

GAZ TÜRBLNİ MOTORLARDA HAVA FİLTRESİ BAKIMININ EKSERJETİK ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ*

Yılmaz YÖRÜ

yilmazyoru@gmail.com

T. Hikmet KARAKOÇ**

Anadolu Üniversitesi
Sivil Havacılık Yüksek Okulu,
hkarakoc@anadolu.edu.tr

Arif HEPBAŞLI

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü,
arif.hepbasli@ege.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada bir kojenerasyon tesisinde yer alan gaz türbinli motorlarda hava filtrelerinin bakımlarının ekserjetik etkisi incelenmiştir. Analizde bir kojenerasyon tesisinde bulunan 4.2 MW elektrik üretim kapasitesine sahip bir gaz türbininin 1 aylık saat bazındaki gerçek verisi kullanıldı.

Elektrik üretimi amacıyla kullanılan gaz türbin motorlarına giren havanın yerdeki partiküllerden arındırılması için filtre edilmesi gerekir. Bu hava yanma odasında, motorun soğutulmasında ve kabin içindeki motorun dışında meydana gelen ısının hava ile atılmasında kullanılır. Çalışmada incelenen gaz türbinine ait emme ağzında bulunan filtrelerinin bakımlarının gecikmesi sonucunda ortaya çıkan ekserji artışı grafiksel ve sayısal olarak gözlemlendi. Gaz türbini kabinindeki sıcaklık değişimleri ve gaz türbininin bulunduğu kabinde yer alan fanlar ile dışarıya atılan ısının ekserjisi grafikler ile gösterilerek sayısal karşılaştırmalar yapıldı.

Sonuç olarak hava filtrelerinin bakımının enerji veriminin yanında gaz türbinlerinde ekserji verimini de önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılabilir. Dolayısıyla düzensiz filtre bakımı, her iki verimi etkileyebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Filtre, bakım, kojenerasyon sistemi, gaz türbini, ekserji

Experimental Investigation Of Exergetic Effect On The Maintenance Of Air Filters Used In Gas Turbine Engines

ABSTRACT

In this study, exergetic effect on the maintenance of air filters used in gas turbine engines was investigated. In the analysis, hourly actual operational data for one month obtained from a gas turbine, located in a cogeneration system with an electrical power output of 4.2 MW, were used. Inlet air of gas turbine engines used to produce electricity in cogeneration systems must be filtered. This air flow is used in the combustion chamber, for cooling the engine and throwing the cabin heat generated from the outside body of the engine. In the present study, increment on the exergy destruction was investigated in terms of a delay in the maintenance of air filters placed in front of the air inlet frame of the gas turbine. Temperature changes and exergy of thrown heat by the fans in the cabinet of the gas turbine were numerically indicated in tables and graphics, while they were compared.

It may be concluded that the maintenance of gas turbine engines affects the exergy efficiency besides the energy efficiency. Thereby, the disordered maintenance of filters will affect both efficiencies.

Keywords : Filter, maintenance, cogeneration system, gas turbine, exergy

** İletişim yazarı

* Bu makale 22-25 Ekim 2009 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası'nda Denizli'de düzenlenen IV. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulmuştur

GİRİŞ

Hava filtreleri otomobillerde, uçaklarda, sanayide kullanılan birçok makinede hatta uzayda kullanılmaktadır. Isı ve elektriği aynı anda üretebilen kojenerasyon tesislerinde bulunan gaz türbinlerinin yerde çalışması nedeniyle yüksek debide kompresöre giren havanın filtre edilmesi gerekmektedir. Ancak bu filtrelerin bakım sürecine uygun zamanda değiştirilmemeleri ve tıkanmaları nedeniyle enerji ve ekserji kaybı ortaya çıkmaktadır.

Ekserji terimi termodinamiğin ikinci yasası ile birlikte süregelen bir olgudur. Bir sistem veya bir akış ya da referans çevre ile dengeye ulaşmaya çalışan enerji ile ortaya çıkan elde edilebilecek en fazla işe ekserji denilmektedir. Ekserji enerjinin kalitesini ve aynı zamanda kullanılabilirliğin bir ölçüsünü ifade eder [1]. Bu amaçla birçok sistemin ekserji analizi yapılabildiği gibi sistemi oluşturan her bir elemanın da ekserji analizi yapılabilmektedir.

