

Binaların Isı Merkezlerinde Bulunan Kalorifer Kazanlarının Yanma Havası ve Hava Fazlalık Katsayılarına Göre Yanma Gazlarının Özelliklerindeki Değişim

Okan KON^{1*}, Bedri YÜKSEL¹

¹Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Çağış Kampüsü/Balıkesir

Özet

Çalışmada, örnek olarak Balıkesir ilindeki yedi katlı ana bina ve tek katlı matbaa binasından oluşan bir kamu binasındaki kazanlar alınmıştır. Binada 600.000 kcal/h'lik doğal gaz yakan iki adet fuel-oil'den doğal gaza çevrilmiş kazan bulunmaktadır. Ana bina; 13968 m², matbaa binası ise 1534 m² kullanım alanına sahiptir. Çalışmada ilk olarak, örnek alınan binada aralık ayı içerisinde beş günlük süreyle sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür. Ayrıca TS 3419'dan alınan örnek bina için teorik iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerleri tespit edilmiştir. Ölçülen ve teorik olarak alınan bu sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin ortalamasına bağlı olarak kazanlarda kullanılan yanma havasının su buharı miktarı hesaplanmıştır. İkinci olarak, Balıkesir ilindeki yakıt olarak kullanılan doğal gazın içeriğine bağlı olarak kimyasal formülü tespit edilmiştir. Üçüncü olarak, bina ısı merkezinde bulunan kalorifer kazanlarında baca gazlarının ölçümleri yapılmış, baca gazı özellikleri ve hava fazlalık katsayıları tespit edilmiştir. Ek olarak doğal gaz yakan kazanlarda teorik hava fazlalık katsayısı tespit edilmiştir. Son olarak tespit edilen bu değerlerle, yanma denklemleri kullanılarak baca gazı ile çevreye salınan CO₂ emisyonu, bacadaki oluşan su buharı miktarı ve yanma sonu gazlarının çiğ noktası sıcaklık değerlerinin hesapları ölçülen ve teorik olarak alınan parametreler bağılı olarak yapılmıştır. Aradaki farklar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baca gazı ölçümü, hava fazlalık katsayısı, yanma havası, kalorifer kazanları

The change of the properties of combustion gas of boilers found in the heat centers of buildings by excess air factor and combustion air

Abstract

In this study, the boilers in a public building that consists of a 7-storey main building and a single storey printing house in the city of Balıkesir are considered. In this building, there are two natural gas-fired boilers with a capacity of 600,000 kcal/h which are converted from fuel oil to natural gas. The usage of main building and printing house are 13,968 m² and 1534 m², respectively. As a first step, the temperature and relative humidity values were measured in the building for a five-day period in the month of december. Also theoretically indoor temperature and relative humidity values were determined for the building from the TS 3419. The amount of water vapor in the combustion air used in the boilers was calculated depending on the average of the measured and taken as the theoretical temperature and relative humidity. Second, the chemical formula of the natural gas that is used as a fuel in Balıkesir province was determined. Thirdly, the measurements of the flue gases in the boiler of the building heating plant were made, the flue gas properties and excess air coefficient were determined. Finally, with the measured value CO₂ emissions of the flue gases, the amount of water vapor in the flue, temperature of dew point after combustion were calculated by combustion equations depending on the measured and theoretical parameters. The differences are determined.

Keywords: *Flue gases measurement, excess air coefficient, combustion air, heating boilers*

1.Giriş

Günümüzde doğal gaz yakacak olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Konutlarda yaygın olarak ısıtma amaçlı kullanımının yanı sıra sanayi kuruluşlarında enerji amaçlı kullanıma da sahiptir [1].

Konutlarda ısınma amacı ile sıcak su kazanları ve kombine sistemler kullanılmaktadır. Yanmış gazların kazan içindeki dolaşımına göre alev geri dönüşlü ve üç geçişli olmak üzere iki tip sıcak su kazanı vardır. Brülör tipine bağlı olarak ise iki farklı kazan tipi vardır. Bunlar atmosferik brülörlü ve üflemlili brülörlü kazanlardır [1]. Brülörün görevi yakıt ve havayı karıştırmak ve ateşlemektir [2]. Atmosferik gaz brülörlerinde yanma havası, basınçlı doğalgazın bir lülede genişlemesi sırasında enjeksiyon prensibi ile çevreden emdiği hava (birincil hava) ile açık olan yakıcının altından emilen hava (ikincil hava) ile sağlanır. Üflemlili brülörlerde ise yanma havası bir vantilatör tarafından cebri olarak sağlanır [1].

Yanma kalitesini etkileyen önemli faktörler kazana uygun brülör seçilmesi, brülör alev boyu ve çapının kazan yanma odasına uygun olmasıdır. Üflemlili brülörlü kazan kullanıldığında brülörün kazana uyum göstermesi çok önemlidir. Kazana uygun brülör seçimi, kazan brülör uyumunun sağlanması ve bu seçimin yanma üzerindeki etkisi yönünden, kazan seçimi kadar önemlidir. Kazanlar ile brülör uyumu, yanma ayar ve

kontrollerinin tekniğine uygun yapılması düzgün ve kaliteli bir yanma temin edilmesine, dolayısıyla daha az yakıt tüketilmesine neden olacaktır [1].

Bacalar kazan dairelerinin ve kazan sistemlerinin en önemli elemanlarından biridir. İki ana görevi vardır. Birinci görevi yanma sonucu oluşan duman gazlarının emniyetli bir biçimde bina içinde ve yaşanan mahallere sızmadan dış atmosfere taşıyıp atmaktır. İkinci görevi kazan dairelerinin havalandırılmasıdır [2].

