
Araştırma Makalesi / Research Article

Bir Mobilya Fabrikasındaki Doğal Gaz Yakıtlı Kazanın Ekserji Analizi

Abdulsamed GÜNEŞ¹, Gülşah ÇAKMAK^{2*}

¹Fırat Üniversitesi Elazığ Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Elazığ,

²Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ
(ORCID: 0000-0002-8652-3720) (ORCID: 0000-0001-6809-2421)

Öz

Dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak, enerji tüketim miktarlarındaki artış sınırlı enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Kullanmakta olduğu enerjinin büyük bir bölümünü ithal etmekte olan ülkemizin genel enerji tüketimi içerisinde ısıtma ve soğutma sistemlerinin payı önemli bir yer kaplamaktadır. Bu sistemlere ekserji analizinin uygulanması sistem veriminin değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Bu çalışmada, Elazığ'da bulunan bir mobilya fabrikasında yakıt olarak doğal gaza dönüştürülen bir buhar kazanına termodinamiğin ikinci kanunu uygulanarak ekserji analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu buhar kazanı ekserji kaybı 15678,19 kW, ekserji verimi ise %56 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Doğalgaz, Tesisat, Endüstriyel, Dönüşüm, Ekserji.

Exercise Analysis of Natural Gas Fuel Boiler of a Furniture Plant

Abstract

In parallel with the technological developments in the world, the increase in the amount of energy consumption has revealed the necessity of more efficient use of limited energy resources. The share of heating and cooling systems in the overall energy consumption of our country, which imports a large part of the energy it is using, occupies an important place. Exergy analysis is an important parameter in the evaluation of system efficiency. In this study, exergy analysis was performed by applying the second law of thermodynamics to a steam boiler which was converted into natural gas as a fuel in a furniture factory in Elazığ. As a result of the analysis, the exergy loss of the boiler was calculated as 15678,19 kW and the exergy yield was 56%.

Keywords Natural gas, Installation, Industrial, Transformation, Exergy.

1. Giriş

Dünyadaki teknolojik gelişmelerle birlikte enerji tüketim miktarlarındaki artış enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını gerekli hale getirmiştir. Hava kirliliğinin de önemli bir sorun haline geldiği günümüzde yakıt olarak katı ve sıvı yakıt kullanan kazanların doğal gaza dönüşümü hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Doğal gaz yer kabuğunun içindeki fosil kaynaklı bir çeşit yanıcı gaz karışımıdır. Doğal gazın büyük bölümü, metan gazı adı verilen hidrokarbon bileşiğinden oluşur. Diğer bileşenleri; etan, propan, bütan gazlarıdır. Doğalgaz kullanımından sonra açığa çıkan atık gaz içindeki karbon dioksit (CO₂) miktarı diğer yakıtların yanması sonucu açığa çıkan atık gazlara göre minimum miktardadır.

Tesislerin hayati alanı olan termik santrallerde teknik donanımlar ve yakıt harcamaları önemli bir yer tutmaktadır. Doğal gaz sanayide doğrudan işlemlerde veya termik santrallerde enerji üretiminde diğer yakıtlara alternatif olarak kullanılmaktadır. Yavuz, doğal gazın ülkemizde sanayi tesislerinde de kullanılmaya başlanması sonucu gerek duyulan endüstriyel tesislerin doğal gaza dönüşümü esaslarını ayrıntılı ve pratik örneklerle açıklamıştır [1]. Tezcan, endüstriyel ve büyük

*Sorumlu yazar: gulcakmak@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.11.2019, Kabul Tarihi: 27.11.2019

tüketimli tesislerin doğal gaz projelendirme ve dönüşüm teknikleri adı altındaki çalışması ile bu alandaki projelendirmeye katkıda bulunmuştur [2].