Sisteme ait tüm ekserjilerin toplamına sistemin toplam ekserjisi denir. Toplam ekserji; kinetik, potansiyel, ısı ve kimyasal ekserjilerin toplamıdır [2]. Fiziksel ekserji; mekanik ve ısı ekserjilerin toplamı, kimyasal ekserji ise; reaktif ve reaktif olmayan ekserjilerin toplamı olarak tanımlanmıştır. Kinetik ve potansiyel ekserji kinetik ve potansiyel enerjilere ait denklemleri içerdiğinden ekserji analizi daha çok ısı ve kimyasal proseslerin olduğu büyük sistemlerde daha çok ortaya çıkmaktadır.

Turgut vd. (2007) yaptığı çalışmada uçaktaki turbofan motorunun ekserji analizini yapmıştır[3]. Uçaklarda hava alımı filtresiz yapılmaktadır. Yörü (2008) ise bir kojenerasyon sistemini ve bu sistemde yer alan gaz türbinlerinin, kurutucuların ve ısı değiştirgecinin enerji ve ekserji analizini yapmıştır [4].

Bu çalışmada bir kojenerasyon sisteminin incelenmesi sırasında bir gaz türbininin filtre bakımının teknik nedenlerle gecikmesinden kaynaklanan giriş havasının ısınması problemi nedeniyle ortaya çıkan ekserjiye olan etkisi gerçek fabrika değerleri ile incelenmektedir. Bu açıdan bu çalışma filtre bakımının ekserjetik önemini vurgulamaktadır.

HAVA FİLTRELERİ HAKKINDA KISA BİLGİ

Hava filtreleri hava içindeki istenmeyen partikülleri içinde tutarak, doğal çevreden bir sisteme veya bir sistemden doğal çevreye hava akışını sağlayan elemanlardır. Eleme, çökeltme, çöktürme, elektrostatik çöktürme, viskoz çarpma, difüzyon ve durdurma, yolunu kesme metodu gibi farklı metotlar ile hava içerisindeki istenmeyen partiküllerin temizlenmesi sağlanır [5].

Hava filtrelerinde temel olarak üç parametre öne çıkmaktadır [6].

1. Partikül tutma (arındırma) düzeyleri
2. Hava akımı içinde oluşturduğu direnç
3. İstenilen servis süresini sağlayabilme

Genelde filtre seçimi partikül tutma düzeylerine göre yapılır ancak hava akımı içerisindeki dirençleri ve servis süreleri çok dikkate alınmazlar.

Filtreler ile ilgili olarak Avrupa Birliği ülkelerinin bağlı olduğu European Committee for Standardization (CEN) tarafından yayınlanan EN 779 , EN 1822 standartları ve Amerikan Institute of Environmental Sciences and

Tablo 1.

	Basınç Düşümü	SINIFI	SINIF ARALIĞI
ÖN FİLTRELER (EN 779)	250 Pa	G1	TYM < 65
		G2	65 ≤ TYM < 80
		G3	80 ≤ TYM < 90
		G4	90 ≤ TYM
TORBA FİLTRELER (EN 779)	450 Pa	F5	40 ≤ η < 60
		F6	60 ≤ η < 80
		F7	80 ≤ η < 90
		F8	90 ≤ η < 95
		F9	95 ≤ η
HEPA FİLTRELER (EN 1822)	-	H10	η ≥ 85
		H11	η ≥ 95
		H12	η ≥ 99.5
		H13	η ≥ 99.95
ULPA FİLTRELER (EN 1822)	-	H14	η ≥ 99.995
		U15	η ≥ 99.9995
		U16	η ≥ 99.99995
		U17	η ≥ 99.999995

TYM % : G1- G4 sınıfındaki ön filtreler için ortalama toz yakalama miktarıdır.

% : torba, hepa ve ulpa filtreler için ortalama volumetrik verim

MPPS : Filtrelerin en çok geçirdiği tane boy

Technology (IEST) tarafından yayımlanan standartlar bulunmaktadır [7,8].

En çok kullanılan hava filtresi tipleri, ön panel filtreler, torba filtreler, hepa filtreler ve ultra hepa filtrelerdir. Bunların yanında aktif karbon filtreler gibi diğer bazı özel filtreler mevcuttur. Filtreler ayrıca rulo tipi, zig-zag tipi, panel tip, rijit, kompakt gibi şekillerine göre de sınıflandırılmaktadır. Tablo 1'de TSE EN779, EN1822 da yer alan endüstride en çok kullanılan filtre sınıfları verilmiştir.

