sürdürülebilir Kalkınma Arasındaki İlişki	57
2.3.9	Sürdürülebilir Kalkınma İçin Öneriler	58
2.3.10	Yerel Yönetimler Açısından Sürdürülebilir Gelişmenin Önemi	60

### **3. ENERJİ-EKSERJİ-ÇEVRE ANALİZLERİ**

3.1	Enerji Kullanımı ve Enerji Verimliliği	62
3.1.1	Enerjinin Genel Tanımı	62
3.1.2	Enerji Türleri	62
3.1.2.1	Yenilenebilir Enerji Kaynakları	62
3.1.2.2	Yenilenemez Enerji Kaynakları	63
3.1.3	Enerji Kalitesi	63
3.1.4	Enerji Verimliliği ve Net Yararlı Enerji	64
3.1.5	Enerji Dengesi-Nüfus İlişkisi	66
3.1.6	Enerjinin Kullanımı ve Önemi	68
3.1.7	Dünyanın Genel Enerji Görüntüsü	69
3.1.8	Türkiye'nin Genel Enerji Görüntüsü	72
3.2	Yakıtların Enerji ve Ekserji Verimlilikleri	75
3.3	Taşımacılık	76
3.3.1	Taşımacılık Sektörünün Bugünkü Durumu	76
3.3.2	Karayolu Taşımacılığı	77
3.3.3	Taşımacılık Sektöründe Kullanılan Araçların Enerji ve Ekserji Verimlilikleri	79
3.4	Sanayi Sektörü	80
3.5	Regresyon Analizi	83

### **4. VERİMLİLİK VE ÇEVRE ANALİZLERİ**

4.1	Balıkesir İli Genel Görünümü	84
4.2	Balıkesir'de Kullanılan Yakıtların Özellikleri	85
4.3	Balıkesir İlinde Hava Kirliliği	87
4.4	Balıkesir İlinde Hava Kirliliğinin Meteorolojik Şartlara Göre İncelenmesi	90
4.4.1	SO <sub>2</sub> ve Ortalama Rüzgar Hızı Arasındaki İlişki	91
4.4.2	SO <sub>2</sub> ve Ortalama Sıcaklık Arasındaki İlişki	92
4.4.3	SO <sub>2</sub> ve Ortalama Basınç Arasındaki İlişki	93
4.4.4	SO <sub>2</sub> ve Ortalama Nem Arasındaki İlişki	93
4.4.5	PM ve Ortalama Rüzgar Hızı Arasındaki İlişki	94
4.4.6	PM ve Ortalama Sıcaklık Arasındaki İlişki	95
4.4.7	PM ve Ortalama Basınç Arasındaki İlişki	95
4.4.8	PM ve Ortalama Nem Arasındaki İlişki	96
4.4.9	PM ve SO <sub>2</sub> Arasındaki İlişki	97
4.4.10	PM ile Ortalama Rüzgar Hızı, Sıcaklık, Basınç, Nem Arasındaki İlişki	98

4.4.11 SO <sub>2</sub> ve Ortalama Rüzgar Hızı Sıcaklık, Basınç, Nem Arasındaki İlişki	98
4.5 Balıkesir İli Enerji Kullanımı Verimliliği	99
4.5.1 Konut Enerji-Ekserji Verimliliği	99
4.5.1.1 Balıkesir İli Konut ve İşyeri Durumu	99
4.5.2 Balıkesir İli Konutlarda Su Isıtma ve Pişirme Enerji-Ekserji Verimliliği	112
4.5.2.1 Su Isıtma	112
4.5.2.2 Pişirme	114
4.5.3 Konutlarda Elektrik Tüketimi	115
4.5.4 Balıkesir İli Taşımacılık Verimlilik Hesabı	118
4.5.5 Balıkesir İli Sanayisi ve Enerji-Ekserji Verimliliği	120
<b>5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME</b>	<b>124</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>136</b>

## SEMBOL LİSTESİ

Simge	Adı	Tanımı/Değeri	Birimi
$\varepsilon_1$	Enerji verimliliği		%
$\varepsilon_2$	Ekserji verimliliği		%
$\oint$	integral		
$\delta$	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 <sup>2</sup>
V	hız		m/s
$\bar{u}$	molar iç enerji		
H	entalpi, özgül ısı kaybı		kJ/kg, kJ
h	özgül entalpi		kJ/kg
lim	limit		
$\Delta t$	zaman aralığı		s
$\dot{Q}$	ısı güç		kWh
$\dot{W}$	güç		kW
$\eta$	ısı verim, basit verimlilik		%
$\beta'$	ısıtma tesir katsayısı		
$\beta$	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 <sup>3</sup> /kg
$e_{ch}$	kimyasal ekserji		
$P_{00}$	kısmi basınç		Pa
NCV	net yanma değeri		
$\oint$	tersinmezlik		kJ/kg
$E^{out}$	çıkış ekserjisi		kJ/kg
$E^{in}$	giriş ekserjisi		kJ/kg
$\Psi$	rasyonel verimlilik		%
$\oint_{tr}$	geçişli ekserji		kJ/kg



<b>Simge</b>	<b>Adı</b>	<b>Tanımı/Değeri</b>	<b>Birimi</b>
UVS	uzun vadeli sınır değer		$\mu\text{g}/\text{m}^3$
KVS	kısa vadeli sınır değer		$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM	partikül madde		$\mu\text{g}/\text{m}^3$
LPG	sıvılaştırılmış petrol gazı		
TS	Türk Standartları		
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit		
CO	Karbon monoksit		
NO	Azot oksit		
H <sub>2</sub> S	Hidrojen sülfür		
pJ	Petajoule= $10^{15}$ Joule		
HKI	Hava Kalitesi İndeksi		
VOCs	Uçucu Organik Madde		
DİE	Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü		
GSMH	Gayri Sarfı Milli Hasıla		
OECD	İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı		
OPEC	Petrol İhraç eden Ülkeler örgütü		

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1	Sistemin hal değişimleri	14
Şekil 2.2	(a) Isı makinesi ve (b) ısı pompası	18
Şekil 2.3	(a) Kelvin-Planck ifadesine, (b) Clausius ifadesine aykırı makinelerin şemaları	20
Şekil 2.4	Aynı ısı kaynakları arasında çalışan ısı makineleri	21
Şekil 2.5	Verilen durumla çevre arasında çalışan tersinir bir ısı makinesinin gösterimi	23
Şekil 2.6	Ölü durumda sistemin çevresi ile termodinamik denge hali	24
Şekil 2.7	Verilen bir durumda sistemin fiziksel ekserji farkı	28
Şekil 2.8	Verilen iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı	29
Şekil 2.9	Endüstriyel proses akış şeması	32
Şekil 2.10	Asit birikiminin doğada oluşum şekli	47
Şekil 2.11	Ozon tabakasının incelmeye sebep olan kaynaklar	48
Şekil 2.12	Enerji akışı-sürdürülebilir dünya toplumu çevrimi	53
Şekil 2.13	Enerji kaynakları kullanımı, çevresel etki ve sürdürülebilirlik dönüşümü	58
Şekil 3.1	Mekan ısıtmanın iki tipinin net enerji verimliliklerinin karşılaştırılması	66
Şekil 3.2	Nüfus artışının J şeklindeki eğrisi	67
Şekil 3.3	2000 yılı taşımacılık sektörü araç dağılımı	77
Şekil 3.4	Türkiye sanayi endüstrisi 2000 yılı enerji tüketim dağılımı	80
Şekil 4.1	1996-2005 yılları arasında Balıkesir İlinin kirlilik sıralaması, SO <sub>2</sub> ve PM değerleri	88
Şekil 4.2	Kükürt dioksit'in (SO <sub>2</sub> ) kış aylarına göre değişiminin grafiği	89
Şekil 4.3	Partikül Maddenin (PM) kış aylarına göre değişiminin grafiği	90
Şekil 4.4	SO <sub>2</sub> ile ortalama rüzgar hızı arasındaki değişim	91
Şekil 4.5	SO <sub>2</sub> ile ortalama sıcaklık arasındaki değişim	92
Şekil 4.6	SO <sub>2</sub> ile ortalama basınç arasındaki değişim	93
Şekil 4.7	SO <sub>2</sub> ile ortalama nem arasındaki değişim	94
Şekil 4.8	PM ile ortalama rüzgar arasındaki değişim	94
Şekil 4.9	PM ile ortalama sıcaklık arasındaki değişim	95
Şekil 4.10	PM ile ortalama basınç arasındaki değişim	96
Şekil 4.11	PM ile ortalama nem arasındaki değişim	97
Şekil 4.12	PM ile SO <sub>2</sub> arasındaki değişim	97
Şekil 4.13	Balıkesir sanayisi enerji kullanım dağılımı	121
Şekil 5.1	Yıllara göre Balıkesir ilinde yıllık ısı tüketimi-ortalama sıcaklıklar	124
Şekil 5.2	Yıllık ısı tüketimi ve hava kirliliği emisyon değerleri	125
Şekil 5.3	Enerji verimliliği ve hava kirliliği emisyon değerleri	126
Şekil 5.4	Ekserji verimliliği ve hava kirliliği emisyon değerleri	126
Şekil 5.5	Enerji verimliliği ve ekserji verimliliği	127
Şekil 5.6	Su ısıtma sistemlerinin yıllara ve konut sayısına bağlı değişimi	127
Şekil 5.7	Pişirme sistemlerinin yıllara ve konut sayısına bağlı değişimi	128
Şekil 5.8	Elektrik tüketiminin yıllara bağlı değişimi	128

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.9	Yaz ayları kirlilik parametreleri ve enerji-ekserji verimi	129
Şekil 5.10	Yaz ve kış ayları kirlilik parametreleri ve enerji-ekserji verimi	129
Şekil 5.11	Araç sayısı ve enerji-ekserji verimi	130
Şekil 5.12	Araçların enerji-ekserji verimliliğinin yıllara göre değişimi	130
Şekil 5.13	Enerji ihtiyacının yıllara bağlı değişimi	133
Şekil 5.14	Enerji ihtiyacının kullanım şekline göre değişimi	133

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Tablo 1.1	Türkiye için sektörel bazda yapılan enerji ve ekserji kullanım verimliliği çalışmaları	8
Tablo 2.1	Isı Makinesi, ısı pompası ve soğutma makinesinin iyilik dereceleri ile ilgili esaslar	19
Tablo 2.2	Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması	27
Tablo 2.3	Bazı maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri	30
Tablo 2.4	Kirletici emisyonların araç cinsine göre oluşum miktarları	41
Tablo 2.5	Kükürt dioksit hava kalitesi indeksi	43
Tablo 2.6	Partikül Madde hava kalitesi indeksi	45
Tablo 2.7	Kükürt dioksit ve partikül madde için sınır değerler	46
Tablo 3.1	Dünya fosil yakıt üretim ve tüketim dengesi (2001)	69
Tablo 3.2	1991-2002 yılları arasında üretimin tüketimi karşılama oranları	73
Tablo 3.3	Yıllara göre Türkiye’de nüfus, ekonomi, enerji	74
Tablo 3.4	Yakıtların enerji verimlilik değerleri ve kullanım oranları	75
Tablo 3.5	Yakıtların ekserji verimlilik değerleri ve kullanım oranları	75
Tablo 3.6	Taşımacılık sektörü enerji kullanım değerleri(TEP)	76
Tablo 3.7	Karayolu taşımacılığında araç gelişimi	78
Tablo 3.8	Türk sanayi sektörüne 2000 yılı enerji ve ekserji girdileri	81
Tablo 3.9	Sanayi sektörü enerji, ekserji kullanımı ve verimliliği	83
Tablo 4.1	Yerli kömürün özellikleri(Isınma amaçlı)	86
Tablo 4.2	İthal kömürün özellikleri(Isınma amaçlı)	86
Tablo 4.3	1996-2005 yılları arasında hava kirliliğinin SO2 ve PM değişiminin incelenmesi	88
Tablo 4.4	Kükürt dioksitin (SO <sub>2</sub> ) kış aylarına göre değişimi	89
Tablo 4.5	Partikül maddenin (PM) kış aylarına göre değişimi	89
Tablo 4.6	1999-2005 kış aylarının ortalama ve standart sapmaları	91
Tablo 4.7	Yakıt kullanım oranları	100
Tablo 4.8	Isıtma sistemlerine göre bina sayıları	101
Tablo 4.9	Isıtma amaçlı kullanılan yakıtların cinsine göre bina sayıları	102
Tablo 4.10	Isıtma ve kullanılan yakıt sistemlerine göre konut sayıları	103
Tablo 4.11	Isıtma sistemlerine göre konut dağılımı	104
Tablo 4.12	Isıtma ve kullanılan yakıt sistemlerine göre işyeri sayıları	105
Tablo 4.13	Isıtma sistemlerine göre iş yeri dağılımı	106
Tablo 4.14	Yıllara göre kış sezonu aylık ortalama sıcaklıklar	107
Tablo 4.15	Yıllara göre aylık ısı ihtiyacı değerleri	107
Tablo 4.16	Balıkesir ilinin yıllara göre birim ısı ihtiyaçları	108
Tablo 4.17	Balıkesir ilinin yıllara göre konut, işyeri sayıları ve ısı ihtiyacı	108
Tablo 4.18	1996-2004 yılları için yakıtların enerji ve ekserji verimlilikleri	109
Tablo 4.19	Yakıt kullanım şekline göre su ısıtma sistemleri kullanım dağılımı, enerji ve ekserji verimliliği	113

<b>Tablo No</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Tablo 4.20	Su ısıtma için Balıkesir’de konutların yıllara göre dağılımı, toplam enerji ve ekserji verimliliği	113
Tablo 4.21	Yakıt kullanım şekline göre pişirme sistemleri dağılımı, enerji ve ekserji verimliliği	114
Tablo 4.22	Pişirme için Balıkesir’de konutların yıllara göre dağılımı, toplam enerji ve ekserji verimliliği	115
Tablo 4.23	Elektrik tüketiminin dağılımı, enerji ve ekserji verimliliği	115
Tablo 4.24	Balıkesir ilinde elektrik dağılımı	117
Tablo 4.25	Balıkesir il merkezi araç sayısının yıllara göre değişimi	119
Tablo 4.26	Balıkesir il merkezi araç ekserji ve enerji verimleri	120
Tablo 4.27	Balıkesir (merkez) sanayi kuruluşlarının kullandıkları enerji miktarlarına göre dağılımı	122
Tablo 4.28	Balıkesir il merkezi sanayisinin ekserji – enerji verimliliği	123
Tablo 5.1	Balıkesir il merkezinin yıllara göre enerji-ekserji değişimi ve toplam enerji ihtiyacı	131

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada Balıkesir İl Merkezinde hava kirliliğini etkileyen faktörler ve toplam enerji miktarı tespit edilmiş olup, enerji kullanımının sürdürülebilir gelişme açısından tespitleri yapılmıştır.

Tez hazırlanması sırasında beni yönlendiren ve her zaman yardımcı olan danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Nadir İLTEN'e, zamanını ve desteğini esirgmeden sabırla yardımcı olan Dr. Öğ. Bnb. Zafer UTLU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında desteklerinden dolayı Balıkesir Belediyesi Başkanlığı'na, Temizlik ve Çevre Koruma Müdürü Sn. Aydın ŞİRVANCI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca beni çalışmalarımnda her zaman teşvik eden ve yardımlarını esirgemeyen annem Türkan SELİCİ , babam Erdiñ SELİCİ ve kardeşlerime sonsuz teşekkürler.

Balıkesir, 2006

A.Tülay SELİCİ

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde ve Dünya ülkelerinde sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel girdisi olan enerjiye gün geçtikçe daha çok gereksinim duyulması, dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması ve sürekli azalan yönde artış göstermesi gerçeğinin daha geniş kesimlerce anlaşılması ülkeleri, enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve enerjiyi etkin kullanmaya yöneltmiştir. Küresel enerji kullanımı, yılda yaklaşık %2 artış göstermektedir. Nüfus büyümesi, ekonomik büyüme ve yüksek hayat standartlarını yakalama çabaları, enerji kullanımındaki artışta etkili olan önemli faktörlerdendir. 21. yüzyılın ortalarına kadar, bu artışın birkaç katına çıkacağı, kaçınılmaz bir sonuçtur.

Enerji kaynak rezervlerinin azalması, enerji üretim maliyetlerini de yükseltmektedir. Bu nedenle enerjinin üretim ve kullanımında verim kayıplarının en aza indirilmesi gerekmektedir. Verim kayıplarındaki artış, çevresel problemleri de gündeme getirmiştir.

Sürdürülebilir kalkınmayı etkileyen faktörler, gelecek nesillerin enerji ihtiyacı ve kullanım planlarının oluşumu, mevcut enerji kaynaklarının doğru değerlendirilmesi ve kullanımıyla gerçekleşecektir.

Kömür, petrol gibi fosil yakıtların enerji üretimi için kullanımının artması Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve Partikül madde (PM) gibi kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonlarını arttırmış ve sera etkisi, asit yağmurları, ozon tabakasının incilmesi gibi küresel ölçekteki sorunları oluşturmuştur.

Balıkesir İl merkezinde özellikle kış aylarında, hava kirliliğinde yoğun bir şekilde artış oluşmaktadır. Kış aylarında hava kirliliğinin artmasına yol açan bir sebep de meteorolojik faktörlerdir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde hava kirliliğinin oluşumuna neden olan faktörler ve şehrin ihtiyacı olan toplam enerji miktarı ve bu enerjilerin enerji-ekserji verimlilikleri detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

## 1.1 Literatür Araştırması

Enerji , ekserji ve verimlilik ile ilgili ilk çalışma Rant tarafından yapılmıştır. 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 [1].

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 [2]. Bu çalışmada, ekserji analizlerinin kullanımı 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.

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 [1].



Szargut ve Petela [3] , 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.

Van Gool , 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, “Exergy a Useful Concept” isimli çalışmasında ekserji kavramı üzerinde doktora çalışması yapmıştır. “Ekserji” kavramını açıklayarak sistemlere uygulanabilirliğini göstermiştir [4].

Enerjinin işe dönüşümündeki kullanılabilirlik kavramı ilk olarak Gibbs, Maxwell, Thomson ve Clausius tarafından çalışılmıştır. 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 ve Stodola tarafından çalışılmıştır. Onlar elde edilebilir işin üzerinde sıcaklığın etkisini göstermişlerdir. Ayrıca bunlara bağlı 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 [4].

Enerji ve ekserji kullanımının verimliliğini belirleyen ilk çalışma Reistad [5] tarafından yapılmıştır. Reistad, 1975 yılı süresince ülkelerin enerji ve ekserji tüketim değerlerini belirlemiştir. Bu çalışmada verimlilikleri; enerji kullanımı için %50,4 ve ekserji kullanımı için % 20,9 olarak elde etmiştir. Aynı çalışmayı 1986 yılı Kanada'ya uygulayan Rosen, çalışmanın sonunda enerji ve ekserji verimliliklerini sırasıyla %50 ve %24 olarak bulmuştur. Bu çalışma çevrim, taşımacılık, konut-hizmet ve sanayi sektörü olarak dört grupta gerçekleşmiştir.

Shaffer, 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 [4], 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 [4].

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 [4].

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 [5].

Schaefer ve Wirtshafer , 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[4].

Ross, 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 [4].

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 [4].

Utlu ve Hepbaşlı 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 kullanılan değerler ile ilişkilendirildiğinde, 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.

Utlu'nun [6], 2023'e Enerji köprüsü çalışmasında, Türkiye ve dünyanın enerji üretim ve tüketim durumları 2023 yılına yönelik yapılan projeksiyon çalışmaları doğrultusunda, Türkiye'nin enerji üretim ve tüketim dengesi ortaya konmuştur. Türkiye'nin mevcut enerji görünümü ortaya konmuş ve enerji kaynakları analizi yapılmıştır.

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 [4].

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 $\epsilon_1$ ( $\epsilon_2$ )	Konut – Hizmet $\epsilon_1$ ( $\epsilon_2$ )	Sanayi $\epsilon_1$ ( $\epsilon_2$ )	Taşımacılık $\epsilon_1$ ( $\epsilon_2$ )	Toplam $\epsilon_1$ ( $\epsilon_2$ )
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 – Gürer	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)

$\epsilon_1$ : Enerji kullanım verimliliği ,  $\epsilon_2$ : Ekserji kullanım verimliliği, PJ; peta joule, Gj; gija joule

Dinçer [7] çalışmasında; enerji, ekserji, sürdürülebilir gelişme ve çevre arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu makalede enerji nicelik olarak ölçülebildiği halde, ekserji hem nicelik hem de nitelik olarak ölçülmüştür. Ekserji yararlığı, enerji politikalarının uygulanmasında etkili bir araç olmuştur. Ayrıca, ekserji ve enerjiyle ilgili genel kavramlar çeşitli prosesler için hesaplanmış, çevre, enerji gibi bazı önemli kavramlar (kalite, enerji, korunum, çevre, ekonomi ve sürdürülebilir gelişme) tartışılmıştır. Çalışmada enerjinin faydalı kullanımının çevre problemlerinin çözümünde sürdürülebilir gelişme kadar önemli olduğu tespit edilmiştir.

Dinçer [8] bir başka çalışmasında; enerjinin çevresel etkilerinin neler olduğunu ve yenilenebilir enerji teknolojileriyle çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Dinçer bu çalışmasında enerji yararlılığını, yenilenebilir enerji kaynaklarını, enerji verimliliğini, çevre ve sürdürülebilir gelişmeyi hem mevcut durum hem de gelecek için araştırmıştır.

Rosen ve Dinçer [9], Enerji, çevre ve sürdürülebilir gelişme arasında önemli bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada, gelecek için enerji kullanımı kapsamlı bir şekilde tartışılmış, asit yağmurları ve sera etkisinin oluşturacağı etkilerin sonuçları tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları; enerjinin korunumu, çevresel sorunların çözümleri, enerji, çevre ve sürdürülebilir gelişme açısından incelenmiştir.

Selici ve ç.a. [10], enerji kaynaklarının kullanımını çevresel etkiler ve sürdürülebilirliği etkileyen parametreler açısından değerlendirmişlerdir. Çalışmada enerji türlerinin kullanımı sonucu meydana gelen çevresel etkiler ve sürdürülebilirlik dönüşümü verilmiştir.

Yalçın (2005), hava kirliliği ile enerji tüketimi arasındaki ilişkilerle ilgili yaptığı bu çalışmada, Balıkesir ölçeğinde il merkezinde ısıtma sektöründe kullanılan yakıtların enerji ve ekserji analizleri ile çevresel etkilerini incelemiş, 1996-2003 yılları arasında SO<sub>2</sub>, PM ölçümlerini de göz önünde bulundurarak verimlilik ve çevresel etki arasında ilişkiyi ortaya koymuştur [11].

Hava kirliliğini etkileyen en önemli faktörlerin başında meteorolojik parametreler gelmektedir. İlten ve Selici [12], yaptıkları çalışmada Balıkesir şehir merkezinde 1996-2003 yılları arasında hava kirliliğinin meteorolojik şartlara göre değişimini istatistiksel olarak incelemiştir. Çalışmada, sıcaklık, rüzgar hızı ve basınç değerlerinin kirlilik parametreleri arasındaki değişimin denklem ve grafiklerini bulmuşlar, doğalgazın hava kirliliği üzerine etkilerini belirlemiş, SO<sub>2</sub> ve PM'nin yıllara göre değerlerini hesaplamışlardır.

Erzurum şehrinde SO<sub>2</sub>, PM'nin meteorolojik faktörlere bağlı olarak değişimi 1995-2002 yılları arasındaki verilere göre Turalıoğlu [13] tarafından incelenmiştir. Erzurum şehrindeki hava kirliliği parametreleri ile meteorolojik faktörler arasında denklemler bulunmuştur .

Demirci ve ç.a. [14], Trabzon şehrinde hava kirliliğinin rüzgar yönüne bağlı olarak değişimini incelenmiş ve hakim rüzgar yönüne göre kirlilik değerleri ile rüzgar hızı arasındaki ilişkiyi bulmuşlardır.

Çuhadaroğlu ve ç.a. [15], Trabzon şehrinde meteorolojik faktörlerin hava kirliliği üzerindeki etkilerini incelenmişler, meteorolojik faktörler ile kirlilik arasındaki denklemleri bulmuşlardır.

Ercan ve ç.a. [16], Ankara'da ısıtma tesislerinden kaynaklanan SO<sub>2</sub>, CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> gibi emisyonların envanterini çıkarmışlar ve kaliteli yakıt kullanarak emisyonların etkin bir biçimde azaltılabileceğini belirlemişlerdir.

Anakara'daki hava kirliliğinin zamansal ve mekansal değişimi çalışmasında Genç ve ç.a. [17], trafik kaynaklı ve trafik dışındaki kaynaklardan atılan inorganik kirleticilerin seviyeleri, trafikten kaynaklandığı bilinen başlıca kirleticilerin (CO, NO ve NO<sub>2</sub> ) yanında evsel kaynaklı olduğu sanılan SO<sub>2</sub>, PM konsantrasyonlarının değişimlerini incelenmişlerdir.

Kayseri il merkezinde 1998-2003 yılları arasındaki hava kirliliğinin değerlendirilmesini yapan Güven ve ç.a. [18], kış aylarında SO<sub>2</sub>, PM'nin Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerleri baz alarak değerlendirmeler yapmışlardır.

Doğa-İnsan-Kent üçgeni çalışmasında Günerhan [19], kent, çevre olgusunu bir arada ele almış ve yaşanabilir bir kent nasıl olmalıdır konusu irdelemiş, çözümler önermiş, bireye düşen görevler üzerinde durmuştur.



Koçak [20], iklim değişiminde insan faktörünü karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan yada dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan değişikliği tanımlamıştır.

Enerji üretimi ve kullanımında çevre risk faktörünün etkinliği çalışmasında İpek [21], enerji üretim sistemlerinin “Çevre Risk Faktörü”nün nasıl belirleneceği ve bu faktörün enerji planlamasına nasıl yansıtıldığını göstermeye çalışmıştır. Çalışmada enerji üretimi yönteminin tasarımında “Çevre Risk Faktörü”nün belirlenmesi için, enerji kaynağı, enerji dönüştürme biçimi ve kullanılan safhalarındaki bütün proseslerin iyi tespit edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Ertürk [22], hava kirliliğinin vizyon ve misyonunda, hava kirliliği ile ilgili sorunların; küresel boyuttaki sorunlar, bölgesel ölçekte sorunlar ve lokal ölçekte sorunlar olarak sıralamış, bunları açıklamış, küresel ısınmanın getireceği sorunları ve çözümleri belirlemiştir.

Etemoğlu [23], enerji kullanımının teknik ve ekonomik analizi çalışmasında, enerjinin önemini, konutlarda ısı yalıtımının hesaplanmasını alternatif enerji kaynaklarından faydalanma şekliyle anlatmıştır.

Taşdemir [24], Bursa’da kış sezonu kükürt dioksit ölçümlerinin kentsel ve kırsal alan değerleriyle karşılaştırılması çalışmasında, ölçülen değerleri kendi aralarında, standartlarla, Türkiye ve Dünyada ölçülmüş değerlerle mukayese etmiştir.

Bursa’da hava kirliliği değerlerinin gözlenmesi çalışmasında Taşdemir [25], 2001-2003 yılları arasında CO, NO<sub>x</sub> (NO+ NO<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub> ve PM ölçümleri ile meteorolojik faktörlerin zamana bağlı değişimlerini incelemiştir. Bütün datalar incelendiğinde meteorolojik faktörler ile kirleticiler arasında zayıf bir ilişki bulunmuştur. Kış aylarında oluşan hava kirliliğinin sebebinin ısınmadan kaynaklandığı, kirleticilerin birbirleriyle ilişkileri belirlenmiştir.

İlten ve ç.a. [26], Balıkesir il merkezinde ısınma amaçlı kullanılan yakıtların özellikleri ve Mart 2005 tarihinden itibaren kullanılmaya başlanan doğalgaz kullanımı ve etkileri incelenmiş olup, çevre ve sürdürülebilir gelişme açısından enerji kullanım senaryoları araştırılmıştır.

İstanbul'da sülfür dioksit seviyesinin zamana bağlı değişimini ve değerlendirmesini yapan Tayanç [27], hava kirliliğinin yüksek olmasının sebebi olarak ısınmada düşük kaliteli linyitlerin olduğunu belirtmektedir. 1985-91 yılları arasında hava kirliliği konsantrasyonunda artış olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada; Kükürtdioksit ve partiküller madde arasında güçlü bir bağ olduğu, doğalgaza geçilmesi, hava sirkülasyonundaki artış, şehre giren kömürde bulunan kükürt oranının düşük olması sebepleriyle 1995-1996 yılları arasında hava kirliliğinde önemli düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir.

Karakaya ç.a. [28], sürdürülebilir kalkınma ve iklim değişikliğinde uygulanabilecek iktisadi araçların analizinde sera gazlarının azaltılması için uluslar arası alanda ciddi önlemlerin alınması konularını araştırmışlardır. Buna göre, uluslararası yapılan anlaşmalar ve kapsamlar araştırılmıştır.

İlten ve ç.a. [29], Balıkesir ölçeğinde konut ısınmasında enerji kullanımının çevresel etkileri açısından değerlendirilmesini incelemişlerdir. Balıkesir İl merkezinde ısınma amaçlı kullanılan enerji girdileri 1996-2003 yılları arasında belirlenmiştir. Enerji kullanımları konut ısınma sektöründe tespit edilerek, kullanım verimlilikleri ortaya çıkartılmıştır. Aynı zamanda belirlenen periyot dahilinde çevre kirliliğini etkileyen SO<sub>2</sub>, PM ölçümleri de göz önünde bulundurularak, verimlilik ve çevresel etki arasında ilişki ortaya konulmuştur.

## 2. SİSTEM ANALİZİNDE ENERJİ-ÇEVRE VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

### 2.1 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 [30].

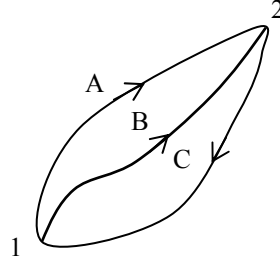
#### 2.1.1 Termodinamiğin Birinci Kanunu [31]

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:

$$\oint \delta Q = \oint \delta W \quad (2.1)$$

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 (Şekil2.1). 2C1 ise ilk hale dönülen herhangi bir hal değişimi olsun. Şimdi, 1A2C1 ve 1B2C1 çevrimlerine termodinamiğin birinci kanununu (2.1 denklemini) uygulayalım:



Şekil 2.1 Sistemin hal değişimleri [31]

$$\int_{1A}^2 \delta Q + \int_{2C}^1 \delta Q = \int_{1A}^2 \delta W + \int_{2C}^1 \delta W \quad (2.2)$$

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

ikinci denklem birinciden çıkarılıp, sonra

$$\int_{1A}^2 (\delta Q - \delta W) = \int_{1B}^2 (\delta Q - \delta W) \quad (2.3)$$

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  $\delta Q$  ve  $\delta W$  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;

$$\delta Q - \delta W = dE \quad (2.4)$$

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

$$Q_{12} - W_{12} = E_2 - E_1 \quad (2.5)$$

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 alişverişleridir.

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

$$E = U + PE + KE \quad (2.6)$$

Buna göre (2.4 ve 2.5) denklemleri sırasıyla;

$$\delta Q - \delta W = dU + mg dz + mV dV \quad (2.7)$$

$$Q_{12} - W_{12} = U_2 - U_1 + mg(z_2 - z_1) + m \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \quad (2.8)$$

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, nkn sistemin kütlesine bağlıdır. Birim kütlenin i enerjisi ( $u$ ) ve molar iç enerji ( $\bar{u}$ ) bağımsız özelliklerdir.

Toplam entalpi;

$$H = U + PV \quad (2.9)$$

ve özgül entalpi

$$h = u + Pv \quad , \quad \bar{h} = \bar{u} + P\bar{v} \quad (2.10)$$

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 edilmesinde klasik termodinamiğin kavramlarından hareket edildiğinden, termodinamik uygulamalarda an denklemi çok kullanılır. Ayrıca ileride açık sistemler için termodinamiğin birinci kanununun elde edilmesinde an denklemi kullanılacaktır.

Bir sistemin bir  $\Delta t$  zaman aralığında hal değişiminde enerjisinin değişimi  $\Delta E$ , sistemin ısı alışverişi  $\delta Q$  ve iş alışverişi  $\delta W$  olsun. Birinci kanundan (2.4 denklemi),

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

yazılabilir.  $\Delta t$  ile bölüp  $\Delta t$  sıfıra giderken limit alırsak

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

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

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

O halde birinci kanun için an denklemi

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{dE}{dt} = \frac{dU}{dt} + \frac{d(KE)}{dt} + \frac{d(PE)}{dt} \quad (2.11)$$

### 2.1.2 Termodinamiğin İkinci Kanunu

Termodinamiğin birinci kanunu sistemin bir hal değişiminin mümkün olup olmayacağı hakkında herhangi bir açıklık getirmez. Buna karşılık termodinamiğin

ikinci kanunu hal değişimlerinin 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 2.2a).

**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 2.2b).

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 ( $\eta$ ), ısıtma tesir katsayısı ( $\beta'$ ) ve soğutma tesir katsayısı ( $\beta$ ) ile belirtilir ve bunlar aşağıdaki genel şekilde tarif edilebilir.

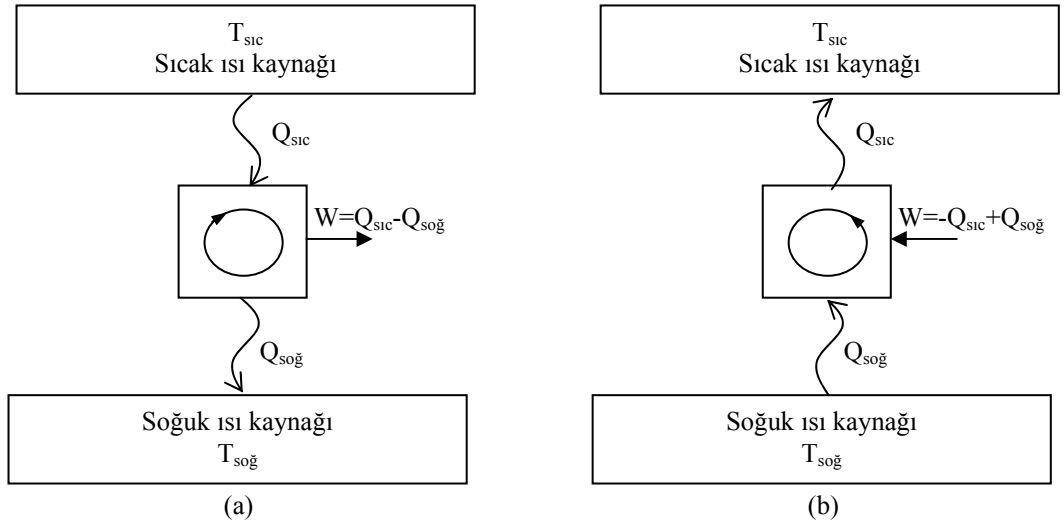
$$\left. \begin{array}{l} \eta \\ \beta' \\ \beta \end{array} \right\} = \frac{\text{maksadimiz olan enerji}}{\text{kullanılan enerji}} \quad (2.12)$$

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,

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{su}} = 1 - \frac{Q_{soğ}}{Q_{su}} \quad (2.13)$$

$$\beta' = \frac{Q_{su}}{W_{net}} = \frac{Q_{su}}{Q_{su} - Q_{soğ}} \quad (2.14)$$

$$\beta = \frac{Q_{soğ}}{W_{net}} = \frac{Q_{soğ}}{Q_{su} - Q_{soğ}} \quad (2.15)$$



Şekil 2.2 (a) Isı makinesi ve (b) ısı pompası [31]

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 2.1'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.

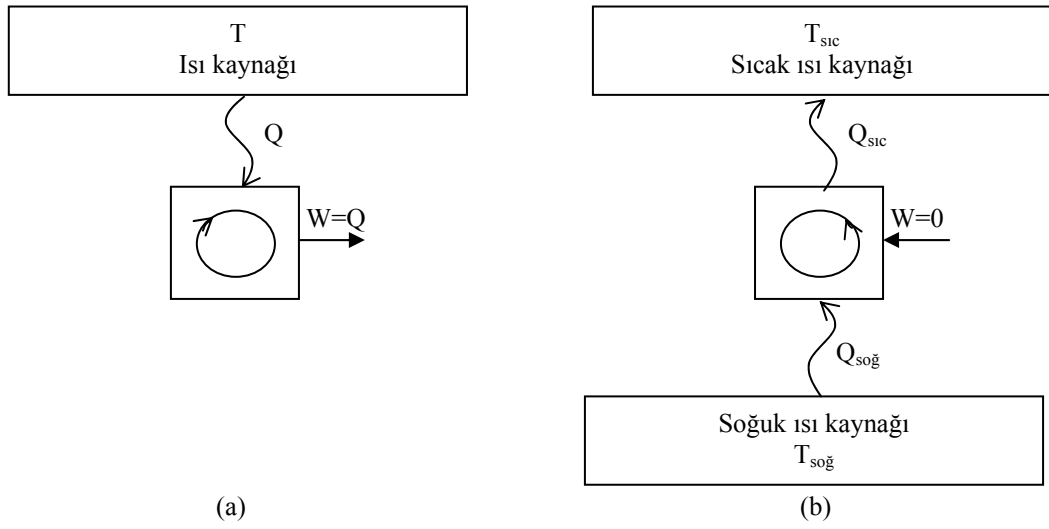
Tablo 2.1 Isı makinesi, ısı pompası ve soğutma makinesinin iyilik dereceleri ile ilgili esaslar [31]

	ISI MAKİNESİ	ISI POMPASI	SOĞUTMA MAKİNESİ
İyilik derecesi	Verim= $\eta$	ITK= $\beta'$	STK= $\beta$
Maksadımız olan enerji	$W_{net}$	$Q_{sic}$	$Q_{soğ}$
Kullanılan enerji	$Q_{sic}$	$W_{net}$	$W_{net}$
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;

- a- Her iki ifade de negatif ifadelerdir, ispat edilemezler fakat deneylerle doğrulukları görülmüştür,
- b- 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 2.3'de Kelvin-Planck ifadesine ve Clausius ifadesine aykırı makinelerin şemaları görülmektedir.



Şekil 2.3 (a) Kelvin-Planck ifadesine, (b) Clausius ifadesine aykırı makinelerin şemaları [31]

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.

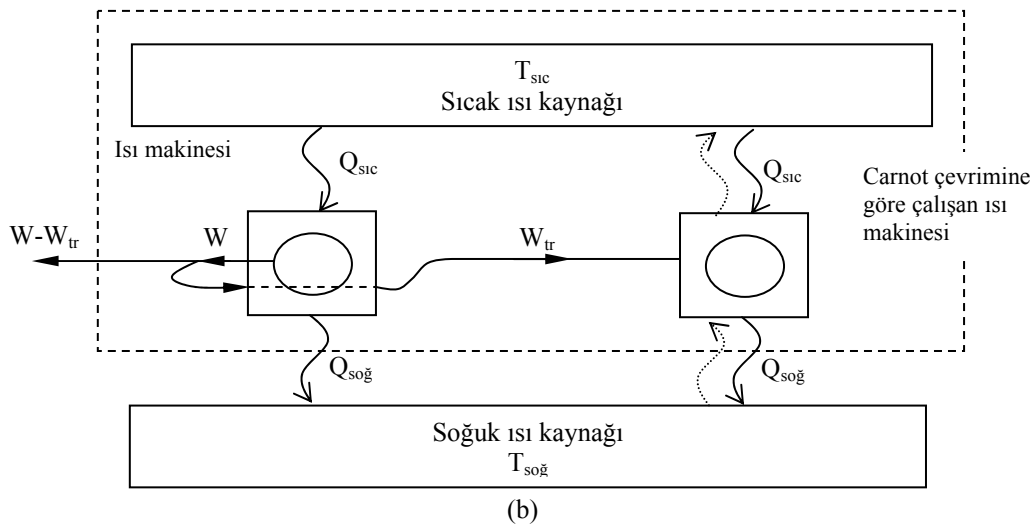
Termodinamiğin ikinci kanunundan faydalanarak Carnot çevriminin verimi ile ilgili olarak aşağıdaki iki önemli netice elde edilir;

**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 2.4). 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 2.4 Aynı ısı kaynakları arasında çalışan ısı makineleri [31]

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

### 2.1.3 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 [32]. 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 [32]. Diğer enerji türlerine dönüşebilme özelliği enerjinin değer ölçüsü olarak alınırsa, çeşitli enerji türleri üç ayrı grupta toplanmaktadır.

