

Mechanical Engineering Articles
/
Makine Mühendisliği Makaleleri



Research Article / Araştırma Makalesi
DETERMINATION OF INLET AIR FLOW RATE IN GAS TURBINES

Şaban PUSAT*, Mustafa Tahir AKKOYUNLU, Hasan Hüseyin ERDEM

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Received/Geliş: 28.05.2014 Revised/Düzeltilme: 15.09.2014 Accepted/Kabul: 12.11.2014

ABSTRACT

Performance of gas turbines, which have been used commonly in electricity production and cogeneration systems, affect cost of electricity considerably. However, for determination and recovery of performance losses and for doing planned maintenance, lots of measurements and analyses are required. As in all turbo machineries, one of these measurements is flow rate of process fluid. Aim of this study is to give a method to calculate compressor inlet air mass flow that is difficult to measure and has low reliability for gas turbines. The calculation method mainly based on combustion equation and measured data taken from flue gas emission device. Basic inputs of the method are fuel content, fuel mass flow, relative humidity, temperature and pressure of ambient air and oxygen content and pressure of flue gas. By using this method for gas turbines, compressor inlet air mass flow can be calculated practically. By this means, it is possible to determine and follow the performance of compressor and gas turbine correctly by operators.

Keywords: Gas turbine, compressor inlet air flow, oxygen rate, fuel content.

GAZ TÜRBİNLERİNDE GİRİŞ HAVA DEBİSİNİN HESAPLANMASI

ÖZET

Elektrik üretiminde ve kojenerasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan gaz türbinlerinin performansları üretilen elektrik maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Ancak performans kayıplarının belirlenerek, geri kazanılabilmesi ve yapılacak bakım planlamasının gerçekleştirilebilmesi için işletme sırasında birçok ölçüm ve analize ihtiyaç vardır. Bu ölçümlerden biri de tüm turbo makinalarda olduğu gibi iş akışkanının kütledebisidir. Bu çalışmanın amacı, gaz türbinlerinde ölçümü zor ve güvenilirliği düşük olan kompresör giriş havası kütledebisinin hesaplanmasında kullanılacak bir yöntemin geliştirilmesidir. Hesap yöntemi temel olarak, yanma odasındaki yanma denklemlerine ve baca gazı emisyon cihazları tarafından alınan ölçüm değerlerine dayanmaktadır. Yöntemin temel girdileri, yakıt içeriği ve yakıt kütledebisi, havanın bağıl nem, sıcaklığı ve basıncı ve egzoz gazı oksijen miktarı ve basıncıdır. Bu yöntem kullanılarak gaz türbinleri için kompresör giriş hava kütledebisi pratik bir şekilde hesaplanabilir. Bu sayede işletmeciler tarafından doğru bir şekilde kompresör ve gaz türbininin performansının belirlenmesi ve takip edilmesi mümkün olacaktır.

Anahtar Sözcükler: Gaz türbini, kompresör giriş hava debisi, oksijen oranı, yakıt içeriği.

1. GİRİŞ

Gaz türbinleri birçok avantajından dolayı uzun yıllardır elektrik üretim sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sanayide kojenerasyon sistemlerinde hem elektrik hem de proses ısısı

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: spusat@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 29 15

elde etmede kurulunun ve işletilmesinin basit, yatırım masraflarının diğer kojenerasyon sistemlerine göre düşük olması gibi önemli üstünlükleri nedenleri ile tercih edilmektedir. Ancak gaz türbinlerinin de tüm termik makinalarda olduğu gibi performansı, çevre ve işletme şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Performans değişiklikleri ise üretim maliyetlerini etkilemektedir. İşletmecilerin çoğu performans kayıplarının çevre ve işletme şartlarından mı yoksa yıpranma, yaşlanma, kirlenme, mekanik arıza ve benzeri nedenlerden mi kaynaklandığını ayırt etmekte zorlanmaktadır. Bu nedenle de uygun bakım ve onarım planlaması yapmakta bilgi eksikliği yaşanmaktadır. Bu bilgi eksikliğini giderilerek uygun bakım planlaması ile elektrik üretim kayıplarının ve bakım masraflarının azaltılması için performansın takip edilmesi ve değerlendirilmesi gereklidir. Uygulamada üniteleri kontrol etmek amacı ile işletme verileri sürekli ölçülse de bu veriler ile performans takip etmek çoğu zaman mümkün değildir. Bu nedenle performans takibi için gerekli ilave parametrelerin doğrudan ölçülmesine ya da dolaylı ölçümler ve hesaplamalar ile belirlenmesine ihtiyaç vardır.

