

Endüstriyel Mutfaklarda Kullanılan Atmosferik Brülörlü Fırın ile Ön Karışımli Brülörlü Fırının Enerji Tüketiminin Deneysel Olarak Karşılaştırılması

Mahmut BURHAN^{1*}, Akay SAKİN²

¹ Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-2059-2958,

² İNOKSAN Mutfak Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye

Alınış tarihi: 08 Kasım 2022

Düzeltilme tarihi: 23 Aralık 2022

Kabul tarihi: 31 Aralık 2022

Özet: Yapılan çalışmada Endüstriyel mutfaklarda kullanılan gazlı fırınların farklı yanma teknolojileri kullanılarak hem performanslarının hem de enerji maliyetlerinin kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında İNOKSAN firmasının atmosferik brülöre sahip FKG042E model fırını ve premix brülöre sahip FKG40 fırını kullanılmış olup, her iki fırında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her iki fırın da 20mbar doğal gazda ve ortam sıcaklığında test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda premix brülör ile çalışan fırında 0,963 m³ doğalgaz tüketimi, atmosferik brülör ile çalışan fırında 1,809 m³ doğalgaz tüketimi olmuştur. Çalışmada elde edilen bir diğer sonuç ise premix teknoloji ile üretilen fırının gücü atmosferik fırından daha yüksek olmasından dolayı pişirme kapasitesi yaklaşık % 50 artmıştır.

Anahtar Sözcükler: Endüstriyel Fırın, Premix Yanma, Atmosferik Yanma, Enerji Verimliliği

Experimental Comparison of Energy Consumption of Oven with Atmospheric Burner and Premix Burner Used in Industrial Kitchens

Received: 14 June 2022

Received in revised: 28 June 2022

Accepted: 28 June 2022

Abstract: In this study, it is aimed to compare both performance and energy costs of gas ovens used in industrial kitchens by using different combustion technologies. In this study, FKG042E model furnace with atmospheric burner and FKG40 oven with premix burner of İNOKSAN company were used, and experimental studies were carried out in both ovens. Both oven have been tested at 20mbar natural gas and ambient temperatures. As a result of the tests, 0.963 m³ natural gas consumption in the oven working with the premix burner and 1.809 m³ natural gas consumption in the oven working with the atmospheric burner was found. Another result obtained in the study is that the cooking capacity of the oven produced with premix technology is higher than that of the atmospheric oven, and the cooking capacity has increased by approximately 50%.

Key words: Industrial oven, Premix combustion, Atmospheric combustion, Energy Efficiency

To Cite: Burhan M., A.Sakin 2022. Experimental Comparison of Energy Consumption of Oven with Atmospheric Burner and Premix Burner Used in Industrial Kitchens. Journal of Biosystems Engineering 3(2):108-124

1. Giriş

Günümüzde, ev dışında gıda tüketimi arttıkça endüstriyel mutfakların önemi artmaya başlamıştır. Bununla birlikte bu sektörde kullanılan cihazların da kapasitesi, kullanım ömrü, maliyeti gibi kavramlar daha çok konuşulmaya başlanmıştır. Enerji tasarrufu her ne kadar bireysel kullanılan ev tipi ürünler için önemli bir faktör olsa da, sanayinin enerjiiyi kullanımı ve enerjinin verimi, bireyesele göre daha önemli bir kavram haline gelmiştir.

Endüstriyel mutfaklarda kullanılan fırınlarda, pişirilen gıdaların pişirme kalitesi ile birlikte, fırının birim pişirim başına harcadığı enerji miktarının azaltılması da istenmektedir.

Bir endüstriyel mutfakta günde ortalama 10-12 saat çalışan bu fırınların tükettiği enerji miktarları çok fazla olduğu için, aynı zamanda tüketim cihazlarında enerji sınıflarının belirlenmeye başlanmış olmasından dolayı üretici firmalar da minimum güçlerde ve maksimum performans ile çalışan ürünler üretmeye başlamışlardır.

Endüstriyel mutfaklarda kullanılan fırınların güçlerinin yüksek olmasından kaynaklı enerji tüketimleri de yüksektir. Bu çalışmada atmosferik brülör yerine premix brülör kullanarak enerji tüketimleri azaltılması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte premix brülörler daha yüksek güçlerde olduğu için pişirme sürelerinin kısaltılması hedeflenmektedir.

Hancılar (2007), yaptıkları çalışmada Elektrikli ankastre fırınlarda enerji tüketiminin deneysel ve teorik inceleme ile azaltılması konusunu incelemiş olup, yapılan çalışma sonucunda ankastre elektrikli fırınlarda enerji tüketimi % 30 azalmıştır.

Si ve arkadaşları (2011), yaptıkları çalışma ile bir çelik fabrikasının enerji verimliliği potansiyelini incelemişlerdir. İnceleme sonunda atık ısının geri kazanılabileceği belirlenmiştir. Etüt çalışması sonucunda işletmede bulunan önemli enerji tüketicisi tav fırını enerji verimi %60 olarak hesaplanmıştır. Buna karşın baca gazı kayıpları %29,5 olarak tespit edilmiştir. Bu değer, kayıplar içerisinde belirgin olarak en büyük kayıp ve aynı zamanda enerji verimliliği fırsatıdır. Çalışma sonucunda ayrıca kütüklerin 315 °C ye kadar ön ısıtma ile fırına girmesi durumunda birim enerji tüketiminin düşeceği belirlenmiştir.

Sari ve ark. (2013), ev tipi bir fırında izolasyon maddelerinin enerji tüketimine etkilerini incelemişlerdir. Özellikle bir fırının sıcaklığının en yoğun olduğu bölgeleri deneyler ile belirlemişler ve ardından yalıtım malzemelerini bu bölgeye uygulayıp etkilerini gözlemlemişlerdir. Cam yünü ve arojel fırının izolasyonuna uygulanmış ve sıcaklık değerlerini düşürdüğü öğrenilmiştir.

Pask ve ark. (2014), endüstriyel fırınlardaki enerji tüketiminin optimize edilmesi konusunda sistematik bir yaklaşım konusunda çalışma yapmıştır. Bu yaklaşımda optimize edilmek istenen sistem genel olarak 5 farklı basamağa ayrılmıştır. Bu aşamalar: Tanımlama, ölçüm, analiz, iyileştirme ve kontrol şeklindedir. Tanımlama aşamasında sistemin genel olarak bileşenlerinin tanımlanması, ölçüm kısmında optimizasyona etki edecek değişikliklerin değerlerinin bulunması, analiz kısmında ölçümdeki parametrelerin birbiri ile olan bağlantısı, iyileştirme kısmında değişikliklerin uygulanması ve kontrol kısmında ise yapılan iyileştirmenin uygulanıp değerlendirmeye alınması ile ilerlemektedir.

Vatandaş (2016), endüstriyel fırınlarda enerji ve ekserji verimliliği ile ilgili çalışmalarda bulunmuş, yaptığı çalışmada yüksek enerji tüketimine sahip bir emaye fırının enerji geri kazanım potansiyelini incelemiştir. İnceleme sonucunda fırının enerji ve ekseji verimliliğini

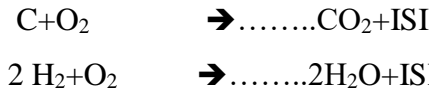
sırasıyla %13 ve %9 bulmuştur. Yaptığı verimlilik projeleri sonucunda aynı analizleri tekrarlamış ve enerji ve ekserji verimliliğini sırasıyla %28 ve %20,3 bulmuştur.

Altun ve ark. (2019), tarafından yapılan deneysel çalışmada fırın kapağına alüminyum plaka koyarak enerji tüketiminde azalma değerleri araştırılmıştır. Deneysel kaplamasız kapak tamamen kapalı kapak ve üstüne pencere açılmış kapak kullanılmıştır. Bunun haricindeki diğer bir parametre ise fırın içi sıcaklıktır. Sonuç olarak ise tamamen kapalı ve pencere açılmış deneyler arasında çok fark olmamakla birlikte kapak üstüne konulan alüminyum plaka ile enerji tüketiminde %12 ye kadar iyileşme sağlanabildiği gözlemlenmiştir.

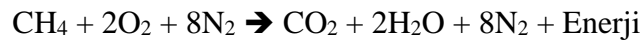
Yılmaz (2021), ev tipi bir fırında yanma olayının deneysel ve nümerik olarak incelemiş zaman zaman fırının parçalarını değiştirerek fırının yanma performansını iyileştirmeye çalışmıştır. Fırın gövdesinin altında bulunan alev dağıtıcısında yapılan modifikasyonlar yanma deneyiyle desteklenmiş ve doğrulanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Yanma yakıt içindeki yanıcı Karbon (C) ve Hidrojenin (H) hava içindeki oksijen ile hızlı bir kimyasal birleşim yapması olarak tanımlanır. İdeal-stokiyometrik koşullarda Karbon (C) ve Hidrojen (H) tam yanması halinde yanma denklemi ve doğalgazdaki yanma denklemi aşağıda verildiği gibidir (URL-1)



Yanma denklemi (URL-1)

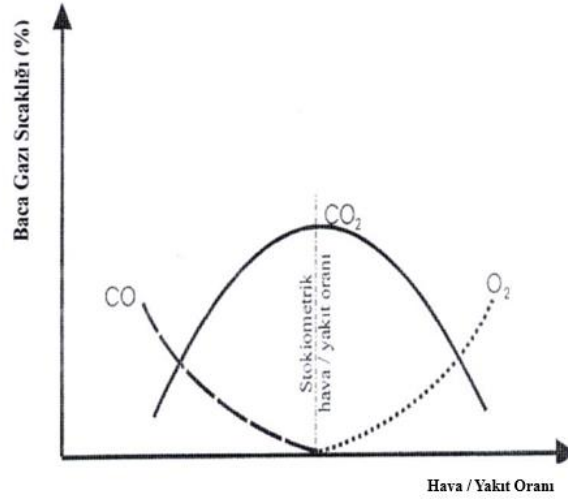


Doğalgaz yanma denklemi (URL-2)

Yanma esnasında kullanılan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiometrik (teorik) hava miktarına olan oranı hava fazlalık katsayısı olarak tanımlanır. Yanmayı tam sağlamak için yanma odasına gönderilen gerçek hava miktarı daima teorik hava miktarından bir miktar fazladır. Yanmanın eksik veya tam olduğuna, yanmış gazların miktarına bakılarak karar verilir. Yanma çalışmalarında, kazanlar için en önemli işletme parametresi hava fazlalık katsayısıdır. Stokiometrik oksijen ve buna karşılık olan stokiometrik hava, yakıtı yakmak için gerekli teorik miktarlardır. Pratikte genellikle bu miktardan daha fazla hava verilmesi gerekir. 1 kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi, teorik (stokiometrik) hava-yakıt oranı olarak ifade edilir (URL-3)

$$\frac{\text{Teorik Hava}}{\text{Yakıt Oranı}} = \frac{1 \text{ kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi, kg}}{1 \text{ kg yakıt}} \quad \lambda = \frac{\text{Gerçek hava}}{\text{Yakıt oranı}} \frac{\text{Yakıt oranı}}{\text{Teorik hava}} \frac{\text{Teorik hava}}{\text{Yakıt oranı}} \quad (\text{URL-3})$$

Hava/yakıt oranı stokiometrik orandan az tutulursa, pratik olarak karbonun tam yanması mümkün olmaz. Bu durumda baca gazında eksik yanma ürünü olan karbon monoksit görülür. Baca gazının bileşimi ile hava-yakıt oranı arasındaki bağıntı Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Baca gazı sıcaklığı hava yakıt – ilişkisi (URL-3)

2.1 Premix Olmayan Yanma

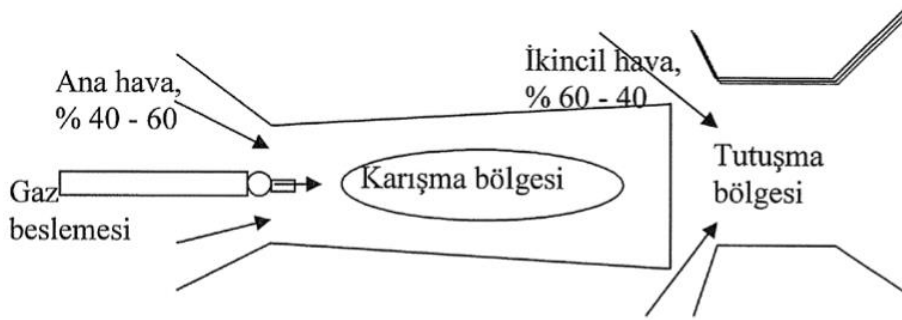
Açık yanma olarak bilinen sistemde gazın oksijenin bulunduğu ortamda yanması durumudur. Bu yanma sisteminde gaz/hava karışımı (%0) yoktur. Alev yapısı Şekil 2’de görüldüğü üzere sarı, zayıf ve uzundur.



Şekil 2. Açık yanma alev yapısı (URL-4)

2.2 Atmosferik Premix Brülörler

Atmosferik brülörler konutlarda şofben, kat kaloriferi ve ocaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sanayide ise direkt sıcak hava ve endirekt sıvı ısıtma üreteçleri, özel kurutma fırınları ile pişirme ocaklarında kullanılır (URL-5). Atmosferik brülörler üflemlili brülörlerden farklı olarak fan bulundurmazlar ve yanma için gerekli oksitleyici hava ortamdan emilir. Tesisattan gelen basınçlı doğal gazın bir lülede genişlemesi sırasında birincil hava çevreden emilir. İkincil (sekonder) hava, termik olarak alevle ısınıp yükselen gazlar yerine yakıcının altındaki açık alandan emilir. Alevin oluşumu yukarı yönde olur. Atmosferik brülörler basit yapıya ve iyi bir yanma verimine sahiptir. Genellikle sanayi uygulamalarında kullanılırlar (URL-6).



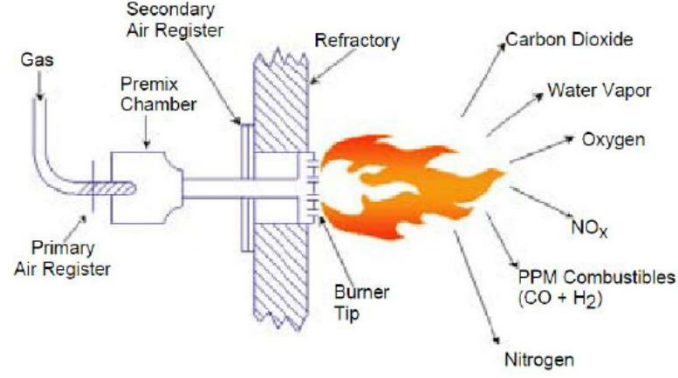
Şekil 3. Atmosferik premix brülör sistemi (URL-7)



Şekil 4. İnoksan Atmosferik fırın Brülörü

2.3 Premix Brülörler

Premix brülörler, ön karışımli yanma teknolojisini kullanırlar. Brülöre verilmeden önce yüksek verimli yanmayı sağlamak için gaz ve yanma için gerekli olan havanın karışımı Premix teknolojisi olarak adlandırılır. Premix brülörlerde, hava ve yakıt atmosferik premix brülörlerden farklı olarak ayrı noktalardan özel tasarlanmış karıştırıcı ünite içerisine girer. Premix brülörlerde, hava ve yakıt özel karıştırıcı ile yanma başlığı içerisinde homojen karışmasından sonra yanma gerçekleşir. Elektronik yakma yönetim sistemi ve inverter kullanımı ile hava ve gaz için hassas ayar imkanı ve yüksek modülasyon oranı sağlanmaktadır. Premix brülörlerde yanma, metal fiber örgülü alev başlığının yüzeyinde gerçekleşir (URL-8)



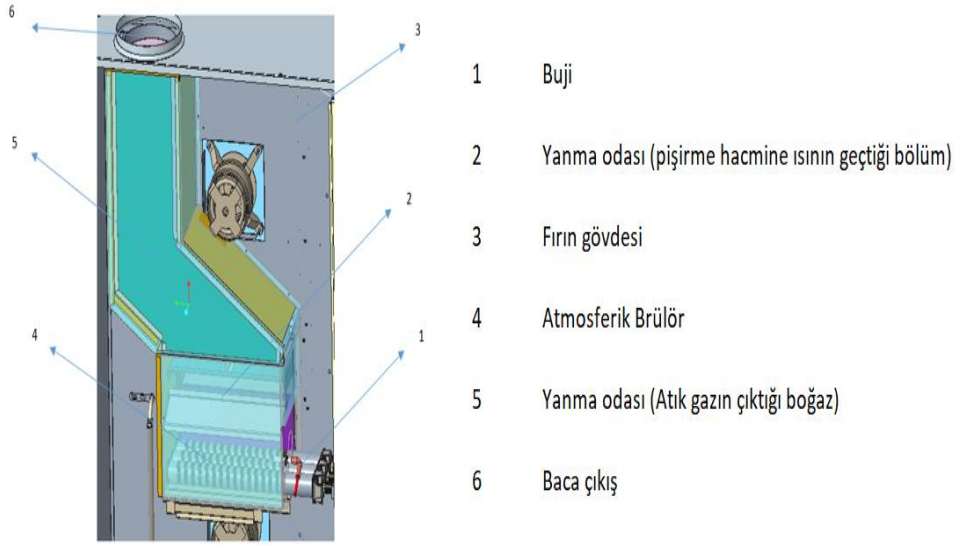
Şekil 5. Yanma ürünleri ile premix brülör (URL-9)



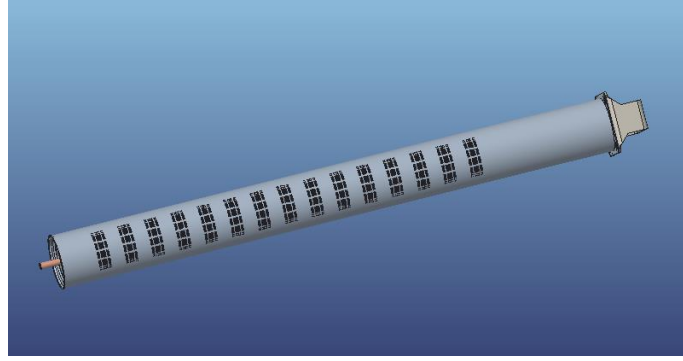
Şekil 6. Premix brülör örnekleri (URL-10)

3. Bulgular

Endüstriyel mutfaklarda kullanılan gazlı konveksiyonlu fırınlarda atmosferik brülörler ve premix brülörler olmak üzere iki farklı yanma çeşidi kullanılır. İnoksan gazlı fırın modellerinde iki tip brülörlü modelleri mevcuttur. Bunlardan FKG042E model fırını atmosferik brülöre sahip olup, brülörün yanması ile ısınan hava yanma odasından pişirme hacmi içerisine verilir. Kabin içerisindeki fan sayesinde ısınmış olan hava konveksiyon yoluyla pişirme hacminde dolaşarak tepsiler üzerindeki gıdaları istenilen sıcaklıklara kadar pişirir. Yanma esnasında brülördeki atık gaz baca yoluyla dışarıya atılır. Bu sistemde baca gazı sıcaklıkları yüksek, aynı zamanda sistem verimliliği düşük olmaktadır. Fırının yanma sisteminin parçaları Şekil 7’de belirtilmiştir.

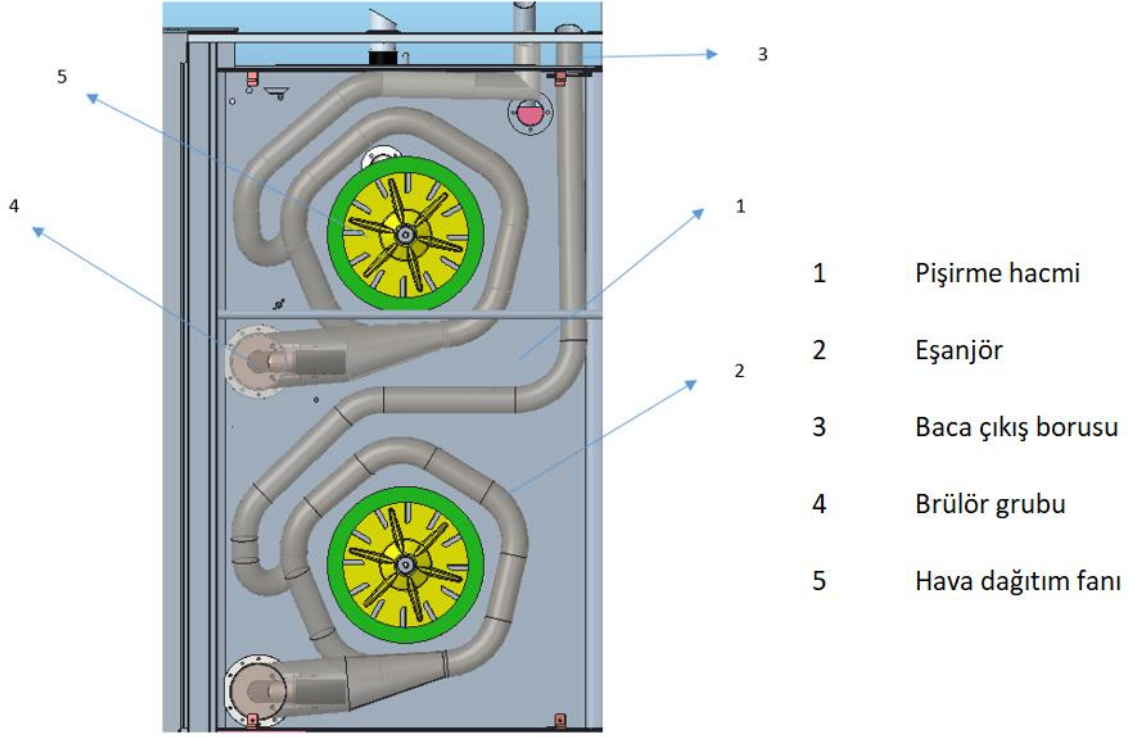


Şekil 7. İnkosan FKG042E yanma ve baca bölümü

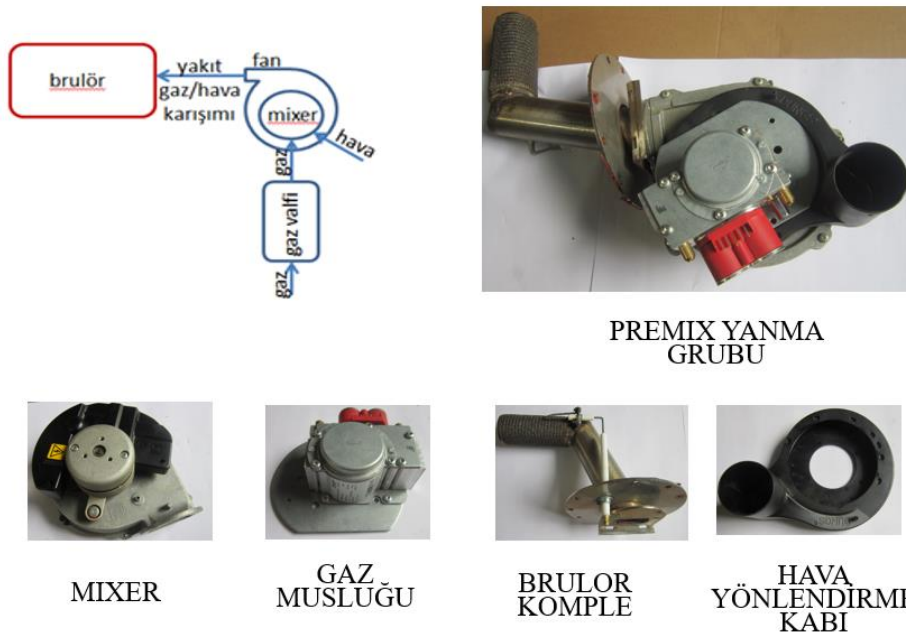


Şekil 8. İnkosan FKG042E brülörü

Premix sistemlerde, eşanjör veya yanma odası içerisinde bulunan brülör, fan hızı ayarı ve gaz vanası ayarı ile önceden belirli oranlarda gaz/hava karışımı sağlanan yakıtın yanması ile ısı transferi sağlanmaktadır. Bu sistemde hava fanın emiş gücü ile sisteme alınır. Belirli miktarda ayarlanmış gaz vanası ile yanma gazı da sisteme alınarak hava/gaz (karışım) mixerde ayarlanan oranlarda karışımı sağlanır. Bu gaz/hava karışımından oluşan yakıt, fanın üflemesiyle yanma odasının içindeki brülöre iletilir. Brülörün yüzeyindeki boşaltmalardan yanma odasına çıkan bu yakıt, burada bulunan ateşleme elektrotunun kıvılcımı yardımıyla ateşlenir. Yanma odasında oluşan bu alevi ve devamlılığını sağlayan yakıt (hava/gaz karışımı) fanın hızıyla ve gaz valfinin gaz ayarlarıyla değişmektedir. Fan hızı talep edilen yanma değerine göre maksimumdayken sistemin kapasitesi en üst seviyesinde, en düşüğe yaklaşırken de (yanma) kapasite düşerek sistemin en düşük değerine ulaşmaktadır.

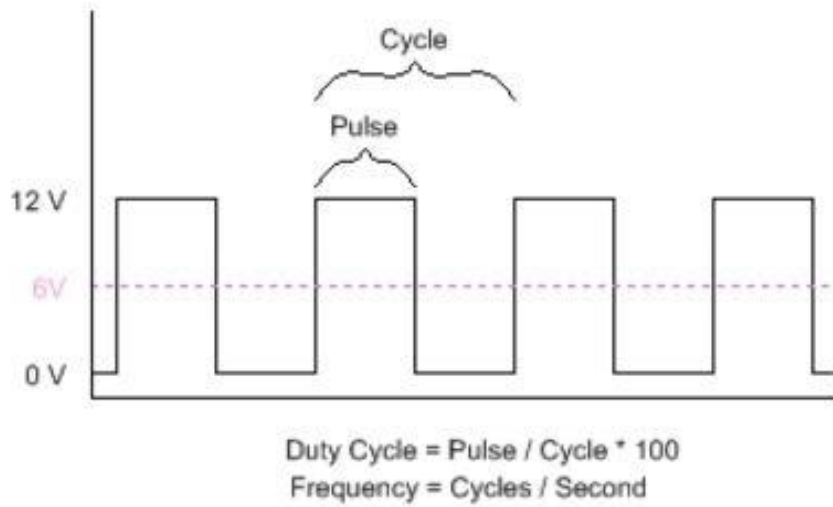


Şekil 9. İnoksan FKG40 kabin içi yanma bölümü

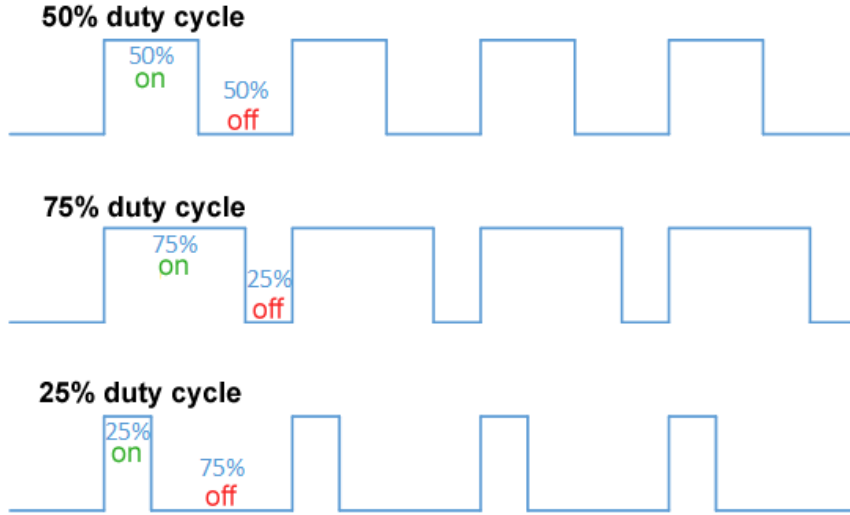


Şekil 10. İnoksan premix brülör grubu

Modülasyon kontrollü premix sistemde ise yanma için brülörlere gönderilecek gaz miktarının elektrik kontrollü gaz vanasıyla ve üfleyici fanın hızının değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Gaz vanasının yapısında bulunan özellikten dolayı gaz vanasından brülörlere gönderilecek gaz miktarı (debisi), üfleyici fanın ortamdaki emerek brülörlere gönderdiği temiz hava basınç miktarına göre değişecektir. Diğer bir değişle brülörlere gönderilen gaz, üfleyici fanın dış ortamdaki temiz hava emiş gücüyle (diğer bir değişle brülöre temiz hava üfleme gücüyle) bağlantılı olarak yanma sisteme dahil edilir. Modülasyonlu yanma için özel EC (elektronik kontrol) (frekans kontrollü) fanlar kullanılmaktadır. EC Fanın, elektronik kontrol ünitesine uygulanan doğru akım (DC) voltajıyla, EC fanın AC (alternatif akım) tarafından enerji geçmesi sağlanarak fan dönme işlemine başlar. Burada EC fanın elektronik kontrol devresine uygulanan DC voltajın frekansının değiştirilmesi, EC fanın çalışma hızını belirler. Böylece EC fan modülasyonlu olarak çalışır. PWM kelime anlamı olarak Pulse Width Modulation'ın kısaltmasıdır (Türkçe karşılığı Darbe sinyali genlik modülasyonu). Bir çalışma periyodundaki (Duty cycle) Ton (fanın aktif olma) ve Toff (fanın deaktif olma) olma oranlarının toplamı fanın dakikada tamamladığı dönüş (rpm) değerini belirtir.



Şekil 11. Darbe genliğinin çalışma periyodundaki görüntüsü (URL-11)



Şekil 12. PWM çalışma değerleri (URL-12)

PWM darbe genişlik modülü en genel anlamda bir çalışma periyodu içerisinde motora uygulanan ortalama voltajın (average voltage) değeri fanın dönüş hızını etkilemesidir. Modülasyonlu yanma işleminde fana uygulanan PWM sinyaline (ortalama voltaj değerine) göre değişmektedir.

Bunun için, ilk önce modülasyonlu yanmanın maksimum değeri bulunur. Brülörün maksimum ısı kapasitesine göre üfleyici fanın gücü PWM değeri değiştirilerek ayarlanır. Baca gazı emisyon değerleri ölçülerek standartlar içinde olması sağlanır.

Minimum yanma değeri için de brülöre ideal yanma durumunda 1:10 değeri göz önünde bulundurulur. Brülörün minimum yanma gücü hesaplanır. Hesaplanan minimum brülör gücüne uygun üfleyici fan pwm değeri bulunur. Baca gazı emisyon değerleri ölçülerek standartlar içinde olması sağlanır.

Belirlenen maksimum ve minimum yanma değerleri arasındaki değerlerde de sistem modülasyon içinde yanmanın en düşük değere yaklaştıkça azalarak, maksimum değere yaklaştıkça artarak salınım yapmasını sağlar. Yanma alev boyu ve kapasitenin değişimi, fanın gücündeki değişimiyle doğru orantılı olarak değişiklik gösterir.


Test çalışmaları sırasında ayar yapılırken, daha önce ideal yanma için belirtilen λ faktörüne uygun gaz ayarlaması yapılmalıdır. Buradaki λ faktörü ayarına göre yanma sonrası oluşan atık gaz değeri ölçülmektedir. λ faktörü hesabında belirtildiği gibi yapılan ayar en ideal koşullarda yaklaşık olarak 1,15-1,35 aralığında olmalıdır. Bu uygun gaz/hava karışım oranıyla yapılan yanmada alev düzenliliği, güvenli yanma sağlanır ayrıca sistem ve brülör ömrü uzamış olur.

Özet olarak, PWM sinyalindeki değişim (ortalama voltaj değerinin değişmesi) EC fanın emdiği havanın miktarının değişmesi ve karıştırıcı haznesinde karıştırılarak yanma odasındaki

brülöre iletme gücünün de değişmesine sebep olacaktır. Böylelikle pişirme işlemi sırasında sistemin ihtiyaç duyduğu ısı güç miktarı fazla ise maksimum yanmada sisteminin ihtiyaç duyduğu ısı güç miktarı azaldıkça fan hızı düşürülerek minimum yanma değerine yaklaştırılır. Böylelikle modülasyonlu yanma işlemi gerçekleştirilmiş olunur. Her ısı talebi değişikliğinde yanma işlemi modülasyon gerçekleştirerek yapıldığı için, yakıt kullanım değerleri maksimum düzeyde gerçekleşecektir.

Test Çalışmaları

Test çalışmalarında premix yanmalı brülör testleri için İnoksan FKG040 fırını, atmosferik brülör testleri için ise "İnoksan FKG042E" fırını kullanılmıştır. Her iki fırın da 20mbar doğal gazda ve ortam sıcaklığında test edilmiştir. Test başlangıç işlemi olarak her iki fırın da kurulu maksimum güç ayarlarına ayarlanmıştır. FKG40 fırın için maksimum gaz güç değeri 50kW, FKG042E için ise maksimum gaz güç değeri 36kW tır. Kurulu güç ayarları yapıldıktan sonra her iki fırında baca gazı emisyon değerleri ölçülmüştür. Baca gazı emisyon ölçümleri fırın kapıları açık olarak gerçekleştirilmektedir. Böylece, ölçüm sırasına kabin sıcaklığının kontrolsüz olarak aşırı artması durumunda devreye girecek olan kabin limit termostatının çalışmasını önlemek ve fırın kapısı açık iken, fırın kapısı kapalı durumdakine göre daha yüksek CO değeri çıkacağı için baca gazı emisyon ölçümleri en kötü duruma göre gerçekleştirilir. Ayrıca, baca gazı emisyon ölçümlerine, fırın brülörlerinin çalıştırılmasından en az 5 dakika sonra başlanmıştır. Böylece, ilk yanma sırasında oluşan olumsuz etkilerden (yüksek CO değeri, yüksek λ değeri, düşük baca sıcaklığı ve düşük verim) etkilenmemiş olunacaktır. Fırının teknik özellikleri Şekil 13 ve Şekil 14’de verilmiştir.



Gaz Gücü	50	kW
Fan Motor Gücü	0,85 x 2	kW
Elektrik Girişi	230 V AC 1N+PE	V
Frekans	50	Hz
Max. Elektrik Gücü	3	kW
Max. Gaz Gücü	50	kW
Gaz Tüketimi (NG)(G20)	5,079	m ³ /h
Gaz Tüketimi (LNG)(G30/G31)	3,785	kg/h
Nominal Gaz Basıncı (NG)(G20)	20	mbar
Nominal Gaz Basıncı (LPG)(G30/G31)	30/37	mbar
Kapasite	20 GN 2/1 veya 40 GN 1/1	
Raf Arası Mesafe	65	mm
Gaz Girişi	3/4	inç
Su Basıncı	2-4	bar
Su Girişi	3/4	inç
Boyutlar	1180x1070x1893	GxDxY
Faydalı İç Hacim	0,9	m ³
Net Ağırlık	-	kg

Şekil 13. İnoksan FKG40 fırın teknik özellikleri



Fan Motor Gücü	0,85 x 2	kW
Elektrik Girişi	220-230	V
Frekans	50	Hz
Max. gaz gücü	36	kW
Kapasite	20 GN 2/1 veya 40 GN 1/1	
Gaz kapasitesi	2,85	kg/h LPG
Su Basıncı	2-4	bar
Su Girişi	¾	inç
Boyutlar	1200x1030x1650	GxDxY
Faydalı İç Hacim	0,87	m³
Net Ağırlık	329	kg
Brüt Ağırlık	375	kg

Şekil 14. İnoksan FKG 042E fırın teknik özellikleri

Her iki fırında aynı şartlarda test edilmiştir. Test parametreleri aşağıda belirtildiği gibidir.

Çizelge 1. FKG042E fırını test parametreleri

Cihaz adı	FKG042E
Test süresi	60dk
Test gazı	Doğalgaz
Test basıncı	20 mbar
Test sıcaklığı	180°C
Sayaç başlangıç değeri	04374,036 m³
Sayaç son değeri (60 dk sonrası tüketim)	04375,845 m³
Tüketilen gaz miktarı	1,809 m³

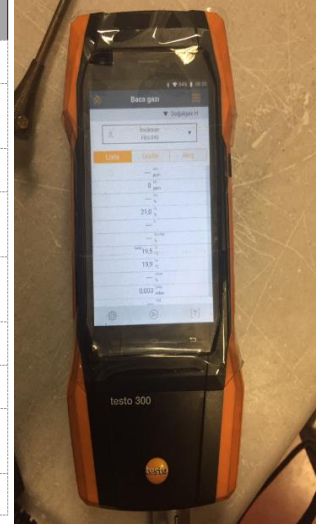
Çizelge 2. FKG40 fırını test parametreleri

Cihaz adı	FKG40
Test süresi	60dk
Test gazı	Doğalgaz
Test basıncı	20 mbar
Test sıcaklığı	180°C
Sayaç başlangıç değeri	12334,421 m³
Sayaç son değeri (60 dk sonrası tüketim)	12335,384 m³
Tüketilen gaz miktarı	0,963 m³

Her iki fırın içinde baca gazı ölçümü Testo 300 cihazı ile yapılmıştır. Baca analiz cihazı (Testo 300); karbon veya hidrokarbon bileşimli yanıcının, havadaki oksijenin bir yanma odasında yakma işlemini başlatacak ateşleme kaynağından tetiklenmesiyle başlayan kimyasal reaksiyonun, analiz cihazıyla ölçülme işleminde kullanılan cihazlardan biridir. Yanma odasında

başlatılan yanma işlemi, baca vasıtasıyla deşarj edilirken içerisinde çok sayıda madde içermektedir. Bacadan atılacak gazının en büyük kısmını su buharı ve karbondioksit (CO₂) oluşturur. Bu atıl gazların dışında yanma hava kaynağına bağlı olarak bacadan deşarj edilecek azot oksitleri (NOX) veya karbon monoksit (CO) ve eksik yanmış yakıt bileşenleri içerir.

ÖLÇÜM PAARMETRELERİ	ÖLÇÜM ARALIĞI	DOĞRULUK	ÇÖZÜNÜRLÜK
Sıcaklık K Tipi (NiCr-Ni)	-40 ... +1200 °C	±0,5 °C (0,0 ... +100,0 °C) ±0,5 % ölç.değ. (kalan aralık)	0,1 °C (-40 ... +999,9 °C) 1 °C (kalan aralık)
Fark basınç piezo dirençli	-100 ... +200 hPa	±0,5 hPa (0 ... +50,0 hPa) ±1 % ölç.değ. (+50,1 ... +100,0 hPa) ±1,5 % ölç.değ. (+100,1 ... +200 hPa)	0,01 hPa
Baca gazı O ₂	0 ... 21 % hacim	±0,2 % hacim	0,1 % hacim
Fark basınç baca gazı çekişi	-9,99 ... +40 hPa	±0,005 hPa (+0 ... +0,1 hPa) ±0,02 hPa (+0,1 ... +3,00 hPa) ±1,5 % ölç.değ. (3,01 ... +40 hPa)	0,001 hPa (0 ... 0,1 hPa) 0,01 hPa (kalan aralık)
Verimlilik derecesinin tespiti, Eta (hesaplanmış)	0 ... 120 %		0,1 %
Baca gazı kaybı (hesaplanmış)	0 ... 99,9 %		0,1 %
Baca gazı CO ₂ hesabı (O ₂ 'den hesaplanmış)	0 ... CO ₂ maks	±0,2 % hacim	0,1 % hacim
Baca gazı CO (H ₂ düzeltilmesiz)	0 ... 4000 ppm	±20 ppm (0 ... 400 ppm) ±5 % ölç.değ. (401 ... 2000 ppm) ±10 % ölç.değ. (2001 ... 4000 ppm)	1 ppm
Ortam CO	0 ... 2000 ppm	±10 ppm (0 ... 100 ppm) ±10 % ölç.değ. (101 ... 2000 ppm)	1 ppm



Şekil 15. TESTO baca gazı analiz cihazı

Testler sırasında kullanılan Testo 300 baca gazı analiz cihazı, O₂ sensörü, 4.000 ppm'ye kadar ölçüm yapabilen CO sensörü ve sıcaklık ölçümü için dahili termocouple'ı bulanan temel baca gazı probu bulunmaktadır. Kullanılan sensörler sayesinde CO₂, O₂, çekiş, basınç, ortam CO ve fark sıcaklığının kolay ölçülmesini sağlar.

Çizelge 3. Testo 300 yazıcı parametre değerleri

TESTO 300 EKİRAN (TR)	TESTO 300 ÖLÇÜM PARAMETRELERİ
O₂ ref	Oksijen referans değeri
uCO	Egzoz yapılmadan önceki karbon monoksit
CO	Karbon monoksit
CO₂	Karbon dioksit
O₂	Oksijen
λ	Gazın Stokiyometrik değerinin, Gazın yanma sırasında ölçümlen değerine oranı
V_{rm} Net	Kalorifik değer aralığı dikkate almaksızın yanma verimi
To	Yanma ortam hava sıcaklığı
Tb	Gaz Baca Sıcaklığı
qAnet	Kalorifik değer aralığı dikkate almaksızın baca gazı ısı kaybının
Çekiş	Baca çekişi
Tçiğ	Baca gazı çiğ noktası sıcaklığı

Bu cihaz ile yanma sonucu bacadan çıkan yanmış gazların miktarları belirlenmiştir. Çizelge 4’de premix brülörlü FKG40 fırınının ve Çizelge 5’de atmosferik brülörlü FKG042E fırınının baca ölçüm değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. FKG40 Üst ve alt brülör baca gazı analizi

FKG40	
Premix Üst Yanma Odası	Premix Alt Yanma Odası
Yakıt :	Doğalgaz H
O₂ Ref:	3,0 %
CO₂ Maks:	12,0 %
μCO	4 ppm
CO	3 ppm
CO₂	10,17 %
O₂	9,77 %
λ	3,2 %
V_{rm} Net	1,18
To	82,1 %
Tb	32,8 °C
qAnet	419,1 °C
Çekiş	17,9 %
Tçiğ	0,406 mbar
	57,9 °C

Çizelge 5. FKG042E baca gazı analizi

FKG042E	
Atmosferik Yanma Odası	
Yakıt :	Doğalgaz H
O₂ Ref:	3,0 %
CO₂ Maks:	12,0 %
μCO	54 ppm
CO	16 ppm
CO₂	3,54 %
O₂	14,8 %
λ	3,39
V_{rm} Net	75,9 %
To	25,3 °C
Tb	232,8°C
qAnet	24,1 %
Çekiş	0,027 mbar
Tçiğ	41,8 °C

Premix sistemde λ değeri ideal yanma değerlerine yakın olduğu ve O₂'in CO₂ ile kimyasal tepkimeye girmesinden dolayı ortaya çıkan yanmamış gazın CO ölçüm değeri çok çok düşüktür. Atmosferik yanmada λ değeri ideal yanmanın çok üstünde 3.39 olarak çıkmıştır.

Bunun sebebi yanma işlemindeki oksijen miktarının fazla olmasıdır. Ayrıca, CO₂ değeri, O₂'nin yüksek çıkmasından dolayı çok düşüktür.

Yanmalı sistemlerde verim, baca atık hava sıcaklığı ve λ değeriyle bağlantılıdır. Premix sistemin yanma verimi (V_{rm} Net), sistemin λ değeri çok iyi olmasına karşı oluşan ısı, yanma odasında yeteri kadar tutulmadan atıldığı için T_b (baca gazı sıcaklığı) yüksek çıkmıştır. Atmosferik yanmalı sistemde ise λ değeri çok düşük olmasına karşı T_b değeri düşük olduğu için V_{rm} Net 75.9% çıkmıştır.

Her iki fırının brülörlerinin teknolojisi ve çalışma sistemleri farklı olduğu için lambda değerleri birbirlerinden farklılık göstermektedirler. Aynı O₂ veya CO₂ değerleri kullanılması durumunda, fırın toplam kW güçleri taahhüt edilen değerlerin dışına çıkacaktır. Bunun yansımaları olarak da hedeflenen pişirme süresi etkilenecektir. Aynı lambda değerlerinde çalışılması durumunda brülörler aynı olmadığı için baca gazı emisyon değerleri farklı olacaktır.

4. Sonuç

Test işlemi sırasında, fırınların 1 saat süre boyunca çalışması sonucundaki gaz sayacından okunan değerlerin farkı alınarak gaz tüketim değerlerine bakılmıştır. Toplam gaz tüketimine bakıldığında premiks sistemin daha az gazla daha yüksek enerjili yanma işlemini gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.

1 saatlik çalışma sonucunda premix brülörlü fırında yapılan test, atmosferik brülörlü fırında yapılan teste göre 0,846 m³/h daha az doğalgaz tüketimi olmuştur.

1 m³ doğalgaz fiyatı 8,9521 TL (Bursagaz ekim 2022 fiyat listesi) olduğu için, premix brülörlü günde 10 saat çalışan bir fırında doğalgaz tasarruf miktarı 27.264,52 TL olacaktır. Detaylı açıklama Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Premix yanma ile atmosferik yanma gaz tüketim miktarı tüketim farkı

Günde 10 saat çalışan bir fırın için doğalgaz tasarruf miktarı	0,846 x 10 = 8,46	m ³
Aylık doğalgaz tasarruf miktarı	8,46 x 30 = 253,8	m ³
Yıllık doğalgaz tasarruf miktarı	253,8 x 12 = 3045,6	m ³
Doğalgaz birim maliyeti	8,9521	TL
Yıllık doğalgaz tasarruf miktarı	27.264,52	TL

Testlerde de belirtildiği gibi premix brülörlü endüstriyel fırınlar, atmosferik yanmalı brülöre göre daha az gaz tüketeceği için ekonomik olarak işletmeye ciddi bir avantaj kazandıracaktır. Ayrıca bu brülörler bacadan daha az CO attığı için PPM değerleri daha düşüktür. Böylece premix brülörler daha çevreci, ekonomik ve yanma için daha verimlidir.

Atmosferik sistemler harici olarak üfleyici bir fan kullanılması gerekli olmadığı için premix sisteme göre ilk yatırım maliyeti daha uygundur. Atmosferik yanma göz kontrolü ile kontrol edilebilir fakat premix yanma kapalı bir sistem içerisinde yandığı için gözle kontrolü yapılamaz. Premix yanmada hava gaz ayarının doğru ayarlanmaması sonucunda akustik bir ses çıkabilir. Atmosferik yanmada her gaz tipine göre enjektör seçilerek daha kolay bir şekilde hava ayarı yapılabilir. Akustik ses atmosferik sistemde beklenmez. Bunlar atmosferik sistemin avantajları olarak verilebilir.

Endüstriyel mutfaklarda kullanılan fırınlar aktif olarak sürekli çalıştığı için, kullanan operatörler zamanla yarışmaktadırlar. Geleneksel yanma ile çalışan fırınların güç değerleri premix brülör ile çalışan fırınlara göre daha az olduğu için pişirme süreleri de daha fazla olacaktır. Test fırınlarımızda da belirtildiği gibi FKG042E nin gücü 36 kW olup FKG40 ın gücü 50 kW tır. Premix yanmalı fırının gücü daha fazla olmasına rağmen daha az gaz tüketimi yapmış olup aynı zamanda gücü yüksek olduğu için pişirme süresi daha az olmuştur. Bu sayede işletmeye ayrıca hem zaman tasarrufu ile kapasite artışı, hem de para tasarrufu sağlamıştır.

Teşekkür:Bu projenin deneylerinin yapılmasında katkısı olan İnoksan Mutfak Sanayi A.Ş firmasına teşekkürü bir borç bilirim.

Finansal Destek: Makalenin hazırlanmasında herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Yazar katkısı: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Çıkar çatışma beyanı: Yazarlar olarak herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan ederiz.

Etik kurul: Makale etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Kaynaklar

[1] Hancılar, N.2007, Elektrikli ankastre fırınlarda enerji tüketiminin deneysel ve teorik inceleme ile azaltılması. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen bilimleri enstitüsü, İstanbul

[2] Si, M., Thompson, S. and Calder, K., “Energy efficiency assessment by process heating assessment and survey tool (PHAST) and feasibility analysis of waste heat recovery in the reheat furnace at a steel company”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (6): 2904-2908 (2011)

- [3] Sari, T., Celik, A., Isik, O., Temel, O., Onbasioglu, S.U. 2013. Effects of insulation parameters on the energy consumption in domestic ovens and the most efficient insulation design. EPJ Web of Conferences 45, 2013.
- [4] Pask, F., Sadhukhan, J., Lake, P., McKenna, S., Perez, E.B., Yang, A. 2014. Systematic approach to industrial oven optimisation for energy saving. Applied Thermal Engineering, 71: 72-77.
- [5] Vatandaş, S.2016, Sanayi fırınlarında enerji ve ekserji verimliliği; örnek çalışma emaye pişirme fırını verimlilik projesi enerji ve ekserji analizlerinin gerçekleştirilmesi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa
- [6] Altun, Ö.,Yıldız, Ş., Anık,T.2019.Ankastre ev tipi fırınlarda fırın kapağının enerji tüketimi ve enerji seviyesine etkisinin deneysel olarak incelenmesi Pamukkale Univ Muh Bilim Der25(4):403-409
- [7] Yılmaz, E.Can 2021, Ev tipi bir fırında yanma olayının deneysel ve nümerik olarak incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim enstitüsü, İstanbul
- URL-1. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/7af4fb322bb5c89_ek.pdf (yanma gaz analizleri ve doğalgaz uygulamalarındaki yeri)
- URL-2. <https://www.thesisat.org/dogalgaz-yanginlari-alinacak-onlemler.html>
- URL-3. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/236697>
- URL-4. www.researchgate.net/publication/357838961
- URL-5. <https://slideplayer.biz.tr/slide/14004827>
- URL-6. Cellek, Mehmet S. 2017, Sanayi tipi brülör kazan sisteminde yanma emisyonlarının incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- URL-7. <https://paperzz.com/doc/5078262>
- URL-8. <https://focusendustri.com.tr/premix-brulorler>
- URL-9. <https://www.researchgate.net/publication/257728119>
- URL-10. <https://www.mfburners.com/metal-fiber-burner>
- URL-11. <https://acroname.com/articles/description-pulse-width-modulation>
- URL-12. https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation