

PİRİNANIN YAKIT OLARAK KULLANIMI: STOKERLİ BİR KAZANDA YAKMA DENEMELERİ

Yetkin DUMANOĞLU, Abdurrahman BAYRAM

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

ÖZET

Dünya genelinde enerji ihtiyacının büyük bir kısmının sağlandığı fosil yakıtların kaynaklarının tükenmesi ve bunların kullanımından kaynaklanan hava kirliliğinin önemli bir problem olması nedeniyle alternatif enerji kaynakları büyük önem kazanmaktadır. Zeytinyağı üretimi sonucunda oluşan bir atık olan pirina, özellikle Akdeniz ülkelerindeki üretiminin fazla olmasına bağlı olarak alternatif bir enerji kaynağı niteliğindedir. Bu doğrultuda çalışmada; pirinanın yakıt özelliklerinin belirlenmesi ve emisyon seviyelerini azaltacak yanma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada pirinanın yakıt özelliklerini belirlenmesi için yağlı ve yağsız pirina örneklerinin yaklaşık analizleri yapılmıştır. Yağlı pirina içerdiği yüksek nem ve ekonomik değere sahip yağ nedeniyle doğrudan yakıt olarak kullanılmamalıdır, bu nedenle çalışmada yağsız pirinanın yakıt olarak kullanımı incelenmiştir. Pirina, yüksek uçucu madde içeriğine sahiptir. Uçucu maddelerin düşük sıcaklıkta gazlaşması ve yanmadan bacadan atılmaları pirinanın yakıt olarak kullanımında olumsuz bir etkidir.

Yanma denemeleri, laboratuvarında kurulan 70 KW ısıtıcı kapasiteli bir kazanda yapılmıştır. Denemelerde farklı yakıt besleme debileri için uygun yanma koşulları belirlenmeye çalışılmış ve CO emisyonlarının değişimi incelenmiştir. Kullanılan kazanda yanma sırasında karşılaşılan en büyük problem hava/yakıt oranının tam olarak ayarlanamamasıdır. Hava/yakıt oranının tam olarak ayarlanamaması tam yanmanın sağlanamamasına neden olmaktadır. Yapılan yanma denemeleri sonucunda; düşük CO emisyonlarına ulaşmak için yakıt otomatik olarak ve sürekli beslenmeli ve yanma sistemine ikinci hava beslemesi yapılmalıdır. Yanma bölgesinde uçucu maddelerin yüksek sıcaklıkta yeterince kalabilecekleri şekilde dizayn edilmelidir.

Anahtar Sözcükler: Pirina, yanma, uçucu madde, CO emisyonu.

ABSTRACT

As the resources of the fossil fuels are exhausted and air pollution due to usage of these fuels is a major problem, alternative energy resources are considered seriously. Olive oil production waste, pirina, is a good example of biomass in Mediterranean countries because of its high availability. In this study, fuel characteristics of pirina were determined and appropriate combustion conditions to obtain low emissions were investigated. Pirina's oil, water and solid contents vary depending on the olive oil production processes. Raw pirina should not be used directly as fuel due to its high moisture and oil content. Therefore, the usage of de-oiled pirina as a fuel was investigated. Pirina has high volatile matter content. Gasification of volatile matters at low temperatures and their release through stack without complete combustion is an important negative factor for pirina combustion.

Combustion tests were conducted using a laboratory scale boiler (70 kW). The biggest problem encountered during the experiments of this study was the exact adjustment of air to

fuel ratio.As a result of the experiments to achieve low CO emissions, it was concluded that fuel feeding must be done automatically and continuously and the combustion system should have secondary air feeding. The furnace must be designed to increase the retention time of volatile matter at high temperatures. In line with the results obtained, it was suggested that combustion system should be improved and experiments should be continued.

Key Words: Pirina, combustion, volatile matter, CO emission.

GİRİŞ

Enerji tüketimi ve küresel boyuta ulaşmış çevre sorunları 2000’li yıllarda dünyanın karşı karşıya kaldığı problemlerin başında gelmektedir. İnsanların yaşam düzeyinin yükselmesi ile kişi başına düşen enerji ihtiyacının artması ve hızlı nüfus artışının sonucu olarak enerji talebinin artması, dünyadaki mevcut enerji kaynaklarının tükenmesine neden olmaktadır. Dünya genelinde enerji tüketiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır.

Fosil kaynakların rezervlerinin sınırlı olması ve bunların aşırı kullanılması sonucunda yakın gelecekte tükenecek olması alternatif enerji kaynakları arayışını hızlandırmıştır. Fosil yakıtların enerji üretimi için aşırı tüketilmesinin yanısıra bir diğer problem bu yakıtların yakılması sonucunda oluşan ve atmosfere verilen hava kirleticilerdir. Bu problemlerin aşılması için hem mevcut enerji kaynaklarını daha verimli olarak kullanacak yeni sistemler hem de bu kaynaklara alternatif olabilecek yeni enerji kaynakları araştırılmaktadır. Bu alternatif enerji kaynakları içerisinde de yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınmayı hedefleyen yeni dünya anlayışında amaç doğal kaynak kullanımının azaltılmasıdır. Avrupa Birliği’nin hedefi 2010 yılındaki toplam enerji tüketiminin %15’inin yenilenebilir enerji kaynakları tarafından sağlanmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları rüzgar, güneş, jeotermal, hidrolik ve biyokütle enerjisidir (Bayram, 2001). Bunların içerisinde biyokütle kullanımı tüm dünyada ön plandadır. Enerji değeri olan organik içeriği yüksek katı atıklar, tarımsal atıklar, çeşitli enerji bitkileri ve arıtma çamurlarının tek başlarına veya diğer atıklarla birlikte yakılması konusunda önemli araştırmalar yapılmaktadır (Bayram, 2001). Biyokütle alternatif bir enerji kaynağı olması yanında CO₂ emisyonlarını da azaltacaktır.

