

BİR GIDA İŞLETMESİNDE FONKSİYON KALİTE KONTROL UYGULAMASI

Burak OLGUN
Barbaros BATUR
Hüsamettin BATUR
Hasan TÜTER
Hasan HEPERKAN

ÖZET

Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin 2000-2002 döneminde, yıllık ortalama %4,4 azaldığı bilinmektedir. Aynı dönemde birincil enerji tüketimi %1,8 azalmakla beraber; 2002 yılı dikkate alındığında, toplam tüketimin ancak %31,3 kadarının üretimle karşılanabildiği görülmektedir.

Buhar; endüstriyel tesislerde, ısı transferi yoluyla güç üretiminde ve aktarımında kullanılan bir akışkandır. Günümüz koşullarında hızla artan enerji maliyetleri dikkate alındığında, birincil enerji kaynakları kullanılarak buhar üretimi sırasında enerji verimliliği ve etkin kullanımı önem kazanmaktadır. Bu durum endüstriyel tesisleri, imkanlarını daha efektif şekilde kullanmaya zorlamaktadır.

Bu çalışmada bir meyve suyu hazırlama tesisinde doğalgaz ile çalışan, yüksek basınçlı buhar kazanının ve bu kazanın baca hattına bağlı iki adet ekonomizerin verim tespitleri yapılarak; uluslararası benzer uygulamalar ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda, TS377 - EN12953-11 kod.lu standardın dolaylı metodu temel alınmıştır. Bütün hesaplar aynı normun direkt metodu ile kontrol edilmiştir. Hesapları kolaylaştırmak ve sistemi simüle etmek için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

1. GİRİŞ

Türkiye çeşitli enerji kaynaklarına sahip olmakla beraber ürettiği toplam enerjinin yarısından fazlasını ithalatla karşılamaktadır. 1998 yılı toplam enerji üretimi 29 milyon TEP, tüketimi ise 74 milyon TEP olmuştur [1]. Enerji açığı 45 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Yapılan tahminlere göre 2010 yılında enerji açığı 96 milyon TEP, 2020 yılında ise yaklaşık 200 milyon TEP olacaktır. Giderek artan enerji açığının karşılanabilmesi için petrol, doğalgaz ve taşkömürü gibi enerji hammaddelerinin ithalatına da devam edilecektir.

Enerji kaynaklarının sürekli azalması ve enerji talebinin artması sonucu yükselen birim enerji fiyatlarının üretim mallarına yansması, piyasa talebinde güçlükler doğurmuş, bu durum ise enerjinin daha ekonomik olarak kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Türkiye'nin enerji tüketimi incelendiğinde, Tablo 1, birincil kaynaklar içerisinde %30.9 kömür, %13.1 doğalgaz, %40.9 petrol, %4.9 hidrolik, %0.1 güneş ve %9.5 odun, tezek ve bitki atıkları kullanıldığı görülür. Bu tüketim sektörel bazda incelendiğinde, enerjinin %25.3 ünün konutlarda, %29'unun sanayide, %14.5'inin ulaşımda, %3.6'sının tarımda ve %3.1'inin enerji dışı amaçlarda kullanıldığı anlaşılır (2). Türkiye'nin enerji tüketiminin %46'sı petrole dayanmaktadır.

Türkiye enerji üretiminin ise, Tablo 2, %43.1 l kömür (% 36.6 linyit), % 15.2 si petrol, %10.9 hidrolik, %0.7 doğalgaz, %0.1 güneş, % 0.3 jeotermal ve % 29.6 odun, tezek, bitki atıkları gibi ticari olmayan kaynaklar oluşturmaktadır. Üretimin %47 si termik santrallarda kullanılmaktadır.

Tablo 1. Birincil Enerji Kaynakları Tüketiminin Toplam Enerji Tüketimindeki Payları (%) [1]

YILLAR	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1997	1998
Taşkömürü	15.4	11.0	8.9	9.8	12.2	10.6	14.1	13.9
Linyit	9.2	9.8	12.4	20.3	18.3	16.8	16.8	17.0
Asfaltit	0.1	0.7	0.8	0.6	0.2	0	0	0
Toplam Kömür	24.7	21.5	22.1	30.7	30.7	27.4	30.9	30.9
Doğal Gaz	-	-	0.1	0.2	5.8	10.0	12.5	13.1
Petrol	42.2	51.8	50.4	46.3	44.8	46.4	41.7	40.9
Hidrolik	1.4	1.9	3.1	2.6	3.7	4.8	4.7	4.9
Jeotermal								
Elektrik	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Isı	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.2
Güneş	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1
Toplam Ticari	68.3	75.2	75.9	80.2	85.1	88.9	90.1	90.2
Odun	20.4	16.0	14.8	13.3	10.1	8.7	7.5	7.4
Hay. Bit. Atık	11.3	8.8	9.3	6.5	4.8	2.5	2.1	2.1
Top. Tic. Olmayan	31.7	24.8	24.1	19.8	14.9	11.2	9.6	9.5
Elektrik İthalatı						- 0.1	0.3	0.3
GENEL TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100