Burada yer alan ön filtre (G) ve torba filtre (F) serileri endüstride oldukça çok kullanılırlar. Hepa ve Ulpa filtreler, çok hassas toz tutma kabiliyetlerine sahip olup, daha çok sağlık birimlerinde kullanılırlar. Temiz odalarda kullanılan Hepa filtreler ve bunların standartlarına ilişkin detaylar Özkaynak'ın ayrıntılı açıklamalarında mevcuttur [8].

SİSTEM TANITIMI

İncelenen 4.2 MW kapasiteli Centaur 50 model II. no'lu gaz türbini Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu gaz türbini 3 farklı gaz türbininin bulunduğu İzmir'deki bir seramik fabrikasında yer alan toplam 13 MW kapasiteli kojenerasyon sisteminde yer

almaktadır [9]. Gaz türbinine ve ses kabine giden hava önce evaporatif sistemle su ile soğutulmaktadır. Burada bir miktar soğutulan ve nemlendirilen hava ilk önce G3 tipi filtreden daha sonra da F6 tip filtreden geçmektedir. Buradan hava iki kola ayrılarak F4 tipi filtre ile ses kabine ve F9 tipi filtre ile gaz türbinine iletilmektedir. Ses kabine giren hava gaz türbininin gövde ısısını alarak dışarı iki adet 18000 m³/h'lik fan yardımıyla 8 no.lu baca ile dışarı atmaktadır.

Ekserji analizi yapılan ses kabini sistemine ilişkin kabuller ve sabitler şu şekildedir:

Kabuller:

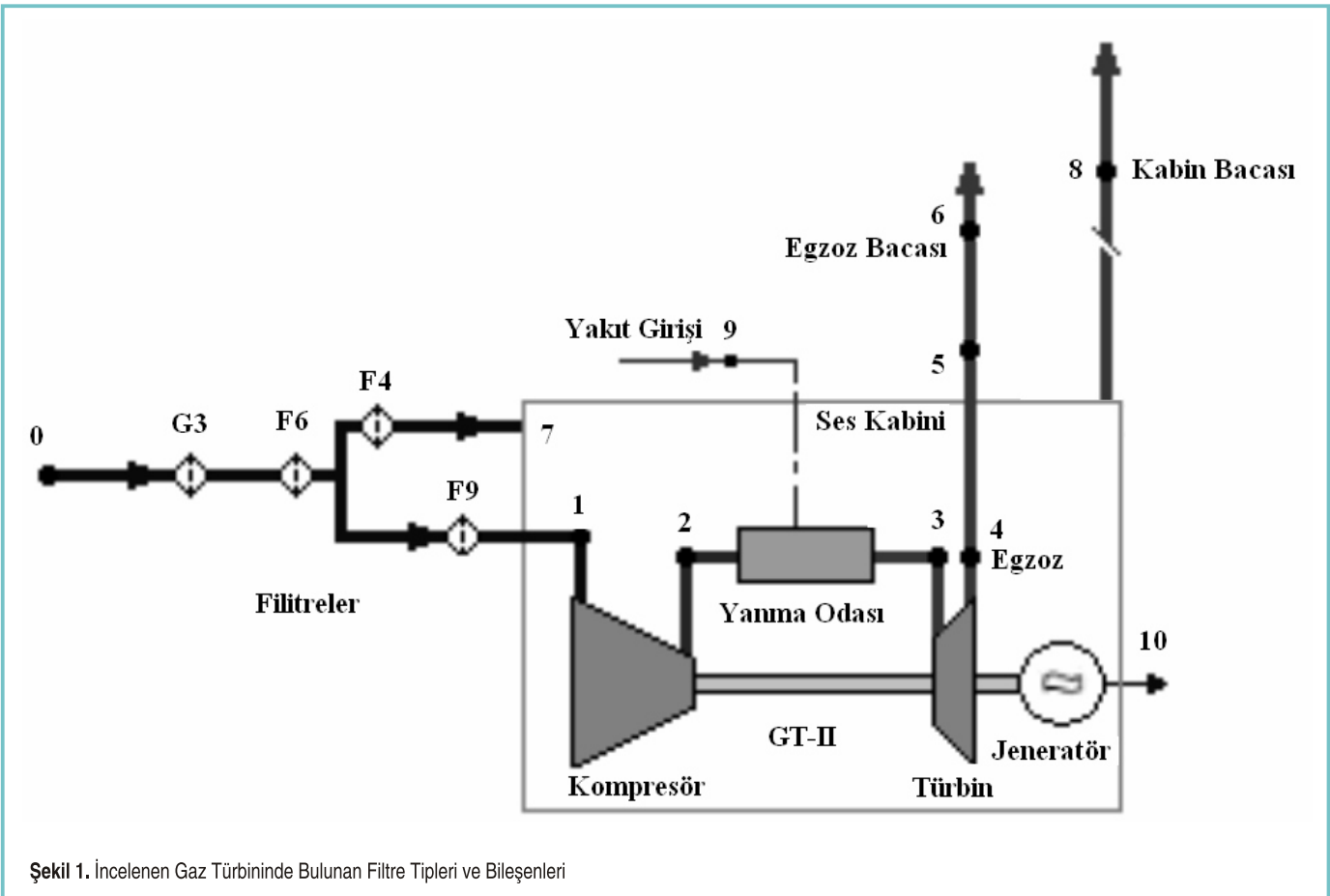
- Sürekli akış vardır.
- Hava ideal gaz kabul edilmiştir.