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

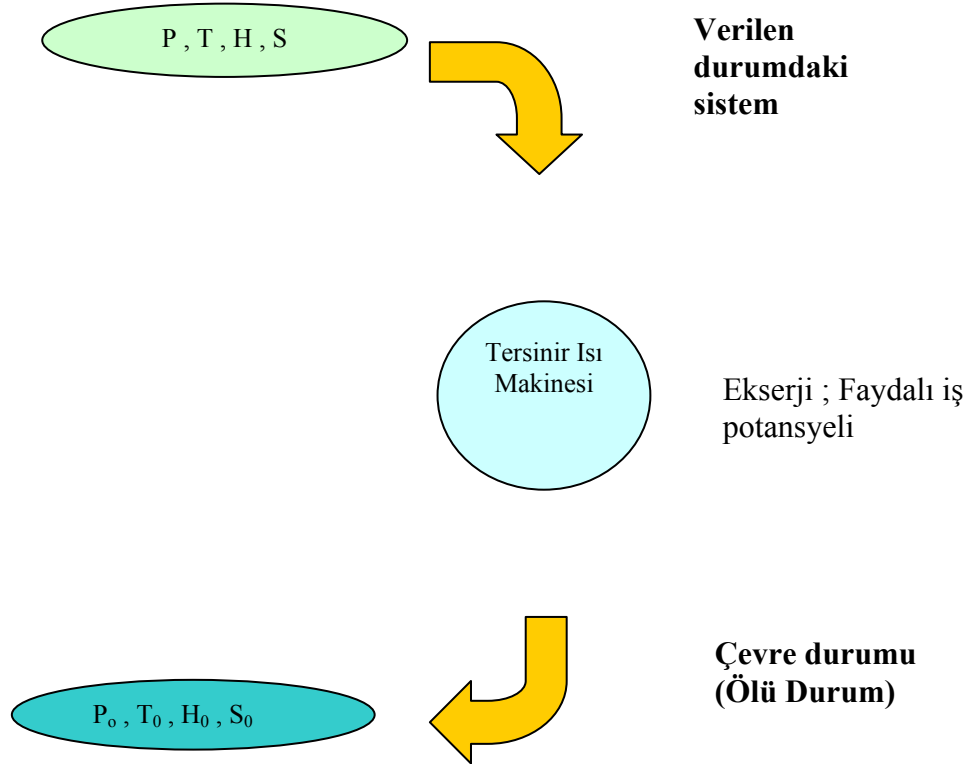
**b-** Diğer enerji türlerine sınırlı (kısmen) dönüştürülebilen enerji (örneğin iç enerji, ısı enerjisi vb.),

**c-** Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi imkansız enerji (örneğin çevrenin iç enerjisi vb-) [33]

Enerjinin bir başka enerjiye tamamen dönüşen kısmına ekserji denir. Ekserji kelimesi Yunanca ex ( dış ) ve ergon ( kuvvet ve iş ) kelimelerinden türetilmiştir. Aşağıda daha [34] 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 dönüştürülebilen 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 iştir [30]. 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[35].

**Ölü hal:** Bir sistemin ölü hal olması çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü halde iken sistem çevre sıcaklığında ve basıncındadır. Yani çevreyle ısı 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 2.5).



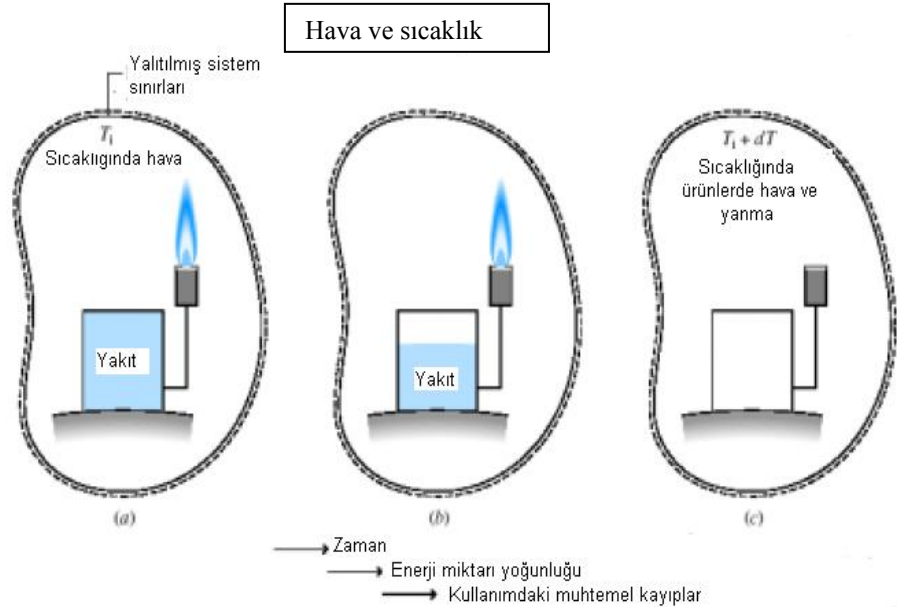
Şekil 2.5 Verilen durumla çevre arasında çalışan tersinir bir ısı makinesinin gösterimi [36]

Ekserji bir sistemde iş yapabilme yeteneğini ifade etmektedir. Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi olanak dışı olan enerjiye kullanılmaz enerji, bağlı enerji ya da anergi adı verilmektedir. Dolayısıyla bütün enerji türleri için en genel bir ifade şöyle yazılabilir [3],

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji} \quad (2.16)$$

Elektrik enerjisi ve mekanik enerji gibi enerji türlerinin anergi bölümü sifıra eşittir. Aynı şekilde çevrenin iç enerjisinin tamamı anergi olduğu için çevre enerjisinin ekserjisi de sifıra eşit olmaktadır [37]. 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 2.6 dikkate alınarak ekserji için şöyle bir matematiksel denklem yazılabilir;

$$E = E_k + E_p + E_{ph} + E_{ch} \quad (2.17)$$



Şekil 2.6 Ölü durumda sistemin çevresi ile termodinamik denge hali[37]

Potansiyel ve kinetik ekserjiler, sırasıyla, potansiyel ve kinetik enerjilere eşittir. Ekserji mühendislik biliminde şu iki temel konuyu da kapsamaktadır. Bunlar çevre ve ekonomi [38]. 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 [39].

Yukarıdaki temel ekserji konseptlerine bakarak ekserjinin termodinamik bir potansiyel olduğu, iş yapabilme ve kullanılabilir enerjinin bir ölçütü olduğu söylenebilir [40].

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 [41].

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 2.2' de açık olarak kıyaslanmaktadır [30].

Enerji ile ekserji kıyaslandıktan sonra, kullanılabilir maksimum enerji analizi olarak da tanımlanan ekserji analizi yapmanın önemini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz [30]:

- 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 tasarlamamanın 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 [30].

Tablo 2.2 Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması [30]

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.

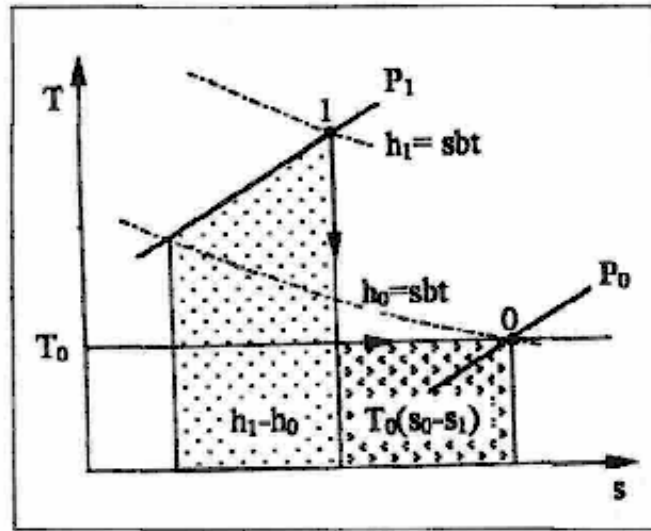
#### 2.1.4 Fiziksel Ekserji

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 2.7'de T-S diyagramında gösterilmiştir [33].

Herhangi durumdaki sistemin fiziksel ekserjisi Şekil.2.7'den de görüleceği gibi,

$$E_{ph} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (2.18)$$

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 2.8'de T-s diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Verilen bir durumda sistemin fiziksel ekserji farkı [33]

Bir sistemde iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı Şekil 2.8'den;

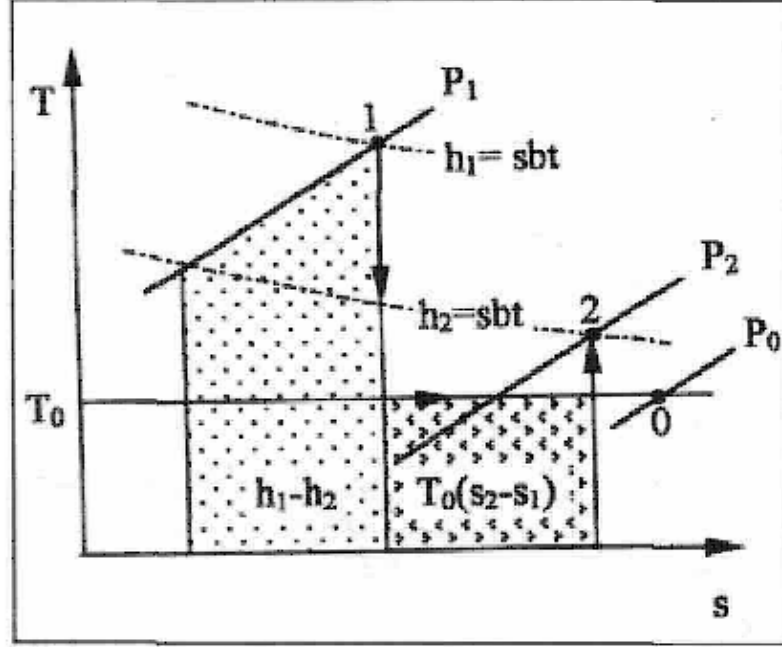
$$E_{ph1} - E_{ph2} = (h_1 - h_2) - T_0 (S_1 - S_2) \quad (2.19)$$

yazılabilir. Fiziksel ekserji aşağıda gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır.

$$E_{ph} = E_{\Delta t} + E_{\Delta p} \quad (2.20)$$

Denklem (2.20)'deki birinci terim, fiziksel ekserjinin termal bileşeni olup sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_{\Delta T} = \left[ - \int_{T_1}^{T_0} \frac{T - T_0}{T} dh \right] \quad (2.21)$$



Şekil 2.8 Verilen iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı [33]

Denklem (2.20) 'deki ikinci terim ise, basınç bileşeni olup basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Basınç bileşeni aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_{\Delta P} = T_0 (S_0 - S_1) - (h_0 - h_1) \quad (2.22)$$

İdeal Gazların Fiziksel Ekserjileri: Herhangi durumda ve ideal gazdan oluşan sistemin fiziksel ekserjisi Denklem (2.23)'den hesaplanabilir. (2.18)'de mükemmel gaz kanunları kullanılarak ve sabit özgül izobarik ısı kapasitesi Cp alınarak, [32]

$$E_{ph} = C_p \left\{ (T - T_0) - T_0 \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) \right\} + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (2.23)$$

şeklinde hesaplanabilir.

### 2.1.5 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 [37].

Referans maddeler genellikle üç grupta toplanmıştır;

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

Tablo 2.3'de bazı maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri gösterilmiştir[37] .

Tablo 2.3 Bazı maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri [37]

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

$$e_{ch} = RT_0 \ln \frac{P_0}{P_{00}} \quad (2.24)$$

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 ;

$$e_{ch} = \phi \cdot \text{NCV} \quad (2.25)$$

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

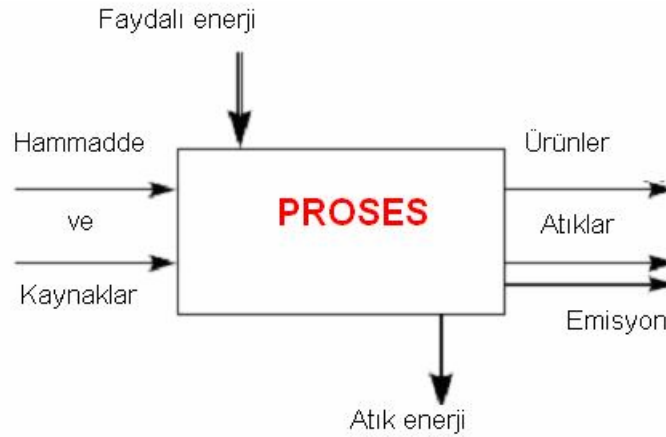
### **2.1.6 Tersinmezlik ( Ekserji Kaybı )**

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. Şekil 2.9’da endüstriyel proses akış şemasına giren ve çıkan enerjiler gösterilmektedir

$$I = \sum_{in} E_i - \sum_{out} E_j \quad (2.26)$$



Şekil 2.9 Endüstriyel proses akış şeması [37]

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

$$I = T_0 \left( \sum_{out} S_j - \sum_{in} S_i \right) = T_0 \cdot \Delta S \quad (2.27)$$

### 2.1.7 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 [42].

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. 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.

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}^{out} + \dot{I} \quad (2.28)$$

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

$$\eta = \frac{\dot{E}^{out}}{\dot{E}_{in}} \quad (2.29)$$

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 [43].

Ekserjetik verimliliğin bu formu “rasyonel verimlilik” olarak adlandırılmaktadır. Arzulanan (istenilen) ekserji çıkışının kullanılan ekserjiye oranı olarak (Katos 1995) tarafından tanımlanmıştır [37].

$$\Psi = \frac{\dot{E}_{desiredoutput}}{\dot{E}_{used}} \quad (2.30)$$

$\dot{E}_{desiredoutput}$  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 bulundurulan 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.

$$\dot{E}_{used} = \dot{E}_{desiredoutput} + \dot{I} \quad (2.31)$$

rasyonelliğin alternatif formu elde edilebilir [44].

$$\Psi = 1 - \frac{\dot{I}}{\dot{E}_{used}} \quad (2.32)$$

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 [42].

$$\eta_e = \frac{\dot{E}_{out} - \dot{E}_{tr}}{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{tr}} \quad (2.33)$$

Burada  $\dot{E}_t$  geçişli ekserjidir. 1994 yılında (Sorin) tarafından açıklanmıştır. [42] Geçişli ekserji, ekserjinin bir parçası olarak göz önünde bulundurulmalıdır ki bir sistemde termal ve kimyasal etkisini göstermektedir.

## 2.2 Çevresel Kavramlar

### 2.2.1 Çevre

Çevre: Bir organizmayı veya diğerk özelleşmiş sistemi yaşamları boyunca etkileyen, canlı ve cansız (kimyasallar ve enerji) tüm dışsal koşullar ve etmenlerdir[45].

Diğerk bir tanım; İnsanların ve diğerk canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları fiziki, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamdır. Bir organizmanın var olduğu ortam yada şartlarda ve yeryüzünde ilk canlı ile birlikte var olmuştur. Sağlıklı bir yaşamın sürebilmesi ancak sağlıklı bir çevre ile mümkündür.

Enerji, çevre ve sürdürülebilir kalkınma arasında yakın bir ilişki vardır. Sürdürülebilir kalkınma isteyen bir toplum çevreye zararlı emisyonlar vermeyen yararlı enerji kaynaklarından faydalanmalıdır. Ancak, bütün enerji kaynakları çevresel etkiler oluşturduklarından, enerji verimliliğini arttırarak onların çevreye vermiş oldukları zararlı etkiler azaltılabilir. Enerji verimliliği ve çevresel etkiler arasında güçlü bir ilişki vardır. Aynı miktarda enerji üretmek için daha az kaynak kullanımı ve kirlilik, enerji verimliliği ile ilişkilendirilir.

Ateşin bulunmasıyla uygarlık başlamış, insanlar tahtayı yakarak yüksek sıcaklıkta metali eritmiş, kimyasalları çıkartmış, ısınma ve mutfakta olduğu gibi kimyasal enerjiyi ısıya dönüştürmüştür.

Yanma esnasında tahta içindeki karbon, oksijen ile birleşerek bitkiler tarafından da absorblanan karbondioksiti oluşturur. Odun ihtiyacı karşılamayınca,

kömür, gaz, fosil yakıtların kullanımıyla endüstri devrimi başladı. Bu tür yakıtların kullanımıyla havada CO<sub>2</sub> miktarının artması küresel ısınmayı meydana getirmiştir. Geçmişte sera gazı emisyonlarının riski hakkındaki çeşitli uyarılara rağmen, çevre kirliliğini azaltmak için önemli uyarılar dikkate alınmadı. Şimdi pek çok araştırmacı oluşan küresel ısınma için çözüm aramaktadır. Son yirmi yıldır toplum bu konunun farkında, siyasetçiler enerji, çevre, sürdürülebilir gelişmeye ve bunların etkilerine odaklanmaktadır.

Dünya nüfusunun 21. yüzyılın ortalarına kadar iki katına çıkması ve ekonomik gelişmelerin sürekli gelişmesi beklenmektedir. Enerji servisleri için global istekler 2050 yılına kadar önemli büyüklükte artması beklenmektedir. Eş zamanlı olarak, asit yağmurları, ozon tabakasının incilmesi ve küresel ısınma (sera gazı etkisi) gibi çevresel sorunların enerjiyle ilgili olarak muhtemelen artacağıdır. Bu gözlemler ve diğer kanıtlar enerji, sürdürülebilir gelişme tartışmalarına karar vermede en önemli faktördür [45].

### **2.2.2 Çevreyi Etkileyen Faktörler**

- Enerji kullanımı (Kaynak çeşidi, verimlilik, yalıtım, v.s.)
- Endüstri üretiminde kullanılan hammadde çeşitleri
- Kentleşme
- Ormanların yok olması
- Hava, su ve toprak kirlenmesi
- Pestisitlerin kullanımı
- Aşırı tüketim
- Nüfus artışı
- Dünya politikası
- Katı atıkların geri dönüşümü
- Sürdürülebilir dünya görüşü
- Doğal değişimler (kuraklık, sel, yangın, volkanik patlama, deprem, hortum, hastalık vs.)

- Dereceli değişimler (iklim değişimi, ozon tabakasının delinmesi, asit yağmurları, türlerin göçü, evrimi)

### 2.2.3 Hava Kirliliği

Doğal yapısında bulunan esas maddelerin yüzde miktarlarının değişmesi veya yapısına yabancı maddelerin girmesi sonucu insan sağlığını ve huzurunu bozan hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek derecede kirlenmiş olan havaya kirli hava denir [46].

### 2.2.4 Hava Kirliliğini Etkileyen Meteorolojik Bileşenler

**Sıcaklık:** Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği sıcaklık parametresine bağlıdır. Havaların soğuması demek, yakıtların yanması ve yakıtların yanması sonucu kirlilik parametrelerin oluşması demektir. Yaz aylarında yani dış ortam sıcaklığı yüksek iken hava kirliliğini çok fazla hissetmeyiz.

**Basınç :** Yüksek basınç, havanın soğuması ile yoğunlaşan havanın yer çekimi etkisi ile yeryüzüne çökmesi sonucunda, bu havanın altındaki yüzeylere yaptığı basınca denir. Yanma sonucu ortaya çıkan kirleticiler yüksek basıncın etkisiyle daha fazla hissedilir.

Alçak basınç ile genişleyen havanın altındaki cisimlere yaptığı basınç azalır. Kirlilik çok fazla hissedilmez.

**Rüzgar:** Rüzgarın yönü, şiddeti, sıklığı (frekansı) hava kirliliğini önemli ölçüde etkiler. Hakim rüzgar yönü şehrin yerleşimiyle uyumlu olmalı, aksi takdirde kirlilik yoğun hissedilir. Rüzgarın şiddeti, frekansı kış aylarında kendisini çok fazla hissettirir.

**Yağış :** Havadaki su buharı kirleticilerle birleşerek asit yağmurlarını oluştururlar.

### 2.2.5 Hava Kirliliğinin Kaynakları

Hava kirliliği, temel olarak doğal kaynaklardan (volkanik patlamalar, orman yangınları, vs) ve insan aktivitelerine bağlı olarak oluşabilen yapay kaynaklardan

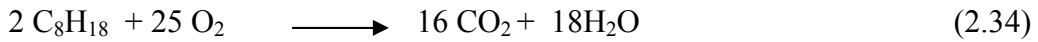
meydana gelmektedir. Yapay kaynaklar da; sabit kaynaklar (ısınma ve üretim amaçlı), hareketli kaynaklar (taşımacılık) olarak ikiye ayrılmaktadır.

Konum ve coğrafi yapı, meteorolojik koşullar, plansız kentleşme ve yeşil alanların yeterli miktarda bulunmaması, kullanılan yakıtlar hava kirliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle ısınma ve ulaşım amaçlı kullanılan yakıtların kalitesi ve cinsi kirlilik parametrelerini önemli derecede etkilemektedir [47].

### 2.2.6 Otomobillerin Oluşturduğu Kirlilik

Otomobiller tarafından üretilen ve havayı kirleten maddeler otomobil yakıtının (benzin veya dizel yakıt) yanması veya buharlaşması neticesinde CO, HC ve NO<sub>x</sub> ortaya çıkar. Bu gazların otomobillerden kaynaklanma oranları ise CO %93, HC %57, NO<sub>x</sub> %39, SO<sub>2</sub> %1'dir.

Benzin yandığı zaman havadaki oksijenle birleşerek korbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su (H<sub>2</sub>O) oluşumuna neden olur. Bu oksitlenme reaksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



Yukarıdaki kimyasal denklemde benzinin tamamen yandığı kabul edilmektedir, gerçekte pratik olarak bu duruma çok nadiren rastlanır, çok küçük miktarlarda olsa zararlı gazlar bu reaksiyon esnasında ortaya çıkar.

CO (Karbon monoksit) yanma esnasında yeterli oksijen olmaması nedeniyle tamamen yanmayan benzin üretir.

HC (Hidro karbon); otomobilden dışarıya atılan yanmamış benzindir. Emme ve egzoz supaplarının aynı anda açık kaldığı süre esnasında yanmamış gaz kaçağı, aracın yavaşlaması veya motor freni esnasında meydana gelen kötü yanma sonrasında yanma odası içinde kalan yanmamış gazdır.

NO<sub>x</sub> (Nitrojen oksitleri); hava yakıt karışımı içindeki havada buluna nitrojen ve oksijenin yanma odası iç sıcaklığı yaklaşık 1800 °C 'a yükseldiğinde birleşmesi ile NO<sub>x</sub> meydana gelir.

Egzoz Gazlarının oluşumu araç kullanım özellikleri, araç özellikleri, kullanılan yakıt, trafik düzeni, yolun özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

#### **a)Araç Kullanım Özellikleri**

Egzoz gazlarının üretimi hava-yakıt oranına bağlıdır. Yakıtın tamamen yanmasını sağlayan yeterli miktarda oksijen içeren havanın yakıtı oranıdır. Saf oktan olması durumunda bu oran 15'e 1'dir. Benzinlerin çoğu saf oktan olmadıkları için bu değer 14.4 ile 15.0 arasında değişir.

Egzoz gazlarının oluşum nedenleri sürücü şartları ile de ilgilidir. Motorun ısınması esnasında benzin gerektiği gibi buharlaşmaz. Motorun ısınması esnasında büyük miktarda CO ve HC üretimi olur.

Motor rölantide çalışırken yanma odası içinde sıcaklık düşer, benzin gerektiği gibi buharlaşmaz. Bunu önlemek için karbüratör daha fazla yakıt gönderecek şekilde tasarlanmış ise bu durumda yanma düzensizleşir. Hava-yakıt oranının 11:1 olmasına neden olur. CO ve HC konsantrasyonları tamamlanmayan yanma dolayısıyla artarlar.

Hızlanma esnasında emilen havanın miktarı arttığı için yakıtın miktarı da artar. Dolayısıyla hava-yakıt karışımı 8:1 olur ve CO ve HC konsantrasyonları artar. Motor devri arttıkça yanmanın da hızı artar ve yanma odası içinde sıcaklık dolayısıyla NO<sub>x</sub> konsantrasyonu yükselir.

Hız kesme esnasında, motor devri yüksektir ve yanma odası ile emme manifoldu içindeki vakum kuvvetlidir. Bu alevin yanma odası içine tamamen yayılmadan sönmeye neden olur ve HC gazı açığa çıkar. Böylece yanmamış Hava yakıt karışımı zenginleşeceği için CO miktarı artar . Yanma odasının sıcaklığı düşeceği için NO<sub>x</sub> konsantrasyonu hemen hemen sıfır olacak kadar düşer.

Araç bir dik yokuşu çıkarken, motora binen yük artar. Gaz kelebeği açılacağı için hava yakıt oranı en fazla olduğu duruma ulaşır (11-13:1) ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonu düşer.

#### **b)Araç özellikleri**

Motorun yapısı, araç yaşı, ağırlığı, bakım durumu, lastik tipi ve basınç kirlilik

#### **c)Kullanılan Yakıt**

Oktan sayısı, uçucu fonksiyonların yüzdesi, katkı maddeleri

#### **d)Trafik Düzeni**

Trafik akımı, sinyalizasyon, toplu taşımacılık

### e)Yolun Özellikleri

Yolun cinsi, eğimi, yüzeyin kalitesi, virajlar [48].

Tablo 2.4 Kirletici emisyonların araç cinsine göre oluşum miktarları

Kirletici	Otomobil(g/km)			Kamyon(g/km)			Minibüs(g/km)		
	Benzin	Dizel	LPG	Benzin	Dizel	LPG	Benzin	Dizel	LPG
Karbon monoksit	18	1.1	1.2	40	5		19		1.4
Hidro karbon	2.1	0.65	0.9	3.7	0.6		2.2		1.1
Azot oksitler	1.9	0.9		10	3.3				
Kükürt dioksit	0.027	0.48		0.085	1.85				

Araçların cinslerinin hava kirliliğine etkisi Tablo 2.4’de görülmektedir. Burada araçların ortalama olarak 60 km/saat hızla gittiği kabul edilmektedir.

### 2.2.7 Hava Kirliliğini Oluşturan Kirleticiler

**Primer Kirleticiler:** Bunlar kaynaktan doğrudan doğruya çıkan bileşenlerdir. Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO<sub>2</sub>), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), hidrojen florür (HF), partiküller madde, vs.

**Sekonder Kirleticiler:** Atmosferde sonradan oluşan kirletici bileşiklerdir. Kükürt trioksit (SO<sub>3</sub>), Sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Aldehitler, Ketonlar, Asitler, endüstriyel duman v.s. [46].

Kükürt oksitler ve partiküller madde dünyanın bütün kentsel alanlarında fosil kökenli yakıtların yanmasından oluşan hava kirleticilerinin en önemlileridir.

#### 2.2.7.1. Kükürt Oksitler:

Kükürt dioksit; renksiz, boğucu, kokulu bir gazdır. Havada bulunabilen çeşitli partiküllerin yüzeylerinde reaksiyon gösterir. Suda hemen çözünür, havadaki

su damlacıkları ile okside olur. Fosil kökenli yakıtların yanması ile açığa çıkan kükürt, havada derhal oksidasyona uğrar. Bu oksidasyon iki aşamada gerçekleşir;



Kükürt trioksit: sıcak ve soğuk suda eriyen renksiz bir gazdır. Atmosferde derhal sülfürik aside ( $H_2SO_4$ ) dönüşmesinden dolayı atmosferdeki kalış süresi çok kısadır. Su ile asit oluşturması nedeniyle kirletici olarak önem taşımaktadır. Havadan daha ağır olan  $SO_2$ , ortalama olarak atmosferde 2-4 gün kalabilir.  $SO_3$  hemen reaksiyon verdiği için havada uzun süre kalmaz [46].

#### **a.Kükürt Oksit Kaynakları**

Volkanlar ve gayzerlerdir. İnsan faaliyetlerine dayalı kaynaklar arasında en önemlisi fosil yakıtlardır. Bu toplam emisyonun % 80'nini oluşturur [46].

#### **b.Kükürt Oksit Etkileri**

$SO_2$  ve  $H_2SO_4$  sülfat tuzları solunum sistemini mukozoyu tahriş eder ve etkiler. Bronşit ve astım gibi kronik hastalıkların oluşumuna yol açar.  $SO_2$ , partiküller madde ile birleşirse solunumda daha belirgin etkiler yapar [46].

#### **Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) Kükürt dioksit ( $SO_2$ )**

20 ppm'e kadar olan etkiler akut, 400-500 ppm olursa kısa sürede ölüm oluşur. Bitkilere de etkisi ışık şiddeti ve nemin artmasıyla artar. Bitkilerin yapraklarında ve büyüme evresinde en çok etkilidir. Eşyalara olan etkisi ise, sülfürik asit korozyonu, kükürt oksitlerin en önemli etkisidir. Özellikle, kireç, mermer, demir, çinko, bakır gibi pek çok metalin korozyonu hızlanır. Tekstil ürünlerinin ve deri ürünlerinin yapısı bozulur, mukavemeti azalır [49].



Tablo 2.5 Kükürt dioksit hava kalitesi indeksi [49]

<u>İndeks</u>	<u>Sağlık Seviyesi</u>	<u>Uyarılar</u>
0-50	İyi --	Yok
51-100*	Orta	Yok
101-150	Hassas gruplar için sağlıksız	Astımlı kişiler dış ortamdaki efor sarfını sınırlandırmalı
151-200	Sağlıksız	Çocuklar,astımlılar,kalp ve akciğer hastalığı olan kişiler,dış ortamdaki efor sarfını sınırlandırmalıdır.
200-300	Çok sağlıksız	Çocuklar,astımlılar,kalp ve akciğer hastalığı olan kişiler dış ortamda efor sarf etmemeli;bunun dışında herkes dış ortamdaki efor sarfını sınırlandırmalıdır.
301-500	Tehlikeli	Çocuklar,astımlılar,kalp ve akciğer hastalığı olan kişiler, iç ortamda kalmalı;bunun dışında hiç kimse dış ortamda efor sarf etmemelidir.

\*SO<sub>2</sub> için HKİ'nin 100 olması,383 µg/m<sup>3</sup>(0.14 ppm) SO<sub>2</sub> seviyesine karşılık gelir.(ortalama 24 saat)

### 2.2.7.2 Partiküller Madde

Tek molekül boyutunda, 0.0002µ'dan büyük, 500 µ'dan küçük katı ve sıvı havada koloidal veya askı halinde bulunan taneciklerdir. 1-1000µ boyutundakiler toz, 0.4-1µ duman, 0.06-10µ mist olarak tanımlanır. Partiküller maddelerin askı halinde kalma süreleri büyüklükleriyle ters orantılıdır. 0.1µ'dan küçük olan partiküller maddeler Brownian hareketlerine karışır ve uzun süre askıda kalabilirler. Partiküller maddelerin kimyasal yapı ve özellikleri çok değişkendir. En genel anlamda inorganik ve organik bileşenler olarak ayrılırlar.

**İnorganik Bileşenler;** sülfat, nitrat, kurşun, demir, mangan, çinko

**Organik Bileşenler;** hidrokarbonlar, fenoller, organik asitler, alkoller

Partiküller maddelerin bir kısmı biyolojik partiküller olarak adlandırılan mikroorganizmalardır. Bunlara örnek; protozoa, bakteriler, virüsler, mantarlar, sporlar ve algler verilebilir. Polenler de biyolojik partiküller arasındadır [46].

#### **a.Partiküller Madde Kaynakları**

Partiküller maddelerin doğal ve insan faaliyetlerine dayanan çeşitli kaynakları bulunmaktadır. Doğal kaynakları arasında çeşitli yollarla atmosfere geçen biyolojik partiküllerin yanında rüzgar erozyonu, volkan faaliyetleri ve orman yangınları sayılabilir.

İnsan faaliyetlerine dayanan kaynaklar arasında yakma işlemleri olup bunu endüstriyel kaynaklar ve taşıt araçları izlemektedir [46].

#### **b.Partiküller Maddelerin Etkileri**

Partiküller maddelerin çoğu solunum sistemiyle olmak üzere insan sağlığına çeşitli zararlı etkileri bulunmaktadır. Boyutları 0.01-0.1  $\mu$  arasında olan partiküller maddeler solunum sisteminde tehlikelidir. 1-2  $\mu$  arası partiküller hava kesecikleri ve bronşlarda tutulabilir. Etkilerin ortaya çıkmasında maruz kalma süresinin önemi vardır. Etkiler esas olarak solunum sisteminin tıkanması, sistemin kendi kendini temizlemesine engel olunması veya zehirli ve kanserojen yapılar olarak ortaya çıkar. Bazı partiküller maddeler zehirli maddeleri taşıma görevi yaparken, bazılarının kendisi zehirlidir. Zehirli maddelerin en önemlisi kurşundur. Kurşun, insanda kan üretimini engeller, sinir sistemini ve idrar yollarını tahrip eder. Çocuklarda kanda 0.8-1.0 mg/l kurşun bulunması enzim faaliyetlerini durdurur. Kurşunun etkisi akut veya kronik olabilir. Biyolojik partiküller maddeler alerjiye neden olurlar. Partiküller maddelerin bitkiler etkisi; bitkilere esas olarak yaprak gözeneklerini tıkayarak CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> transferini engel olmak üzere etkili olurlar. Partiküller maddelerin ışığı kırması nedeniyle dolaylı olarak fotosentez olayını da etkilediği bilinmektedir. Bazı partiküller maddeler bitkileri kimyasal olarak da etkileyebilir. Örneğin; çimento endüstrisinden kaynaklanan tozların nemle birleşerek bitki dokularının gelişimini engellediği saptanmıştır.

Partiküller maddelerin eşyalara etkisi; Korozif yapıdaki partiküller maddeler, metallerde korozyon başlangıcı oluşturarak etkiler. Bu etkiler rutubetin artmasıyla şiddetlenir. Tekstil ürünlerinde ve yapı elemanlarında kirlenme, erozyon ve aşınma şeklinde etkilenir[46].

## Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) Partiküller Madde (PM<sub>10</sub>)

Tablo 2.6 Partikül madde hava kalitesi indeksi

<u>İndeks</u>	<u>Sağlık Seviyesi</u>	<u>Uyarılar</u>
0-50	İyi --	Yok
51-100*	Orta	Yok
101-150	Hassas gruplar için sağlıksız.	Astımlı kişiler,dış ortamdaki efor sarfını sınırlandırmalı
151-200	Sağlıksız	Çocuklar,astımlılar,kalp ve akciğer hastalığı olan kişiler,dış ortamdaki efor sarfını sınırlandırmalıdır.
200-300	Çok sağlıksız	Çocuklar,astımlılar,kalp ve akciğer hastalığı olan kişiler ,dış ortamda efor sarf etmemeli; bunun dışında herkes dış ortamdaki efor sarfını sınırlandırmalıdır.
301-500	Tehlikeli	Çocuklar,astımlılar,kalp ve akciğer hastalığı olan kişiler,iç ortamda kalmalı;bunun dışında hiç kimse dış ortamda efor sarf etmemelidir [49].

\*PM<sub>10</sub> için HKİ'nin 100 olması,150 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> seviyesine karşılık gelir. (ortalama 24saat)

## Kükürt dioksit ve Partiküller Madde İçin Sınır Değerler

Tablo 2.7 Kükürt dioksit ve Partiküller Madde için sınır değerler

	<u>Birim</u>	<u>UVS</u>	<u>KVS</u>
Kükürt dioksit (SO <sub>2</sub> ), (SO <sub>3</sub> dahil)			
a-Genel	µg/ m <sup>3</sup>	150	400
b-Endüstri bölgeleri	µg/ m <sup>3</sup>	250	
Asılı Partiküller Madde(PM) (<10 µm)			
a-Genel	µg/ m <sup>3</sup>	150	300
b-Endüstri bölgeleri	µg/ m <sup>3</sup>	200	400

UVS:Uzun Vadeli Sınır değerler

KVS:Kısa Vadeli Sınır Değerler

Birlikte Bulunmaları Halinde ;

	Ortalama Süre	SO <sub>2</sub>	Siyah Duman	TSP <sup>o</sup>
Kısa Süreli Mazuriyet	24 saat	125	125	120
Uzun Süreli Mazuriyet	1 yıl	50	50	

TSP<sup>o</sup> :Toplam Asılı Partiküller Madde

### 2.2.8 Hava Kirliliği ve Etkiler

Hava kirliliği ile ilgili en önemli global problemler:

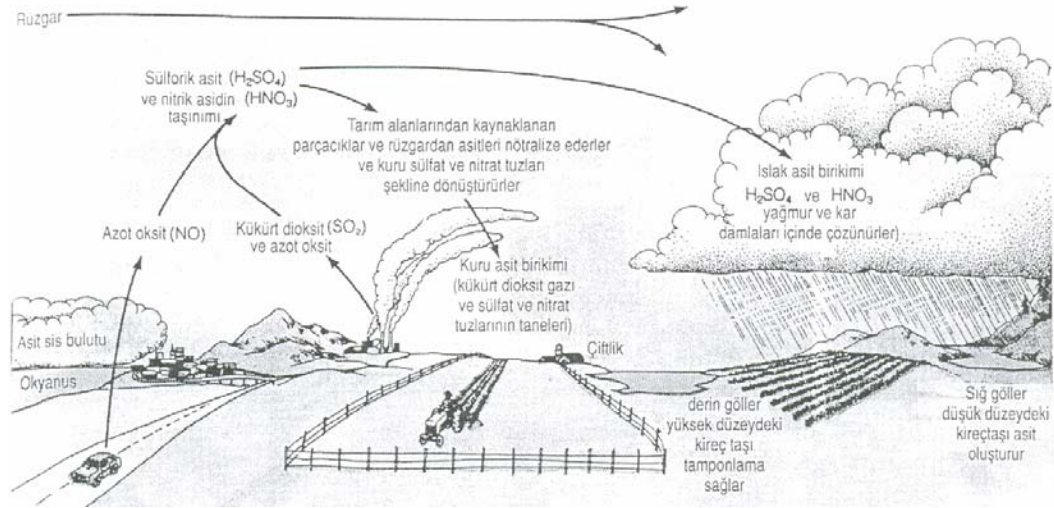
- Asit yağmurları
- Ozon delinmesi
- Sera gazı etkisi [9]

#### 2.2.8.1 Asit Yağmurları

Hareketsiz kaynaklardan çıkan kükürt dioksit ve azot oksit emisyonları, rüzgarla uzun mesafelere taşındıkça, sülfürik asit ve sülfat ile nitrat tuzları içeren azot oksit, nitrik asit dumanları ve damlacıklardan oluşan kirleticileri oluştururlar.

Bu kimyasallar, asit yağmuru yada kar olarak sulu formda yada gazlar, sis, çığ yada katı parçacık olarak, kuru halde yeryüzüne dönerler. Asitlerin ve asit oluşturan bileşiklerin kuru ve sulu karışımlarının dünya üzerindeki bileşimine asit birikimi yada daha yaygın olarak asit yağmuru adı verilmektedir (Şekil 2.10). Büyük şehirlerdeki çok sayıda motorlu araçtan çıkan azot oksit emisyonları da asit birikimine katkı yapar.

