

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE FARKLI BİR BAKIŞ: ENERJİ GERİ KAZANIMI

Ziya Söğüt*

Kara Harp Okulu,
Teknik ve Bilgisayar Uygulamaları Merkezi,
Ankara
mzsogut@kho.edu.tr

Zuhul Oktay

Prof. Dr., Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi,
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Rize
zoktay@yahoo.com

Hikmet Karakoç

Prof. Dr., Anadolu Üniversitesi,
Sivil Havacılık Y.O., Eskişehir
hkarakoc@anadolu.edu.tr

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir enerji potansiyeline sahip olmasına karşın, bölgesel farklılıklara bağlı enerjinin sürekliliğinin olmaması, önemli bir problemdir. Sanayi uygulamalarında enerji kullanımının ve neden olduğu emisyon etkilerinin azaltılması için öncelikle enerji geri kazanımının değerlendirilmesi daha gerçekçi olacaktır.

Bu çalışmada öncü sektörlerdeki enerji tasarruf potansiyelleri, ekserjetik yaklaşımla ele alınmış ve geri dönüşüm potansiyelleriyle sağlanabilecek tasarruflar araştırılmıştır. Ayrıca sistemlerde enerji ve ekserji analizlerinin arasındaki farklar da incelenmiştir. Yapılan analizlerde, gerçek tersinmezliklerin belirlendiği ekserjetik kayıpların, enerji analizlerine bağlı kayıplara göre 3,03 katı daha fazla olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonunda bu tür değerlendirmelerde, ekserji analizlerinin tercih edilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, ekserji, enerji tasarrufu, enerji geri kazanımı, yakıt tasarrufu

A Different View of Renewable Energy Systems: Energy Recovery

ABSTRACT

Despite renewable energy sources have high energy potentials; the lack of continuity of energy due to regional differences is an important problem. The evaluation of energy recovery is primarily more realistic for reducing energy use and the emissions effects caused by energy use in industrial applications

In this study, energy-saving potential of the leading sectors are addressed by exergetic approach and the saving potentials can be achieved by recovery potentials are investigated. Besides, the differences between the energy and exergy analysis are also examined. According to the analysis, it is seen that the exergetic losses determined actual irreversibility are higher 3.03 times than the losses depending on the energy analysis. According to the analysis, it is seen that the exergetic losses determined actual irreversibility are higher 3.03 times than the losses depending on the energy analysis. At the end of the study, the need to choose of the exergy analysis in these assessments are emphasized

Keywords: Energy, exergy, energy save, energy recovery, fuel save

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 12.11.2012

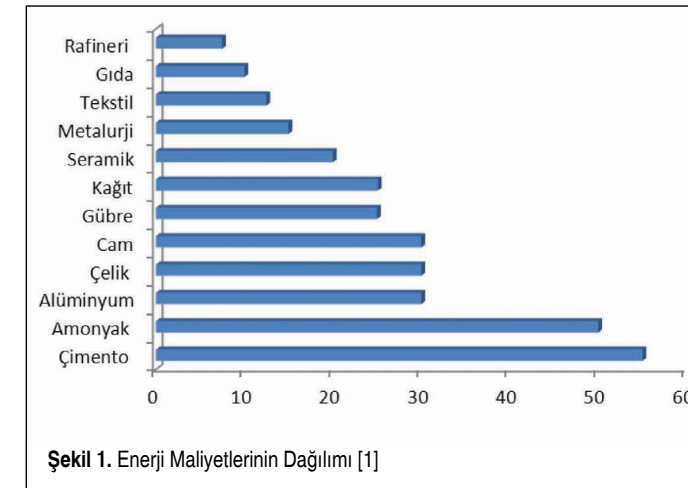
Kabul tarihi : 29.11.2012

21-22 Ekim 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Kayseri'de düzenlenen VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu'nda sunulan bildiri, yazarlarınca güncellenerek ve genişletilerek bu makale hazırlanmıştır.

Söğüt, Z., Oktay, Z., Karakoç, H. 2012. "Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Farklı Bir Bakış: Enerji Geri Kazanımı," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 633, s. 52-59

1. GİRİŞ

Enerji maliyetlerinin doğrudan etkilediği sanayi sektörlerinde enerji, basit bir şekilde toplam üretim maliyetlerine dahil edilir ve ayrı bir kalem olarak dikkate alınmaz. Endüstriyel uygulamalarda enerji maliyetleri toplam üretim maliyetlerinin bir kısmını ve bazen de oldukça önemli bir kısmını teşkil etmekle beraber bu durum çoğu kere yönetimler tarafından çok dikkate alınmadığı görülmektedir. Sektörlere bağlı olarak enerji maliyetlerinin ürün maliyetleri üzerindeki dağılımları Şekil 1'de de görülebilir.



Şekil 1'de görülebileceği gibi; Türkiye'de pek çok sektörde enerji maliyetlerinin ürün maliyetlerini önemli bir oranda etkilediği görülmektedir. Bu oranının çimento, amonyak gibi sektörlerde % 50'leri aşmakta ve en yüksek oranın çimentoda %55'lere ulaşmaktadır [1].