Sabitler:

- Kabin Fanı Debisi: 2x18000 m³/h
- Kompresör Hava debisi: 880 m³/dak

HAVA FİLTRELERİNİN EKSERJİ ANALİZİ

Bir sistemin toplam ekserjisi fiziksel, kinetik, potansiyel ve kimyasal olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır [3].



Şekil 1. İncelenen Gaz Türbininde Bulunan Filtre Tipleri ve Bileşenleri

Toplam ekserji;

$$Ex = Ex^{PH} + Ex^{KE} + Ex^{PE} + Ex^{CH} \quad (1)$$

ile ifade edilir.

Genel olarak sürekli akışa sahip bir sistem için ekserji dengesi

$$\dot{Ex}_{giren} - \dot{Ex}_{çikan} = \dot{Ex}_{DL} \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Burada yer alan \dot{Ex}_{DL} terimi ekserji yıkımı (destruction) ve ekserji kayıplarının (loss) toplamından oluşur, giren ve çıkan ekserjiler arasındaki fark bu ifadeye eşittir. Ekserji yıkımı sistem içerisinde oluşan ve kesin geri kazanımı olmayan ekserjiyi, ekserji kaybı ise çevreye atılan fakat geri kazanılabilecek ekserjiyi ifade etmektedir. Filtreler için ekserji dengesi, 1 filtre girişi 2 filtre çıkışı olarak ifade edilirse denklem;

$$\dot{m}_{hava} [(h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2)] = \dot{Ex}_{DL} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Filtrenin ekserji verimi

$$\epsilon = \frac{\text{Alınan ekserji}}{\text{Verilen ekserji}} = \frac{Ex_{çikan}}{Ex_{giren}} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir.

