



Kömür yakıtlı bir soba/kazanın performans ve emisyonlarının farklı baca çekiş ve yükleme şartlarında deneysel incelenmesi

Bilal SUNGUR

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun

Bahattin TOPALOĞLU *

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun
btopal@omu.edu.tr, Tel: (362) 312 19 19 (1218)*

Mustafa ÖZBEY

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun

Geliş: 12.06.2017, Kabul Tarihi: 07.12.2017

Öz

Son yıllarda sanayi ve konutlarda kullanılan enerji kaynağının büyük çoğunluğunun ithal olması, araştırmacıları eldeki kaynakları daha verimli kullanmaya ve ülkemizde bulunan doğal kaynaklardan biri olan kömürün kullanımını arttırmaya yönlendirmiştir. Bu deneysel çalışmada kömür yakıtlı ev tipi bir soba/kazanın farklı baca çekiş ve yükleme durumlarında yakıt tüketimi, CO₂, CO, NO_x emisyonları, baca gazı çıkış sıcaklığı ve ısı verim değerleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi kazan veriminin minimum yükleme olan 10 kg ve minimum baca çekişi olan 20 Pa durumunda elde edildiği tespit edilmiştir. Ayrıca CO ve NO_x emisyonları da % 13 O₂ durumuna göre referans alınarak hesaplandığında en düşük değerlerin en düşük yükleme ve en düşük baca çekiş durumlarında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür; Soba/Kazan; Emisyon; Isıl verim

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

Giriş

Enerji tüketiminin 2011-2015 yıllarının ortalaması alınarak yapılan hesaplamada, tüketimin %87'lik kısmına yakınına fosil bazlı kaynaklar oluştururken, bunun %30'luk kısmını kömür yakıtı oluşturmaktadır (Sungur vd., 2017). Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve enerjide dışa bağımlılık, araştırmacıları çevresel faktörleri de dikkate alarak daha az emisyon üreten ve eldeki düşük kaliteli yakıtları daha verimli yakacak yeni sistemler tasarlamaya ve mevcut sistemleri daha verimli kullanmaya yönlendirmektedir. Konutların ısıtılmasında kullanılan ev tipi soba ve kazanlarda daha az zararlı emisyon üreten ve daha yüksek ısı verime sahip sistemlerin incelenmesi oldukça önemlidir. Kazanlar, içerisinde yanmanın gerçekleştiği ve yakıtın içerdiği enerjiyi ısı enerjisi olarak açığa çıkartan ve bu enerjiyi bir akışkana (genelde suya) verecek şekilde imal edilen basınçlı kaplardır. Sobalar ise yanma sonucu oluşan ısıyı radyasyon ve konveksiyon yoluyla aktararak bulunduğu mekanı ısıtan sistemlerdir. Konutların ısıtılmasında ve birçok sanayi dalında yaygın olarak kullanılan kazanlarda ve sobalarda enerji verimliliği ve baca gazı emisyonları, yanmanın mükemmelliğine, yanma sonucu açığa çıkan enerjinin aracı akışkana transfer miktarına, ızgara tasarımına, yakıt içerisindeki kirleticilerin miktarına ve işletme şartlarına oldukça bağlıdır.

Gonzalez ve ark. (2004) çalışmalarında 11,6 kW'lık kazanda farklı atıkların yanma proseslerini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Üç farklı biyokütle atığından (domates, zeytin çekirdeği ve kenger) elde edilen peletleri ve orman peletini kullanmışlardır. Atık tipi, yakıt debisi, baca çekişi ve atık karışımlarının yanma parametrelerine etkilerini çalışmışlardır. Üç farklı atıktan elde edilen peletlerin davranışlarının orman peletinininkine benzediğini belirtmişlerdir. Kazan verimlerinin domates, orman, zeytin çekirdeği ve kenger peletleri için sırasıyla % 91, % 90,5, % 89,7 ve % 91,6 olduğunu ortaya koymuşlardır. Carvalho ve ark. (2013) çalışmalarında 15 kW'lık pelet kazanında farklı biyokütle yakıtlarından

(budanmış üzüm bağı, saman, ekin sapı, miscanthus, darı, sorgum, buğday kepeği, odun + 5% çavdar unu) elde edilen peletlerin teknik ve çevresel performanslarını değerlendirmişlerdir. Kazan verimlerinin tüm pelet yakıtlarında birbirlerine yakın sonuçlar verdiğini ve % 90 civarında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca verim kaybını engellemek için duman borularında sık sık temizlik yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Sui J. ve ark. (2013) çalışmalarında iki çeşit biyokütle yakıtı (briket) ile kömürün yanmasını ayrı ayrı nümerik olarak araştırmışlardır. Yakıtların karakteristiklerini ve içeriklerini deneysel olarak test etmişlerdir. Biyokütle yakıtının kömür yakıtına göre: daha yüksek oksijen, daha düşük uçucu madde ve sabit karbon içerdiğini, daha düşük ısı değere, daha düşük ateşlenme sıcaklığına ve daha yüksek yanma hızına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Nümerik sonuçlar olarak sıcaklık dağılımı, oksijen dağılımı ve karbondioksit dağılımını sunmuşlar ve bunların yanmaya olan etkilerini yorumlamışlardır. Yılmazoğlu (2012) çalışmasında kömür yakıtlı bir sobanın baca gazı sıcaklığı, tüketilen yakıt miktarı, SO₂, NO_x, CO₂, O₂ ve CO emisyonlarının zamanla olan değişimlerini incelemiştir. Ayrıca dolaylı yöntemi kullanarak soba verimini %50,7 olarak tespit etmiş, sobada en fazla ısı kaybın baca gazı duyulur ısı kaybı olduğunu belirtmiştir. Mitchell ve ark. (2016) çalışmalarında biyokütle ve diğer katı yakıtlarla çalışan sabit yataklı evsel bir sobada yakıt özelliklerinin emisyonlar üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Odun yakılması halinde partikül emisyonlarının uçucu madde miktarına bağlı olduğunu, ancak kömür yakılmasında bu durumun farklı olduğunu belirtmişlerdir. NO_x konsantrasyonlarının tüm yakıt tiplerinde yakıtın içerisindeki azota doğrusal olarak bağlı olduğu, ancak bu doğrusal değişimin biyokütle ve kömür yakıtlarında farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. CO emisyonlarının ise yanma fazına çok bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Yıldız ve Günerhan (2005) çalışmalarında katı yakıtlı bir kazan tasarımı yapmış, kazan ısı kapasite ve ısı verimlilik değerlerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneyslerinde alt ısı