Endüstriyel uygulamalarda teknolojik gelişmelere rağmen dünyada artan nüfusa bağlı talep artışları, kapasite ve yapısal gelişmeleri desteklemekte; bu koşullar ihtiyaç duyulan enerji talebini de arttırmaktadır. Özellikle fosil yakıtlar başta olmak üzere enerji kullanımının neden olduğu olumsuzluklar, çevreyi ve yaşam sürecini etkilemektedir. Bu etkilerin azaltılması amacıyla, çimento, çelik, organik ve kimyasal sektörler, maden işleme prosesleri, güç santralleri gibi pek çok alanda halen kullanılmakta olan ve fosil yakıt tüketen proseslerin neden oldukları küresel etkilerin azaltılmasını hedefleyen pek çok çalışmanın yapıldığı gözlenmektedir. Son yıllara kadar termodinamiğin birinci yasasına dayanan enerji analizleri proseslerin neden olduğu gerçek tersinmezlikler hakkında bizi yanıltmıştır. Bu nedenle sektörel değerlendirmede pek çok sistem verimli prosesler olarak görülmüştür. Oysa proseslerin değerlendirilmesinde ikinci kanuna bağlı ekserji analizlerinin temel alınması; gerçek tersinmezliklerin görülmesine yol açacak, bu da enerji geri kazanımında daha verimli çalışmalara katkı sağlayacaktır.

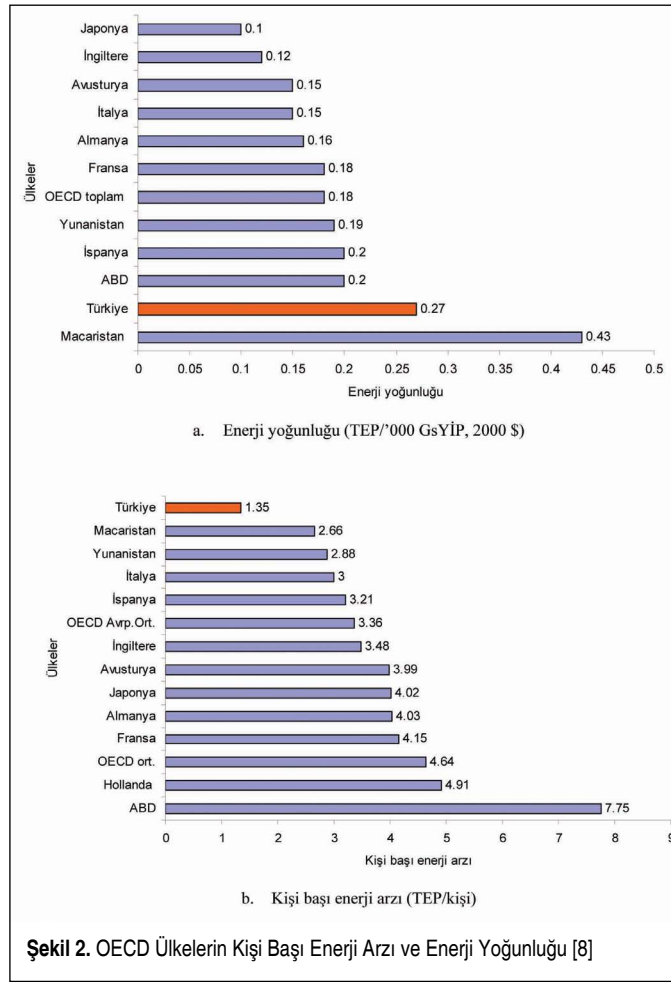
Referans alınan çevre koşullarında; sistemde elde edilebilecek en fazla iş olarak tanımlanan ekserji, kütle ve enerji akışında niteliğin bir ölçüsüdür [2,3]. Ekserji analizi endüstriyel sistemler için etkili bir kavramdır ve modern termodinamik yöntemlerde gelişmiş bir araç olarak kullanılır. Ekserji analizlerinin temel amacı ısı ve kimyasal sistemlerde eksiklerin önemini nicel tahmin etmek ve nedenlerini araştırmaktır. Ekserji analizleri, farklı termodinamik faktörlerin önemini karşılaştırılması, süreç etkileri üzerine termodinamik şartların etkilerinin iyi anlaşılması ve değerlendirilen sürecin geliştirilmesinin en etkili çözümlerin tanımlanması için bir yol göstericidir [4]. Ekserjiyi doğru anlamak ve sağlanabilecek bilgilerin verimliliğe ve çevresel etkilere katkısını değerlendirebilmek; sürdürülebilir enerji sistemleri alanında çalışan bilim adamı ve mühendisler için bir gerekliliktir. Bu kapsamda yürütülen araştırmalarda, ekserji ve enerji politikalarının oluşumunda; sürdürülebilir gelişme, enerji, çevre ve ekserji arasındaki bağlantılar vurgulanmıştır [5,6].

Fosil yakıtların sınırsız olmaması yanında emisyonlara bağlı neden oldukları çevresel problemlerin azaltılmasında, temiz enerji kaynaklarının kullanımı yanında; enerji tüketen termal proseslerde verimliliğin doğrudan veya geri dönüşüm sistemleriyle dolaylı artırılması da önemli bir aşamadır. Bu çalışmada temel alınan endüstriyel proseslerde, ekserji analizlerine bağlı tersinmezlikler dikkate alınarak; sistemlerde geri dönüşüm potansiyelleri ve bunların süreçte sağlayacağı yakıt tasarruf potansiyelleri ile bu parametrelerin neden ekserjetik parametrelere bağlı hesaplanması gerektiği incelenmiştir.

2. TÜRKİYE'DE ENERJİ TÜKETİMİ VE PROJEKSİYONU

2008 yılında Türkiye'de toplam birincil enerji tüketimi 106,3 milyon TEP [4], üretimi ise 29,2 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Enerji arzında yüzde 32'lik pay ile doğal gaz ilk sırayı alırken, doğal gazı yüzde 29,9 ile petrol, yüzde 29,5 ile kömür izlemiş, yüzde 8,6'lık bölüm ise hidrolik dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır [7].

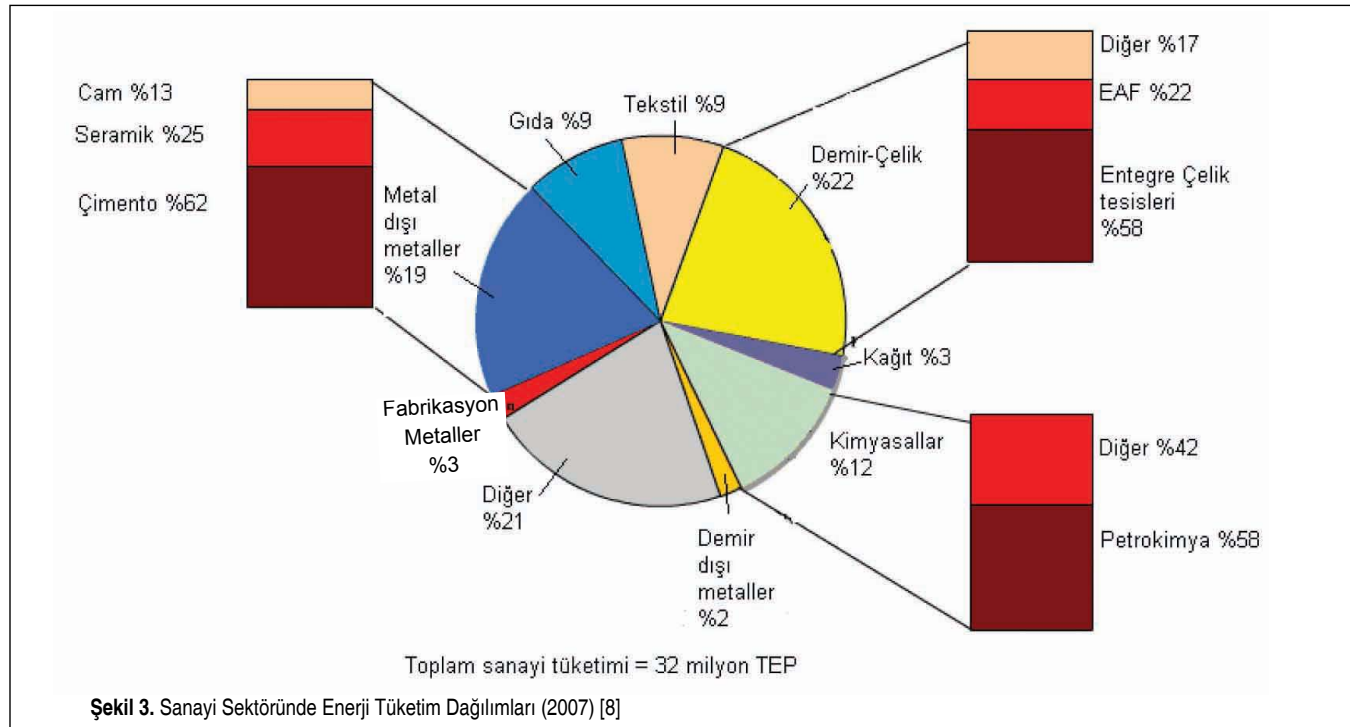
Kişi başı primer enerji arzı ortalamasının 4.64 TEP olduğu OECD ülkelerle karşılaştırıldığında; Türkiye'de 1,35 TEP ile oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ancak Türkiye enerji yoğunluğu yüksek bir ülkedir. OECD ülkeleriyle karşılaştırıldığında enerji yoğunluğunun %10 daha yüksek, Almanya ve İtalya ile karşılaştırıldığında sırasıyla %25, %35 daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum bile Türkiye'de enerji verimliliğinin iyileştirilmesi için bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin OECD ülkeleriyle değerlendirilmesi yönüyle kişi başına enerji arzı ve enerji yoğunluğu dağılımları Şekil 2'de verilmiştir [8].



Şekil 2. OECD Ülkelerin Kişi Başı Enerji Arzı ve Enerji Yoğunluğu [8]

Enerji verimliliği, sanayi kuruluşlarının çevre performans gelişmelerini etkileyen en hızlı ve en ekonomik yollardan biridir. Enerji maliyetinin yüksek olduğu sanayi kuruluşlarında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve düşük maliyet sağlamak kaçınılmaz olmuştur [9]. Bu nedenle sanayi kuruluşlarının; bünyelerinde enerji kullanımını yönlendirecek ve sağlanacak enerji tasarrufları sayesinde işletmelerde verimi ve kârlılığı arttıracak enerji yönetim teşkilatlarını oluşturmaları zorunluluk haline gelmiştir.

Türkiye’de enerji tasarrufu çalışmalarını desteklemek amacıyla mevzuat çalışmalarının 1995 yılından itibaren artan bir seyirde gerçekleştiği bilinmektedir. 1995 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yayınladığı “Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması İçin Alacakları Önlemler” başlıklı Yönetmelik’e göre, enerji tüketimi 2000 TEP’e eşit ve büyük olan tüm fabrikaların, enerji tüketimi verimliliğinin artırılması amacıyla Enerji Yönetimi Sistemini oluşturmaları istenmiştir [10]. 1997 yılında Başbakanlığın kamu kuruluşlarının için yayınladığı genelgeye göre, tüm kamu kuruluşlarının tüketim aşamasında söz konusu enerjinin verimli kullanılması konusunda, şube müdürlükleri oluşturmaları ve 1995 yılında yayımlanan yönetmeliğe uygun faaliyet sürdürmeleri istenmiştir [11]. 2000 yılında elektrikli ev aletlerinde enerji verimlilik etiketlerinin kullanılmasıyla birlikte sanayi dışı binalarda önerilen ısı jeneratörlerinin kullanılmasına ilişkin yönetmelik yürürlüğe girmiştir. 2003 yılında binek arabalarda yakıt ekonomisi ve CO₂ emisyonuna yönelik bilgilendirme yönetmelikleriyle de-



Şekil 3. Sanayi Sektöründe Enerji Tüketim Dağılımları (2007) [8]

vam eden süreç, 2007 yılında enerji verimliliği kanununun çıkartılmasıyla devam etmiştir. Bu kanunla birlikte, ülkede enerji verimlilik çalışmaları ve çevre bilincinin oluşturulması konularını kapsayan tüm faaliyetler, oluşturulan Enerji Verimlilik Koordinasyon Kurulu bünyesinde bütünleştirilmiş bir yapıya kavuşmuştur [12].