Asit birikimi, su damlacıkları ve katı parçacıkların büyük bir kısmının atmosferden uzaklaştırılmaları nedeniyle, küresel bir sorun olmaktan çok bölgesel bir sorun oluşturmaktadır. Doğal yağışın asitliği 5-5,6 arasında değişir [45].



Şekil 2.10 Asit birikiminin doğada oluşum şekli [45]

Asit birikimi pH'ı 5.6'dan daha düşük olan asidik yağmur, kar, toz ve gazdan oluşmuştur. pH düzeyinin düşmesi ile, asitliği artan bu yağ ve kuru birikim genel olarak asit yağmuru olarak isimlendirilir.

Bu sorun daha önceden yerel bir sorun olarak kabul edilirdi ancak, asit yağmurlarının bölgesel ve sınırlar arası bir problem olduğunun farkına varılınca, uçucu organik madde (VOC<sub>s</sub>), klorür, ozon, metal kalıntıları gibi diğer bölgeleri de etkileyen ve atmosferde kolaylıkla yayılan maddelere odaklanıldı. En iyi bilinen asit yağmuru etkileri ise, göllerin asidifikasyonu, buharlaşma ve yer altı suları, sonuçlarında canlı ve balık yaşamının tahribi, Orman ve tarım ürünlerinin, binaların, metal yapıların v.s. tahribidir. Ulaşım en önemli NO<sub>x</sub> emisyon kaynağıdır. Toplam emisyonların %48'i OECD Ülkeleri oluşturmaktadır. Amerika Birleşik devletleri, Çin ve Rusya Federasyonu dünyada en fazla katkıda bulunan ülkelerdir [45].



### 2.2.8.3 Sera Etkisi

Güneş sürekli olarak dünyaya enerji gönderirken, dünya da sürekli olarak kızılötesi radyasyon yayar. Güneş radyasyonunun absorblanma miktarının, dünyanın yaymış olduğu kızılötesi radyasyona eşit olması gereken bir durum ortaya çıkar. Buna radyoaktif denge denir. Atmosfer bazı dalga boyundaki radyasyonu absorblarken, diğerlerine karşı tamamen geçirgen davranır. Atmosfer bu özelliği ile seçici absorblayıcıdır. Diğer bir deyişle atmosferin doğal bir sera özelliği vardır. Seçici absorblayıcı olmalarının yanında, su buharı ve CO<sub>2</sub>, kızılötesi dalga boylarında seçici yayıcıdır. Radyasyon bu gazlardan dışarıya doğru her yöne yayılır. Bu enerjinin bir kısmı yeryüzü tarafından absorblanır ve yeri ısıtır. Yer ise almış olduğu enerjiyi tekrar yukarı doğru yayar, orada yeniden absorblanır. Sonuçta bu süreç aşağı atmosferin ısıtılmasını sağlar. Böylece su buharı ve CO<sub>2</sub>, yeryüzü üzerinde izolasyon etkisi yaratan bir tabaka şeklinde davranarak, yerin kızılötesi radyasyonunun kolay bir şekilde uzaya kaçmasını engeller ve sonuçta atmosferin sıcaklığı, bu gazların hiç olmaması durumu ile kıyaslandığında, daha yüksek olur. Eğer atmosferde su buharı ve CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazları olmasaydı, dünyanın ortalama sıcaklığı bugünkü durumdan 33 °C daha düşük olacaktı. Bu seranın camları görünür ışığın içeri girmesine izin verir, fakat kızılötesi radyasyonun dışarı kaçmasını belli bir dereceye kadar engeller. Bu nedenle, su buharı, CO<sub>2</sub> ve metan ve diazotmonoksit gibi gazların oynamış oldukları rol, sera (greenhouse) etkisi olarak adlandırılır. Bununla birlikte konuyla ilgili çalışmalar, sera içersindeki sıcak hava oluşumunun kızılötesi radyasyonunun içeride hapsedilmesinden ziyade, havanın sirkülasyon yeteneğini yitirmesi ve çevresindeki daha soğuk olan havayla karışmamasından kaynaklandığını göstermektedir. Bu nedenle etki daha genel bir ifadeyle atmosferik sera etkisi olarak adlandırılmaktadır.

Mevcut sera gazlarının üretimine son verilse bile, bu gazların neden olduğu sera etkisi daha uzun yıllar devam edecektir. Çünkü her sera gazının belli bir atmosferik ömrü vardır. Sera gazlarının atmosferik ömürleri CO<sub>2</sub> için 50-200 yıl, CH<sub>4</sub> için 12 yıl, N<sub>2</sub>O için 120 yıl ve CFC-11 için 50 yıldır. Diğer taraftan su buharının atmosferik sera etkisine katkısı %60, karbondioksitin %26 diğer sera gazlarının katkısı ise %14 civarındadır [20].

Enerjiden faydalanmada en önemli çevre problemi küresel ısınmadır ve sera etkisi olarak da bilinir. Sera etkisini arttıran CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CFC<sub>s</sub>, Halojenler, N<sub>2</sub>O, Ozon ve Peroxyacetnitrat gibi gazlar, dünyanın yüzey sıcaklığını artırır. Dünyanın yüzey sıcaklığı son yüzyıllarda yaklaşık 0.6 °C'nin üzerinde arttı ve sonuç olarak yaklaşık artan deniz seviyesi 20 cm olarak hesaplanmaktadır. Bu tip değişiklikler dünya üzerinde insanoğlunun yaşantısını çok fazla etkileyebilecektir. Genel olarak, insan kaynaklı sera etkisine %50 oranında CO<sub>2</sub>'in neden olduğu hesaplanmaktadır. Çeşitli sera gazlarının atmosferdeki artışına insanoğlunun ekonomik ve diğer aktiviteleri neden olmaktadır. Örneğin; Fosil yakıtların yanması, Metan emisyonları, CFC<sub>s</sub>'in kullanımının serbest olması, ormanların yok olması gibi etkenlerin hepsi sera etkisine sebep olmaktadır.

Enerji ve enerji ile ilgili aktiviteler CO<sub>2</sub>'in türevleri ve diğer potansiyel sera gazlarının dolaylı ve doğrudan oluşumuna etkilidir. Sera gazlarının oluşumuna neden olan bu gazların miktarlarını azaltmak mümkündür. Enerji üretimi ve kullanımıyla ilgili bir takım değişiklikler yapılarak bu gazların kullanımı azaltılabilir [9].

## **2.3 Sürdürülebilir Kalkınma**

### **2.3.1 Sürdürülebilir Kalkınma Tanımı**

Dünya Çevre Kalkınma Komisyonu, sürdürülebilir kalkınmayı bu günün gereksinimlerini gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak biçiminde tanımlamıştır. Bugünün gereksinimlerini karşılama yöntemi olarak kalkınma etkinlikleri gerçekleştirilirken, gelecek kuşakların, kendi kalkınmalarını gerçekleştirmek için kullanacakları doğal varlık tabanının korunması yada azaltılmaması; kalkınmanın yeniden üretiminin koşulu olan doğal varlıkların geleceğe aktarılmasıdır[50].

Ekolojik sürdürülebilirlik için, doğanın kendine dışardan gelen karışmaları absorbe etme ve yeniden dengeye ulaşma eşiği olan taşıma kapasitesi aşılmamalıdır. Yenilenemez kaynakların kullanımı azaltılmalı ve yerlerine yenilenebilir olanları getirilmelidir. Daha az madde ve enerji kullanan, daha az kirlilik ve atık üreten, ürünleri ve atıkları üretim sürecine yeniden katarak değerlendiren teknolojilere geçiş



yapılmalıdır. Ekolojik dengenin güvencesi olan biyolojik çeşitlilik korunmalıdır. Doğayla ilişki kurma biçimlerini de içeren kültürel çeşitlilik korunmalıdır. Bu amaçları gerçekleştirmek için, çevre, toplumsal ve ekonomik karar alma süreçlerine katılmalıdır.

Bu tanımdaki ele alışıla sürdürülebilir kalkınma, ekonomik gelişmenin olumlu getirilerini ülkedeki bölgeler ve çeşitli toplumsal kesimler arasında adil biçimde dağıtan, bu dengeli gelişmeyi çevreye zarar vermeden ve doğal varlıkları geliştirerek gerçekleştiren kalkınma anlayışıdır.

Sürdürülebilirlik için planlamanın gerekçeleri şöyle sıralanabilir:

- Çevresel sorunların ve bunların kalkınma ile etkileşimlerinin ağırlığı artmaktadır.
- Bu ortamda planlama düzenekleri, potansiyel bozulma tehlikelerine karşı uzun erimli uyarı dizgeleri biçiminde işlev görebilir.
- Planlama süreci temel çevresel sorunlarda kamusal ve siyasal dikkatin odaklaştırılmasını, sorunların sürekli ve düzenli biçimde ele alınmasını sağlayabilir.
- Planlama çevre ve çevre ile ekonomi ilişki hakkında veriler toplanması çözümlenmesi sürecini başlatabilir.
- Planlama uzun erimli çevresel değişimlerin tartışılması ve kararların gelecekteki etkilerinin dikkate alınması yoluyla, kolektif bir sorumluluk oluşmasında katkıda bulunur.
- Planlama süreçlerinin kendisi de bir öğrenme deneyimidir.

Bölgeler arasında toplumsal, ekonomik ve kültürel açıdan gelişmişlik farklarının varolduğu, bölgeler arası dengesizliklerin yaşandığı ülkelerde, kalkınmanın bölgelerarası dengesizlikleri gidermesi, dengeli kalkınmayı amaçlayan politikalar üretilmesi gerektiği açıktır. Bu dengeli kalkınma politikalarının uygulanabilmesi için, bölge ölçeğinde planlamaya ve bu planlama ve politikalarını yürütecek örgütlenmelere gidilmesi gereklidir.

Bugün toplumsal ve ekonomik kalkınma ile çevreyi bütünleştirmenin en iyi sağlayabileceği konum (pozisyon) olarak bölgesel düzey, bölgesel kurumlar veya bölgesel stratejik planlama süreci öne çıkmış durumdadır. Bölgeler arası gelişmişlik farklarının sürdüğü ülkemizde de bölgesel planlama toplumsal, ekonomik ve çevresel gelişmenin sağlanması ve bütünleştirilmesinin etkin bir aracı olarak kullanılmalıdır.

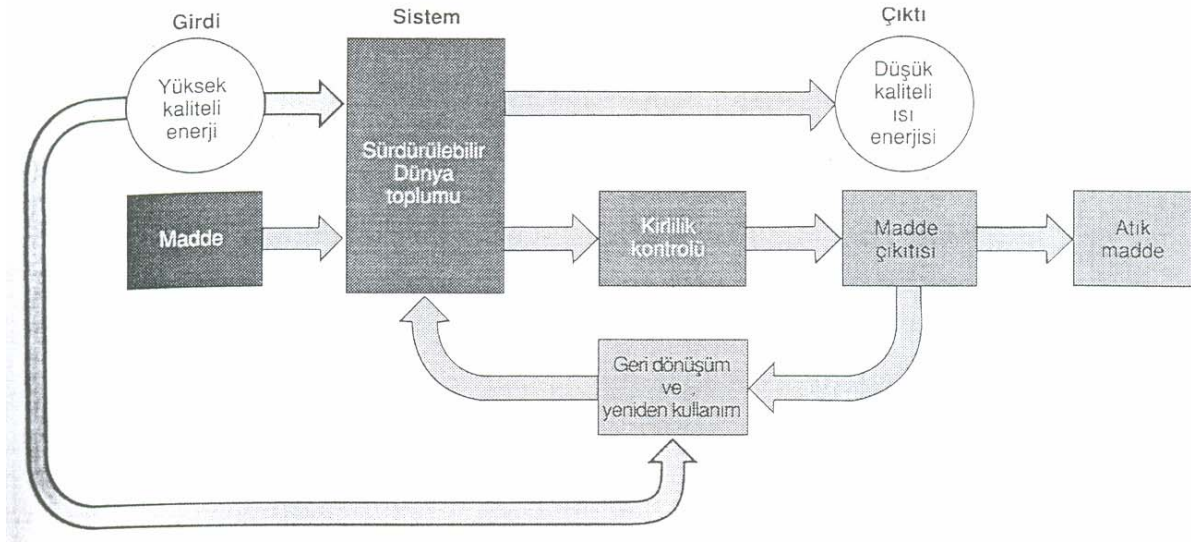
Ülkemizde, çevre yönetiminin etkinleştirilmesi için varolan il düzeyindeki örgütlenmenin değiştirilmesi ve bölge yada havza düzeyinde örgütlenmeye gidilmesi yönünde bir anlayış oluşmaktadır. Bölge yada havza düzeyinde planlama ve örgütlenme için akarsu havzaları temel alınmaktadır. Bu öneri, varolan yönetsel bölümlenme ve kurumlaşma durumu üzerine eklenmiştir. Çevre, öteki bölgesel örgütlerin ve planların yanına yeni bir bölgesel örgütlenme olarak eklenmektedir. Ayrıca, çevrenin toplumsal, ekonomik ve örgütlenmelerle bütünleşmesi yerine ayrı kalmasına yol açacaktır. Bunun için ülke düzeyinde bölgesel yönetim ve planlama yaklaşımı daha uygundur [50].

### **2.3.2 Sürdürülebilir Kalkınmayı Etkileyen Parametreler**

- Nüfus artışı
- Eğitim
- Ekonomi
- Tüketilen enerji miktarı ve çeşitliliği
- Yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği
- Çevreyi kirleten emisyonların etkinliği
- Geri kazanımların uygulanabilirliği
- Enerji verimliliği
- Kaynak kullanımında tasarruf olanakları
- Kaynakların planlı olarak kullanılması
- Toplumun duyarlılığı (sosyal boyut)

### **2.3.3 Sürdürülebilir Dünya Toplumunun Özellikleri**

Madde ve enerji değişimlerine hükmeden üç temel termodinamik yasa, çevre ve kaynak sorunlarımıza en iyi uzun vadeli çözümün, madde ve enerji akışını en üst düzeye çıkarmaya (dünyanın doğal kaynaklarının gereksiz derecede büyük bir kısmını harcamaya) dayalı Sürdürülebilir Dünya Toplumuna geçmek olduğunu göstermektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Enerji akışı – sürdürülebilir dünya toplumu çevrimi [45].

Sürdürülebilir bir dünya toplumu için gerekli öneriler;

- Enerjiyi daha verimli kullanarak , orta kalitede enerji gerektiren işlerde yüksek kaliteli enerji kullanmaması gerekir. Bu durum, zaman kazandıran, tasarrufu sağlayan ve kirliliği azaltan ilk önemli adımdır. Ancak bununla birlikte, nüfus artışını durdurmadıkça, madde ve enerji kaynaklarını kullanma hızını düşürmedikçe, daha fazla insan daha fazla enerji kullandıkça, eninde sonunda başlanılan noktaya geri dönecektir.
- Tükenebilir ve potansiyel olarak kirletici fosil ve nükleer yakıtlardan, güneş ve dünyanın doğal çevrimleri ve akışlardan elde edilen daha az zararlı, sürekli ve yenilenebilir enerjiye geçilmesi.
- Çöp olarak atılan maddelerin çoğunun (en az %80'ini) geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması .
- Daha uzun süre dayanan ve geri dönüştürülmesi, yeniden kullanılması ve onarımı kolay olan şeyler üreterek madde kaynaklarının kullanım ve boşa harcanmasının azaltılması.
- Dünya nüfusunun artışının durdurulmasının sağlanması, doğum ve ölüm oranlarının düşük olduğu stabil bir dünya nüfusuna geçilmesi.

- Kirlilik temizleme ve atık idaresi yerine kirlilik önleme ve atık azaltmaya önem verilmesi.
- Ormanların, sulak bölgelerin, otlakların, toprağın, yabani hayatın ve sucul ekosistem örneklerinin kullanımını yasaklayarak ve de kontrol ederek; yerel ulusal ve evrensel boyutta çeşitliliğin korunmasını sağlanması.
- Yenilenebilir kaynakların korunabilir bir oranda kullanılmasının temin edilmesi.
- Atık tahliyesini, atıkların seyreltilebileceği, emilebileceği ve doğal yöntemlerle insanlara ve doğal kaynakların fonksiyonuna zarar vermeyecek şekilde en aza indirilebileceği bir oranda sınırlanması.
- Toprağı ve suyu koruyan sürdürülebilir ziraata geçmek, tek tip yerine çeşitli şekillerde yapılan tarıma önem vermek ve doğal gübre kullanımı ile entegre zararlı kontrolünü desteklemek.
- Sermaye, gelir ve yerel ekonomide iş kaybını azaltmak için bölgede mevcut olan madde ve enerji kaynaklarını kullanılması.
- Rekabete dayalı ulusal politikalar yerine, şu anda ve gelecekte insanlık için barışı getiren, dünyanın yaşam destek sistemlerini koruyan ve bu hedefler için ülkelerin birlikte çalışmasını sağlayan evrensel politikalara geçişi temin edilmesi.
- Gelişmiş ve az gelişmiş ülkeler arasındaki ticari engelleri kaldırılması [45].

### **2.3.4 Sürdürülebilir Kalkınmanın Dünyada ve Ülkemizdeki Durumu**

Sürdürülebilir kalkınma kavramıyla ilgili uluslar arası düzeydeki ilk bütünsel yaklaşımlar, 1992’de Rio de Janeiro’da gerçekleştirilen “Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda ele alınmıştır. Konferans’ta, çevre ile kalkınma stratejilerinin tüm alt başlıkları irdelenerek, bunların karşılıklı etkileşimlerinin sorgulandığı bir 21.yüzyıl gündemi (Gündem 21) belirlenmiştir. 26 Ağustos- 4 Eylül 2002 tarihleri arasında Johannesburg’da yapılan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi ise 10 yıl önce oluşturulan Gündem 21’in ve diğer Rio kararlarının, başta gelişmekte olan ülkeler olmak üzere tüm ülkelerde daha etkin uygulanması için ihtiyaç duyulan mekanizmalara odaklanmıştır. Devlet ve hükümet başkanları tarafından imzalanan Johannesburg Sürdürülebilir Kalkınma Siyasi Bildirisi’nde:

- Üretim/tüketim kalıplarının değiştirilmesi, yoksulluğun ortadan kaldırılması,
- Doğal kaynakların korunması ve yönetim konularında ortak vaatlere yer verilmesi,
- Hedeflere ulaşmada karşılaşılan zorluklar arasında zenginler ve yoksullar arasındaki uçurumun derinleşmesi,
- Biyolojik çeşitliliğin bozulması,
- Küreselleşmenin olumsuz etkileri,
- Demokratik sistemlere duyulan güvenin azalmış olması,
- İnsani dayanışmanın önemi ve toplumlar arası işbirliğinin ilerletilmesi gereği,
- Temiz su, temiz enerji, sağlığın korunması ve sağlık hizmetleri gıdaya erişimin artırılması,
- Biyolojik çeşitliliğin korunması alanlarında ortaklıkların kurularak hedeflerinin belirlenmesinin Zirve'nin kalıcı sonuçlar bırakmasında etkili olacağı belirtilmiştir.

Zirve'de enerji gereksinimini, giderek tükenen fosil yakıtlar yerine, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılamak; fosil yakıtların kullanımında üretim verimliliği yüksek ve daha temiz teknolojilere yönelmek; atıkları geri kazanmak; biyoteknoloji gibi jenerik teknolojilerle insan yapısı hammaddeler oluşturmak yada tarımsal üretim süreçlerini kontrol edebilmek gibi birçok gelişme bu bağlamda sayılabilir [51].

### **2.3.5 Enerji Kullanımı ve Çevre**

Dünya nüfusunun 21. yüzyılın ortalarına kadar iki katına çıkması ve ekonomik gelişmelerde süreklilik sağlanacağı, enerji servisleri için küresel isteklerin 2050 yılına kadar önemli büyüklükte artması beklenmektedir. Eş zamanlı olarak, asit yağmurları, ozon incelmesi ve küresel ısınma (sera gazı etkisi) gibi çevresel sorunlarının enerji kullanım artışı paralelinde artacağı beklenmektedir. Enerji üretimi ve kullanımı aşamalarında meydana gelen küresel ve lokal çevresel problemlerin oluşumunda en önemli etkenler yakıt ve yakıtın enerjiye dönüşümü için kullanılan sistemlerdir [10].

### **2.3.6 Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma**

Çevre problemleri sürdürülebilir gelişmede önemli bir faktördür. Gittikçe artan çevre problemleri sağlık, ekolojik ve diğer problemleri meydana getirmektedir. Çevre etkilerinin büyük olduğu toplumların enerji kaynaklarından faydalanan toplumlar olduğu düşünülmektedir. İdeal olarak, bir toplum çevreye zararlı hiçbir emisyon vermiyorsa, sürdürülebilir enerji kaynaklarından faydalanıyordur. Ancak, tüm enerji kaynakları bazı çevresel problemlere yol açar. Kirlilik emisyonları ve bazı bölümlerde enerji verimliliğini arttırarak kazanç sağlayan onların negatif etkileri tarafından sürdürülebilir kalkınmada bazı çevresel etkileri önemseyerek vergilendirme uygun olacaktır. Açıkça çevre etkileri ile enerji verimliliği arasında güçlü bir ilişki vardır. Enerji verimliliğinin artmasıyla, aynı üretim ve işler için daha az enerji kaynağı ve kirlilik oluştuğu belirlenmiştir.

Gelişmiş enerji verimliliği enerji kayıplarının azalmasına neden olur. Verimliliğin çok fazla gelişmiş olmasının çevreye iki türlü faydası vardır. Birincisi, birim ünite başına enerji çıktısı işletme için ünite başına enerji girdisi azaltılır ve kirlilik üretimi uygun bir şekilde azaltılır. İkincisi, yaşam döngüsünü içinde barındıran enerji kaynakları ve teknolojiler yaşam döngüsünün en önemli aşamalarında çevresel etkileri azaltan gelişmiş verimlilik sunar [7].

### **2.3.7 Enerji – Sürdürülebilir Kalkınma**

Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı, kaynakların geçmişte uğradıkları zararları onaran, bugün kullanırken yenilenebilir özlerini koruyan ve geleceğe geliştirerek devreden kalkınma anlayışıdır.

Sürdürülebilir enerji kavramı ise; tüm birincil enerji kaynaklarından yapılan enerji üretiminin yüksek verimle ve temiz teknolojilerle gerçekleştirilmesini, fosil yakıtların çevre dostu yeni teknolojilerle değerlendirilmesini, fosil kaynakların yerine olabildiğince tükenmez (yenilenebilir) enerji kaynaklarının yerleştirilmesini, bir çevrimde atık biçimde ortaya çıkan enerjinin bir başka çevrimde girdi olarak

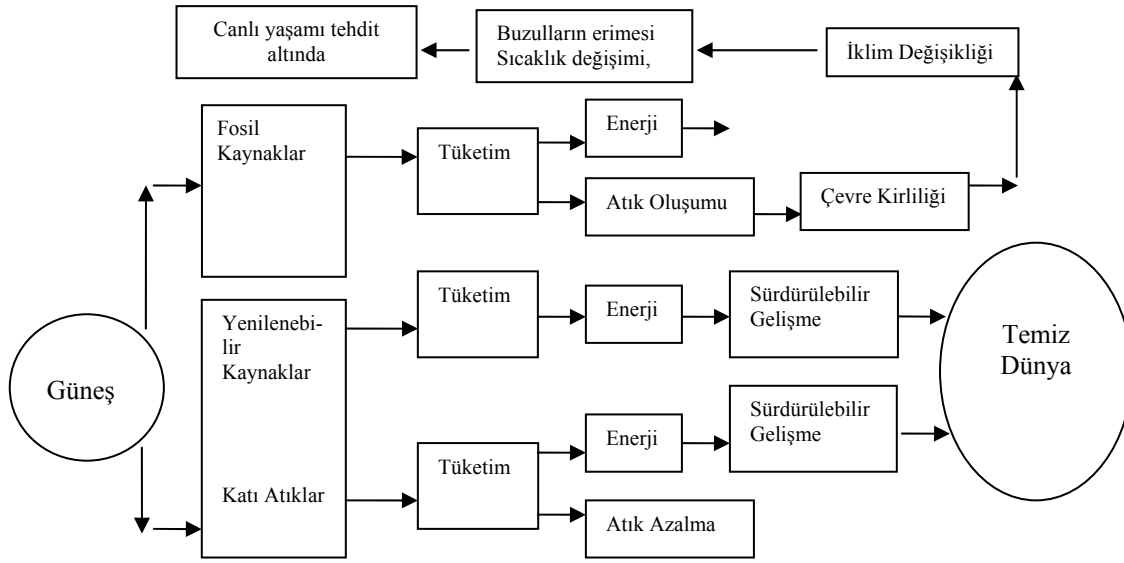
kullanılmasını kapsayan ve bunu ekonomik büyüme ile bütünleştiren bir kavram olarak tanımlanmaktadır [10].

### **2.3.8 Enerji – Çevre – Sürdürülebilir Kalkınma Arasındaki İlişki**

Enerji-Çevre-Sürdürülebilir Dünya şemasına (Şekil 2.13) göre, kaynaklar iki bölüme ayrılmaktadır; yenilenemez kaynaklar ve yenilenebilir kaynaklar – katı atıklar.

Yenilenemez kaynaklar kömür, petrol, doğal gaz, v.s. gibi insanlar tarafından sürekli tüketilen, tüketildikçe de sürekli çevreye zarar veren ve zaman içerisinde azalan kaynaklardır. Tüketilmesiyle oluşan çevre kirliliği iklim değişikliklerine dolayısıyla da, sellerin oluşumu, kutuplardaki buzulların erimesi ve sıcaklıkların artmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla, canlı yaşamının tehdit altında olmakta ve sürdürülebilir gelişmenin tersine bir durum gelişmektedir. Yenilenemez enerji kaynakları sürdürülebilir gelişme ile ters orantılı, çevre kirliliği ile de doğru orantılıdır. Bugüne kadar yenilenemez enerji kaynaklarını ağırlıklı olarak kullanan insanoğlu çevreye, canlılara ve gelecek nesillere karşı olan sorumluluğunu yerine getirmemiştir. Artık tersine bir yaklaşımla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması zorunludur. Enerji kaynağı ve temiz bir çevre ile birlikte düşünülmesi gerekmektedir.

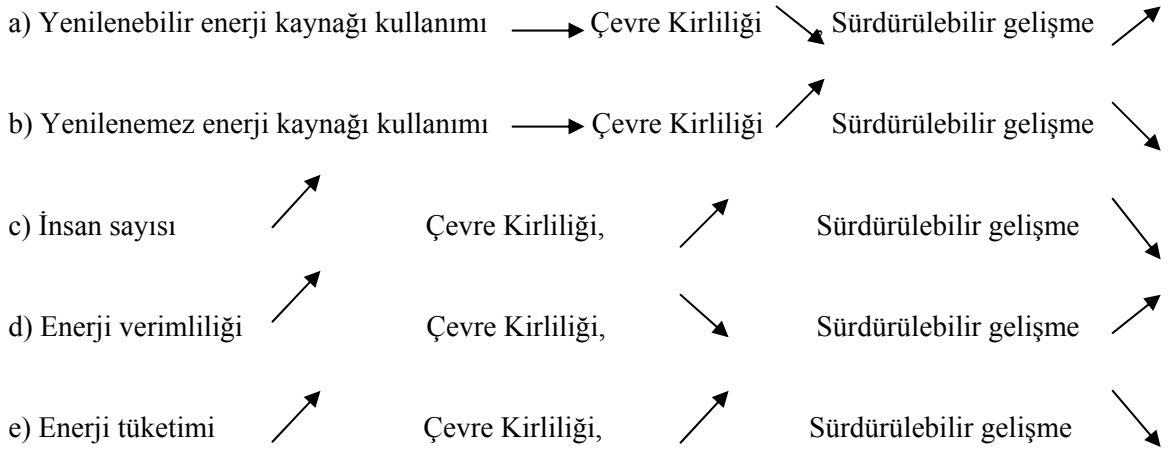
Yenilenebilir enerji kaynakları jeotermal, güneş, rüzgar, hidrolik v.s. enerjilerinden oluşmakta olup tüketimleri neticesinde oluşan enerji ya atık bırakmamakta, yada çok az atık bırakmaktadır. Bir de insanların üretmiş oldukları atıklardan (yanık yağ, çöpler, kullanılmış kağıt, cam,vs.) enerji elde edilmesi ve enerji elde edilirken de aynı zamanda atık azaltılması sürdürülebilir gelişmeyi oluşturmaktadır. Bunun sonucunda temiz bir dünya oluşması kaçınılmazdır. Şekil 2.13’de enerji kaynaklarının kullanımı, çevresel etki ve sürdürülebilirlik dönüşümü verilmiştir [10].



Şekil 2.13 Enerji kaynakları kullanımı, çevresel etki ve sürdürülebilirlik dönüşümü[10]

### 2.3.9 Sürdürülebilir Kalkınma İçin Öneriler

Sürdürülebilir gelişme için aşağıdaki parametrelerin uygulanma zorunluluğu vardır.



Sürdürülebilir gelişmenin olması için çevre kirliliğinin azalması, enerji kaynaklarının verimli kullanılması gerekir [10]. Bunun için;

- Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı,
- Enerjinin korunumu (enerjiden etkin bir şekilde faydalanma),



- Özellikle sanayi, ulaştırma ve bina sektörlerinde enerji verimliliği arttırılması,
- Merkezi sistem ısınma,
- Enerji depolama teknolojileri,
- Ulaşım için alternatif enerji kaynaklarının kullanımı,
- Fosil yakıtlı enerji kaynaklar yerine çevre yönünden zararsız yakıtlara dönme,
- Kömür arıtma teknolojileri,
- Enerji tüketimi ile ilgili belirteçleri takip etme,
- Siyasi bütünlük,
- Geri dönüşüm,
- Proses ve sektör değişimi,
- Orman alanlarının çoğalmasına ivme kazandırma,
- Karbon ve yakıt vergileri,
- Malzeme geliştirme,
- Toplu taşımacılığı teşvik etmek,
- Yaşam tarzını değişirme,
- Halkın farkındalığını arttırma,
- Eğitim ve kurslar [52],
- İklim değişikliğinin sektörlere/alanlara (enerji, tarım, ormancılık, sanayi, ekonomi, su kaynakları, insan yerleşimleri, kıyı alanları, ekosistemler, vb.) etkilerinin belirlenmesi ve bu etkilerin azalmasına yönelik önlem ve politikaların geliştirilmesiyle ilgili çalışmalara ağırlık verilmelidir. Ülkemiz için özellikle, su ve arazi kaynaklarının daha etkili, akılcı ve ekonomik yönetimine; ormanların korunmasına; ve toprak erozyonu ile vejetasyon formasyonlarındaki ve/yada örtülerindeki değişikliklere karşı uyum seçeneklerinin belirlenmesine öncelik verilmelidir.
- Sera gazı emisyonlarının azaltılması için sektörel önlemlerin ve politikaların değerlendirilmesi ve geliştirilmesine yönelik bir Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı hazırlanmalıdır.

- Toprakların ve su havzalarının amaç dışı kullanımının engellenmesi, kimyasal gübrelerin ve tarım koruma ilaçlarının kontrollü bir şekilde kullanımı sağlanmalıdır.
- Doğal kaynakların (kum, toprak, madenler, vs.) sürdürülebilir kalkınma ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmesine özen gösterilmelidir.
- Tarım arazilerinin kentsel ve endüstriyel atıklarla kirlenme olasılıkları değerlendirilmeli, izlenmeli ve giderilmesi sağlanmalıdır [53].

### **2.3.10 Yerel Yönetimler Açısından Sürdürülebilir Gelişmenin Önemi**

- Merkezi yönetim tarafından ülke planı, bölge planı, çevre düzeni planları; yerel yönetimlerce de nazım imar planları ve uygulama imar planları yapılmalıdır.
- Çarpık kentleşmenin önlenmesi için imarlı ve alt yapı tesisleri yapılmış arsaların oluşturulması gereklidir.
- Kırsal yerleşimlerinde planlı gelişmeleri temin edilmelidir.
- Belediyelere içme suyu ve kanalizasyon hizmetleri için mali kaynak oluşturmak üzere “Belediyeler Fonu” yeniden temin edilmeli veya benzer başka bir fon oluşturulmalıdır.
- Bölgelerin kirlilik haritaları hazırlanarak yapılaşma, yakıt seçimi vb. konularda bölgeye has çözümler üretilmelidir.
- Suyun israf edilmemesi konusunda halk bilinçlendirilmelidir. Su tasarrufu için daha az su kullanılmasını sağlayan ekipmanlar üretilmelidir.
- Arıtma tesisleri tamamlanmalı ve arıtılmış suların tekrar kullanılması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.
- Katı atıkları uzaklaştıracak bir atık olarak değil kazanacak bir kaynak olarak görülmesi gerekmektedir. Atık geri kazanım ve minimizasyon uygulamaları teşvik edilmelidir.
- Sanayide temiz teknolojilerin kullanılması sağlanmalıdır.
- Hava kirlenmesi ve gürültü kirlenmesinin önlenmesi için temiz yakıt kaliteli yakma tesisleri ve çevre dostu araçların kullanılması teşvik edilmelidir.

- Yapılarda ısı, nem ve gürültü yalıtımının sağlanması zorunlu hale getirilerek enerji tasarrufu, dolayısıyla gürültü ve hava kirlenmesi kontrolü sağlanmalıdır.
- Estetik görünümü oluşturmak itibariyle yöreye uygun bitki türleri ile ağaçlandırma ve peyzaj çalışmaları yapılmalıdır [53].

### **3. ENERJİ – EKSERJİ – ÇEVRE ANALİZLERİ**

#### **3.1 Enerji Kullanımı ve Enerji Verimliliği**

##### **3.1.1 Enerjinin Genel Tanımı**

Enerji uygulandığı sistemdeki değişikliklere yol açan etkidir. Mekanik, fiziksel, kimyasal veya elektriksel görevler gerçekleştirmek suretiyle iş yapma ya da farklı sıcaklıklara sahip iki nesne arasında bir ısı transferine neden olma kapasitesi olarak da tanımlanmaktadır. Enerji biçimleri arasında, ışık (ışınsal enerjinin bir biçimi), ısı, elementleri ve bileşikleri bir arada tutan kimyasal bağlarda depolanan kimyasal enerji, hareket eden madde ve elektriği sayabiliriz [45].

##### **3.1.2 Enerji Türleri**

Tek başına sürekli güneş enerjisinin doğrudan girdisi, dünyayı ve inşa ettiğimiz evleri ısıtmak için kullanılan enerjinin %99'unu sağlamaktadır. Güneşten enerjinin bu direkt girdisi olmasaydı sıcaklık -240 °C olacaktı. Güneş enerjisinin bu girdisi, bütün organizmaların canlı ve sağlıklı kalmak ve üremek için muhtaç olduğu karbon, oksijen, su ve diğer kimyasal maddelerin geri dönüşmesine yardımcı olmaktadır. Güneş enerjisi güneşten gelen direkt, sürekli enerjiyi ve bir dizi dolaylı biçimlerini içermektedir. Güneş enerjisinin dolaylı biçimleri; rüzgar, düşen ve akan sular (su gücü) ve biyokütledir (biomas) (ağaçlar ve diğer bitkilerdeki organik bileşiklerin kimyasal bağlarında depolanan kimyasal enerjiye dönüşen güneş enerjisi).

Dünyada enerji kullanımı; yenilenebilir olan enerji kaynakları; %17, yenilenemez olan enerji kaynakları; %83 oranındadır.

##### **3.1.2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenemeyen kaynaklara göre doğal süreçlerle daha süratli bir şekilde yenilenebilen, teorik olarak stokları azalmaksızın süresiz olarak mevcut olan

kaynaklardır . Yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir enerji potansiyeline sahiptir, ancak bu enerji tümüyle elde edilebilir değildir, büyük bir kısmı süresizdir ve belirgin bölgesel farklılıklara sahiptir. Tüm bu zorluklar teknolojik ve ekonomik yöntemlerle aşılabılır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu %17'lik enerjinin, enerji çeşitlerine göre dağılımı;

- Hidroelektrik, jeotermal, güneş; %6
- Biyokütle; %11 [45].

### **3.1.2.2 Yenilenemez Enerji Kaynakları**

Yer kabuğundaki çeşitli yerlerde belli miktarlarda (stok) mevcut olan ve sadece yüzlerce milyon yada milyonlarca yılda gerçekleşen jeolojik, fiziksel ve kimyasal süreçlerde yenilenebilir potansiyeline sahip olan kaynaklardır. Bu kaynaklar, oluştukları jeolojik zaman dilimindekinden daha hızlı çıkarıp kullanıldığı zaman tükenebilir kaynaklardır. Yenilenemez enerji kaynaklarının oluşturduğu %83'lük enerjinin, enerji çeşitlerine göre dağılımı;

- Nükleer Enerji; %5
- Doğal gaz; %18
- Kömür; %27
- Petrol; %33 [45].

### **3.1.3 Enerji Kalitesi**

Enerji kalitesi, enerjinin yararlılığının bir ölçüsüdür. Yüksek kaliteli bir enerji organize ve konsantredir, yararlı iş yapmak için büyük bir yeteneğe sahiptir. Düşük kaliteli enerji organize değildir veya dağılmıştır ve yararlı iş yapma yeteneği azdır. Atmosfer veya su kitlesinin hareket halindeki molekülleri içinde, sıcaklığı oldukça düşürecek şekilde dağılmış ısı olabilir. Örneğin, Atlas Okyanusu'nda oldukça düşük bir sıcaklıkta depolanmış ısının toplam miktarı, Suudi Arabistan'ın tüm petrol yataklarında depolanmış yüksek kaliteli kimyasal enerjinin miktarından daha fazladır. Bununla birlikte, bu ısı okyanusta o kadar geniş bir alana yayılmıştır ki bu ısıyla pek bir şey yapılamaz. Etrafımızdaki hava gibi, bu dağılmış ısı da,

herhangi bir şeyi hareket ettirme (taşıma) yada yüksek sıcaklıklara kadar ısıtmada kullanılamaz [45].