Gaz türbinlerinin performansını gösteren termik verim ve güç çıktısı ile ilgili hususlarda, analizler yapılmak istendiğinde bazı temel bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Gaz türbinine giren hava ve yakıt kütsel debisi ve gaz türbini giriş-çıkış akışkan sıcaklıkları bu temel bilgilerdendir. Uygulamada genellikle üretim güç esaslı olduğundan işletmeler üretildikleri gücü her zaman maksimum yapmak istemektedirler. Ancak çevre şartlarının değişmesi üretim gücünü etkilemekte ve özellikle çevre sıcaklığı arttığında güç üretimi düşmektedir. Bunun başlıca nedeni ise iş akışkanının kütsel debisinin sıcaklık ile azalmasıdır. Ancak kütsel debi ölçümü yapılmadığı için azalan güçteki kütsel debinin payı diğer yıpranma, yaşlanma ve arızalardan ayrıştırılmamaktadır. Gaz türbini üreticileri sistemden geçen kütsel debiye bağlı güç ve verim değerlerini performans testleri amacı ile vermektedirler. Diğer bir deyişle sistemden geçen kütsel debi çevre sıcaklığı, basıncı, nemi gibi önemli bir performans düzeltme parametresidir. Gerçek şartlarda ölçülen güç bu her bir parametre için elde edilen düzeltme katsayıları ile düzeltilerek işletme şartları dizayn değerine getirilir ve dizayn performans değerleri (termik verim ve güç çıktısı) ile karşılaştırılır. Bu nedenle bu değerler bilinmeden gaz türbininin gerçek performansı ve performans kayıpları belirlenemez. Dizayn performans değerleri ile düzeltilmiş performans değerleri arasında fark varsa gaz türbininde bakım planlaması yapılmalıdır. Kaybolan performansın geri kazanılması, ancak bu şekilde bir değerlendirme sonucunda bakım planlamasının yapılması ile mümkün olacaktır. Debiyi ölçmek her zaman diğer akışkan özelliklerine göre çok fazla dikkat ve kontrol isteyen zor bir husustur ve genellikle ölçümü yerine dolaylı yoldan belirlenmesi tercih edilir. Gaz türbinlerinde genellikle kabul testlerinde kompresör giriş hava debisi ölçülürken işletme sırasında bu değer ölçülmez [1].

Bu çalışmanın temel amacı, bir gaz türbin gurubunda kompresör giriş hava debisinin hesaplanması için bir yöntem geliştirilmesidir. Gaz türbinlerinde kompresör giriş hava debisi ölçümünün oldukça zor olması ve ölçüm sonuçlarının - ölçme aleti kaynaklı olarak- istenilen hassasiyette olmaması gibi nedenler bu çalışmanın yapılmasının temel sebebidir. Gaz türbinleri için kompresör giriş hava debisinin ölçümünün yapılmadığı durumlarda ya da ölçülen ile hesaplanan debi değerleri ile bir mukayese yapılmak istendiğinde bu hesap yöntemi kullanılabilir. Hesap yöntemi temel olarak, belirlenen yakıt içeriğine bağlı olarak yanma denkleminin denkleştirilmesi ve baca gazı emisyon cihazları tarafından kaydedilen ölçüm değerlerinin kullanılması ilkesine dayanmaktadır. Yöntemin temel girdileri yakıt, hava ve egzoz gazları ile ilgili verilerdir. Bu veriler; yakıtı oluşturan gaz karışımının molar oranları, yakıtın kütsel debisi, egzoz gazları içerisindeki oksijenin molar oranı, havanın bağıl nemi, çevre sıcaklığı, atmosfer ve baca basıncından oluşmaktadır. Uygulamada gaz içeriği çok değişken olmayıp gaz temin eden firma tarafından belirli aralıklar ile ölçülerek işletmelere verilmektedir. Gaz türbinlerinde yakıt debisi gaz temin eden firmalara ödeme yapılması amacı ile hassas bir şekilde sürekli ölçülmektedir. Egzoz gazlarının içeriği ise yönetmelikler gereği çevreye atılan NO_x miktarlarının kontrolü amacı ile ölçülmektedir. Bu nedenle geliştirilen hesaplama yöntemi için gerekli olan