Enerjinin niteliğini tespit etmek ve sistem tasarımını optimum verimde yapmak için, termodinamiğin ikinci kanunu çerçevesinde sisteme ekserji analizi uygulanır. Bu analizlerde temel amaç yüksek verim elde etmektir ve buna bağlı olarak kullanılan yakıtın istenilen enerjiye en yüksek oranda çevrilmesi amaçlanır. Bilindiği üzere yakıttan elde edilen enerjinin tamamını istediğimiz iş yapabilme yetkisi olan enerjiye dönüştürmek imkânsızdır. Bu nedenle sistemde meydana gelen tersinmezliklerin tespit edilmesi gerekir. Bahsi geçen ekserji analizleri ile bu tersinmezliklerin neden olduğu yerler tespit edilerek sonuca ulaşılır. Konu ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcut olup bu çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir. Çengel ve Boles [3], termodinamiğin birinci ve ikinci kanununun çalışılan sistemlere uygulanarak sistemin enerji ve ekserji analizlerinin yapılmasının sistem veriminin değerlendirilmesinde en gerekli parametreler olduğunu örneklerle açıklamışlardır. Ahmadi ve Toghray [4], termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarının uygulandığı türbin, yoğunlaştırıcı ve buhar kazanının projenin optimizasyonu amacıyla yapılan analizler sonucu tespit ettikleri verimlilik değerlerinin gaz yakıt ile çalışan kazanlarda katı ve sıvı yakıtlı kazanlara oranla daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Saidur ve arkadaşları [5], ikinci kanun veya ekserji veriminin kullanılabilir maksimum enerji kavramının analiz edilmesiyle mevcut toplam enerjiden en fazla yararlanma oranı olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda verimi; çıkan ekserjinin girenlere oranı olarak belirtmişlerdir. Kayıp ekserjinin ise tersinmezliğe eşit olduğunu, yani sisteme giren toplam ekserjinin çıkan enerji ile tersinmezlik miktarının toplamı olduğunu açıklamışlardır.

Dinçer ve Al Muslim [6], tarafından Rankine çevrimi ile çalışan güç santrallerine termodinamik analizler yapılarak sisteme enerji ve ekserji analizleri uygulanmış ve sistem değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada, kazan sıcaklığı ve basıncı, yakıt farklılığı ve debi gibi farklı parametrelere sahip kazanlarda elde edilen enerji ve ekserji verimleri, katalog ve literatür çalışmalarıyla kıyaslanmış ve değerlendirmeler yapılmıştır. Sistemlerin verim artırımı ve optimizasyonunda enerji ve ekserji analizlerinin yüksek oranda gereklilik arz ettiği belirtilmiştir. Çomaklı ve Terhan [7], atık baca gazındaki kayıp ısıdan yararlanmak ve bu ısıdan santrale yakın bir binanın ısıtılması amacıyla doğal gaz yakıtlı bir kazandan çıkan baca gazının ekserji analizini yaparak; yapılacak olan projenin verimliliğini hesaplamışlardır. Şahin ve arkadaşları [8], Karabük Demir Çelik Fabrikasındaki güç santraline enerji ve ekserji analizlerini uygulamış ve bu analizler sonucunda her bir ünitenin enerji kayıpları ve tersinmezliklerini belirlemişlerdir. Ayrıca üniteler tersinmezliklere göre karşılaştırılmış ve verim artırıcı bazı önemli öneriler yapılmıştır.

Bu çalışmada; Elazığ'da bulunan yüksek enerji tüketimli bir mobilya fabrikasında doğal gaza dönüşümü yapılan bir kazanda gerçekleştirilen dönüşümün faydasını tespit etmek için ekserji analizi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bilindiği üzere yakıttan elde edilen enerjinin tamamını istediğimiz iş yapabilme yetkisi olan enerjiye dönüştürmek imkânsızdır. Bu nedenle sistemde meydana gelen tersinmezliklerin tespit edilmesi gerekir. Bahsi geçen ekserji analizi ile de bu tersinmezliklerin neden olduğu yerler tespit edilir ve bu şekilde sonuca ulaşılır.