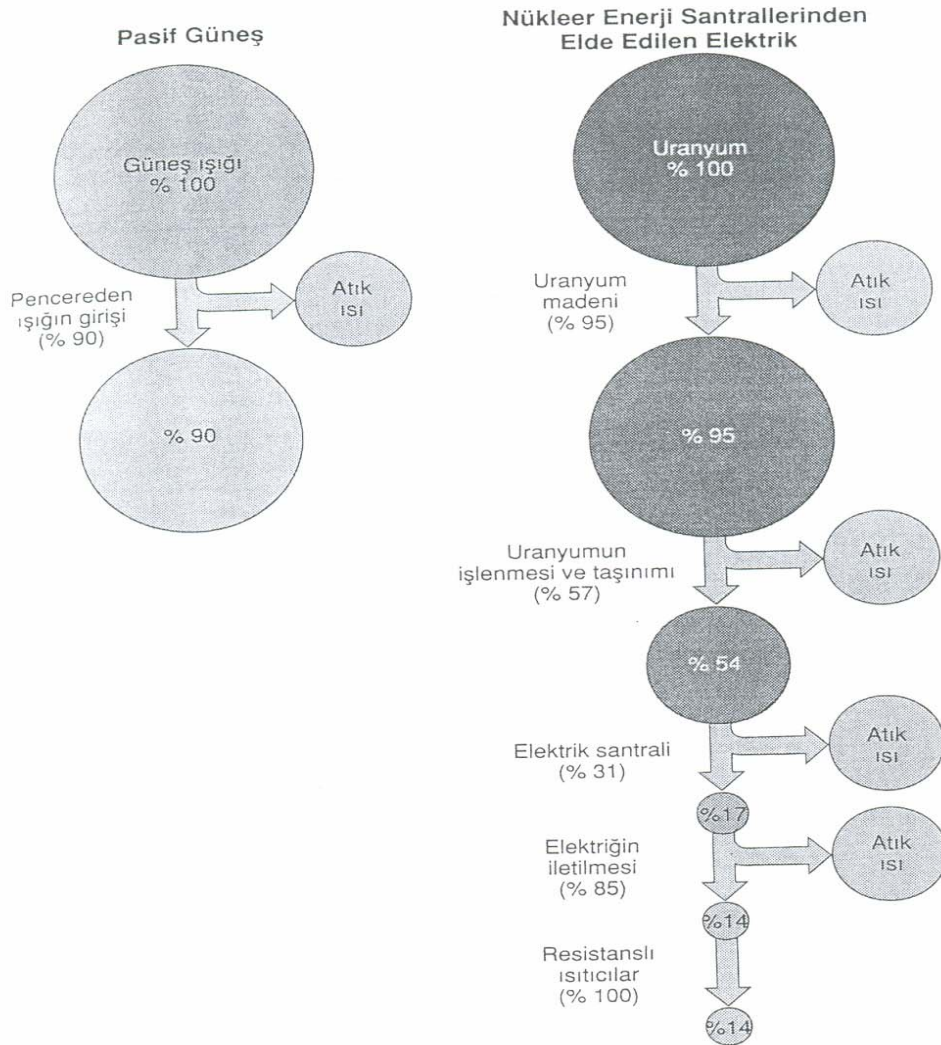
### 3.1.4 Enerji Verimliliği ve Net Yararlı Enerji

Enerji israfını azaltmanın ve para tasarrufu yapmanın bir yolu enerji verimliliğini arttırmaktır. Bu toplam enerji girdisinin yararlı iş yapan ve düşük kaliteli özellikle de bir enerji dönüşüm sistemi içerisinde yararsız enerjiye dönüşmeyen kısmının yüzdesidir. Kullandığımız enerji dönüşüm cihazları, enerji verimliliklerine göre oldukça farklılık göstermektedir. Varolan en etkin enerjili ev ısıtma sistemleri, su ısıtıcıları, otomobiller, klimalar, buzdolapları ve diğer ev eşyaları satın almak suretiyle, enerji ve para tasarrufu yapabiliriz. Etkin enerji modellerinin çoğunun başlangıç maliyeti yüksektir, ama uzun vadede bunlar genellikle para tasarrufu sağlarlar. Çünkü düşük bir ömür maliyetine- başlangıç maliyeti artı ömrü boyunca çalıştırma giderleri- sahiptirler. İyi yalıtımlı bir evi güneşe bakan camlar aracılığıyla bir direkt güneş enerjisi girdisi ve bu ısının, sonradan bir yavaş serbest bırakım için, taşlarda veya suda depolanması yoluyla pasif olarak ve bir nükleer güç santralinde üretilip teller aracılığı ile eve nakledilerek ısıya dönüştürülen (elektrik rezistanslı ısıtma) elektrik ile ısıtmaya ilişkin net enerji verimliliklerinin nasıl belirlendiğini göstermektedir. Nükleer yakıttaki yüksek kaliteli nükleer enerjiyi birkaç bin derecede yüksek kaliteli ısıya dönüştürmek, ardından bu ısıyı yüksek kaliteli elektriğe dönüştürmek ve daha sonra da elektriği bir evi sadece 20 °C'a kadar ısıtmak için düşük kaliteli ısı elde etmek için kullanmak, yüksek kaliteli enerjinin son derece müsrif bir şekilde kullanılması demektir. Bir mekanı ısıtmada kullanmak üzere elektrik sağlamak için, bir enerji santralinde kömür yada herhangi bir fosil yakıt yakmak verimsizdir. Bunlara karşılık, çevreden düşük kaliteli ısı elde etmek için pasif veya aktif bir güneş enerjili ısıtma sistemi için pasif veya aktif bir güneş enerjili ısıtma sisteminden yararlanmak, elde edilen ısıyı taşlar veya suda depolamak ve –bir mekanı ısıtmak veya evde kullanılacak sıcak suyu sağlamak için gerekirse bu ısının sıcaklığını biraz arttırmak çok daha az israfli bir yoldur. Bir mekanı veya bir evde kullanılacak suyu ısıtmak için düşük kaliteli ısı elde etmek amacıyla yüksek kaliteli elektrik enerjisinden faydalanmak, tereyağını kesmek için balyoz kullanmaya benzer. Enerji kullanımının genel bir kuralı, enerji

kalitesinin enerji görevleriyle uyumudur; düşük kaliteli enerji ile yapılabilecek bir şeyi yüksek kaliteli enerji kullanarak yapılmaması gerekir.

Bir enerji kaynağının belirli bir niceliğinden elde edilebilen yüksek kaliteli enerjinin kullanılabilir (yararlı) miktarına, o kaynağın net yararlı enerjisi denir. Net yararlı enerji kaynaktan ömrü boyunca elde edilebilen toplam yararlı enerjide, bu kaynağı bulmada kullanılan, otomatik olarak boşa giden ve gereksiz yere heba edilen enerji miktarının düşülmesiyle hesaplanır. Örneğin, 10 birim nükleer, güneş yada ek fosil yakıt (muhtemelen denizde derin bir kuyudan) enerji elde etmek için dokuz birim fosil yakıt enerjisi gerekiyorsa, o zaman net yararlı enerji kazanımı 1 birim enerjidir. Net enerji oranı 10/9 yada 1.1 olacaktır. Oran 1'in altında olduğunda sistem ömrü boyunca net enerji kaybına uğrayacaktır. Şekil 3.1'de mekan, ısıtma, endüstriyel işlemler için yüksek sıcaklık ısıtması ve araçlar için gaz ve sıvı yakıtlara çeşitli alternatiflerin tahmini net yararlı enerji oranlarını listelemektedir.

Günümüzde, petrol oldukça yüksek bir net yararlı enerji oranına sahiptir. Dolayısıyla petrolün çoğu, Suudi Arabistan'da ve Orta Doğu'nun diğer kesimlerinde olduğu gibi, geniş, kolay ulaşılabilir yataklardan gelmektedir. Ancak bu kaynaklar tükendiğinde, petrolün net yararlı enerji oranı düşecek ve fiyatları artacaktır. O zaman geniş bir alana dağılmış küçük yataklar, yer kabuğunun daha derinliğindeki ve Alaska, Kuzey Kutup Bölgesi ve Kuzey Denizi gibi enerjinin kullanılacağı yerlerden uzak, çetin bölgelerde bulunan yataklardan yeni petrol bulmak, işlemek ve taşımak için daha fazla para ve yüksek kaliteli fosil yakıt gerekli olacaktır. Uranyumun nükleer enerji santrallerinde işlenmesi, kullanılabilir hale gelmesi için büyük miktarda enerji gereklidir. Santralleri, 25-30 yıllık kullanım ömürlerinin sonunda sökmek ve ortaya çıkan yüksek derecede radyoaktif atıkları binlerce yıl boyunca depolamak için de ayrıca enerji gerekmektedir [45]. Birikimli net enerji, her bir adım için enerji verimliliğinin (parantez içindeki değer) ile çarpılması ile elde ediliyor (Şekil 3.1). Genellikle, bir enerji dönüşüm süreci içindeki adım sayısı arttıkça, net enerji verimliliği o denli düşük oluyor. Pasif güneş enerjisi ısıtmada, giren güneş enerjisinin sadece %10'u boşa gidiyor. Bunun aksine bir nükleer güç santralinde üretilen elektriğin bir mekanı ısıtmada kullanılmasında, enerjinin %86 kadarı heba oluyor.



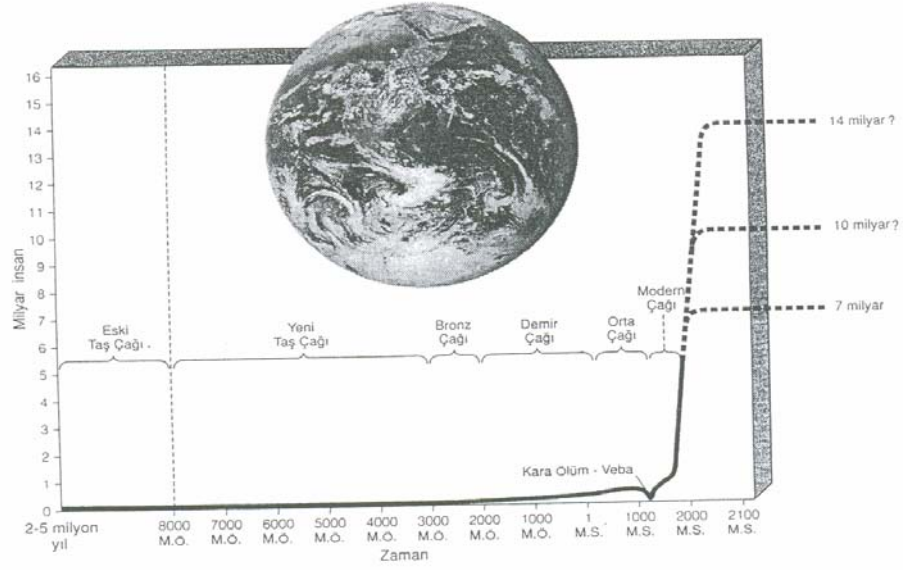
Şekil 3.1 Mekan ısıtmanın iki tipinin net enerji verimliliklerinin karşılaştırılması[45]

### 3.1.5 Enerji Dengesi - Nüfus İlişkisi

Zaman içinde dünya üzerindeki insanlardan tahmini sayısından bir grafik çıkarttığımızda, ortaya J harfi şeklinde bir eğri çıkmaktadır.

Artmakta olan nüfusun tabanı büyüdükçe, dünyadaki insan sayısı ani bir şekilde yükselmiş ve nüfus artış eğrisi J'nin kıvrımını tamamladıktan sonra yatay eksenden neredeyse bir dik açıyla yukarı doğru yükselmiştir.





Şekil 3.2 Nüfus artışının J şeklindeki eğrisi [45]

Bu eğri zaman içinde birkaç farklı yoğunlukla artan oranda gerçekleşen üssel artışın bir bileşimini göstermektedir (Dünya Bankası ve Birleşmiş Milletler verileri). Her yeni bir milyarlık artış için daha az süre gerekmiştir.

- İlk bir milyar insan için 2 Milyon yıl gerekli,
- İkinci milyarı eklemek için 130 yıl
- Üçüncü milyar için 30 yıl
- Dördüncü milyar için 15 yıl
- Beşinci milyar için 12 yıl yeterli olmuştur (Şekil 3.2).

Ülkelerin gelişmişliklerine göre de nüfus artış hızlarında farklılıklar bulunmaktadır. Az gelişmiş ülkeler 4.3 milyar nüfusa yani Dünya nüfusunun %78'ine, ama dünyanın zenginliğinin sadece %20 kadarından yararlanmaktadırlar. Az gelişmiş ülkelerde her 4.3 günde 1 Milyon insan eklenmektedir. Dünya nüfusunda öngörülen artışın çoğu az gelişmiş ülkelerde gerçekleşecektir.

Gelişmiş ülkeler yüksek oranda sanayileşmiş ve çoğu kişi başına yüksek bir GSMH'ya sahiptirler. Bu gelişmiş ülkeler dünya nüfusunun %22'sine, dünyanın zenginliğinin yaklaşık %80'ine sahiptirler ve dünyadaki kirlilik ve atıkların çoğunu üretmektedirler [45].

### **3.1.6 Enerjinin Kullanımı ve Önemi**

Global enerji kullanımı yılda yaklaşık %2 artış göstermektedir. Nüfus büyümesi, ekonomik büyüme ve yüksek hayat standartlarını yakalama çabaları, enerji kullanımındaki artışta etkili olan önemli faktörlerdendir. 21. yüzyılın ortalarına kadar, bu artışın birkaç katına çıkacağı, kaçınılmaz bir sonuçtur.

Enerji kaynaklarının rezervleri azalmakta ve enerji üretim maliyetleri yükselmektedir. Bu nedenle enerjinin üretim ve kullanımında verim kayıplarının minimize edilmesi gerekmektedir. Kayıpların artması, geçmişten beri varolan çevresel problemlerin artışını da gündeme getirmiştir.

İnsanoğlu varolduğu günden bu yana, hem çevresindeki olaylardan etkilenmiş, hem de çeşitli etkilenmeleriyle çevresini etkilemiş, tahrip etmiş, kirlenmesine ve bozulmasına neden olmuştur. Çevrenin bozulması demek, insanın yaşaması için gerekli olan ortamın bozulması demektir [19].

Enerji üretimi ve kullanımı aşamalarında meydana gelen global ve lokal çevresel problemlerin oluşumunda en önemli etken yakıtlardır. Yine yakıtın enerjiye dönüşümü için kullanılan sistem de aynı derecede önemli etkinliğe sahiptir [21].

Enerji, insanların yaşamlarını sağlıklı, güvenli ve rahat bir şekilde sürdürebilmeleri için gerekli temel ihtiyaçlardandır. Isıtmada, aydınlanmada, elektrikli aletlerin çalıştırılmasında, taşımacılıkta ve sanayi gibi bir çok alanda enerji kullanılmaktadır.

### **3.1.7 Dünya'nın Genel Enerji Görüntüsü**

Dünyamızın fosil yakıt bağımlılığının, 21. yüzyılın ortasına kadar artarak sürmesi beklenmektedir. Özellikle petrol üzerindeki rekabetin giderek sertleşmesi kaçınılmaz görünüyor. Çünkü bütün ülkeler, ihtiyaç duydukları enerji kaynaklarının, makul fiyatlarla ve kesintisiz teminini bir güvenlik sorunu sayıyor. İhtiyaç fazlası

petrolün yarıdan fazlasının OPEC'in Orta Doğulu üyelerinin elinde olması, Türkiye'nin de içinde bulunduğu coğrafyayı stratejik açıdan önemli kılıyor [54].

Günümüzde, Dünya fosil yakıt üretiminin ağırlıklı bölümü, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Rusya Federasyonu, Suudi Arabistan ve Kanada tarafından karşılanmaktadır. Enerji tüketiminin dağılımı incelendiğinde ise, tüketim miktarları gelişmişlik ve sanayileşme seviyelerine bağlı olmakla birlikte, ülkenin coğrafi ve nüfus büyüklükleri de etkileyici bir rol oynamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, Rusya Federasyonu, Çin, Japonya ve Almanya en büyük enerji tüketicisi konumundaki ilk beş ülkedir.

Tablo 3.1 Dünya fosil yakıt üretim ve tüketim dengesi (2001) [6]

Bölge	Üretim		Tüketim	
	(Milyon TEP)	(%)	(Milyon TEP)	(%)
Kuzey Amerika	1977,4	24,6	2307	29,11
Orta ve Güney Amerika	480,2	6	328	4,1
Avrupa	817,2	10,2	1527	19,3
Rusya Federasyonu	1239,8	15,4	844	10,6
Orta Doğu	1281,4	15,9	395	5
Afrika	613,4	7,6	260	3,3
Asya ve Okyanusya	1641,5	20,4	2268	28,6
Toplam Dünya	8050,9	100	7929	100

Dünya birincil enerji üretim-tüketim oranları bölgesel baz da incelendiğinde (Tablo 3.1), Kuzey Amerika, Avrupa, Asya ve Pasifik Bölgeleri üretimlerinin üzerinde enerji tükettikleri görülmektedir. Tablo 3.1'e göre; Kuzey Amerikanın 2000 yılı itibari ile üretimde %24.6, tüketimde ise %29.11 pay ile ilk sırayı almaktadır. Asya Pasifik bölgesinin üretimde %20.4, tüketimde ise %28.6 ile ikinci sırayı almaktadır. Avrupa'nın ise üretimde %10.2 ile 5.sırada yer alırken, tüketimde %19.3 ile 3. sırada yer almaktadır. Buna karşın üretimde %15.9 pay ile 3.sırada yer alan Orta Doğu Ülkelerinin tüketimindeki payı % 5 ile 5.sırada yer almaktadır [6].

1999 yılı itibariyle 8.58 milyar ton petrol eşdeğeri enerji tüketilmiş ve bu tüketimin %75'i fosil yakıtlardan sağlanmıştır. Petrol %39.4, doğalgaz %23.0, kömürün %22.4. Hidra , nükleer ve diğer kaynaklardan üretilen elektrik birincil enerji üretimi içinde %7.1, %6.6 ve %0.7'lik paylarla dördüncü, beşinci ve altıncı sırada geliyor.

Tüketilen birincil enerjinin %25 kadarı, petrolünse yarısından fazlası ticarete konu teşkil etmektedir. Fosil yakıt olarak;

- 5.1 Milyar Ton Kömür
- 3.1 Milyar Ton Petrol
- 2.4 Trilyon Metreküp Doğal gaz tüketiliyor.

Bu üç fosil yakıt halen dünya birincil enerji tüketiminin %85'ini, ticaretin de %90'ını sağlıyor. İnsanlık, sanayi devrimiyle birlikte ve 1850'li yıllardan itibaren girmiş bulunduğu 'fosil yakıt çağı'nda emin adımlarla ilerliyor ve 20. yüzyılda, daha önceki tüm zamanlarda tükettiğinin 10 katı kadar enerji tüketmiş bulunuyor.

Dünya enerji talebi 2023 yılına kadar %54 artarak 650 EJ' (Exa Joule= $10^{18}$ Joule) ulaşmış olacak. Bu artışın en büyük kısmı, %60'tan fazlası, geçmiş 150 yıldan farklı olarak, Asya, Afrika ve Güney Amerika'nın gelişmekte olan ülkelerinde yer alacak. Dünya nüfusunun %80'nini oluşturan ve enerji arzının üçte birini tüketen bu ülkelerin çoğu sanayileşmelerini, tıpkı Kuzey ülkelerinin daha önce yaptığı gibi, fosil yakıtlara dayandırmayı planlıyor. Dolayısıyla, 2023 yılı civarında bu ülkelerin, toplam enerji tüketiminde ve karbondioksit emisyonlarında, sanayileşmiş ülkeleri geçmesi bekleniyor.

Kömüre olan talep, hızla doğal gaza yönelen batılı ülkelerde azalırken, başta Çin ve Hindistan olmak üzere, gelişmekte olan ülkelerde artacak. 2023 yılına kadar beklenen net talep artışı 1.5 milyar ton ile %40 olacak. Ancak kömürün arzı esnek, dolayısıyla beklenen talep artışı, ciddi fiyat artışları yaşanmaksızın, rahatlıkla karşılayabilir.

Çok kullanışlı ve çok amaçlı bir yakıt olan petrolde ise durum sıkıntılıdır. Çünkü dünya petrol talebinin %1.6 ortalama yıllık artışıyla, 2000 yılındaki 3500

mt/y (milyon ton/ yıl) düzeyinden, 2030 yılında 5600 mt/y (milyon ton/yıl) düzeyine ulaşması bekleniyor. Halbuki, herhangi bir yakıtın üretimi, rezervlerinin yarısı tüketilene kadar artıyor, ondan sonra bir platoya erişip, daha sonra azalıyor. Petrol için üretim platosu 2020'lerde başlıyor ve arz esnekliğini kaybediyor. Talepse katı; çünkü petrol tüketiminin önemli bir kısmı ulaştırma ile petrokimya sektörlerinde ve bu sektörler fiyatlara fazla duyarlı değil. Öte yandan ulaştırma sektörü dünya genelinde, enerji talebi açısından ortalama yıllık %2.2 oranla, en hızlı büyüyen sektördür. 2020 yılına kadarki talep artışının dörtte üçünden sorumlu olacak ve bu tarihten sonra en büyük son kullanıcı haline gelecektir. Kullandığı yakıtın ise tamamı petrol ürünlerinden oluşuyor. Dolayısıyla, petrol fiyatlarında 2020'lerden sonra ciddi artışlar beklenebilir.

Doğal gaz, petrol üzerindeki bu baskıları hafifletiyor. İyi yandığı için az kirletiyor. Doğal gaz tahminleri 2020'ye kadar her yıl %3.2 artarak 4.6 trilyon metreküpe, dünya enerji talebinde %25'lik bir paya ulaşacak ve bu artışın %60'ından doğal gaza dayalı güç santralleri sorumlu olacak.

Hidro ve diğer yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretiminin, 2020'lere kadar her yıl %2 artması, buna rağmen bu kaynakların toplam enerji tüketimi içindeki payının şimdiki %9'dan %8'e inebileceği düşünülmekte. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimindeki artışın büyük kısmı, Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan Asya ülkelerindeki büyük hidroelektrik santralleri şeklindedir. OECD ülkelerinde ise aynı dönemde, başta rüzgar ve biyokütle olmak üzere, hidro dışı yenilenebilir kaynakların, hem de yılda ortalama %3.3 gibi yüksek oranlarla artması hedefleniyor.

Nükleer santrallerden elde edilen elektrik; 2015 yılına kadar artması daha sonra da düşmesi beklenmektedir. Başlangıçtaki artışın nedeni, gelişmekte olan ülkelerdeki kapasite genişlemesidir. Sonraki azalmanın nedeni ise gelişmiş ülkelerin kamuoyu baskısı karşısında, eskiyen nükleer santrallerini devre dışı bırakıp, yenilerini kurmayı planlıyor olmasıdır. Japonya ve Fransa gibi ülkeler yenilerini kurmayı planlamaktadırlar.

Gelişmiş batılı ülkelerin enerji politikaları daha rahat ve esnek, çünkü nüfusları fazla artmıyor. Öte yandan her 1000 kişi başına düşen otomobil ve elektrikli ev aletleri sayıları yüksek. Konut ve işyerleri iyi ısıtılıyor. Dolayısıyla bu ülkelerin enerji piyasaları bir enerji doyumuna ulaşmış durumdadır.

Halbuki dünya nüfusunun, gelişmekte olan ülkelerde yaşayan dörtte birinden fazlası halen elektrikten yoksundur. Çeşitli üretim imkanlarını da beraberinde getiren bu enerji türünün gelişmekte olan ülkelerdeki kullanımının hızla artması gerekiyor. 2030 yılına kadar iki misline katlanması, toplam enerji tüketimi içindeki payının %18'den %22'ye ulaşması bekleniyor. Buna rağmen 2030'da 1.4 milyar insan hala elektrik kullanamıyor olacak.

Yüzyılın ilk yarısı için dünya enerji arzında yetersizlikler beklenmekle beraber, temin güvenliği ve fiyatların ekonomikliği açısından ciddi belirsizlikler var. Yüksek enerji fiyatlarının zararı ise, gelişmiş ülkelere çok gelişmekte olanlar üzerinde yoğunlaşıyor. Çünkü bu ülkeler, gelirlerinin daha büyük bir kısmını enerjiye harcıyorlar ve artan enerji faturasını karşılamak veya enerji verimliliğini arttıracak yatırımlar açısından kapasiteleri sınırlı. Öte yandan, arz yeterliliği, fiyat istikrarı ve temin güvenliği sorunları aşılsa dahi, bir de fosil yakıt bağımlılığının yol açtığı yerel, bölgesel ve küresel çevre sorunları var [6].

### **3.1.8 Türkiye'nin Genel Enerji Görüntüsü**

Türkiye'nin enerji alanında, tüm diğer gelişmekte olan ülkelere benzer, kısır döngüyü andıran bir konumu var. Az enerji tüketiyor, fakat tükettiği az enerjiyi, verimli ve temiz bir şekilde kullanamıyor. Bu tabloyu iyileştirmek için; bir yandan ekonomisini hızla büyütmek, diğer yandan da büyüyen kaynaklarından ayıracağı artan oranlardaki payları, enerji arz ve tüketim sistemini daha verimli ve temiz bir yapıya dönüştürmeye yönelik öncelikli araştırma ihtiyaçları arasında, dikkatli saptamalarla dağıtmak zorunda. Öte yandan Türkiye, öz kaynaklarının yetersizliği nedeniyle dışa bağımlı ve bu bağımlılık oranı giderek artıyor.

Genel enerji ve özellikle elektrik enerjisi, uzun yıllar ülkemizin en önemli sorunlarının başında gelmiştir. Çevre dostu yeşil enerji türleri, geleceğin enerji kaynaklarıdır [54].

Tablo 3.2 1991- 2002 Yılları arasında üretimin tüketimi karşılama oranları [6]

Yıllar	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Üretim (bin tep)	26232	27571	27241	27341	27592	28293	29177	28821	28797	27934	27407	24569
Tüketim (bin tep)	55008	57460	61065	59957	64552	70770	74746	75808	78510	82628	78185	78403
Üretimin tüketimi Karşılama oranı (%)	47,68	47,98	44,61	45,6	42,74	39,97	39,03	38,01	36,67	33,8	35,05	31,33

1991-2002 yılları arasındaki enerji üretim ve tüketim eğilimleri analiz edildiğinde, ülke olarak sürekli ithal enerji kullanmak zorunda olduğumuz görülmektedir. Üretimin tüketimi karşılama oranı 1991 yılında %47.68 iken, bu durum 2002 yılında %31.33'e kadar düşmüştür. Diğer bir ifade ile 2002 yılı tüketilen enerjinin %69.67' lik bir kısmını ithalat yolu ile gerçekleştirmiş bulunmaktayız. 1991-2001 yılları arasındaki 12 yıllık periyotta üretimin tüketimi karşılama oranları Tablo 3.2'de gösterilmiştir [6].

Türkiye'nin nüfusu 1990-1999 arasında %1.9 artarak, 2000 yılında 67.8 milyona ulaşmıştır. Toplam nüfusun 2010'da 78 milyon, 2020'de 88 milyon olacağı tahmin edilmektedir.

Ekonomik büyüme stratejisi 1980'li yıllarla birlikte önemli bir değişim geçirmiş ve izleyen dönemde temel olarak, ekonominin verimlilik ve rekabet gücünü arttırmak hedeflenmiştir.

Kişi başına enerji tüketimi 1990'da 957 kep'den, 2000'de 1218 kep'e yükselmiştir (Tablo 3.3). Türkiye bu durumla, dünya nüfusunun %1.1'lik, enerji tüketiminde ise %0.86'lık bir payına sahiptir. Dolayısıyla kişi başına dünya ortalamasının dörtte üçü kadar (54 GJ) enerji tüketiyor ve bu açıdan AB üyeleri, hatta daha geniş kapsamda Avrupa ülkeleri ve OECD üyeleri arasında sonuncu gelmektedir [54].

Sera gazı emisyonlarının yaklaşık %85'i enerji sektöründen kaynaklanmakta olup, artan enerji tüketimine paralel olarak emisyon değerleri de artmaktadır. Bu çerçevede, aynı dönem içerisinde, Dünya CO<sub>2</sub> emisyon değerleri 20,72 milyar ton'dan 23,44 milyar ton'a, OECD ülkelerinde ise 11,01 milyar ton'dan 12,45 milyar ton'a ulaşmıştır. Dünya genelindeki 2,72 milyar ton'luk artışın 1,44 milyar ton'u diğer bir deyişle %53'ü OECD ülkelerine aittir. Aynı yıl için Türkiye dünya ülkeleri

arasında CO<sub>2</sub> salımı açısından 22., kişi başına CO<sub>2</sub> salımı açısından 74., CO<sub>2</sub> salımının satın alma paritesine göre hesaplanmış GSYİH'ya oranında ise 57.sırada yer almaktadır [55].

Tablo 3.3 Yıllara göre Türkiye’de nüfus, ekonomi, enerji [54]

Yıl	Nüfus Bin kişi	GSMH 1990 fiyatlı. Milyar \$	Kişi başı GSYİH \$/kişi	Enerji Talebi Mtp	Elektrik Talebi TWS	Kişi başı enerji talebi Kep/kişi	Kişi başı Elekt. Talebi KWS/kişi
1973	38,072	75.9	1,994	24.6	12.4	646	326
1990	56,098	150.0	2,674	53.7	56.8	957	1,013
1995	62,171	177.9	2,861	64.6	85.6	1,039	1,376
1998	65,244	215.5	3,303	75.8	114.0	1,162	1,747
2000	67,804	214.1	3,158	82.6	128.3	1,218	1,892
2001	68,618	193.9	2,826	78.1	126.9	1,138	1,849
2010	78,459	421.0	5,366	153.9	286.6	1,962	3,653
2020	87,759	812.7	9,261	282.2	566.5	3,216	6,455
2023	90,345	821.2	9,090	329.9	675.1	3,652	7,472

(Kaynak: ETKB/APK)

Türkiye’de linyit, taşkömürü, asfaltit, bitümlü şistler, ham petrol, doğal gaz, uranyum ve toryum gibi fosil yakıt rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biomas enerji gibi yenilenebilir (tükenmez) kaynak potansiyelleri bulunmaktadır [56].

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından; 1998 yılında yenilenebilir enerji kaynakları üretim ve tüketimi, 11 Mtep ve toplam birincil enerji kaynakları arzının da %15’i olarak gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları üretimi, toplam kömür üretiminden sonra ikinci en yüksek üretime sahip kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları arzının yaklaşık üçte ikisini biomas (odun, hayvan ve bitki artıkları) oluşturmaktadır. Geri kalan üçte birlik kısım da ise hidrolik enerji yer almaktadır. Türkiye’de bugün yenilenebilir kaynaklardan en çok hidrolik enerji ve klasik biomas enerji kullanılmaktadır [6].



### 3.2 Yakıtların Enerji ve Ekserji Verimlilikleri

Enerji verimliliği hesaplarında ısınma amaçlı yakıtların enerji verimlilik değerleri Tablo 3.4’de verilmiştir [57]. Yakıtların kullanım oranlarına bağlı olarak da toplam enerji verimlilik değerleri hesaplanmaktadır.

Tablo 3.4 Yakıtların enerji verimlilik değerleri ve kullanım oranları[57]

<b>Yakıtlar</b>	<b>Enerji Verimleri</b>	<b>Kullanım Oranları (%)</b>
Linyit Kömürü (Soba)	45	58
Linyit Kömürü	50	6
Sibirya Kömürü (Soba)	45	14
Sibirya Kömürü	50	2
Odun	35	15
LPG	90	1
Elektrik	98	1
Sıvı yakıt	65	3

Konut ısıtmada termodinamiğin ikinci kanun verimi (ekserji verimi) her bir yakıt için Tablo 3.5’de gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Yakıtların ekserji verimlilik değerleri ve kullanım oranları [57]

<b>Yakıtlar</b>	<b>Ekserji Verimleri</b>	<b>Kullanım Oranları (%)</b>
Linyit Kömürü (Soba)	3,2	58
Linyit Kömürü	3,6	6
Sibirya Kömürü (Soba)	3,2	14
Sibirya Kömürü	3,6	2
Odun	2,5	15
LPG	7,4	1
Elektrik	7,3	1
Sıvı yakıt	4,9	3

### 3.3 Taşımacılık

Teknolojinin önlenemeyen ilerleyişi, onun ürünü olan ulaşım ve iletişim ülkeler arasındaki ilişkiyi inanılmaz ölçüde arttırmıştır. Sınırların ortadan kalktığı, rekabetin arttığı dünyamızda yaşanan bu değişimi en fazla etkileyen ve gelecekte de etkileyecek sektörlerden birisi “ulaştırma” sektörüdür. Sanayinin hızla gelişmesinde nüfus artışına ve yerleşim merkezlerinin yaygınlaşmasına paralel olarak ulaştırma sistemlerinde konfor, hız ve güvenilirlik üstünlükleri ve enerji kullanımındaki verimlilikleri ön plana çıkartılmıştır. Ulaştırma; genel bir tanımla, kişilere ve eşyaya zaman ve yer yararı sağlamak, hizmetlerin etkin olarak yürütülmesi olarak belirtilmektedir.

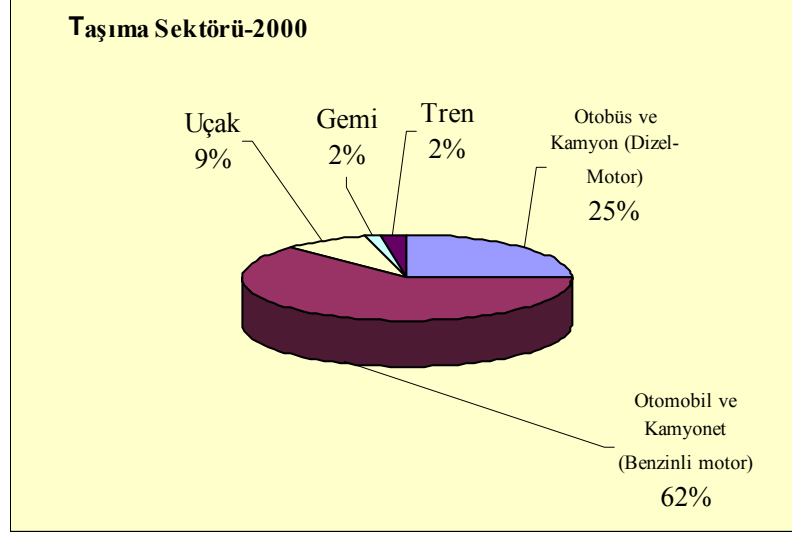
#### 3.3.1 Taşımacılık Sektörünün Bugünkü Durumu

Taşımacılık sektörünün omurgasını, kent içi ulaşım oluşturmaktadır. Ülkemizde sürekli artan bir eğilimle devam eden köyden kente göçün 2000’ li yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir. 2005 yılına kentli nüfusun toplam nüfusa oranının % 80 olması beklenmektedir. Bu oran kent içerisinde, motorlu araç yolculuğu yapacağı varsayılırsa, kent içi ulaşım için sarfedilen enerjinin etkin kullanımına yönelik tedbirlerin alınması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, kent içi ulaşımın şehirler arası yapılan yolcu ve yük taşımacılığının iki katı düzeyinde olduğu gerçeğidir. Şehirlerimizin, ülke kalkınması paralelinde artan eğitim ve kültür düzeyleri, ekonomik ve sosyal faaliyetler, gelir ve refah düzeyi otomobil sahipliği, şehir içi ulaşım taleplerinin şehir nüfusundan daha hızlı artmasına yol açmaktadır. Ülkemizde ulaştırma sektörü, 2000 yılı verileri dikkate alındığında toplam enerji girdisinin % 14,62’sini, nihai enerji tüketiminin de % 19,69’ unu kullanmaktadır. Ayrıca 1996 – 2000 yılları arasındaki beş yıllık dönemin ulaştırma sektörünün enerji dağılımı Tablo 3.6’da gösterilmektedir.

Tablo 3.6 Taşımacılık sektörü enerji kullanım değerleri (TEP) [43]

	1996	1997	1998	1999	2000
Kara yolları	10261	9760	9156	11891	10618
Hava yolları	1018	1075	1106	958	1034
Demir yolları	281	286	273	268	266
Deniz yolları	217	217	226	206	195
Toplam	11778	11339	10760	13322	12114

Bu sektörde en büyük enerji tüketimi payı % 87,65 ile karayolu taşımacılığında, % 2,19 demiryolu , % 1,63 deniz yolu % 8,53 hava yolu tarafından yapılmaktadır (Şekil 3.3) [43].



Şekil 3.3 2000 yılı taşımacılık sektörü araç dağılımı [43]

### 3.3.2. Karayolu Taşımacılığı

Türk ulaşım sektörünün % 87,60' ı karayolu taşımacılığında oluşmaktadır. 2000 yılı verileri incelendiğinde ulaştırma sektöründeki 12114 TEP' lik enerjinin 10618 TEP'lik kısmı, karayolu tarafından kullanılmaktadır. Kullanılan bu enerjinin büyük kısmını petrol ve petrol ürünleri oluşturmaktadır. Karayolu taşımacılığında kullanılan araçlar, kendi iç bünyesinde taşıma ve kullanım amacına göre 4 farklı sınıfta yer almaktadır. Bunlar, yolcu taşıtları , yük taşıtları, yol ve iş makineleri ve diğer yolcu ve yük taşıtları olarak belirlenmiştir. Ağırlıklı olarak incelendiğinde, yolcu taşıtları, tüm karayolu taşımacılığının %70' ini oluşturmaktadır. Tablo 3.7'de son beş yılın kara yolu taşımacılığında araç gelişimi gösterilmiştir.

Tablo 3.7 Karayolu taşımacılığında araç gelişimi [43]

		1995	1996	1997	1998	1999	2000
Yolcu Taşıtları	Otomobil	3.058.511	3.274.156	3.570.105	3.838.288	4.072.326	4.422.180
	Minibüs	173.051	182.694	197.057	211.495	221.638	235.885
	Otobüs	90.197	94.978	101.896	108.361	112.186	118.454
Yük Taşıtları	Kamyonet	397.743	442.788	529.838	626.004	692.935	794.499
	Kamyon	321.421	333.269	353.586	371.163	378.967	394.283
Özel Amaçlı Diğer	Motorsiklet	819.922	854.150	905.121	940.935	975.746	1.011.284
Yolcu ve Yük Taşıtları	Özel araçlar	37.272	40.212	45.327	49.925	52.105	55.677
Yol ve İş Makineleri		87.214	95.318	107.151	117.913	124.275	129.725
Toplam		5.072.545	5.412.883	5.917.232	6.381.997	6.751.160	7.291.104

Bu araçlarda kullanılan motor türlerine göre benzinli ve dizel motorlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Yol ve iş makineleri ile birlikte yük taşıtlarının % 98' lik kısmı dizel motoru kullanırken, yolcu taşıtlarında, otobüs ve minibüs % 90' ını dizel motoru iken, otomobillerde bu oran % 14 dolayındadır. Türk ulaşım sektöründe toplamda, benzinli araçların payı dizel araçların payından daha fazla bir orana (%53 - % 47) sahiptir.

1998 yılında yapılan “konutlarda enerji tüketimi, sayımında her konutta mevcut araç miktarları, araçların kullandıkları yakıt türleri tespit edilmiştir. Bu sayımda elde edilen rakamlar doğrultusunda konutların % 21' inde özel araç bulunmaktadır. Bulunan bu araçların, yakıt türlerine göre dağılımı incelendiğinde, % 7' lik kısmı dizel araçlar, % 0,5' ini LPG araçlar; geri kalan kısmı ise benzinli araçlar oluşturmaktadır. Günümüzde bu eğilimin dizel ve LPG araçlar lehine artan bir eğilim göstermesine rağmen, benzinli araç kullanımının yaygın bir şekilde devam edeceği beklenmektedir.

### 3.3.3 Taşımacılık Sektöründe Kullanılan Araçların Enerji ve Ekserji Verimlilikleri

1876 yılında Otto tarafından ilk benzinli aracın üretilmesi, insanlığın tarihinin en önemli buluşlarından biri olarak kabul edilmektedir. 1897’de dizel motorlarının kullanılmaya başlanması , bu sektördeki artacak olan çeşitliliğin bir göstergesi olarak ortaya çıkmıştır.

Buharlı türbinlerle başlayan ısı enerjisinin hareket enerjisine çevrilmesi günümüze kadar çeşitli aşamalardan geçerek, Türbinli ve jet motorlarına kadar ulaşan 400 yıllık bir yolculuğun öyküsüdür. Ulaşım sektöründe kullanılan araçlar, benzinli motorlar, dizel motorları, gaz türbinleri, buhar türbinleri olarak kullanılmaktadır. Ulaştırma sektöründe kullanılan motor verimleri; benzinli motorlar için 20-25, dizel motorlar için 35-40’tır. Bu araçlarda kullanılan motorlar üzerinde her geçen gün yenilikler yapılarak daha verimli hale getirilmeye çalışılmaktadır. 1975 yılında 100 km’de 14 lt benzin tüketen motorlu aracın günümüzde 5,3 lt’ ye kadar düşmektedir. Bu durum, araçlarda yakıt tüketiminin azaltılmasının yanında konforu ve güvenliği de ön plana çıkarmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre, gelişmiş ülkelerde yapılan yolculukların % 75’ i 7 km altındadır. Bu durum ülkemizde de aynı değerlerle karşılanmaktadır.