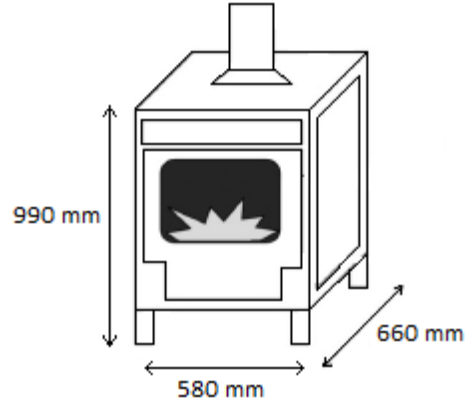
değeri 28402 kJ/kg olan ithal kömür kullanmışlardır. Deneylerinin sonucunda kazan ısı kapasitesini 46,51 kW ve kazan ısı verimini %77,11 olarak bulmuşlardır. Li ve ark. (2016) yeni geliştirdikleri bir katı yakıt sobası ile geleneksel bir sobanın verimlilik ve emisyonlarını araştırmışlardır. Yeni tasarımın ve geleneksel sobanın verimliliklerinin sırasıyla %83 ve %42 olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, yeni sobanın CO₂ emisyonlarının azaltılmasında etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Ross ve ark. (2002) 30 kW'lık sabit yataklı kazanda kömüre ve biyokütleyi birlikte yakarak bunların emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kömür yerine biyokütle kullanımının SO_x, NO_x ve toksik metalleri azalttığını söylemişlerdir.

Bu çalışmada kömür yakıtlı ev tipi bir soba/kazanın farklı baca çekiş ve yükleme durumlarının ısı verim ve baca gazı emisyonlarına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Her bir durum için deneyler yapıldıktan sonra elde edilen veriler değerlendirilerek optimum çalışma şartları belirlenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Yapılan çalışmada ev tipi bir kömür soba/kazanında 20 Pa ve 40 Pa baca çekişlerinde, 10 kg ve 15 kg yakıt yüklemelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her bir yakıt yüklemesinin yanında ek olarak tutuşturmayı kolaylaştırmak amacıyla 2 kg odun kullanılmıştır. Şekil 1'de deneylerde kullanılan kazanın şematik görüntüsü verilmiştir. Soba/Kazan özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan kazan prizmatik bir görüntüye sahip olup önden beslemelidir. 500 mmx600 mm boyutlarında bir ızgara üzerinde 850 mm yüksekliğinde bir yanma odası bulunmaktadır. Yanma odasının üç yan duvarı 2,5 cm genişliğinde bir su ceketini çevrelemiştir. Yakıt beslemesinin de yapıldığı ön tarafta ise ısıya dayanıklı camdan yapılmış bir kapak bulunmaktadır. Izgaranın altında bir küllük mevcuttur. Hava doğal çekişle ızgaranın altından girmekte, yanma sonucu oluşan baca

gazları üstten 130 mm çaplı bir borudan bacaya gitmektedir. Oluşan ısı, yanma odasını çevreleyen su ceketine aktarılmaktadır. Ayrıca ısının bir kısmı radyasyon ve konveksiyon yoluyla kazanın bulunduğu ortama aktarılmaktadır.



Şekil 1. Soba/Kazan şematik görünümü

Tablo 1. Deneylerde kullanılan soba/kazan özellikleri

Net kütle (kg)	175
Eksoz borusu çapı (mm)	130
Su hacmi (lt)	36
Çalışma basıncı (bar)	2
Yükleme tipi	Önden
Yakıt tipi	Kömür/Odun

Kazandan suya olan ısı transferi kalorimetre ile ölçülmüştür. Baca gazı emisyonları Testo 350 XL marka baca gazı cihazı ile ölçülmüş ve bir dakika aralıkla kayıt edilmiştir. Cihazla ilgili teknik bilgiler Tablo 2'de verilmiştir. CO, NO_x ve O₂ emisyonlarının tespiti elektrokimyasal hücreler ile yapılırken, CO₂ emisyonlarının ölçümü non-dispersif infrared (ND-IR) modülü vasıtasıyla sağlanmaktadır. Emisyon ölçümü kazan çıkışından itibaren 70 cm uzaklıkta (>5 baca borusu çapı) gerçekleştirilmiştir. Yakıt tüketimi bir dakika aralıkla hassas terazi ile ölçme sonucu tespit edilmiştir. Deneyler esnasında veri kayıt işlemi yakıt kütesindeki değişim (yakıt debisi) sıfıra yaklaştığı zaman sonlandırılmıştır. Farklı baca çekiş basıncı, Şekil 2'de gösterilen baca çıkışındaki ayarlanabilir klape vasıtasıyla sağlanmıştır. KIMO MP 50 manometre cihazıyla basınç değeri ölçülmüştür. Deney düzeneği Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Emisyon cihazı teknik özellikleri

