

Baca Gazı Analizi: Enerji Verimliliği ve Emisyon Kontrolü

Giriş: Endüstriyel kazan işletmelerinde baca gazı analizi, yakıtın verimli ve çevre dostu şekilde yanmasını sağlamak, enerji kayıplarını önlemek ve zararlı emisyonları kontrol etmek için yapılır. İşletme sırasında O_2 , CO , CO_2 , NO_x , SO_2 gibi baca gazı bileşenlerinin düzenli olarak ölçülmesi; yanma veriminin yüksek tutulmasına, yakıt tüketiminin azalmasına ve emisyon limitlerine uyulmasına olanak tanır[1][2]. Örneğin, baca gazı ölçümü ile yanmamış gaz miktarı saptanıp hava fazlası ve brülör ayarı optimize edilerek sanayide %5–15 arasında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir[3][1]. Aynı zamanda çevre kirliliğine yol açan CO , SO_2 gibi gazların seviyeleri kontrol altında tutulur; bu sayede hem yasal emisyon sınırları aşılmamış olur hem de iş sağlığı riski azaltılır[4][1]. Aşağıda kazan tipleri ve yakıta göre ölçülen baca gazı parametreleri ele alınmış, yanma optimizasyonunun önemi ile analiz cihazı seçim ve uygulama pratikleri açıklanmıştır.

Baca Gazı Ölçüm Parametreleri ve Yorumlanması

- **Oksijen (O_2):** Verimli yanma için baca gazında düşük ama sıfırdan yüksek bir O_2 bulunmalıdır. Yakıta yeterli hava sağlanmazsa CO oluşur (verim düşer); fazla hava ise atmosferik oksijen baca yoluyla kaybolur (ısınır) ve verimi azaltır[5][6]. Yük altında bile O_2 oranı mümkün olduğunca düşük tutulmalı ama yanmayı tamamlayacak kadar hava bulunmalıdır. Pratikte doğalgazlı kazanlarda baca gazı O_2 oranı yaklaşık %2–3, sıvı yakıtlarda %3–4, kömürde %5–6 aralığında hedeflenir[7]. Bu ideal değerler; tam yanmayı işaret eden karbonmonoksit (CO) seviyelerinin düşük olması ve maksimum karbondioksit (CO_2) oluşumu için gereklidir.
- **Karbonmonoksit (CO):** CO baca gazında ısı değeri boşa çıkaran ve zehirli bir gazdır. Eksik yanma durumunda yükselir ve hem enerji kaybına hem de is oluşturmaya neden olur. Bu nedenle CO 'nun arttığını görmek tam yanma sağlanmadığını gösterir[5][8]. Uygun ayarlarda CO değeri 100 ppm'in altında normal kabul edilir[8]. Baca gazında gözlenen yüksek CO , hemen yakıt/yanma havası oranı ayarıyla düzeltilmelidir.
- **Karbondioksit (CO_2):** CO_2 , ideal yanmanın doğal ürünüdür ve baca gazında olabildiğince yüksek oranda bulunması istenir. Yüksek CO_2 , yakıt enerjisinin ısıya etkin dönüştüğünü gösterir. Doğalgaz yakıtında tipik baca gazı CO_2 oranı yaklaşık %11, fuel-oilde %14, kömürde de %14 civarındadır[9]. Bu değerlerin yükseltilmesi, akışkan olmayan fazla hava vermek yerine yanmayı iyileştirmekle olur. Tablo 1'de tipik değerler özetlenmiştir.
- **Azotoksitler (NO_x):** NO_x , özellikle yüksek yanma sıcaklıkları ve bol hava ile artar. Baca gazında Azotoksitler denetim altına alınması gereken kirleticilerdir[10]. Kontrolü için öncelikle yanma sıcaklığı ve hava dağılımı optimize edilir; ayrıca “Düşük NO_x Brülör” ve baca gazı dolaşım sistemleri gibi yöntemlere başvurulur[10].

Sabit bir hedef değer olmasa da NO_x seviyeleri sürekli izlenmeli ve temizleyici sistemlerle (SCR, SNCR) desteklenmelidir.

