



2-Fazlı Zeytin Pirinasının Değerlendirilmesinde Kurutmanın Önemi

Ulaş Baysan¹, Mehmet Koç², Figen Kaymak-Ertekin^{1*}

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova/İzmir, Türkiye

²Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 09010 Aydın, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makale

Geliş 20 Temmuz 2016

Kabul 24 Aralık 2016

Anahtar Kelimeler:

Pirina
2-fazlı ekstraksiyon sistemi
Atık değerlendirme
Kurutma
Kurutucu tipi

*Sorumlu Yazar:

E-mail: figen.ertekin@ege.edu.tr

ÖZET

Dünya genelinde insanlarda sağlıklı tüketim farkındalığının oluşmasıyla zeytinyağı talebinde artış görülmekte ve gün geçtikçe de bu talebin artacağı beklenmektedir. Zeytinyağı talebindeki artış sonucunda zeytinyağı üretimi sonrası ortaya çıkan pirinanın miktarının da artacağı öngörülmektedir. Zeytinyağı işleme tekniğindeki farklılıklar, oluşan atıkların da farklı özelliklerde ve miktarlarda ortaya çıkmasına neden olmaktadır. 3-fazlı sistemden karasu ve %35-40 nem içeriğine sahip pirina olarak iki farklı atık oluşurken, 2-fazlı sistemden atık olarak sadece %60-70 nem içeriğine sahip pirina elde edilmektedir. 3-fazlı sistemlerde oluşan atık suyun miktarı ve kirlilik özellikleri 2-fazlı ekstraksiyon sistemlerine göre oldukça yüksektir. Çevre açısından oldukça zararlı olan ve genellikle herhangi bir işlem yapılmaksızın doğaya verilen karasuyu da bünyesinde barındıran 2-fazlı pirinanın işlenerek değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu derleme, zeytinyağı üretiminin yan ürünü olan pirinanın kurutulmasının gereklilikleri ve bu konuda yapılan çalışmalar hakkında bilgi sunulmaktadır.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 5(2): 103-112, 2017

The Importance of Drying for Valorization of 2-Phase Olive Pomace

ARTICLE INFO

Review Article

Received 20 July 2016

Accepted 24 December 2016

Keywords:

Olive pomace
2-phase extraction system
Waste valorization
Drying
Type of dryer

*Corresponding Author:

E-mail: figen.ertekin@ege.edu.tr

ABSTRACT

With starting healthy consumption awareness in people throughout world, olive oil demand has increased and it is expected that this demand will increase day by day. As a result of increase in the demand for olive oil, the rise in amount of olive pomace that emerges after olive oil production is evident. The differences in olive oil production methods result in varied wastes in terms of property and quantity. Olive mill waste water and olive pomace possessing 35-40% moisture come out in 3-phase system while only olive pomace possessing 60-70% moisture comes out in 2-phase system. The quantity and pollution degree of waste water coming out in 3-phase system are considerably high from 2-phase system. Recycling of 2-phase olive pomace containing also olive mill waste water, which is highly harmful for environment and is generally discharged to nature without any treatment, is considerably important by processing. This review gives information about the necessity of drying of olive pomace and related studies with this subject.

Giriş

Anadolu'nun en eski kültür bitkilerinden *Olea Europa* L'nin meyvesi olan zeytin, *Oleacea* familyasının *Olea* cinsinin *Olea Europea* türünün *Olea Europea Sativa* alt türünü kapsamaktadır (Gümüşkesen ve Yemişçioğlu, 2004). Zeytinin yetiştirilme koşulları açısından Akdeniz iklimi en uygun iklim tarzı olması ve zeytin üretiminde Akdeniz bölge ülkelerinin sektöre hâkim olmasına rağmen, Dünya'da Akdeniz ikliminin yaşandığı Asya ve Amerika'daki coğrafyalarda (Avustralya, Şili, Arjantin ve Amerika Birleşik Devletleri, vb.) da zeytin üretimi

günden güne artış göstermektedir (Çarıkçı, 2015).

Zeytin üretimi; dünya genelinde 10 milyon hektar alanının üzerinde, ortalama 16-20 milyon ton arasında gerçekleşmekle beraber periyodisite yıllara göre değişim göstermektedir. Periyodisite biyolojik özelliği gereği zeytin ağacından her sene aynı miktarda ürün alınamaması olarak tanımlanmaktadır (Gönen, 2011). Dünya zeytin üretiminin yaklaşık %86'sı Akdeniz ülkelerinde gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde toplam zeytin üretimi 2013-2014 yıllarında 430.000 ton olarak

gerçekleşmiş olup, Akdeniz ülkeleri içerisinde İspanya'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır. Uluslararası Zeytin Konseyi'nin raporlarına göre ise 2013-2014 sezonunda dünya genelinde yaklaşık olarak 3.270.000 ton; Türkiye'de ise 190.000 ton zeytinyağı üretimi gerçekleştirilmiştir (Ulusal Zeytin ve Zeytinyağı Konseyi, 2015). Bu verilerden yola çıkarak Türkiye'de, zeytin üretimine bağlı olarak yıldan yıla değişmesine rağmen ortalama 200-250 bin ton/yıl pirina elde edildiği bilinmektedir (Demirtepe, 2008). Zeytinin hasat döneminin (Ekim-Ocak ayları arasında) kısa olması ve yağ asidi kompozisyonundaki hızlı değişimlerin engellenebilmesi için en kısa sürede zeytinyağı üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunun sonucunda kısa bir dönemde yüksek miktarda zeytinyağı atığı, yani pirina ortaya çıkmaktadır.

Dünyada sağlıklı beslenmenin öneminin anlaşılmasıyla birlikte, günümüzde zeytinyağına olan talep her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla zeytinyağı üretimi sonrası elde edilen ve genellikle atık olarak nitelendirilmesine rağmen oldukça değerli olan pirina miktarının da artacağı kesindir (Özden, 2006).

Zeytinyağı; zeytin ağacının olgun meyvelerinden hiçbir kimyasal işlem uygulanmadan mekanik yolla elde edilen, oda sıcaklığında sıvı olan, berrak, yeşilden sarıya değişen renge sahip, kendine özgü tat ve kokusu olan, doğal olarak tüketilebilen önemli bir bitkisel yağdır (Göğüş ve ark, 2009). Zeytinyağı üretimi; yıkama, öğütme, kırma ve tüm prosesin ana basamağını oluşturan ekstraksiyon olmak üzere farklı işlemler içermektedir. Kullanılan ekstraksiyon metoduna bağlı olarak oluşan atık miktarı ve kimyasal özellikleri değişmektedir (Tercan, 2009). Zeytinyağı üretiminde iki farklı yöntem uygulanmaktadır. Birincisi kesikli (geleneksel) yöntem olup, presleme esasına dayanır. İkincisi ise sürekli (modern) zeytinyağı üretim (tam otomatik sistem) yöntemi olup, yağ santrifüj tekniği ile elde edilmektedir (Azbar ve ark., 2002). Sürekli sistemde zeytinin fabrikaya gelişinden zeytinyağına dönüşmesine kadar geçen tüm işlemler hiç kesintiye uğramadan gerçekleşmektedir (Bakırloğlu, 2006).