Araştırma sonuçlarına göre, her 75 yılda yeni bir ulaşım sistemi ortaya çıkmaktadır. 18 yy. ilk yarısında kanallar, daha sonra demiryolları, 1920’lerden sonra da motorlu araçlar ön planda yer almaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, teknolojinin, doygunluk sınırına ulaşması yaklaşık 3 kuşak sürmektedir. Otomobilin tam olarak kitlelere inmesi 1950’ li yılları bulmuştur. Uçak taşımacılığı ancak 1970’ li yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır.

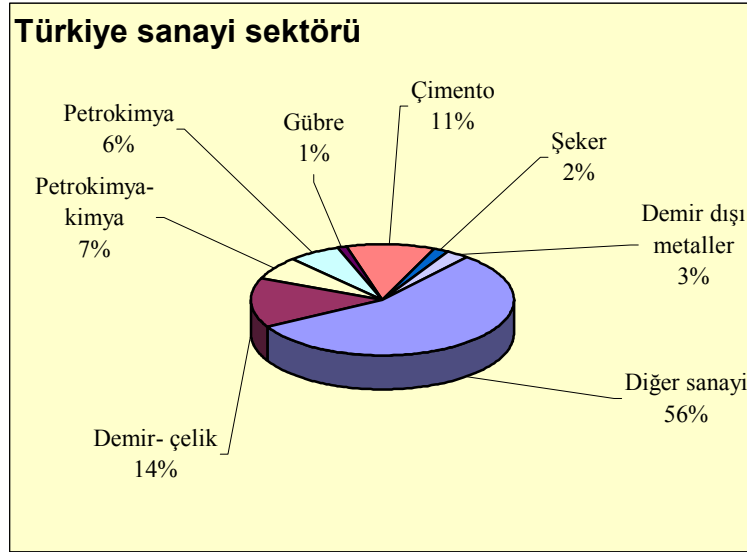
Taşımacılık sektörünün enerji ve ekserji verimliliğinin belirlenmesinde, sektörde kullanılan araçların motor verimliliklerinin de mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Motor verimleri, mekanik verim, termik verim ve

hacimsel verim olarak bilinmektedir. Motor silindirlerine alınan yakıtın, yanma anında başlayarak, otomobilin tekerleklerine kadar bir çok kayba uğrar [43].

### 3.4 Sanayi Sektörü

Sanayileşme alanında yapmış olduğu atılımlar ile Dünya sanayinde yerini her geçen gün sağlamlaştıran Türkiye, buna paralel olarak enerji tüketimini de arttırmaktadır. Sanayi sektörü enerji kullanımı, 1990 yılında nihai enerji tüketiminin sektörlere göre incelendiğinde % 35 olan payı, on yıllık bir süreç içerisinde % 12 arttırarak 2000 yılında % 39 'a ulaşmıştır.

Türk sanayi sektörü incelendiğinde, çok farklı endüstri kollarından oluştuğu gözlemlenmektedir. Sanayi de belirgin bir payı olan endüstri kolları; demir-çelik, çimento, petrokimya, şeker ve gübre sanayidir. Sektörlerin 2000 yılında kullandıkları enerji miktarlarına göre dağılımı Şekil 3.4 'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Türkiye sanayi endüstrisi 2000 yılı enerji tüketim dağılımı[43]

Buna göre en büyük enerji kullanıcısı % 14,3 ile demir-çelik sektörüdür. Bu sektörü enerji kullanım sırasına göre; % 11 ile çimento sektörü, % 7 ile petro-kimya, % 2 ile şeker sektörü ve % 1 ile gübre sektörü izlemektedir.

2000 yılı sanayi sektörü enerji girdisi türü ve miktarı Şekil 3.4’ de ayrıntılı olarak verilmiştir. Yapılan değerlendirmede; % 27 ile en büyük pay petrole aittir [43].

Tablo 3.8 Türk sanayi sektörüne 2000 yılı enerji ve ekserji girdileri[43]

Enerji Taşıyıcı		Giriş (PJ)	Kaynak (%)	Sektör (%)	Türkiye (%)
Taş kömürü	Enerji	215.46	0.05	22.24	6.01
	Ekserji	221.92		22.77	6.40
Linyit	Enerji	61.24	0.01	6.32	1.74
	Ekserji	63.70		6.54	1.84
Petrokok	Enerji	48.82	0.1	5.04	1.38
	Ekserji	50.78		5.21	1.46
Petrol	Enerji	270.67	18.31	27.95	7.67
	Ekserji	267.97		27.50	7.72
Doğal gaz	Enerji	92.05	16.11	9.50	2.60
	Ekserji	84.69		8.69	2.44
Solar	Enerji	3.49	0.03	0.36	0.10
	Ekserji	3.24		0.33	0.09
Elektrik	Enerji	173.21	0.03	17.78	4.91
	Ekserji	173.21		17.77	4.99
Kok	Enerji	103.75	98.68	10.71	2.94
	Ekserji	108.94		11.18	3.14
Toplam	Enerji	968.69		100	27.45
	Ekserji	974,45		100	28.08

Türk sanayi sektörü 2000 yılı enerji ve ekserji verimlilikleri belirlenir iken Goran Wall yaklaşımından hareket edilerek sadece kullanılan yakıtların ve elektrik enerji ve ekserji değerleri dikkate alınmıştır (Tablo 3.8). Sistemlerde kullanılan ham materyallerin kimyasal ekserji değeri 2000 yılı için değerlendirme dışı bırakılmıştır. Proseslerdeki enerji tüketim noktaları yapılan işleme göre ayrılmışlardır. Bunlar; mekanik iş, buhar elde etme, direk ısıtma, mekan ısıtma, aydınlatma ve diğerlerinden (soğutma amaçlı gibi) oluşmaktadır. Ayrıca sistemde oluşan kayıplarda göz önünde bulundurulmuştur. Hesaplamalar yapılırken, birinci kanun verimlilikleri literatürden tespit edilmiştir. İkinci kanun verimlilikleri ise enerjinin prodesteki kullanım türüne göre eşitlik (3.1) ve (3.2) dan hesaplanarak bulunmuştur.

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_2} \right) \right] \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_2 = \left( \frac{\varepsilon_1}{q_{fuel}} \right) \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_2} \right) \right] \quad (3.2)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler Tablo 3.10'da verilmiştir. Elektrik kullanımında en düşük ekserji değeri aydınlatma sistemlerinde oluşurken, sektör de kullanılan yakıtlarda en düşük ekserji verimliliği % 14.60 ile mekan ısıtma amaçlı kullanılan sistemlerde elde edilmiştir.

Sektörde kullanılan elektrik ve yakıtların enerji ve ekserji değerleri proseslerdeki ağırlıkları dikkate alınarak eşitlik (3.3) ve (3.4) ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

$$E_{1,o} = (f_{ed,1} * E_1) + (f_{ed,2} * E_1) + (f_{ed,3} * E_1) + (f_{ed,4} * E_1) \quad (3.3)$$

$$E_{2,o} = (f_{ed,1} * E_2) + (f_{ed,2} * E_2) + (f_{ed,3} * E_2) + (f_{ed,4} * E_2) \quad (3.4)$$

2000 yılı için yapılan hesaplamalarda sektörde kullanılan elektrik için enerji ve ekserji verimlilikleri sırası ile % 83,58 ve 74,54 olarak belirlenmiştir. Sektördeki kullanılan enerjinin büyük bir kısmını oluşturan yakıtlar için ise enerji verimliliği % 65,60 olarak bulunurken, ekserji verimliliği ise 27.07 olarak belirlenmiştir.

Sektörün tamamında tüketilen enerji ve ekserji değerleri ise eşitlik (3.5) , (3.6) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{1,oi} = \frac{(\varepsilon_{1e} * e_i + \varepsilon_{1f} * f_{ei})}{(e_i + f_i)} \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_{2,oi} = \frac{(\varepsilon_{2e} * e_i + \varepsilon_{2f} * f_{ei})}{(e_i + f_i)} \quad (3.6)$$

Türk sanayi sektörünün 2000 yılı verileri dikkate alındığında enerji ve ekserji verimlilikleri sırası ile  $E_{1,oi} = \% 68,81$  ve  $E_{2,oi} = \% 35,51$  bulunmuştur. Sanayii



sektörünün enerji ekserji kullanım miktarları ile birlikte verimlilik değerlendirilmesi ayrıntılı bir şekilde Tablo 3.9’ da belirtilmiştir.

Tablo 3.9 Sanayi sektörü enerji , ekserji kullanımı ve verimliliği [43].

Kullanım amacı	Elektrik			Tüm yakıtlar		
	%	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	%	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$
Mekanik iş	65	90(80)	80(90)			
Proses buharı	5	90	34.25	49	90	31.52
Direk ısıtma	23	98	71.24	35	40	29.07
Diğer (Aydınlatma)	7	18.5	17.10			
Mekan ısıtma				10	75	14.60
Yakıt kayıpları				6		
Toplam	100	83.58	74.54	100	65.60	27.07
Sektör verimliliği : $\epsilon_1=68.81$ $\epsilon_2=35.51$						

### 3.5 Regresyon Analizi:

Regresyon analizi, bir çok alanda veri analizi için başvurulan önemli bir istatistiksel teknik olup değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılır.

Regresyon analizi, bağımlı bir değişken ile bağımlı değişken üzerinde etkisi olduğu varsayılan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel bir model ile açıklanmasıdır. Basit doğrusal regresyon analizinde bir bağımlı ve bir bağımsız değişken söz konusu iken, çoklu doğrusal regresyon analizinde ise bir bağımlı değişken varken iki yada daha fazla bağımsız değişken vardır.

$$\text{Basit Doğrusal Regresyon Modeli: } Y = a + bX \quad (3.7)$$

$$\text{Çoklu Regresyon Modeli} \quad : Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \dots \quad (3.8)$$

Y : Bağımlı değişken

X, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, ..... : Bağımsız değişkenler

a, b, c, d, ..... : Katsayılar

Basit doğrusal regresyon analizinde (Y= a + bX eşitliğinde) a ve b katsayıları hesaplanırsa, oluşturulan matematiksel model ile gözlenen veriler arasındaki bilinmeyen ara değerler hesaplanabilir yada geleceğe ilişkin tahminler yapılabilir [58].

## 4.BALIKESİR İLİNDE VERİMLİLİK VE ÇEVRE ANALİZLERİ

### 4.1 Balıkesir İli Genel Görünümü

Balıkesir İlinin büyük bir kısmı Güney Marmara Bölgesi'nde yer almakla birlikte; ilin hem Marmara Bölgesi, hem de Ege Bölgesi sınırları içerisinde toprakları bulunmaktadır. Balıkesir İli doğuda Bursa ve Kütahya, güneyde İzmir ve Manisa, batıda Ege Denizi ve Çanakkale, kuzeyde Marmara Denizi ile çevrilmiştir. Toplam ilçe ve merkeze bağlı üç beldeye sahip olan ilin toplam yüz ölçümü 14.456 km<sup>2</sup> olup, bu değer ülke topraklarının yaklaşık %1,9'una denk gelmektedir.

Balıkesir ili 2000 yılı genel nüfus sayımı sonuçlarına göre toplam il nüfusu 1.076.347 olup, merkez ilçe nüfusu köy nüfusları da dahil 246.329'dur. Merkez İlçe'de 1990-2000 yılı dönemine ait nüfus artış hızı Balıkesir ili genelinden %0,96 fazla ve Türkiye geneline %0,28 yakın olmuş, %15,52 olarak gerçekleşmiştir [59].

Balıkesir çevresi kış dönemi kuzeyden sokulan ve çok soğuk hava kütleleri ile Akdeniz üzerinden sokulan nispeten ılık etki yapan hava kütlelerinin etkisi altındadır. Bu hava kütleleri ile birlikte kış dönemi etkili olan en önemli sistem Orta Akdeniz de oluşarak ilk önce Türkiye'nin Batı kıyılarını, diğer bir ifade ile Balıkesir çevresini etkileyen gezici alçak basınç sistemleridir (Orta Enlem Siklonları). Balıkesir çevresinde soğuk dönemde Sibiryaya 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. Dolayısıyla, kış döneminde gezici alçak basınç ve buna bağlı sistemlerin doğal ve sosyal ortam üzerinde olumlu etkileri fazladır. Kış döneminde etkili olan yüksek basınç sistemleri yağış oluşumunu azaltır ve hava kirliliğinin daha yoğun yaşanmasının ortamını hazırlar [60]. Balıkesir ilinde bütün iklim elemanlarında olduğu gibi sıcaklık özellikleri de güneyde-kuzeye, batıdan-doğuya değişmektedir. Balıkesir'de yıllık ortalama sıcaklık 14.5 derecedir. Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarındaki ortalama sıcaklık 8.97 derece

civarındadır [61]. Balıkesir İli genel hatları ile rüzgar bakımından dikkati çeken bir saha olarak ifade edilebilir. Poyraz ve Etesiyen olarak ifade edilen kuzey sektörlü rüzgarlar egemendir. 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. Balıkesir ili genelinde soğuk dönemde etkili olan sis olayı aynı zamanda nem oranının %95-100 civarında olduğunu ifade eder. Soğuk dönemdeki yüksek basınç, gece dönemi aşırı enerji kaybı, düşük sıcaklık nedeni ile fazla yakıt tüketimi ve bunların beraberinde görülen sis olayı hava kirliliğinin yaşanmasına sebep olmaktadır [60].

#### **4.2 Balıkesir’de Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri**

Balıkesir İlinde hava kalitesinin korunması,hava kirliliğinin önlenmesi ve enerji ekonomisinin sağlanmasına yönelik esaslar Temmuz 2005 (Balıkesir Valiliği İl Mahalli Çevre Kurulu) verilerine göre Balıkesir İlinde yakılacak kömürün özellikleri belirlenmiştir [62].

Balıkesir İlinde satılan yerli kömürde alt ısı değer 4200 kcal/kg, hava kirliliğini en çok etkileyen parametrelerden biri olan yanabilir kükürt %1.5’un üzerinde olmaması Mahalli Çevre Kurulu Kararlarına göre belirlenmiştir (Tablo 4.1). İthal kömürde ise alt ısı değer 6200 kcal/gr, toplam kükürt oranı ise %0.9’dur (Tablo 4.2).

Tablo 4.1 Yerli kömürün özellikleri (Isınma amaçlı) [62]

Alt Isıl Değer	4200 Kcal/kg	Satışa Sunulan 200 Kcal/kg tolerans	En az
Yanabilir Kükürt	%1.5	Satışa Sunulan	En çok
Boyut	18-150 mm	18 mm altı %10 tolerans, 150 mm üstü %10 tolerans	Değerleri Arasında
Kül	%25	Kuru Bazda	En çok

Tablo 4.2 İthal kömürün özellikleri (Isınma amaçlı) [62]

Alt Isıl Değer	6200 Kcal/kg	Satışa Sunulan 400 Kcal/kg tolerans	En az
Toplam Kükürt	%0.9	Kuru Bazda(+%1)	En çok
Uçucu Madde	%12-28	Kuru Bazda(+%1)	Değerleri arasında
Toplam Nem	%10	Satışa Sunulan (+%1 tolerans)	En fazla
Boyut	18-150 mm	18 mm altı max %10tolerans 150 mm üstü %10 tolearans	Değerleri arasında

Belediyenin mücavir alanı içinde ısınma amaçlı sıvı yakıt TÜPRAŞ tarafından üretilen %1.5 kükürt içeren TÜPRAŞ 615 kalorifer yakıtının kullanılmasına, meskun mahal içersinde (Belediye sınırları içinde) bulunan ve emisyon izni olmayan sanayi tesislerinde 6 nolu fuel oil'in kış sezonunda (Ekim-Mart) yasaklanmasına, Tüpraş tarafından üretilen ağırlıkça %1.5 kükürt içeren kalorifer yakıtının kullanılmasına izin verilmiştir [62].

Balıkesir ilinde 2004 yılında başlayan doğal gaz çalışması, kademeli olarak bittikten sonra şehrin büyük bir kısmına gaz verilmiş olacaktır. Doğal gaz yaygınlaştıkça hava kirliliği parametreleri de kademeli olarak düşecektir. Bu durum Balıkesir ilindeki hava kirliliğini kademeli olarak düşürecek. Balıkesir İlinde doğal gaz kullanımının 2006 yılının Mart ayı verilerine göre;

Mevcut abone sayısı; 6200

Gaz kullanan abone sayısı; 4300'tür.

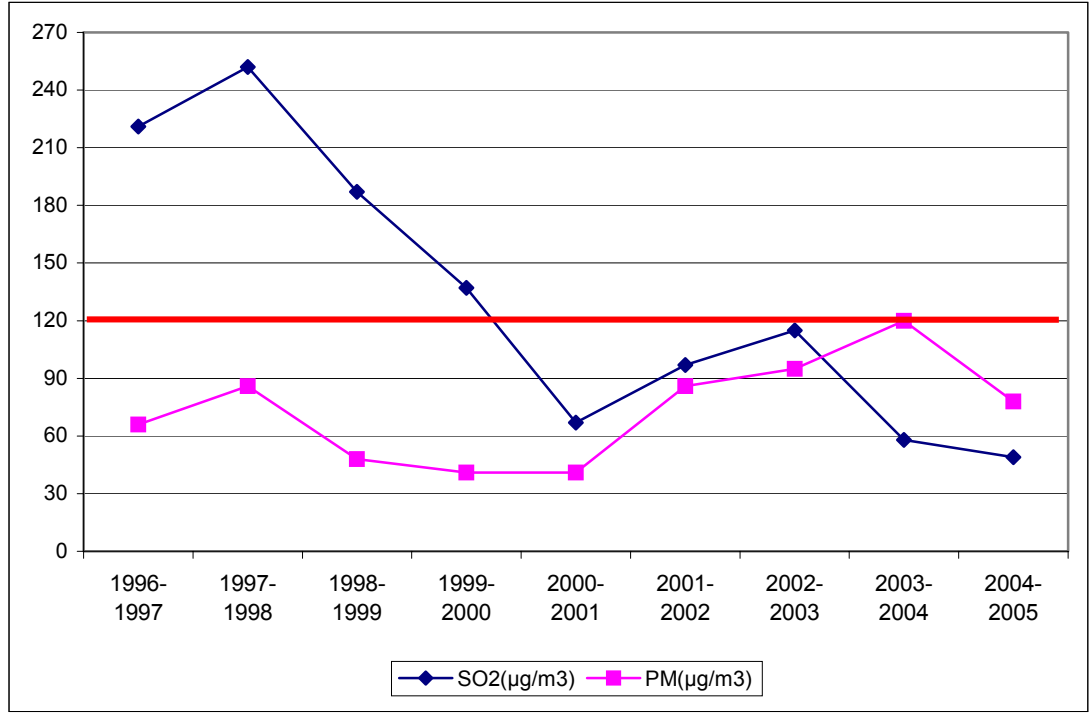
2005 yılı Mart ayında ilk gaz verilen Balıkesir il merkezinde Bahçelievler, Plevne, Hasan Basri Çantay, 1.Gündoğan, GümüŖçeŖme (1.Kısım), Atatürk, PaŖaalanı, Adnan Menderes Mahallelerine doğalgaz alıŖmalarının büyük bir kısmı tamamlanmıŖtır. 2007 yılının sonuna kadar Balıkesir'in doğalgaz alıŖmasının bitirilmesi düşünölmektedir [63].

### **4.3 Balıkesir İlinde Hava Kirliliği**

Kentimizde kış aylarında görölen hava kirliliğinin başlıca nedeni, ısınma ve enerji sebebiyle tüketilen fosil yakıtlardır. Özellikle kükört dioksitin ( $SO_2$ ) yaklaşık olarak %90'ını fosil kaynaklı yakıtların yakılması neticesinde oluŖmaktadır. Endüstriyel faaliyetler ve trafik gibi etkenler de hava kirliliğinin diğer kısımlarını oluŖturmaktadır. 2005-2006 Kış sezonu için Balıkesir İl Merkezi kirlilik açısından I. Grup kirli iller arasında yer almaktadır [62].

Bunun yanı sıra nüfus artışı, topoğrafik yapı ve meteorolojik Ŗartlara göre hava kirliliği kış aylarında kendisini iyice hissettirmektedir. Özellikle anak Ŗeklindeki yapı, kış aylarında hakim rüzgarların azalması, yüksek basınç ve hava sıcaklığının düşmesi hava kirliliğini arttırmaktadır. Balıkesir İli için hava kirliliği değerleri Balıkesir Valiliği Halk Sağlığı Müdürlüğü'nden alınmıŖtır [64].

Ŗekil 4.1'de Balıkesir'deki hava kirliliği değerleri incelendiğinde, 1999-2000 yılından önce kış ayı ortalamalarının hedef sınır değerin üzerinde olduğu görölmektedir. 1999-2000 yılından sonra hava kirliliği değerleri hedef sınır değerlerinden düşük veya yakındır. Bunun da sebebi Balıkesir İline giren ithal kömürdür[12].



Şekil 4.1 1996-2005 Yılları arasında Balıkesir İlının kirlilik sıralaması, SO<sub>2</sub> ve PM değerleri [12]

Balıkesir İlının kış aylarındaki (Ocak-Şubat-Mart-Ekim-Kasım-Aralık) ölçülen kirlilik değerlerini ve Türkiye genelinde ölçülen iller arasında hava kirliliği bakımından kaçıncı sırada olduğunu göstermektedir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3 1996-2005 Yılları arasında hava kirliliğinin SO<sub>2</sub> ve PM olarak değişiminin incelenmesi [26]

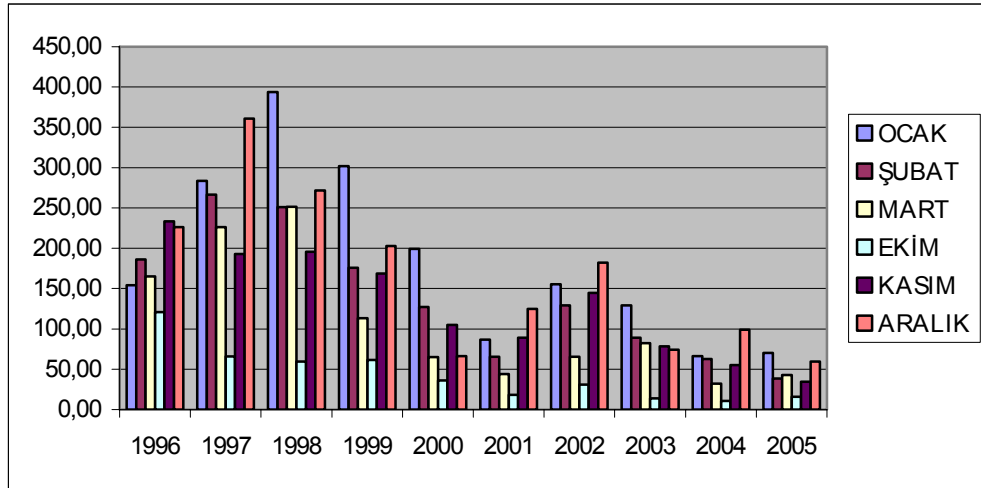
	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005
<b>SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>	221	252	187	137	67	97	115	58	49
<b>Sıralama</b>	4	4	8	14	27	21	17	32	35
<b>PM(µg/m<sup>3</sup>)</b>	66	86	48	41	41	86	95	120	78
<b>Sıralama</b>	27	18	31	33	29	13	10	4	8

Kükürtdioksitin kış aylarına göre değişimi Tablo 4.4'de belirtilmektedir. Burada özellikle 2000 yılından sonra hava kirliliğinde düşmeler meydana gelmektedir. Şehre giren kömürde ve yakma sistemlerinde yapılan denetimler hava kirliliğini azalttığı görülmektedir. 1996-2005 yılları arasında kış sezonuna ait (Ocak-

Şubat-Mart-Ekim-Kasım-Aralık) SO<sub>2</sub> ve PM'nin ortalama aylık değerleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Kükürtdioksit'in kış aylarına göre değişimi [26]

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>OCAK</b>	153,90	283,60	393,60	301,90	199,10	86,80	155,40	129,20	66,15	70,20
<b>ŞUBAT</b>	186,00	266,40	251,00	175,70	127,20	65,50	129,20	89,23	62,51	38,62
<b>MART</b>	165,10	226,30	251,50	113,40	65,00	43,80	65,40	82,50	32,00	42,67
<b>EKİM</b>	121,00	65,60	59,40	61,30	35,90	18,30	31,00	13,83	10,61	15,76
<b>KASIM</b>	233,50	193,10	195,80	168,90	105,10	89,00	144,70	78,47	54,92	34,28
<b>ARALI</b>	226,30	360,90	271,80	203,00	66,10	124,60	182,40	74,11	98,91	59,27

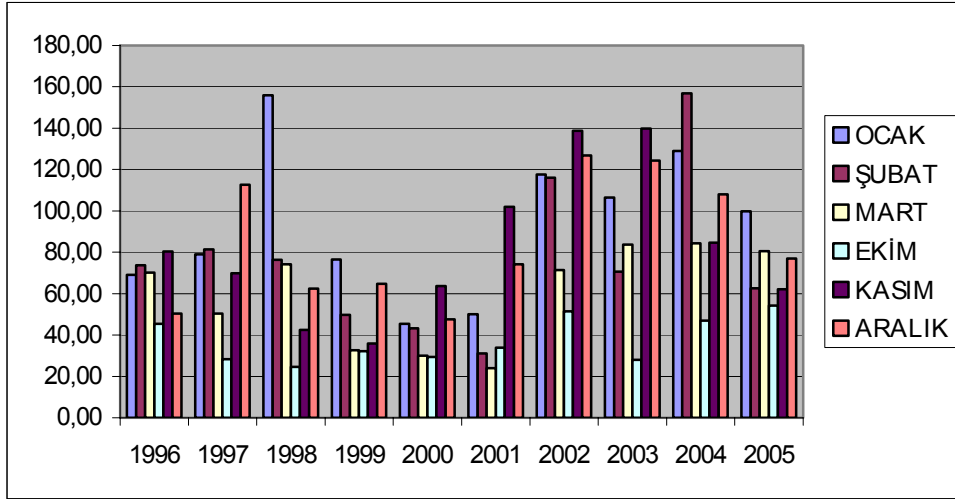


Şekil 4.2 Kükürtdioksit'in kış aylarına göre değişiminin grafiği [26]

Tablo 4.5 Partikül Maddenin kış aylarına göre değişimi[26]

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>OCAK</b>	69,00	79,00	155,90	76,50	45,50	50,10	117,60	106,41	129,01	99,80
<b>ŞUBAT</b>	73,70	81,50	76,40	49,80	43,30	31,10	116,10	70,59	156,87	62,53
<b>MART</b>	70,10	50,40	74,10	32,60	29,90	24,00	71,40	83,70	84,35	80,44
<b>EKİM</b>	45,50	28,20	24,50	32,20	29,30	33,90	51,40	28,03	46,95	54,21
<b>KASIM</b>	80,40	69,90	42,50	35,80	63,70	101,90	138,80	139,79	84,68	62,04
<b>ARALI</b>	50,40	112,60	62,40	64,70	47,60	74,20	126,90	124,37	108,06	76,94

Balıkesir ilinde partiküller maddenin kış aylarına göre değişimi; 1997, 1998, 1999 yıllarında değerlerin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, kalitesiz, ısıl değeri düşük, kükürt oranı yüksek olan kömürlerin şehre girmesidir (Tablo 4.5).



Şekil 4.3 Partikül Maddenin kış aylarına göre değişiminin grafiği[26]

#### 4.4 Balıkesir İlinde Hava Kirliliğinin Meteorolojik Şartlara Göre İncelenmesi

Balıkesir İl Halk Sağlığı Müdürlüğü tarafından yapılan 1999 -2005 yılları arasında kış sezonlarını (Ocak-Şubat-Mart-Ekim-Kasım-Aralık) içeren günlük SO<sub>2</sub> ve PM ölçüm değerlerinin[63] meteorolojik veriler göre (sıcaklık, basınç, rüzgar hızı, nem) [60] SPSS programında değerlendirilmesi yapılmıştır. Lineer Regresyon analizi ile kirletici değerlerinin hava şartlarına göre ilişkisi incelenmiş, aralarındaki denklemler bulunmuştur. 1156 güne ait 6936 adet veri SPSS'e girildikten sonra kirlilik parametrelerinin meteorolojik verilerin tümünü kapsayan denklemler oluşturulmuştur.

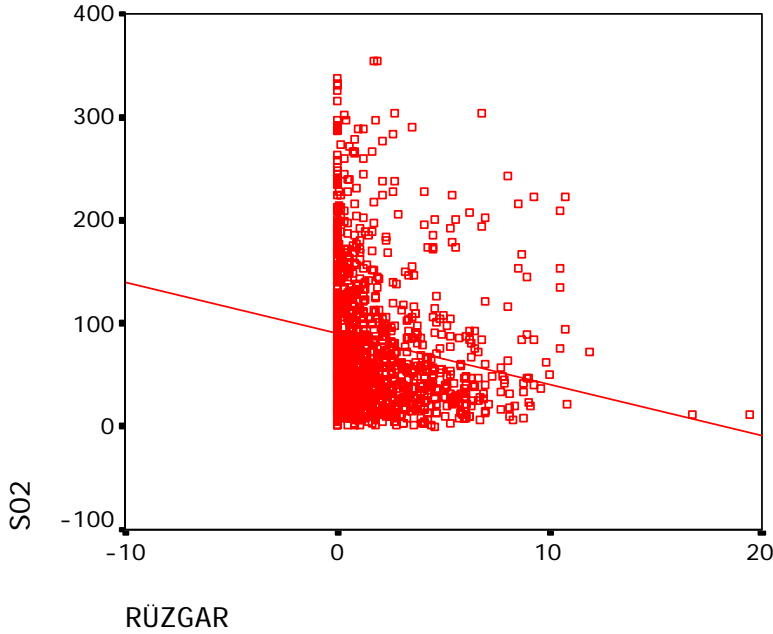


1999-2005 yılları kış aylarının (Eylül-Ekim-Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart) toplam 6936 günün hava kirliliği parametreleri ve meteorolojik faktörlerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 1999-2005 kış aylarının ortalama ve standart sapmaları

Parametre	Ortalama	Standart Sapma	N
SO <sub>2</sub> , µg/m <sup>3</sup>	80.53	67.44	1151
PM , µg/m <sup>3</sup>	77.21	59.49	1151
Rüzgar Hızı, m/s	1.961	2.332	1151
Sıcaklık, °C	8.265	5.835	1151
Basınç, mbar	1006.518	6.283	1151
Nem	75.345	10.983	1151

#### 4.4.1 SO<sub>2</sub> ve Ortalama Rüzgar Hızı Arasındaki İlişki



Şekil 4.4 SO<sub>2</sub> ile ortalama rüzgar hızı arasındaki değişim[12]

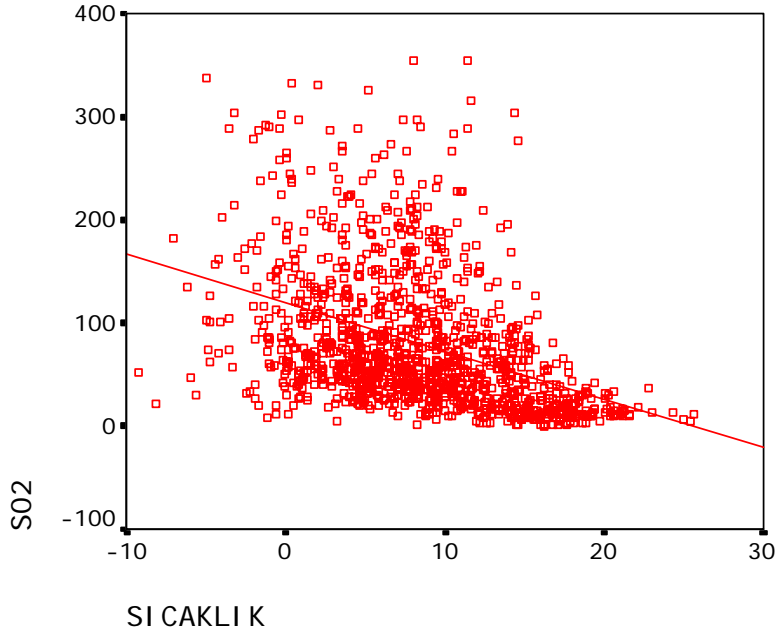
Şekil 4.4'de SO<sub>2</sub> ile ortalama rüzgar hızı arasında ters bir bağlantı olduğu görülmektedir. Rüzgar hızı düşük olduğu zaman hava kirliliği kendisini çok daha fazla hissettirmektedir.

SO<sub>2</sub> ve Ortalama rüzgar hızı arasındaki denklem ise:

$$R=-0.170 \quad R^2=0.029 \quad p=0.000$$

$$SO_2= 90.180- 4.921 (\text{rüzgar hızı}) \quad (4.1)$$

#### 4.4.2 SO<sub>2</sub> ve Ortalama Sıcaklık Arasındaki İlişki



Şekil 4.5 SO<sub>2</sub> ile ortalama sıcaklık arasındaki değişim[12]

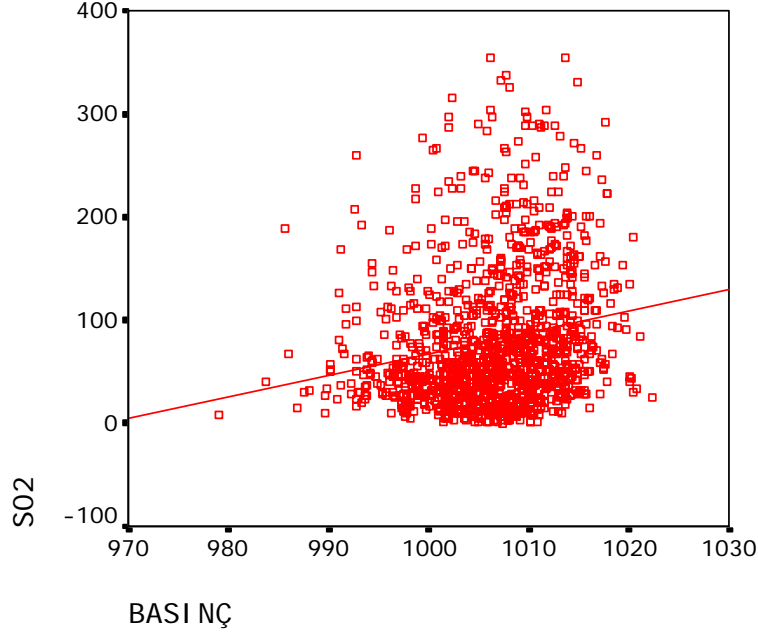
SO<sub>2</sub> ile ortalama sıcaklık arasında ters bir orantı vardır. Düşen sıcaklıklarla birlikte, kış günlerinde atmosfere verilen kirlilik parametreleri hava kirliliğini önemli ölçüde arttırmaktadır (Şekil 4.5).

SO<sub>2</sub> ve Ortalama sıcaklık arasındaki denklem ise:

$$R=-0.406 \quad R^2=0.165 \quad p=0.000$$

$$SO_2= 119.290- 4.690 (\text{sıcaklık}) \quad (4.2)$$

#### 4.4.3 SO<sub>2</sub> ve Ortalama Basınç Arasındaki İlişki



Şekil 4.6 SO<sub>2</sub> ile ortalama basınç arasındaki değişim[12]

SO<sub>2</sub> ile ortalama basınç arasındaki doğru bir orantı vardır. Basınç arttığı zaman atmosfere yayılan kirleticilerin üzerine gelen etkiyle birlikte hava kirliliği kendisini daha fazla hissettirir (Şekil 4.6).

SO<sub>2</sub> ve Ortalama basınç arasındaki denklem ise:

$$R=0.194 \quad R^2=0.038 \quad p=0.000$$

$$SO_2 = -2019.2 + 2.086 (\text{basınç}) \quad (4.3)$$

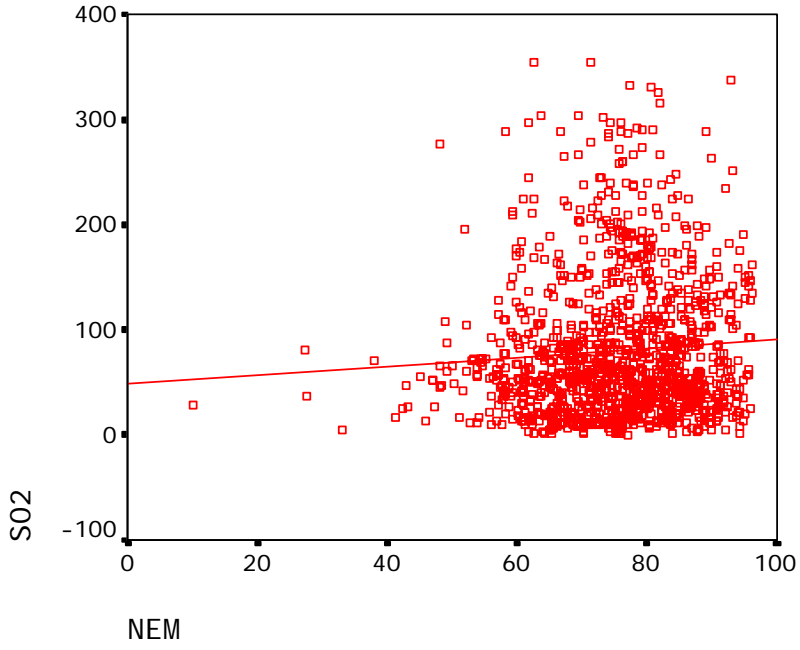
#### 4.4.4 SO<sub>2</sub> ve Ortalama Nem Arasındaki İlişki

SO<sub>2</sub> ile ortalama nem arasında da doğru bir orantı vardır. Yani nem oranı arttıkça kirlilik artar (Şekil 4.7).