Sanayi sektörüne yönelik yapılan çalışmalar, demir-çelik sektöründe elektrikte %21, ısıda %19; çimento sektöründe, %7; tekstil sektöründe elektrikte %57, ısıda %30; kağıt sektöründe elektrik tüketiminde %22, yakıt tüketiminde ise %21; seramik sektöründe genel olarak %15–20 mertebelerinde enerji tasarrufu potansiyelinin olduğunu ortaya koymaktadır. 1998-2008 döneminde Türkiye’nin toplam nihai enerji tüketimindeki yıllık ortalama artış oranı %3,81’dir. Aynı dönem için yıllık ortalama artışların sanayi sektöründe %3,56; konut sektöründe %3,49; ulaştırma sektöründe %4,07 hizmet sektöründe ise %7,44 civarında olduğu görülmektedir [13]. Türkiye’de sanayi sektörleri arasında demir çelik ve metal dışı maden sektörlerinin enerji tüketim dağılımlarında önemli bir yeri vardır. Sanayi sektörlerin enerji tüketim dağılımları Şekil 3’te verilmiştir.

Demir çelik ve metal dışı ürünlerin enerji tüketim paylarının toplamı %41’dir. Petrokimya endüstrisini içinde barındıran kimya sektörü de %12 ile önemli bir paya sahiptir. Bu parametrelerin ışığında Türkiye’de sektörlere yönelik verimlilik çalışmaları her yönüyle değerlendirilmelidir [8]. Yapılan projeksiyonlara göre birincil enerji tüketimimizin, referans senaryo çerçevesinde, 2020 yılına kadar olan dönemde de yıllık ortalama yüzde dört oranında artması beklenmektedir [14]. Türkiye’nin strateji planına göre 2023 yılında Türkiye’nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) veya referans senaryoya göre tahmin edilen toplam birincil enerji ihtiyacının en az %20 azaltılması hedeflenmektedir [13].

3. TEORİK ANALİZ

Termodinamik açıdan sürekli akışlı açık sistem olarak çalışan bu ve benzer sistemlerde enerji ve ekserji analizlerin yapılabilmesi için öncelikle prosese giren ve çıkan maddelerin sıcaklık, özgül ısı kapasitesi ve kütledebileri ile çevre şartlarının tanımlanması gerekir. Buna göre sistemde giren ve çıkan maddeler için oluşturulan kütle dengesi [15];

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Ekserji bir sistemde iş yapabilme yeteneğini ifade etmektedir. Bir proseste genel ekserji dengesi [16];

$$E_x = E_{xk} + E_{xp} + E_{xfiz} + E_{xkim} \quad (2)$$

Burada E_k kinetik ekserjiyi, E_p potansiyel ekserji, E_{fiz} fiziksel ekserji, E_{kim} kimyasal ekserjiyi ifade etmektedir. Sürekli akışlı açık sistemde ekserji dengesi;

$$\sum \dot{E}x_g - \sum \dot{E}x_ç = \sum \dot{I} \quad (3)$$

olarak yazılabilir [17]. $\sum \dot{E}x_g$ giren ekserjiyi, $\sum \dot{E}x_ç$ çıkan ekserjiyi, $\sum \dot{I}$ tüketilen ekserjiyi ifade eder. Potansiyel, kinetik ve kimyasal ekserjiler, ihmal edilmesi durumunda denklem (5);

$$\sum (1 - \frac{T_0}{T_l}) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_ç \psi_ç = \sum \dot{I} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada \dot{Q}_k , \dot{T}_k ürün sıcaklığında sistem sınırlarından geçen ısı transfer oranı, \dot{W} iş miktarı, akış ekserjisi, s entropi, 0 indisi ise çevrenin ölü hâl (P_0 ve T_0) şartlarındaki durumu ifade etmektedir. Bu durumda akış ekserjisi;

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Oluşan analizlere bağlı olarak prosesin enerji verimliliği;

$$\eta_l = \frac{\sum \dot{E}x_ç}{\sum \dot{E}x_g} \quad (6)$$

denklemlerle bulunur. Burada $\sum \dot{E}x_ç$ prosesten çıkan toplam enerjiyi, $\sum \dot{E}x_g$ prosese giren toplam enerjiyi gösterir. Prosesin ekserji verimliliği ise;

$$\eta_{II} = \frac{\sum \dot{E}x_ç}{\sum \dot{E}x_g} \quad (7)$$

denklemlerle hesaplanır [18]. $\sum \dot{E}x_ç$ prosesten çıkan toplam ekserjiyi, $\sum \dot{E}x_g$ ise prosese giren toplam ekserjiyi ifade etmektedir.

Bir proses veya sistem için ekserji verimliliğinde maksimum gelişme, açıkça ekserji kayıplarının minimum olduğu zaman gerçekleşir. Bu nedenle farklı proses veya sektörlerin ekonomilerinin analiz edildiğinde, gelişim potansiyeli için ekserji konseptinin kullanımı önerilmiştir [19]. Hammond ve Stapleton tarafından sistemlerin gelişim potansiyellerinin oranı (IP) geliştirilmiştir [20].

$$IP = (1 - \eta_{II}) \sum (\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out}) \quad (8)$$

Bir sistemde ekserjetik kayıplar ekserjetik ve geri dönüşemeyen potansiyele bağlı olarak tanımlanabilir. Bu durumda, bir termal sistem için ekserjetik kayıplar;

$$\sum \dot{E}x_{\text{losses}} = IP + \dot{E}x_I \quad (9)$$

burada $\sum Ex_{\text{losses}}$ termal sistemlerdeki toplam kayıpları, Ex_I ekserji tüketiminde geri dönüşmeyen potansiyeli tanımlar.

4. ENERJİ GERİ KAZANIMININ SEKTÖREL DEĞERLENDİRMESİ

Endüstriyel proseslerde kayıp enerjinin yarattığı en büyük etki, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de çevresel ve ekonomik parametreler yönüyle önemlidir. Bu tür proseslerde enerjinin verimli kullanımı başta yakıt maliyetleri olmak üzere ürün maliyetini doğrudan azaltacaktır. Termal proseslerde enerjinin verimli kullanımıyla birlikte atık enerjinin geri kazanımı da bu tür katkıyı dolaylı olarak yaratacaktır.

Tablo 1. Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerinin Optimum Çalışma Sıcaklıkları [21]

Yüksek Sıcaklık	Orta Sıcaklık	Düşük Sıcaklık
649 °C - 1093 °C	121 °C - 649 °C	0 °C - 121 °C
Radyasyon Reküperatörler	Isı boruları	Isı pompaları
Refrakter Rejenaratörler	Pasif gaz rejenaratörleri	Absorbsiyonlu soğutma
Seramik ısı dönüştürücüler	Ekonomizörler	
Konveksiyon Reküperatörler	Atık ısı boylerleri	
	Atık ısı güç sistemleri	
	Gaz ve buhar	

Tablo 2. İncelenen Sektörlere Ait Referans Parametreleri

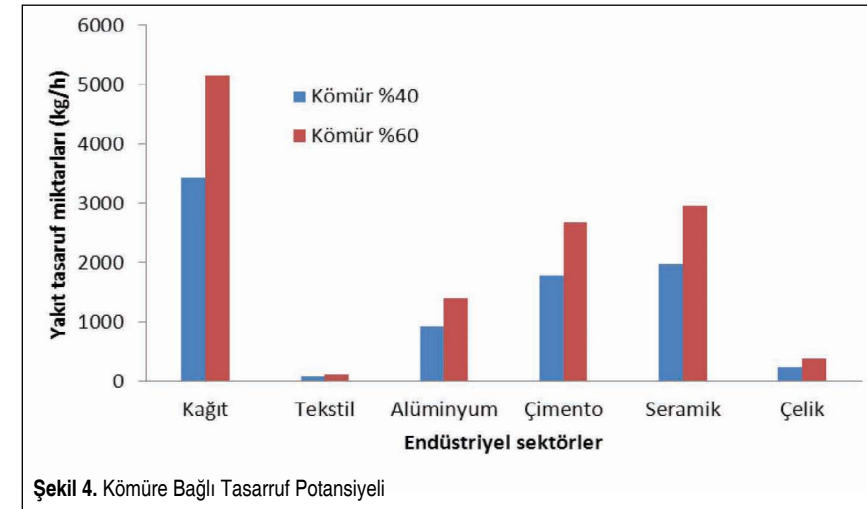
Endüstri	Ekserji kayıpları MJ/h	Ekserji verimi η_q	Geliştirme potansiyeli MJ/h	Atık ısı geri kazanım proseslerinin verim oranına göre geliştirme potansiyelleri	
				Min%40	Maks%60
Kağıt	274860.00	0.217	59644.62	86086.15	129129.23
Tekstil	6597.36	0.218	1438.22	2063.65	3095.48
Alüminyum	72381.39	0.193	13991.32	23356.03	35034.04
Çimento	217730.00	0.485	105599.05	44852.38	67278.57
Seramik	147221.84	0.160	71402.59	49466.54	74199.81
Çelik	27852.03	0.430	13508.24	6348.70	9523.06

Endüstriyel uygulamalarda sistemlerde, yakıt tüketimini azaltmak ve maliyetleri düşürmek için geliştirilmiş pek çok farklı yöntemle sahip ısı geri kazanım sistemleri vardır. Bu sistemler proseslerde; baca gazlarını, buhar akışlarında ısı enerjisini, ekipmanların dış yüzeylerinden kaybolan iletimle ve taşınım ile ısı akımını, proseslerden çıkan ürünlerde depolanmış ısıları, proseslerde kullanılan ve sistemden uzaklaştırılan sıvı ve gazları ısı kaynağı olarak kullanırlar. Uygulamalarda bu sistemler, atık enerji kaynağının kalitesine ve sıcaklığına bağlı olarak pek çok isim alır. Tablo 1’de bunlara ait örnekler verilmiştir.