Geleneksel yöntem çeşitli proses aşamalarından oluşmaktadır. Bu yöntemin temeli mekaniktir, işçilik maliyeti yüksektir ve daha fazla çevre kirliliğine yol açmaktadır. Zeytinler dik taş değirmenlerde ezilip hamur haline getirilip, zeytin hamuru koko ipliğinden dokunmuş torbalara konarak preslerde sıkılır. Sıkım önce kuru sonra genellikle bazı bölgelerde 2 defa sıcak su (50–60°C) kullanmak şeklinde yapılmaktadır. Ancak kullanılan sıcak su, zeytinyağında oksidasyonu arttırmakta ve yağ kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Pres sonucunda akan yağ kendiliğinden dekante edilir ya da zeytin karasuyu yağdan dikey santrifüjleme yapılarak ayrılabilir (Oktar ve ark.,1983). Zeytinden zeytinyağı elde etmede kullanılan geleneksel presleme yöntemi oldukça eski bir teknoloji olmasına rağmen, hala bazı zeytinyağı üreticileri tarafından kullanılmaktadır. Günümüzde, üretim miktarlarındaki artış ve sanayileşme ile birlikte zeytinyağı üretimi de kesikli üretim sistemlerinden sürekli üretim sistemlerine kaymaktadır. Zeytinyağı sürekli üretim sistemleri ortaya çıkan atık çeşidine göre de isimlendirilmektedir. Bu sistemler 3-fazlı ve 2-fazlı ekstraksiyon sistemleri olarak adlandırılmaktadır.

3-fazlı ekstraksiyon sistemlerinde zeytinyağı, zeytin hamurundan yağ, su ve pirinayı ayırarak ekstrakte edilmektedir (Ranelli ve Martinelli, 1995). Bu sistemlerde hamur yoğurmadan hemen sonra dekantöre verilerek basınçlı su ilave edilmektedir. İlave edilen su ile sistemden çıkan atık su (karasu) miktarı artmaktadır. Karasu çevre kirliliği oluşturabilen etkiye sahiptir (Köseoğlu, 2006). 2-fazlı ekstraksiyon sistemlerinde ise proses suyu kullanılmamasından dolayı zeytinin yapısındaki suyun tamamı pirina içinde bulunmaktadır. Üç fazlı sistemlerde kullanılan suyun çevre için sorun oluşturması neticesinde; 1992 yılında zeytinyağı üretim sisteminde suyun kullanımı olmaksızın veya zeytinlerin rutubetine bağlı olarak suyun çok az kullanılması ile yağ fazının ayrılmasını sağlayan yeni bir dekantör sistemi geliştirilmiştir. İki fazlı adı verilen ve ekolojik olarak adlandırılan bu sistemlerin kullanımı yaygınlaşarak önem kazanmıştır (Ranelli ve Martinelli, 1995). Ancak bu yöntem sonucunda elde edilen pirinanın çok rutubetli olması, bu pirinanın işlenmesinde sorun oluşturmaktadır.

Zeytinyağı üretim proseslerinde kullanılan ekstraksiyon tekniğine bağlı olarak oluşan atık suyun miktarı, kirlilik özellikleri ve pirinanın kompozisyonu farklılık göstermektedir. 3-fazlı ekstraksiyon sisteminde oluşan atık su hacmi ve kirlilik yükü, 2-fazlı sisteme göre oldukça yüksektir (Oktav ve Şengül, 2003). Oluşan atık su miktarları, 2-fazlı sistemlerde 50-700 l/ton zeytin, 3 fazlı sistemlerde ise 900–1500 l/ton zeytin aralıklarında değişiklik göstermektedir (Azbar ve ark, 2004). 3-fazlı zeytinyağı üretimi sırasında oluşan atık suyun kirlilik düzeyi kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 45–60 g/L (Oktav ve Özer, 2002) iken 2-fazlı üretim yönteminin uygulanması sonucu meydana gelen atık suyun KOİ değeri 10–15 g/L aralığında belirlenmiştir. 2-fazlı ekstraksiyon sisteminin uygulanmasıyla oluşan zeytinyağı; 3-fazlı sistem çıktısı olan zeytinyağından daha dayanıklıdır. 2-fazlı ekstraksiyon sisteminde elde edilen zeytinyağının daha dayanıklı olmasının nedeni; 2-fazlı sistemlerde atık suyun zeytin özsuyla birlikte sistemden uzaklaşması sonucunda; doğal antioksidan olan ve suda çözünen polifenollerin çoğunun yağın içerisinde kalmasıdır (Kaya, 2009). Ayrıca 2-fazlı ekstraksiyon sistemlerinde karasu pirinanın içerisinde kalmakta ve bu atık suların bertarafı için arıtma işlemine veya lagün inşa edilmesine gerek kalmamakta, karasu pirina ile birlikte sistemi terk etmektedir.

Yukarıdaki bilgilerden de anlaşılacağı üzere pirinanın kompozisyonu büyük ölçüde zeytinyağı elde edilirken kullanılan tekniğe göre değişim göstermektedir. Pirina, işleme tekniğine de bağlı olarak, %4-5'e varan oranlarda yağ, %35-70 arasında nem içermektedir (Göğüş ve ark. 2009). İki fazlı sistemlerde oluşan katı yan ürünün (pirina) nem içeriği (%60-70), üç fazlı sistemlerdeki katı yan ürünün nem içeriği ile kıyaslandığında (%35-40) oldukça yüksektir. Üç fazlı sistemlerin katı yan ürünü nem oranı yüksek bir katı olarak kabul edilirken, iki fazlı sistemlerin yan ürünü sulu çamur şeklinde elde edilmektedir (Liebanes ve ark., 2006). Pirinanın yapısındaki yağ ikinci kalite tüketilebilir yağ olarak adlandırılmakta ve pirinanın nem içeriğinin kurutma yöntemi ile %10'a (yağ temel) düşürülmesinin ardından çözgen ekstraksiyonu (genellikle n-hekzan) ile elde edilmektedir.

Pirinanın Kullanım Alanları

Pirina genellikle hayvan yemi katkı maddesi olarak, bahçe bitkilerinin yetiştirilmesinde (Dermeche ve ark., 2013) ve toprağın güçlendirilmesinde gübre olarak (Paredes ve ark., 2001) ve kükürt içermeyen alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır (Çelen ve ark., 2015).

Pirinanın yakıt amaçlı kullanımı, yüksek enerji içeriği nedeniyle en yaygın kullanım alanıdır. Zeytin ağaçlarının tipine, toprağın yapısına, iklim ve topraktaki besleyicilere bağlı olarak pirinanın enerji değeri değişim göstermektedir. Pirinanın yakıt olarak değerlendirilmesinde; üretilen birim enerji başına yakıt maliyetinin düşük olması, zeytinyağı atığının tamamen değerlendirilerek ekolojik dengenin korunması, yanma sonucu oluşan emisyonların fosil yakıtlara göre daha az olması, yakıtın depolanmasının mümkün olması, kül içeriğinin düşük olması (%1,5) etkilidir. Üretimin yapıldığı yerlerde kullanılması gerekliliği ve yıllık zeytinyağı rekoltesinin düzensiz olması da pirinanın yakıt olarak değerlendirilmesindeki en önemli olumsuzluklardır (Görel ve ark., 2003). Pirinanın yakıt olarak değerlendirilmesinin yanında katma değeri yüksek olan ürünlerde kullanılması kullanım alanlarının artırılması, yan sanayilerin de gelişmesine olanak sağlayabilecektir.

Pirinanın, organik girdi olarak tarımda gübre ve toprak islah edici madde olarak kullanılmasına, toprak üzerine etkilerinin belirlenmesine, bu potansiyelin tarımda değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar yürütülmektedir (Lopez-Pineiro ve ark., 2007; Gomez-Munoz ve ark., 2010; Diacano ve ark., 2012; Gomez-Munoz ve ark., 2013). Ancak organik madde içeriği yüksek olan pirinanın, yağ ve çekirdeğindeki lignin kolayca humik maddelere dönüşmemektedir. Ortama verilen pirina ile karbon kaynağı arttığı için büyük miktarda azot (N) immobilizasyonu söz konusu olabilmekte, bu durum bitkiler için gerekli olan azot alımı üzerine olumsuz etki yapabilmektedir (Başkan, 2010). Belirtilen bu özellikleri de işlenmemiş pirinanın gübre olarak kullanımının kısıtlı olduğunu, gübre olarak kullanılmadığı durumda ise atık alanında benzer sorunlar yaratabileceğini göstermektedir (Dermeche ve ark., 2013). Bu nedenle pirinanın doğrudan doğaya bırakılması mümkün olmadığından işlenmesi bir zorunluluk haline gelmektedir.