Baca gazları içerisinde oksijen oranı, doğalgazda % 2-3, sıvı yakıtta % 3-4, katı yakıtta % 5-6 oksijen oranı baca gazı analizleri için ideal değerler olarak kabul edilmektedir [3].

İyi bir yanmanın sonucu olarak baca gazlarında yüksek oranda arzu edilen karbondioksit atmosferde neden olduğu sera etkisiyle emisyon kabul edilmektedir. Burada çözüm, düşük karbon oranlı, yüksek hidrojen ihtiva eden yakıtların yaygınlaşması ve fosil yakıt kullanımının zaman içerisinde sınırlandırılmasıyla mümkün görülmektedir [3].

Neden olduğu enerji kaybı ve isilik sonucu kirlenme nedeniyle karbonmonoksit, baca gazları içerisinde arzu edilmemekte ve emisyon kabul edilmektedir [3].

Yakıt cinsine bağlı olarak, ocağa verilen havanın fazlalık katsayısı ile ocak dizaynından kaynaklanan nedenlerle oluşan azotoksitler, çevre açısından emisyon kabul edilmektedir. Yakıt hava ayarının elverdiği oran dışında azotoksitlere müdahale imkanı bulunmamaktadır [3].

Kazanı terk eden baca gazlarının, yakıt cinsine bağlı olarak, mümkün mertebe düşük sıcaklıkta olması istenmektedir. Gereğinden fazla yakıt debisi, yetersiz kazan ısıtma yüzeyi ile duman borularındaki kirlilik, yüksek baca gazı sıcaklığına neden olmaktadır. Yüksek baca gazı sıcaklığı verim kaybı demektir. Baca gazı sıcaklıklarında düşülebilecek minimum değerler, baca gazlarının yoğuşma (çiğlenme) sıcaklığı ile ilgilidir. Doğalgaz kullanımında 130-150 °C, katı ve sıvı yakıt kullanımında 130-175 °C baca gazı sıcaklıkları uygun değerler olarak kabul edilebilmektedir. Yüksek baca gazı sıcaklıklarında brülör ve kazana mutlaka müdahale edilmeli, kısmen kapasite düşürülerek veya kazan borularına türbülötörler ilave edilerek, baca gazı sıcaklığı düşürülmelidir. Her 20 °C baca gazı sıcaklık düşümü, verimde %1 artışa neden olmaktadır [3].

Baca gazı analizörü tarafından, baca gazlarında ölçülen, oksijen, karbondioksit, baca gazı sıcaklığı ve ortam sıcaklığı gibi parametreler değerlendirilmek suretiyle, yanma verimi otomatik olarak hesaplanabilmektedir. İşletmeci tarafından yanma verimi üzerinde yorum yapılırken, sonuca etki eden faktörler kolayca görülebilmektedir. Yanma veriminden yola çıkarak, kazan veriminden söz ederken, kazan radyasyon kayıpları, yanmamış hidrokarbonlar gibi ölçülemeyen değerler için yakıt cinsine bağlı olarak, yanma veriminden % 3-5 azaltma yapmak gerekmektedir. Ancak, baca gazı analizörlerinin, kazan verimlerinin tescil edilmesinden daha çok, yanmanın optimize edilmesinde kullanılması doğru yaklaşım olarak kabul edilmektedir [3].

Bacada duman gazları içinde bulunan su buharının yoğuşması büyük miktarda su oluşmasına neden olur. Bacalarda yoğuşmanın önlenmesi için bacanın ısı kaybına karşı

izole edilmesi gerekir. Yoğuşmalı kazanlarda bacada mutlaka yoğuşma olur. Bu su oluşumu önlenmez ise veya oluşan su iyi bir biçimde tahliye edilmez ise bütün baca boyunca binada kirliliğe, kazan dairesinde kirliliğe, baca yapısında tahribata neden olur [2].

Duman gazı içindeki su buharının yoğuşması için gazın geçtiği yollardaki temas ettiği yüzeylerin sıcaklıklarının dumanın çığ noktası sıcaklığı altında olması gerekir. Çığ noktası sıcaklığı en yüksek olan ve yoğuşma ihtimali en fazla olan duman, doğal gaz yaması sonucu ortaya çıkar. Duman içindeki su buharının yoğuşmaması için dumanın ve baca iç cidarı sıcaklıklarının bu değerler üzerinde tutulması gerekir. Ancak her durumda yoğuşma olacaktır. Yoğuşmanın azatılması ve önlenmesi için bacanın izole edilmesi gerekir [2].

Literatürü incelersek, Böke Y. E. ve Aydın Ö.; alev geri dönüşlü bir sıcak su kazanında ocak yükünün karbonmonoksit emisyonu üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyleri, 116 kW yakıt ısıl gücünde TS EN 676 standardına göre tasarlanmış bir deney kazanında cebri üflemlerle bir brülör ile doğal gaz yakılarak gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde ocak boyu, hava fazlalık katsayısı ve yakıt sarfiyatı parametre olarak seçmişlerdir. Gaz analizörü ile bacada karbonmonoksit emisyonu ölçümü yapmışlardır [1]. Bilgin A., çalışmasında, baca gazı analizlerinin değerlendirilmesiyle, kazanlar ve brülörlerde alınması gereken önlemler ile iç soğumaya neden olan faktörleri incelemiştir [3]. Yalçın S. E., yaptığı çalışmada, doğalgaz ve kömür olmak üzere farklı yakıtlar ve değişen hava fazlalık katsayıları için sıcak su veya doymuş buhar üreten kazanlar için sıcak su veya doymuş buharın maliyeti hesaplanmıştır. Doğalgaz ve kömür olmak üzere farklı yakıt girişleri için termodinamik çözümler yapılmıştır. Kazandan farklı çıkış halleri için birim ekserji maliyeti hesaplanmıştır. Hesaplamalarda bir bilgisayar programından yararlanılmıştır [4]. Özkan D. B. ve Onan C.; yaptıkları çalışmada, binanın ısıtma enerji gereksinimi üzerine dış duvar ve pencere alanı değişikliğinin etkisini incelemişlerdir. Farklı yalıtım kalınlığı ve yakıt tüketiminin üzerine yakıtın etkisini CO₂ ve SO₂ gibi kirletici emisyonlar için değerlendirilmiştir. Yakıt olarak doğal gaz ile fuel-oil kullanmışlardır [5]. Kon O., yaptığı çalışmada, örnek alınan binanın ısı merkezindeki kalorifer kazanlarının baca gazı ölçümü için ölçüm noktalarını belirlemiş ve ölçümler ile baca gazı analizlerini yapmıştır [6].