	Arahlık	Doğruluk	Duyarlılık
O ₂	0-25% Hacimsel	± 0.8%	0.1% hacimsel
CO ₂	0-50% Hacimsel	± 0.3% hacimsel. +1% (0-25% hacimsel) ± 0.5% hacimsel. +1.5% (>25...50% hacimsel)	0.01% hacimsel
CO	0-500 ppm	± 2 ppm (0-39.9 ppm) ± 5% of mv (40-500ppm)	0.1 ppm
NO	0-3000 ppm	± 5 ppm (0-99 ppm) ± 5% of mv (100-1999.9 ppm) ± 10% of mv (2000-3000 ppm)	1 ppm
NO ₂	0-500 ppm	± 5 ppm (0-99.9 ppm) ± 5% of mv (100-500 ppm)	0.1 ppm
SO ₂	0-5000 ppm	± 5 ppm (0-99 ppm) ± 5% of mv (100-2000 ppm) ± 10% of mv (2001-5000 ppm)	1 ppm
Sıcaklık	-40-1200 °C	± 0.5 °C (-40-99.9 °C) ± 0.5% of mv (100-1200 °C)	0.1 °C

Prensip olarak bir yakma sisteminin veriminin ve ısıl gücünün hesaplanmasında direkt ve endirekt olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Direkt yöntemde soba/kazan ısıl gücü, direkt olarak akışkana (suya) ve havaya geçen ısının ölçülmesi ile belirlenir. Kazan ısıl verimi ise toplam soba/kazan ısıl gücünün, kullanılan yakıt ısıl debisine bölünmesi ile elde edilir.

Endirekt metotta, kazan ısıl verimi baca gazı duyulur ısı, yanmamış karbonmonoksit ve karbon gibi kayıplar belirlenerek aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\eta_{endirekt} = \frac{\dot{Q}_{yakıt} - \dot{Q}_{bg} - \dot{Q}_{CO} - \dot{Q}_{YC}}{\dot{Q}_{yakıt}} = 1 - q_{bg} - q_{CO} - q_{YC} \quad (1)$$

Burada, \dot{Q}_{bg} , \dot{Q}_{CO} , \dot{Q}_{YC} sırasıyla baca gazı duyulur ısı debisi, yanmamış CO ve karbon ısı debileridir. q_{bg} baca gazı duyulur ısı kaybı, q_{CO} yanmamış CO kaybı ve q_{YC} yanmamış karbon kaybıdır. q_{CO} ve q_{YC} ihmal edilmiştir. q_{bg} aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$q_{bg} = (1 + \lambda A_{sto})(T_{exh} - T_0)c_{p,exh} / H_U \quad (2)$$

Burada λ hava fazlalık katsayısı, A_{sto} stokiyometrik hava ihtiyacı (kg hava/kg yakıt), $c_{p,exh}$ baca gazı özgül ısı (kJ/kgK), T_{exh} baca gazı çıkış sıcaklığı (K), T_0 hava giriş sıcaklığı (K), H_U ise yakıtın alt ısıl değeri (kJ/ kg yakıt) dır. Hava fazlalık katsayısı,

$$\lambda = 21 / (21 - O_2) \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada 21 havanın içindeki oksijenin yüzdesel değeri, ve O_2 baca gazı içerisindeki oksijenin yüzdesel değeridir. Formüllerle ilgili detaylara belirtilen kaynaklardan bakılabilir (Sungur vd., 2016; Carvalho vd., 2013). Stokiyometrik hava ihtiyacı ise,

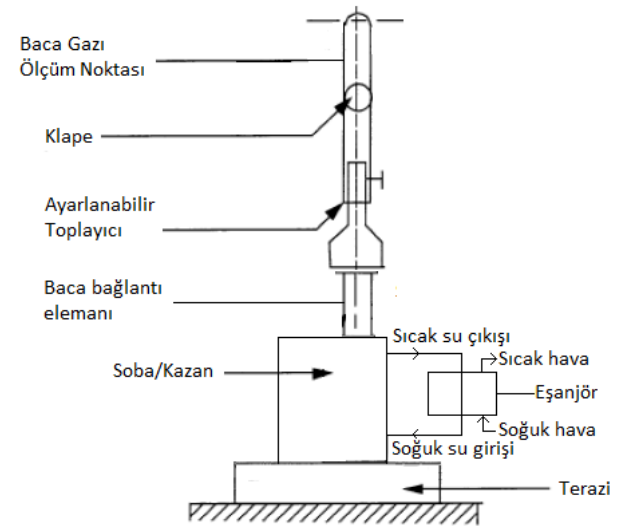
$$A_{sto} = 0,295 \cdot 10^{-3} H_U + 0,6 \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanabilir (Onat vd., 2007).