Termodinamiğin ikinci kanunu enerjinin niteliğini, iş yapabilme kapasitesini ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin negatif yönde nasıl azaldığını hesaplamak için çeşitli yöntemler ortaya koyar [9]. İkinci kanun veya ekserji verimi kullanılabilir maksimum enerji kavramının yorumlanması ile mevcut toplam enerjiden en fazla yararlanma oranı olarak kullanılır. Verim bir sistemde çıkan ekserjinin giren ekserjilere oranı olarak ifade edilebilir. Kayıp ekserji ise tersinmezliğe eşittir, yani sisteme giren toplam ekserji çıkan enerji ile tersinmezlik miktarının toplamına eşit demektir. Buna göre verim ifadesi;

$$\Psi = \text{Ürün Ekserjisi} / \text{Toplam Giren Ekserji} \quad (1)$$

şeklinde yazılır.

Akışkanlarda ekserji analizi için; maddenin manyetik, elektrik ve nükleer enerjileri ve yüzey gerilimleri ihmal edilerek ekserjiyi kinetik, potansiyel, kimyasal ve fiziksel ekserji olarak dört kısma ayrılabilir ve aşağıdaki formülle gösterilebilir.

$$E_x = E_{x,K} + E_{x,P} + E_{x,C} + E_{x,F} \quad (2)$$

Hareketsiz olan sistemlerde de potansiyel ve kinetik ekserjiler sıfır olarak kabul edilir ve toplam ekserji fiziksel ve kimyasal ekserjilerin toplamına eşit olur [10].

$$E_x = E_{x,F} + E_{x,C} \quad (3)$$

3. Uygulama ve Başarımlar

Bu çalışmada Elazığ'da bulunan bir mobilya fabrikasındaki doğal gaz ile çalışan buhar kazanına termodinamiğin ikinci kanunu uygulanarak ekserji analizi yapılmıştır. Analiz işleminin yapıldığı buhar kazanı 112 °C sıcaklık ve 5 bar basınçta besleme suyu girişi ile 30 ton buharı 390°C sıcaklık ve 20 bar basınçta üretmektedir.

3.1. Buhar Kazanı Besleme Suyu Analizi

Besleme suyu ekserjisi suyun kinetik ve potansiyel ekserjilerinin sıfır kabul edilerek suyun kimyasal ve fiziksel ekserji analizleri sonucu hesaplanan değerlerin toplamıyla bulunmaktadır.

Besleme suyu kimyasal ekserjisi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

$$E_{x(kim, su)} = R \times T_0 \times \ln(P_d/P_k) \quad (4)$$

($T_0 = 25^\circ\text{C}$ suyun doyma basıncı $P_d = 0,031$ bar, kısmi basıncı $P_k = 0,0088$ bar)

Besleme suyu fiziksel ekserjisi, termodinamik tablolardan 112°C sıcaklık ve 5 bar basınç şartlarında entalpi ve entropi değerleri elde edilerek aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$E_{x(fiz, su)} = (h-h_0) - T_0 \times (s-s_0) \quad (5)$$

3.2. Buhar Analizi

Kazandan çıkan buharın toplam ekserjisi, aşağıda verilen şartlardaki buharın fiziksel ekserjisinden meydana gelmektedir. Buharın fiziksel ekserjisi;

$$E_{x(fiz, buhar)} = (h-h_0) - T_0 \times (s-s_0) \quad (6)$$

Bağıntısı yardımıyla kazandan çıkan 390 °C sıcaklıktaki ve 20 bar basınçtaki buharın fiziksel özellikleri termodinamik tablolardan alınan veriler kullanılarak hesaplanmıştır.

3.3. Yakıt Analizi

Gaz yakıtların ekserjisi, yakıtların fiziksel ve kimyasal ekserjileri toplamından oluşmaktadır. Fiziksel ve kimyasal ekserjiler sırasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır;

$$E_{x(fiz, yakıt)} = C_{p, yakıt} \times [(T-T_0) - T_0 \times \ln(T/T_0)] + R \times T_0 \times \ln(P/P_0) \quad (7)$$

$$E_{x(kim, yakıt)} = \phi \times H_{u, yakıt} \quad (8)$$

(40°C sıcaklık ve 2,85 kPa basınçtaki yakıt için özgül ısı değeri 28,350 kJ/kgK ve ϕ değeri 1,18 alınarak hesaplamalar yapılmıştır.)