- **Kükürt Dioksit (SO₂):** Yakıttaki kükürt yanma sonucu SO₂'ye dönüşür; baca gazında yüksek SO₂ asidik çığ noktası problemlerine ve cihaz korozyonuna yol açar. Doğalgazda SO₂ ~0 iken, kömür gibi %0.5 kükürt içeren yakıtlarda baca gazı SO₂ ~150–200 ppm'e ulaşabilir[11]. Bu da düşük sıcaklıklarda sülfürik asit oluşumuna neden olur. Bu nedenle baca gazı sıcaklığı 130–150 °C'nin altına düşmemeli, korozyon önlemleri alınmalı ve düşük kükürtlü yakıt tercih edilmelidir[11][12].
- **Baca Gazı Sıcaklığı ve Duman Kaybı:** Baca gazı sıcaklığı kazandan kaçan enerjiyi gösterir. Yüksek baca gazı sıcaklığı, verim kaybının işaretidir; normal çelik kazanlarda doğalgaz yakıtında 130–150 °C (katı/sıvı yakıtlarda 130–175 °C) altında olması idealdir[12]. Örneğin her 20 °C baca gazı sıcaklık düşümü kabaca %1 verim artışı sağlar[13]. Duman kaybı (baca gazıyla taşınan toplam ısı kaybı), O₂, CO₂ ve baca sıcaklığı değerleri ile hesaplanabilir. Düşük baca gazı sıcaklığı, yoğunlaşma gerçekleşirse ek verim kazancı sağlar, ancak yoğunlaşma yapılmayan sistemlerde çığ noktasına inmeden korunmalıdır.

Tablo 1. Farklı yakıtlara göre tipik baca gazı değerleri[7][9][8][11][12].

Parametre	Doğalgaz (%)	Fuel-oil (%)	Kömür (Katı) (%)
O ₂	2–3 [7]	3–4 [7]	5–6 [7]
CO ₂	11 [9]	14 [9]	~14 [9]
CO (ppm)	<50 [8]	<50 [8]	<100 [8]
SO ₂ (ppm)	~0 [11]	50–200 *	150–200 [11]
Baca gazı sıcaklığı (°C)	130–150 [12]	150–175 [12]	175–200 (kgaz uyarınca)

* Fuel-oilde kükürt içeriğine bağlı olarak değişir.

Bu değerler, her kazan ve yakıt türüne göre laboratuvar testleri ve üretici talimatları doğrultusunda hedeflenir. Baca gazı analiz sonuçları bu tabloyla karşılaştırılarak yakma durumu değerlendirilir. Örneğin, idealden yüksek O₂ ve düşük CO₂ yüksek hava fazlasına, artan CO düşük oksijene işaret eder. Ölçüm değerleri, kazan ayarlarının yapılması için yönlendirici olarak kullanılır.

Farklı Kazan Tiplerinde Baca Gazı Karakteristikleri

Farklı kazan tiplerinde yanma koşulları değiştiğinden baca gazı analiz değerleri de farklılaşır. **Buhar kazanları** yüksek basınç/sıcaklıkta çalıştığından baca gazında yüksek oranda su buharı bulunur (besi suyu ve yanma suyunu taşırlar). Bu, yoğunlaşma olmayan kazanlarda latent ısı kaybını artırır. **Sıcak su (kazanlı sistemler)** genellikle daha düşük sıcaklıkta işletildiği için baca gazı nispeten serin olabilir; yoğunlaşma tiplerinde buharın yoğunlaştırılarak verim kazanımı sağlanır. **Kızgın su (termal yağ) sistemleri** buharlaşma olmadığı için baca gazındaki nem, doğrudan yanma ürünü su buharıyla sınırlıdır.

Genelde buharlı sistemlerde flue gaz sıcaklığı daha yüksektir ve basınçlı buhar kaçağı endişesi vardır. Bu sebeple buhar kazanlarında O_2 %3–5 civarı, CO_2 %10–12 civarı, baca sıcaklığı 200 °C'nin üzerinde olabilmektedir. Buna karşın Yoğuşmalı sıcak su kazanlarında O_2 %2–4, baca gazı sıcaklığı 50–80 °C aralığında olabilir (yoğuşma imkanına bağlı olarak). Tablo 1'de verilen tipik değerler esas olmak üzere, her kazan tipine özel ideal aralık belirlenmelidir. Özetle, yoğuşmalı sıcak su ve termal yağ sistemleri genelde daha düşük baca gazı sıcaklığı ve nem oranlarıyla yüksek verim verirken, buhar kazanlarında nem ve sıcaklık nedeniyle farklı kayıp hesabı yapılır[12][5].