Pirinanın, düşük maliyet ve zeytinyağı üretimi sırasında yan ürün olarak yüksek oranda elde edilebilmesiyle ve pirina yağının alternatif besin kaynağı olarak yem formülasyonlarına eklenmesi ile balık beslemedeki kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu konu, Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde su ürünleri yetiştiriciliğinin önemli bir ekonomik faaliyet olması, aynı zamanda bu bölgelerin zeytin ve zeytinyağı üretimde başı çeken yerler olması sebebiyle önem taşımaktadır (Demirtepe, 2008).

Ham pirinadan hayvan yemi katkısı üretmek için pirinanın çok yüksek olan asitliğinin ayarlanması ve yağının alınması gerekmektedir. Yağı alınmış ve asitliği düzenlenmiş katı pirina, hayvan yemi fabrikalarına gönderilerek buralarda hayvan yemine işlenmektedir. Hayvan yemi olarak tercih edilmesinin en büyük nedeni ucuz olmasıdır (İlten ve ark. 2000). Ancak, protein bakımından fakir olması ve yüksek miktarda selüloz içermesi en büyük dezavantajıdır (Brozzoli ve ark., 2010).

Ülkemizde hayvan beslemede yaygın olarak değirmencilik yan ürünü olan kepek kullanılmaktadır fakat zeytin yan ürünü olan pirinanın kullanımı yaygınlaşmamıştır (Keleş, 2015). Besin değeri açısından kıyaslandığında 1,6 kg pirina 1 kg kepeğe karşılık gelmektedir (Karaca ve ark., 2015).

Pirina gerek besin madde içeriği, gerekse besin maddelerinin sindirilebilirliği bakımından diğer tarımsal atıklarla rekabet edebilecek bir atıktır. Yapılan bir çalışmada konsantrasyonun % 20 oranında zeytin pirinası ile seyreltilerek kullanılmasının geviş getiren hayvanların büyüme performansı üzerine etkisi incelenmiş ve olumsuz etki göstermediği gözlemlenmiştir. Bu durumda ruminant yemlerine katılma oranının % 20'si kadar ekonomik getirisi söz konusu olabileceği belirtilmiştir. Yem yönetmeliğimize göre karma yeme katılması yasak olan pirina, seçmeli yemleme sistemi ile ruminantlar için ayrı bir besin maddesi kaynağı olabilir (Beken, 2009). 2-fazlı sistemden üretilen pirinanın kısa sürede oksitlenmemesi nedeniyle hayvan yemi için daha uygun olduğu belirtilmiştir (ÇTÜE, 2015).

Pirinadan fermentasyon yoluyla lipaz enzimi, hidroliz ile aktif karbon (Alkhamis ve Kablan,1999; Zanzi ve ark., 2001), çevre dostu kompozit yapı malzemesi (Gürtü, 2001) ve biyodizel (Hernandez ve ark., 2014) elde edilmektedir.

Pirinanın bir atık olarak bertaraf edilmesi yerine katma değeri yüksek çeşitli yan ürünler olarak değerlendirilmesi aşamalarının tümünün ortak özelliği pirinanın kurutulmasıdır. Kurutma işlemi ile birlikte pirinanın dayanıklılığı artmakta ve işlenebilirliği daha kolay olmaktadır. Ayrıca pirinadan daha fazla yağ elde edilmesi için de pirinanın kurutulması gerekmektedir. Çözücü ile yağ moleküllerinin birleşmeleri için yağlı pirinanın kurutulması aşaması büyük önem arz etmektedir. Kurutulmamış, rutubetli pirinaya çözücünün nüfus edememesi pirinanın kurutulmasının ana nedenini oluşturmaktadır. Yağlı pirinanın tam kurutulmaması ve kurutulmadan ekstraksiyon kazanlarına alınması yağlı pirinadan gerektiği kadar yağ alma işlemi yapılamamasına neden olmaktadır (Başkan, 2010). Zeytinyağı üretimi sonunda çıkan yağlı pirinanın bünyesindeki yağ asidi değerlerinin bekleme süresinde artması ve yağın kalitesinin bozulması nedeniyle, pirinanın zaman kaybetmeden kurutma işlemine alınması gerekmektedir (Çelen ve ark, 2015).

Pirinanın Kurutulması

Pirinanın kurutulması pirina işleme tesislerinde genellikle seri üretime uygun ve yüksek miktarda ürün kurutmaya sağlayabilen döner tip kurutucular ile yapılmakta olup kurutma sıcaklıkları 400 ile 800°C aralığında değişiklik göstermektedir. Kurutma işleminin yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmesi kurutma hızını artırarak kurutma süresini azaltır ve kısa zamanda yüksek miktarda pirina kurutma işlemi gerçekleştirilebilir. Pirina işleme tesisleri yüksek sıcaklık uygulanması nedeniyle kuru pirinayı katma değeri yüksek ürün olarak değerlendiremeyip; yakıt olarak değerlendirebilmektedir (ÇTÜE, 2015). Yüksek sıcaklıkta pirina kurutulması sırasında şekerlerin polimerleşmesi ve yanma dumanlarının etkisinden kaynaklı poliaromatik

hidrokarbonlar (PAH) ortaya çıkmaktadır (Leon-Camacho ve ark., 2003). PAH; iki veya daha fazla aromatik halkanın birleşmesiyle meydana gelen bileşiklerdir ve hidrokarbonların yüksek sıcaklıklarda pirolizi sonucu oluşur (Battaloğlu, 2009). Hafif PAH yapısında dörtten az benzen halkası bulundururken, ağır PAH ise dört ve daha fazla benzen halkası bulundurur (Ergönül ve Kaya, 2015). Almanya yağ bilimleri birliği ve İspanya hükümetinin belirlemiş olduğu limitlere göre yenilebilir pirina yağında toplam PAH miktarı 25 µg/kg yağ olarak sınırlanmıştır. Ağır PAH miktarı 5µg/kg'ın üzerinde olmamalı ve her bir PAH'ın miktarı 2 µg/kg'ı geçmeyecek şekilde pirina kurutma işlemi gerçekleştirilmelidir (Baloğlu ve Bayrak, 2006). PAH oluşumu yüksek sıcaklıkta kurutulan pirina için önemli kalite kriterleri arasındadır.

Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi (IARC)'ne göre; BaP (benzo(a)piren) en kanserojenik ve mutajenik olan PAH'dır. Bu sebeple BaP su ve gıdalardaki PAH analizlerinde belirteç olarak kullanılır (Troche ve ark., 2000). Ülkemizde 2011 tarihinde yürürlüğe giren Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Tebliği'nde katı ve sıvı yağlarda bulunması gereken BaP miktarı 2 µg/kg'ı aşmaması gerekmektedir (TGK, 2011-28157). Ayrıca, Türk Gıda Kodeksi Zeytinyağı ve Pirina Yağı Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği'ne göre (TGK, 2014-29181); pirina yağının serbest asitliğinin (oleik asit cinsinden) %1'in altında olması ve peroksit değerinin ise 15 meq aktif oksijen/kg yağ değerini aşmaması gerekmektedir. Kurutulmuş pirinanın standartlarda belirlenen değerlere uygunluk göstermesi gerekmektedir.