Tablo 2. Birincil Enerji Kaynakları Üretiminin Toplam Enerji Üretimindeki Payları (%) [1]

YILLAR	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1997	1998
Taşkömürü	19.2	17.9	12.7	10.1	8.1	5.0	4.9	4.0
Linyit	12.0	16.7	21.6	37.8	36.9	40.9	42.5	44.3
Asfaltit	0.1	1.2	1.4	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0
Toplam Kömür	31.3	35.8	35.7	48.9	45.5	46.0	47.4	48.3
Doğal Gaz	-	-	0.1	0.3	0.7	0.6	0.8	1.8
Petrol	25.7	19.8	14.1	10.2	15.1	14.1	13.1	11.7
Hidrolik	1.8	3.1	5.6	4.8	7.7	11.6	12.4	12.6
Jeotermal								
Elektrik	-	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3
Isı	-	-	-	-	0.1	0.2	0.4	0.5
Güneş	-	-	-	-	0.1	0.2	0.3	0.3
Toplam Ticari	52.8	58.7	55.6	64.3	69.3	73.1	74.6	75.5
Odun	26.5	26.6	27.3	24.0	20.8	21.0	19.9	19.1
Hay. Bit. Artık	14.7	14.7	17.1	11.7	9.9	5.9	5.5	5.4
Top.Tic. Olmayan	41.2	41.3	44.4	35.7	30.7	26.9	25.4	24.5
GENEL TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100

Sanayi sektörü göz önüne alındığında (Tablo 3), Türkiye toplam enerji tüketimi içerisindeki sektör payının 1970'te %21 den 1998'te % 29'a çıktığını görmekteyiz. Sanayide tüketilen yakıtlar içinde petrol, %35.5 oranla en yüksek yeri almaktadır.

Dünya ve Türkiye'deki yakıt fiyatlarına göz atacak olursak 1970 yılında varili \$73 olan petrolün 1973'te OPEC ülkelerinin yaptığı zam sonucu \$12, İran ihtilali sonucu \$28 ve İran-Irak savaşında ise, \$34'a yükseldiğini görmekteyiz. Daha sonra \$16'a kadar inen petrol fiyatı 1990 da Irak'ın Kuveyt'i işgal etmesiyle birden \$40 mertebesine yükseltmiştir.

Bugün petrolün varili \$20 civarındadır. Türkiye’de ise litresi 1974’te 1.5 TL olan 6 numaralı Fuel-Oil 1988 de 260 TL ye çıkmıştır. Bugün kalorifer yakıtının fiyatı 500.000 TL/litre civarındadır.

Görüldüğü gibi sanayinin kullandığı enerjinin yaklaşık olarak yarısı ithal edilmekte ve ithal enerji fiyatları sosyo-politik nedenlerle dalgalanma göstermektedir. Kullanılan enerjinin dışa bağımlılık özelliğini değiştirebilmek için ;

- Yeni enerji kaynaklarının kullanımı (Güneş, rüzgar, biogaz, çöp, v.b.)
- Yeni teknolojilerin uygulanması (enerji depolanması, hybrid sistemler, akışkan yataklı santraller, ısı pompaları , v.b.)

düşünülebilir. Ancak en etkin yolun kullanılan enerjinin azaltılması, enerji tasarrufu olduğu unutulmamalıdır. Zaten enerji üretim ve tüketiminin çevreye olan etkileri düşünüldüğünde (CO₂ oluşumu ve sera etkileri) en akılcı yolun gereğinden fazla enerji harcamamak olduğu görülür.

Tablo 3. Sektörel Enerji Tüketimi (%) [1]

YILLAR	KONUT	SANAYİ	ULAŞT.	TARIM	ENERJİ DIŞI	NİHAİ ENERJİ TÜKETİMİ	ÇEVİRİM SEKTÖRÜ	TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ
1970	45.8	21.9	17.0	2.7	1.8	89.2	10.8	100
1975	40.3	23.0	18.8	2.5	1.9	86.5	13.5	100
1980	40.0	24.9	16.4	3.0	1.7	86.0	14.0	100
1985	36.3	25.0	15.8	3.8	2.1	83.0	17.0	100
1990	28.5	27.6	16.6	3.7	2.0	78.4	21.6	100
1995	27.1	27.5	17.5	4.0	2.2	78.3	21.7	100
1997	26.2	29.7	15.5	3.9	2.4	77.7	22.3	100
1998	25.3	29.0	14.5	3.8	3.1	75.6	24.4	100

Enerji sistemlerinin fonksiyon kalite kontrol sürecinden geçmesi bize bu olanağı da sağlamaktadır. Sanayi tesislerinde taşıyıcı ortam olarak buhar çok yaygın olarak kullanılan bir akışkandır. Buhar kullanımının başlıca tercih sebepleri :

1. Büyük miktardaki ısı enerjisini, göreceli olarak küçük bir kütle ile taşımak mümkün olmaktadır.
2. Yüksek sıcaklıklarda kullanılmaktadır.,
3. Buhar ile ısı enerjisi taşınması sırasında, buharın sabit sıcaklıkta yoğuşması sebebi ile ısı geçişine esas olan tüm yüzey boyunca buhar tarafında sıcaklık sabit kalır.
4. Buharın yoğuşma sıcaklığı, basıncın bir fonksiyonu olup; basıncın değişimi ile sıcaklık hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir.