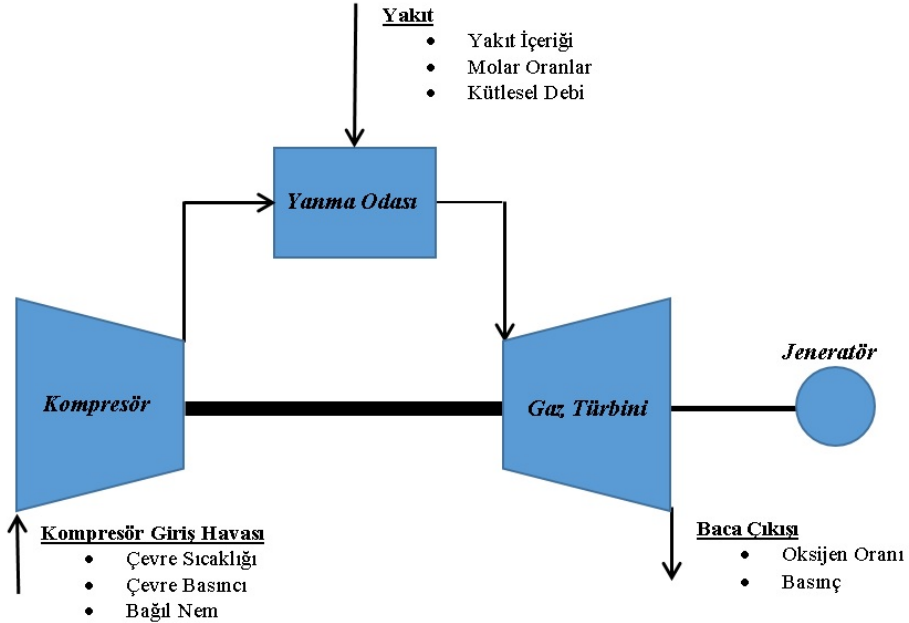
verilerin birçok işletmede hâlihazırda ölçülmekte olması yöntemin kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Literatürde baca gazı debisi hesabı için benzer şekilde geliştirilmiş yöntemler mevcuttur. Kojenerasyon sistemlerinin performansını belirlemek için yapılan bir çalışmada bu çalışmadakine benzer bir yöntem kullanılarak baca gazı debisinin ölçülmediği durumlarda baca gazı debisinin hesabının nasıl yapılabileceği anlatılmıştır [2]. Diğer bir çalışmada ise, baca gazı debisinin yakıt ısı değeri ve yanma ürünlerinin oranlarına bağlı olarak hesaplanan yakıt faktörü ile hesaplanabileceği gösterilmiştir [3-4].

Bu makalede geliştirilen yöntem kullanılarak, literatürden alınan örnek bir gaz içeriği için analizler yapılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen matematiksel eşitlik, egzoz gazları içerisindeki oksijenin molar oranını ve yakıt debisini kullanarak, kompresör giriş hava debisinin pratik olarak hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu çalışma sonucunda, ölçümü özen ve dikkat isteyen kompresör giriş hava debisinin, bazı kabuller yapılarak hesaplanmasının mümkün olduğu görülmüştür.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada önerilen yöntem, başta kazanlar olmak üzere yanmanın olduğu yerlerde benzer şekilde kullanılmaktadır. Kazanlarda, egzoz gazlarını oluşturan gazların molar oranları ve yakıtın kütleli debisi kullanılarak egzoz gazının kütleli debisi hesaplanmaktadır [2, 5]. Bu çalışmada, benzer metodoloji gaz türbinli sistemlerdeki kompresör giriş hava debisinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Tipik bir gaz türbin çevrimi ve geliştirilen yöntemde kullanılan temel parametreler Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tipik bir gaz türbin çevrimi şeması ve temel giriş-çıkış parametreleri

Bu çalışmanın ilk bölümünde, nemli hava ile gaz türbinlerinde kullanılan yakıtın yanma reaksiyon denkleminin oluşturulması verilmiştir. Yanma reaksiyon denkleminin elde edilebilmesi

için kullanılan yakıtın analizinin yapılarak, yakıtı oluşturan bileşenlerin molar oranlarının belirlenmiş olması gereklidir. Örnek olarak, literatürdeki bir çalışmadan alınan doğalgazın bileşenleri ve özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Gaz türbinlerinde yanma odasındaki sıcaklık kontrolü yanmada kullanılan hava miktarı ile yapılmaktadır [6]. Bu nedenle diğer yanma sistemlerinin tersine gaz türbinlerindeki hava-yakıt oranı stokiometrik değerden oldukça fazladır. Gaz türbinlerinde yanma odasındaki karışımın iyi hazırlandığı dikkate alındığında yanma tam yanmaya yakın gerçekleşmektedir. Bu çalışmada, yanmanın tam yanma olduğu kabulü yapılmıştır.