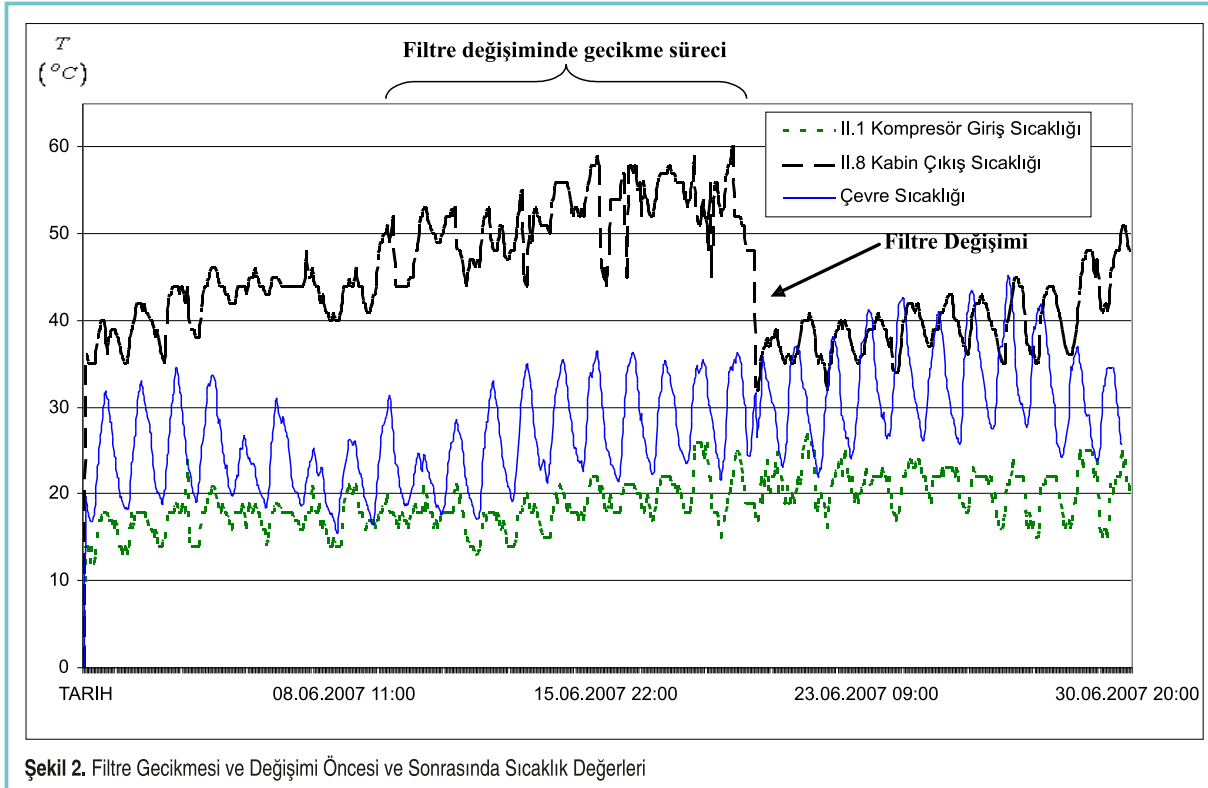
SONUÇLAR

Daha önceki bir çalışmada kojenerasyon sisteminin Haziran 2007 ayına ait veriler alınırken gaz türbininin hava girişi sisteminde yer alan ve değişmesi gereken filtre teknik temin nedenlerinden dolayı değiştirilememiştir. Bu çalışmada ise bu süreçte yaşanan filtre bakımı gecikmesinin bazı ekserji değerlerine olan etkisi gözlenmiştir. Filtreler 19 Haziran 2007 saat 23:00'de ancak değiştirilebilmiştir.

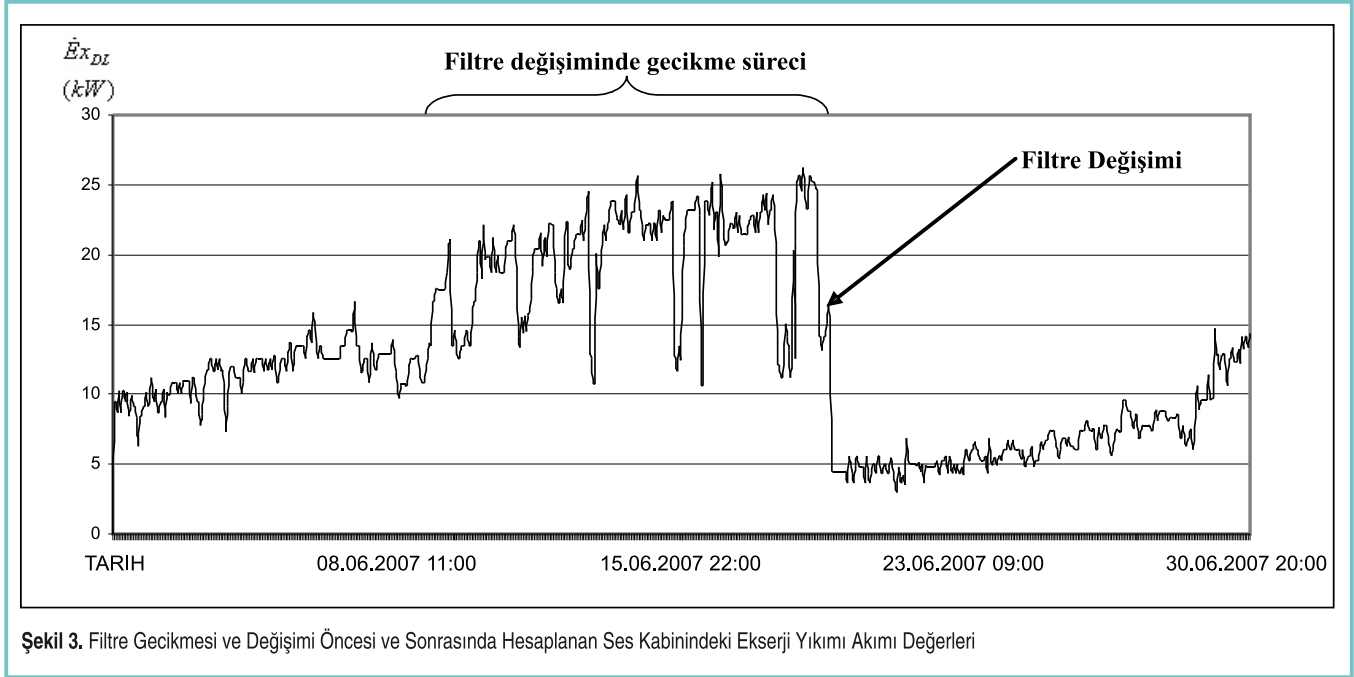
Şekil 2'de filtre değişiminin gecikmesi sonucunda kompresör giriş sıcaklığının ve kabin sıcaklığının arttığı gözlenmektedir. Buradaki sıcaklıklar dikkatli incelendiğinde sistemin soğutulmasında kullanılan havanın sıcaklığının filtre değişim sürecinde arttığı görülmektedir. Ortam sıcaklığı ayın sonlarına doğru arttığı hâlde, filtre değişimi sonrasında kabin çıkış sıcaklığı önemli ölçüde düşmüştür. Kompresör giriş sıcaklığında da yine düşüş gözlenmektedir. Kompresör girişindeki bu sıcaklık düşümü sistemin enerji ve ekserji verimini etkilemektedir.