SO<sub>2</sub> ve Ortalama nem arasındaki denklem ise:

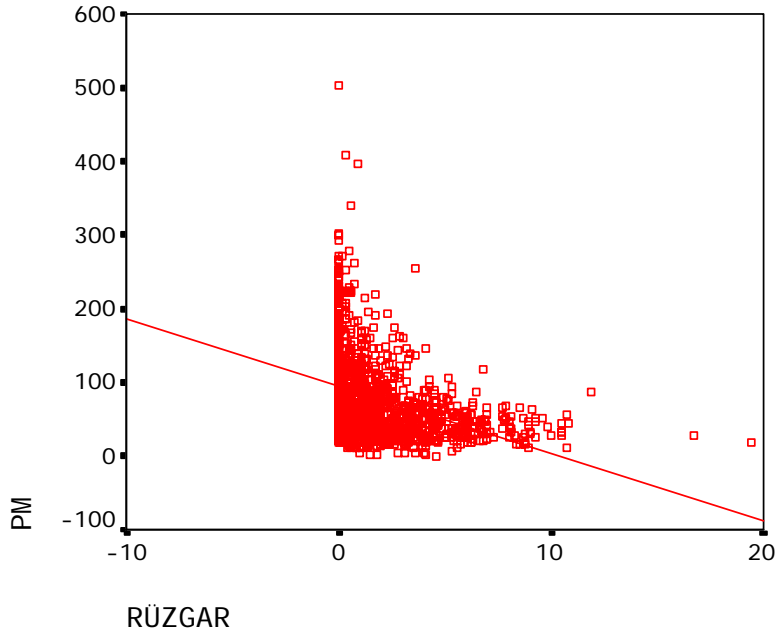
$$R=0.070 \quad R^2=0.005 \quad p=0.017$$

$$SO_2 = 47.976 + 0.432 (\text{nem}) \quad (4.4)$$



Şekil 4.7 SO<sub>2</sub> ile ortalama nem arasındaki değişim

#### 4.4.5 PM ve Ortalama Rüzgar Hızı Arasındaki İlişki



Şekil 4.8 PM ile ortalama rüzgar hızı arasındaki değişim[12]

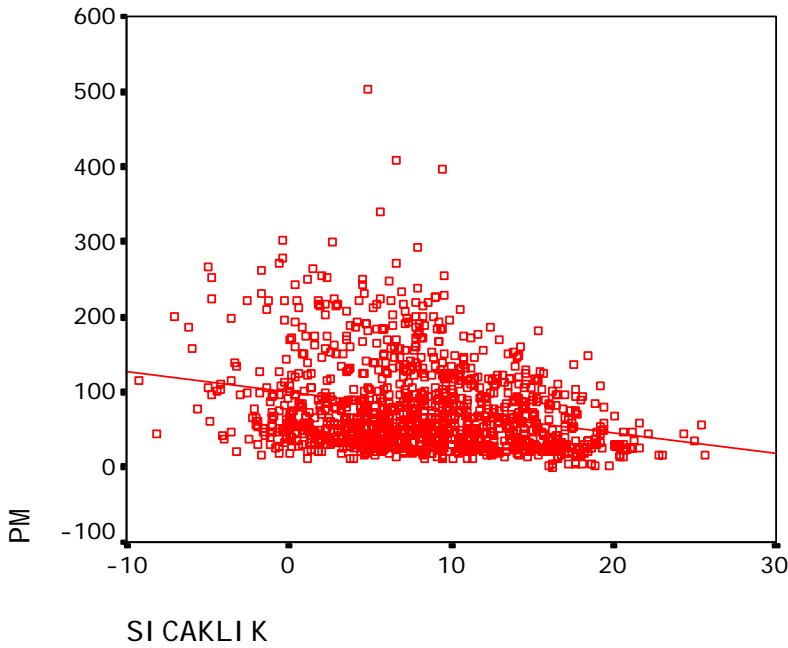
PM ile ortalama rüzgar hızı arasında ters bir orantı vardır. Kış aylarında rüzgar hızının sıfıra yaklaşması hava kirliliğini önemli ölçülerde arttırmaktadır (Şekil 4.8).

PM ve Ortalama rüzgar hızı arasındaki denklem ise:

$$R=-0.358 \quad R^2=0.128 \quad p=0.000$$

$$PM= 95.149- 9.143 (\text{rüzgar hızı}) \quad (4.5)$$

#### 4.4.6 PM ve Ortalama Sıcaklık Arasındaki İlişki



Şekil 4.9 PM ile ortalama sıcaklık arasındaki değişim[12]

PM ile ortalama sıcaklık arasında ters bir orantı olup Şekil 4.9'da gösterilmektedir.

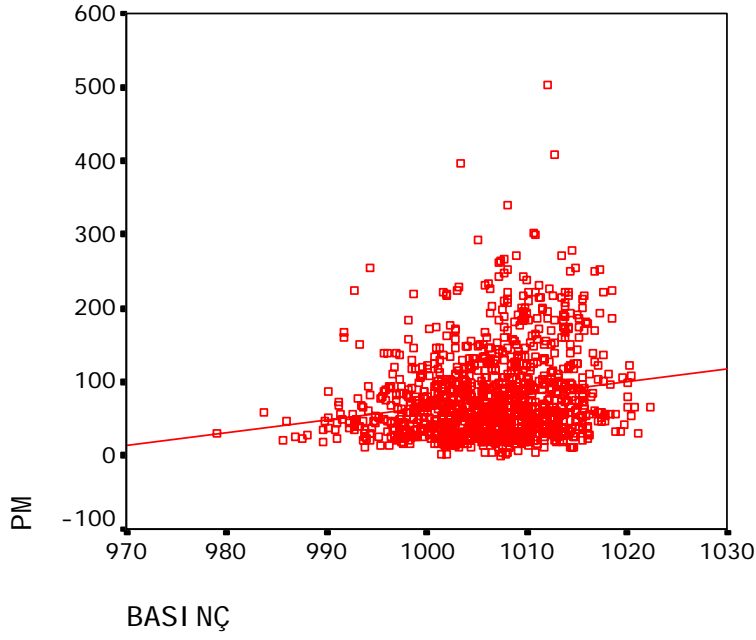
PM ve Ortalama sıcaklık arasındaki denklem ise:

$$R=-0.265 \quad R^2=0.070 \quad p=0.000$$

$$PM= 99.549- 2.701 (\text{sıcaklık}) \quad (4.6)$$

#### 4.4.7 PM ve Ortalama Basınç Arasındaki İlişki

PM ile ortalama basınç arasında kükürt dioksitte olduğu gibi doğru bir orantı bulunmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 PM ile ortalama basınç arasındaki değişim[12]

PM ve Ortalama basınç arasındaki denklem ise:

$$R=0.184 \quad R^2=0.034 \quad p=0.000$$

$$PM= -1674.3+ 1.740 (\text{basınç}) \quad (4.7)$$

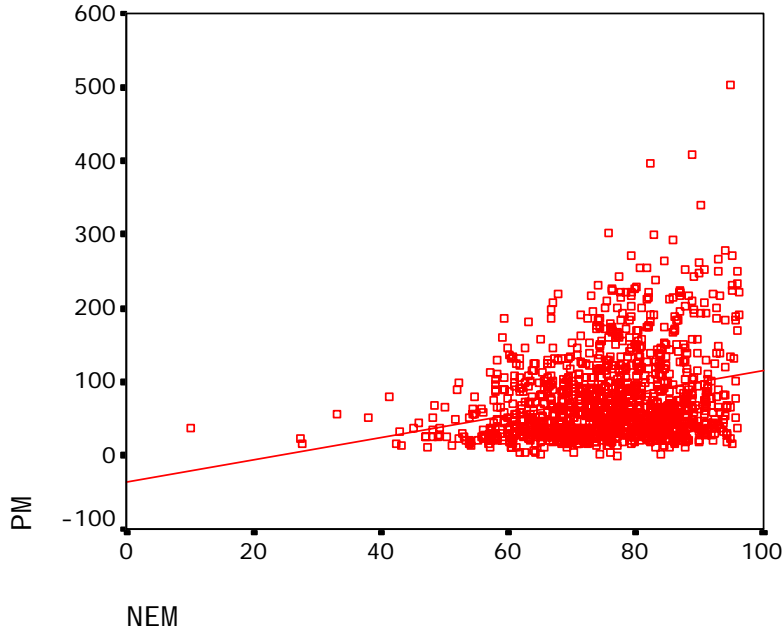
#### 4.4.8 PM ve Ortalama Nem Arasındaki İlişki

PM ile nem doğru orantılı olduğu (Şekil 4.11)'de görülmektedir. Havadaki nem oranının yüksek olması hava kirliliğinin daha fazla hissedilmesine neden olmaktadır.

PM ve Ortalama nem arasındaki denklem ise:

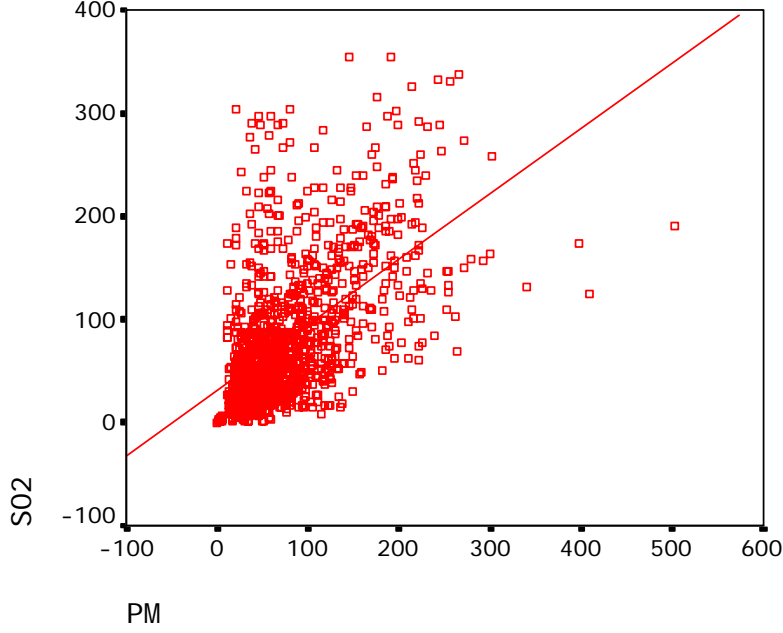
$$R=0.276 \quad R^2=0.076 \quad p=0.000$$

$$PM= -35.674+ 1.498 (\text{nem}) \quad (4.8)$$



Şekil 4.11 PM ile ortalama nem arasındaki değişim

#### 4.4.9 PM ve SO<sub>2</sub> Arasındaki İlişki



Şekil 4.12 PM ile SO<sub>2</sub> arasındaki değişim[12]

PM ile SO<sub>2</sub> arasında doğru bir orantı vardır (Şekil 4.12). Yakıt cinsine, özelliklerine ve yanma şekline bağlı olarak eşitlikler değişmektedir.

PM ve SO<sub>2</sub> arasındaki denklem ise:

$$R=0.559 \quad R^2=0.313 \quad p=0.000$$

$$SO_2 = 31.566 + 0.634 (PM) \quad (4.9)$$

#### **4.4.10 PM ile Ortalama Rüzgar Hızı, Sıcaklık, Basınç, Nem Arasındaki İlişki**

PM'nin meteorolojik parametreler bağlı olarak denklemi 4.10'da verilmiştir. PM'nin rüzgar hızı, basınç, nem ve sıcaklığa bağlı olarak oluşturulan denklemi:

$$R=-0.515 \quad R^2=0.265 \quad p=0.000$$

$$PM = -960.780 - 9.646 (\text{rüzgar hızı}) - 2.216 (\text{sıcaklık}) + 0.991 (\text{basınç}) + 1.028 (\text{nem}) \quad (4.10)$$

#### **4.4.11 SO<sub>2</sub> ile Ortalama Rüzgar Hızı, Sıcaklık, Basınç, Nem Arasındaki İlişki**

SO<sub>2</sub>'nin meteorolojik parametreler bağlı olarak denklemi 4.11'de verilmiştir. SO<sub>2</sub>'nin rüzgar hızı, basınç, nem ve sıcaklığa bağlı olarak oluşturulan denklemi:

$$R=-0.476 \quad R^2=0.227 \quad p=0.000$$

$$SO_2 = -262.065 - 6.774 (\text{rüzgar hızı}) - 5.289 (\text{sıcaklık}) + 0.441 (\text{basınç}) - 0.585 (\text{nem}) \quad (4.11)$$



## **4.5 Balıkesir İli Enerji Kullanım Verimliliği**

### **4.5.1 Konut Enerji-Ekserji Verimliliği**

#### **4.5.1.1 Balıkesir İli Konut ve İşyeri Durumu**

Balıkesir ilinde ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği özellikle kış aylarında kendisini oldukça fazla hissettirmektedir. Bunun için bina verileri

- Konutlar
- İşyerleri
- Kamu binaları olarak değerlendirmeye alınmıştır.

DİE 2000 verilerinden yararlanarak Balıkesir ili için enerji ekserji verimliliği yapılmıştır. Çalışmada özellikle hane sayısı, ısıtma sistemleri, binaların durumu irdelenmiştir. Genel olarak, merkezde ve toplu konut alanlarında 4 ila 6 katlı binalar yer almaktadır. İlçede Bahçelievler ve Adnan Menderes mahalleleri toplu konut alanları olup, bu alanlarda kat sayıları 4 ila 7 arasında değişmektedir. Ana arterlerden uzaklaştıkça binalardaki kat sayısı ortalama 2 ila 4 arasında değişmekte ve bu kesimlerde eski yapı dokusu bulunmaktadır.

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 4.7’de verilmiştir. Tablo 4.7’ye göre sobalı evlerin oranı %90.93 olup diğer sistemler de %9.07’lik kısmını oluşturmaktadır. %90.93 oranındaki sobalı evlerin %79.28’lik kısmı yakıt olarak kömür kullanmaktadır.

Kamu binaları olarak yakıt tüketimi en fazla olan resmi kurumlar hastaneler ve sağlık ocaklar, eğitim-öğretim kurumları, askeri birlik ve tesisler, devlet daireleri olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.7 Yakıt kullanım oranları [65]

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

Balıkesir ilindeki mevcut binalar ve konut sayıları ısıtma sistemlerine göre değerlendirildiğinde, Tablo 4.8'e göre toplam 39 Mahallede 79.673 adet bina bulunduğu, mevcut sobalı konutların oranının %87 olduğu belirlenmiştir.

Isıtma amaçlı kullanılan yakıt cinslerine göre bina sayılarına bakılırsa; kömür kullanan bina oranı % 67, kömür ve odun kullanan bina oranı % 27'dir (Tablo 4.9).

Evler için ısıtma ve kullanılan yakıt sistemine göre konut sayıları, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9 kullanılarak bulunmuştur (Tablo 4.10). 1996-2004 yılları arasındaki konutların ısıtma ve yakma sistemine göre sayıları bulunmuştur.

Tablo 4.11'de ısıtma sistemlerine göre konut dağılımı gerçekleştirilmiştir. Soba, kalorifer, kat kaloriferi, karma sistem ve bilinmeyenden oluşan sistemde sobalı konutların sayısı 2004 yılı için 82.228 adettir.

Tablo 4.8 Isıtma sistemlerine göre bina sayıları [63]

MAHALLE ADI	SOBA	KAT KALORİFERİ	BİNA İÇİ SİSTEM	MERKEZİ SİSTEM	KARMA SİSTEM	BİLİNMEYEN	TOPLAM
ÇAY MAH	501	2	0	0	0	9	512
ADNANMENDERES	653	53	2580	347	0	32	3664
AKINCILAR	428	0	19	0	0	121	569
ALİ HİKMET PAŞA	3976	6	3	12	12	91	4100
ALTIEYLÜL	1063	0	221	6	0	6	1297
ATATÜRK	4124	193	1305	9	4	82	5716
AYGÖREN	545	0	0	0	0	4	549
BAHÇELİEVLER	5608	73	1081	712	5	26	7505
DİNKÇİLER	2798	0	30	15	0	5	2848
DUMLUPINAR	660	27	77	3	6	0	772
EGE	1505	0	5	5	5	53	1573
ESKİKUYUMCULAR	462	244	86	12	51	9	864
GÜMÜŞÇEŞME	2538	6	9	52	1	207	2813
1.GÜNDOĞAN	2863	2	6	4	0	34	2909
2.GÜNDOĞAN	3129	2	2	0	0	25	3158
GAZİOSMANPAŞA	1522	13	4	4	0	13	1556
HİSARİÇİ	501	2	98	0	0	4	605
HACİİLBEY	831	0	35	0	0	0	866
HACİİSMAİL	556	0	5	0	0	0	561
HASAN BASRİ ÇAN.	3171	61	95	63	3	3	3396
KARAOĞLAN	463	0	2	16	0	0	481
KARESİ	474	0	5	0	0	0	479
KASAPLAR	2227	4	245	0	4	4	2485
KAYABEY	1268	0	15	0	0	4	1287
KIZPINAR	599	12	0	0	0	6	617
KUVA-İ MİLLİYE	599	52	29	0	3	6	689
MİRZABEY	903	0	0	0	0	0	903
MALTEPE	2806	2	20	88	2	20	2938
1.ORUÇGAZİ	1987	0	30	0	36	6	2059
2.ORUÇGAZİ	237	0	2	0	2	2	243
PAŞAALANI	2263	28	56	113	3	285	2747
PLEVNE	2052	0	0	61	0	49	2162
SÜTLÜCE	2020	11	0	16	0	11	2058
1.SAKARYA	3337	0	6	4	12	14	3374
2.SAKARYA	4282	2	0	0	0	18	4302
TOYGAR	3612	0	5	212	0	32	3860
VİCDANİYE	789	0	0	0	0	2	791
YILDIRIM	765	0	4	149	23	4	945
YILDIZ	1314	0	0	101	0	5	1420
<b>TOPLAM</b>	<b>69428</b>	<b>795</b>	<b>6079</b>	<b>2004</b>	<b>173</b>	<b>1194</b>	<b>79674</b>

Tablo 4.9 Isıtma amaçlı kullanılan yakıtların cinsine göre bina sayıları[63]

MAHALLE ADI	KÖMÜR	ODUN	TÜPGAZ	ELEK TRİK	AKAR YAKIT	KÖMÜR VE ODUN	KARIŞIK	BİLİN MEYEN	TOPLAM
ÇAY MAH	399		0	2	2	101	2	5	512
ADNANMENDERES	3232		0	0	74	326	0	32	3664
AKINCILAR	105		88	23	3	224	6	121	570
ALİ HİKMET PAŞA	690		144	3	12	3130	38	68	4100
ALTIEYLÜL	323		0	0	0	886	70	19	1297
ATATÜRK	1858	4	13	0	219	3536	9	77	5716
AYGÖREN	306	0	0	0	0	237	6	0	549
BAHÇELİEVLER	6554	0	5	10	172	696	52	16	7505
DİNKÇİLER	2774	0	2	5	20	15	10	22	2848
DUMLUPINAR	578	0	0	27	12	127	29	0	772
EGE	808	0	56	73	0	621	3	13	1573
ESKİKUYUMCULAR	355	3	6	24	286	170	12	9	864
GÜMÜŞÇEŞME	1798	177	69	15	104	270	61	318	2813
1.GÜNDOĞAN	2871	0	0	8	4	18	4	4	2909
2.GÜNDOĞAN	3060	0	4	0	2	78	4	10	3158
GAZİOSMANPAŞA	1287	2	0	2	17	241	0	7	1556
HİSARİÇİ	599	0	2	0	0	0	0	4	605
HACİLBEY	842	5	0	0	5	14	0	0	866
HACİSMAİL	544	17	0	0	0	0	0	0	561
HASAN BASRİ ÇAN.	3286	0	17	3	66	12	12	0	3396
KARAOĞLAN	481	0	0	0	0	0	0	0	481
KARESİ	356	24	0	0	3	88	8	0	479
KASAPLAR	553	199	4	0	8	1704	17	0	2485
KAYABEY	667	42	0	2	0	567	8	0	1287
KIZPINAR	599	0	0	0	12	6	0	0	617
KUVA-İ MİLLİYE	596	0	3	3	52	23	13	0	689
MİRZABEY	577	0	0	0	0	326	0	0	903
MALTEPE	2708	0	7	7	2	191	5	17	2938
1.ORUÇGAZİ	1504	22	3	0	6	359	152	14	2059
2.ORUÇGAZİ	194	0	0	0	0	0	49	0	243
PAŞAALANI	1262	1	149	273	38	579	421	25	2747
PLEVNE	1476	0	0	3	0	628	40	15	2162
SÜTLÜCE	569	2	0	0	27	1444	7	9	2058
1.SAKARYA	2747	4	2	0	0	464	147	10	3374
2.SAKARYA	2454	0	0	0	2	1807	27	12	4302
TOYGAR	3223	2	0	2	2	586	2	42	3860
VİCDANIYE	486	2	0	0	0	248	56	0	791
YILDIRIM	195	4	31	8	8	673	23	4	945
YILDIZ	482	0	5	0	75	853	3	3	1420
<b>TOPLAM</b>	<b>53398</b>	<b>512</b>	<b>611</b>	<b>509</b>	<b>1232</b>	<b>21243</b>	<b>1294</b>	<b>875</b>	<b>79674</b>

Tablo 4.10 Isıtma ve kullanılan yakıt sistemlerine göre konut sayıları

YIL	SOBA												KALORİFER			
	SOBALI EVLER ORANI: 90,93												KALORİFERLİ BİNA ORANI:5,95			
	ODUN		KÖMÜR		ELEKTRİK		LPG		SIVI YAKIT		BİLİNMEYEN		KÖMÜR		SIVI YAKIT	
Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	
1996	8.166	13,08	49.498	79,28	599	0,96	662	1,06	1.137	1,82	1.336	2,14	3.598	89,37	428	10,63
1997	8.476	13,08	51.373	79,28	622	0,96	687	1,06	1.180	1,82	1.386	2,14	3.748	89,37	446	10,63
1998	8.797	13,08	53.319	79,28	645	0,96	713	1,06	1.224	1,82	1.439	2,14	3.904	89,37	464	10,63
1999	9.130	13,08	55.339	79,28	670	0,96	740	1,06	1.271	1,82	1.493	2,14	4.067	89,37	484	10,63
2000	9.476	13,08	57.435	79,28	695	0,96	768	1,06	1.319	1,82	1.550	2,14	4.236	89,37	504	10,63
2001	9.822	13,08	59.531	79,28	720	0,96	796	1,06	1.367	1,82	1.607	2,14	4.405	89,37	524	10,63
2002	10.180	13,08	61.704	79,28	747	0,96	825	1,06	1.417	1,82	1.665	2,14	4.582	89,37	545	10,63
2003	10.552	13,08	63.956	79,28	774	0,96	855	1,06	1.469	1,82	1.726	2,14	4.765	89,37	567	10,63
2004	10.937	13,08	66.291	79,28	802	0,96	886	1,06	1.522	1,82	1.789	2,14	4.956	89,37	590	10,63

	KAT KALORİFERİ						KARMA SİSTEM		BİLİNMEYEN		TOPLAM
	KAT KALORİFERLİ BİNA ORANI:0,8						ORAN:0,19		ORAN:2,13		ORAN:100
	KÖMÜR		LPG		SIVI YAKIT		Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı
Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran	Konut Sayısı	Oran						
1996	3	0,4	2	0,4	537	99,2	128	0,19	1.441	2,13	67.534
1997	3	0,4	2	0,4	559	99,2	134	0,19	1.501	2,13	70.115
1998	3	0,4	2	0,4	582	99,2	139	0,19	1.564	2,13	72.796
1999	3	0,4	2	0,4	607	99,2	145	0,19	1.629	2,13	75.579
2000	3	0,4	2	0,4	632	99,2	151	0,19	1.697	2,13	78.468
2001	3	0,4	2	0,4	657	99,2	157	0,19	1.765	2,13	81.357
2002	3	0,4	2	0,4	684	99,2	163	0,19	1.835	2,13	84.353
2003	3	0,4	2	0,4	711	99,2	170	0,19	1.909	2,13	87.459
2004	4	0,4	2	0,4	739	99,2	177	0,19	1.985	2,13	90.680

Tablo 4.11 Isıtma sistemlerine göre konut dağılımı

YIL	SOBA		KALORİFER		KAT KALOR.		KARMA SİSTEM		BİLİNMEYEN		TOPLAM
1996	61.397	0,0379	4.026	0,0417	541	0,042	128	0,0417	1.980	0,0416667	68.072
1997	63.723	0,0379	4.194	0,0417	564	0,042	134	0,0417	2.062	0,0416667	70.676
1998	66.137	0,0379	4.368	0,0417	587	0,042	139	0,0417	2.148	0,0416667	73.380
1999	68.643	0,0379	4.550	0,0417	612	0,042	145	0,0417	2.238	0,0416667	76.187
2000	71.243	0,0365	4.740	0,04	637	0,04	151	0,04	2.331	0,04	79.102
2001	73.843	0,0365	4.930	0,04	662	0,04	157	0,04	2.424	0,04	82.017
2002	76.539	0,0365	5.127	0,04	689	0,04	163	0,04	2.521	0,04	85.039
2003	79.332	0,0365	5.332	0,04	717	0,04	170	0,04	2.622	0,04	88.173
2004	82.228	0,0365	5.545	0,04	745	0,04	177	0,04	2.727	0,04	91.422

Tablo 4.12 Isıtma ve kullanılan yakıt sistemlerine göre işyeri sayıları

SOBA													KALORİFER			
SOBALI İŞYERİ ORANI: 90,93													KALORİFERLİ İŞYERİ ORANI:5,95			
YIL	ODUN		KÖMÜR		ELEKTRİK		LPG		SIVI YAKIT		BİLİNMEYEN		KÖMÜR		SIVI YAKIT	
	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran
1996	1.455	13,08	8.816	79,28	107	0,96	118	1,06	203	1,82	238	2,14	640	89,37	76	10,63
1997	1.510	13,08	9.150	79,28	111	0,96	123	1,06	210	1,82	247	2,14	667	89,37	80	10,63
1998	1.567	13,08	9.497	79,28	115	0,96	127	1,06	218	1,82	256	2,14	695	89,37	83	10,63
1999	1.626	13,08	9.857	79,28	119	0,96	132	1,06	226	1,82	266	2,14	724	89,37	86	10,63
2000	1.688	13,08	10.230	79,28	124	0,96	137	1,06	235	1,82	276	2,14	754	89,37	90	10,63
2001	1.750	13,08	10.603	79,28	129	0,96	142	1,06	244	1,82	286	2,14	784	89,37	94	10,63
2002	1.813	13,08	10.990	79,28	133	0,96	147	1,06	252	1,82	297	2,14	816	89,37	97	10,63
2003	1.880	13,08	11.392	79,28	138	0,96	153	1,06	262	1,82	307	2,14	848	89,37	101	10,63
2004	1.948	13,08	11.807	79,28	143	0,96	158	1,06	271	1,82	319	2,14	882	89,37	105	10,63

KAT KALORİFERİ							KARMA SİSTEM		BİLİNMEYEN		TOPLAM
KAT KALORİFERLİ İŞYERİ ORANI:0,8							ORAN:0,19		ORAN:2,13		ORAN:100
YIL	KÖMÜR		LPG		SIVI YAKIT						İşyeri Sayısı
	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	İşyeri Sayısı	Oran	
1996	1	0,4	1	0,4	95	99,2	23	0,19	261	2,13	12.034
1997	1	0,4	1	0,4	99	99,2	24	0,19	272	2,13	12.494
1998	1	0,4	1	0,4	103	99,2	25	0,19	283	2,13	12.971
1999	1	0,4	1	0,4	108	99,2	26	0,19	295	2,13	13.467
2000	1	0,4	1	0,4	112	99,2	27	0,19	307	2,13	13.982
2001	1	0,4	1	0,4	116	99,2	28	0,19	319	2,13	14.497
2002	1	0,4	1	0,4	121	99,2	29	0,19	332	2,13	15.031
2003	1	0,4	1	0,4	126	99,2	30	0,19	345	2,13	15.584
2004	1	0,4	1	0,4	131	99,2	32	0,19	359	2,13	16.158

Tablo 4.13 Isıtma sistemlerine göre işyeri dağılımı

YIL	SOBA		KALORİFER		KAT KALOR.		KARMA SİSTEM		BİLİNMEYEN		TOPLAM
1996	10.936	0,0379	717	0,0417	97	0,0417	23	0,0417	357	0,0417	12.130
1997	11.351	0,0379	747	0,0417	101	0,0417	24	0,0417	372	0,0417	12.594
1998	11.781	0,0379	778	0,0417	105	0,0417	25	0,0417	387	0,0417	13.075
1999	12.227	0,0379	810	0,0417	109	0,0417	26	0,0417	403	0,0417	13.576
2000	12.690	0,0365	844	0,0400	114	0,0400	27	0,0400	420	0,0400	14.095
2001	13.153	0,0365	878	0,0400	119	0,0400	28	0,0400	437	0,0400	14.614
2002	13.633	0,0365	913	0,0400	123	0,0400	29	0,0400	454	0,0400	15.153
2003	14.131	0,0365	949	0,0400	128	0,0400	30	0,0400	472	0,0400	15.711
2004	14.647	0,0365	987	0,0400	133	0,0400	32	0,0400	491	0,0400	16.290

Tablo 4.12’de ısıtma ve kullanılan yakıt sistemine göre işyeri sayıları DİE 2000, verilerine göre hesaplanmıştır. İşyeri oranlarında sobalı işyerlerinin oranı %90.93’tür.

Isıtma sistemlerine göre işyeri dağılımının (Tablo 4.13) yıllara göre değişimi verilmiştir. 2004 yılında toplam işyeri sayısı 16.158 adet olup, sobalı işyeri sayısı 14.692 adettir.

Herhangi bir yapının ısı kaybı hesaplamaları 2000 yılında yürürlüğe girmiş olan “TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Standart” na göre yapılmıştır. Bunun için Balıkesir ili için ölçülen dış ortam ortalama değerleri kullanılmıştır. Balıkesir ilinde yapılan meteorolojik ölçümlerin kış aylarındaki ortalama değerleri Tablo 4.14’de gösterilmiştir. İç mekan sıcaklığı için de verimlilik hesaplamalarında kullanılan sıcaklıkla uyum sağlaması açısından 20°C kullanılmıştır. 100 m<sup>2</sup> alana sahip konut için aylık ısı ihtiyaçları da Tablo 4.15’de gösterilmiştir.



Tablo 4.14 Yıllara göre kış sezonu aylık ortalama sıcaklıklar [61]

ORT.SICAKLIK	YILLAR								
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>AYLAR</b>									
<b>OCAK</b>	2,9	6,3	5,6	5,3	1,8	6,8	2,3	7,9	4,1
<b>ŞUBAT</b>	5,8	5,2	7,5	5,6	5,0	6,6	8,4	2,3	4,8
<b>MART</b>	5,2	6,4	6,7	8,2	7,6	12,6	9,3	4,5	9,2
<b>EKİM</b>	14,5	15,1	16,0	16,7	11,2	16,5	15,2	16,3	17,5
<b>KASIM</b>	11,8	11,4	10,8	10,4	7,2	9,7	9,3	8,6	10,4
<b>ARALIK</b>	9,5	6,8	5,6	8,6	14,6	4,6	4,3	5,6	7,0
<b>ORTALAMA</b>	8,28	8,53	8,70	9,13	7,90	9,47	8,13	7,53	8,83

Tablo 4.15 Yıllara göre aylık ısı ihtiyacı değerleri, kWh/ay [11]

AYLAR	YILLAR								
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>OCAK</b>	3758	2877	3058	3136	4043	2747	3913	2462	3114
<b>ŞUBAT</b>	2987	3091	2495	2987	3143	2728	2262	3842	2987
<b>MART</b>	2981	2670	2592	2203	2359	1063	1919	3162	2029
<b>EKİM</b>	813	658	424	243	606	295	631	346	224
<b>KASIM</b>	1487	1590	1746	1850	1642	2031	2134	2316	1850
<b>ARALIK</b>	2092	2792	3102	2299	2765	3361	3439	3102	2724
<b>TOPLAM</b>	<b>14118</b>	<b>13678</b>	<b>13417</b>	<b>12718</b>	<b>14558</b>	<b>12225</b>	<b>14298</b>	<b>15230</b>	<b>12928</b>

Isı ihtiyaçları merkezi, kat kaloriferi sistemli konutlar için toplam ısı miktarı, sobalı konutlar, bilinmeyen konutlar, kaloriferli ve kat kaloriferli iş yerleri için toplam ısı miktarının %40'ı, karma iş yerleri için toplam ısı ihtiyacının %30'u, sobalı işyerleri de toplam ısı ihtiyacının %20'sini oluşturmaktadır (Tablo 4.16).

Tablo 4.16 Balıkesir İli'nin yıllara göre birim ısı ihtiyaçları

	Birim	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Konut	kwh/yıl	14118	13678	13417	12718	14558	12225	14298	15230	12928
Konut(Sobalı)	kwh/yıl	5647	5471	5367	5087	5823	4890	5719	6092	5171
Konut(Merkezi)	kwh/yıl	14118	13678	13417	12718	14558	12225	14298	15230	12928
Konut(Kat Kal.)	kwh/yıl	14118	13678	13417	12718	14558	12225	14298	15230	12928
Konut(Bilinmeyen)	kwh/yıl	5647	5471	5367	5087	5823	4890	5719	6092	5171
İşyeri (Sobalı)	kwh/yıl	2824	2736	2683	2544	2912	2445	2860	3046	2586
İşyeri(Kaloriferli)	kwh/yıl	5647	5471	5367	5087	5823	4890	5719	6092	5171
İşyeri(Kat Kal.)	kwh/yıl	5647	5471	5367	5087	5823	4890	5719	6092	5171
İşyeri(Karma)	kwh/yıl	4235	4103	4025	3815	4367	3668	4289	4569	3878
İşyeri (Bilinmeyen)	kwh/yıl	2824	2736	2683	2544	2912	2445	2860	3046	2586

Tablo 4.17'de yakma sistemlerine göre konut ve işyeri sayılarının ısı ihtiyaçları yıllara göre pJ cinsinden hesaplanmış olup bunun sonucunda Balıkesir İlinin 1996-2004 yılları arasında yıllık toplam ısı ihtiyacı belirlenmiştir.

Tablo 4.17 Balıkesir İlinin yıllara göre konut, işyeri sayıları ve ısı ihtiyacı

YILLAR	Sobalı Konut Sayısı	Sobalı İşyeri Sayısı	Merkezi Isıtma Konut Sayısı	Merkezi Isıtma İşyeri Sayısı	Kat Kaloriferli Konut Sayısı	Kat Kaloriferli İşyeri Sayısı	Bilinmeyen Konut Sayısı	Bilinmeyen İşyeri Sayısı	Karma Sistem İşyeri Sayısı	Toplam ısı İhtiyacı, pJ
1996	61397 1,2482	10936 0,1112	4026 0,2046	717 0,0146	128 0,0065	97 0,0020	1980 0,0403	357 0,0036	23 0,0004	79661 1,6313
1997	63723 1,2551	11351 0,1118	4194 0,2065	747 0,0147	134 0,0066	101 0,0020	2062 0,0406	372 0,0037	24 0,0004	82708 1,6413
1998	66137 1,2778	11781 0,1138	4368 0,2110	778 0,0150	139 0,0067	105 0,0020	2148 0,0415	387 0,0037	25 0,0004	85868 1,6720
1999	68643 1,2571	12227 0,1120	4550 0,2083	810 0,0148	145 0,0066	109 0,0020	2238 0,0410	403 0,0037	26 0,0004	89151 1,6459
2000	71243 1,4935	12690 0,1330	4740 0,2484	844 0,0177	151 0,0079	114 0,0024	2331 0,0489	420 0,0044	27 0,0004	92560 1,9566
2001	73843 1,2999	13153 0,1158	4930 0,2170	878 0,0155	157 0,0069	119 0,0021	2424 0,0427	437 0,0038	28 0,0004	95969 1,7040
2002	76539 1,5759	13633 0,1403	5127 0,2639	913 0,0188	163 0,0084	123 0,0025	2521 0,0519	454 0,0047	29 0,0004	99502 2,0669
2003	79332 1,7398	14131 0,1550	5332 0,2923	949 0,0208	170 0,0093	128 0,0028	2622 0,0575	472 0,0052	30 0,0005	103166 2,2833
2004	82228 1,5308	14647 0,1363	5545 0,2581	987 0,0184	177 0,0082	133 0,0025	2727 0,0508	491 0,0046	32 0,0004	106967 2,0101

Tablo 4.18 1996-2004 Yılları için yakıtların enerji ve ekserji verimlilikleri

YAKMA SİSTEMİ	1996				1997				1998			
	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$
SOBA	1,2638	54972	45	3,2	1,2715	55307	45	3,2	1,0614	46168	45	3,2
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM	0,0531	2310	50	3,6	0,0534	2323	50	3,6	0,0453	1970	50	3,6
MERKEZİ SİSTEM	0,0337	1466	50	3,6	0,0340	1479	50	3,6	0,0288	1253	50	3,6
<b>TOPLAM</b>	<b>1,3506</b>	<b>58747</b>	<b>45,32</b>	<b>3,23</b>	<b>1,3589</b>		<b>45,32</b>	<b>3,23</b>	<b>1,1355</b>		<b>45,33</b>	<b>3,23</b>
SOBA									0,2390	8168	45	3,6
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM									0,0091	311	50	3,6
MERKEZİ SİSTEM									0,0058	198	50	3,6
<b>TOPLAM</b>									<b>0,2539</b>		<b>45,29</b>	<b>3,60</b>
SOBA	0,1990	19043	35	2,5	0,2002	19158	35	2,5	0,2039	19512	35	2,5
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,1990</b>	<b>19043</b>	<b>35,00</b>	<b>2,50</b>	<b>0,2002</b>		<b>35</b>	<b>2,5</b>	<b>0,2039</b>		<b>35,00</b>	<b>2,5</b>
SOBA	0,0161	350	90	7,4	0,0162	352	90	7,4	0,0165	359	90	7,4
KAT KALORİFERİ	0,0001	2	90	7,4	0,0001	2	90	7,4	0,0001	2	90	7,4
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0162</b>	<b>352</b>	<b>90,00</b>	<b>7,40</b>	<b>0,0163</b>		<b>90,00</b>	<b>7,40</b>	<b>0,0166</b>		<b>90,00</b>	<b>7,40</b>
SOBA	0,0277	720	65	4,9	0,0279	726	65	4,9	0,0284	739	65	4,9
KAT KALORİFERİ	0,0129	335	65	4,9	0,0130	338	65	4,9	0,0133	346	65	4,9
BİNA İÇİ SİSTEM	0,0063	164	65	4,9	0,0064	166	65	4,9	0,0065	169	65	4,9
MERKEZİ SİSTEM	0,0039	101	65	4,9	0,0040	104	65	4,9	0,0040	104	65	4,9
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0508</b>	<b>1321</b>	<b>65,00</b>	<b>4,90</b>	<b>0,0513</b>		<b>65,00</b>	<b>4,90</b>	<b>0,0522</b>		<b>65,00</b>	<b>4,90</b>
SOBA	0,0146	4056 MW	98	7,3	0,0747	4083 MW	98	7,3	0,0760	4167 MW	98	7,3
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0146</b>	<b>4056 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>	<b>0,0747</b>	<b>4083 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>	<b>0,0760</b>	<b>4167 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>
	<b>1,6312</b>		<b>45,5902</b>	<b>3,27</b>	<b>1,7014</b>		<b>47,44</b>	<b>3,41</b>	<b>1,7381</b>		<b>47,43</b>	<b>3,46</b>

Tablo 4.18'nin devamı

YAKMA SİSTEMİ	1999				2000				2001			
	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$
SOBA	1,0449	45450	45	3,2	1,2421	54028	45	3,2	1,0818	47055	45	3,2
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM	0,0446	1940	50	3,6	0,0530	2305	50	3,6	0,0461	2005	50	3,6
MERKEZİ SİSTEM	0,0283	1231	50	3,6	0,0337	1466	50	3,6	0,0293	1274	50	3,6
<b>TOPLAM</b>	<b>1,1178</b>		<b>45,33</b>	<b>3,23</b>	<b>1,3288</b>		<b>45,33</b>	<b>3,23</b>	<b>1,1572</b>		<b>45,33</b>	<b>3,23</b>
SOBA	0,2302	7867	45	3,6	0,2737	9354	45	3,6	0,2384	8148	45	3,6
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM	0,0090	308	50	3,6	0,0107	366	50	3,6	0,0093	318	50	3,6
MERKEZİ SİSTEM	0,0057	195	50	3,6	0,0068	232	50	3,6	0,0059	202	50	3,6
<b>TOPLAM</b>	<b>0,2449</b>		<b>45,30</b>	<b>3,60</b>	<b>0,2912</b>		<b>45,30</b>	<b>3,60</b>	<b>0,2536</b>		<b>45,30</b>	<b>3,60</b>
SOBA	0,2008	19215	35	2,5	0,2386	22833	35	2,5	0,2078	19885	35	2,5
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,2008</b>		<b>35,00</b>	<b>2,5</b>	<b>0,2386</b>		<b>35,00</b>	<b>2,5</b>	<b>0,2078</b>		<b>35,00</b>	<b>2,5</b>
SOBA	0,0163	355	90	7,4	0,0193	420	90	7,4	0,0168	365	90	7,4
KAT KALORİFERİ	0,0001	2	90	7,4	0,0001	2	90	7,4	0,0001	2	90	7,4
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0164</b>		<b>90,00</b>	<b>7,40</b>	<b>0,0194</b>		<b>90,00</b>	<b>7,40</b>	<b>0,0169</b>		<b>90,00</b>	<b>7,40</b>
SOBA	0,0279	726	65	4,9	0,0332	863	65	4,9	0,0289	752	65	4,9
KAT KALORİFERİ	0,0131	341	65	4,9	0,0155	403	65	4,9	0,0135	351	65	4,9
BİNA İÇİ SİSTEM	0,0064	166	65	4,9	0,0076	198	65	4,9	0,0066	172	65	4,9
MERKEZİ SİSTEM	0,0040	104	65	4,9	0,0047	122	65	4,9	0,0041	107	65	4,9
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0514</b>		<b>65,00</b>	<b>4,90</b>	<b>0,0610</b>		<b>65,00</b>	<b>4,90</b>	<b>0,0531</b>		<b>65,00</b>	<b>4,90</b>
SOBA	0,0749	4083 MW	98	7,3	0,0175	4861 MW	98	7,3	0,0773	4250 MW	98	7,3
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0749</b>	<b>4083 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>	<b>0,0175</b>	<b>4861 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>	<b>0,0773</b>	<b>4250 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>
	<b>1,7062</b>		<b>47,44</b>	<b>3,46</b>	<b>1,9565</b>		<b>45,59</b>	<b>3,32</b>	<b>1,7659</b>		<b>47,43</b>	<b>3,46</b>

Tablo 4.18'in devamı

YAKMA SİSTEMİ	2002				2003				2004			
	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Isı Tüketimi pJ	Yakıt Miktarı Ton	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$
SOBA	1,3122	57077	45	3,2	1,4496	63054	45	3,2	1,2761	55507	45	3,2
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM	0,0560	2436	50	3,6	0,0618	2688	50	3,6	0,0544	2366	50	3,6
MERKEZİ SİSTEM	0,0356	1548	50	3,6	0,0393	1709	50	3,6	0,0346	1505	50	3,6
<b>TOPLAM</b>	<b>1,4038</b>		<b>45,33</b>	<b>3,23</b>	<b>1,5507</b>		<b>45,33</b>	<b>3,23</b>	<b>1,3651</b>		<b>45,33</b>	<b>3,23</b>
SOBA	0,2891	9880	45	3,6	0,3194	10916	45	3,6	0,2812	9610	45	3,6
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM	0,0113	386	50	3,6	0,0125	427	50	3,6	0,0110	376	50	3,6
MERKEZİ SİSTEM	0,0072	246	50	3,6	0,0079	270	50	3,6	0,0070	239	50	3,6
<b>TOPLAM</b>	<b>0,3076</b>		<b>45,30</b>	<b>3,60</b>	<b>0,3398</b>		<b>45,30</b>	<b>3,60</b>	<b>0,2992</b>		<b>45,30</b>	<b>3,60</b>
SOBA	0,2521	24124	35	2,5	0,2785	26651	35	2,5	0,2452	23464	35	2,5
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,2521</b>		<b>35,00</b>	<b>2,5</b>	<b>0,2785</b>		<b>35,00</b>	<b>2,5</b>	<b>0,2452</b>		<b>35,00</b>	<b>2,5</b>
SOBA	0,0204	444	90	7,4	0,0226	492	90	7,4	0,0199	433	90	7,4
KAT KALORİFERİ	0,0001	2	90	7,4	0,0001	2	90	7,4	0,0001	2	90	7,4
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0205</b>		<b>90,00</b>	<b>7,40</b>	<b>0,0227</b>		<b>90,00</b>	<b>7,40</b>	<b>0,0200</b>		<b>90,00</b>	<b>7,40</b>
SOBA	0,0351	913	65	4,9	0,0388	1009	65	4,9	0,0341	887	65	4,9
KAT KALORİFERİ	0,0164	426	65	4,9	0,0181	471	65	4,9	0,0160	416	65	4,9
BİNA İÇİ SİSTEM	0,0080	208	65	4,9	0,0088	229	65	4,9	0,0078	203	65	4,9
MERKEZİ SİSTEM	0,0050	130	65	4,9	0,0055	143	65	4,9	0,0048	125	65	4,9
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0645</b>		<b>65,00</b>	<b>4,90</b>	<b>0,0712</b>		<b>65,00</b>	<b>4,90</b>	<b>0,0627</b>		<b>65,00</b>	<b>4,90</b>
SOBA	0,0939	5139 MW	98	7,3	0,1036	5667 MW	98	7,3	0,0180	5000 MW	98	7,3
KAT KALORİFERİ												
BİNA İÇİ SİSTEM												
MERKEZİ SİSTEM												
<b>TOPLAM</b>	<b>0,0939</b>	<b>5139 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>	<b>0,1036</b>	<b>5667 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>	<b>0,0180</b>	<b>5000 MW</b>	<b>98</b>	<b>7,3</b>
	<b>2,1424</b>		<b>47,44</b>	<b>3,46</b>	<b>2,3665</b>		<b>47,43</b>	<b>3,46</b>	<b>2,0102</b>		<b>45,59</b>	<b>3,32</b>

1996-2004 yılları için yakıtların enerji ve ekserji verimlilikleri Tablo 4.18'de hesaplanmıştır. Bu hesaplamada yakma sistemleri olarak, soba, kat kaloriferi, merkezi sistem ve bina içi sistemleri olarak alınmıştır. Isı tüketimine bağlı olarak enerji ve ekserji verimliliğinin en fazla olduğu değerler sırasıyla 47.44 ve 3.46'dır. 2004 yılında enerji verimliliği 45.59, ekserji verimliliği 3.32'dir. Isı ihtiyacına ve hava sıcaklığına bağlı olarak verimlilikler değişmektedir. Kullanılan yakıt miktarları da ısı ihtiyacına bağlı olarak hesaplanmıştır.