Çalışmanın amacı, Balıkesir ilindeki yedi katlı ana bina ve tek katlı matbaa binasından oluşan kamu binasının ısı merkezindeki, 600.000 kcal/h'lik iki adet fuel-oil'den doğal gaza çevrilmiş kazanlarda doğal gazın çevre havasına bağlı olarak yanması sonucu oluşan baca gazlarının; CO₂ emisyonu, su buharı miktarı ve diğer özellikleri için hesaplar yapmaktır. Bunun için ilk olarak, örnek alınan bina içinde farklı cephe ve katta bulunan 21 nokta tespit edilmiştir. Bu noktalarda aralık ayı içinde beş günlük (27-31 Aralık) örnek hafta için sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür. Ayrıca TS 3419'dan alınan örnek bina için teorik iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerleri tespit edilmiştir. Ölçülen ve teorik olarak alınan bu sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin ortalamasına bağlı olarak kazanlarda kullanılan yanma havasının su buharı miktarı hesaplanmıştır. İkinci olarak, Balıkesir ilindeki yakıt olarak kullanılan, % 93.475 oranında metan içeren doğal gazın kimyasal formülü tespit edilmiştir. Üçüncü olarak, bina ısı merkezinde bulunan kalorifer kazanlarında baca gazı cihazıyla baca gazlarının ölçümleri yapılmış, baca gazı özellikleri ve hava fazlalık katsayıları tespit edilmiştir. Ek olarak doğal gaz yakan kazanlarda teorik hava fazlalık katsayısı tespit edilmiştir. Son

olarak tespit edilen bu değerlerle, yanma denklemleri kullanılarak baca gazı ile çevreye salınan CO₂ emisyonu, bacadaki oluşan su buharı miktarı ve yanma sonu gazlarının çığ noktası sıcaklık değerlerinin hesapları ölçülen ve teorik olarak alınan parametreler bağlı olarak yapılmıştır. Aradaki farklar tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kazan Özellikleri

Kamu binası içerisindeki ısı merkezinde bulunan kazanlar, Şekil 1’de görülmektedir. Kazanların etiket değerleri Tablo1’de verilmiştir.



Şekil 1. Örnek alınan kazanlar [6]

Tablo 1. Kazan özellikleri (Etiket Değerleri)

Özellik	Değer
Kapasite	600000 kcal/h
Verim	93.07
Gaz Tarafı Direnci	2.8 mbar
Su Tarafı Direnci	16 mbar
Gaz Hacmi	857 dm ³
Yanma Odası Çapı	700 mm
Yanma Odası Uzunluğu	1453 mm
Yanma Odası Hacmi	559 dm ³
Kazan Yüksekliği	1511 mm
Kazan Genişliği	1240 mm
Kazan Uzunluğu	2005 mm
Baca Bağlantı Çapı (dış)	400 mm
Baca Bağlantı Yüksekliği	956 mm
Kazan Su Hacmi	596 lt
Çalışma Basıncı	4 bar

2.2. Yakıt Özellikleri ve Baca Gazı Ölçümü

Şekil 2’de ısı merkezinde bulunan kalorifer kazanlarının bacalarındaki ölçümlerde kullanılan baca gazı ölçüm cihazı görülmektedir. Tablo 2’de Balıkesir ilinde binalarda yakıt olarak kullanılan doğal gazın kimyasal içeriği ve özelliği verilmiştir. Şekil 3’de kazanların bacalarındaki baca gazı ölçüm noktaları gösterilmiştir. Tablo 3’de kazanların bacalarında yapılan beş farklı ölçüm değeri verilmiştir. Tablo 4’de ise beş farklı ölçüm

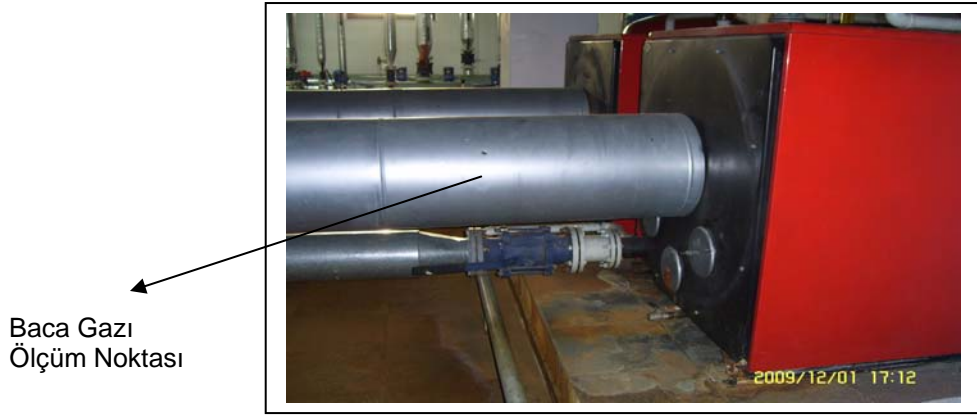
değerinin ortalamaları gösterilmiştir. Baca gazı ölçümlerinde her ölçüm, üç tekrarlı olarak yapılmıştır.