Çizelge 1. Doğalgazın özellikleri [7]

Bileşen	Hacimsel Oran (%)	Kütlesel Oran (%)	Alt Isıl Değer (kJ/kg)
CH ₄	89.95	80.92	50000
C ₂ H ₆	8.03	13.64	47525
C ₃ H ₈	0.078	1.94	46390
C ₄ H ₁₀	0.07	0.23	45775
C ₅ H ₁₂	0.01	0.04	45400
CO ₂	0.48	1.2	-
N ₂	1.28	2.03	-
TOPLAM	100	100	47966

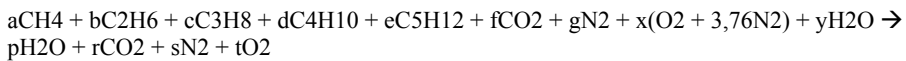
Gerçek hava ile yapılan yanma analizlerinde bağıl nemin etkisini dikkate almak gerekir. Yanma havasının bağıl nemine bağlı olarak hava ile gelen su buharı miktarı şu şekilde hesaplanır [8]:

$$P_{v,H_2O} = \phi_{air} \cdot P_{sat,H_2O} \quad (1)$$

$$n_{H_2O} = \frac{P_{v,H_2O}}{P_{atm}} \cdot n_{air} \quad (2)$$

burada ϕ_{air} çevre havasının bağıl nemini, P_{sat,H_2O} çevre şartları için su buharının yoğuşma basıncını, n_{air} havanın toplam mol değerini, n_{H_2O} su buharının mol değerini, P_{atm} atmosfer basıncını ve P_{c,H_2O} su buharının kısmi basıncını göstermektedir.

Gerçek yanma reaksiyon denklemini oluşturabilmek için hava ile gelen su buharının da denkleme dâhil edilmesi gerekmektedir. Çizelge 1’de verilen örnek doğalgaz içeriğine ve hava ile gelen su buharı miktarına bağlı olarak, değişken fazla hava miktarları için denklem sistemi aşağıdaki gibi elde edilmiştir;



Yanma denklemindeki y katsayısı (su buharının mol değeri) denklem 2 ile hava miktarına bağlı olarak hesaplanır. Yanma odasına giren toplam yakıt ve hava miktarları sırasıyla şu şekilde hesaplanır:

$$n_{fuel} = a + b + c + d + e + f + g \quad (3)$$

$$n_{air} = 4,76 \cdot x + y \quad (4)$$

Yapılan baca gazı analizlerinden elde edilen egzoz gazı içerik oranlarına bakıldığında, CO ve NO_x gazlarının oranlarının çok küçük (milyonda birler mertebesinde) olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda tam yanma kabulünün doğru olduğu ve bu gazların ihmal edilmesinin kütleli debi hesaplamasında hata oluşturmayacağı sonucuna varılmıştır.

Baca gazı analizleriyle yanma sonucu oluşan gazların molar oranları belirlenebilmektedir. Baca gazı analiz cihazlarının çalışma prensibi genellikle, bacadan alınan bir miktar gazın önce düşük sıcaklıklara kadar soğutulması ve daha sonra uygulanan farklı yöntemlerle gaz bileşenlerinin ölçülmesi şeklindedir [9]. Soğutma işleminin amacı, egzoz gazları içerisindeki su buharının yoğunlaştırılarak ölçüm cihazına zarar vermesini engellemektir. Bu çalışmada egzoz gazının, soğutma işlemiyle 5 °C'ye getirildiği kabul edilmiştir. Analiz cihazının ölçtüğü oksijenin molar oranı (yanma denkleminde t ile gösterilen) kullanılmak istendiğinde, ölçüm cihazının çalışma mantığı dikkate alınmalıdır. Bütün bu bilgiler dikkate alındığında baca gazı analizörü tarafından ölçülen oksijenin molar oranı yanma denklemindeki katsayılarla bağlı olarak şu şekilde kullanılabilir:

$$n_{pro} = p + r + s + t \quad (5)$$

$$n_{pro,analysis} = n_{pro} - n_{sat,H_2O} \quad (6)$$

$$r_{O_2} = \frac{t}{n_{pro,analysis}} \quad (7)$$

burada p, r, s ve t ürünlerin mol değerlerini, n_{pro} ürünlerin toplam mol değerini, n_{sat,H₂O} analiz için alınan baca gazının 5 °C'ye getirilmesi durumunda yoğuşacak su buharının mol değerini, n_{pro,analysis} yoğuşan su buharının çıkarılmasından sonra kalan ürünlerin toplam mol değerini ve r_{O₂} baca gazı analizi için alınan gaz örneğinden su buharının bir miktarının buharlaşmasından sonraki oksijenin molar oranını göstermektedir.