Bir endüstriyel tesiste buhar tesisatının ana elemanı buhar kazanıdır.

Bu çalışmada, Bursa’da faaliyet gösteren bir meyve suyu hazırlama tesisine kurulumu yapılan buhar kazanı ve bu kazanın egzoz bacasına bağlı iki adet ekonomizerden oluşan sistemin verim analizleri irdelenmektedir. Buhar kazanı doğal gaz yakıtlı ve 235 m² ısıtma yüzey alanına sahip olup, 10 bar basınçta 10 ton/h buhar üretebilmektedir. Kullanılan ekonomizerler seri bağlıdır. Birinci ekonomizer atık baca gazının bir miktar düşürerek kazan besi suyunu şartlandırmaktadır. İkinci sıradaki ekonomizer ise yüksek kalitede paslanmaz çelikten mamul olup; baca gazını sıcaklığını, doğal gazın yanması sırasında atık baca gazı içerisinde yüksek miktarda oluşan su buharını da yoğuşturacak kadar düşürmektedir. Her iki ekonomizerin ikincil devrelerinde su kullanılmaktadır. Sistemin geneli dikkate alındığında imalatçı firma tarafından kazan için %89,5, 1. ekonomizer için %5 ve 2. ekonomizer için %2,5 olmak üzere toplam %97 öngörülmüştür.

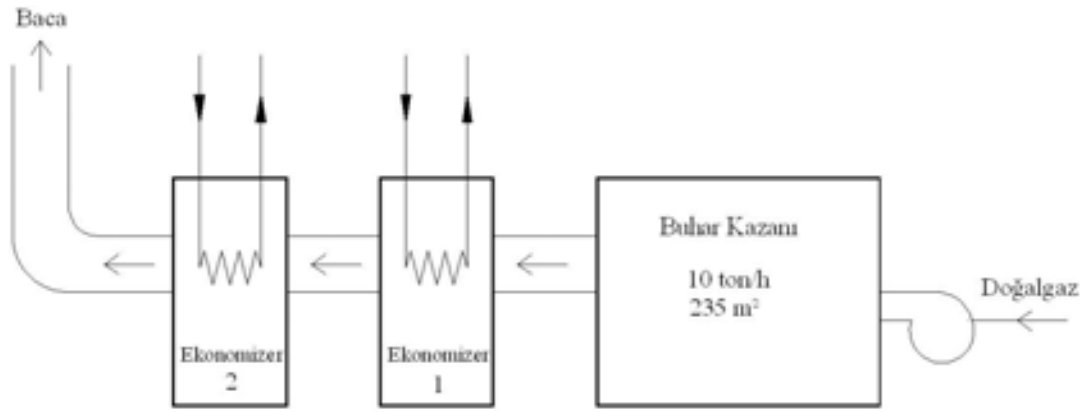
2. YÖNTEM

Seçilen yöntem Nisan 2005 tarihli TS 377-11 EN 12953-11 kod no.'lu "Silindirik Kazanlar-Bölüm 11 : Kabul Deneyleri" başlıklı standarttır. [2] Bu standarda göre dolaylı metot tercih edilerek hesaplarda bu yöntem temel alınmıştır. Bu metot yakıtla sisteme verilen enerjiden; baca gazı kayıpları ile iletim, taşınım ve ışınım ile oluşan kayıplar dahil tüm kayıpların çıkartılması ilkesine dayanır. Verim hesabında kazan ve ekonomizörlerin verimleri ayrı ayrı hesaplanarak toplam verim elde edilir.

3. ÖLÇÜM VE HESAPLAR

Ölçümlerin yapılması sırasında buhar kazanının ve ekonomizörlerin tasarım değerlerinde çalışması temin edilmiştir. Bunun yanı sıra sistemin bir bütün olarak rejime girmesi için kabul edilebilir bir çalışma süresince beklenmiştir. Sistem üzerinde yapılan tüm ölçümlerde kalibrasyonları eksiksiz olarak yapılmış debi, hız, basınç, sıcaklık, nem ve baca gazı emisyonu ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Baca gazı emisyon ölçümlerinde cihaz tarafından ölçülen O_2 ölçümü temel alınarak CO_2 , hava fazlalık katsayısı ve verim değerleri hesaplanmaktadır. Atmosferdeki nem miktarının yanma sonucu oluşan baca gazı kompozisyonunu çok az etkilemesinden dolayı, atmosferdeki nem ihmal edilerek hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 1. Kazan

Sisteme giren doğal gaz miktarı bir gaz sayacı ile ölçülmekte olup, ölçüm toleransı %1 den küçüktür. Bu değer her ne kadar düşük gibi görünse de doğrudan verim değerine yansımaktadır. Benzer durum buhar sayaçları için de söz konusudur. Ancak EN12953 kod no.'lu standartta belirtilen dolaylı ölçüm yöntemi ile buhar ve su sayacı hataları bertaraf edilmiş ve gaz sayacı hataları da azaltılmıştır.