Zeytinyağı üretimi sonucunda arta kalan katı atıklar, Akdeniz ülkelerinde büyük miktarlarda üretilmekte ve önemli bir biyokütle niteliği kazanmaktadır. Pirina olarak adlandırılan bu katı atık, su, zeytinin çekirdek ve et kısmı ve zeytinyağı üretim prosesine göre farklı miktarlarda yağ içermektedir. Yapılan çalışmalarda pirinanın yakıt özellikleri incelenmiş ve Türkiye’deki linyitlere göre kül ve kükürt içeriğinin düşük olduğu ısıl değerinin ise linyite yakın olduğu görülmüştür (Topal vd, 2203).

Nisan 2003 tarihinden itibaren pirinanın yakıt olarak kullanılması yasal hale gelmiştir ancak pirinanın mevcut kazanlarda yakılmasından oluşan yüksek CO emisyonları ve yakma koşullarındaki problemler devam etmektedir. Bu çalışmada, pirinanın yakıt özellikleri belirlenmiş, pirinanın yakıldığında düşük emisyonlar elde etmek için uygun yakma sistemi tanımlanmaya çalışılmış ve elde edilen verilerin mevcut sistemlere uygulanarak pirinanın bu sistemlerde yakılması amaçlanmıştır.

LİTERATÜR

Zeytin meyvesinden zeytinyağı üretimi sırasında atık su, yağ ve katı kısmı ayrılır. Üretim sonucunda oluşan yağ, katı ve sıvı kısmın miktarı zeytinyağı üretim proseslerine göre değişmektedir (klasik sistem, 2 fazlı sistem, 3 fazlı sistem). Zeytinden yağsız pirina oluşumuna kadar uygulanan işlemler Şekil 1’de gösterilmiştir.

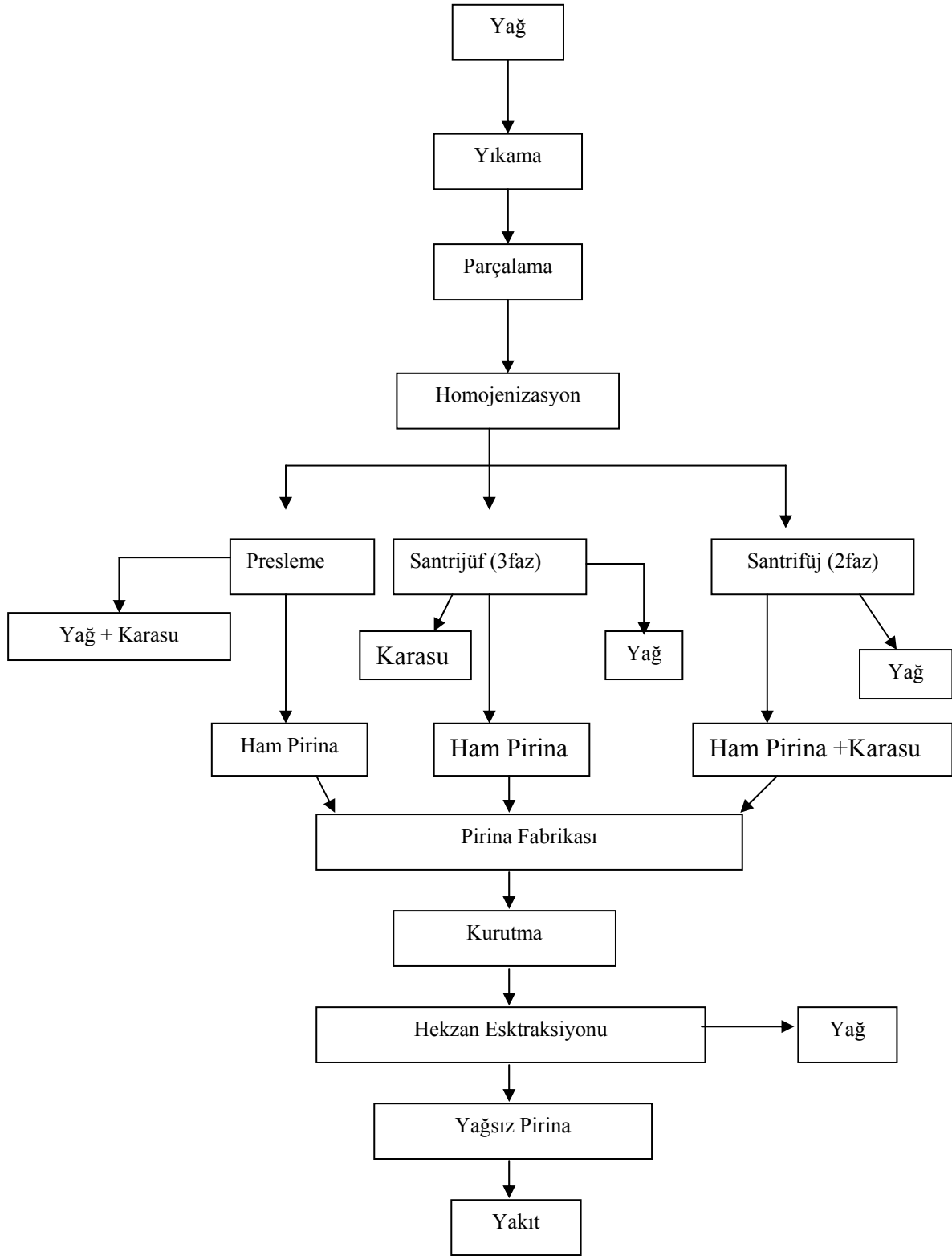
Pres sistemi ile santrifüj sistemi arasındaki fark elde edilen pirinanın su içeriğidir. Klasik sistemden elde edilen pirina daha az nem ve daha çok yağ içerir. 2 faz sistemden elde edilen pirinanın su içeriği oldukça fazladır çünkü proses zeytinyağı üretimin prosesinden pirina ve su karışık olarak çıkmaktadır. Uygulanan bu sistemlerden elde edilen pirina ortalama olarak %4-8 yağ, %20-60 su ve %40-70 zeytin çekirdeği ve eti içermektedir.