Deneylerde yakıt olarak piyasadan temin edilen kömür yakıtı kullanılmıştır ve bu yakıtın özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan kömür özellikleri

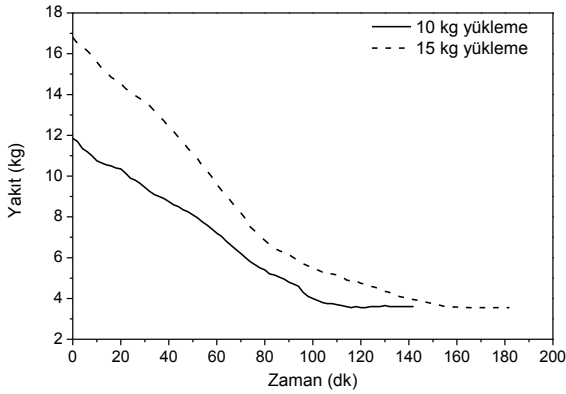
Alt ısıl değer (kuru bazda)	7200 kcal/kg
Kükürt içeriği	max % 0,9
Uçucu madde miktarı (kuru)	max % 18-31
Nem miktarı (orjinal bazda)	max % 7
Kül miktarı (kuru bazda)	max % 4-8

**Şekil 2.** Deney düzeneği şematik gösterimi

Bulgular ve Tartışma

Deneyler farklı yükleme ve baca çekişi şartlarında yapılmıştır. Öncelikle 40 Pa baca çekişi durumunda kazana yapılan yüklemenin (10 kg ve 15 kg) ısı verim ve emisyonlara olan etkisi incelenmiş, daha sonra kazan baca çekişinin (40 Pa ve 20 Pa) etkisi sadece 10 kg durumu için incelenmiştir.

Şekil 3'te farklı yükleme durumlarında sabit basınçta (40 Pa) yakıt kütlelerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yükleme miktarının artmasıyla beraber yakıtın tükenme süresi de uzamıştır. Yükleme miktarının %50 artmasıyla yakıtın tükenme süresi 40 dk, yaklaşık %30 uzamıştır.

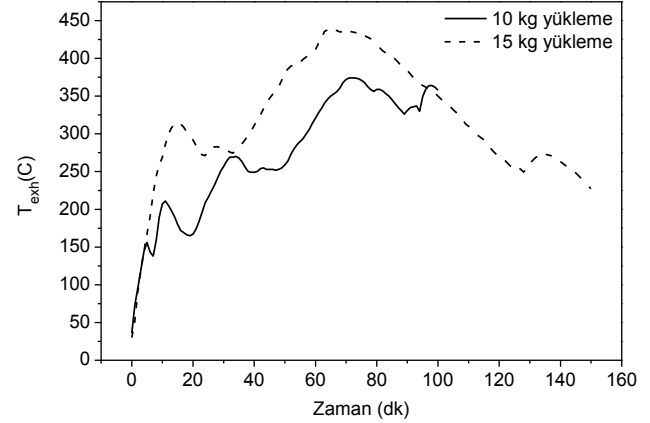


Şekil 3. Farklı yükleme durumlarında yakıt kütlelerinin zamana göre değişimi (40 Pa)

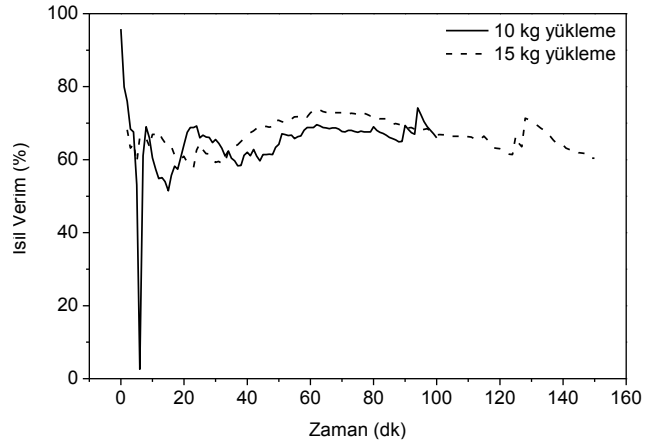
Yakma sistemlerinde verimin artırılması ile baca gazı sıcaklığı (T_{exh}) arasında bir ilişki vardır. Baca gazı çıkış sıcaklığı ne kadar düşük olursa yanma verimini de o derece arttırmak mümkündür. Ayrıca hava fazlalık katsayısının (λ) da verim üzerinde etkisi mevcuttur. Farklı yükleme koşullarına göre oluşan baca gazı sıcaklığının zamana göre değişimi Şekil 4'te ve verimin değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir. Yükleme miktarının artmasıyla beraber baca gazı çıkış sıcaklığının arttığı, buna karşılık oksijen konsantrasyonunun azaldığı, sonuç olarak her iki parametrenin etkisiyle kazan veriminin az da olsa arttığı belirlenmiştir.

Sistemin başlangıç durumunu da göstermek amacıyla tutuşma anından itibaren veriler kayıt

altına alınmıştır. Yanmanın başlangıç aşamasında baca gazı sıcaklığı, oksijen oranı gibi değerler henüz kararsız olup salınım göstermektedir.