3.4. Temiz Hava Analizi

Yanma olayının gerçekleşmesi için kazana giren temiz havanın ekserji hesabı, havanın kimyasal ve fiziksel ekserjileri toplamından meydana gelmektedir. Havanın fiziksel ve kimyasal ekserjileri aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır [11].

$$EX_{kim, hava} = \sum n_i \times EX_{kim, hava, i} + R \times T_0 \times \sum n_i \times \ln n_i \quad (9)$$

$$EX_{fiz, hava} = C_{p, hava} \times [(T - T_0) - T_0 \times \ln(T/T_0)] + R \times T_0 \times \ln(P/P_0) \quad (10)$$

Atmosferden kazana normal şartlarda giren havanın nemli hava bileşenlerinin molar debi, molar oran ve kimyasal ekserjileri aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir [10].

Tablo 1. Nemli hava bileşenleri değer tablosu

	N₂	O₂	H₂O
Molar debi (kmol/s)	1,500	0,410	0,006
Molar oranlar (n)	0,787	0,209	0,003
Molar kimyasal ekserjiler (kJ/kmol)	718,41	3966,52	11690,88

3.5. Baca Gazı Analizi

Yanma olayının gerçekleşmesi için kazan giren temiz havanın ekserji hesabı, havanın kimyasal ve fiziksel ekserjileri toplamından meydana gelmektedir. Kazanda yanma sonucu açığa çıkan baca gazı O₂, H₂O, CO₂, ve N₂ bileşenlerini ihtiva eder. Kazana giren temiz havanın fiziksel ve kimyasal ekserjileri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$EX_{kim, bc} = \sum n_i \times EX_{kim, bc, i} + R \times T_0 \times \sum n_i \times \ln n_i \quad (11)$$

$$EX_{fiz, bc} = C_{p, bc} \times [(T - T_0) - T_0 \times \ln(T/T_0)] + R \times T_0 \times \ln(P/P_0) \quad (12)$$

Bu bileşenlerin molar debi, molar oran ve kimyasal ekserjileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ekserji analizinde baca gazı bileşenleri değer tablosu

	N₂	O₂	H₂O	CO₂
Molar debi (kmol/s)	0,351	0,021	0,075	0,15
Molar oranlar (n)	0,63	0,03	0,15	0,19
Molar kimyasal ekserjiler (kJ/kmol)	733,4	3970,2	11710,1	20140,2

3.6. Ekserji Verimi

Buhar kazanında meydana gelen ekserji kaybı yani toplam tersinmezlikler miktarı, sisteme giren toplam ekserji toplamından sistemden çıkan ekserjileri farkından hesaplanmaktadır.

$$\sum EX_{kayıp} = \sum EX_{giren} - \sum EX_{çıkan} \quad (13)$$

$$\sum EX_{giren} = EX_{bes. suyu} + EX_{hava} + EX_{yakıt}$$

$$\sum EX_{çıkan} = EX_{bc} + EX_{buhar}$$

Ekserji verimi de aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\eta_{II, yasa} = \Psi = \sum EX_{giren} - \sum EX_{çıkan} / EX_{yakıt} = 1 - \sum EX_{kayıp} / EX_{yakıt} \quad (14)$$

Yapılan ekserji verimi hesabı Tablo 3'de, ekserji hesaplamalar ise Tablo 4'de verilmiştir. Buhar kazanı ekserji kaybı 15678,19 kW ve ekserji verimi %56 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin kok gazı, konverter gazı ve yüksek fırın gazının yakıldığı gaz yakıtlı buhar kazanı için 21185,81 kW ve % 46 olduğu belirtilmiştir [10].