Şekil 2. Baca gazı ölçüm cihazı [7]

Tablo 2. Balıkesir ilinde kullanılan doğal gazın kimyasal içeriği ve özellikleri [8]

Bileşen	Hacimsel Oran (%)
Metan	93.475
Etan	3.125
Propan	0.835
Bütan	0.316
Pentan	0.062
Hekzan	0.122
Azot	1.663
Karbondiyoksit	0.219
Yoğunluk (kg/m ³)	0.732
Alt Isıl Değer (kJ/m ³)	34645.2



Şekil 3. Kazanlarda baca gazı ölçüm noktaları [6]

Tablo 3. Kazanların baca gazı ölçüm değerleri [6]

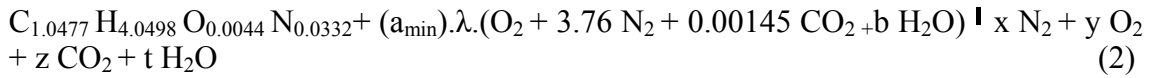
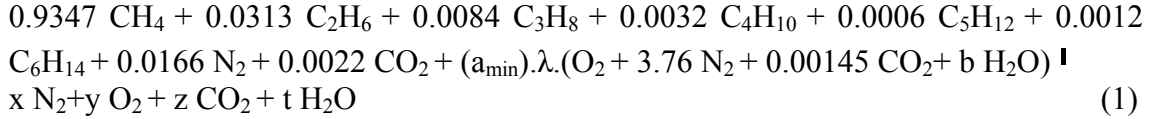
Parametre	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm4	Ölçüm 5
Gaz Sıcaklığı (°C)	173.333	107.667	165.167	201.833	211.167
Ortam O ₂ (%)	3	3	3	3	3
Fazla Hav.	1.868	4.933	2.393	1.630	2.583
Baca Kaybı (%)	10.417	13.250	12.133	10.883	17.583
Verim (%)	89.583	86.750	87.883	89.117	82.417

Tablo 4. Kazanların ortalama baca gazı ölçüm değeri [6]

<u>Parametre</u>	<u>Ortalama</u>
Gaz Sıcaklığı (°C)	171.833
Ortam O₂ (%)	3
Fazla Hav.	2.618
Baca Kaybı (%)	12.853
Verim (%)	87.150

2.3. Yanma Havaasının Su Buharı Miktarı ve Yanma Denklemi

Doğal gazın kimyasal bileşimi ve havaya bağlı yanma denklemi [4,5,8];



Burada a, yakıtın yanması için gerekli minimum oksijen için katsayı ve λ hava fazlalık katsayısıdır. Minimum a katsayısı için denklem [4];

$$a_{\min} = n_{\text{C}} + (n_{\text{H}}/4) + n_{\text{S}} - 0.5 \cdot n_{\text{O}} \quad (3)$$

dir. Burada, karbon (C), hidrojen (H), kükürt (S) ve oksijen (O) için n mol sayısıdır.

Örnek bina içindeki havanın su buharının (nemin) kısmi basıncı [9];

$$P_{v,\text{hava}} = \Phi_{\text{hava}} \cdot P_{\text{doyma}, T_{\text{ort}}} \quad (4)$$

dir. Burada, Φ_{hava} örnek bina içindeki havanın bağıl nemi, $P_{\text{doyma}, T_{\text{ort}}}$ örnek bina içi ortalama sıcaklıkta (T_{ort}) havadaki nemin doyma basıncıdır.

Havadaki su buharının mol miktarı [9];

$$n_{v,\text{hava}} = (P_{v,\text{hava}}/P_{\text{toplam}}) \cdot n_{\text{toplam}} \quad (5)$$

dir. Yanma sonu ürünlerin (yanma sonu ürünleri sabit basınçta soğutulduğu zaman içindeki su buharının yoğuşmaya başladığı sıcaklık) çığ noktası sıcaklığı [9];

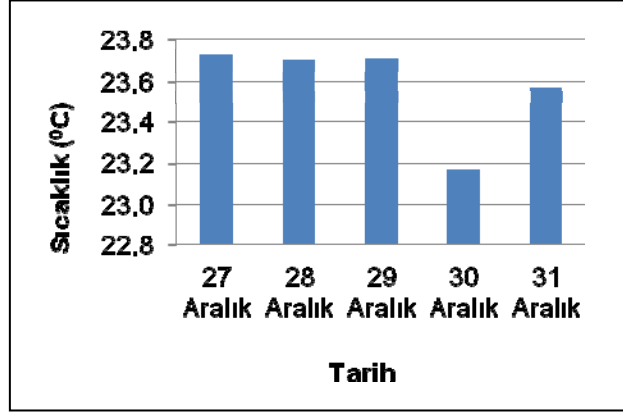
$$T_{\text{çn}} = T_{\text{doyma}, P_{v,\text{yanma}}} \quad (6)$$

dir. Burada, T_{doyma, P_v} nemli havanın doyma basıncındaki sıcaklığıdır [9].