Cihazın içine aldığı örnek egzoz gazını 5 °C'ye getirmesi sonucu yoğuşacak su buharı miktarı şu şekilde hesaplanabilir:

$$\frac{p - n_{sat,H_2O}}{n_{pro,analysis}} = \frac{P_{sat,H_2O@5\text{ }^\circ\text{C}}}{P_{analysis}} \quad (8)$$

burada P_{sat,H₂O@5°C} su buharının 5 °C'deki doyma basıncını ve P_{analysis} bacadan alınan analiz gazının basıncını göstermektedir.

Yanma sonucu oluşan oksijen miktarı hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Tam yanma gerçekleşmesi durumunda, fazla hava girişi olmayacağı için çıkışta da oksijen oluşmayacaktır, dolayısıyla t=0 olacaktır.

Yanma ile ilgili analizlerde kullanılan önemli bir parametre de hava-yakıt oranıdır ve şu şekilde hesaplanır:

$$r_{a-f} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \quad (9)$$

burada m_{air} yanma için gerekli hava miktarını, m_{fuel} yakıt miktarını ve r_{a-f} hava-yakıt oranını göstermektedir.

Oluşturulan yanma denklemindeki bütün değişkenlerin molar oranları belirlendikten sonra hava-yakıt oranı hesaplanabilir. Hesaplanan hava-yakıt oranı değeri kullanılarak, ölçülen yakıt kütleli debisi için kompresör giriş havası kütleli debisi pratik bir şekilde denklem 10 ile hesaplanabilir.

$$m_{air} = m_{fuel} \cdot r_{a-f} \quad (10)$$

3. UYGULAMA

Bu bölümde, yanma reaksiyon denklemi ve baca gazı analiz değerlerinin birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilen hesap yönteminin sonuçları verildi. Hesap yönteminin temel girdileri; yakıt içerisindeki gazlar ve molar oranları, yakıtın kütleli debisi, egzoz gazları içerisindeki oksijenin molar oranı, havanın bağıl nemi, çevre sıcaklığı, atmosfer ve baca basıncından oluşmaktadır. Çizelge 1’de verilen yakıt içerikleri için örnek bir hesap yapıldı. Farklı bağıl nem değerleri için yakıt içeriğine bağlı olarak yanma denklemi denkleştirildi ve beş farklı fazla hava oranı için sonuçlar Çizelge 2’de verildi.

Çizelge 2. Örnek yakıt içeriği için analiz sonuçları

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6	Durum 7	Durum 8	Durum 9
Fazla hava %	0	0	0	0	0	100	200	300	400
ϕ_{air} , %	100	90	60	30	0	0	0	0	0
r_{O_2} , %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	14.4	16.0	17.0
r_{a-f} , %	16.8	16.7	16.6	16.5	16.4	32.9	49.3	65.8	82.2
r , kmol	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
s , kmol	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	15.9	23.8	31.8	39.7
t , kmol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	4.2	6.3	8.4
p , kmol	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
n_{sat,H_2O} , kmol	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
n_{fuel} , kmol	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
n_{air} , kmol	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	20.1	30.1	40.2	50.3
n_{pro} , kmol	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1	21.2	31.2	41.3	51.3

Stokiyometrik yanma için (% 0 fazla hava, Durum 1-5) havanın bağıl nemindeki artışa bağlı olarak giriş havasının toplam miktarı (kuru hava ve su buharı) artmaktadır, dolayısıyla da ürünlerin toplam miktarı artmaktadır.

% 0 ile % 100 bağıl nem oranları için hava-yakıt oranı yaklaşık % 2 değişmektedir. Nem oranındaki %1’lik bir değişim ise hava fazlalık katsayısında yaklaşık olarak % 0,02 oranında etki etmektedir. Durum 1-5’de fazla hava olmadığı için çıkışta oksijen görülmemektedir.

Bağıl nemin sıfır olduğu durumlarda (Durum 5-9) ise fazla hava oranının % 0 – 400 arasında değişmesi sonucunda giren hava miktarı, ürünlerdeki oksijen oranı ve hava-yakıt oranı artmaktadır.

Hesap yönteminin kullanımını daha da kolaylaştırmak için, kompresör giriş hava debisinin hesaplanmasında standartlarda kabul edilen % 60 bağıl nem kabulü yapıldı. Yakıt tüketiminin ve egzoz gazları içerisindeki oksijen oranının ölçüldüğü bir gaz türbin grubu için, kompresör giriş havası kütleli debisinin hesaplanmasında kullanılmak üzere hava-yakıt oranı ve oksijen oranı arasındaki ilişki Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Hava-yakıt oranı ile oksijen oranı arasındaki ilişki

Elde edilen eğri için denklem uydurulduğunda exponansiyel bir denklem uygun olmaktadır:

$$r_{a-f} = 5.408. \exp(0,1596. r_{O_2}) + 1.814.10^{-10}. \exp(1.395. r_{O_2}) \quad (11)$$

Elde edilen bu denklem giriş havası bağıl neminin % 60 olduğu durum içindir. Giriş havası bağıl neminin farklı olduğu durumlar için % 1 nem oranı değişiminin hava-yakıt oranı üzerindeki etkisinin % 0.02 olduğu kabulüne göre düzeltme yapılabilir.

Baca gazı analiz cihazından alınan oksijenin molar oranı, uydurulan denklem (denklem 11) ile birlikte kullanılarak hava-yakıt oranı hesaplanabilir. Denklem 11 ile hesaplanan hava-yakıt oranı ve ölçülen yakıt kütleli debisi denklem 10'da yerine konularak kompresör giriş hava debisi kolaylıkla hesaplanabilir.

4. SONUÇ

Bu çalışmayla, gaz türbinleri için kompresör giriş hava debisinin ölçülmediği ya da ölçüm doğruluğunun kontrol edilmek istendiği durumlarda kullanılabilecek bir yöntem verilmiştir. Yöntem hava, yakıt ve egzoz gazı ile ilgili temel bilgileri kullanarak çalışmaktadır.

Bağıl nemin % 1 oranındaki değişimi için hava-yakıt oranı değişimi % 0.02 olarak gerçekleşmektedir. Santrallerde kullanılan yakıt içeriği değişkendir. Bu çalışmada, ortalama yakıt içeriği ve standart bağıl nem değeri olan % 60 kabul edilerek örnek bir uygulama yapılmıştır.

Literatürden alınan örnek yakıt içeriği için verilen yöntem kullanılarak, oksijen oranı ile hava-yakıt oranı arasındaki ilişki grafiksel olarak ve korelasyon ile elde edilen denklem ile ortaya konmuştur. Baca gazı analiz cihazından alınan oksijen oranı değeri kullanılarak, grafik üzerinden okunarak ya da denklem kullanılarak hava-yakıt oranı belirlenebilmektedir. Elde edilen hava-yakıt oranı değerinin kullanılmasıyla, kompresör giriş hava debisi hesabı pratik bir şekilde yapılabilmektedir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Gay R.R., Palmer C.A. ve Erbes M.R., "Power plant performance monitoring", 2004.
- [2] Devki Energy Consultancy Pvt. Ltd. (2006) BEE Code "Cogeneration". Available from: www.energymanagertraining.com [accessed January 6, 2014].
- [3] Emission Inventory Improvement Program (2001) Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions from Boilers. Available from: www.epa.gov [accessed January 6, 2014].

- [4] KEMA, “Validated Methods for Flue Gas Flow Rate Calculation with Reference to EN 12952-15”, 2012.
- [5] Energy efficiency guide for industry in Asia (2006) Thermal Energy Equipment: Boilers & Thermic Fluid Heaters. Available from: www.energyefficiencyasia.org [accessed January 6, 2014].
- [6] Logan E. Ve Roy R., “Handbook of Turbomachinery”, 2. Baskı, 2003.
- [7] Silveira J.L. ve Tuna C.E. “Thermoeconomic analysis method for optimization of combined heat and power system. Part I”, Progress in Energy and Combustion Science, 2003.
- [8] Çengel A.Y. ve Boles M.A., “Termodinamik (Mühendislik Yaklaşımıyla)”, 5. Baskı, 2011.
- [9] Karadavut D., “Emisyon Ölçüm Kuralları ve Ölçüm Programı”.