Tesisin kazan ve ekonomizörlerinde ölçülen değerler Tablo 4 'de gösterilmiştir. Buhar kazanı brülörünün ayarlı olduğu ve nominal buhar tüketimi olan 10 ton/h buhar üretimine yakın olan zaman dilimi boyunca sürekli ölçüm yapılmıştır.

Tablo 4. Meyve Suyu Hazırlama Tesisinde Kazan ve Ekonomizörlerinde Ölçülen Değerler

Süre (ss.dd)	00. ⁰⁰	00. ³⁰	01. ³⁰	02. ¹⁵	03. ⁰⁰
Anlık Kazan Çıkışı Buhar Cihaz Basıncı (bar)	10,3	10,3	10,5	10,1	10,5
Anlık Kazan Çıkışı Buhar Sıc. (°C)	179	179	179	178	179
1.Eko. Girişi Baca Gazı Sıc. (°C)	233	235	235	241	242
2.Eko. Girişi Baca Gazı Sıc. (°C)	141	140	139	143	146
2.Eko.-Baca Arası Baca Gazı Sıc. (°C)	79	81	78	83	86
1.Eko. e Gelen Besleme Suyu Sıc. (°C)	101	98	98	99	102
1.Eko.'dan Kazana Giden Besleme Su Sıc. (°C)	127	124	123	124	128
2.Eko. ya Gelen Şehir Şebeke Suyu Sıc. (°C)	18	18	18	18	18
2. Eko. dan Çıkan Kullanma Suyu Sıc. (°C)	38	38	38	39	43
Kümülatif Buhar Debisi (kg)	15350 14	153989 5	1550374	1557414	1564436
Gaz Sayacından Geçen Kümülatif Gaz Debisi (m ³)	35982	36087	36312	36463	36613
Gaz Manometresinden Okunan Gaz Basıncı (bar)	2,22	2,22	2,22	2,21	2,22
1. Eko' dan Geçen Besi Suyu Kümülatif Debisi (ton)	587,4	593,0	602,6	609,7	616,5
2. Eko' dan Geçen Kullanım Suyu Küm. Debi. (ton)	1221	1228	1240	1249	1252

Bursagaz Genel Müdürlüğü'nce ölçüm tarih ve takribi olarak saatinde, fabrikanın bulunduğu bölgeden geçen gazın, kimyasal olarak volümetrik dağılımının aşağıda verilen Tablo 5.'deki gibi olduğu belirtilmiş, alt ve üst ısıl değerleri bildirilmiştir.

Tablo 5. Doğal Gazın Kimyasal Olarak Volümetrik Dağılımı

	Metan	Etin	Provan	n-Bütan	i-Bütan	n-Penan	i-Penan	Haksan	N ₂	CO ₂
%	96,32	1,94	0,62	0,11	0,09	0,01	0,01	0,01	0,84	0,06

Bursagaz Genel Müdürlüğü, bu kimyasal karışımın alt ısıl değerini 8297,54 kal/Sm³ ve üst ısıl değerini 9206,72 kal/Sm³ olarak vermiştir. Yapılan hesaplarda TS 377-11 EN 12953-11 no.'lu standartta da belirtildiği gibi alt ısıl değer temel alınmıştır.

Tablo 6.'de hesap sonucu çıkan ıslak bazda hava fazlalık katsayısı değeri olan %5,34 değerinin yerine konularak, doğalgazın kompozisyonuna bağlı olarak ayrıntılı bir baca gazı kompozisyonu belirlenmiştir.

Tablo 6. Baca Gazı Kompozisyonu Hesabı [3]

Gaz	Doğalgazdaki mol oranı (%)	Yakma Havası+Yakıt (mol)			Yanma Ürünü (mol)			
		Yakıt	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂
CH ₄	96,32	1	2,11	7,92	1	2	0,11	7,92
C ₂ H ₆	1,94	1	3,69	13,86	2	3	0,19	13,86
C ₃ H ₈	0,62	1	5,27	19,8	3	4	0,267	19,80
C ₄ H ₁₀	0,19	1	6,85	25,75	4	5	0,35	25,75
C ₅ H ₁₂	0,02	1	8,43	13,69	5	6	0,43	31,69
N ₂	0,84							1
CO ₂	0,06				1			
Toplam	100	1	2,150	8,088	1,020	2,020	0,1089	8,088

Burada kullanılan doğalgazın kimyasal dağılımı ve kazanın hava fazlalık katsayısı %5,34 ($\lambda=1,0534$) kullanıldığında aşağıdaki yanma denklemi kullanılabilir.