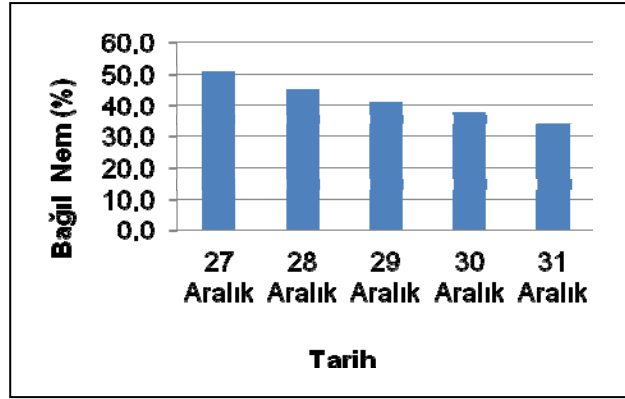
2.4. Bina İçi Ölçülen ve Teorik Sıcaklık ile Bağlı Nem Değerleri

Kazanların bulunduğu bina, yedi katlı 13968 m² kullanım alanına sahip ana bina ve tek katlı 1534 m² kullanım alanına sahip matbaa binasından meydana gelmektedir [10]. Binada, aralık ayı içinde beş günlük (27-31 Aralık) örnek hafta seçilmiş farklı cephe ve katlardaki yirmi bir ayrı noktada sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmüştür. Bina içi sıcaklık ve nem değerleri, elde taşınabilir seygar cihazla tespit edilmiştir. Şekil 4'de

yirmi bir ayrı nokta için örnek haftada ölçülen günlük ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekil 5’de ise yirmi bir ayrı nokta için örnek haftada ölçülen günlük ortalama bağıl nem değerlerinin ortalamaları verilmiştir. Tablo 5’de bina içindeki örnek haftadaki en yüksek, en düşük ve ortalama sıcaklık ile bağıl nem değerleri bulunmaktadır. Tablo 6’da ise TS 3419 dan alınan teorik iç ortam sıcaklık ve bağıl nemin en yüksek, en düşük ile ortalama değerleri verilmiştir.



Şekil 4. Bina içi örnek haftada ölçülen günlük ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 5. Bina içi örnek haftada ölçülen günlük ortalama bağıl nem değerleri

Tablo 5. Bina içindeki örnek hafta için en yüksek, en düşük ve ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri

Parametre	Değer		
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
Sıcaklık	23.7 °C	23.2 °C	23.6 °C
Bağıl Nem	% 51.1	% 34.2	% 41.9

Tablo 6. Bina içindeki teorik en yüksek, en düşük ve ortalama sıcaklık ile bağıl nem değerleri [11]

Parametre	Değer		
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
Sıcaklık	24 °C	22 °C	23 °C
Bağıl Nem	% 60	% 40	% 50

3. Bulgular

Tablo 7’de ölçülen değerler için yanma havası ve yanma denkleminde kullanılan parametreler verilmiştir. Tablo 8’de teorik değerler için yanma havası ve yanma denkleminde kullanılan parametreler verilmiştir. Tablo 8’de verilen teorik hava fazlalık katsayısı 1.1 olarak alınmıştır [2]. Şekil 6’da ısıtma döneminde ölçüm yapılan yıl içindeki 107 iş günü için günlük olarak kazanlarda yakılarak tüketilen doğal gazın miktarları verilmiştir. Şekil 7’de ölçülen değerler için yanma denklemi kullanılarak hesaplanan doğal gaz tüketimine bağlı 107 iş günü için baca gazı CO₂ emisyonu görülmektedir. Şekil 8’de ölçülen değerler için yanma sonucu baca gazında oluşan 107 gün için su buharı miktarları verilmiştir. Şekil 9’da teorik değerlere için yanma denklemi kullanılarak hesaplanan doğal gaz tüketimine bağlı 107 iş günü için baca gazı CO₂ emisyonu görülmektedir. Şekil 10’da teorik değerler için yanma sonucu baca gazında oluşan 107 gün için su buharı miktarları verilmiştir. Yıl içindeki 107 iş günü için Tablo 9’da ölçülen değerlere bağlı olarak (bina içi sıcaklık ile bağıl nem ve kazan hava fazlalık katsayısı değerleri için) bacadan atılan günlük CO₂ emisyonu ve bacada oluşan H₂O buharı miktarının en yüksek, en düşük, ortalama ve toplam değerleri; Tablo 10’da ise teorik değerlere bağlı olarak bacadan atılan günlük CO₂ emisyonu ve bacada oluşan H₂O buharı miktarının en yüksek, en düşük, ortalama ve toplam değerleri bulunmaktadır.

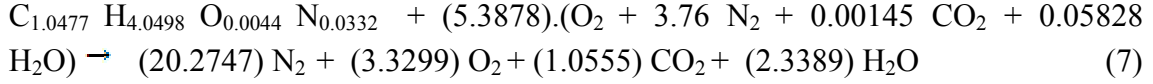
Tablo 7. Ölçülen değerler için hesaplamalarda kullanılan parametreler

Parametre	Değer
Yanma için Gerekli Minimum Oksijen Katsayı (a_{\min})	2.058
Ortalama Hava Fazlalık Katsayısı ($\lambda_{\text{ort,ölç}}$)	2.618
Ortalama Bina Sıcaklığı ($T_{\text{ort,ölç}}$)	23.6 °C
Ortalama Bina Bağıl Nemi ($\Phi_{\text{hava,ölç}}$)	% 41.9
Havanın Su Buharı Basıncı ($P_{\text{v,hava,ölç}}$)	1.230 kPa
Havadaki Su Buharının Mol Miktarı ($n_{\text{v,hava,ölç}}$)	0.314 kmol
Yanma Sonu Ürünlerin Basıncı ($P_{\text{vyanma,ölç}}$)	8.7777 kPa
Yanma Sonu Ürünlerin Çiğ Noktası Sıcaklığı ($T_{\text{çn,ölç}}$)	43.1 °C
Ölçülen Değere Bağlı Azot için Katsayı ($x_{\text{ölç}}$)	20.2747
Ölçülen Değere Bağlı Oksijen için Katsayı ($y_{\text{ölç}}$)	3.3299
Ölçülen Değere Bağlı Karbondioksit için Katsayı ($z_{\text{ölç}}$)	1.0555
Ölçülen Değere Bağlı Nem için Katsayı ($t_{\text{ölç}}$)	2.3389