Döner tip kurutma sistemlerinde sıcak kurutma gazı farklı yöntemler ile elde edilmektedir. Bu amaçla, son yağı çekilmiş olan pirinanın ve/veya üründen ayrılan çekirdeklerin yakılması ile elde edilen sıcak gaz ve kojenerasyon sistemlerindeki türbin veya gaz motorlarından elde edilen atık gaz kullanılmaktadır (Moral ve Mendez, 2006). 3-fazlı pirina, pirina işleme tesislerinde bu tip kurutma fırınlarına beslenerek rahat bir şekilde kurutulabilmektedir. Fakat 2-fazlı pirina yüksek nem ve şeker içeriği ve viskoz yapısı (Torrecilla ve ark. 2005) nedeni ile direkt olarak bu tip kurutucularda kurutulmamaktadır. Kurutma işlemi esnasında 2-fazlı pirina içerisinde nemli bölgeler kalmakta ve ürün düşük ısı stabilitesinden dolayı kurutucu duvarlarına yapışmakta ve bu yapışma sonucunda kurutucuda alevlenme riski ortaya çıkmaktadır (Arjona ve ark., 2005). Ayrıca 2-fazlı pirinanın yapısındaki şeker içeriği kurutma işlemi sırasında aglomerasyonu teşvik etmektedir (kuru ürünün partükül boyutu artar). Aglomerasyon ise ürünün kurutucu duvarlarına yapışmasını artırmakta ve kurutma aşamasında ek bir zorluk teşkil etmektedir.

Pirina işleme tesisleri; yüksek miktarda pirina kurutulmasına uygun olması nedeniyle döner tip kurutucuları tercih etmektedir (ÇTÜE, 2015). Yukarıda bahsedilen sebeplerle sektörde 2-fazlı pirina döner kurutucularda kurutulmamakta ve mevcut piyasada 2-fazlı pirina kurutma işlemi, 3-fazlı pirinanın bununla karıştırılması ve karışımın kurutucuya beslenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun için öncelikle 3-fazlı pirinayı kurutup (%20-25) daha sonra 2-fazlı pirinayla karıştırarak nem içeriğini %50-55 civarına getirmektedir (Arjona ve ark., 2005). Kurutma sıcaklığının çok yüksek

olması, kurutma işleminde baca gazlarının ısıtıcı ortam olarak kullanılması ve pirinanın tekrar tekrar kurutma işlemine maruz bırakılmasından dolayı elde edilen kuru pirinanın katma değeri azalmaktadır. Mevcut piyasada 2-fazlı pirinayı direkt olarak kurutabilecek, büyük ölçekli çalışmaya uygun, kuru pirinanın katma değerini koruyacak ve sürekli sistem çalışabilen kurutucu bulunmamaktadır. Bu nedenle 3-fazlı pirinayı kurutmaya uygun olan döner tip kurutucularda 2-fazlı pirina uygun nem içeriğine getirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir.

3-fazlı Pirinanın Kurutulması

Literatürde 3-fazlı pirinanın kurutulması üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirildiği görülmektedir (Tablo 1) fakat yapılan çalışmalarda denenen kurutma yöntemleri laboratuvar ölçekli, seri üretime uygun olmayan, uzun kurutma sürelerine sahip ve kesikli sistemler olmasından dolayı döner tip kurutucular hala pirina işleme tesislerinde tercih sebebidir.

Mevcut piyasada döner tip kurutucularda çok yüksek sıcaklık uygulamasıyla kurutma işleminin gerçekleştirilmesinin pirinanın kalitesini olumsuz yönde etkilemesi ve oksidasyon mekanizmasını hızlandırması nedeniyle; Göğüş ve Maskan (2006) 3-fazlı pirina kurutma çalışmalarını tepsili kurutucuda sırasıyla 60, 70 ve 80°C sıcaklıkta, sabit 1,5 m/s hava hızında ve farklı pirina kalınlıklarında gerçekleştirmişlerdir. Kalınlıkları 6, 9 ve 12 mm olan pirina örneklerinin kuruma zamanını; 80°C'ta 65-140 dak., 70°C'ta 80-170 dak., 60°C'ta ise 125-240 dak. aralıklarında tespit etmişlerdir. Nem için efektif difüzyon hızı değerinin ürün kalınlığı ve hava sıcaklığının artmasıyla arttığını belirtmişlerdir. Her bir sıcaklık ve kalınlık için efektif difüzyon hızı değeri ile aktivasyon enerjisi değerlerini tespit etmişlerdir. Pirinanın kuruma hızını etkileyen parametrelerin, kurutma hava sıcaklığı ve ürün kalınlığı olduğunu belirtmişlerdir. Athanasia ve ark. (2015) da 3-fazlı pirina kurutma denemelerini tepsili kurutucuda 60, 65, 70, 75 ve 80°C sıcaklıklarda 1,2 m/s hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Kombine olarak yüzde nem içeriğinin ve sıcaklığın efektif difüzyon hızı üzerine etkisi empirik model olarak incelenmiş ve tepsili kurutucuda ince tabaka halinde kurutulan pirina örneklerinin kurutma eğrileri belirlenerek, matematiksel modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma pirina kurutma işleminin matematiksel modellenmesi üzerine gerçekleştirilmiş olup, kurutulmuş ürünün kalitesi üzerine bilgi sağlamamaktadır.

Akgün ve Doymaz (2005), kabin kurutucuda 3-fazlı pirinayı kurutmuşlardır. Kabin kurutucuda %47 nem içerikli pirinadan %5 nem içeriğine kadar kurutma işlemi geniş bir sıcaklık aralığında (50-110°C), sabit kalınlıkta ince tabaka şeklinde ve sabit hava hızında (1,2 m/s) gerçekleştirilmiştir. 3-fazlı pirinanın kuruma eğrisine uygunluğunu test etmek için birçok kuruma modeli denenmiş ve bunlar içerisinde en uygun modelin logaritmik model olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık ile etkin difüzyon katsayısı arasında Arrhenius tipi ilişki belirlenmiş, E_a değeri 17,97 kJ/mol bulunmuştur.

Doymaz ve ark. (2004) yapmış oldukları diğer bir çalışmada ise 3-fazlı pirina kurutma çalışmalarını sabit hava hızında (1,2 m/s), farklı örnek kalınlıklarında ve 80-110°C sıcaklık aralığında kabin tipi kurutucularda

gerçekleştirmişlerdir. Deneysel veriler Page modeli ve Henderson ve Pabis modeli ile karşılaştırılmış, azalan hız periyodunu en iyi tanımlayan modelin ise Page modeli olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar kurutma sıcaklığının, ürünün kül miktarı ve renk değişimi üzerine etkisi olmadığını saptamışlardır.

Sektörde kullanılan döner tip kurutuculara göre düşük sıcaklıkta ve tepsili kurutuculara göre daha kısa sürede kurutma işlemini gerçekleştirebilmek amacıyla; yapılan 3-fazlı pirina kurutma çalışmasında akışkan yataklı kurutucu kullanılmıştır. Kurutma denemeleri farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 ve 80°C), farklı yatak kalınlıklarında (41, 52, 63 mm) ve sabit hava hızında (1,0 m/s) gerçekleştirilmiştir (Meziane, 2011). Pirinanın

kuruması sırasında sabit kuruma hızı bölgesi görülmemiş ve tüm kuruma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Deneysel olarak belirlenen yüzde nem değerleri ile ince tabaka kurutma modelleri arasındaki ilişki incelenmiş ve Midilli modelinin pirinanın kuruma davranışına en uygun model olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği sıcaklık ve kalınlık aralıklarında efektif difüzyon hızı değerleri ile aktivasyon enerjileri belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığının ve yatak kalınlığının artırılmasıyla efektif difüzyon hızı değerlerinde artış olduğu saptanmıştır. Ayrıca; yatak kalınlığının artmasıyla aktivasyon enerjisi değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir (Meziane, 2011).