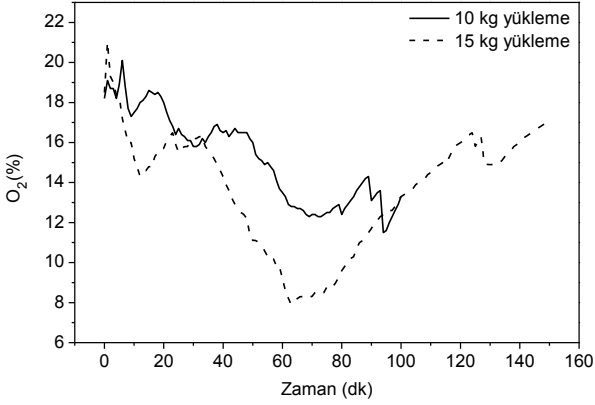
Şekil 4. Farklı yükleme durumlarında baca gazı sıcaklığının (T_{exh}) zamana göre değişimi (40 Pa)



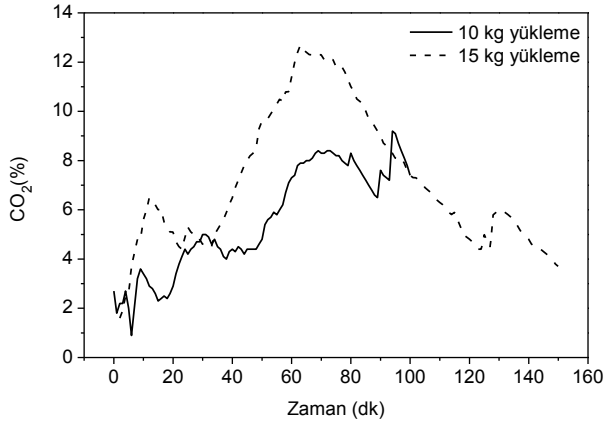
Şekil 5. Farklı yükleme durumlarında verimin zamana göre değişimi (40 Pa)

Farklı yükleme koşullarında ölçümler sonucunda elde edilen O_2 konsantrasyonunun zamanla değişimi Şekil 6'da, CO_2 konsantrasyonu değişimi Şekil 7'de, CO konsantrasyonu değişimi Şekil 8'de ve NO_x konsantrasyonu değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir. Yakıt yüklemesinin artmasıyla O_2 konsantrasyonlarının düştüğü, CO_2 konsantrasyonlarının arttığı, CO emisyonlarının yanmanın ilk safhasında (yaklaşık ilk 100 dk içinde) dalgalandığı ancak daha sonra yüklemenin fazla olduğu durumda net bir şekilde arttığı, NO_x emisyonlarının ise ilk 60 dk içinde yüklemenin fazla olduğu durumda daha

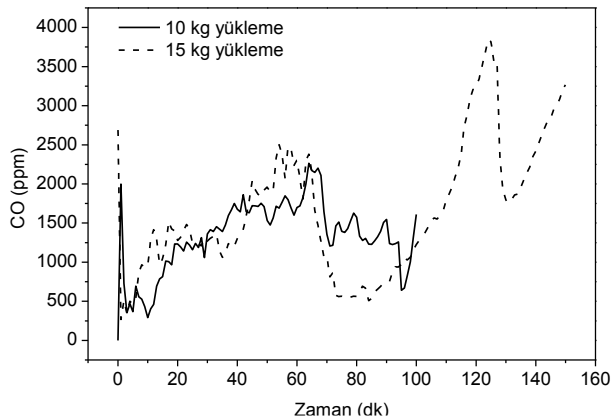
yüksek olduğu, daha sonra ise düşük yükleme durumunda daha fazla olduğu görülmektedir.



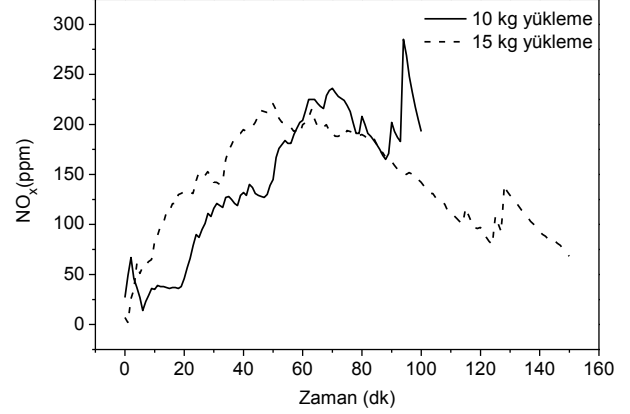
Şekil 6. Farklı yükleme durumlarında O₂ konsantrasyonunun zamana göre değişimi (40 Pa)



Şekil 7. Farklı yükleme durumlarında CO₂ konsantrasyonunun zamana göre değişimi (40 Pa)



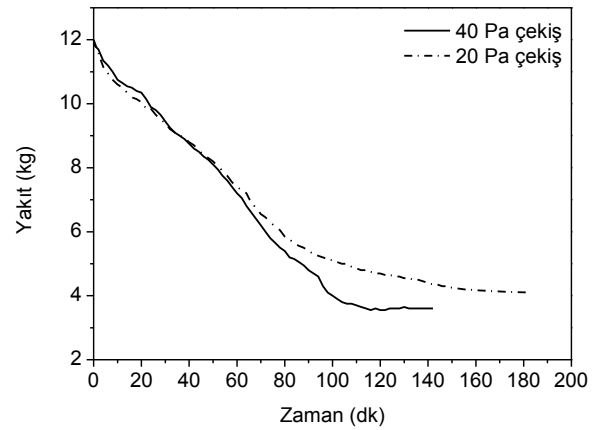
Şekil 8. Farklı yükleme durumlarında CO konsantrasyonunun zamana göre değişimi (40 Pa)