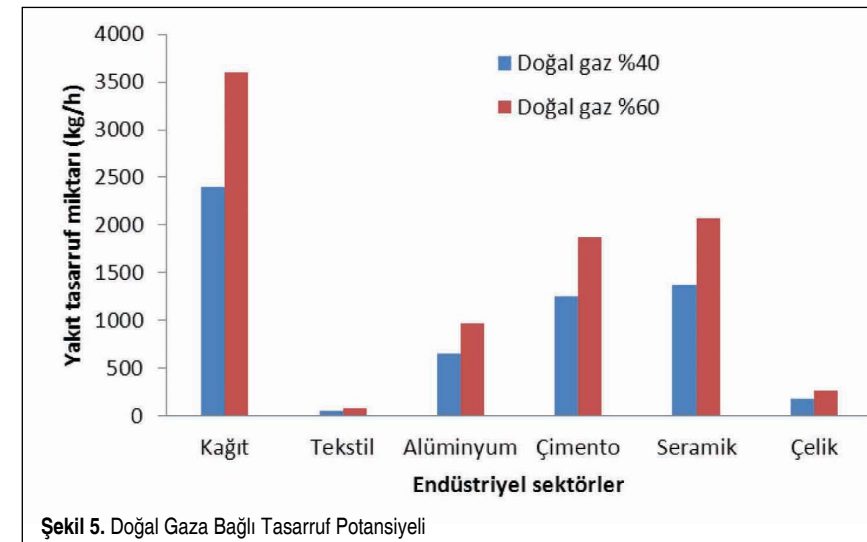
Tablo 1’de ifade edilen geri kazanım sistemlerine endüstriyel uygulamalarda rastlanmaktadır. Ancak bunlara yönelik kapasitif çalışmalarda enerji analizlerinin temel alındığı görülmektedir. Atık ısının geri kazanımının ekserjiye bağlı olarak çevresel ve ekonomik parametrelerini değerlendirebilmek amacıyla Türkiye’de endüstrinin tükettiği toplam enerjinin % 70.61 değerine sahip demir çelik, çimento, kağıt, seramik ve alüminyum sektörleri incelenmiştir. Bu amaçla literatürde örnek çalışmalarda gerçek verilerden yararlanılmıştır [22-27]. İncelenen sektörlere ait referans parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

İncelenen proseslerdeki ekserji kayıpları dikkate alınarak geliştirme potansiyelleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tablo 1’de verilen atık ısı geri kazanım sistemlerine ait ekserjetik verimlerin %40 ile %60 aralığında değiştiği kabul edilmiştir. Çalışmada geliştirme potansiyellerinin atık ısı geri kazanımı proseslerinin en düşük %40 ve en yüksek %60 ekserji verim potansiyelleri için iki ayrı duruma göre analizler yapılmıştır.

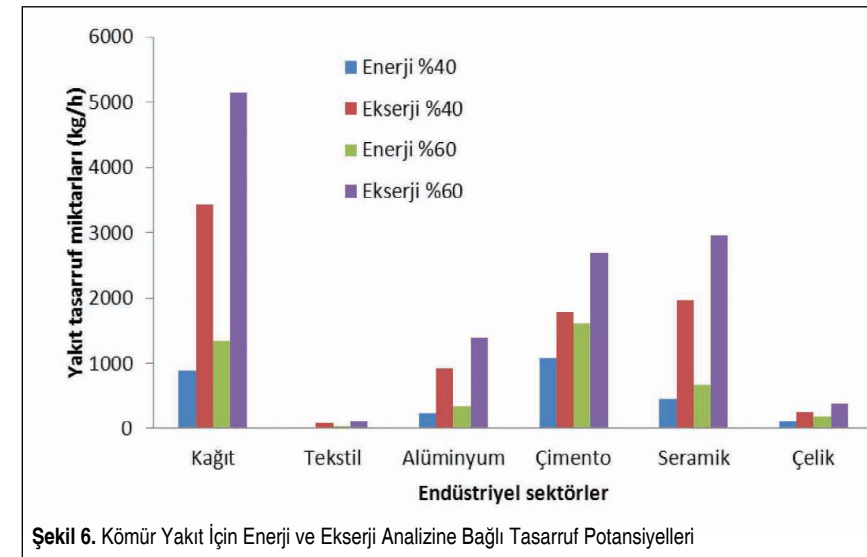
Türkiye’deki endüstriyel uygulamalarda yakıt olarak çoğunlukla kömür ve doğal gaz kullanılmaktadır. Geri dönüşüm potansiyelinin bir atık ısı sistemiyle geri kazanılması durumun-



Şekil 4. Kömüre Bağlı Tasarruf Potansiyeli



Şekil 5. Doğal Gazla Bağlı Tasarruf Potansiyeli



Şekil 6. Kömür Yakıt İçin Enerji ve Ekserji Analizine Bağlı Tasarruf Potansiyelleri