Tablo 3. Ekserji Verimi Hesabı

	$\sum Ex_{giren} = 3882,33 + 56,89 + 28088,56 = 35708,78 \text{ kW}$	(13)
Ekserji Verimi	$\sum Ex_{çıkan} = 3208,09 + 16822,5 = 20030,59 \text{ kW}$	
	$\sum Ex_{kayıp} = 35708,78 - 20030,59 = 15678,19 \text{ kW}$	
	$\eta_{II, yasa} = \Psi = 1 - 15678,19/35708,78 = 0,56$	(14)

Tablo 4. Ekserji Hesaplamaları

Ekserji	Hesaplamalar	Açıklama	Formül
Besleme Suyu	$Ex_{(kim, su)} = 8,314 \times 298 \times \ln(0,031/0,0088) = 3119,8 \text{ kJ/kmol}$	($T_o = 25^\circ\text{C}$ suyun doyma basıncı $P_d = 0,031 \text{ bar}$, kısmi basıncı $P_k = 0,0088 \text{ bar}$)	(4)
	$Ex_{(fiz, su)} = (469,8 - 104,81) - 298 \times (1,44 - 0,367) = 45,29 \text{ kJ/kg}$	112°C için $h_{112^\circ\text{C}} = 469,8 \text{ kJ/kg}$, $s_{112^\circ\text{C}} = 1,44 \text{ kJ/kg}$, 25°C için $h_{25^\circ\text{C}} = 104,81 \text{ kJ/kg}$, $s_{25^\circ\text{C}} = 0,367 \text{ kJ/kgK}$	(5)
Buhar	$Ex_{(fiz, buhar)} = (3137,8 - 104,81) - 298 \times (6,9563 - 0,367) = 1060,45 \text{ kJ/kg}$	390°C için $h_{390^\circ\text{C}} = 3137,8 \text{ kJ/kg}$, $s_{390^\circ\text{C}} = 6,9563 \text{ kJ/kgK}$ 25°C için $h_{25^\circ\text{C}} = 104,81 \text{ kJ/kg}$, $s_{25^\circ\text{C}} = 0,367 \text{ kJ/kgK}$	(6)
Yakıt	$Ex_{(fiz, yakıt)} = 28,350 \times [(313 - 298) - 298 \times \ln(313/298)] + 8,314 \times 298 \times \ln(104,175/101,325) = 61,78 \text{ kJ/kmol}$	(40°C sıcaklık ve $2,85 \text{ kPa}$ basınçtaki yakıt için $C_{p, yakıt}$, $28,350 \text{ kJ/kgK}$ ve ϕ , $1,18$ tespit edilmiştir.)	(7)
	$Ex_{(kim, yakıt)} = 1,18 \times 8250 \times 4,18 = 40693,2 \text{ kJ/Nm}^3$	NOT: Yakıtın kimyasal eksejisinin benzer kazanlara kıyasla daha yüksek çıkmasının sebebi olarak; yeni dönüşümü yapılan sisteme alınan yeni kazanda yanmanın tam olarak yapılmasına ek olarak kayıp ve kaçakların düşük olması gösterilebilir.	(8)
Temiz Hava	$Ex_{kim, hava} = (0,787 \times 718,41) + (0,209 \times 3966,52) + (0,003 \times 11690,88) + 8,314 \times 298 \times [0,003 \times \ln(0,003) + 0,209 \times \ln(0,209) + 0,787 \times \ln(0,787)] = 104,51 \text{ kJ/kmol}$		(9)
	$Ex_{fiz, hava} = 1,02 \times [(458-298) - 298 \times \ln(458/298)] + 8,314 \times 298 \times \ln(104,175/101,325) = 102,66 \text{ kJ/kmol}$	($C_{p, hava} = 1,02 \text{ kJ/kmolK}$, $T = 458 \text{ K}$, $P = 2,85 \text{ kPa}$)	(10)
Baca Gazı	$Ex_{kim, bc} = [(0,63 \times 733,4) + (0,03 \times 3970,2) + (0,15 \times 11710,1) + (0,19 \times 20140,2)] - 8,314 \times 298 \times [0,63 \times \ln(0,63) + 0,03 \times \ln(0,03) + 0,15 \times \ln(0,15) + 0,19 \times \ln(0,19)] = 3695,58 \text{ kJ/kmol}$		(11)
	$Ex_{fiz, bc} = 5,98 \times [(449-298) - 298 \times \ln(449/298)] + 8,314 \times 298 \times \ln(108,575/101,325) = 4760,49 \text{ kJ/kmol}$	($C_{p, bc} = 5,98 \text{ kJ/kmolK}$, $T = 449 \text{ K}$, $P = 7,25 \text{ kPa}$)	(12)

4. Sonuç ve Öneriler

Ekserji; bir sistemin bir referans çevreyle denge haline gelirken madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanır. Ekserji analizi; enerjinin niteliğini tespit etmek ve tespit edilen veriler ışığında hesaplama ve boyutlandırma işlemlerini elde etmek için yapılır. Tüm bu analiz ve hesaplamalarda temel amaç, yüksek verim elde etmek ve buna bağlı olarak kullanılan yakıtın istenilen enerjiye en yüksek oranda çevrilmesidir. Bu bağlamda üzerinde çalıştığımız sistemi değerlendirmek amacıyla termodinamiğin ikinci kanununun sisteme uygulanarak ekserji analizlerinin yapılması sistem veriminin değerlendirilmesinde en gerekli parametrelerden biridir. Bu çalışmada doğal gaz ile çalışan bir buhar kazanına termodinamiğin ikinci kanunu uygulanarak ekserji analizi yapılmıştır. Bu analizlerle hesaplanan ekserji kaybının 15678,19 kW, ekserji veriminin ise % 56 olduğu hesaplanmıştır. Ekserji analizi; enerji sistemlerin analizinde önemli bir araçtır. Çünkü mevcut sistemlerdeki verimsiz bölgelere müdahale etmek suretiyle bu bölgelerdeki verimi azaltarak daha verimli sistemler tasarlamayı mümkün hale getirmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, “Yüksek tüketimli endüstriyel tesislerin doğal gaza dönüşümü, enerji ve ekserji analizi” başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Yavuz H. 2015. Endüstriyel ve Büyük Tüketimli Tesislerde Doğal Gaz Kullanımı ve Uygulama Esasları. TMMOB, Ankara.
- [2] Tezcan G. 2013. Endüstriyel ve Büyük Tüketimli Tesislerin Doğal Gaz Projelendirme ve Dönüşüm Teknikleri. <https://www.slideshare.net/Cagandroid/endstryel-ve-byk-tketml-tesslern-doal-gaz-projelendrme-ve-dnm-teknkler> (Erişim Tarihi: 21.05.2013).
- [3] Çengel A.Y., Boles A.M. 2000. Thermodynamics an Engineering Approach. Mc Graw Hill, New York, USA.
- [4] Ahmadi G.R., Toghray D. 2015. Energy and Exergy Analysis of Montazeri Steam Power Plant In Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56: 454-463.
- [5] Saidur R., Ahamed J.U., Masjuki H.H. 2009. Energy, Exergy and Economic Analysis of Industrial Boilers. Energy Policy, 38: 2188-2197.
- [6] Dincer I., Al-Muslim H. 2001. Thermodynamic Analysis of Reheat Cycle Steam Power Plants. International Journal of Energy Research, 25: 727-739.
- [7] Çomaklı K., Terhan M. 2015. Doğal Gaz Yakıtlı Kazandan Çıkan Atık Baca Gazının Ekserji Analizi. Mühendis ve Makine, 56: 58-64.
- [8] Şahin Z., Kopaç M., Aydın N.Ö. 2011. Gaz Yakıtlı Güç Santralinde Verim Artışının Ekserji Analizi Kullanılarak İncelenmesi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 31: 85-107.
- [9] Kaya M. 2008. Buharlı Güç Çevrim Veriminin Ekserji Analiziyle Belirlenmesi. CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1: 9.
- [10] Filiz Ç., Uysal C., Kılıç E., Kurt H. 2014. Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi. 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 551-562, 18-20 Haziran, Karabük, Türkiye.
- [11] Turgut E.T., Karakoc T.H., Hepbaslı A. 2007. Exergetic Analysis of an Aircraft Turbofan Engine. International Journal of Energy Research, 31: 1383-1397.