Tablo 1 3-fazlı pirinanın kurutulması üzerine gerçekleştirilen kurutma çalışmaları

Kurutucu Tipi	BNİ	SNİ	Kurutma İşlem Değişkenleri	Önemli Sonuçlar	Kaynaklar
Tepsili Kurutucu	58	~2	Hava Hızı: 1,5 m/s Kalınlık: 6-12 mm Sıcaklık: 60-80 °C	Kurutma Zamanı: 65-240 dak. D_{eff} : $1,84 \times 10^{-7}$ - $3,94 \times 10^{-7}$ m ² /s E_a : 25,4 –29,2 kJ/mol	Göğüş ve Maskan, 2006
Tepsili Kurutucu	50	~8,5	Hava Hızı: 1,2 m/s Kalınlık: 6 mm Sıcaklık: 60-80°C	Kurutma Zamanı: 480-1100 dak. D_{eff} : 6×10^{-10} - $1,23 \times 10^{-9}$ m ² /s E_a : 25,4 –29,2 kJ/mol	Athanasia ve ark., 2015
Kabin Kurutucu	44,78	~5	Hava Hızı: 1,2 m/s Kalınlık: 8 mm Sıcaklık: 50-110 °C	Kurutma Zamanı: 60-245 dak. D_{eff} : $3,38 \times 10^{-9}$ - $1,13 \times 10^{-8}$ m ² /s E_a : 17,97 kJ/mol	Akgün ve Doymaz, 2005
Kabin Kurutucu	44,78	~5	Hava Hızı: 1,2 m/s Kalınlık: 8 mm Sıcaklık: 80-110 °C	Kurutma Zamanı: 240-420 dak. D_{eff} : $4,9 \times 10^{-10}$ - $9,98 \times 10^{-8}$ m ² /s E_a : 26,71 kJ/mol	Doymaz ve ark., 2004
Akışkan Yatak Kurutucu	48,6	~5	Hava Hızı: 1 m/s Yatak Kalınlığı: 41-63 mm Sıcaklık: 50-80°C	Kurutma Zamanı: 65-240 dak. D_{eff} : $0,68 \times 10^{-7}$ - $2,15 \times 10^{-7}$ m ² /s E_a : 34,05–38,1 kJ/mol	Meziane, 2011
Mikrodalga Kurutucu	45,02	~7	Kalınlık: 6 mm Mikrodalga Gücü: 170-540 Watt	Kurutma Zamanı: 7-42 dak. D_{eff} : $3,55 \times 10^{-9}$ - $20,47 \times 10^{-9}$ m ² /s E_a : 20,98 kJ/mol	Sadi ve Meziane, 2015
Kombine çalışan mikrodalga ve fan destekli konveksiyon fırın	45	~5	Kalınlık: 9-14 mm Mikrodalga Gücü: 350-700 Watt Kurutma Sıcaklığı: -15°C	Kurutma Zamanı: ~15 dak. Pirinanın kuruma hızına mikrodalga gücü ve pirina kalınlığının üzerine etkisinin ihmal edilebilir olduğu belirlenmiş ve kurutma sıcaklığı arttıkça ise kuruma hızı artış göstermiştir.	Göğüş ve Maskan, 2001

BNİ: % Başlangıç Nem İçeriği (Kuru Baz), SNİ: % Son Nem İçeriği (Kuru Baz)

Celma ve Cuadros (2009) yaptıkları çalışmada, doğal taşınımli güneş enerjili kurutucu kullanarak 3-fazlı üretim prosesinden elde edilen zeytin karasuyunu kurutma çalışmasında enerji ve ekserji analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan sistem; havalı güneş toplayıcısı, kurutma odası, tepsi, fan, baca ve çeşitli kontrol ünitelerinden oluşmaktadır. İki günlük kurutma süresi sonunda ürünün nem değeri orijinal değerinin 1/3'üne düşmüştür. İki günde gerçekleşen deneysel çalışma incelendiğinde kurutma işleminin büyük kısmı ilk gün gerçekleşmiş olup, yüzeyde ince tabaka şeklinde şekerleşme görülmüştür. Bu etki de sıcaklık artışını olumsuz etkileyip nem kaybını düşürmüştür.

Geleneksel olarak sıcak hava ile kurutma yapılan 3-fazlı pirinalara alternatif olarak mikrodalga sisteminde de

denemeler gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma sistemlerinin kısa sürede kurumunun gerçekleşmesi, enerji verimliliğinin yüksek olması ve kaliteli son ürünün oluşmasına olanak sağlaması gibi avantajları dolayısıyla tercih edildiği vurgulanmıştır. Kurutma kinetiği için Midilli modeli ve Difüzyon yaklaşımı modeli en uygun model olarak belirlenmiş ve neme ait efektif difüzyon katsayısının mikrodalga gücünün artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, mikrodalga gücü arttıkça enerji tüketiminin süreye bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir (Sadi ve Meziane, 2015).

Göğüş ve Maskan (2001) yapmış oldukları çalışmada yaklaşık %45 nem içeriğine sahip 3-fazlı pirinanın kombine çalışan mikrodalga ve fan destekli konveksiyon fırında kurutulması işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Mikrodalganın gücü (350, 490, 700 W), ürün kalınlığı (6, 9, 14 mm) ve kurutma sıcaklığının (100, 160, 225°C) pirinanın kurutulması üzerine olan etkisi incelenmiş, mikrodalga gücü ve ürün kalınlığının kurutma üzerine etkisinin ihmal edilebilir olduğu ve kurutma sıcaklığı arttıkça da kuruma hızının arttığı görülmüştür.

Gomez de la Cruz ve ark. (2015), 2-fazlı ve 3-fazlı pirinaları kurutmak için sanayide en çok kullanılan döner tip kurutucu ile kurutma işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma döner tip kurutucunun işlem parametrelerinin matematiksel olarak modellenmesi üzerinedir. Modeli oluştururken ısı ve kütle transferi göz önünde bulundurulmuş, fakat momentum değişimi ihmal edilmiştir. 2-fazlı pirinanın döner kurutucularda kurutulma işlemi sırasında karşılaşılan sorunların başında şeker içeriklerinin yüksek olması gelmekte, bu durum aglomasyon oluşmasına, ürünün duvarlara yapışmasına ve yanmasına neden olmaktadır. 2-fazlı ekstraksiyon sistemlerine geçişin günden güne artmasıyla birlikte 2-fazlı pirinanın kurutulmasının önem kazanması sonucunda; yapılan çalışmada oluşturulan modelin döner kurutucunun modifiye edilmesine veya 2-fazlı pirinada karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik daha sonra yapılacak çalışmalara ışık tutacağını öngörmüşlerdir

Papiaoannou ve ark. (2013) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, pirinaları kurutmak için kullanılan kurutucuların yüksek sıcaklık uygulamasından kaynaklı aşırı ısınma ve pirinanın organik bileşen, fenolik madde ve kalitesinin azalmasına çözüm oluşturmaya çalışmışlardır. Direk pirina yüzeyine temas etmeden vakum altında (0,2-0,6 bar) 70-120°C sıcaklıklar arasındaki kurutulmuş olan 2-fazlı ve 3-fazlı pirina örneklerinin karakteristik özellikleri ve besin içerikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, sıvı atıklar için güvenilir bir biyo-bozunabilirlik göstergesi olan BOİ/KOİ oranının 90°C de en yüksek değere ulaştığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak indirek ısıtma gerçekleştirilmesiyle birlikte yararlı bileşenler ve fenolik madde içeriklerinin konsantrasyonlarının artmış olması gösterilmiştir. BOİ/KOİ oranının yaklaşık 100°C ye kadar artış gösterdiği daha sonrada azalmaya başladığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada vakum altında kurutmanın sıvı atıklar için alternatif bir kurutma yöntemi olabileceği vurgulanmıştır.