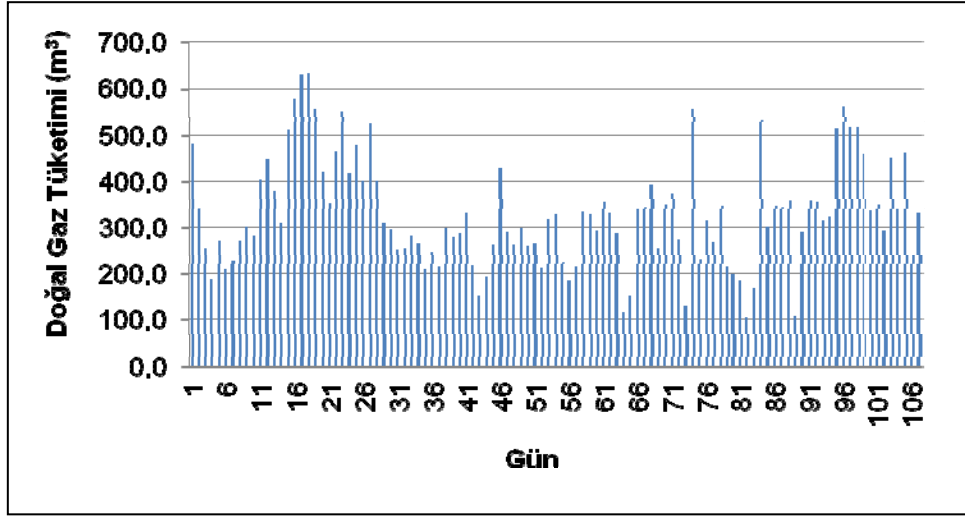
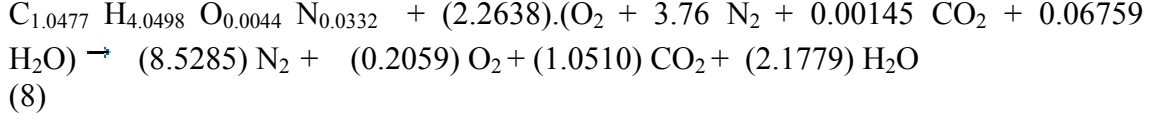
Tablo 8. Teorik değerler için hesaplamalarda kullanılan parametreler

Parametre	Değer
Yanma için Gerekli Minimum Oksijen Katsayı (a_{\min})	2.058
Teorik Hava Fazlalık Katsayısı (λ_{teo})	1.1
Teorik Bina Sıcaklığı (T_{teo})	23 °C
Teorik Bina Bağıl Nemi ($\Phi_{\text{hava,teo}}$)	% 50
Havanın Su Buharı Basıncı ($P_{\text{v,hava,teo}}$)	1.419 kPa
Havadaki Su Buharının Mol Miktarı ($n_{\text{v,hava,teo}}$)	0.153 kmol
Yanma Sonu Ürünlerin Basıncı ($P_{\text{vyanma,teo}}$)	18.4461 kPa
Yanma Sonu Ürünlerin Çiğ Noktası Sıcaklığı ($T_{\text{çn,teo}}$)	58.2 °C
Teorik Değerlere Bağlı Azot için Katsayı (x_{teo})	8.5285
Teorik Değerlere Bağlı Oksijen için Katsayı (y_{teo})	0.2059
Teorik Değerlere Bağlı Karbondioksit için Katsayı (z_{teo})	1.0510
Teorik Değerlere Bağlı Su için Katsayı (t_{teo})	2.1779

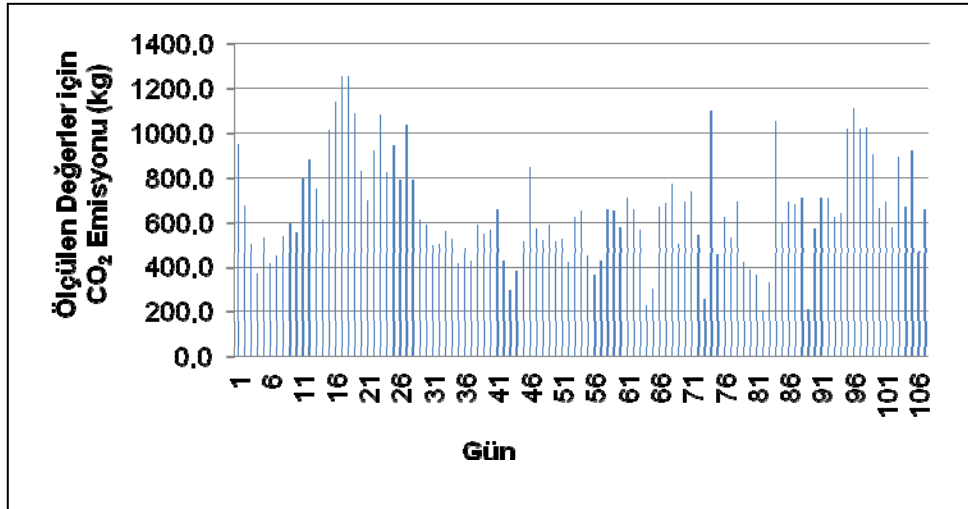
Ölçülen değerler için elde edilen yanma denklemi,