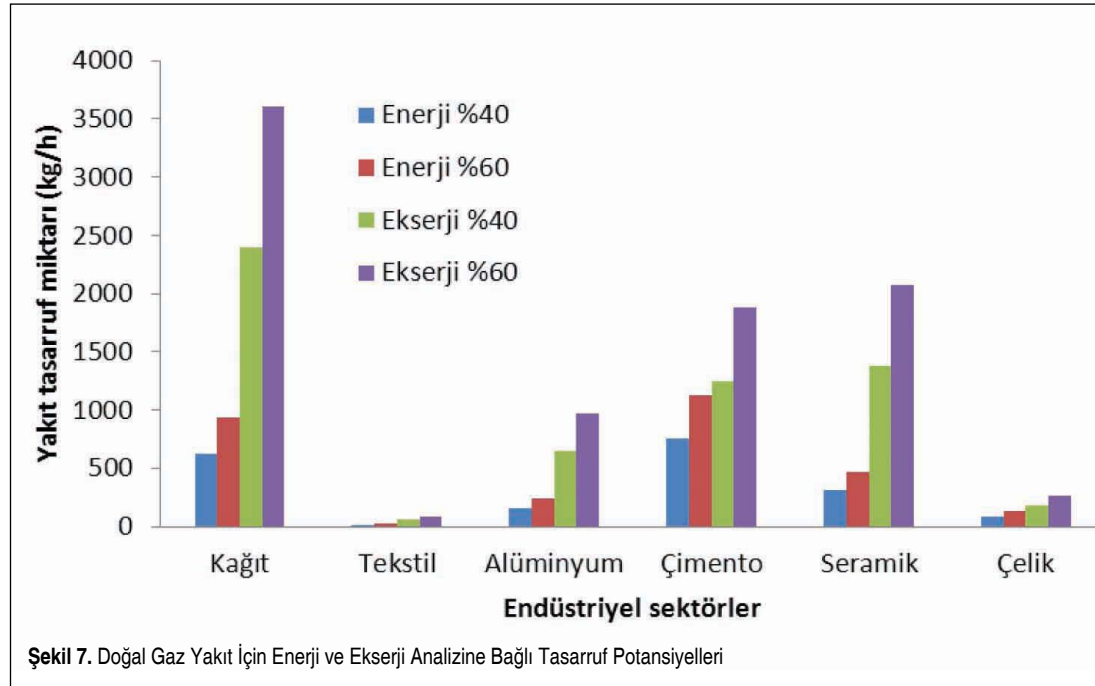
da iki verim parametresine göre sağlanan yakıt tasarrufu ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre kömür için tasarruf potansiyeli Şekil 4’te verilmiştir.

Gerici dönüşüm potansiyeline bağlı olarak geri kazanım proseslerinin kömür yakıt karşılığı referans alındığında kömür tasarruf potansiyelinin %40 verimli sistemler için %21,14, %60 verimli sistemler için bu oranın % 31,71 olduğu görülmüştür. Benzer değerlendirme doğal gaz için yapılmıştır. Yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda sağlanacak tasarruf miktarları Şekil 5’te verilmiştir.

Doğal gazın referans alınması durumunda endüstriyel proseslerde gelişim potansiyeline bağlı tasarruf potansiyelinin verim değerlerine göre kömürle paralel göstermektedir. Çalışmada referans alınan sektörler arasında en düşük ekserji verimine sahip alüminyum sektöründe tasarruf potansiyelinin yakıt türü ile %40 verimde %26,04, %60 verimde %39,05 oranına ulaştığı görülmüştür.

Ekserjetik potansiyele bağlı yapılan analizlerle sistemlerin enerji analizlerine bağlı yapılan analizleri arasındaki farklar değerlendirildiğinde, sonuçlar açısından her iki yöntem arasında oldukça önemli farklar göze çarpmaktadır. Çalışmada incelenen sektörlerin enerji analizleri farklı uygulamalar dikkate alınarak incelenmiş, bu çalışmada ortalama enerji verimleri %80-85 aralığında kabul edilerek enerji analizleri ve enerji kayıpları hesaplanmış, sonuçlar ekserji performanslarıyla karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme her iki yakıt türü için ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 6’da kömür yakıt referans alınarak %40 ve %60 verim için enerji ve ekserji analizlerine bağlı tasarruf potansiyelleri verilmiştir.

Enerji ve ekserji analizlerine bağlı olarak prosese giren toplam enerjiye bağlı kömürün, tasarruf potansiyeli %40 verime sahip geri kazanım sistemleri için %6,4, %60 verime sahip potansiyellerde ise bu oran %9,6 olarak bulunmuştur. Ekserji analizlerine göre ise yakıt tasarruf potansiyelleri %40 verime sahip prosesler için %19,36, %60 verime sahip prosesler için %29,04 olarak



Şekil 7. Doğal Gaz Yakıt İçin Enerji ve Ekserji Analizine Bağlı Tasarruf Potansiyelleri

hesaplanmıştır. Benzer sonuçlar doğal gaz için bulunmuştur. Doğal gazın enerji ve ekserji analizlerine bağlı dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada ekserjetik yaklaşımla başta çimento olmak üzere demir çelik, kağıt, seramik ve tekstil sektörlerinin enerji tasarruf potansiyelleri ele alınmış ve geri dönüşüm potansiyelleriyle sağlanabilecek yakıt tasarrufları araştırılmıştır. Çalışmada geri dönüşüm potansiyelinin %40 ve %60 geri dönüşüm potansiyeline karşın enerji ve ekserji analizleri değerlendirilmiştir. Buna göre bu tür sektörlerde kömüre bağlı tasarruf potansiyeli ortalama %21,14 ile %31,71 aralığında, doğal gazda ise bu oran ortalama %26,04 ile %39,05 aralığında bulunmuştur. Ekserji analizleri ile sistemlerde gerçek tersinmezliklerin oranının enerji analizlerine göre 3.03 katı daha fazla olduğu görülmüştür. Bu tür sistemlerde geri kazanım potansiyellerinin doğru tespit edilmesi; sistemlerde değerlendirilen geri dönüşüm kapasitesinin, maliyet, amortisman ve enerji maliyetlerine etkisinin analizinde çok önemli bir araç olacaktır. Bu nedenle analizlerde ekserji analizlerini kullanmak, prosesin neden olduğu gerçek tersinmezliklerin tespitinde önemli bir ölçüt olacaktır.