Tablo 6.'den yararlanılarak baca gazında kuru bazda ölçülen O_2 miktarı hesaplanırsa;

$$\% \text{O}_2 = \frac{\text{O}_2}{\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2} = \frac{0,1089}{1,020 + 0,1089 + 8,088} = \% 1,18 \quad (1)$$

değeri bulunur. Bu değer baca gazı ölçüm cihazında kuru bazda, doğrudan ölçülen O_2 oranını olan %1,18 değerine karşılık gelir. Bu sonuçla, baca gazı analiz cihazında ölçülen O_2 (%1,18) değeri temel alınarak hesaplanan baca gazı kompozisyonunu sağlamış olur.

Ölçüm sürecinin 00.30 – 01.30 arasında kümülatif olarak ölçülen buhar debisi, iki değer birbirinden çıkartılarak 10479 kg/h olarak bulunmuştur. Aynı saatler arasında doğal gaz debisi gaz sayacından okunmuş, iki kümülatif değer birbirinden çıkartılarak, kullanılan gaz debisi 225 m³/h olarak bulunmuştur. Gaz sayacının hemen yanında bulunan manometrede gaz basıncının 2.22 bar olduğu belirlenmiştir. Manometrede okunan gaz basıncı, kazanın bulunduğu ortamın sıcaklığının 18°C ve ölçüm sırasında yerel hava basıncının 1017 mbar olduğu göz önüne alınarak, doğalgazı (metan) ideal gaz olarak kabul edersek;

$$\frac{P_1 \times v_1}{T_1} = \frac{P_2 \times v_2}{T_2}; \frac{1013 \times v_1}{273} = \frac{(2200 + 1017) \times 225}{291} \quad (2)$$

yapılan düzeltme sonucu sayaçtan geçen gerçek gaz miktarı $v_1=674,5 \text{ Sm}^3/\text{h}$ olarak bulunmuştur. [4] Standart metreküp (Sm^3) olarak kabul edilen gaz debisinde sıcaklık 0°C (273K) açık hava basıncı 1013 mbar olarak alınmıştır. Bu miktardaki doğal gazın verebileceği enerji Bursa Gaz'ın günlük değerleri temel alınarak 23.427.747 kJ/h (5.596.690 kcal/h) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.' de hesaplarda temel alınan ölçüm zamanının 00.30 – 01.30 arasında, buhar kazanı ve ekonomizerlerde alınan ölçüm değerleri .

Tablo 7. Kazan ve Ekonomizerlerde Ölçülen Sıcaklık, Basınç ve Debi Değerleri

Ölçüm Noktası	Buhar Debi (Anlık)	Buhar Sıc.	Kazan Çık. BG Sıc.	1. Eko Çık. BG Sıc.	2. Eko Çık. BG Sıc.	DG Basıncı	
Değer	10,3-10,5 ton/h	179°C	235°C	140°C	80°C	2.22 bar	
Ölçüm Noktası	1.Eko Besleme Sıc.	Gir Su	1.Eko Çık Besleme Su Sıc.	2. Eko Gir. Su Sıc.	2. Eko Çık. Su Sıc.	Buhar Debisi (Kümülatif)	Düzeltilmemiş Doğal Gaz Debisi
Değer	98°C		124°C	18°C	38°C	10479 kg/h	225 m ³ /h

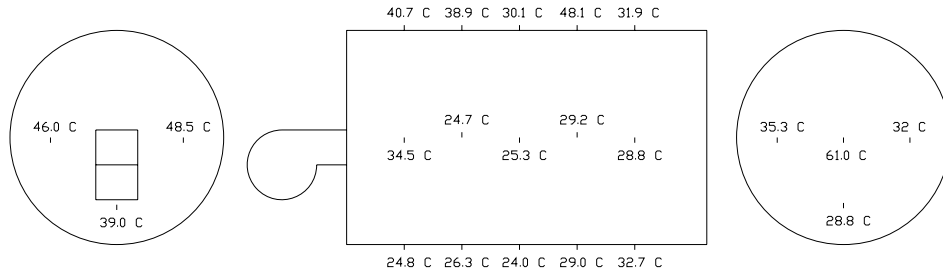
674,5Sm³/h lik doğalgaz debisi doğalgazın bir ideal gaz olmasına dayanarak ($674,5 \text{ Sm}^3/22,4 \text{ kmol/m}^3$) 30,11 kmol/h bir doğal gaz debisine sahiptir. Sistemde bir kaçak olmadığı bilindiğine göre kazan çıkışından bacaya kadar yoğunlaşan su hariç olmak üzere aynı baca gazı debisi ve kompozisyonunu sürer. Tablo 6.' de en alt satırda belirtilen 1 mol yakıt yandığında oluşan baca gazı kompozisyonu ve kütlesi bilindiğinden, 30,11 kmol doğalgaz yandığında oluşan baca gazı kompozisyonu ve kütlesi de kolaylıkla hesaplanabilir. Örnek olarak kazandan 1.ekonomizere geçen baca gazı 235°C olduğunu bildiğimize göre, Tablo 6' ün son satırının yardımı ile kazandan 1.ekonomizere geçen baca gazının taşıdığı enerji için yapılan hesap Tablo 8.'de görülebilir.