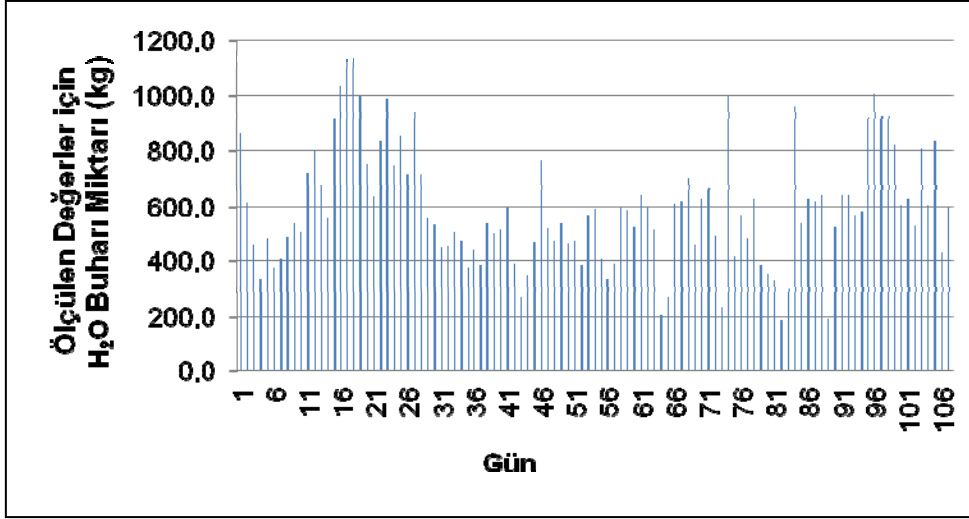
Teorik değerler için elde edilen yanma denklemi,



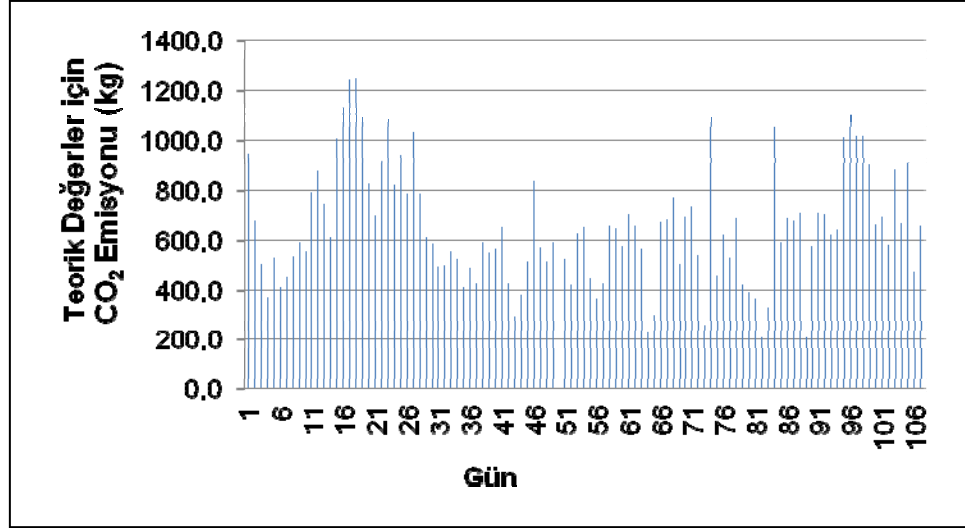
Şekil 6. Ölçüm yapılan günler için doğal gaz tüketimi [6]



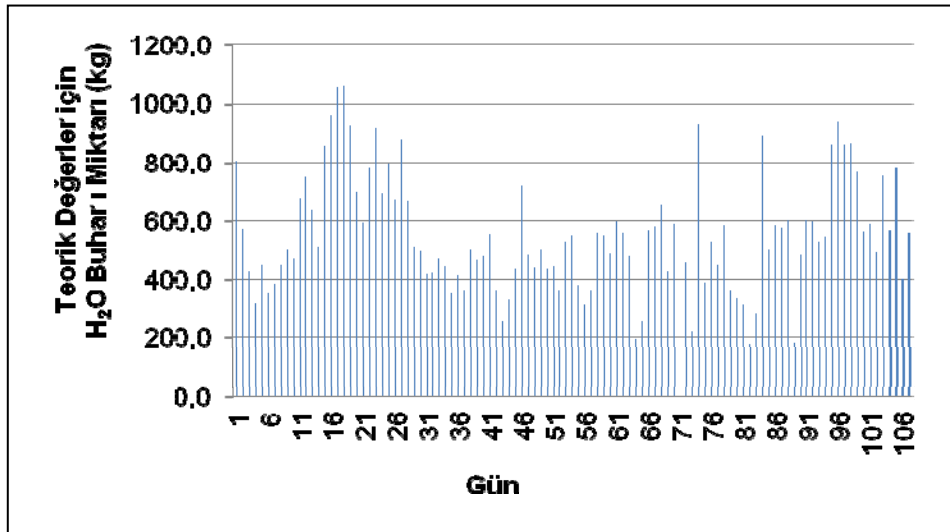
Şekil 7. Ölçüm değerler için doğal gaz tüketimine bağlı baca gazı CO₂ emisyonu



Şekil 8. Ölçüm değerler için doğal gaz tüketimine bağlı baca gazı H₂O buharı Miktarı



Şekil 9. Teorik Değerler için doğal gaz tüketimine bağlı baca gazı CO₂ emisyonu



Şekil 10. Teorik Değerler için doğal gaz tüketimine bağlı baca gazı H₂O buharı Miktarı