SEMBOLLER

\dot{E}	Enerji (kJ/h)
\dot{E}_x	Ekserji (kJ/h)
h	Özgül entalpi (kJ/kg)

\dot{I}	Ekserji tüketimi (kJ/h)
m	Kütle (kg/h)
\dot{Q}	Isı transferi (kJ/h)
s	Özgül entropi (kJ/kgK)
T	Sıcaklık (K)
\dot{W}	İş (kJ/h)
ΔH	Entalpi farkı (kJ)
ΔS	Entropi farkı (kJ/K)
Ψ	Akış ekserjisi (kJ)
η_I	Enerji verimliliği (birinci kanun)
η_{II}	Ekserji verimliliği (ikinci kanun)

İndisler

g	giren
k	kinetik
ζ	çıkan
f	Fiziksel
kim	Kimyasal
p	Potansiyel
l	Ürün sıcaklığı
0	Çevre sıcaklığı
net	Toplam ısı

KAYNAKÇA

- Kedici, Ö.** 1993. Enerji Yönetimi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Enerji Kaynakları Etüt İdaresi Başkanlığı Eğitim Yayınları, Ankara.
- Schlinel, P., Kasteren, P.A.J.V.** 1998. "Exergy Analysis - A Tool for Sustainable Technology - in Engineering Education," Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- Dinçer, İ., Rosen, M. A.** 2005. "Thermodynamics aspects of renewable and sustainable development," Renewable & Sustainable Energy Reviews, 9, p.169-189
- Szargut, J., Morris, D.R., Steward, F.R.** 1988. "Exergy Analysis of Thermal and Metallurgical Processes," Hemisphere Publishing Corporation, USA TJ 265, s. 958
- Dinçer, İ.** 2000. "Thermodynamics, Exergy and Environmental Impact," Energy Sources, 22, p.723-732
- Dinçer, İ.** 2002. "The Role of Exergy in Energy Policy Making," Energy Policy, 30, p.137-149
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sitesi, <http://www.enerji.gov.tr/>
- Dünya Bankası. 2011. "Türkiye'de Enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak," Dünya Bankası Sürdürülebilir Kalkınma Bölümü, Ocak 2011, 52210-TR, s. 5
- Özdabak, A., Ertem, M.E.** "Enerji Yönetim Teknikleri," Erdemir Demir Çelik Fabrikaları, Karabük, s. 9-13
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1995. "Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması İçin Alacakları Önlemler Hakkında Yönetmelik"
- Başbakanlık Personel ve Prensipler Genel Müdürlüğü'nün B.02.0.PPG.0.12-383-25889 sayı ve 11.11.1997 tarihli genelgesi
- Keskin, T.** 2007. "Enerji Verimlilik Kanunu ve Uygulama Süreci," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 48, sayı 569, s.106-112
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2011-2023" Elektrik İşleri Etüt İdaresi Enerji Verimliliği Portalı, <http://enver.eie.gov.tr/ENVER.portal>
- WWF. 2011. Enerji Verimliliği ve İklim Değişikliği, Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı, ISBN: 978-605-61279-3-9, www.wwf.org.tr, s.12,13
- Söğüt, Z., Oktay, Z.** 2006. "Energy and Exergy Analyses in Thermal Process of Production Line of Cement Factory and Application," Igec-2 International Green Energy Conference, Ontario Institute of Technology (UOIT), 25-29 June, Canada
- Szargut, J., Morris, D.R., Steward, F.R.** 1988. Exergy Analysis of Thermal and Metallurgical Processes, Hemisphere Publishing Corporation
- Söğüt, Z.** 2005. "Çimento Fabrikasında Enerji Taraması ve Üretim Hattı Isı Proseslerinde Enerji ve Ekserji Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir
- Cornelissen, R.L.** 1997. Thermodynamics and Sustainable Development: The Use of Exergy Analysis and the Reduction of Irreversibility, Ph.D thesis, University of Twente, The Netherlands
- Van Gool, W.** 1997. "Energy Policy: Fairly Tales and Facts," in: O.D.D. Soares, A. Martins da Cruz, G. Costa Pereira, I.M.R.T. Soares, A.J.P.S. Reis (Eds.), "Innovation and Technology—Strategies and Policies, Kluwer, Dordrecht, p.93-105.
- Hammond, G.P., Stapleton, A.J.** 2001. "Exergy Analysis of the United Kingdom Energy System," Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, 215 (2), p.141-162
- Latour, S.R., Menningmann, J.G., Blaney, L.** 1982. "Waste Heat Recovery Potential in Selected Industries-Project Summary," Environmental Protection Agency, Industrial Environmental Research Laboratory, EPA- 600/S7-82-030, USA
- Pulat, E., Etemoglu, A.B., Can, M.** 2009. Waste Heat Recovery Potential in Turkish Textile Industry: Case Study for City of Bursa, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, p.663-672
- Yanpeng, W., Xiaoqi, P., Jianzhi, Z., Yanpo, S., Shimin, L.** 2011. "Thermal Analysis and Exergy Analysis of Evaporation Process in Alumina Refinery," International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, DOI 10.1109/CDCEM.2011.540
- Utlu, Z., Hepbasli, A., Turan, M.** 2011. "Bir Endüstriyel Kurutucu Fırının Termodinamik Analizi," TMMOB Makina Mühendisleri Odası, X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, İzmir
- Hazi, A., Badea, A., Hazi, Gh., Necula, H., Grigore, R.** 2009. "Exergy Evaluation of Renewable Use in the Pulp and Paper Industry," IEEE Bucharest Power Tech Conference, June 28th-July 2nd, Bucharest, Romania, <http://ieeexplore.ieee.org/>
- Chen, X., Zhang, Y., Zhang, S., Chen, Y., Liu, S.** 2007. "Exergy Analysis of Iron and Steel Eco-Industrial Systems," The Third International Exergy, Energy and Environment Symposium
- Söğüt, Z., Oktay, Z., Karakoç, H.** 2010. "Mathematical Modelling of Heat Recovery from a Rotary Kiln," Applied Thermal Engineering, 30, p.817-825