Filtreler paket halinde olduğundan ve giriş ağzında evaporatif soğutma yapıldığından her bir filtrenin ekserji analizi yapılamamıştır. Fakat G3,F6,F9 paketlerinden çıkan ve kompresöre 880 m³/dak debi ile giren havanın ekserji yıkımı ortalama 2.8 kW olarak hesaplanmıştır.

Buna ek olarak ses kabini içerisinde meydana gelen ekserji



Şekil 2. Filtre Gecikmesi ve Değişimi Öncesi ve Sonrasında Sıcaklık Değerleri



Şekil 3. Filtre Gecikmesi ve Değişimi Öncesi ve Sonrasında Hesaplanan Ses Kabinindeki Ekserji Yıkımı Akımı Değerleri

Tablo 2. Filtre Değişiminin Sıcaklık, Entropi ve Ekserji Değerlerine Etkisi

Açıklama	T ₀ °C	T ₁ °C	T ₈ °C	s ₁ kJ/kgK	s ₈ kJ/kgK	Ex ₁ kW	Ex ₇ kW	Ex ₈ kW	Ex _{DL} kW
En yüksek	45.20	27.00	60.00	5.7030	5.8070	14.40	9.80	20.40	26.20
En düşük	15.50	12.00	32.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	3.00
Ortalama	28.00	19.03	44.62	5.6282	5.7115	2.82	1.92	6.55	12.76
Değişim öncesi 120 saatlik ortalama	29.19	1.20	54.06	5.6795	5.7891	2.59	1.76	11.82	20.70
Değişim sonrası 5 günlük 120 saatlik ortalama	31.45	1.20	37.61	5.6833	5.7374	3.29	2.24	0.97	5.06

yıkımı araştırılmıştır. Şekil 3'te ses kabinindeki ekserji yıkımı akımının değişimi gösterilmiştir. Burada filtrelerin tıkanması nedeniyle gecikme sürecinde ekserji yıkımının arttığı gözlenmektedir. Filtre değişimi sonrasında kabin sıcaklığın düşmesi ile çevreye atılan ekserji miktarı azaldığından ekserji yıkımının azaldığı gözlemlenmiştir.

Haziran 2007 ayı ortalamaları ile filtre değişimi sürecinin 120 saat (5 gün) öncesi ve 120 saat (5 gün) sonrası ele alınarak yukarıda bahsedilen ifadeler sayısal olarak Tablo 2'de hesaplanmıştır. Tablo 2 incelendiğinde hava filtrelerinin değişiminden önceki ekserji yıkımı akımının 20.7 kW, sonrasında ise 5.06 kW olduğu görülmektedir. Sonuç olarak filtre değişimi ile saatte 15.64 kW'lık bir ekserji tasarrufu sağlanmıştır.

Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde filtre edilen havanın

giriş sıcaklığı ekserjetik bakımdan önem arz etmektedir ve düşük tutulmasında fayda vardır. Bu nedenle hava filtrelerinin seçimi ve bakımının düzgün yapılması, önerilen basınç düşümlerine uyulması gerekir, bakımı geciken filtreler nedeniyle sistemlerin yüksek ısıya maruz bırakılmaması gerekir.

Hava filtrelerinin bakımının enerji veriminin yanında gaz türbinlerinde ekserji verimini de önemli ölçüde etkilediği ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla düzensiz filtre bakımı enerji veriminin yanı sıra ekserji verimini de etkileyebilmektedir. Bu nedenle uygun olmayan, kalitesiz filtre seçimi ya da filtre bakımlarının gecikmesi durumunda sistemler hem mekanik olarak zorlanacak, hem de sistemde ekserji yıkımları ve kayıpları meydana gelebilecektir. Bu bakımdan, verimli ve daha ekonomik bir sistem kullanımı için endüstriyel firmaların filtre bakımlarına özen göstermesi gerekmektedir.

SİMGELER VE İNDİSLER

Simge Açıklama

$\dot{E}x$	birim zamanda ekserji (kW)
Ex	ekserji (kJ)
h	özgül entalpi (kJ/kg)
\dot{m}	kütlesel debi (kg/s)
s	özgül entropi (kJ/kgK)
T	sıcaklık (K veya °C)
T_0	çevre sıcaklığı (K veya °C)
ε	ekserji verimi (birimsiz)

Kısaltma Açıklama

çıkan	sistemden çıkan birim
CH	kimyasal ekserji
DL	yıkım (destruction) ve kayıp (loss)
giren	sisteme giren birim
KE	kinetik ekserji
PE	potansiyel ekserji
PH	fiziksel ekserji

TEŞEKKÜR

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Anadolu Üniversitesi ve Ege Üniversitesine sağladıkları destekler için teşekkür ederiz. Özellikle Ege Seramik Fabrikası müdürleri, Bahri Yaman ve Ahmet Cırıkoğlu'na, veri toplama ve teknik desteklerinden dolayı ayrıca teşekkür ederiz. Bazı ölçüm cihazlarını sağlayan Ege Üniversitesi Bilim Teknoloji ve Uygulama Merkezi (EBİLTEM) Müdür Yardımcısı Prof. Dr. Cengiz Akdeniz'e teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. **Rosen, M.A.** 2006. Allocating Carbon Dioxide Emissions From Cogeneration Systems: Descriptions Of Selected Output-based Methods, Journal of Cleaner Production 2006: 1-7.
2. **Tsatsaronis, G.,** 2006. Definitions and Nomenclature in Exergy Analysis and Exergoeconomics.
3. **Turgut, E.T., Karakoç T.H., Hepbaşlı A.** 2007. Exergetic Analysis of an Aircraft Turbofan Engine, International Journal of Energy Research 31 (14) (2007) 1383 1397.
4. **Yörü, Y.** 2008. Konejerasyon Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Uygulaması ve Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
5. **Ulutepe, L.** 1995. "Havanın İçindeki Toz ve Filtrasyon Prensipleri ve Filtre Test Metotları", İkinci Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON / İHK 02), MMO Yayını,15-26.
6. **Carlsson, T., Johnsson M.** 2008. "Air Filtration: Choosing the Right Filter Class For HVAC Systems", Filtration & Separation, November 2008, 36-38.
7. Committee for Standardization, <http://www.cen.eu/cenorm/homepage.htm>, Erişim: Eylül 2009
8. **Özkaynak, F. T.** "Temiz Odalarda Kullanılan Hepa Filtreler ve Bunlarla İlgili Test Standartları", Filtre Teknolojisi, ULPATEK, Erişim: Eylül 2009, http://www.ulpatek.com/TR/Icerik_Detay.ASP?Icerik=476&M1=272&M2=373
9. **Yoru, Y., Karakoc, T.H., Hepbaşlı, A.** "Dynamic Energy and Exergy Analyses of an Industrial Cogeneration System", International Journal of Energy, 2009, Article in Press, DOI: 10.1002/er.1561