2-fazlı Pirinanın Kurutulması

Literatürde 2-fazlı pirinanın kurutulması üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirildiği görülmektedir (Tablo 2). Fakat yapılan çalışmalarda denenen kurutma yöntemleri laboratuvar ölçekli, seri üretime uygun olmayan, uzun kurutma sürelerine sahip ve kesikli sistemlerdir.

Torrecilla ve ark. (2005), 2-fazlı pirinayı kurutmak amacıyla akışkan yataklı kurutucu kullanmışlardır. Pirina yağı elde etmek için yapılan çalışmalarda 125°C kurutma sıcaklığında, ürün nem içeriği %65'ten %8'e düşürülmüştür. Kurutma çalışmaları yüksek nemlilikten kaynaklanan işleme sorunlarını çözmek için yaş ve kuru pirina karıştırılarak yapılmıştır. Karıştırma oranları 70/30 ve 90/10 yaş/kuru pirina şeklindedir. Fakat çalışmada kullanılan akışkan yatak kurutucunun yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olduğu ve kurutma işlemini gerçekleştirebilmek için ön işleme (2-fazlı pirinanın kuru pirina ile karıştırılması) gereksinim duyulduğu göz ardı

edilmemelidir. Pirinanın tekrar tekrar kurutma işlemine maruz kalmasının enerji kayıplarına sebep olduğu belirtilmiştir. Ancak yapılan çalışmada pirinanın ve pirina yağının kalite özelliklerine bakılmamıştır.

Arjona ve ark. (2005) döner tip kurutucuda 2-fazlı pirinanın kurutulması aşamasında yaşadıkları sorunları şöyle özetlemişlerdir; kurutucu içerisinde ürün karıştırıcı kanatlar ile karıştırıldığından dolayı ürünün nemliliği kontrol edilememiştir. Kurutma işlemi esnasında yüksek sıcaklıktan dolayı ortaya çıkan küllerin temizlenmesi kurutma gazının sıcaklığında ani yükselmelere neden olmuştur. Elde edilen kuru ürün vanalar aracılığı ile döner kurutucudan alınmıştır. Toplama kapları belirli aralıklarla temizlenmiş olup bu temizleme işlemi de proses boyunca karşılaşılan bir diğer istenmeyen etkilerdendir. Ayrıca araştırmacılar 2-fazlı pirinanın yüksek nemlilik ve yapışkanlığı özelliğinden dolayı döner kurutucularda kurutma sürelerinin uzadığını bildirmişlerdir.

Milczarek ve ark. (2011), 2-fazlı pirinanın kuruma karakteristiği üzerine pirinanın büzüşmesinin etkisi araştırmışlardır. Çalışmada mikrodalga ve geleneksel kurutma yöntemlerinin kombine çalışmasına olanak sağlayan kurutucu sistem kullanılarak, pirina kurutma denemeleri farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60, 70°C) gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı nem miktarları ve hacimdeki değişim kaydedilmiştir. 2-fazlı pirinanın kurutulmasında büzüşme ihmal edilmediği takdirde pirinanın efektif difüzivite değerinin yaklaşık % 28 oranında az bulunduğu tespit edilmiştir. 2-fazlı pirinanın kurutulmasında büzüşme ihmal edildiği takdirde ise belirlenen efektif difüzivite değerlerinin deneysel verilerle uyumluluk göstermediği saptanmış, fakat ince tabaka halinde 40 ve 70°C'de kurutulan pirinaların büzüşmesinin kurutma kinetiği açısından ihmal edilebilir olduğu belirtilmiştir. Pirinanın kurutulmasının farklı geometrik şekil, sıcaklık ve süreler için modellenmesinde, pirinanın büzüşmesinin dikkate alınması gerekliliği vurgulanmıştır.

Ortaburun ve ark. (2014) tarafından gerçekleştirilmiş çalışmada tepsili ve valsli olmak üzere 2 farklı kurutucuda 2-fazlı pirina örnekleri kurutulmuş fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. 2-fazlı pirina örnekleri besleme hızı 22,7 g/dak, dönüş hızı 1 dev/dak ve vals aralıkları 1 mm değerlerinde sabit tutularak 1, 2 ve 3 barlık buhar basınçlarında valsli kurutucuda ve hava akış hızı 1,5 m/s ve örnek kalınlığı 2 mm sabit olacak şekilde 60 ve 70°C sıcaklıklarda tepsili kurutucuda kurutulmuş çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Valsli kurutucuda kurutulan 2-fazlı pirinanın yüzde nem değerlerindeki azalma tepsili kurutucuda gerçekleştirilen örneklere göre daha hızlı gerçekleşmiştir. Her iki kurutucuda elde edilen kurutulmuş pirina örnekleri için pH değerlerinde ve titre edilebilir asitlik değerlerinde ise önemli bir değişim olmadığı saptanmıştır. Kurutma sırasında yüksek sıcaklığa maruz kalan pirinada peroksit değerleri incelenerek, p-anisidin analizleri yapılmış ve sonuç olarak ikincil oksidasyon ürünlerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Kurutma işlemi renkte belirgin farklılıklara neden olmazken, tepsili kurutucuda kurutulan pirinalarda renk değişiminin valsli kurutucuya göre az olduğu belirlenmiştir. Valsli kurutucuda gerçekleştirilen kurutma çalışmasında sıcak yüzey ile örneğin direk temas etmesinden dolayı pirinada yanmalar gözlemlenmiş ve kalite kayıplarının olduğu vurgulanmıştır. Tepsili

kurutucu denemelerinde ise 2-fazlı pirininin yüksek şeker ve nem içeriğinden kaynaklı olarak; yüzeye yapışma, yanma, bölgesel nemlilik ve temizlik sorunlarıyla karşılaştığı belirtilmiştir (Ortaburun ve ark., 2014).

Kurumuş pirina ürünlerinin kurutulmamış pirinalara göre biyogaz enerji verimliliğinin daha yüksek olması ve konvektif kurutucuların döner kurutuculara göre daha düşük sıcaklıklarda çalışması gibi nedenler doğrultusunda Vega-Galvez ve ark. (2010), soğuk preslemeyle elde edilen zeytinyağının atığı olan pirinayı (%65 nem

içerikli) 50, 60, 70, 80 ve 90°C sıcaklıklarda konvektif kurutucuda kurularak kuruma eğrilerini oluşturmuşlardır. Deneysel veriler ile en uyumlu model, Handerson ve Pabis modeli olarak belirlenmiştir. Ayrıca, efektif difüzyon hızı $1,71 \times 10^{-9}$ - $2,03 \times 10^{-9}$ m²/s ve aktivasyon enerjisi 12,43 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan soğuk presleme sonucu elde edilen pirininin nem içeriğinin yaklaşık olarak 2-fazlı pirinaya yakın olması daha sonra yapılacak olan çalışmalara ışık tutabilir niteliktedir.