Tablo 8. Baca Gazının 235°C deki Entalpisi [3]

	Yakıt	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂
Yanmada Oluşan Mol Oranları	1,000	1,020	2,020	0,1089	8,088
Baca Gazı Debisi (kmol)	30,11	30,71	60,82	3,31	243,29
1 kmol Gazın 235°C' deki Entalpisi (kJ)*		8682	7206	6341	6150
Gazın 235°C' deki Entalpisi (kJ/h)		266 624	438 268	20 989	1 496 275
Toplam Entalpi (kJ/h)					2 222 156

Son satırda bulunan değer Tablo 10' de sistemden çıkan baca gazının enerjisi olarak görülebilir.

Kazan yüzey sıcaklığı olarak hesaplanan sıcaklık ortalamalarının dayandığı ölçümler Şekil 2.' de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

**Şekil 2.** Kazan Ön, Yan ve Arka Yüzeyde Ölçülen Sıcaklıklar

Kazan ve ekonomizörlerin yüzey alanları ve bu alanlarda ölçülerek hesaplanan ortalama yüzey sıcaklıkları Tablo 10' de gösterilmiştir. Kazan, 1.ekonomizer ve 2.ekonomizerde yüzey kayıpları hesap edilirken konveksiyon ısı transfer katsayısı tecrübelerle dayanılarak 7kcal/hm²K (8,14W/m²K) olarak alınmış, farklı noktalarda ölçülen ortam sıcaklığı ortalama olarak 18°C ölçülmüştür.

Tablo 9. Yüzey Kayıpları Hesaplanırken Alınan Değerler

Nokta	Kazan Yan Yüzeyi	Kazan Ön Yüzeyi (Brülör Bölümü)	Kazan Arka Yüzeyi	1.Ekonomizer	1.Eko-2.Eko Bağlantısı	2. Ekonomizer
Ortalama Sıcaklık (°C)	31,3	51,2	39,4	36	41	24,2
Alan (m ²)	59,2	6,6	6,6	33	5	26,7

Yukarıdaki değerlere dayanarak, kazan yan yüzeyi konveksiyon kaybı örnek olarak hesaplanırsa;

$$Q_{yy-kov} = F_{yy} \times h \times (t_{yy} - t_o); \quad Q_{yy-kon} = 59,2 \times 8,14 \times (31,3 - 18) \quad (3)$$

işlemin sonucu 6409 W yada 23073 kJ/h olarak bulunabilir.

Kazan yan yüzeyinden oluşan radyasyon kaybı hesaplanırsa;

$$Q_{yy-rad} = F \times \varepsilon \times \sigma \times (t_{yy}^4 - t_o^4);$$

$$Q_{yy-rad} = 59,2 \times 0,95 \times 5,67 \times 10^{-8} \times [(273 + 31,3)^4 - (273 + 18)^4] \quad (4)$$

İşleminin sonucu 4477 W yada 16117 kJ olarak bulunabilir.

Yoğuşan sudan elde edilen enerji de, ölçüm süreci olan 00³⁰ – 01³⁰ arasında 144 kg/h suyun yoğuştuğu göz önüne alınmıştır ve 80°C baca gazından 80°C de su yoğuştuğu kabul edilmiştir. Suyun entalpisi göz önüne alındığında, suyun sıvı ve gaz fazları arasındaki entalpi farkı; $h_{sb} = 2313,9$ kJ/kg'dır. Bu değer yoğuşan su miktarı ile çarpıldığında, baca gazındaki su buharının gizli ısısından elde edilen enerji 333.202 kJ/h olarak elde edilir.

Yukarıdaki değerlere dayanarak yapılan hesap sonucunda kazan, 1.ekonomizer ile 2.ekonomizer bağlantısı ve 2.ekonomizerin ısı kayıpları ve her bir elemanı terk eden baca gazının enerjileri ve elemanların verimleri Tablo 10' da verilmiştir. Sisteme doğalgazla giren primer enerjinin 23 427 747 kJ/h olduğu esas alınmıştır. Ele alınan sistemde elde edilen enerji, bir önceki sistemden çıkan enerjiden, hesaplanan sistemden çıkan enerji ve yüzey kayıplarının çıkartılması ile bulunmuştur.