#### **4.5.2 Balıkesir Merkez Konutlarda Su Isıtma ve Pişirme Enerji-Ekserji Verimliliği**

Balıkesir İli için bir konutun pişirme ve sıcak su enerji ihtiyacı :  $0.1 \text{ m}^3/\text{sa}$  doğal gaz tüketimi olacağı tahmin edilmiştir [59]. Bir günde toplam  $0.4 \text{ m}^3/\text{gün}$  , bir ayda  $12 \text{ m}^3/\text{ay}$  olarak hesaplanmıştır. Doğalgazın metreküpü  $9155 \text{ kcal}/\text{m}^3$  olarak alınırsa, konut başına  $109.860 \text{ kcal}$  gereklidir.

##### **4.5.2.1 Su Isıtma**

Balıkesir'de su ısıtma için kullanılan sistemlerin başında % 41.7 ile LPG ile olan sistemler daha yaygındır. 79.674 adet konutun 33.224 adeti LPG sistemi ile sıcak suyu sağlamaktadır. %32.65'lik oran ile Odun ile su ısıtma yani 26.013 adeti odun ile su ısıtılmasını sağlamaktadır (Tablo 4.19).

Türkiye'nin genel su ısıtma dağılımı ile Balıkesir'in su ısıtma sistemleri dağılımı eşdeğer kabul edilmiştir[66].

Tablo 4.19 Yakıt kullanım şekline göre su ısıtma sistemleri kullanım dağılımı, enerji ve ekserji verimliliği

<b>Yakıt Cinsi</b>	<b>Bulunma Oranı %</b>	<b>Enerji Verimliliği</b>	<b>Ekserji Verimliliği</b>
Fuel-Oil	2.54		
Doğal gaz	2.16	80	9.6
LPG	41.7	80	9.7
Elektrik	7.8	90	10.8
Odun	32.65	30	3.4
Güneş Enerjisi	13.15	30	3.9

Tablo 4.20 Su ısıtma için Balıkesir’de konutların yıllara göre dağılımı, toplam enerji ve ekserji verimliliği

Yıllar		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
Yakıt Cinsi	Kullanım Oranı %	Konut Sayıları									Enerji Verimliliği	Ekserji Verimliliği
Fuel-Oil	2,54	1715	1781	1849	1920	1993	2066	2143	2221	2303		
Doğalgaz	2,16	1459	1514	1572	1633	1695	1757	1822	1889	1959	80	9,6
LPG	41,7	28162	29238	30356	31516	32721	33926	35175	36470	37814	80	9,7
Elektrik	7,8	5268	5469	5678	5895	6121	6346	6580	6822	7073	90	10,8
Odun	32,65	22050	22893	23768	24677	25620	26563	27541	28555	29607	30	3,4
Güneş Enerjisi	13,15	8881	9220	9573	9939	10319	10698	11092	11501	11924	30	3,9
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>67534</b>	<b>70115</b>	<b>72796</b>	<b>75579</b>	<b>78468</b>	<b>81357</b>	<b>84353</b>	<b>87459</b>	<b>90680</b>	<b>55,848</b>	<b>6,718</b>

Tablo 4.20’de Balıkesir İl Merkezinde su ısıtma için konutların enerji verimliliği toplam 55.848 olurken, ekserji verimliliği de 6.718 olarak hesaplanmıştır. Aynı tabloda konutlarda su ısıtma için kullanım oranlarına göre konut sayıları hesaplanmıştır. Su ısıtmada en çok kullanılan ısıtma sistemi LPG %41.7 oranında olduğu için enerji verimliliği ve ekserji verimliliğini büyük oranlarda etkilemektedir. Odun ile su ısıtma sistemi %32.65 oranıyla 2.sırada ağırlıklı olarak bulunan sistemler arasındadır.

#### 4.5.2.2 Pişirme

Balıkesir’de pişirme için kullanılan sistemlerin başında % 91.9’lık oran ile LPG’li sistemler gelmektedir. 79.674 adet konutun 73.220 adeti LPG sistemi ile pişirme sağlamaktadır. Doğalgazın Balıkesir’e gelmesiyle birlikte sistemlerin bir kısmının doğalgaza geçiş yapması beklenmektedir.

Türkiye’nin genel pişirme dağılımı ile Balıkesir’in pişirme sistemleri dağılımı eşdeğer kabul edilmiştir[66].

Tablo 4.21 Yakıt kullanım şekline göre pişirme sistemleri dağılımı, enerji ve ekserji verimliliği

<b>Yakıt Cinsi</b>	<b>Bulunma Oranı %</b>	<b>Enerji Verimliliği</b>	<b>Ekserji Verimliliği</b>
Doğal gaz	7.5	50	10.7
LPG	91.9	50	10.8
Elektrik	0.3	80	17.2
Odun	0.3	22	4.5

Pişirme için %91.9 ile bulunma oranı en fazla olan LPG sisteminin enerji verimliliği 50, ekserji verimliliği 10.7’dir. Burada elektrik sisteminin enerji verimliliği 80, ekserji verimliliği 17.2’dir. Bu sistemin bulunma oranı ise % 0.3’tür (Tablo 4.21). Tablo 4.22’de Balıkesir İl Merkezinde pişirme için konutların enerji verimliliği toplam 50.006 olurken, ekserji verimliliği de 10.7928 olarak hesaplanmıştır. Aynı tabloda konutlarda pişirme için kullanım oranlarına göre konut sayıları hesaplanmıştır. Pişirmede en çok kullanılan ısıtma sistemi LPG %91.9 oranında olduğu için enerji verimliliği ve ekserji verimliliğini büyük oranlarda etkilemektedir. Diğer sistemlerin bulunma oranları oldukça düşüktür. Yine elektrik ile pişirme en fazla enerji ve ekserji verimliliğine sahiptir.



Tablo 4.22 Pişirme için Balıkesir’de konutların yıllara göre dağılımı, toplam enerji ve ekserji verimliliği

	Yıllar	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
Yakıt Cinsi	Kullanım Oranı %	Konut Sayıları									Enerji Verimliliği	Ekserji Verimliliği
Doğalgaz	7,5	5065	5259	5460	5668	5885	6102	6326	6559	6801	50	10,7
LPG	91,9	62064	64436	66900	69457	72112	74767	77520	80375	83335	50	10,8
Elektrik	0,3	203	210	218	227	235	244	253	262	272	80	17,2
Odun	0,3	203	210	218	227	235	244	253	262	272	22	4,5
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>67534</b>	<b>70115</b>	<b>72796</b>	<b>75579</b>	<b>78468</b>	<b>81357</b>	<b>84353</b>	<b>87459</b>	<b>90680</b>	<b>50,006</b>	<b>10,7928</b>

### 4.5.3 Konutlarda Elektrik Tüketimi

Balıkesir’de konutlarda elektrik tüketimi Tablo 4.23’de kullanım şekline göre gösterilmiştir. Elektrik tüketiminde buzdolapları %38, aydınlatma %35’lik bir orana sahiptirler. Türkiye’nin konutlarda genel elektrik tüketimi dağılımı ile Balıkesir’in konutlarda elektrik tüketim dağılımı eşdeğer kabul edilmiştir[66].

Tablo 4.23 Elektrik tüketiminin dağılımı, enerji ve ekserji verimliliği

<b>Kullanım Şekli</b>	<b>Bulunma Oranı %</b>	<b>Tüketim Oranı %</b>	<b>Enerji Verimliliği</b>	<b>Ekserji</b>
<b>Verimliliği</b>				
Aydınlatma	100	35	9.5	8.7
(Akkorlu aydınlatma)	(70)	(70)	(5)	(4.5)
(Florosan)	(30)	(30)	(20)	(18.5)
Buzdolabı	99	38	100	10.6
Su Isıtma	5.9	3	90	10.8
Pişirme	90	4	80	17.2
Konut Isıtma	2	2	98	7.3
Çamaşır Makinesi	86.2	2	80	80
Bulaşık Makinesi	30.30	1	70	70
Elektrik Süpürgesi	89.19	2	70	70
Klima	1.45	2	200	14
Televizyon	99	5	80	80
Ütü	96.6	1	98	30
Saç Kurutma Makinesi	82.40	2	80	30
Bilgisayar	3.9	3	70	65
<b>Toplam</b>		<b>100</b>	<b>65,59</b>	<b>16,91</b>

Konutlarda kullanılan elektrik tüketiminin enerji, ekserji verimlilikleri ve kullanım yüzdelerinden, enerji verimliliği 65.59, ekserji verimliliği 16.91 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.24'e göre Balıkesir İlinin sektörel olarak tükettiği elektrik miktarı verilmiştir. Şehrin merkezinde bulunan konutlarda kullanılan elektrik miktarı, toplam enerji miktarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Şehirde konutlarda kullanılan elektrik tüketiminin toplam tüketime oranı yıllara göre 0.19-0.36 arasında değişmektedir.

Tablo 4.24 Balıkesir ilinde elektrik dağılımı Kwh [67]

SEKTÖR	1996		1997		1998		1999		2000	
	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ
RESMİ DAİRE	34.407.000	3.504.222	42.342.000	4.312.372	45.572.000	4.641.335	47.016.000	4.788.401	51.918.000	5.287.651
SANAYİ İŞLETMESİ	643.872.000	201.352.168	508.538.000	159.030.411	570.526.000	178.415.348	654.266.000	204.602.588	666.135.000	208.314.271
TİCARETHANE	72.299.000	20.437.737	113.926.000	32.205.004	136.527.000	38.593.935	131.362.000	37.133.874	146.890.000	41.523.384
MESKEN	248.036.000	62.407.705	345.076.000	86.823.692	356.824.000	89.779.576	386.310.000	97.198.473	414.453.000	104.279.462
TARIMSAL SULAMA	20.350.000	10.769.194	28.867.000	15.276.379	25.006.000	13.233.143	21.024.000	11.125.874	24.031.000	12.717.174
ŞANTİYE	24.123.000	2.671.676	29.567.000	3.274.611	34.541.000	3.825.493	39.360.000	4.359.208	28.685.000	3.176.928
SOKAK AYDINLATMA	71.994.000	21.561.554	76.903.000	23.031.755	93.157.000	27.899.681	111.503.000	33.394.143	102.267.000	30.628.044
DİĞER	146.000	0	48.326.000	0	92.342.000	0	699.000	0	21.666.000	0
TOPLAM	1.115.227.000	322.704.256	1.193.545.000	323.954.224	1.354.495.000	356.388.511	1.391.540.000	392.602.561	1.456.045.000	405.926.914

	2001		2002		2003		2004	
	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ	İL GENELİ	MERKEZ
RESMİ DAİRE	63.985.000	6.516.629	242.574.585	24.705.299	263.215.298	26.807.477	249.732.774	25.434.333
SANAYİ İŞLETMESİ	479.405.000	149.919.916	325.918.569	101.921.516	356.621.092	111.522.834	346.020.640	108.207.852
TİCARETHANE	173.654.000	49.089.126	173.494.876	49.044.144	157.744.427	44.591.752	179.351.272	50.699.651
MESKEN	375.803.000	94.554.834	416.716.547	104.848.987	421.667.942	106.094.795	483.120.142	121.556.626
TARIMSAL SULAMA	23.132.000	12.241.424	19.171.729	10.145.654	21.641.867	11.452.848	29.778.391	15.758.686
ŞANTİYE	36.154.000	4.004.136	26.980.573	2.988.159	25.487.172	2.822.761	27.797.461	3.078.631
SOKAK AYDINLATMA	117.031.000	35.049.729	107.407.834	32.167.678	45.447.939	13.611.248	32.154.878	9.630.096
DİĞER	197.239.000	0	5.041.917	0	60.034.308	0	3.910.664	
TOPLAM	1.466.403.000	351.375.795	1.317.306.630	325.821.437	1.351.860.045	316.903.714	1.351.866.222	334.365.875

#### 4.5.4 Balıkesir İli Taşımacılık Verimlilik Hesabı

Balıkesir İli araç sayısı bakımından oldukça fazla bir sayıya sahip. Özellikle kış aylarında hem ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği hem de taşıtların oluşturduğu hava kirliliği oluşmaktadır. Balıkesir İlinde 2004 yılı itibariyle toplam 89412 adet motorlu araç bulunmaktadır. Otomobillerin sayısı 32.295 olup toplam araç sayısının %36.1 'ini oluşturmaktadır (Tablo 4.25). Otomobillerin oranı 1996 yılında %55.3 olup, 2004 yılında bu oran %36.1'e düşmüştür.

Merkezdeki araç türünün sayısı toplam aracın sayısına oranlanarak, ekserji ve enerji verimlilikleri bulunmuştur. 1996-2004 yılları arasında araç çeşitlerine göre yıllık enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Zaman içerisinde verimliliklerin arttığı belirlenmiştir (Tablo 4.26). Bunun da en önemli sebebi 8 yıllık dönem içerisinde, enerji ve ekserji verimliliği düşük olan otomobillerin oranının azalıp motosiklet gibi araçların oranının artmasıdır.

Araçlarda toplam yakıt tüketimi için 5-6 lt/100 km. katalog değerleri verilmiştir. Otomobillerin şehir içinde ortalama 14 km. yol alacağı kabul edilmiştir. Buna göre 0.98 lt/araç-gün olarak hesaplanmış bu değer şehir içinde otomobillerin haricinde diğer araçların da olacağı düşünülerek 1 lt/araç-gün alınmıştır. Araçlarda tüketilen yakıt miktarı ise, ısıl değer 10200 kcal alınarak toplam enerji miktarı bulunmuştur.

Tablo 4.25 Balıkesir İl Merkezi araç sayısının yıllara göre değişimi

YIL	OTOMOBİL			MİNİBÜS			OTOBÜS			KAMYONET			KAMYON		
	MERKEZ	İL GENELİ	ORAN	MERKEZ	İL GENELİ	ORAN	MERKEZ	İL GENELİ	ORAN	MERKEZ	İL GENELİ	ORAN	MERKEZ	İL GENELİ	ORAN
1996	24577	64676	0,553	1544	3676	0,035	1448	2069	0,033	3039	11051	0,068	3222	7160	0,073
1997	27911	73451	0,553	1699	4046	0,034	1578	2254	0,031	3857	14027	0,076	3442	7648	0,068
1998	30692	80769	0,549	1795	4274	0,032	1813	2590	0,032	4669	16977	0,084	3659	8132	0,065
1999	33433	87981	0,550	1881	4479	0,031	1968	2811	0,032	5182	18842	0,085	3699	8219	0,061
2000	30692	80769	0,518	1795	4274	0,030	1813	2590	0,031	4669	16977	0,079	3659	8132	0,062
2001	37345	96851	0,414	2169	4730	0,024	2795	3197	0,031	6152	21821	0,068	4443	8188	0,049
2002	37529	97855	0,418	2149	4819	0,024	2760	3285	0,031	6198	22464	0,069	4352	8262	0,048
2003	32604	98451	0,371	1327	4938	0,015	922	3296	0,010	7527	24180	0,086	3208	8311	0,036
2004	32295	82 706	0,361	1421	3965	0,016	1024	3 201	0,011	8497	25 287	0,095	3245	10 361	0,036

YIL	MOTORSİKLET			TRAKTÖR			DİĞER			TOPLAM	
	MERKEZ	İL GENELİ	ORAN	MERKEZ	İL GENELİ	ORAN	MERKEZ	İL GENELİ	ORAN	MERKEZ	İL GENELİ
1996	1153	27319	0,026	9383	19548	0,211	71	547	0,012	44437	136046
1997	1268	30052	0,025	10426	21720	0,206	310	2386	0,047	50492	155584
1998	1337	31673	0,024	11584	24134	0,207	357	2743	0,049	55906	171292
1999	1414	33500	0,023	12871	26815	0,212	385	2960	0,049	60832	185607
2000	1337	31673	0,023	14967	31181	0,252	357	2743	0,046	59288	178339
2001	15551	35723	0,173	21343	35433	0,237	345	3207	0,036	90143	209150
2002	15634	36248	0,174	20892	39370	0,232	363	3252	0,036	89877	215555
2003	21551	36943	0,245	20316	43744	0,231	534	3342	0,038	87989	223205
2004	22336	42 555	0,250	20022	44221	0,224	572	2573	0,029	89412	214869

Tablo 4.26 Balıkesir İl Merkezi araç ekserji ve enerji verimleri

	Verim	Oranlar										
		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
	Nitelik faktörü	Enerji	Ekserji									
<b>OTOMOBİL</b>	1,06	20	21,2	0,5531	0,55	0,549	0,55	0,52	0,414	0,418	0,3705	0,361
<b>MİNİBÜS</b>	1,03	28	28,84	0,0347	0,03	0,032	0,03	0,03	0,024	0,024	0,0151	0,016
<b>OTOBÜS</b>	1,05	28	29,4	0,0326	0,03	0,032	0,03	0,03	0,031	0,031	0,0105	0,016
<b>KAMYONET</b>	1,05	28	29,4	0,0684	0,08	0,084	0,09	0,08	0,068	0,069	0,0855	0,095
<b>KAMYON</b>	1,03	15	15,45	0,0725	0,07	0,065	0,06	0,06	0,049	0,048	0,0365	0,036
<b>MOTORSİKLET</b>	1,06	35	37,1	0,0259	0,03	0,024	0,02	0,02	0,173	0,174	0,2449	0,25
<b>TRAKTÖR</b>	1,02	22	22,44	0,2112	0,21	0,207	0,21	0,25	0,237	0,232	0,2309	0,224
<b>TOPLAM ENERJİ</b>				21,503	21,5	21,5	21,5	21,5	23,72	23,74	24,721	24,99
<b>TOPLAM EKSERJİ</b>				22,52	22,5	22,5	21,5	22,5	24,87	24,9	25,94	26,2

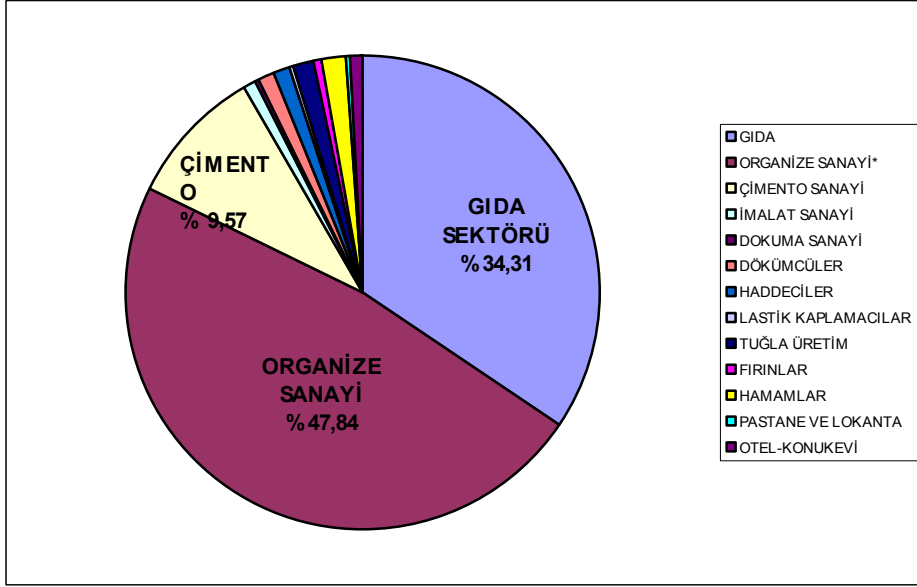
#### 4.5.5 Balıkesir İli Sanayisi ve Enerji-Ekserji Verimliliği

Balıkesir'in ekonomik yapısı Batı Anadolu bölgesinin genel karakterini taşımaktadır. Tarımın geniş bir alana yayılmasından dolayı, tarıma dayalı sanayi gelişmiştir. Un, yem, zeytinyağı, salça, konserve, nebati yağ ve şeker üretiminin Balıkesir ekonomisinde yeri büyüktür. Yine et, özellikle son yıllarda tavukçuluk, yumurta başta olmak üzere süt ve süt mamulleri sektörü de önemli yer tutar.

Balıkesir'in merkezinde özellikle tarım makineleri, çimento, sentetik çuval, trafo, jeneratör, mermer işleme, orman ürünleri gibi sektörler önemli yer tutmaktadır.

Balıkesir Sanayi kuruluşlarının önemli bir bölümü organize sanayi bölgesinde bulunmaktadır. Balıkesir Organize Sanayi Bölgesi, Balıkesir-Savaştepe karayolunun 7.km'sinde 450 hektar büyüklüğünde bir arazide 300 hektarı sanayi alanında oluşan, 5000 m<sup>2</sup> ile 75000 m<sup>2</sup> arasında değişen büyüklüklerdeki 189 adet sanayi parseline sahiptir. Organize sanayi bölgesi tamamlandığı zaman toplam 42.000.000 m<sup>3</sup>/yıl doğalgaz tüketimi beklenmektedir [68].

Un, Yağ, Süt ve Süt Ürünlerinin ağırlıklı olarak işlendiği fabrikalara sahip olan Balıkesir merkez bölümünde sanayi çok fazla gelişmemiştir. Organize Sanayinin kurulmasıyla önümüzdeki yıllarda sanayide önemli gelişmeler beklenmektedir. Bunun neticesinde enerji kullanımında büyük artışlar meydana gelecektir.



Şekil 4.13 Balıkesir sanayisi enerji kullanım dağılımı

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi Organize Sanayi %47.84 en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölge olarak gözükmemektedir. %34.31 Gıda sektörü, %9.57 Çimento sektörü, diğer sektörler de %8,28’lik kısmını oluşturmaktadır.

Tablo 4.27’e göre; Balıkesir’in merkezinde bulunan sanayide 2004 yılı verilerine göre (Balgaz) 3,586 p J/Yıl doğalgaz değeri olarak enerji kullanılmaktadır.

Organize Sanayi Sitesi 1,610 pJ/Yıl, Gıda Sektörü 1,119 pJ/Yıl, Çimento Sektörü 0,498 pJ/Yıl, Diğer sektörler 0,359 pJ/Yıl doğalgaz değeri olarak enerji kullandığı belirlenmiştir.

Tablo 4.27 Balıkesir (Merkez) sanayi kuruluşlarının kullandıkları enerji miktarına göre dağılımı [59]

SEKTÖR	SAATLİK DOĞALGAZ TÜKETİMİ m <sup>3</sup> /sa	YILLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ m <sup>3</sup> /yıl	SAATLİK ENERJİ İHTİYACI kcal/sa	SAATLİK DOĞALGAZ TÜKETİMİ Joule/sa	YILLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ kcal/yıl	YILLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ PJ/yıl	SEKTÖREL BAZDA YÜZDE ORAN %
GIDA	7.172	29.207.445	65.659.660	274.851.336.760	267.394.158.975	1,119	34,31
ORGANİZE SANAYİ*	10.000	42.000.000	91.550.000	383.228.300.000	384.510.000.000	1,610	47,84
ÇİMENTO SANAYİ	2.000	13.000.000	18.310.000	76.645.660.000	119.015.000.000	0,498	9,57
İMALAT SANAYİ	167	744.000	1.528.885	6.399.912.610	6.811.320.000	0,029	0,80
DOKUMA SANAYİ	38	247.297	347.890	1.456.267.540	2.264.004.035	0,009	0,18
DÖKÜMCÜLER	243	1.751.830	2.224.665	9.312.447.690	16.038.003.650	0,067	1,16
HADDECİLER	242	1.567.668	2.215.510	9.274.124.860	14.352.000.540	0,060	1,16
LASTİK KAPLAMACILAR	25	180.229	228.875	958.070.750	1.649.996.495	0,007	0,12
TUĞLA ÜRETİM	320	2.072.638	2.929.600	12.263.305.600	18.975.000.890	0,079	1,53
FIRINLAR	126	275.478	1.153.530	4.828.676.580	2.522.001.090	0,011	0,60
HAMAMLAR	354	1.529.214	3.240.870	13.566.281.820	13.999.954.170	0,059	1,69
PASTANE VE LOKANTA	19	23.790	173.945	728.133.770	217.797.450	0,001	0,09
OTEL-KONUKEVİ	195	982.086	1.785.225	7.472.951.850	8.990.997.330	0,038	0,93
<b>TOPLAM</b>	<b>20.901</b>	<b>93.581.675</b>	<b>191.348.655</b>	<b>800.985.469.830</b>	<b>856.740.234.625</b>	<b>3,587</b>	<b>100,00</b>



Balıkesir il merkezinin sanayisine ait enerji verimliliği 63.73, ekserji verimliliği ise 18.30 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.28).

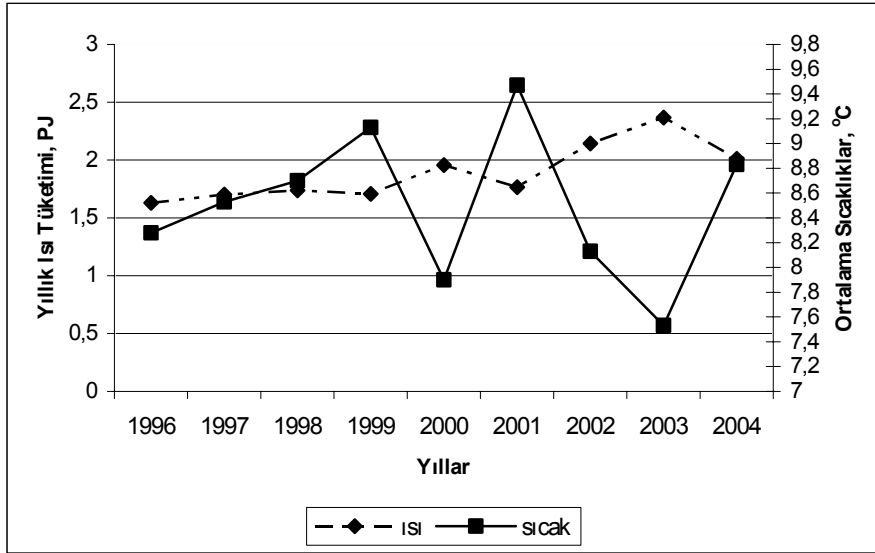
Tablo 4.28 Balıkesir İl Merkezi sanayisinin ekserji ve enerji verimliliği

Sektör	Saatlik Doğalgaz Tüketimi m <sup>3</sup> /sa	Yıllık Doğalgaz Tüketimi m <sup>3</sup> /yıl	Sektörel Bazda Enerji Kullanım Yüzdesi Yüzde Oran Y%	Enerji Verimliliği	Ekserji Verimliliği
Gıda	7.172	29.207.445	34,31	62	18
Organize Sanayi*	10.000	42.000.000	47,84	67	16
Çimento Sanayi	2.000	13.000.000	9,57	57	28
İmalat Sanayi	167	744.000	0,80	66,38	15,98
Dokuma Sanayi	38	247.297	0,18	66	16
Dökümcüler	243	1.751.830	1,16	59	25
Haddeciler	242	1.567.668	1,16	59	25
Lastik Kaplamacılar	25	180.229	0,12	59,06	25,26
Tuğla Üretimi	320	2.072.638	1,53	59,06	25,26
Fırınlr	126	275.478	0,60	59	25
Hamamlar	354	1.529.214	1,69	62	18
Pastane ve Lokanta	19	23.790	0,09	62	18
Otel ve Konukevi	195	982.086	0,93	62	18
<b>TOPLAM</b>	<b>20.901</b>	<b>93.581.675</b>	<b>100,00</b>	<b>63,73</b>	<b>18,30</b>

## 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

1999-2005 yılları arasında kış döneminde yapılan istatistik çalışmada meteorolojik parametreler ile SO<sub>2</sub> ve PM arasında güçlü bir bağ olduğu belirlenmiştir. Kış aylarında (Ocak-Şubat-Mart-Ekim-Kasım-Aralık) maksimum SO<sub>2</sub> ve PM oluşmaktadır. Özellikle Aralık-Ocak-Şubat aylarında hava sıcaklığının düşük olması, rüzgar hızının çoğu günlere sifira yaklaşması, yüksek basınç sistemi SO<sub>2</sub> ve PM'nin artmasına neden olmaktadır. Kirlilik konsantrasyonları ile sıcaklık arasında güçlü bir ilişki olmasına rağmen, nem ile arasındaki ilişki zayıftır.

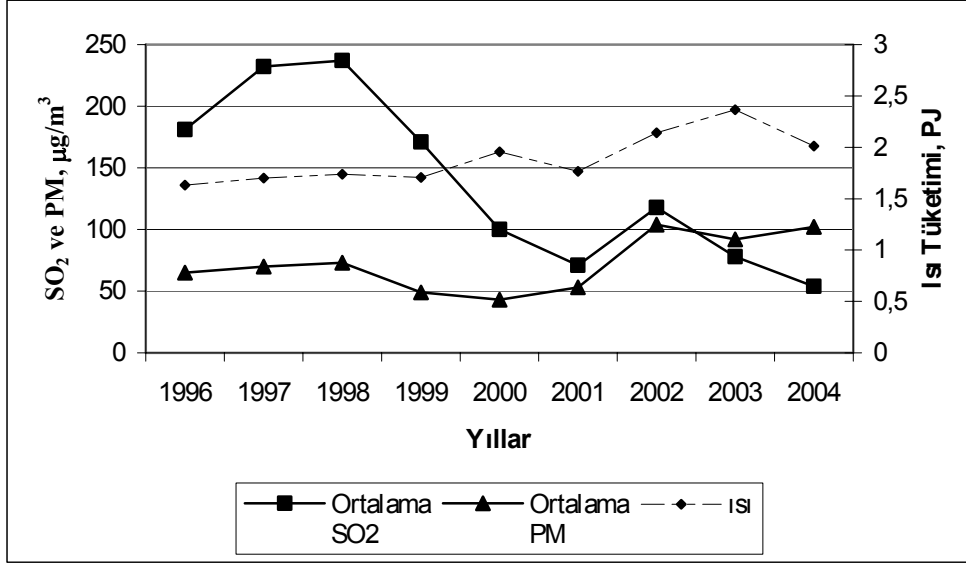
Balıkesir'de ortalama sıcaklıklar 1996-2004 yılları arasında 7.4 ve 9.5 ° C arasında değişmektedir. Sıcaklıklara bağlı olarak yakıt tüketiminde çok az artışlar olduğu gözlenmektedir. Sıcaklığın en düşük olduğu 2003 yılında tüketilen enerji miktarı en yüksek olarak bulunmuştur. Bu durum Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Tüketilen enerji miktarı TS 825 Standartlarına göre iç mekan ortam sıcaklığı 20 ° C kabul edilip dış ortam sıcaklıklarındaki değişime göre hesaplanmıştır.



Şekil 5.1 Yıllara göre Balıkesir İlinde yıllık ısı tüketimi-ortalama sıcaklıklar

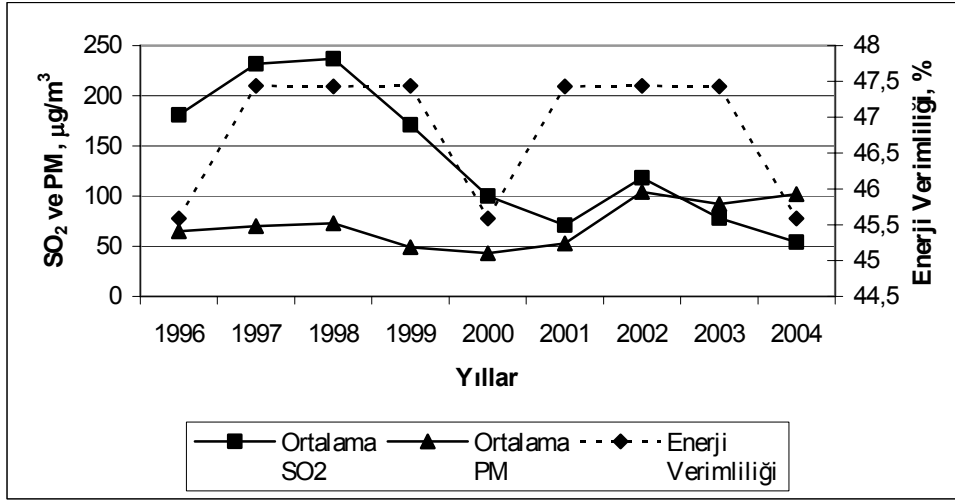
Şekil 5.1'e göre yıllık ısı tüketimi ile ortalama sıcaklıklar arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Isınma için Balıkesir'in ihtiyacı olan yıllık toplam ısı ihtiyacı 2.01 pJ civarındadır.

Şekil 5.2'e göre ortalama SO<sub>2</sub> ve PM miktarının ısıya bağlı olarak değişiminde, bazı yıllarda ısı tüketimi artmasına rağmen kirlilik değerleri aynı oranda yükselmemektedir. 2003 yılında en fazla ısı ihtiyacı olmasına rağmen, ortalama SO<sub>2</sub> ve PM değeri 100 µg/m<sup>3</sup>'ün altındadır.

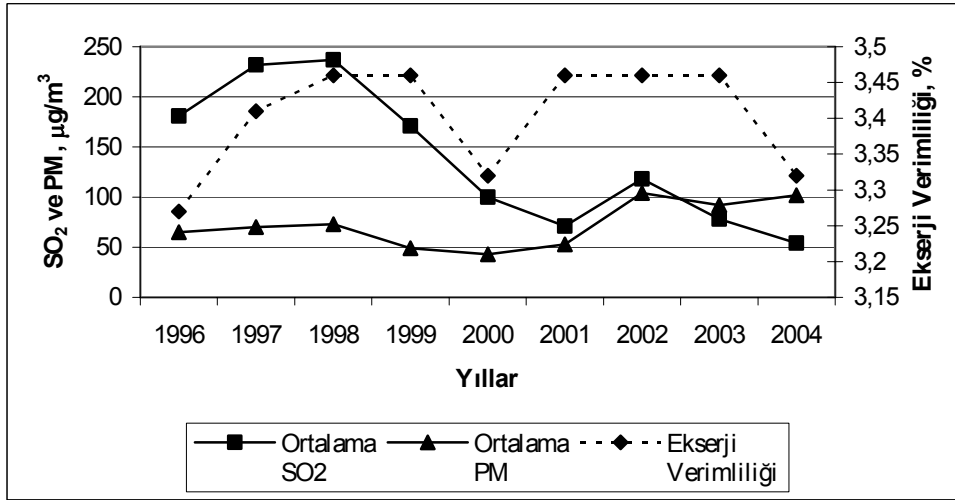


Şekil 5.2 Yıllık ısı tüketimi ve hava kirliliği emisyon değerleri

Şekil 5.3'te emisyon değerlerinin enerji verimliliğine bağlı olarak değişimi incelenmiştir. 1996, 2000, ve 2004 yıllarında enerji verimliliği diğer yıllara göre daha düşüktür. Dolayısıyla enerji verimliliği düşük olan yakıt sistemleri yanma sisteminde ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Enerji verimliliği değerleri 45.59 ile 47.44 arasında değişmektedir. 1999-2001 yılında enerji verimliliği yüksek, SO<sub>2</sub> değeri düşüktür.