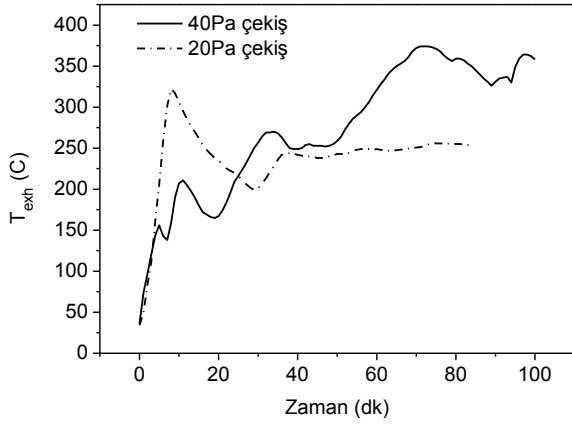
Şekil 9. Farklı yükleme durumlarında NO_x konsantrasyonunun zamana göre değişimi (40 Pa)

Farklı baca çekişlerinde (40 Pa ve 20 Pa) sabit yükleme durumunda (10 kg) oluşan yakıt kütlelerinin zamana göre değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere baca çekiş basıncının artması yakıtın daha hızlı tükenmesine neden olmaktadır.

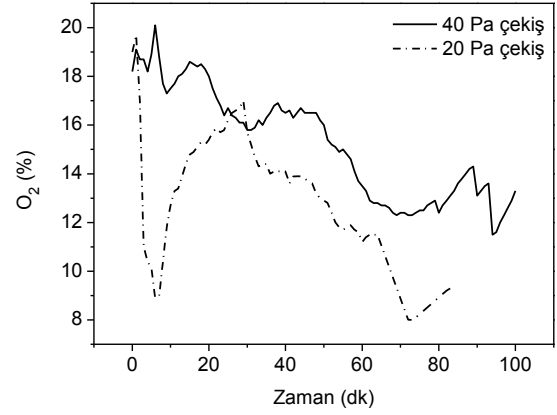
Baca çekişine göre oluşan baca gazı sıcaklığının zamana göre değişimi Şekil 11'de ve verimin değişimi Şekil 12'de verilmiştir. Yüksek baca çekişi durumunda (40 Pa) yanmanın daha hızlı gerçekleşmesi sonucu baca gazı sıcaklığının daha yüksek olduğu ve verimin daha düşük olduğu görülmüştür.



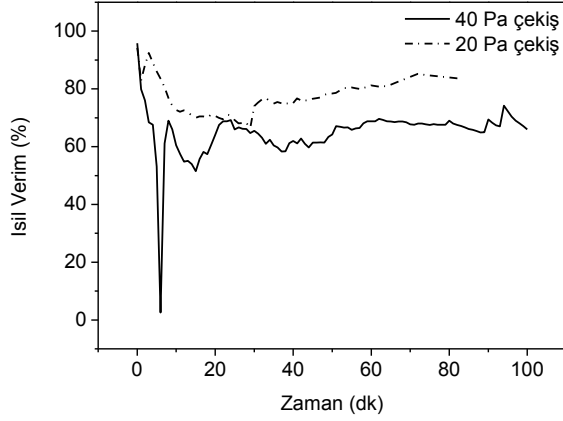
Şekil 10. Farklı baca çekiş durumlarında yakıt kütlelerinin zamana göre değişimi (10 kg)



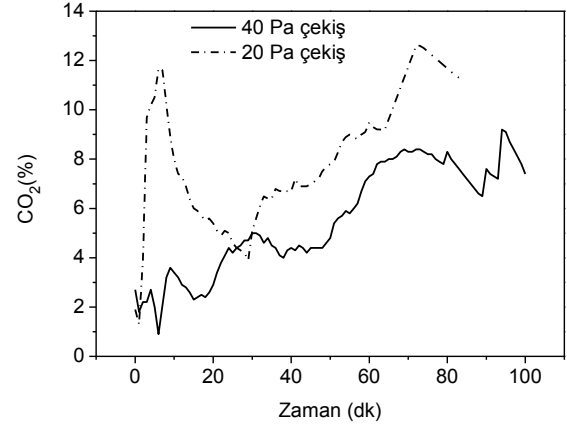
Şekil 11. Farklı baca çekiş durumlarında baca gazı sıcaklığının (T_{exh}) zamana göre değişimi (10 kg)



Şekil 13. Farklı baca çekiş durumlarında O_2 konsantrasyonunun zamana göre değişimi (10 kg)



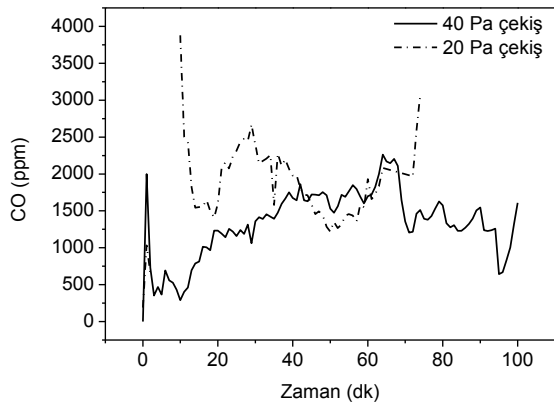
Şekil 12. Farklı baca çekiş durumlarında verimin zamana göre değişimi (10 kg)



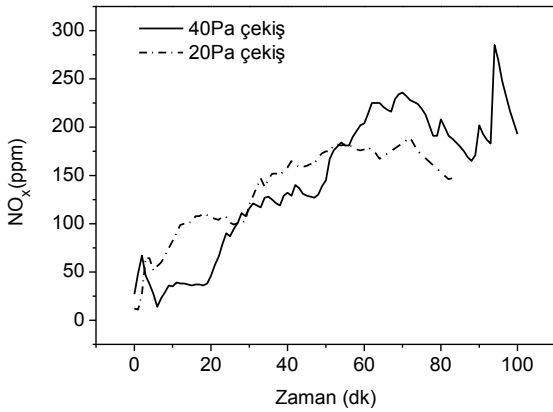
Şekil 14. Farklı baca çekiş durumlarında CO_2 konsantrasyonunun zamana göre değişimi (10 kg)