Tablo 10. Kazan ve Ekonomizörlerin Enerji Kayıpları ve Verimleri

Sistem	Yüzey Konveksiyon Kaybı (kJ/h)	Yüzey Radyasyon Kaybı (kJ/h)	Toplam Yüzey Kaybı (%)	Sistemden Çıkan Baca Gazının Enerjisi (kJ/h)	Elde Edilen Enerji (kJ/h)	Verim (%)
Kazan	33 635	24 027	0,20	2 222 156*	21 109 992	90,11
1. Ekonomizer	20 777	15 144	0,15	1 205 650	980 585	4,18
2. Ekonomizer	4 851	3 262	0,03	249 343	948 194	**4,05
TOPLAM			0,38		23 038 771	98,34
Yoğuşma dikkate alınmadan TOPLAM VERİM						96,92

*Sisteme giren havanın ve yakıtın toplam entalpisi (-37 937 kJ/h) dir.

**Bu değer %1,42 baca gazındaki suyun yoğuşmasından meydana gelir.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu çalışma içerisinde yer alan hesaplamaların tümünü simüle eden bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program Windows işletim sisteminde çalışmakta olup Borland Delphi 7.0 dilinde yazılmıştır. Programın kullanıcıya sağladığı en büyük kolaylık; bu çalışma içerisinde hesaplamaların tümünü hassas bir şekilde yapmasının ve değerleri şematik olarak anlaşılır bir şekilde göstermesinin yanı sıra, yazılım içerisinde bulunan kütüphanesi yardımı ile buhar için sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olan entalpi değerlerini doğrudan hesaplayabilmesidir. Bu durum kullanıcının tablolarla olan gereksinimini ortadan kaldırdı gibi yapılması muhtemel okuma hatalarını da bertaraf etmektedir.

5. HESAPLARIN KONTROLÜ

Şu ana kadar yapılan hesaplarda EN12953-11 normunun da belirttiği gibi en az hataya yol açan dolaylı metot uygulanmıştır. Buradaki amaç ölçüm hatalarının en aza indirilmesi bunun içinde mümkün olan en az sayaç ölçümüyle işlem yapılmıştır. Bu yüzden sadece yakıt ve yakıttan hesaplanan baca gazı tarafı hesaba katılmış, sadece yoğuşan su miktarı zorunluluktan dolayı göz önüne alınmıştır. Tablo 4.' de ölçülen su tarafı hesaba katılmış olsaydı, debimetre ve sayaç ölçüm hataları da hesaba gireceğinden sonuçta hata oranının artacağı görülecekti.

Yine de su tarafını hesaplayıp, baca gazı tarafı ile karşılaştırmak istenirse, 1.ekonomizer ve 2.ekonomizere giren ve çıkan suyun entalpilerini hesaplamak gerekir. Bu hesaplar Tablo 11.' de gösterilerek, baca gazından hesaplanan enerjiler ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 11. Ekonomizörlerin Su Tarafında Enerji Hesabı ve Gaz Tarafı İle Karşılaştırılması

	1.Ekonomizer	2.Ekonomizer
00.30-01.30 Arasındaki Debi (kg/h)	9600	12000
Giren Su Sıcaklığı (°C)	98	18
Giren Suyun Entalpisi (kJ/kg)	410,63	75,50
Çıkan Su Sıcaklığı (°C)	124	38
Çıkan Suyun Entalpisi (kJ/kg)	520,73	159,09
Suya Geçen Enerji (kJ)	1 056 960	1 003 080
Gaz Tarafında Hesaplanan Enerji (kJ)	980 585	948 194
Hata	%7,8	%5,8
Verim Farkı	+%0,34	+%0,24

Aradaki fark su debimetre ve sayaçlarının yeterli hassaslıkta ölçüm yapamaması, özellikle 1.ekonomizerde üretilen buhara göre oluşan debi ve sıcaklık farkları ile 2. ekonomizere giren şehir şebeke suyu sıcaklığındaki değişikliklerdir. Su tarafında ölçülen sıcaklıklar daha çok anlık verileri gösterirken, gaz tarafı sıcaklıkları 00.30-01.30 sürecinde çok değişmeyen değerleri gösterir. Bu durum, gaz tarafını hesaplarının daha güvenilir olduğu sonucunu ortaya çıkarır.