Zeytinyağı üretiminde elde edilen pirinalar genel olarak yağı alınmak üzere pirina fabrikalarına gönderilir. Fabrikaya gelen sulu pirina kurutulduktan sonra içerisindeki yağ hekzan ekstraksiyonu yöntemiyle ayrılır. Bu işlemler sonunda pirinada yaklaşık %10 nem, %1’den az yağ ve yaklaşık %90 oranında katı kısım kalır. Bu katı kısım fibroz yapıya sahip lignin ve selüloz içerir ve ısıl değere yüksektir.

Tüm dünyada yaklaşık 7,5 milyon hektarlık alanda 800 milyon zeytin ağacı bulunmaktadır. Dünyadaki zeytin üretiminin yaklaşık %95’i Akdeniz ülkelerinde sağlanmaktadır ve bu ülkelerin başında İspanya, İtalya, Yunanistan ve Türkiye gelmektedir (Galli ve Tomati, 2002). Türkiye’de zeytinyağı üretimi de var yılı yok yılına göre 40 000 ile 220 000 ton yıl⁻¹ arasında değişmektedir (Oktay vd., 2002). Yıllar arasında oluşan bu önemli farklılığın zeytinin ağaçtan toplama şeklinde, zeytin meyvesinin geç toplanmasından ve ağaçların sulanmamasından kaynaklanmaktadır.

Pirinanın yakıt özelliklerinin incelendiği çalışmalarda yaklaşık ve elementer analizleri yapılmıştır, elde edilen değerler Tablo 1’de verilmiştir. Yaklaşık analizlerden görüldüğü gibi pirinanın uçucu madde içeriği oldukça yüksektir. Uçucu maddeler, düşük sıcaklıkta gazlaşabilmekte ve tam yanmanın sağlanamaması durumunda eksik yanma ürünleri olarak baca gazına karışmaktadır. Pirinanın bu özelliğinden dolayı mevcut klasik yakma sistemlerinde yakılması sonucunda yüksek CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonları oluşmaktadır.

Uçucu maddelerin yanma sırasındaki davranışlarını görebilmek için TG (Termogravimetrik) analizleri yapılarak, sıcaklıkla kütle kaybı değişimi incelenmiştir (Şekil 2). Şekilde görüldüğü gibi başlangıçtaki kütle kaybı nem oranından kaynaklanmaktadır. En büyük orandaki kütle kaybı 200-300°C arasında gerçekleşmekte olup %40’ı aşmaktadır. Bu da pirinanın içerdiği uçucu maddelerin düşük sıcaklıklarda yanabileceğini göstermektedir.



Şekil 1. Zeytinyağı ve yağsız pirina üretim prosesi

Tablo 1. Değişik çalışmalardan elde edilen pirinanın yaklaşık ve elementer analizleri

	Parametre	Pirina Numuneleri						
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Yaklaşık Analiz	Nem %	59	6.53	21.50	66.4	7.5	9.1-0.1	8.5
	Kül % ^(h)	4.88	9.01	3.90	5.8	5.0		4.87
	Uçucu Madde% ^(h)	80	68.82		74.5	67.5		81.81
	Sabit Karbon% ^(h)	15.12	15.64		19.7			13.32
	Üst Isıl Değer (MJ/kg) ^(h)	22	19.81	20.598		21.4	17.5	
Elementer Analiz	C %	32.44	46.80	44.30	52.2	39	38-44	48.10
	H %	6.59	6.07	5.85	6.7	4.8	5-5.9	6.21
	O %	55.36	36.69	49.85	34		27-33	44.91
	N %	0.73	0.68	0.00	1.1	1.5		0.66
	S %	0	0.12		0.1			0.12

^(a)Cliffe & Patumsawad (2001), ^(b)Topal (2003), ^(c)Zabaniotou vd. (2000),

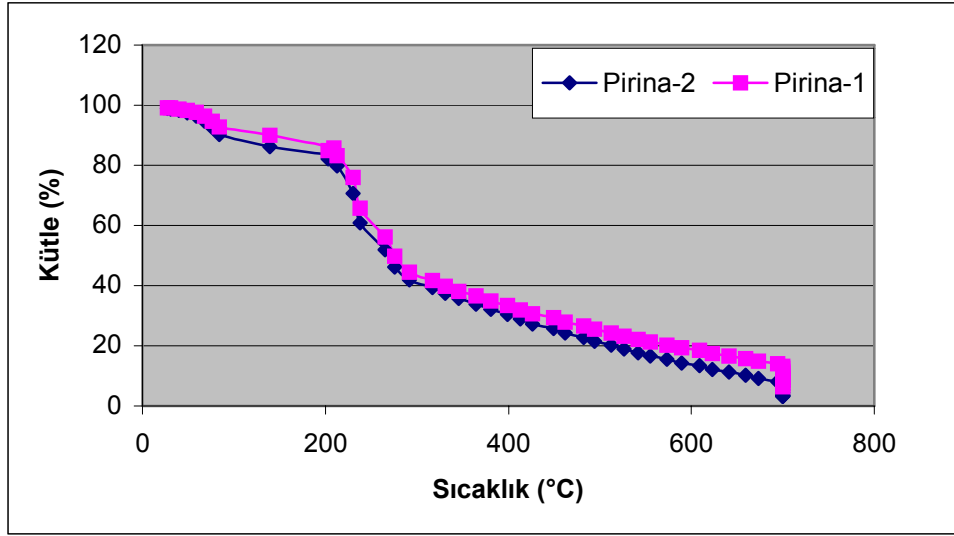
^(d)Armesto v.d. (2003), ^(e)Yaman v.d. (2000), ^(f)Masghouni & Hassairi (2000),

^(g)Antakyalı (1998), ^(h)kuru bazda

Pirinanın yakıt olarak kullanılabilmesiyle ilgili yapılan çalışmalar sonucunda Çevre Bakanlığı tarafından 2003 yılı Nisan ayında yayınlanan bir deklerasyonla pirinanın yakıt olarak kullanılabilmesi belirtilmiş ve pirina yakacak kazanların özellikleri ve uyulması gereken emisyon sınır değerleri verilmiştir. Bu emisyon sınır değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Alınan kararlarda pirinanın yakılması sonucunda bu sınır değerlere ulaşılabilmesi için otomatik yakıt ve ikincil hava beslemesinin, hava yakıt oranını ayarlamalı kazanların kullanılması; yakıt olarak kullanılacak pirinanın %20 nem ve %2,5 yağ (kuru bazda) içermesi gerektiği belirtilmiştir.

Pirinanın enerji kaynağı olarak kullanımını konusunda dünya genelinde pek çok çalışma yapılmıştır. Bu araştırmaların çoğunda yakma sistemi olarak akışkan yatak tercih edilmiş, tek başına pirinanın veya değişik oranlardaki pirina/kömür karışımlarının yanma performansları incelenmiştir.

Armesto ve diğerleri (2003), yüksek nem içeren ham pirina ile kömürün değişik oranlarda karışımının akışkan yatak yakma sisteminde yakılmasını incelemiştir. Denemelerde, yakıttaki pirina miktarının artmasının, yanma verimine önemli bir etkisinin olmadığı ancak SO₂ emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca, karışımdaki pirina oranı arttıkça yakıt kaynaklı NO_x oluşumunun azaldığını tespit etmiş, kullanılan yakıtların azot içeriklerinin yakın olmasına karşılık NO_x miktarındaki düşüşün pirinadaki uçucu madde ile ilişkili olduğunu söylemiştir (Armesto vd., 2003).



Şekil 2. İki yağsız pirina örneğinin TG analizi (Bayram ve Dumanoğlu, 2002)

Cliffe ve Patumsawad (2001), akışkan yatakta yaptığı denemelerde yanma verimi ve bacagazı emisyonlarını incelemişlerdir. Pirinanın kömür ile birlikte yakılmasını kömürün tek başına yakılmasıyla karşılaştırmışlar; sadece kömür yakılması durumundaki yanma veriminin, %10 ve %20 pirina oranındaki karışıma göre daha yüksek olduğunu ancak hava fazlalığının artırılması ile aradaki farkın azaldığını belirtmişlerdir. Ancak hava debisinin fazla artırılmasının yanma bölgesindeki sıcaklığı azaltması nedeniyle belli bir değerin üzerinde olumsuz etkiler yarattığı gözlenmiştir. Denemelerde elde edilen CO emisyonları 100 ile 350 ppm (%6 O₂'ye göre) arasında değişmiştir. %20 oranında pirinanın bulunduğu durumda pirinanın nem miktarı nedeniyle CO emisyonlarının arttığı gözlenmiştir. %20'den fazla pirina eklenmesi durumunda da sıcaklığın düştüğü ve yanmanın sürekli olmadığı görülmüştür (Cliffe ve Patumsawad, 2001).

Tablo 2. Pirina emisyon sınır değerleri (mg Nm⁻³, % 6 O₂' ye göre düzeltilmiş)

Isıl kapasite	CO	NO _x	SO ₂	PM	HCl	HF	TOC
	mg Nm ⁻³						
0.5–15 MW	460	-	200	375	-	-	-
15–50 MW	460	-	200	375	200	30	30
>50MW	460	400	200	280	200	30	30

Topal ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise pirinanın dolaşımli akışkan yatak sisteminde yakılması incelenmiş, değişik hava fazlalık katsayılarına göre yanma verimleri ve emisyonlar belirlenmiştir. Denemeler sonucunda, en yüksek yanma verimi (% 98,7) hava fazlalık katsayısının 1,35 olması durumunda bulunmuş ve CO emisyonu da 121 mg Nm⁻³ olarak ölçülmüştür. Hava yakıt oranının yüksek olduğu durumlarda tam yanmanın

sağlanamadığı, yanma bölgesinde bekleme süresinin azalması nedeniyle CO ve hidrokarbon (HC) emisyonlarının arttığı gözlenmiştir(Topal vd., 2003).

Zuberbühler ve arkadaşları (200) tarafından Almanya'da yapılan çalışmada kullanılan yakma sistemi iki bölmeli olarak dizayn edilmiştir. Birinci bölmede pirinadaki uçucu maddelerin tamamen gazlaştırılması sağlanmış ikinci bölmede ise verilen ikinci hava ile turbülans oluşturulmuş ve gazlaşan uçucu maddelerin tam olarak yanması sağlanmıştır. Yakıt hava oranı, birincil ve ikincil hava beslemelerini stabil hale getirilmesiyle CO emisyonlarında $50\text{mg}/\text{m}^3$, HC emisyonlarında $20\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 'ün altında değerler elde edilmiştir (Zuberbühler, 2000).

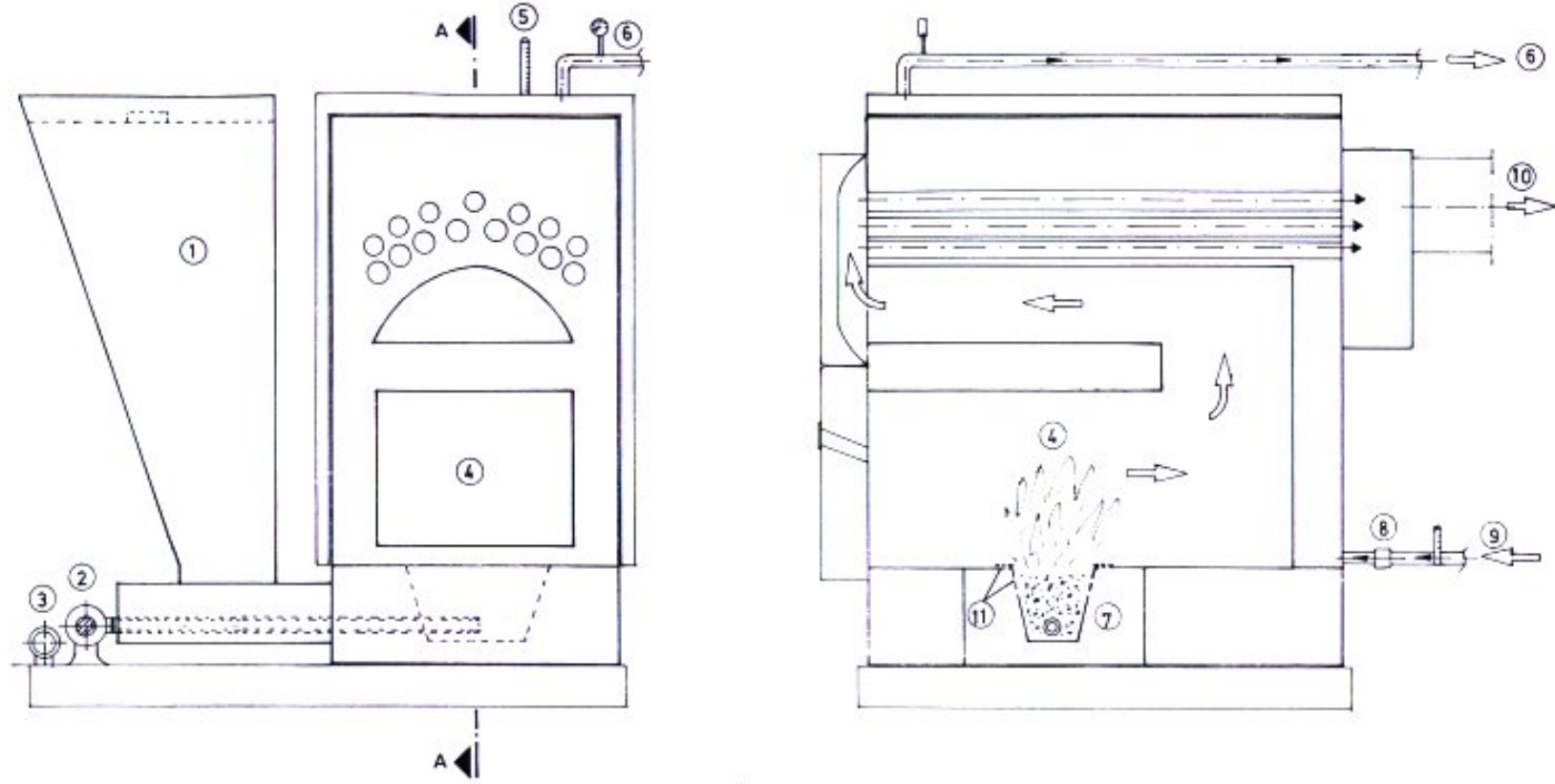
MATERYAL VE METOD

Pirinin yakıt özelliklerinin belirlenmesi amacıyla değişik zeytiyağı proseslerinde oluşan ham pirinaların ve bunlardan üretilen yağsız pirinaların üst ısı değerleri belirlenmiş ve yaklaşık analizleri yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yakma denemelerinde yakıt olarak yağsız pirinalar kullanılmıştır. Bu pirinalar, İzmir'deki bir pirina fabrikasından temin edilmiştir.

Yakma denemelerinde ise Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde kurulan stokerli ve sonsuz vidalı yakıt besleme sistemine sahip alev duman borulu, ısı kapasitesi 70 kW olan bir sıcak su kazanı kullanılmıştır. Kazanın şematik gösterimi Şekil 3'de verilmiştir. Yakma sisteminin elemanları Şekil 3'de gösterilen numaralara göre aşağıda verilmektedir:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1) Bunker | 7) Stoker |
| 2) Sonsuz vidalı besleme sistemi | 8) Sayaç |
| 3) Yanma havası fanı | 9) Soğuk su girişi |
| 4) Yanma bölgesi | 10) Baca |
| 5) Termometre | 11) Yanma havası delikleri |
| 6) Sıcak su çıkışı | |



Şekil 3. Yanma denemelerinin yapıldığı kazanın şematik görünümü

Yakma denemelerinde hava yakıt oranları ve yakıt besleme oranları değiştirilerek uygun yanma koşulları ve düşük emisyonlar elde edilmeye çalışılmıştır. Yanma denemeleri süresinde baca gazı analizi Testo 350-454 cihazı ile yapılmıştır. Bu cihazda, baca gazındaki O₂ miktarı ile CO, SO₂, ve NO_x emisyonları elektrokimyasal sensörlerle doğrudan ölçülmekte, hava fazlalık katsayısı ve yanma verimi ise hesaplama ile bulunmaktadır.

SONUÇLAR

Pirinanın yakıt özelliklerini belirlemek için ham ve yağı alınmış pirina numunelerinin yaklaşık analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Table 3. Ham (yağlı) pirina ve yağsız pirinaların analiz sonuçları.

Parametreler	Ham Pirina		Yağsız Pirina	
	Aralık	Ortalama±ss ^(a)	Aralık	Ortalama±ss ^(a)
Nem(%)	25,8-63,3	43,43±20,81	6,3-16,7	10,62±4,46
Kül(%)	2,5-3,1	2,8±0,26	2,7-7,1	4,69±1,91
Uçucu Madde (%)	67,9-70,6	69,2±1,22	57,5-68,2	65,55±5,39
Sabit Karbon (%)	25,8-28,7	27,49±1,24	22,1-28,6	24,92±2,80
Üst Isıl Değer (kJ/kg)	18225-20143	19494±923,44	19196-19860	19457,5±310,38

^(a)Standart sapma

Tablo 3’de verilen değerler incelendiğinde, ham pirinalarla yağsız pirinalar arasındaki en büyük farklılık nem oranlarıdır. Zeytinyağı üretim prosesine bağlı olarak ham pirinaların nem oranları oldukça değişken ve yüksektir. Pirinanın içerdiği yağ ekonomik değere sahip olup, geri kazanılarak başka sektörlerde kullanılabilir özelliğindedir. Yağ alma işlemi öncesinde pirinalar kurutulduğu için yağsız pirinaların nem oranı oldukça düşüktür. Yağlı ve yağsız pirinaların kuru bazdaki kül, uçucu madde, sabit karbon ve üst ısıl değerleri incelendiğinde büyük bir farklılık görünmemektedir. Sadece, yağlı (ham) pirinaların ısıl değerleri daha geniş bir aralıkla değişmiştir. Bu değişkenlik, pirinanın yağ oranına bağlıdır.

Yakıt beslemesinde kullanılan sistemin kapasitesi 40gr/saniye’dir. Sürekli yakıt beslenmesi durumunda kazan kapasitesinin üzerine çıkacağı için yakıt beslemesi kesikli olarak yapılmıştır. Yanma sırasında 1 ile 3 sn arasında yakıt beslenmiş 30 ile 60sn arasında yakıt besleme durdurulmuştur. Gerekli hava miktarı ise beslenen yakıt miktarına göre belirlenmiştir.

Pirinan elementer analizi göre yanma için gerekli stokiometrik oksijen ihtiyacı 4,15– 4,5 Nm³ kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Uygun hava fazlalık katsayısının (λ) belirlenmesi için λ ile CO emisyonlarını değişimi incelenmiş ve düşük CO emisyonlarının 2,0 ile 2,2 arasında değişen hava fazlalık katsayılarında elde edildiği görülmüştür.

Farklı yakıt besleme hızlarında yapılan yakma denemelerinde, hava fazlalık katsayısı $\lambda=2-2,2$ arasında kalacak şekilde yanma havası verilmiştir. Denemeler süresince baca gazı analiz cihazı ile sürekli ölçüm yapılarak, emisyonlar ve hava fazlalık katsayıları belirlenmiştir. Kazana verilen yanma havası debisi sabit olduğu halde yakıtın kesikli beslenmesi nedeniyle baca gazındaki oksijen miktarının ve buna bağlı olarak hava fazlalık katsayısının değiştiği görülmüştür. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak CO emisyonları da oldukça geniş bir aralıkta değişmiştir. Yanma koşullarındaki değişiklik nedeniyle yanma bölgesindeki sıcaklıklarda da farklılık olduğu için NO_x emisyonları da buna bağlı olarak değişmiştir.

Yakıt beslemesinin ortalama olarak $7,5 \text{ kg s}^{-1}$ olduğu bir denemede elde edilen sonuçlar Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 4’de baca gazındaki oksijen miktarı ile CO emisyonu değişimi, Şekil 5’de ise baca gazı sıcaklığı ile NO_x emisyonu değişimi verilmiştir (emisyonlar %6 oksijene göre düzeltilmiş değerlerdir). Bu şekillerde de görüldüğü gibi iki saati aşan deneme süresince ölçülen değerlerdeki salınımlar, kazanda kararlı halde bir yanmanın sağlanamadığını göstermektedir. Yapılan bu denemede, baca gazındaki O_2 , CO emisyonu, NO_x emisyonu ve baca gazı sıcaklığı sırası ile %10,7-16,7, 501-3732 mg Nm^{-3} , 210-736 mg Nm^{-3} ve 143-218°C arasında değişmiştir. Ortalama değerler ise O_2 , CO emisyonu, NO_x emisyonu ve baca gazı sıcaklığı için sırasıyla %12,7, 1451 mg Nm^{-3} , 551 mg Nm^{-3} ve 190°C’dir.

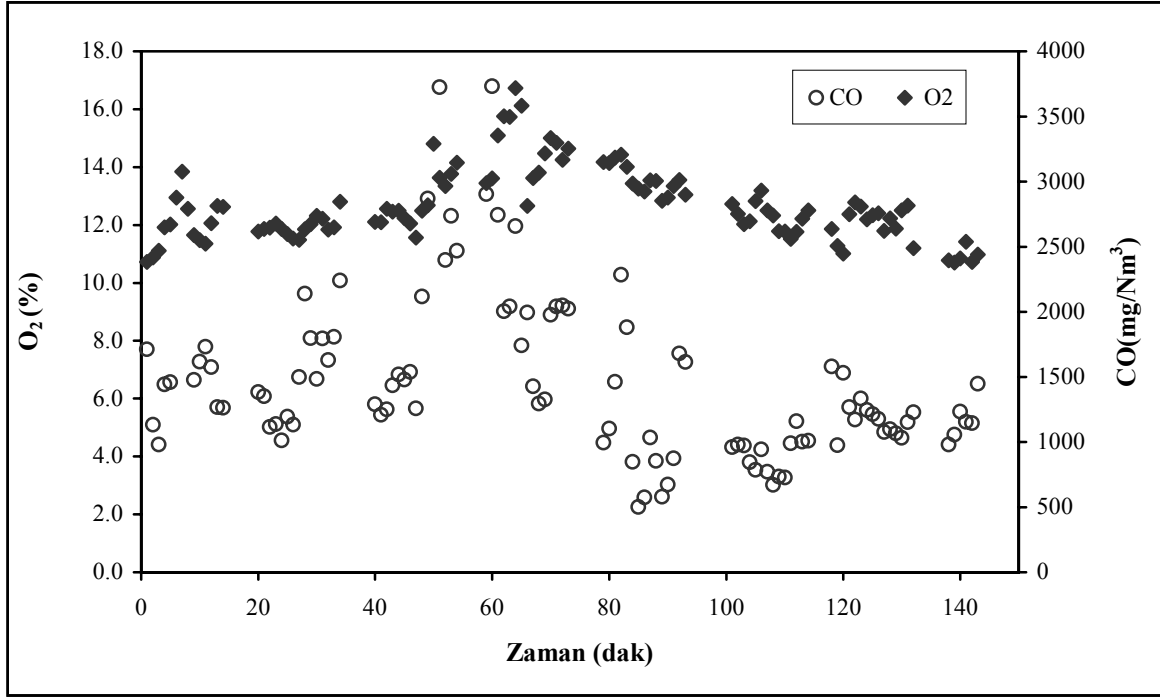
Grafiklerdeki 50. dakikadan sonraki ani CO emisyonu artışının nedeni kazana normal periyodun dışında fazladan yakıt beslenmesi ve buna bağlı olarak hava debisinin arttırılmasıdır. Bu müdahale nedeniyle CO emisyonları yaklaşık 10 dakika süreyle çok yüksek seviyelere çıkmış daha sonra azalmaya başlamıştır. Yakıt hava oranının ayarlanması ile CO emisyonları azalarak 502-1448 mg Nm^{-3} aralığında kalmıştır.

Daha yüksek yakıt besleme debisi ile yapılan yakma denemelerinde daha düzenli bir yanma rejimi elde edilse de CO emisyonlarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

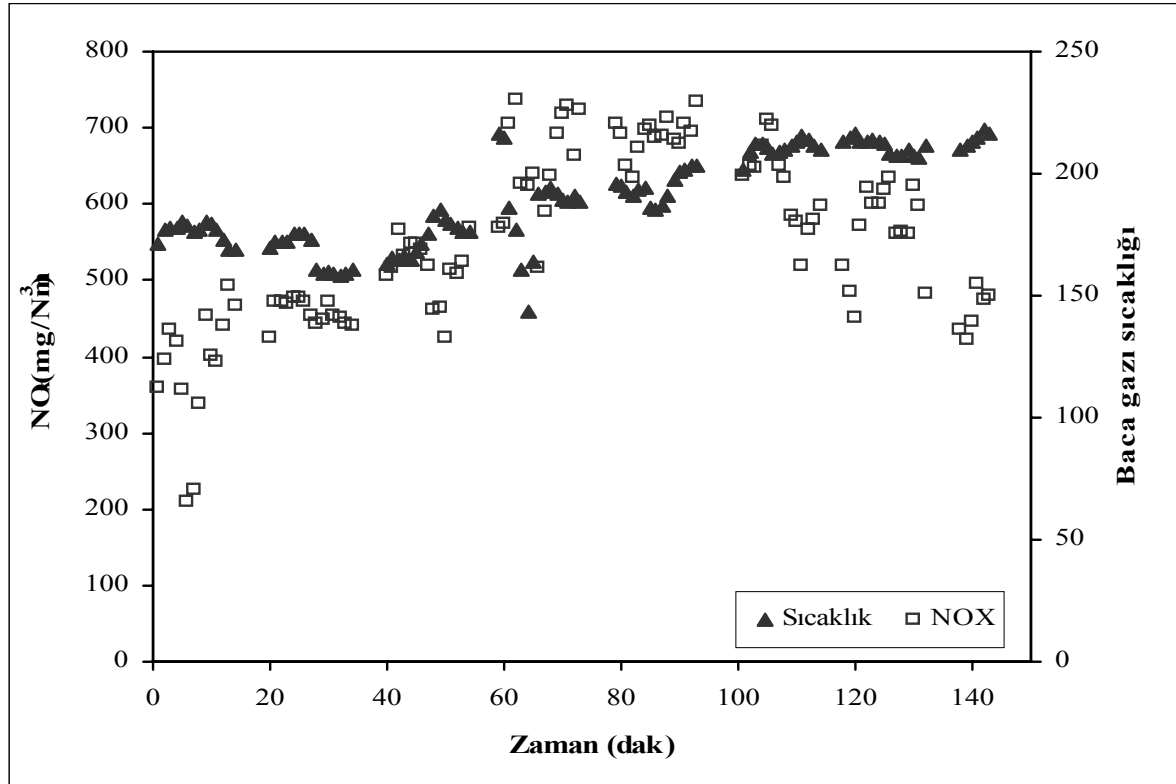
TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan değişik yakma denemelerinde CO emisyonlarının, pirina yakacak kazanlar için verilen emisyon sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Yine de bu değerler pirina yakan sanayi kazanlarında ölçülen değerlerin çok altındadır.

CO emisyonlarının sınır değerlerin üzerinde ve yüksek salınımlara sahip olmasının nedeni kullanılan test kazanının özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Kazandaki en önemli olumsuzluk, yakıtın kesikli beslenmesi ve kazana yanma havası verilmiş sistemden kaynaklanan yanma sırasında hava yakıt oranının tam olarak ayarlanamamasıdır. Kazan içindeki stokerin yan yüzeylerinde bulunan hava delikleri birincil hava, çevresindeki hava delikleri ikincil hava olarak dizayn edilmiştir ve bu noktalara hava tek bir fandan sağlanmaktadır. Bu deliklerden gelen hava miktarı haznede bulunan pirina miktarına göre değişmektedir. Hazne tamamen yakıt ile dolu olduğu zaman alev sadece dış alandaki hava deliklerinin olduğu bölgede görülmekte orta bölümde ise aşırı gazlaşma oluşmaktadır. Bu iç bölgede yeterli oksijen olmaması ve hava-yakıt karışımının yetersizliği nedeniyle gazlaşan uçucu maddeler yanmayı tamamlayamadan baca gazlarına karışmaktadır. Stokerdeki yakıt yüksekliği azaldığında ise havanın büyük kısmı üst bölgedeki deliklerden çıkmakta, buna bağlı olarak yanma hızı düşmektedir. Bu durumda yanma bölgesindeki sıcaklık düşerek 650 ile 800°C arasında değişmektedir.



Şekil 4. Yanma denemesi süresince elde edilen O₂ ve CO değişimleri



Şekil 5. Yanma denemeleri süresince değişen sıcaklık ve NO_x değişimleri

Yağsız pirina, yerli linyitlerimize yakın ısı değere sahip olması, kül ve kükürt içeriğinin düşük olması nedeniyle alternatif bir enerji niteliğindedir. Ancak uçucu madde içeriğinin yüksek olması nedeniyle uygun yakma koşullarında yakılmaması durumunda yüksek CO emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum hava kirliliği probleminin yanısıra yakıtın sahip olduğu enerjiden tam olarak yararlanılmadığından yakıtın verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada pirinanın düşük emisyonlarla yakılabilmesi için uygun yanma koşullarının belirlenmesi amaçlanmış, sınır değerleri sağlayacak CO emisyonu seviyelerine ulaşılmasa da bunun nedenleri saptanmıştır. Emisyon sınır değerlerine ulaşabilmek için kazanda yakıt beslemesi otomatik ve sürekli yapılmalı, mutlaka ikincil yanma havası beslemesi yapılmalıdır. Kazan, yanma sırasında oluşan uçucu maddelerin sıcaklığın yüksek olduğu bölgede yeterli sürede kalabilecek şekilde dizayn edilmelidir. Birincil ve ikincil hava farklı fanlardan sağlanmalıdır. İkincil hava beslemesi, yanma havasının gazlaşan uçucu maddeler ile tam olarak karışımı arttıracak bir bölgeye uygulanmalı ve yanma bölgesinin soğumasına neden olmamalıdır.

Pirinanın yakıt olarak kullanımı konusundaki çalışmalarımız, bu çalışmada belirlenen olumsuzlukların giderileceği bir yakma sistemi oluşturularak pirina için verilen emisyon sınır değerlerinin altında yanma sağlayıncaya kadar sürecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ege Bölgesi Sanayi Odası'nın önderliğinde ve firmaların maddi destekleri ile oluşturulan bir "üniversite-sanayi işbirliği" projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olup, Ege Bölgesi Sanayi Odası ile destek sağlayan firmalara teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Antakyalı, Ö.D., Pirinanın Yakıt Olarak Kullanımının İncelenmesi, Diploma Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1998.

Armesto, L., Bahillo, A., Cabanillas, A., Veijonen, K., Otero, J., Plumed, Salvador, L. Co-Combustion of Coal and Olive Oil Industry Residues in Fluidised Bed, *Fuel*, 82, 993-1000, 2003.

Bayram, A., Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olarak Pirina: Üretimi, Özellikleri, Değerlendirilmesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 2001.

Bayram, A., Dumanoglu, Y., Pirinanın Yakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirmesi, . 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Çalıştayı ed. N. Azbar ,N. Vardar, M. Akın ,I. Cevilan, 279-287, Balıkesir, Turkey, 2002.

Cliffe, K.R., Patumsawad, S. Co-combustion of waste from olive oil production with coal in a fluidized bed, *Waste Management*, 21, 49-53, 2001.

Galli, E., Tomati, U. A Common Policy To Face The Problem Of Olive Oil Mill Wastes. 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Çalıştayı ed. N. Azbar ,N. Vardar,M. Akın ,I. Cevilan, 121-130,Balıkesir, Turkey, 2002.

Masghouni, M., Hassairi, M. Energy Application of Olive Oil Industry by- product: I. The Exhaust Foot Cake, *Biomass and Bioenergy*, 18, 257-262, 2000.

Oktaç, Z., Akdeniz, C.R., Hepbaşlı, A. Pirina Üretimindeki Durumu ve Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirme Olanakları 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Çalıştayı ed. N. Azbar, N. Vardar, M. Akın, I. Cevilan, 223-235, Balıkesir, Turkey, 2002.

Topal, H., Atımtay, A., Durmaz, A. Olive Cake Combustion in a Circulating Fluidized Bed. *Fuel*, 82, 1049-1056, 2003.

Yaman, S., Şahan, M., Haykiri-açma, H., Şeşen, K., Küçükbayrak, S. Production of Fuel Briquettes from Olive Refuse and Paper Mill Waste, *Fuel Processing Technology*, 68, 23-31, 2000.

Zabaniotou, A.A., Kalogiannis, G., Kappas, E., Karabelas, A.J. Olive Residue (cuttings and kernels) Rapid Pyrolysis Product Yields and Kinetics. *Biomass and Bioenergy*, 18, 411-420, 2000.

Zuberbühler, U., Berger, R., Baumbach, G., Hein, K.R.G., Bayram, A. Combustion Performance with Residues of Olive Oil Production in Three Different Firing Systems for Decentral Process Heat Generation. V8, 48, Proceedings of the 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 2000.