Farklı baca çekişlerinde (40 Pa ve 20 Pa) sabit yükleme durumunda (10 kg) elde edilen O_2 konsantrasyonunun zamanla değişimi Şekil 13'te, CO_2 konsantrasyonu değişimi Şekil 14'te, CO konsantrasyonu değişimi Şekil 15'te ve NO_x konsantrasyonu değişimi Şekil 16'da gösterilmiştir. Baca çekiş basıncının yüksek olduğu durumda O_2 konsantrasyonun da yüksek olduğu, CO_2 konsantrasyonun ise düşük olduğu görülmektedir.

Genel olarak yüksek baca çekiş durumunda oksijen fazlalığının da etkisiyle CO emisyonun daha düşük olduğu Şekil 15'ten görülmektedir. Ancak dikkat edilirse düşük baca çekişinde ilk dakikalarda CO emisyonlarının çok yüksek olduğu hatta bu nedenle ölçüm sınırını aştığından cihaz tarafından kaydedilemediği görülmektedir. Şekil 16'da NO_x emisyonları gösterilmiştir. Buna göre NO_x emisyonlarının yanmanın ilk safhasında (yaklaşık ilk 50 dk) düşük baca çekiş durumunda, sonraki safhasında ise yüksek baca çekiş durumunda daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 15. Farklı baca çekiş durumlarında CO konsantrasyonunun zamana göre değişimi (10 kg)



Şekil 16. Farklı baca çekiş durumlarında oluşan NO_x konsantrasyonunun zamana göre değişimi (10 kg)

Sistem yaklaşık olarak kararlı halde olduğu durumda farklı yüklemeler ve baca çekiş basınçlarında baca gazı sıcaklığı, verim, CO₂, CO ve NO_x emisyonlarının %13 O₂ referans durumuna göre ortalamaları alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. En düşük baca gazı sıcaklığının 245,7 °C ile 10 kg-20 Pa durumunda, en yüksek baca gazı sıcaklığının ise 360,4 °C ile 15 kg-40 Pa durumunda olduğu belirlenmiştir. Kazanın en verimli çalışma şartlarının %79,8 verim ile 10 kg-20 Pa, en düşük verimin ise %66,8 ile 10 kg-40 Pa durumunda elde edildiği görülmüştür. %13 O₂ referans durumuna göre emisyonlar açısından incelendiğinde en iyi şartların düşük basınç ve düşük yüklemeler durumunda gerçekleştiği saptanmıştır.

Literatürde bulunan çalışmalarla kıyaslandığında daha düşük veya benzer seviyede verim değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Yılmazoğlu (2012), kömür yakıtlı bir sobanın performans analizini yaptığı çalışmada dolaylı yöntemle göre soba verimini % 50,7 olarak tespit etmiş, sobada en fazla ısı kaybının baca gazı duyulur ısı kaybı olduğunu belirtmiştir. Patel vd. (2013) kömürle çalışan kazanda kazan ısı veriminin %78'e yakın olduğunu belirtmişlerdir. Li vd. (2016) yaptıkları çalışmada geleneksel ve yeni tasarımları doğal çekişli sobaların kıyaslamasını yapmışlar ve linyit kömürü ile elde ettikleri ısı verim değerinin geleneksel sobalarda %42, yeni tasarımlarında ise %83 civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada kömür yakıtlı ev tipi bir soba/kazan için farklı baca çekiş ve yüklemeler durumunda optimum çalışma şartlarının belirlenmesi amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında her bir durum için yakıt tüketimi, CO₂, CO, NO_x emisyonları, baca gazı çıkış sıcaklığı ve ısı verim değerlerinin zamanla değişimleri kaydedilerek gerçek çalışma şartlarındaki durumlar incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en iyi kazan veriminin %79,8 verim ile minimum yüklemeler olan 10 kg ve minimum çekiş basıncı olan 20 Pa durumunda, en düşük kazan veriminin ise maksimum yüklemeler olan 10 kg ve maksimum çekiş olan 40 Pa durumunda %66,8 ile gerçekleştiği tespit edilmiştir. CO ve NO_x emisyonları %13 O₂ durumuna göre referans alınarak hesaplandığında en düşük değerlerin en düşük yüklemeler ve en düşük baca çekiş durumlarında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca düşük baca çekişinde ilk dakikalarda CO emisyonlarının oldukça yüksek olduğu hatta bu nedenle cihaz tarafından kaydedilemediği belirlenmiştir. Kazanlarda yanma verimine ve emisyonlara etki eden birçok parametre vardır. Bu çalışmada incelenen baca çekişi ve yüklemeler durumlarının yanısıra ızgara tipi, birincil ve

ikincil hava miktarları, yanma odası geometrisi gibi birçok parametre kazan performansına ve baca gazı emisyonlarına etki etmekte olup bunların da incelenmesi akademik ve endüstriyel/ticari açıdan faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- Carvalho, L., Wopienka, E., Pointner, C., Lundgren, J., Verma, VK., Haslinger W, et al., (2013). Performance of a pellet boiler fired with agricultural fuels, *Applied Energy*, 104, 286-296.
- González, JF., González-García, CM., Ramiro, A., González, J., Sabio, E., Gañán, J., et al., (2004). Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler, *Biomass and Bioenergy*, 27(2), 145-154.
- Li, Q., Jiang, J., Qi, J., Deng, J., Yang, D., Wu, J., et al., (2016). Improving the Energy Efficiency of Stoves To Reduce Pollutant Emissions from Household Solid Fuel Combustion in China, *Environmental Science & Technology Letters*, 3(10), 369-374.
- Mitchell, EJS., Lea-Langton, AR., Jones, JM., Williams, A., Layden, P., Johnson, R., (2016). The impact of fuel properties on the emissions from the combustion of biomass and other solid fuels in a fixed bed domestic stove, *Fuel Processing Technology*, 142, 115-123.
- Onat, K., Genceli, O. F., Arısoy, A., (2007). Buhar kazanlarının ısı hesapları, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- Patel, CT., Patel, BK., Patel, Vijay K., (2013). Efficiency with different gcv of coal and efficiency improvement opportunity in boiler, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(5), 1518-1527.
- Ross, AB., Jones, JM., Chaiklangmuang, S., Pourkashanian, M., Williams, A., Kubica, K., et al., (2002). Measurement and prediction of the emission of pollutants from the combustion of coal and biomass in a fixed bed furnace, *Fuel*, 81(5), 571-582.
- Sui, J., Xu, X., Zhang, B., Huang, C., Lv, J., (2013). A Mathematical Model of Biomass Briquette Fuel Combustion. *Energy and Power Engineering*, 5, 1-5.
- Sungur, B., Topaloglu, B., Ozcan, H., (2016). Effects of nanoparticle additives to diesel on the combustion performance and emissions of a flame tube boiler, *Energy*, 113, 44-51.
- Sungur, B., Ozdogan, M., Topaloglu, B., Namli, L., (2017). Technical and Economical Evaluation of Micro-Cogeneration Systems in the Context of Global Energy Consumption, *Engineer and Machinery*, 58(686), 1-20.
- Yildiz, A., Gunerhan, H., (2005). Katı yakıtlı kazan tasarımı ve kazan ısı kapasite verimlilik değerinin deneysel olarak belirlenmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 89, 50-57.
- Yilmazoglu, MZ., (2012). Experimental investigation of thermal performance and efficiency of a coal stove according to the TS 4900, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 9(2), 27-37.

Experimental Investigation of Coal Fired Stove/Boiler Performance and Emissions at Various Loading and Draught Conditions

Extended abstract

Rapid depletion of energy resources and external dependence on energy has led researchers to design new systems that produce fewer emissions and produce more efficient and to use existing systems more efficiently. Investigations on systems which produce fewer emissions and have higher thermal efficiency are very important at domestic stoves which are used for heating purposes. Boilers are pressurized vessels where the combustion occurs inside and transfers this energy (from the fuel combustion) to the fluid (generally water). Stoves heat the location by radiation and convection where they are placed. Energy efficiency and flue gas emissions in boilers and stoves, which are widely used for the heating of houses and in many industries, are highly dependent on the excellence of the combustion, the heat transfer to the fluid, the grate design, the amount of pollutants in the fuel and the operating conditions.

In this study, effects of different chimney draughts and fuel loading conditions on thermal efficiency and flue gas emissions of a coal-fired domestic stove/boiler have been experimentally investigated. After each experiment, the obtained data were evaluated and optimum working conditions were determined.

Experiments were carried out in a domestic coal stove/boiler at 20 Pa and 40 Pa chimney draughts, 10 kg, and 15 kg fuel loads. Two kilograms of wood were used in the tests to accelerate ignition alongside each fuel load. The stove/boiler used in the experiments has a prismatic appearance and is fed from the front. In this stove/boiler, there is a combustion chamber with a height of 850 mm and a grate with dimensions of 500 mm x 600 mm. The three side walls of the combustion chamber were surrounded by a 2.5 cm width water jacket. On the front, there is a gate made of heat resistant glass. There is an ashtray under the grate. The air enters from the bottom of the grate with the natural draft and the flue gases that form as a result of combustion pass from a pipe of 130 mm diameter to the top. The heat which is the result of the

combustion is transferred to the water jacket which surrounds the combustion chamber. In addition, some of the heat is transferred through radiation and convection to the region where the boiler is located.

During the tests, changes in the fuel consumption, CO₂, CO, NO_x emissions, flue gas exhaust temperature and thermal efficiency were recorded for each case and evaluated under actual operating conditions. As a result of the experiments, it has been determined that the lowest average flue gas temperature is 245.7 °C in case of 10 kg-20 Pa, and the highest average flue gas temperature is 360.4 °C in case of 15 kg-40 Pa. The highest efficient operating conditions of the boiler are obtained with an efficiency of 79.8% in case of 10 kg-20 Pa and lowest efficiency is 66.8% in case of 10 kg-40 Pa. When the CO and NO_x emissions were calculated by reference conditions of 13% O₂, the minimum values were determined at minimum loading and minimum draught conditions. It has also been determined that CO emissions are very high in the first minute in low chimney draught and could not be recorded by the gas analyzer for this reason. There are many parameters in the boiler that affect the combustion efficiency and emissions. In addition to the loading conditions and chimney draughts, many parameters affect the performance of the boiler and the emission of the chimney gas such as the grate type, primary and secondary air flow rates, and combustion chamber geometry. Investigating these parameters will be useful for academic and industrial/commercial purposes.

Keywords: Coal, Stove/Boiler, Emission, Thermal efficiency