Yanma Optimizasyonu ve İşletme Maliyetine Etkisi

Baca gazı analizi ile elde edilen veriler kullanılarak yanma optimizasyonu yapılması, doğrudan kazanın verimine, ömrüne ve işletme maliyetine yansır. *Yanma verimliliğinin artırılması*, doğru hava-yakıt ayarı ile mümkün olur; bu da yakıt tüketimini düşürerek işletme maliyetini azaltır[2][14]. Yanmayı optimize etmek için kullanılan baca gazı ekonomizörleri atık ısıyı geri kazanır ve yakıt sarfiyatında %7–14'e varan tasarruf sağlar[14]. Örneğin Bosch buhar kazanı ekonomizörü ile atık gaz ısının geri kazanımı enerji kayıplarını azaltır ve yoğuşmalı eşanjörle birlikte yakıt tasarrufu %14'e kadar çıkabilir[14].



Şekil 1. Endüstriyel buhar kazanı ve baca gazı ekonomizörü (Bosch). Atık gaz ısıyı geri kazanılarak verim artırılır ve işletme maliyeti azalır[14][12].

Yanma optimizasyonu aynı zamanda kazan ve brülör ömrünü uzatır. Düşük CO ve düşük kirlenme, ısı transfer yüzeylerinin temiz kalmasını sağlar. Bosch örneğinde, kazanlar yük değişimine göre en uygun şekilde kontrol edilerek “uzun ömürlü işletim ve yüksek verimlilik” elde edilir[15]. Ayrıca sık bakım (örneğin aralıklı su blöf ve kireç temizliği) da kaynaklara yük bindirmeden sürekli yüksek verimi korur. Tüm bu iyileştirmeler yakıt maliyetini düşürmekle kalmaz; aynı zamanda bakım-onarım sıklığını azaltarak toplam işletme maliyetini olumlu etkiler.

Yapılan analizlerle karbonmonoksit azaltılıp yanma tam sağlandığında, kazan borularında kurum birikimi azalır ve muhtemel arızaların önüne geçilir. Böylece hem güvenli bir işletme sağlanır hem de **yakıt sarfiyatı ve bakım giderleri düşürerek** kazanın ekonomik ömrü uzar.

Analiz Cihazı Seçimi, Kalibrasyon ve Ölçüm Uygulamaları

Baca gazı analizinde doğru ve güvenilir ölçüm için uygun cihaz seçimi şarttır. Portatif ölçüm cihazları tipik olarak paramagnetik O₂ sensörü, NDIR CO₂ ve CO sensörü, elektrokimyasal SO₂/NO_x sensörleri içerir. Örneğin Testo 340 gibi profesyonel analizörlerle O₂, CO, CO₂, SO₂ parametreleri yüksek hassasiyetle ölçülür[16]. Yüksek hassasiyetli cihaz kullanımı, yanma ayarlarının doğru yapılmasına ve yakıt verimliliğinin artmasına katkı sağlar.

Cihaz kalibrasyonu ve bakımı çok önemlidir. Baca gazı analizörleri temel güvenlik ekipmanıdır ve performanslarının garanti edilebilmesi için yılda bir kez kalibre edilmeleri ve sertifikalandırılmaları zorunludur[17]. Uluslararası standart BS EN 50379, cihazın düzenli kalibrasyonunu öngörür[17]. Kalibrasyon, sahadaki ölçümlerin doğruluğu için kritik olup, kalibrasyonu geçmiş cihazlarla yapılan analizler yanıltıcı sonuç verebilir. Bu nedenle cihaz sensörleri, prob ve diğer bileşenleri zamanında bakım atölyesinde yenilenmelidir[17].

Ölçüm sıklığı genellikle kazan işletme şartlarına göre belirlenir. Standart uygulamada; yeni sezon öncesi, yakıt değişikliği sonrasında veya periyodik bakım zamanlarında baca gazı ölçümü yapılır[18]. Örneğin sanayi tesislerinde yakıt türüne göre üç ayda bir ya da altışar aylık periyotlarla düzenli ölçüm yapılması tavsiye edilir. Elde edilen değerler izlenerek trend analizi yapılmalı ve sapma halinde önlem alınmalıdır. Bu şekilde yakıt optimizasyonu ve bakım takvimi oluşturulur. Sonuçta; doğru cihaz seçimi, periyodik kalibrasyon ve düzenli ölçüm ile baca gazı analizi uygulamaları kazanın yüksek verim ve emisyon uygunluğunu uzun süre korumasına yardımcı olur[16][17].