Tablo 9. Ölçülen parametrelere bağlı doğal gazın yakılması ile bacadan atılan günlük CO₂ emisyonu ve H₂O buharı miktarının en yüksek, en düşük, ortalama ve toplam değerleri

Parametre	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	Toplam
Doğal Gaz Tüketimi (m ³)	635.000	105.000	329.410	35247.000
CO ₂ Emisyonu (kg)	1255.300	207.600	651.200	69676.300
H ₂ O Buharı Miktarı (kg)	1138.600	188.300	590.600	63197.900

Tablo 10. Teorik parametrelere bağlı doğal gazın yakılması ile bacadan atılan günlük CO₂ emisyonu ve H₂O buharı miktarının en yüksek, en düşük, ortalama ve toplam değerleri

Parametre	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	Toplam
CO ₂ Emisyonu (kg)	1249.900	206.700	648.4000	69376.700
H ₂ O Buharı Miktarı (kg)	1060.200	175.300	550.000	58848.400

4. Sonuçlar

Bina içinde ve ısı merkezindeki kalorifer kazanlarında yapılan ölçümler ile hesaplanan değerler için bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Bina içinde örnek haftada yapılan sıcaklık ve nem için en yüksek sıcaklık değeri 23.7 °C ve bağıl nem değeri % 51.1; en düşük sıcaklık değeri 23.2 °C ve bağıl nem değeri % 34.2 ve ortalama sıcaklık değeri 23.6 °C ve bağıl nem değeri % 41.9 olarak ölçülmüştür.
- Kazanların bacalarında hava fazlalık katsayısının en yüksek değeri 4.933, en düşük değeri 1.630 ve ortalama değeri ise 2.618 olarak ölçülmüştür.
- Yanma havası su buharı basıncı 1.230 kpa, hava içindeki su buharı mol miktarı 0.314 kmol, yanma sonu ürünlerin basıncı 8.7777 kpa ve yanma sonu ürünlerin çığ noktası sıcaklığı 43.1 °C olarak hesaplanmıştır.
- Binadaki kazanlarda doğal gazın 107 iş günü için günlük olarak tüketilen en yüksek miktarı 635.000 m³, en düşük 105.000 m³, ortalama 329.410 m³ ve toplam 35247.000 m³ olarak tespit edilmiştir.
- Baca gazı CO₂ emisyonu günlük olarak en yüksek değeri 1255.300 kg, en düşük değeri 207,600 kg, ortalama değeri 651.200 kg ve toplam değeri 69676.300 kg olarak hesaplanmıştır.
- Baca gazı H₂O buharının günlük olarak en yüksek değeri 1138.600 kg, en düşük değeri 188.300 kg, ortalama değeri 590.600 kg ve toplam değeri 63197.900 kg olarak hesaplanmıştır.

Teorik değerler için hesaplanarak bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Bina içinde örnek haftada yapılan sıcaklık ve nem için en yüksek sıcaklık değeri 24 °C ve bağıl nem değeri % 60; en düşük sıcaklık değeri 22 °C ve bağıl nem değeri % 40 ve ortalama sıcaklık değeri 23 °C ve bağıl nem değeri % 50 olarak tespit edilmiştir [11].
- Kazanların bacalarında hava fazlalık katsayısının değeri 1.1 alınmıştır [2].

- Yanma havası su buharı basıncı 1.419 kpa, hava içindeki su buharı mol miktarı 0.153 kmol, yanma sonu ürünlerin basıncı 18.4461 kpa ve yanma sonu ürünlerin çığ noktası sıcaklığı 58.2 °C olarak hesaplanmıştır.
- Baca gazı CO₂ emisyonu günlük olarak en yüksek değeri 1249.900 kg, en düşük değeri 206.700 kg, ortalama değeri 648.400 kg ve toplam değeri 69376.700 kg olarak hesaplanmıştır.
- Baca gazı H₂O buharının günlük olarak en yüksek değeri 1060.200 kg, en düşük değeri 175.300 kg, ortalama değeri 550.000 kg ve toplam değeri 58848.400 kg olarak hesaplanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Böke Y. E., Aydın Ö.; Doğal Gaz Yanmasında Ocak Yükünün Karbonmonoksit Emisyonu Üzerine Etkisi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 13(1), (2010).
- [2] Doğal Gaz-LPG Tesisatı ve Bacalar, ISISAN Yayınları No: 345
- [3] Bilgin A.; Kazanlarda Baca Gazı Analizlerinin Değerlendirilmesi, İç Soğuma Kayıplarının İrdelenmesi, **V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi**, 617-622, İzmir, (3-6 Ekim 2001).
- [4] Yalçın S. E., Buhar Kazanlarının Eksergoekonomik Çözümlemesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2006).
- [5] Özkan D.B., Onan C.; “Optimum of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey”, **Applied Energy**, 88, 1311-1342, 2011.
- [6] Kon O., Farklı Amaçlarla Kullanılan Binaların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Teorik ve Uygulamalı Olarak Belirlenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, (2014).
- [7] Karadavut D., Emisyon Ölçüm Kuralları ve Emisyon Ölçüm Programı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- [8] AKSA Balıkesir Doğal Gaz Dağıtım A.Ş. Verileri
- [9] Çengel Y. A., Boles M. A., **Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik**, Türkçesi: Derbentli T., Literatür Yayıncılık, 2002, İstanbul.
- [10] Balıkesir Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığı Verileri
- [11] TS 3419; Havalandırma ve İklimlendirme Tesisleri-Projelendirme Kuralları, Türk Standardı, Ankara, (Nisan 2002).