Tablo 2 2-fazlı pirininin kurutulması üzerine gerçekleştirilen kurutma çalışmaları

Kurutucu Tipi	BNİ	SNİ	Kurutma İşlem Değişkenleri	Önemli Sonuçlar	Kaynaklar
Akışkan Yatak Kurutucu	65	~8	Sıcaklık: 60-125°C Kapasite: 5 kg/sa	<ul style="list-style-type: none"> 2 fazlı pirininin yüksek nemliliğinden kaynaklanan işleme sorunlarını çözmek için yaş ve kuru pirina 70/30 ve 90/10 oranlarında karıştırılarak kurutulmuştur. Ön işlem uygulayarak geçici çözüme ulaşılmıştır fakat tekrar tekrar kurutma işlemine pirininin maruz kalması yüksek enerji kaybına sebep olmuştur. 	Torrecilla ve ark., 2005
Döner Kurutucu	65	~8	Sıcaklık: 700-800°C Çap: 3m Uzunluk: 30m	<ul style="list-style-type: none"> Kurutma işlemi esnasında yüksek sıcaklıktan dolayı ortaya çıkan küllerin temizlenmesi kurutma gazının sıcaklığında ani yükselmelere neden olmuştur. 2-fazlı pirininin yüksek nemlilik ve yapışkanlığı özelliğinden dolayı döner kurutucularda kurutma sürelerinin uzadığını belirtmişlerdir. 	Arjona ve ark., 2005
Kombine çalışan mikro dalga ve konveksiyon fırın	67,65	~5	Kalınlık: 7 mm Mikrodalga Gücü: 0-2500 Watt Sıcaklık: 40-70°C Hava Hızı: 4 m/s	Büzüşme İhmal D _{eff} : $8,95 \times 10^{-10}$ - $1,95 \times 10^{-9}$ m ² /s E _a : 22,6 kJ/mol Büzüşme Dahil D _{eff} : $6,57 \times 10^{-10}$ - $1,39 \times 10^{-9}$ m ² /s E _a : 22,4 kJ/mol	Milczarek ve ark., 2011
Konvektif Kurutucu	65,64	~4,6	Hava Hızı: 2 m/s Kalınlık: 13 mm Sıcaklık: 50-90 °C	Kurutma Zamanı: 240-420 dak. D _{eff} : $1,71 \times 10^{-9}$ - $2,03 \times 10^{-9}$ m ² /s E _a : 12,43 kJ/mol	Vega-Galvez ve ark., 2010
Tepsili Kurutucu	71	~1,3	Hava Hızı: 1,5 m/s Kalınlık: 2 mm Sıcaklık: 70-80°C	<ul style="list-style-type: none"> Kurutma Zamanı: 185-290 dak. Kurutma sırasında yüksek sıcaklığa maruz kalan pirinada peroksit değerleri incelenmiş, p-anisidin analizleri yapılmış ve sonuç olarak ikincil oksidasyon ürünlerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Tepsili kurutucuda kurutulmuş pirininin Hunter L* değerine bakıldığında daha parlak ürün elde edilmiştir. 	Ortaburun ve ark., 2014
Valsli Kurutucu	71	0,87-2,38	Besleme Hızı: 22,7 g/dak Dönüş Hızı: 1 dev/dak Vals uzaklığı: 1 mm Buhar Basıncı: 1, 2, 3 bar	<ul style="list-style-type: none"> Kurutma Zamanı: ~30 dak. Valsli kurutucuda kurutulmuş 2-fazlı pirininin yüzde nem değerlerindeki azalma tepsili kurutucuda gerçekleştirilen örneklere göre daha hızlı gerçekleşmektedir. 	Ortaburun ve ark., 2014

BNİ: % Başlangıç Nem İçeriği (Kuru Baz), SNİ: % Son Nem İçeriği (Kuru Baz),

Ülkemizde günlük kapasiteleri 1500 ton olan yaklaşık 15 pirina tesisi mevcuttur. Zeytinyağı sektöründe var olan pirina kurutma tesisleri pirinayı yakıt olarak kullanım amacıyla kurutmak üzere dizayn edilmiş durumdadır. Ayrıca var olan pirina kurutma sistemlerinde, genellikle nem oranı daha düşük olan 3-fazlı sistemlerin çıktısı olan pirina kurutulmaktadır (ÇTÜE, 2015). Genellikle döner tip kurutucularda pirinayı kurutmak amacıyla 400-800°C'ta sıcak hava kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak mevcut döner kurutucularda yüksek sıcaklıkta kurutulan pirinanın oksidasyon içeriği, serbest asitliği, PAH oluşum miktarı artmaktadır. Pirina işleme tesislerinde yüksek sıcaklıkta kurutulan pirinaların kalite özelliklerini kaybettiği için ancak yakıt olarak değerlendirilebilmektedir.

Pirina işleme tesisleri nem içeriği yüksek olduğu için kurutma maliyetini arttırdığından dolayı 2-fazlı pirinayı işlemek istememektedir. 2-fazlı sistemden gelen pirina üç ana karakteristik ile tanımlanabilir; yüksek nem içeriği (%60-70, yaş temel), yüksek heterojenlikte bir katı (çok farklı bileşenler içermekte) ve düşük ısıl stabilite. Tüm bu özellikler 2-fazlı pirinanın kurutulmasını güçleştirmektedir.

Literatür incelemesi sonucunda 2-fazlı pirinanın kurutulmasına yönelik çalışmaların kısıtlılığı göze çarpmaktadır. Bunun yanı sıra yapılan çalışmalar genellikle pirinanın kurutulmasının modellenmesi üzerine gerçekleştirilmiş, kurutulmuş pirinanın kalite karakteristiklerinin değişimi göz ardı edilmiştir. Hali hazırdaki kurutucu sistemler ile 3-fazlı ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen pirinanın kurutulması başarıyla gerçekleştirilmektedir. Fakat 2-fazlı pirinayı ön işlem (3-fazlı pirina ile karıştırmak veya santrifüj ile karasuyu ayırmak gibi) gereksinimi duymaksızın %8-10 nem içeriğine kadar kurutmayı etkin bir şekilde gerçekleştirebilecek, pirinanın kalite kayıplarını azaltacak, enerji maliyeti düşük, sanayi ölçekli ve sürekli sistem bir kurutma sistemi bulunmamaktadır. Günümüzde 2-fazlı ekstraksiyon sisteminin öneminin anlaşılmasıyla birlikte, 2-fazlı pirinayı hiçbir ön işlem gereksinimi duymadan direkt olarak etkin bir şekilde kurutacak, sanayi ölçekli bir kurutma yöntemi veya kurutucu sistemin olmayışı çözüme ulaştırılması gereken sorunlar arasında yerini almıştır. Yeni geliştirilecek kurutma yöntemleri veya kurutucu sistemleriyle daha kaliteli pirina kurutmanın sağlanmasıyla pirinanın katma değerinin artması sağlanarak; pirinanın yakıt olarak kullanılması yerine hayvan yemi olarak ve/veya ikincil yağ eldesinde kullanımı önem kazanabilecek, ülkemiz teknolojik ve alt yapısal gelişimine katkıda bulunulabilecek, ülke ekonomisine katkı sağlanabilecektir.

Sonuç

Zeytinden yağ elde edilirken işleme yöntemine göre karasu ve/veya pirina olmak üzere bir veya iki atık ortaya çıkmaktadır. Zeytinin yağa işlenmesiyle birlikte ortaya çıkan pirina ıslak yapıda zeytinyağını, çekirdeğini ve etini içeren değerli bir yan üründür. Zeytinyağı eldesinde kullanılan 3-fazlı sistem ile 2-fazlı sistem arasındaki en önemli fark üretim sonunda ortaya çıkan katı yan ürünün nem içeriğidir. 3-fazlı sistem kullanılması ile %35-40 (yaş temelde) nem içeriğine sahip pirina elde edilirken, 2-fazlı

sistemlerde ise %60-70 (yaş temelde) nem içeriğine sahip pirina elde edilmektedir. Yüksek nem içeriğine sahip bu ürünlerin uygun kurutucu sistemlerde kurutulması değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla döner kurutucu, tepsili kurutucu, akışkan yatak kurutucu, kabin tipi kurutucu gibi farklı çalışma prensibine sahip kurutucular çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Son zamanlarda karasuyun yaratmış olduğu çevre kirliliği nedeniyle zeytinyağı üretiminde 3-fazlı sistemin terk edilmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır. Buna karşılık 2-fazlı üretim sonucunda oluşan pirinanın nem içeriğinin yüksek olması ise depolama, taşıma ve kurutma maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca, yüksek şeker ve nem içeriği 2-fazlı pirinanın kurutulmasında sorunlara sebep olmaktadır. Kurutma sorunları, artan kurutma maliyetini de beraberinde getirmektedir. 2-fazlı üretim sonucunda elde edilen pirinanın nem içeriğini düşürmek için ya santrifüjleme uygulanıp 3-fazlı pirina için kullanılan kurutucuya uygun şekilde getirilmekte ya da 2-fazlı pirina ile 3-fazlı üretimden çıkan pirinalar karıştırılarak nem içeriği düşürülüp yine 3-fazlı pirina için kullanılan kurutucuya uygun hale getirilmektedir. Fakat bu gibi kalıcı olmayan çözümler maliyet ve zaman kayıplarına yol açmaktadır. Mevcut pazarda direkt olarak 2-fazlı pirinanın kurutulmasını gerçekleştirecek bir kurutucu sistemin bulunmaması bu sorunun kalıcı ve etkin bir çözüme ulaşabilmesi için 2-fazlı üretimden oluşan pirinaya özgü bir kurutucu sisteme ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır.