Baca Gazı Analizi Nasıl Yapılır? (Uygulama Adımları)

1. Hazırlık

- Kazan normal işletme yükünde çalışıyor olmalıdır (tercihen %60–100 yük aralığında).
- Brülör en az 15–20 dakika stabil çalışmalı, su ve buhar parametreleri dengelenmelidir.
- Ölçüm yapılacak baca noktasında uygun analiz portu bulunmalıdır (genelde brülörden 2–3 m sonrası, türbülansın azaldığı bölge).
- Cihaz (analizör) kalibrasyonu kontrol edilir; sensörler, filtreler ve hortumlar temizlenir.

2. Ölçüm Probu Yerleştirme

- Probu baca gazı akışının merkezine (çekiş yönünde dik) yerleştirin.

- Yoğuşma veya kurumdan etkilenmemesi için uygun uzunlukta prob kullanın.
- Ölçüm sırasında cihazın gaz pompası düzgün çalışmalıdır.

3. Parametrelerin Ölçümü

- **O₂ ölçümü** → Hava fazlalığını ve yanma dengesini gösterir.
- **CO ölçümü** → Eksik yanmayı ve potansiyel tehlikeyi işaret eder.
- **CO₂ ölçümü** → Yanma verimini gösterir.
- **SO₂ / NO_x ölçümü** (yakıta bağlı olarak) → Emisyon uygunluğunu denetler.
- **Baca gazı sıcaklığı** → Isı kaybını belirlemek için kullanılır.
- **Ortamdaki hava sıcaklığı** da ölçülerek verim hesabında kullanılır.

4. Verilerin Yorumlanması

- Ölçülen O₂, CO₂ ve baca sıcaklığı ile **duman kaybı** hesaplanır.
- CO değeri yanmanın eksikliğini gösteriyorsa, hava/yakıt oranı yeniden ayarlanır.
- SO₂ değeri yüksekse → yakıt kalitesi kontrol edilir ve çığlenme noktası riski değerlendirilir.
- NO_x değeri yüksekse → yanma sıcaklığı ve hava dağılımı optimize edilir.

5. Ayar ve Optimizasyon

- Brülör hava damperleri ve yakıt valfleri küçük adımlarla ayarlanır.
- Hedef: CO₂ değerini yükseltmek, O₂ değerini minimum güvenli seviyeye indirmek (%2–3 doğalgaz, %3–4 fuel-oil, %5–6 kömür).
- CO seviyesi 100 ppm altında tutulmalıdır.
- Gerekirse baca gazı ekonomizörü devreye alınarak baca sıcaklığı düşürülür.

6. Raporlama

- Ölçüm sonuçları tablolar halinde kayıt altına alınır (O₂, CO, CO₂, SO₂, NO_x, baca sıcaklığı, ortam sıcaklığı).
- Grafikler ile eğilimler gösterilir.
- Sonuçlar “mevcut durum” ve “optimizasyon sonrası” olarak karşılaştırılır.
- İyileştirme önerileri rapora eklenir (ör. “yakıt tüketiminde %7 düşüş beklenmektedir”).

Kaynaklar: Bu rapordaki teknik veriler ve yorumlar Bosch, Viessmann, Selnikel gibi üretici dokümanları ile uzman kaynaklardan derlenmiştir[19][12][7][8][9][17]. Elde edilen sonuçların uygulamaya geçirilmesi kazan işletme maliyetlerini düşürürken çevresel uyumluluğu ve işletme güvenliğini artıracaktır.

[1] [5] [6] [10] [11] [12] [13] (Microsoft Word - 05_ABDULLAH_B\335LG\335N.doc)

<https://mmoteskon.org/images/2025/01/2007dg-05.pdf>

[2] [3] [4] [16] [18] Baca Gazı Ölçümü Neden Önemlidir?

<https://alsagrup.com/baca-gazi-olcumu-neden-onemlidir/>

[7] [8] [9] Son Dakika: Çöplük Metan Çalışmasında Kullanılan Scentroid DR1000

<https://www.pentaotomasyon.com.tr/Uploads/Document/176989d6-5ae6-4438-8154-b12a684a5785.pdf>

[14] [15] [19] Yüksek Verimli Ekonomizör | Bosch Industrial Heat

<https://www.bosch-industrial.com/tr/tr/ocs/ticari-endustriyel/buhar-kazani-baca-gazi-ekonomizoru-669540-p/>

[17] Baca Gazı Analiz Cihazlarının Bakım ve Kalibrasyonu Penta Otomasyon

<https://www.pentaotomasyon.com.tr/tr-TR/news-detail/baca-gazi-analiz-cihazlarinin-bakim-ve-kalibrasyonu/35/9>

INDUSTRIAL SOLUTIONS