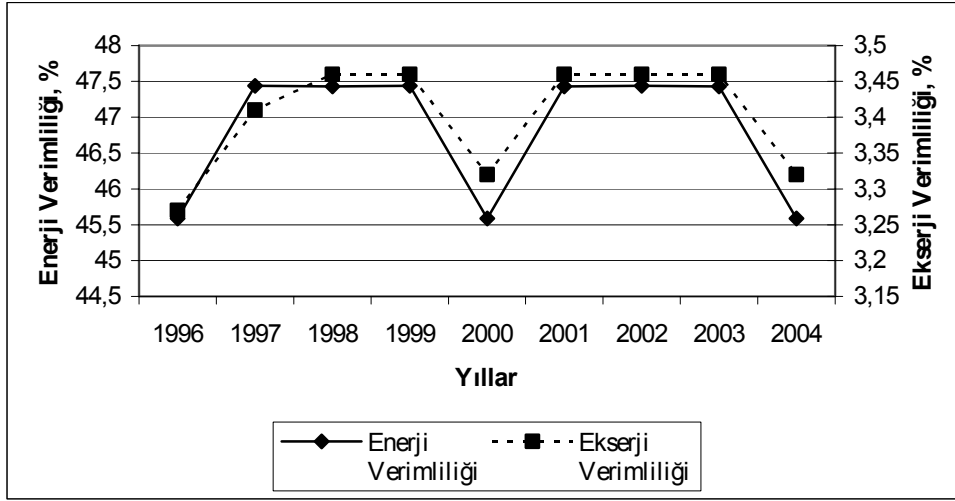


Şekil 5.3 Enerji verimliliği ve hava kirliliği emisyon değerleri



Şekil 5.4 Ekserji verimliliği ve hava kirliliği emisyon değerleri

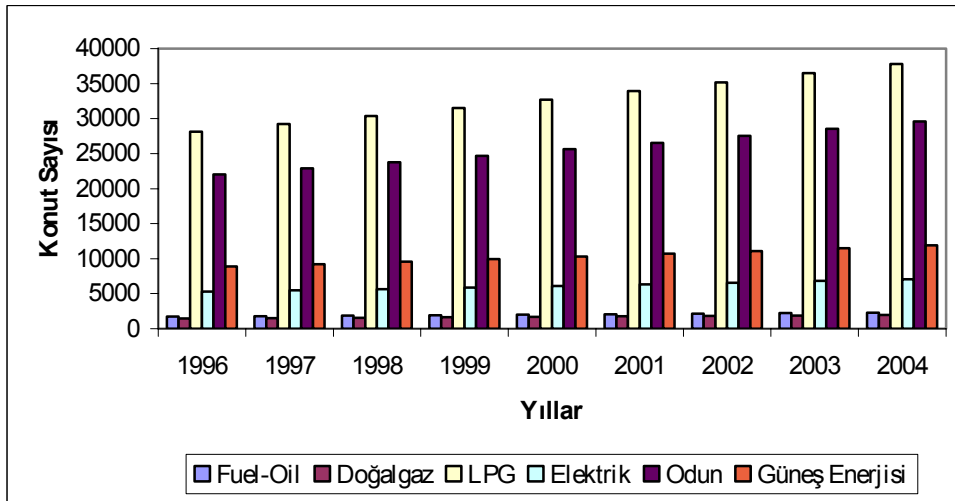
Şekil 5.4'e göre ekserji verimliliği ve kirlilik parametreleri SO<sub>2</sub> ve PM'nin yıllara göre değişimim verilmiştir. Ekserji verimliliği değerleri 3.27 ile 3.46 arasında değişmektedir. 1998, 1999, 2001, 2002 ve 2003 yıllarında ekserji değerleri aynı olmasına rağmen SO<sub>2</sub> ve PM değerleri değişkenlik göstermektedir. 2004 yılındaki SO<sub>2</sub> ve PM değeri 2002 yılındaki değere yakın olmasına rağmen ekserjileri arasında büyük farklılıklar vardır.



Şekil 5.5 Enerji verimliliği ve ekserji verimliliği

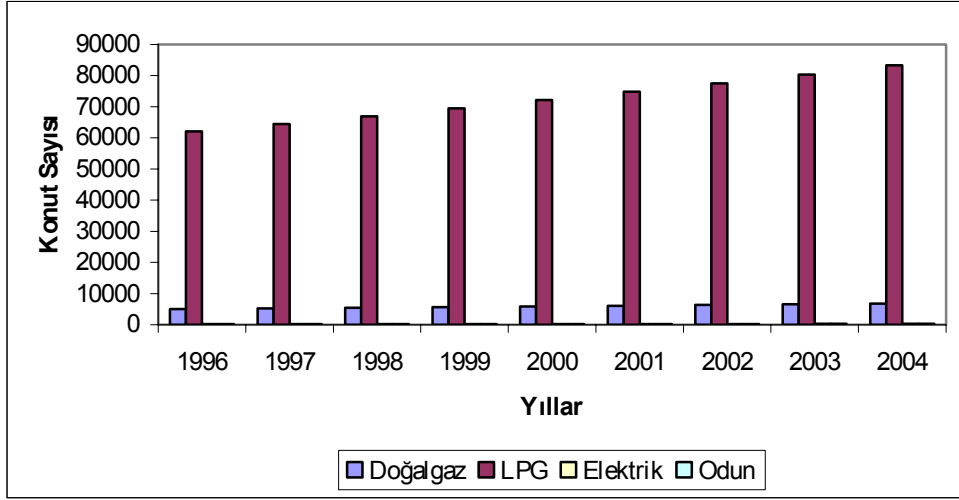
Balıkesir İlinde konut ve işyeri ısıtmasında meydana gelen, yıllara bağlı enerji ve ekserji grafikleri arasında benzerlikler vardır. Yani enerji ve ekserji artış ve azalışları birbirine paraleldir (Şekil 5.5).

Konutlarda su ısıtma ile ilgili olarak konut sayısının su ısıtma sistemlerine bağlı olarak değişimi Şekil 5.6'da verilmiştir. LPG'li sistemlerin ağırlıklı olarak konutlarda yaygın olduğu görülmektedir.



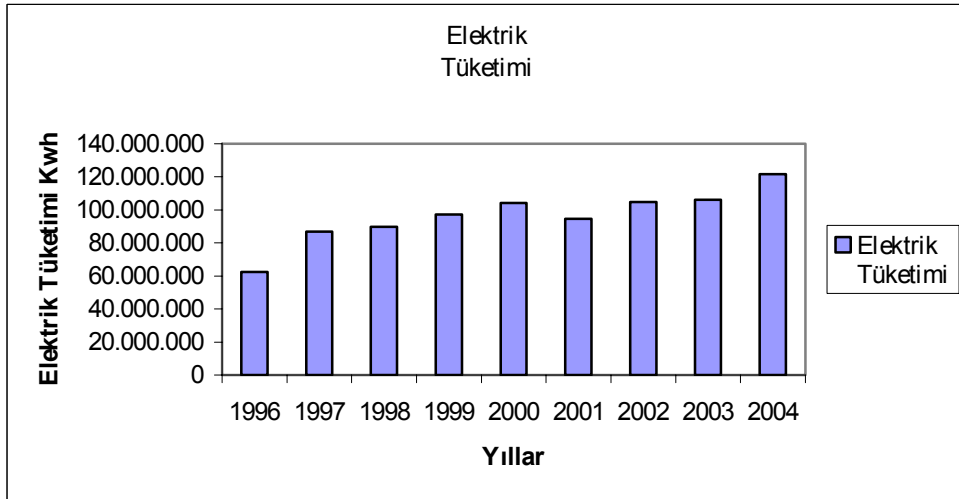
Şekil 5.6 Su ısıtma sistemlerinin yıllara ve konut sayısına bağlı değişimi

Konutlarda pişirme sistemlerinde ilgili olarak konut sayısının pişirme sistemlerine bağlı olarak değişimi Şekil 5.7’de verilmiştir. LPG’li sistemlerin ağırlıklı olarak konutlarda yaygın olduğu görülmektedir



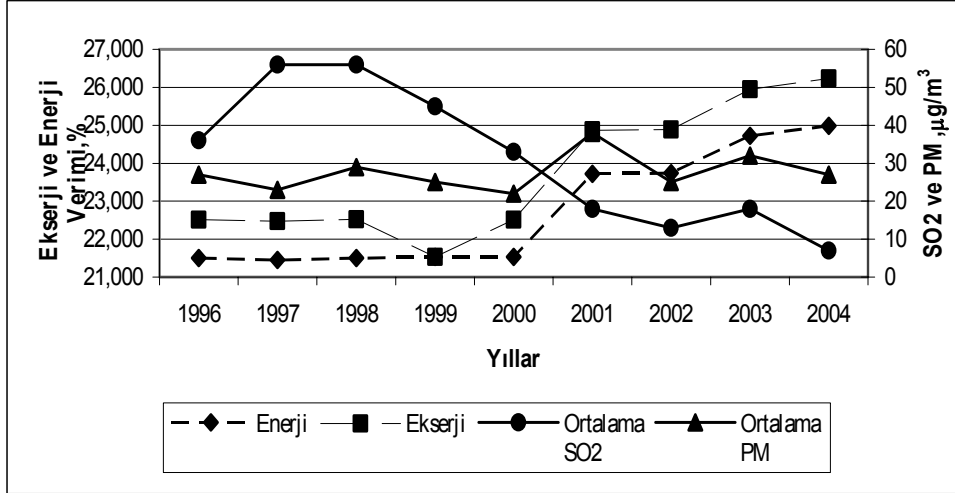
Şekil 5.7 Pişirme sistemlerinin yıllara ve konut sayısına bağlı değişimi

Konutlarda elektrik tüketiminin yıllara bağlı olarak değişimi Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Elektrik tüketimi yıllara bağlı olarak artmaktadır.



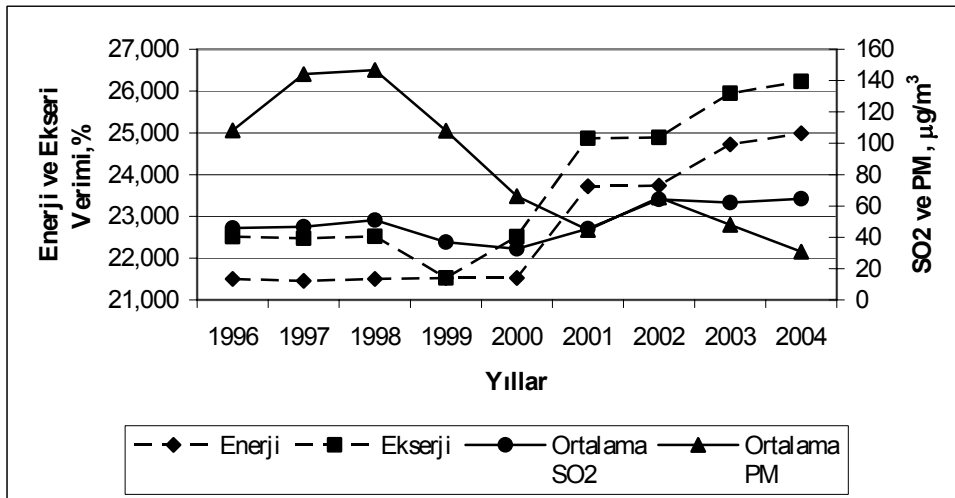
Şekil 5.8 Elektrik tüketiminin yıllara bağlı değişimi

Araç sayılarına bağlı olarak kirlilik değerleri değişmektedir. Özellikle yaz aylarında hava kirliliğinin en önemli sebebi trafikten kaynaklanmaktadır. Yaz aylarında hava kirliliği değerleri kükürt dioksit açısından 1997 ve 1998 yıllarında en yüksektir. Ekserji ve enerji değerlerinde 2000 yılından sonra artış olduğu görülmektedir (Şekil 5.9). Bu durum benzinli araç sayısının azalmasından kaynaklanmaktadır.



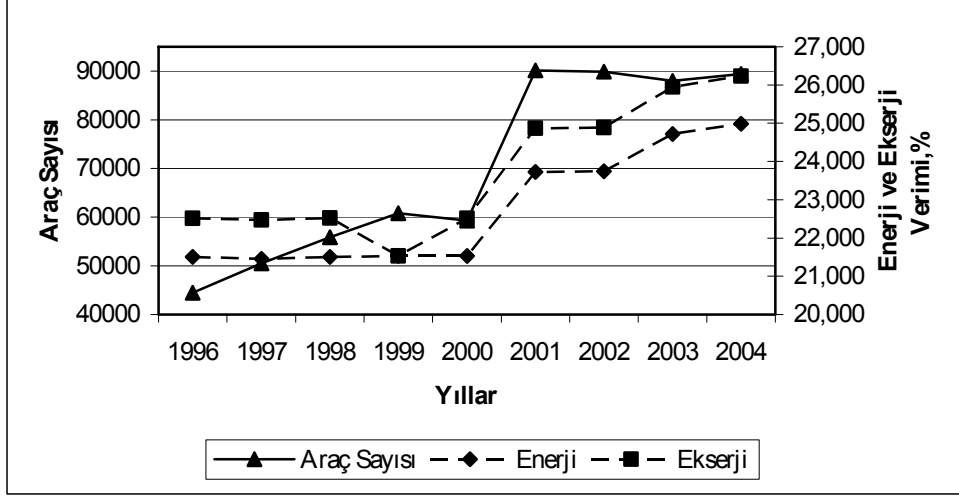
Şekil 5.9 Yaz ayları kirlilik parametreleri ve enerji-ekserji verimi

Yaz ve kış ayları için değerlere bakıldığı zaman yine Şekil 5.9'dekine benzer bir grafik oluşmaktadır (Şekil 5.10).



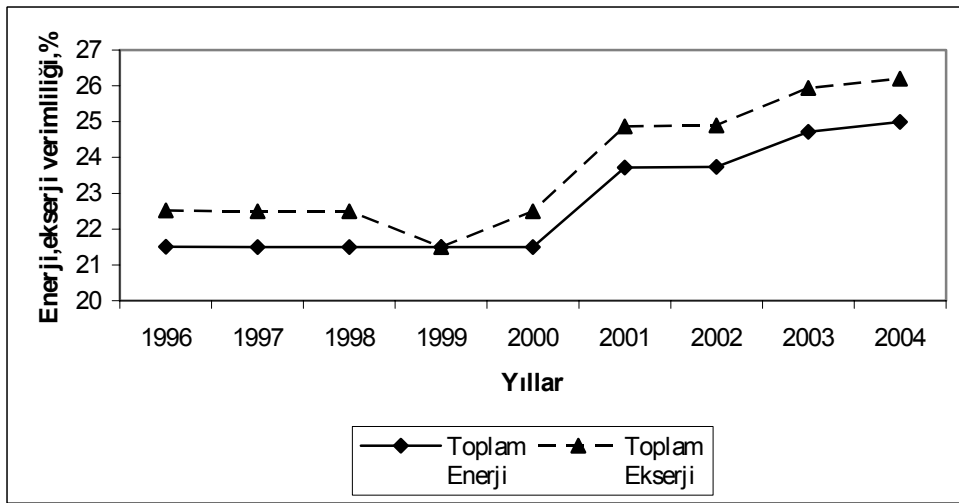
Şekil 5.10 Yaz ve kış ayları kirlilik parametreleri ve enerji -ekserji verimi

Araç sayısı en fazla 2000 ve 2001 yılları arasında artmış olup buradaki artış da benzinli araçlarda olmamış, mazotlu araçlarda olmuştur. Dolayısıyla ekserji ve enerji verimliliği de, buna paralel olarak artmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Araç sayısı ve enerji-ekserji verimi

Balıkesir İli taşıtlarının toplam enerji ve ekserji verimliliğinin yıllara göre değişimi Şekil 5.12’de görülmektedir. Ekserji ve enerji verimliliğinde de yıllara bağlı olarak artışlar olduğu görülmektedir.



Şekil 5.12 Araçların enerji-ekserji verimliliğinin yıllara göre değişimi



Tablo 5.1 Balıkesir İl merkezinin yıllara göre enerji - ekserji değişimi ve toplam enerji ihtiyacı

Yıl	KONUT VE İŞYERİ ISITMA				SU ISITMA			PIŞİRME			ELEKTRİK KULLANIMI			
	Konut Sayısı	Isı İhtiyacı pJ	Enerji Verimi	Ekserji Verimi	Isı İhtiyacı Pj	Enerji Verimi	Ekserji Verimi	Isı İhtiyacı Pj	Enerji Verimi	Ekserji Verimi	Mesken Elektrik Tüketimi Kwh	Mesken Elektrik Tüketimi pJ	Enerji Verimi	Ekserji Verimi
1996	79.661	1,6313	59,59	3,27	0,2195	55,848	6,718	0,2195	50,006	10,7928	62.407.705	0,2247	65,59	16,91
1997	82.708	1,6413	47,44	3,41	0,2279	55,848	6,718	0,2279	50,006	10,7928	86.823.692	0,3126	65,59	16,91
1998	85.868	1,6720	47,43	3,46	0,2366	55,848	6,718	0,2366	50,006	10,7928	89.779.576	0,3232	65,59	16,91
1999	89.151	1,6459	47,44	3,46	0,2456	55,848	6,718	0,2456	50,006	10,7928	97.198.473	0,3499	65,59	16,91
2000	92.560	1,9566	45,59	3,32	0,2550	55,848	6,718	0,2550	50,006	10,7928	104.279.462	0,3754	65,59	16,91
2001	95.969	1,7040	47,43	3,46	0,2644	55,848	6,718	0,2644	50,006	10,7928	94.554.834	0,3404	65,59	16,91
2002	99.502	2,0669	47,44	3,46	0,2742	55,848	6,718	0,2742	50,006	10,7928	104.848.987	0,3775	65,59	16,91
2003	103.166	2,2833	47,43	3,46	0,2843	55,848	6,718	0,2843	50,006	10,7928	106.094.795	0,3819	65,59	16,91
2004	106.967	2,0101	45,59	3,32	0,2947	55,848	6,718	0,2947	50,006	10,7928	121.556.626	0,4376	65,59	16,91

Yıl	SANAYİ			TAŞIT					TOPLAM
	Enerji İhtiyacı Pj	Enerji Verimi	Ekserji Verimi	Araç Sayısı	Otomobil Sayısı	Enerji İhtiyacı Pj	Enerji Verimi	Ekserji Verimi	Toplam Enerji İhtiyacı
1996	3,5860	63,73	18,30	44.437	24.577	0,3825	21,503	22,520	6,2634
1997	3,5860	63,73	18,30	50.492	27.911	0,4344	21,500	22,520	6,4300
1998	3,5860	63,73	18,30	55.906	30.692	0,4776	21,500	22,520	6,5320
1999	3,5860	63,73	18,30	60.832	33.433	0,5203	21,500	21,500	6,5934
2000	3,5860	63,73	18,30	59.288	30.692	0,4776	21,500	22,500	6,9057
2001	3,5860	63,73	18,30	90.143	37.345	0,5812	23,720	24,870	6,7404
2002	3,5860	63,73	18,30	89.877	37.529	0,5840	23,740	24,900	7,1627
2003	3,5860	63,73	18,30	87.989	32.604	0,5074	24,721	25,940	7,3271
2004	3,5860	63,73	18,30	89.412	32.295	0,5026	24,990	26,200	7,1257

Tablo 5.1'e göre konut ve işyeri sayısında yıllara göre artış olmasına rağmen verimlilik değerlerinde büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Bu durumun en önemli nedeni ısıtma araçlarında ve ısıtma alışkanlıklarında büyük bir değişim olmamasından kaynaklanmaktadır.

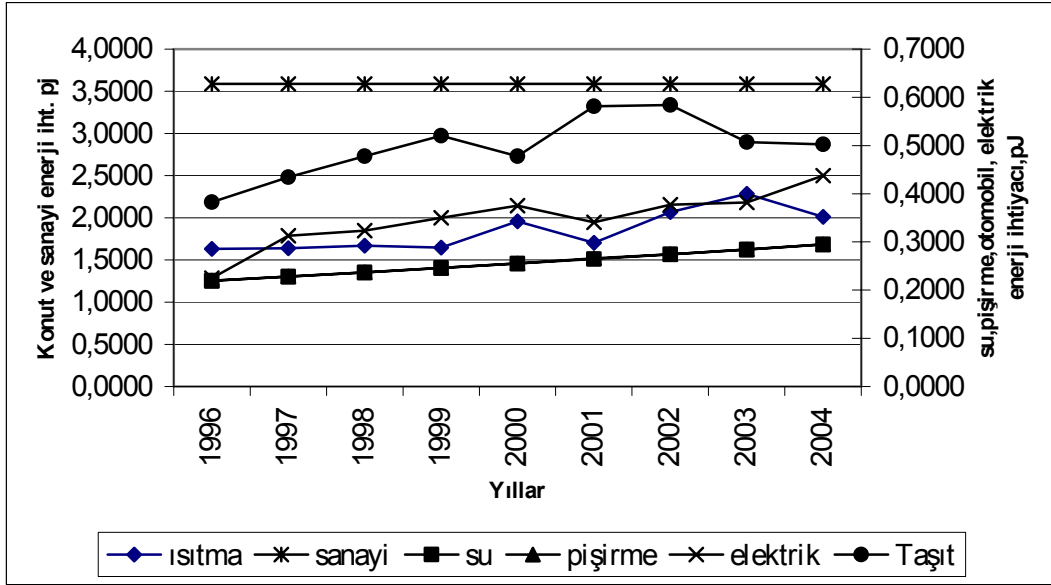
Su ısıtma amaçlı enerji ihtiyacı nüfus artışına paralel olarak artmaktadır. Genel olarak LPG, elektrik ve odun ile su ısıtma amaçlı enerji türü olarak kullanılmaktadır. Balıkesir'de güneş enerjisi potansiyeli olmasına rağmen ancak %13 civarında bir kullanım oranı vardır. Verimlilik kaybı ekserji açısından %93'lük bir kayıp vardır.

Pişirme amaçlı olarak, Türkiye genelinde olduğu gibi kullanılan enerji türleri LPG ve elektriktir. Bu sistemlerin ekserji verimliliği konut ve su ısıtmaya oranla daha yüksektir. Bu durum üst seviyede sıcaklık gereksiniminden dolayı ortaya çıkmaktadır.

Sanayi sektörü bakımından incelendiğinde Balıkesir'in enerji ve ekserji verimlilikleri genel olarak %63.73 ve %18.30 olarak hesaplanmıştır.

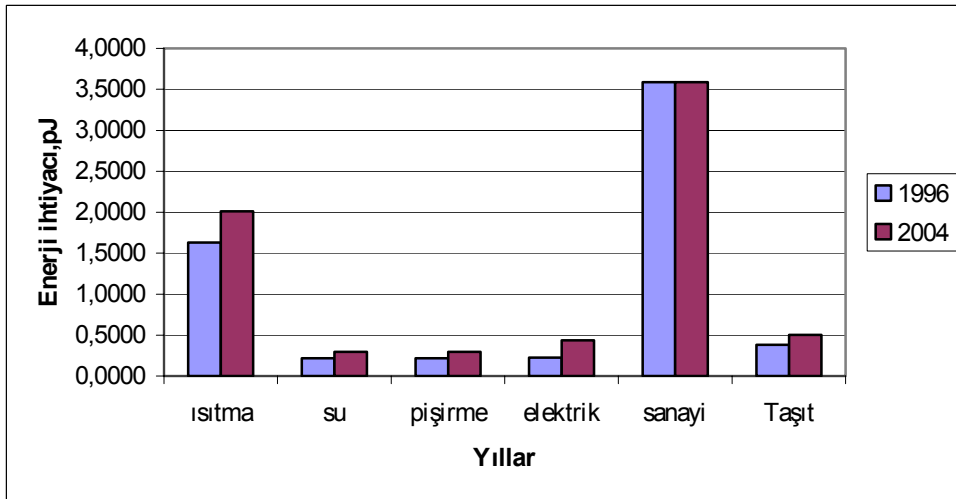
Toplam enerji ihtiyacı %12.10 oranında artmış olup, Balıkesir İl merkezinde 1996 (nüfus=196.220), 2004 (nüfus=228.758) yılları arasında nüfus artışları %14.22 oranında olduğu görülmüştür.

Şekil 5.13'te kullanım şekline göre enerji ihtiyacının yıllara bağlı olarak değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5.13 Enerji ihtiyacının yıllara bağlı değişimi

1996 ve 2004 yıllarının enerji ihtiyaçlarının karşılaştırılması Şekil 5.14’de verilmiştir. Konut ısıtma ve sanayi için gerekli enerji ihtiyacı diğer kullanım şekillerinin toplamından fazladır.



Şekil 5.14 Enerji ihtiyacının kullanım şekline göre değişimi

- Meteorolojik faktörlerle kirlilik konsantrasyonları arasında güçlü bir bağ olması sebebiyle, şehir yerleşim planlarında rüzgar yönü dikkate alınmalıdır. Yerleşim planları, endüstri bölgeleri ve çok katlı binalar tasarlanırken hava akımı engellenmeyecek şekilde yapılmalıdır.
- Enerjinin üretim ve tüketim esnasında ortaya çıkan çevresel problemleri en aza indirgeyen ve kaynakların ekonomik ve güvenilir bir şekilde optimum planlaması yapılmalıdır.
- Şehir içi taşımacılığında trafik düzenlemeleri hava kirliliği oluşmayacak şekilde yapılmalı, toplu taşımacılık yaygınlaştırılmalı ve kolaylaştırılmalıdır.
- Hava kirliliği ölçümlerinin halka günlük olarak bildirilmesi gerekmektedir.
- Enerji kullanımının çevresel etkileri ve sürdürülebilir gelişme açısından değerlendirildiğinde aralarında güçlü bir ilişki olduğu açıktır. Sürdürülebilirliğin oluşabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.
- Mevcut teknoloji ve Pazar payı bakımından doğalgaz yenilenebilir enerji kaynaklarına göre tercih edilen en temiz yakıttır. Doğalgaz özellikle sanayide ve kamu binalarında, konut ısınmasında yaygınlaştırılmalıdır. Bunun için doğalgaz aboneliğinde kolaylıklar sağlanmalı ve halkı bilgilendirme çalışmaları yapılmalıdır.
- Balıkesir için güneş enerjisi, jeotermal, biomas ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelleri tespit edilip uygulaması için ekonomik yöntemler geliştirmeye yönelik projeler desteklenmelidir.
- SO<sub>2</sub> ve PM emisyonları ile değerlendirilen hava kirliliğinde yakma sistemlerinin rolü büyüktür. %90'ı sobalı yakma sistemi olan şehirde enerji verimliliği 45.59-47.44 arasında, ekserji verimliliği 3.27-3.46 arasında bulunmuştur. Yakma sistemlerindeki verimliliğin artması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranları arttırılmalıdır.
- Enerji verimliliği ve ekserji verimliliğinin düşük olmasının sebebi eksik yanma ve yanmamış karbon ve hidrokarbonların atmosfere yayılmasıdır. Bu durum hem enerji kaybına hem de hava kirliliğine yol açmaktadır.
- Verimliliklerin iyileştirilmesi ve hava kirliliğinin azaltılması için, ısı yalıtımı, merkezi sistem ısıtma ve bilinçli yakma gerekmektedir.

- Sanayide enerji ve ekserji verimliliğini arttırıcı çalışmalar yapılmalı, proseslerde oluşan enerji kayıpları önlenmeli ve geri kazanıma önem verilmelidir.
- Sanayi sektöründe kullanım ömrünü tamamlamış fabrikaların yerlerine enerji ve ekserji kullanım verimliliği en iyi fabrikaların kurulması ayrıca teknolojik yeniliklerin mevcut fabrikalar uygulanması gerekmektedir [4].
- Evlerde aydınlatma ve elektrikli aletlerin kullanımında enerji tasarruflu ürünler üretilmeli ve tercih edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Cornelissen,R.L.,1994 , Bibliography on exergy analysis and related Techniques 1985-1994 , Universe of Twente
- [2] Slessor,M.,1974, Energy Analysis Workshop on Metodology and Convention , international federation of institutes for advanced Study,Stockholm.
- [3] Szargut, Standart Chemical Exergy of some Elements and Compounds on the planet Earth,Energy 11, 1986, no.8,pp 7333-735
- [4] UTLU, Z., HEPBAŞLI, A., ‘Ülkemizin sektörel bazda enerji kullanım verimliliğinin değerlendirilmesi’, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Mayıs 2004, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
- [5] REISTAD, G.M., “Available Energy Conversion and Utilization in the United States”, ASMEJ Eng. Power 97, (1975), 429-434
- [6] UTLU Z., “2023’e Enerji Köprüsü” Stratejik Araştırmalar Dergisi, Sayı:4, S:167-188, 2004
- [7] DİNÇER,İ., “The Role Of Exergy in Energy Policy Making”, Energy Policy 30 (2002) 137-149
- [8] DİNÇER,İ., ” Environmental Impact of Energy , Energy Policy” 27 (1999) 845-854
- [9] DİNÇER,İ., ROSEN, M., “Energy, Environment and Sustainable Development”, Applied Energy, 64 (1999) 427-440
- [10] SELİCİ,A.T., Utlu, Z., İlten, N., “Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri ve Sürdürülebilir Gelişme”, III. Yenilenebilir Enerji kaynakları Sempozyumu, 19-21 Ekim 2005, Mersin S:48-53

- [11] YALÇIN, H., “Balıkesir İl Merkezinde Isıtma Sektöründe Kullanılan Yakıtların Enerji ve Ekserji Analizleri ve Çevresel Etkiler” Yüksek Lisans Tezi (Danışman N.İLTEN), Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005, Balıkesir
- [12] İLTEN N., SELİCİ, A.T., “Balıkesir Şehir Merkezinde Hava Kirliliği ve Doğal Gaz”, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Mayıs 2004, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya S:30-37
- [13] TURALIOĞLU, SEZER F., NUHOĞLU A., BAYRAKTAR H. “Balıkesir Şehir Merkezinde Hava Kirliliği ve Doğal Gaz”, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Mayıs 2004, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya S:30-37
- [14] DEMİRCİ E., CUHADARĞLU B., “Statistical analysis of wind circulation and air pollution in urban Trabzon”, Energy and buildings, 31 (2000) 49-53
- [15] CUHADAROĞLU B., DEMİRCİ E., “ Influence of Some Meteorological Factors on Air Pollution in Trabzon Ciyt”, Energy and buildings 25 (1997) 179-184
- [16] ERCAN Y., DURMAZ A., “Ankara Şehrinde Isıtma Tesislerinden Kaynaklanan Emisyonların Envanteri ve Yakıt Tahsis Politikalarının Isıtma Maliyetleri ve Emisyonlara Etkisi” Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü İkinci Ulusal Sempozyumu, Anadolu Ün., 27-29 Eylül 1993, Eskişehir, S:17-38
- [17] GENÇ D.D., YEŞİLYURT C., TUNCEL G., “ Ankara’daki Hava Kirliliğinin Zamansal ve Mekansal Değişimi”, 6.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi , İstanbul, S:76-81
- [18] GÜVEN A., GÜNDÜZ E., ÖZDEMİR Ö., “Kayseri İl Merkezinin 1998-2003 Yılları Arasında Hava Kirliliği Yönünden Değerlendirilmesi”, 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İstanbul, S:82-91

- [19] GÜNERHAN H., “Doğa-İnsan-Kent Üçgeni” Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi 3(1): 1999 S:101-108
- [20] KOÇAK K., “İklim Değişiminde İnsan Faktörü”, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
www.itu.edu.tr/~kkocak/iklim.html
- [21] İPEK O., “Enerji Üretimi ve Kullanımında Çevre Risk Faktörünün Etkinliği” Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi 3(1): 1999 S:71-80
- [22] ERTÜRK F., “Hava Kirliliği-Vizyon ve Misyon” Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü  
vizyon2023.tubitak.gov.tr/teknolojiongorusu
- [23] ETEMOĞLU A.B., “Enerji Kullanımının Teknik ve Ekonomik Analizi” Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şubat 2004  
mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2004/subat/makale\_analiz
- [24] TAŞDEMİR Y., “Winter Seasons SO<sub>2</sub> Measurements in Bursa Comparison With Rural and Urban Area Values” TÜBİTAK 25(2001), 279-287
- [25] TAŞDEMİR Y., CİNDORUK S., ESEN F., “Monitoring of Criteria Air Pollutants in Bursa, Turkey” Environmental Monitoring and Assessment (2005) 110;227-241
- [26] İLTEN N., UTLU Z., SELİCİ A.T., “Balıkesir Ölçeğinde Enerji Kullanımının Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi” VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 25-27 Mayıs 2006 Isparta, S:339-349
- [27] TAYANÇ M., “An Assessment of Spatial and Temporal Variation of Sulfur dioxide Levels Over İstanbul, Turkey”, Environmental Pollution 107 (2000) 61-69



- [28] KARAKAYA E., ÖZÇAĞ M., “Sürdürülebilir Kalkınma ve İklim Değişikliği; Uygulanabilecek İktisadi Araçların Analizi” Adnan Menderes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
- [29] İLTEN N., SELİCİ A.T., UTLU Z., “Balıkesir Ölçeğinde Konut Isıtmasında Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri Açısından Değerlendirilmesi” III. Ege Enerji Sempozyumu, 24-26 Mayıs 2006, Muğla (Baskıda)
- [30] ÖZGENER Leyla, HEPBAŞLI Arif , ‘HVAC sistemlerinde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulamaları’, VI Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 2003.
- [31] Öztürk, A.,Kılıç A., Termodinamik, ISBN 975-436-031-6, 3. Yayım, 1998
- [32] K.Çomaklı,S.Karlı,M.YILMAZ.; Atatürk Ü. Müh- Fak. Makina Müh. Bölümü, Ö Çomaklı, Atatürk Ü. Pasinler M.Y.O. “Termal Sistemlerin Ekserjetik Analizi” [www.dogayayın.com/Termodinamik Sayı:137](http://www.dogayayın.com/Termodinamik Sayı:137) Ocak 2004
- [33] Szargut, J, Morris, D.R., Steward, F.R., Exergy Analysis Of Thermal, Chemical And Metallurgical Processes, Hemisphere Publishing Corporal Kin, NewYork, 1988.
- [34] 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.
- [35] WALL, G., “Exergy Conversion in the Japanese Society”, Energy, Cilt No: 15(5), Sayfa: 435-444, 1990.
- [36] Yüncü, R, KJasik Termodinamik Prensipleri, Tıp.Teknik Yayınlan, 2000.

- [37] Kotas, T.J. The exergy method of thermal plant analysis. Kriger publishing, 1995
- [38] Wall. (J. And Gong, M., Un exergy and sustainable development- Part2]: Conditions and concepts. Energy Int. J., 1(3), 128-145, 21X11
- [39] Wall, J. And Cong, M.,Un exergy and sustninnble dcvelopment- Part 2; Indicators and methods. Exergy Int. J., 1(4), 217-233,2001
- [40] Keenan, J.H.. Thermodynamics;, 3 rd. Ed. Wiley, New York, 1948.
- [41] Rant, Z., Exergie ein neuses Wort für 'techische Arbeits fahhigkeit(Exergy. a New Word for technical available work ), Forschungen imIngenieurwesen, 22, 36-37,1956
- [42] Brodyansky,V.M.,Sorin and Le Golf,P.,1994,The Efficiency of Industrial Process:Exergy Analysis and Optimization , Elsevier Science B.V.
- [43] Dr.Zafer UTLU ,”Sektörel Enerji ve Ekserji verilerinin belirlenmesi”Doktora tezi Ege Üniversitesi Fen blim. Enst. Makine Müh.Güneş Enerjisi Ana bilim Dalı, 2002
- [44] Cornelissen ,R.L. , Bibliografy on Exergy Analysis and Related Tecniques 1985 -1994 and Cornelissen ,R.L.’s publication in 1985 – 1997
- [45] Ege Üniversitesi Çevre Sorunları ve Araştırma Merkezi Yayınları “Çevre Bilimi Sürdürülebilir Dünya” No:1, 1999
- [46] TÜNAY O., “Hava Kirliliği ve Kontrolü Ders Notları” İTÜ Çevre Mühendisliği, 1986

- [47] Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı, “Hava Kirliliğine Genel Bakış”
- [48] TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, “Hava Kirliliği Kontrol ve Denetimi”, İstanbul, 2001
- [49] [www.saglik.com.tr](http://www.saglik.com.tr) “HKİ (Hava Kalite İndeksi)
- [50] MAZLUM C., “Türkiye İçin Yeni Bir Sürdürülebilirlik Yaklaşımı; Sürdürülebilir Kalkınma Yönetimi” 3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi
- [51] Bilim ve Teknoloji Strajeleri Teknoloji Öngörü Projesi, “Vizyon 2023, Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Tematik Paneli” 2003
- [52] DİNÇER İ., “Renewable Energy and Sustainable Development: A Crucial Review”, S:157-175, 2000
- [53] İl Çevre ve Orman Bakanlığı, “I. Çevre ve Orman Şurası Kararları” 22-24 Mart 2005, Antalya
- [54] Enerji ve Doğal Kaynaklar Raporu TÜBİTAK”, Ankara, 2003
- [55] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2002 Türkiye Enerji Raporu, 2004, Ankara
- [56] ATILGAN İ., “Türkiye’nin Enerji Potansiyeline Bakış”, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 15, No:1 S:31-47,2000
- [57] UTLU, Z., HEPBAŞLI A., “Analysis of Energy and Exergy Use of The Turkish Residential-Commercial Sector “, Buildind and Environment, 40(2005) 641-645

- [58] URAL A., KILIÇ İ., “Bilimsel Araştırma Süreci ve SPSS ile Veri Analizi” , Ankara 2005
- [59] Balıkesir Doğal Gaz Dağıtım A.Ş. “Balıkesir Şehir Doğal Gaz Dağıtım Projesi Mühendislik Yaklaşımları Raporu”
- [60] [www.balikesir.gov.tr](http://www.balikesir.gov.tr) “Balıkesir Valiliği Sitesi”
- [61] Balıkesir Meteoroloji Müdürlüğü – Günlük Klimatolojik Veriler
- [62] Balıkesir Valiliği “Mahalli Çevre Kurulu Kararları” 2005/07
- [63] Balıkesir Doğal Gaz Dağıtım A.Ş. Verileri-2006 Mart
- [64] Balıkesir Valiliği İl Halk Sağlığı Müdürlüğü “ SO<sub>2</sub> ve PM’ye Ait Günlük hava kirliliği değerleri”
- [65] DİE 2000, Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü
- [66] UTLU Z., HEPBAŞLI A., “Estimating the Energy and Exergy Utilization Effeciencies for the residential-commercial sector: an application”, Energy Policy, 34(2006) 1097-1105
- [67] Tedaş Verileri-Balıkesir İli Merkezi ve İl Geneli Elektrik Tüketiminin Yıllara Göre Değişimi
- [68] SARIKAYA M., “ Balıkesir İlinin Sanayi Coğrafyası” Lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü