

## PİRİNA YAKILMASI NETİCESİNDE OLUŞAN BACA GAZI EMİSYONLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nedim VARDAR<sup>1</sup> Nadir İLTEN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Böl. Çarış-BALIKESİR

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak., Makina Müh.Böl. Çarış-BALIKESİR

### ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan pirina, gerek ısı değeri gerekse uygun yakıcılarda yakılması durumunda diğey yakıtların birçoğuna göre daha düşük seviyede kirletici emisyonları oluşturması nedeniyle tercih edilmesi gereken bir yakıttır. Bilhassa zeytinyağı üretiminin yapıldığı bölgelerde fiyatının diğey yakıtlara göre ucuz olması nedeniyle pirina yakıt olarak seçilmekte, ancak uygun olmayan yakıcılarda yakılmaktadır. Bunun sonucu olarak tam yanma gerçekleşmemekte, CO ve hidrokarbon gibi eksik yanma ürünleri diğey yakıtlara göre daha yüksek emisyon değerylerinde oluşmaktadır. Bu eksik yanma enerji kaybı ile insan ve çevre sağlığında olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemiz genelinde pirina üretiminin yaklaşık %12-25 'ine sahip Balıkesir ilindeki pirinanın yakıldığı tesislerde oluşan baca gazı emisyonları ölçülmüş ve baca gazındaki oksijene göre emisyonlar değerylendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Pirina, Enerji, Emisyonlar, Uçucu madde, Eksik yanma

### ABSTRACT

Olive cake that is one of the renewable energy sources should be preferred as a fuel both because of its calorific value and low pollutant emissions when it is burned in a proper combustor. Since its price is cheaper than other fuels it is widely used as a fuel with conventional combustor especially in the olive oil production regions. Burning the olive cake in a combustor designed for coal or fuel oil combustion contributes excess amount of CO and hydrocarbons due to incomplete combustion. The consequences of this are energy loss and adverse effects in human health and environment.

In this study, stack emissions from olive cake burned industrial combustors are measured in Balıkesir, which is a city with 12-25% of national olive cake production. Results are evaluated based on O<sub>2</sub> concentrations in the flue gas emissions.

### GİRİŞ

Ülkelerin kalkınmasında ve insanların sağlıklı yaşamasında; enerji üretimi ve tüketimi çok önemli bir yere sahiptir. Sürdürülebilir enerjinin temel ilkeleri:

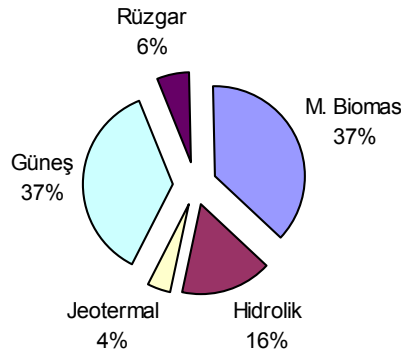
- Enerjinin verimli kullanılması ve enerji tasarrufunun sağlanması,
- Enerji üretimi ve kullanımı sonucunda oluşan çevre kirliliğı ve diğey olumsuzlukların giderilmesi,
- Çevreyi kirletmeyen çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması,

\* nilten@balikesir.edu.tr

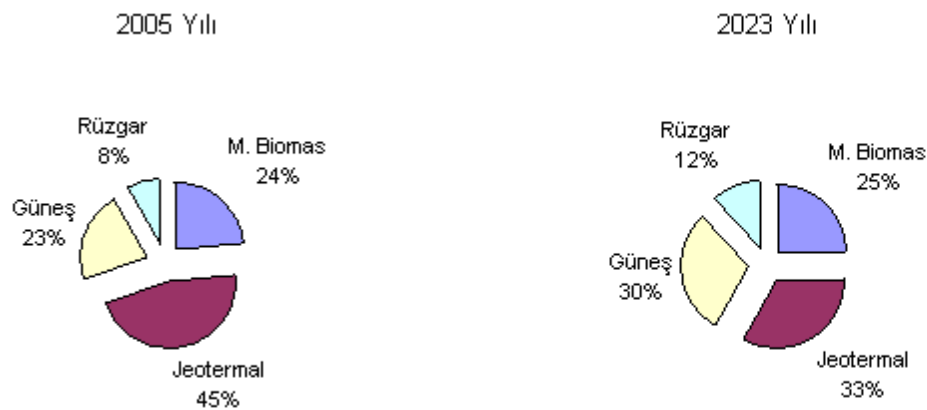
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin teknolojilerin geliştirilerek, bu kaynakların kullanımının yaygın duruma getirilmesi, olarak sıralanabilir [Oral 2003].

Yapılan araştırmalarda; günümüzde enerji tüketiminin yaklaşık %90'ını karşılayan fosil yakıtların en fazla 100 yıl ömrü kaldığı sanılmaktadır. Bu durum alternatif enerji kaynaklarının araştırılması gereğini ortaya çıkarmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarından, hidrojen enerjisinin henüz araştırma seviyesinde olması, nükleer enerjinin çevre problemi nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır.

Türkiye'de, yenilenebilir enerji kaynakları olarak; biyomas enerji, hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve deniz-dalga enerjisi potansiyel olarak bulunmaktadır. Deniz-dalga enerjisi üzerinde hiç durulmamakta, rüzgar enerjisinin kullanımı yeni yeni başlamakta, diğerlerinden ise potansiyellerine göre çok az yararlanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam ekonomik ve kullanılabilir potansiyelleri 68000 Btep/yıl düzeyinde olup Şekil-1'de gösterilmiştir [TUSİAD Raporu, 1998].



Şekil-1 Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilir/ekonomik potansiyellerinin kaynak bazında dağılımı



Şekil-2 Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim payları [TUSİAD Raporu, 1998]

Türkiye, önemli biomas kaynaklarından olan ve zeytinyağı üretiminden oluşan pirina açısından oldukça zengindir. Yıllık ortalama 669300 ton zeytin, zeytinyağı üretiminde kullanılmakta ve işlem sonucunda yıllık ortalama 267720 ton pirina (yaş) oluşmaktadır [İlten vd, 2000]. Türkiye genelinde 1993-2001 yılları arasında, üretilen pirina miktarı 75000-364000 ton/yıl olarak belirlenmiştir [Hepbaşlı vd, 2003]. Balıkesir bölgesi ise yıllık ortalama 61320 ton pirina ile önemli bir yer tutmaktadır [İlten vd, 2000]. Balıkesir’de 2001 yılında satılmış pirina miktarı yaklaşık 80000 ton civarındadır [İlten ve Vardar, 2002].

Pirinanın kömür ve fuel oil yakılması için üretilmiş kazanlarda yakılması sonucu özellikle karbon monoksit emisyonu yüksek değerlerde çıkmaktadır. Pirinanın bileşiminde bulunan yüksek orandaki uçucu maddeler 250-300<sup>0</sup>C sıcaklıklarda gazlaştığından, yakma tesislerinde bu gaz ürünleri yakabilecek şekilde uygun hava/yakıt karışımı sağlanmalıdır [Bayram vd, 2002]. Böylece düşük CO emisyonuna ulaşılabilir.

Pirinanın elek analizleri sonucunda, tane iriliğinin 1-4.76 mm arasında değiştiği [Bayram, 2001], bu nedenle ızgaralı yakma sistemlerinde briketleme ve benzeri işlemler yapılmadan yakılmalarının mümkün olmayacağı açıktır.

Literatürde; akışkan yataklı yakma sistemlerinin pirinayı yakmak için oldukça uygun olduğu belirtilmiştir. Pirina, pirina dizel yakıt karışımı ve pirina kömür karışımlarının akışkan yataklarda yakılması sonucunda, kirletici emisyonlar (özellikle CO) ve yanma verimleri bakımından oldukça uygun sonuçların elde edildiği çalışmalar bulunmaktadır [Topal vd, 2002; Abu-Quadis, 1996; Kharaiska vd, 1999].

Çevre Bakanlığının, pirinanın yakıt olarak kullanılması ile ilgili çalışmaları bulunmaktadır. En son, Çevre Bakanlığı Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü’nün 2003/4 Genelgesinde; pirinayı yakıt olarak kullanan tesislerin uyması gereken kriterler belirlenerek baca gazında ölçülen kirletici emisyonlar için aşağıda Tablo-1’de verilen sınırlamalar getirilmiştir (Değerler baca gazında %6 hacimsel oksijen ile 0<sup>0</sup>C ve 1 atmosfer basınca karşılık gelen normal şartlar ve kuru baz dikkate alınarak).

Tablo-1 Pirina yakan tesisler için kirletici parametre sınır değerleri [Gemici,2002]

Kirletici Parametreler Tesis Gücü	CO mgNm <sup>-3</sup>	NO <sub>x</sub> mgNm <sup>-3</sup>	SO <sub>x</sub> mgNm <sup>-3</sup>	HCl mgNm <sup>-3</sup>	HF mgNm <sup>-3</sup>	PM mgNm <sup>-3</sup>	TOC mgNm <sup>-3</sup>
500 KW-!5 MW	460	-	200	-	-	375	-
15 MW-50 MW	460	-	200	200	30	375	30
>50 MW	460	400	200	200	30	280	30

Bu çalışmada, Balıkesir’de pirina yakan bazı tesislerde baca gazı ölçümleri yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE METOD

**Ölçüm Şartları ve Yeri:** Balıkesir ilinde bulunan tesislerde yapılan emisyon ölçümleri, tesisin en büyük yükünde, sürekli rejimde, ve üç ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yeri için, HKKY, EK-11’de belirtilen şartlarda, hidrodinamik açıdan numune alma prensiplerine uygun olarak bacalarda numune alma ağızları açılmıştır.

**Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar:** Toz konsantrasyonlarının belirlenmesi için izokinetik şartlarda gravimetrik yöntemle göre çalışan TCR-TECORA portatif toz toplama cihazı, baca gazlarının ölçümü için MADUR GA-60 elektrokimyasal hücreli gaz analiz cihazı kullanılmıştır.

**Pirina Yakma Sistemleri:** Pirinaları helezon ile yakma hücresine otomatik olarak besleyen, yakma havasının da fanlarla sağlandığı ve yakıt ile birlikte taşındığı yakma sistemlerinin bulunduğu tesislerde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

**Pirina Analizleri:** Kükürt analizi MET-Multi LAB-CS cihazıyla ultraviyole metotla; nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon analizleri Leco TGA-601 cihazıyla; alt ısıl değer İKA Analysentechnik C5000 Control cihazıyla belirlenmiştir.

## SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Balıkesir ili, Türkiye’de zeytin ve zeytinyağı üretiminin yoğun olarak yapıldığı illerden birisidir. Türkiye zeytinyağı üretiminin yaklaşık %24’ünün sağlandığı Balıkesir ilinde toplam zeytin rekoltesinin yaklaşık % 80’ i yağ çıkarmakta kullanılmaktadır. Zeytinyağı üretimi sonucu oluşan pirina, başta bu üretimin yapıldığı tesisler olmak üzere pirina yağı fabrikaları, tavuk çiftlikleri, fırınlar, mandıralar gibi işletmelerde enerji eldesi için kullandığı tespit edilmiştir. Balıkesir’de toplam 7 adet pirina işleme tesisi mevcut iken bugün çalışabilir halde 4 adet pirina fabrikası bulunmaktadır. Bu 4 tesisten 3’ü, içeriğinde %4-6 yağ bulunan yaş pirinadan yağ çıkarma işlemini gerçekleştirmekte, diğeri ise sadece tesise gelen pirinayı kurutmaktadır.

Pirinanın fiyatının diğer yakıtlara göre çok düşük olması nedeniyle Balıkesir ilinde yakıt olarak kullanımı yaygındır. Baca gazı emisyon ölçümlerinin gerçekleştirildiği tesislerden alınan pirina örnekleri üzerinde gerçekleştirilen yaklaşık analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Pirinanın, ülkemizde yoğun bir şekilde kullanılan kömür ve fuel oil gibi diğer yakıtlara göre kükürt içeriğinin oldukça düşük olması temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kullanımında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ancak bununla birlikte Tablo.2’den de görüleceği gibi uçucu madde içeriği oldukça yüksek olduğundan eksik yanma ürünlerinin oluşmasına meydan vermeyecek uygun yakma sistemlerinde yakılması gerekmektedir. Ayrıca zeytinyağı üretimi sonucu oluşan yaş pirinanın yağı pirina tesislerinde alındıktan sonra yakıt olarak kullanılması gerekmektedir. Pirinadan enerji elde etmek amacıyla yakılmasındaki en uygun teknolojinin akışkan yataklı yakıcılar olduğu literatürde verilen çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir.

Tablo-2 Pirina ve Pirina Çamuru Analizleri

Parametre	Tesis 1	Tesis 2	Tesis 3	Pirina Çamuru
S (%)	0.1195	0.0713	0.0709	0.1345
Sabit Karbon (%)	21.55	20.51	19.61	9.85
Uçucu Madde (%)	63.52	66.91	68.37	35.89
Kül (%)	5.31	2.90	2.51	45.37
Nem (%)	9.63	9.69	9.51	8.89
Isıl Değer (kcal $kg^{-1}$ )	4005	4229	4151	1642

**Tablo 3.** Farklı Yakıtların Yakılması Sonucu Oluşan Baca Gazı Sonuçları

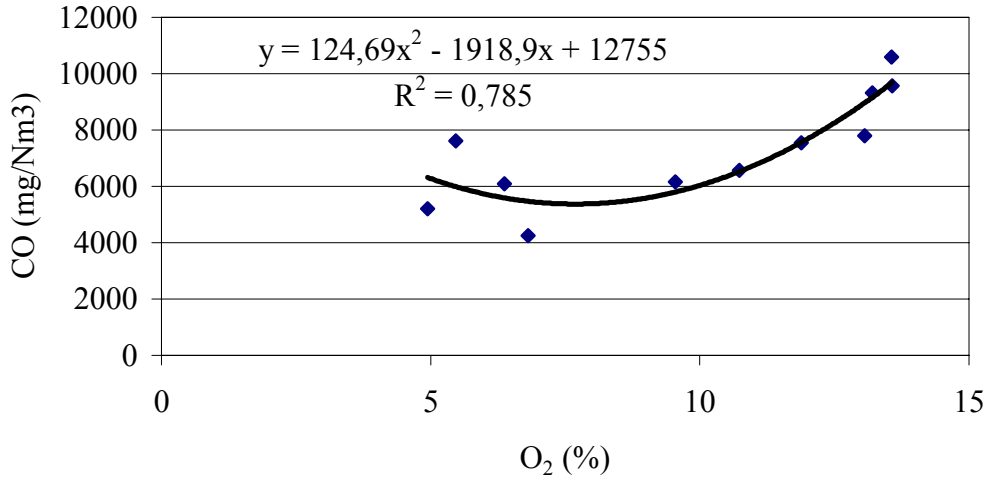
Parametre	Kömür	Fuel Oil (4 Nolu)	LPG	Pirina
CO (mgNm <sup>-3</sup> )	167-318	0-117	43-87	4257-10587
SO <sub>2</sub> (mgNm <sup>-3</sup> )	1860-2400	1515-2445	0-10	0-10
NO <sub>x</sub> (mgNm <sup>-3</sup> )	329-535	241-616	190-243	76-936
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (%)	0.09-0.11	0.07-0.12	0.01-0.07	0.14-0.31
Partikül Madde (mgNm <sup>-3</sup> )	110-409	30-310	45-55	360-610

Yakma sonucu oluşan emisyonlar büyük ölçüde yakıtın özelliklerine ( uçucu madde, kül ve nem) ve yakıcının dizayn parametrelerine (fazla hava, partikül boyutu, yanma odası) bağlıdır. Tam yanmanın olduğu bir proseste yanma ürünleri genelde CO<sub>2</sub> ve su buharı ile külden oluşmaktadır. Ancak uygulamada yanmanın tam olarak gerçekleştiği proses sayısı hemen hemen yok gibidir. Balıkesir il sınırları içinde faaliyet gösteren çeşitli tesislerde yapılan baca gazı ölçüm sonuçları Tablo 3' te özetlenmiştir. Ölçümlerin yapıldığı tesislerin tamamında ikincil hava beslemesi olmayan klasik yakma kazanları kullanılmaktadır. Bu tür kazanlarda yakıt olarak kömür ve fuel-oil kullanıldığında Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY)'nde verilen standartları aşan en önemli hava kirleticisinin yakıttaki yüksek kükürt içeriğinden dolayı SO<sub>2</sub> parametresi olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında bazı tesislerde PM konsantrasyonlarında da standartları aşan değerler elde edilmiştir. Pirinanın yakıt olarak kullanıldığı tesislerde ise uygun teknolojinin kullanılmaması nedeniyle en önemli hava kirleticisinin CO olduğu ve bunun yanında hidrokarbon (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) ve PM emisyonlarının da yüksek olduğu görülmüştür. Pirinanın içeriğinde bulunan yüksek orandaki (%60-%70) uçucu maddeler 250-300 °C sıcaklıklarda gaz fazına geçtiğinden büyük bir kısmı yanmadan bacalardan atmosfere verilmektedir.

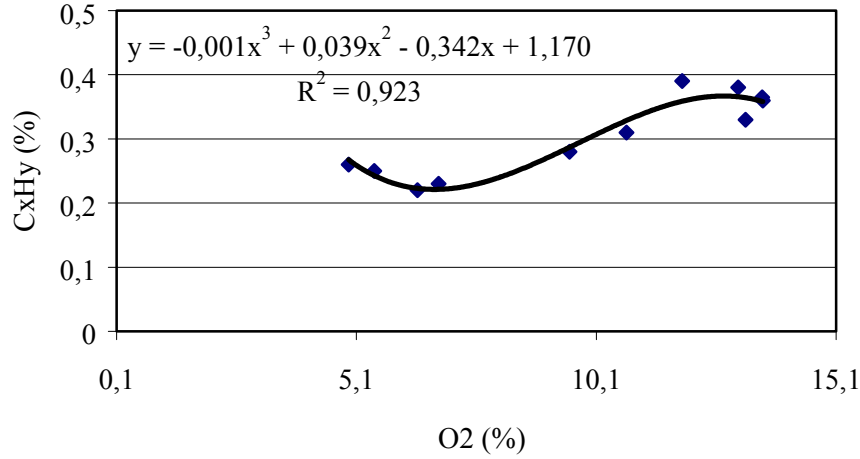
Ölçümler sırasında, bir tesisin, karasuyun arıtımında oluşan çamuru kuruttuğu, yağını çıkardığı ve pirina ile karıştırarak yaktığı tespit edilmiştir. Çamurun analizi yapıldığında, düşük kaliteli bir linyit gibi olduğu, ancak kükürt oranının düşük olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Çamurun ısıl değerinin düşük olmasına rağmen; maliyetinin düşüklüğü (sadece taşıma ve kurutma), yakılarak yok edilmesiyle çevrede oluşturabileceği zararlar minimuma indirilebilir. Yalnız, yanma sonucu oluşacak baca gazlarının organik maddeler açısından da incelenmesi gerekir. Bu nedenlerden dolayı karasu çamuru üzerinde durulması gereken bir yakıt olarak düşünülebilir.

Kömür ve fuel-oil'e göre pirinadaki kükürt içeriği neredeyse sıfıra yakındır. Bu nedenle pirinanın yakılması sonucu diğer yakıtların aksine asit yağmurlarının oluşmasına neden olan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonları ihmal edilecek derecede düşüktür. Ayrıca, fosil yakıtların yakılması atmosfere ilave karbon verilmesine neden olur. Buna karşılık pirinanın yakılmasıyla ilave karbonun eklenmesinden çok atmosferdeki karbonun döngüsü gerçekleşmiş olur. Bu nedenle fosil yakıtlar yerine pirinanın yakıt olarak kullanılması iklim değişikliğine neden olan sera gazlarının azalmasına yardımcı olur.

Ölçüm yapılan tesislerdeki baca gazı emisyonlarında ölçülen CO ve hidrokarbon konsantrasyonlarının atık gazda bulunan O<sub>2</sub> yüzdeleri ile değişimi sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Pirina Yakılan Kazanlarda CO Emisyonlarının O<sub>2</sub> Yüzdesi İle Değişimi



Şekil 4. Pirina Yakılan Kazanlarda C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> Emisyonlarının O<sub>2</sub> Yüzdesi İle Değişimi

Şekil 3 ve 4 'ten de görüleceği gibi kömür ve fuel-oil yakılması için tasarlanmış kazanlarda pirina yakılması halinde oldukça yüksek değerlerde oluşan CO ve C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> emisyonlarının baca gazındaki oksijenin düşük ve yüksek değerlerinde daha yüksek olduğu ve %6-8 arasındaki oksijen miktarında en düşük emisyonlar oluşmaktadır. Pirininin uçucu madde oranı yüksek olduğu için, akışkan yataklı yakıcılar dışında iki kademeli yakıcılarda yakılması durumunda bakanlığın genelgesinde belirtilen sınır değerlerin sağlanabileceği düşünülmektedir. Birinci kademedeki uçucu maddelerin gaz fazına geçeceği ikinci kademedeki ise bu gaz fazına geçen uçucuların yanacağı ve dolayısıyla minimum seviyede eksik yanma ürünlerinin oluşacağı beklenilmektedir. Bu beklentilerin doğrulanması için bu tip yakıcılarda araştırma yapılması gereklidir.

Sonuç olarak:

- Yaş pirininin nemi (yaklaşık %45) ve yağ içeriği (%4-12) çok yüksek olduğu için kurutularak ve yağı alındıktan sonra yakılması gerekir.
- Pirinayı yakmak için uygun yakma teknolojileri geliştirilmelidir. Akışkan yataklı kazanların pirinayı yakmak için uygun bir yakıcı olduğu çeşitli araştırmalardan

belirlenmiştir. Özellikle büyük işletmelerin, akışkan yatakta pirina yakacak şekilde teşvik edilmeleri gerekir.

- Pirininin uçucu madde oranı yüksek olduğu için, iki kademeli yakıcılarda uygun yakma gerçekleştirilebilir. İlk kademedeki uçucular gazlaştırılıp ikinci kademedeki yakılacak şekilde düzenlemeler yapılabilir.
- Pirininin, briketlenerek klasik yakıcılarda üstten yakma sağlayacak şekilde yakılmasıyla uygun sonuçlar alınabilir.
- Karasu arıtımında oluşan çamur, yakıt olarak üzerinde düşünülmesi gereken bir potansiyeldir.

### **KAYNAKLAR**

Abu-Quadis M., "Fluidized bed combustion for energy production from olive cake", Energy, v21,n3, p173-178, 1996.

Bayram A., "Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olarak Pirina: Üretimi, Özellikleri, Değerlendirilmesi", Yenilenebilir Enerji Kaynakları 2001 Sempozyumu 18-20 Ocak 2001, s 106-112, İzmir.

Bayram A., Dumanoglu Y., "Pirininin Yakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi", I. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Çalıştayı, 07-09 Haziran 2002, s.279-287, Edremit.

Gemici Z. "Pirininin Yakıt Olarak Kullanılmasının Çevreye Etkileri ve Yasal Çerçevesi", I. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Çalıştayı, 07-09 Haziran 2002, s.289-291, Edremit

Hepbaşlı A., Akdeniz R.C., Sukan F.V., Oktay Z., "Utilization of Olive Cake as a Potential Energy Source in Turkey", Energy Sources, Taylor and Francis, 25, p.405-417,2003.

İlten N., Alkan M., Demirbaş Ö., "Pirininin Yakıt Olarak Değerlendirilmesi", Yanma ve Hava Kirliliği V. Ulusal Sempozyumu, 129-21 Haziran 2000, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elazığ, s.159-167.

İlten N., Vardar N., "Balıkesir İli'nde Pirina Üretim Kapasiteleri ve Pirininin Yakıt Olarak Değerlendirilmesi", I. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Çalıştayı, 07-09 Haziran 2002, s.271-278, Edremit.

Kharaiska Y.H., Hamdan M.A., Qalalweh H.S., "Direct combustion of olive cake using fluidized bed combustor", Energy Sources v21,n4, p319-327, 1999.

Oral, G.K., "Sürdürülebilir Enerji ve Saydam Yalıtım", Yalıtım, Doğa ve Sektörel Yayın Grubu, Yıl:7, Sayı:41, s 70-75, Mart-Nisan 2003.

Topal H., Atımtay A.T., Durmaz A., "Dolaşım Akışkan Yataklarda Pirina Yakılması", I. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Çalıştayı, 07-09 Haziran 2002, s.235-246, Edremit.

TUSİAD Raporu 1998, “ 21. Yüzyıla Girenken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”, T/98-12/239.

[www.tubitak.gov.tr/btpd/btsp/platform/enerji/bolum3.html](http://www.tubitak.gov.tr/btpd/btsp/platform/enerji/bolum3.html).