SONUÇ

Üretici firmanın kazan için verdiği %89,5 verim yerine %90,11, 1.ekonomizer için verdiği %5 verim yerine %4,18 ve 2.ekonomizer için verdiği %2,5 yerine %4,05 verim hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam verim %98,40 bulunmuştur. Bu değer üretici firmanın verdiği proje değeri olan %97 in üzerindedir. 2.ekonomizördeki anlık debi ve sıcaklık değişikliklerinin, yoğuşan su miktarında ani değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, içinden yaklaşık 18°C' de şehir şebeke suyu geçen ekonomizer boru yüzeylerine çarpan baca gazında bulunan su buharının hızla yoğuşmasıdır. Bu yüzden sistemden çekilen buharın, dolayısıyla sistemde oluşan baca gazı miktarının fazla değişmediği, nispeten sürekli bir rejime ulaşıldığı süreç seçilmiş ve bu zaman dilimi içinde toplanan su miktarı temel alınmıştır. Şehir şebeke suyunun sıcaklığındaki değişimler ile 2.ekonomizerde ısıtılan kullanma suyundaki sıcaklık ve debi değişimleri kondensat miktarını ve dolayısıyla sistemin verimini etkileyebilecektir. Bu durum haliyle yoğuşma sonucu geri kazanılan ısının değişmesine yol açacaktır.

Sonuç olarak üretici firmanın taahhüt ettiği %97 sistem veriminin sağlandığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye 9. Enerji Kongresi Tebliğ Kitap Seti, Türkiye Enerji Komitesi Yayınları, 2002
- [2] Türk Standardı TS 377-11 EN 12953-11 Nisan 2005
- [3] Büyüktür A. Rasim, "Termodinamik Uygulama Esasları – Cilt 2", Birsen Yayınevi, 1995
- [4] Yunus A. Çengel, Micheal A. Boles, "Mühendislik Yaklaşımı ile Termodinamik", Literatür Yayınevi, 2000

ÖZGEÇMİŞLER

Burak OLGUN

1977 yılında İstanbul'da doğmuş, 2000'de Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi'nden mezun olmuştur. 2002'de aynı üniversiteden Isı Proses alanında Yüksek Mühendis unvanı almış olup halen aynı alandaki doktora öğrenimine devam etmektedir. 2002'den bu yana Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı bünyesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Barbaros BATUR

1966 yılında İstanbul'da doğmuş, 1990'da İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi'nden mezun olmuştur. 1995'de Marmara Üniversitesi'nden Yüksek Mühendis unvanı almış olup, 2002'de Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Isı Proses alanında doktora eğitimini tamamlamıştır. Halen aynı Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı bünyesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Hüsamettin BATUR

1963 yılında Gölarmara / Manisa'da doğdu. 1985 İTÜ Makine Fakültesi'nden Makine Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1991 Yılına kadar İdeal Isı San. Ltd. Şti. firmasında proje ve montaj mühendisliği, 2000 yılına kadar Üniterma Isı Sanayi Ltd. Şti. firmasında Genel Müdürlük görevini yapmıştır. 2000 yılından itibaren Eralp Makine Kazan Sanayi Firmasında Fabrika Müdürlüğü görevini yürütmektedir.

Hasan TÜTER

1942 yılında Akseki / Antalya'da doğdu. Yüksek öğrenimini Makine Yüksek Mühendisi olarak Almanya'da yaptı. Ayrıca Almanya'da kaynak mühendisliği eğitimini de tamamlayarak 1966'da Kaynak Mühendisi oldu. 2003 Yılına kadar Selnikel A.Ş. firmasında muhtelif kademelerde görev yaptı. Bu hizmet süresince Kazanlar ve basınçlı kaplar konusunda bir çok Alman ve diğer yurtdışı firma ile çalışmalar yürüttü. 2004 yılından itibaren Eralp Makine Kazan Sanayi Firmasında kendi dalında müşavirlik yapmaktadır.

Hasan HEPERKAN

1953 yılında İstanbul 'da doğmuş, 1970 de Ankara Fen Lisesi, 1974 de İTÜ Makina Fakültesi 'nden mezun olmuştur. Fullbright ve TÜBİTAK şeref bursiyeri olarak ABD ne giden Heperkan, 1976 da Syracuse University de M.Sc. ve 1980 de University of California, Berkeley de Ph. D. derecelerini elde etmiş, bu arada Lawrence Berkeley Laboratuvarı 'nda araştırmacı olarak çalışmıştır. Daha sonra ABD de Union Carbide firması Araştırma Merkezi 'inde bir yıl görev yaparak, Alexander von Humboldt bursiyeri olarak Universitaet Karlsruhe (TH) ya gitmiştir. 1984 yılına kadar Almanya 'da kalmış ve geri dönmüştür. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve Demirdöküm 'de çalıştıktan sonra 1996 da Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi 'ne geçerek 1997 de profesör unvanını almıştır. 1987 den beri Yıldız Teknik Üniversitesi, Marmara Üniversitesi, Yeditepe Üniversitesi ve Hava Harp Okulunda ısı tekniği ve tesisat konularında çeşitli dersler vermekte olup, birçok doktora ve lisansüstü tez yönetmiş, araştırma ve endüstriyel projeler yürütmüştür. 2003–2006 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Dekanı olarak görev yapmıştır. İki dil bilen Heperkan çeşitli ulusal ve yabancı ödüller kazanmış ve 60 ın üzerinde kitap, makale ve bildirisi yayınlanmıştır.