Kaynaklar

- Akgün NA, Doymaz I. 2005. Modelling of olive cake thin-layer drying process. *Journal of Food Engineering*, 68: 455-461.
- Alkhamis TM, Kablan, MM. 1999. A process for producing carbonaceous matter from tar sand, oil shale and olive cake. *Energy*, 24: 873-881.
- Arjona R, Ollero, P, Vidal,FB. 2005. Automation of an olive waste industrial rotary. *J. Food Eng.*, 68: 239-247.
- Athanasia MG, Athanasios NC, Harris NL. 2015. Drying and Shrinkage Kinetics of Solid Waste of Olive Oil Processing. *Drying Technology*, 33(14): 1728-1738.
- Azbar N, Bayram A, Filibeli A, Müezzinoğlu A, Şengül F, Özer A. 2004. A Review of Waste Management Options in Olive Oil Production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34: 209-247.
- Azbar N, Vardar N, Akın M, Cevilan I. 2002. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı. *Balıkesir Üniversitesi*, 36.
- Bakırloğlu D. 2006. Avrupa Birliği'ndeki önemli Zeytinyağı İhracatçıları ve Türkiye. *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İzmir*. 19-23.
- Baloğlu Z, Bayrak A. 2006. Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)'lardan Benzo(a)pirenin Sızma, Riviera ve Prina Zeytinyağlarında Belirlenmesi. *GIDA*. 31(5): 239-251.
- Başkan AE. 2010. Zeytinyağı İşletmelerinin Atıkları ve Değerlendirilme Yolları. *T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı*, 1-3.
- Battaloğlu R. 2009. Investigation of the Samples of Marl Gathered from Niğde City for the Residues of Pesticides and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH). 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı. *Ürgüp Bld. Kültür Merkezi, Ürgüp-Nevşehir*.
- Beken Y. 2009. Zeytinyağı Sanayi Atığı Zeytin Posasının(Pirina) Besin Madde İçeriğinin Tespiti ve Kuzuların Beslenmesinde Kullanım Olanakları. *Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay*

- Brozzoli V, Settimio B, Stefano T, Conto G, Federici F, D'Annibale A, Petruccioli M. 2010. Stoned Olive Pomace Fermentation with *Pleurotus* Species and Its Evaluation as a Possible Animal Fed. *Enzyme and Microbial Technology*. 46: 223-228.
- Celma A, Cuadros F. 2009. Energy and exergy analyses of OMW solar drying process. *Renewable Energy*, 1: 660-666.
- Çarıkcı B. 2015. Türkiye'nin Zeytinyağı İhracatı Hedef Pazarlarının çok Kriterli Karar verme Teknikleriyle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelen S, Aktaş T, Karabeyoğlu S, Akyıldız A. 2015. Zeytin Pirinasının Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Kurutulması ve Uygun İnce Tabaka Modelinin Belirlenmesi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 12:02.
- ÇTÜE (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü). 2015. Zeytin Sektörü Atıklarının Yönetimi Projesi, Gebze/Kocaeli.
- Demirtepe M. 2008. Balık Yemlerinde Pirina ve Pirina Yağı Kullanımı Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Dermeche S, Nadour M, Larroche C, Moulti-Mati F, Michaud P. 2013. Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry*, 48: 1532-1552.
- Diacono M, Donato F, Corrado C, Tittarelli F, Ceglie F, Verrastro V, Ventrella D, Vitti C, Montemurro F. 2012. Bioassays and Application of Olive Pomace Compost on Emmer: Effects on Yield and Soil Properties in Organic Farming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 62:6, 510-518.
- Doymaz I, Gorel O, Akgun NA. 2004. Drying Characteristics of the Solid By-product of Olive Oil Extraction. *Biosystems Engineering*, 88(2): 213-219.
- Ergönül PG, Kaya D. 2015. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Gıdalarda Önemi. *CBÜ Fen Bil. Dergi*. 11(2): 143-153.
- Gomez de la Cruz FJ, Casanova-Pelaez PJ, Palomar-Carnicero, JM, Cruz-Peragon F. 2015. Modeling of olive-oil mill waste rotary dryers. *Applied Thermal Engineering*, 80: 362-373.
- Gomez-Munoz B, Hatch DJ, Bol R, Dixon ER, Garcia-Ruiz R. 2010. Gross and Net Rates of Nitrogen Mineralisation in Soil Amended with Composted Olive Mill Pomace. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 25: 1472-1478.
- Gomez-Munoz B, Hatch DJ, Bol R, Garcia-Ruiz R. 2013. Agrochemical Characterization, Net N Mineralization and Potential N Leaching of Composted Olive-mill Pomace Currently Produced in Southern Spain. *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 176: 655-664.
- Göğüş F, Maskan M. 2001. Drying of olive pomace by a combined microwave-fan assisted convection oven. *Nahrung/Food*, 2: 129-132.
- Göğüş F, Maskan M. 2006. Air drying characteristics of solid waste (pomace) of olive oil processing. *Journal of Food Engineering*, 72: 378-382.
- Göğüş F, Özkaya MT, Ötleş S. 2009. Zeytinyağı, Eflatun Yayınevi, Ankara, 274.
- Gönen Y. 2011. Hedef Pazarlarda Uluslararası Fiyat Araştırması ve Zeytin Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Görel Ö, Kırmacı E, Doymaz I, Akgün NA. 2003. Zeytinyağı Fabrika Atıklarının Değerlendirilmesi. *Kimya Teknolojileri*, No: 26.
- Gümüşkesen A, Yemişçiöğlü F. 2004. Bitkisel Yağ Teknolojisi. İzmir, 224.
- Gürü M. 2001. Uçucu Kül ve Pirinadan PlastikKompozit Malzeme Üretim. *Politeknik Dergisi*, 4(1): 35-38.
- Hernández V, Romero-García JM, Dávila JA, Castro E, Cardona CA. 2014. Techno-economic and environmental assessment of an olive stonebased biorefinery Resources. *Conservation and Recycling*, 92: 145-150.
- İlten, N, Alkan M, Demirbaş Ö. 2000. Pirinanın yakıt olarak değerlendirilmesi. Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V. Ulusal Sempozyumu, 19-21 Haziran 2000, Elazığ.
- Karaca C, Bozoğlu B, Polat O. 2015. Hatay İli Pirina Atık Miktarının ve Enerji Potansiyelinin Haritalanması. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*. 29(2): 55-60.
- Kaya G. 2009. Zeytin Karasuyunun Pilot Ölçekli Tesislerde Fiziko-Kimyasal ve İleri Arıtma Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Keleş G. 2015. Zeytin Posasının Ruminantlar için Besin ve Besleme Değeri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 3(10): 780-789.
- Köseoğlu O. 2006. Zeytinden Yağ Elde Etme Sistemlerinin Zeytinyağının Kalitesi ile Açılışı Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Leon-Camacho M, Viera-Alcaide I, Ruiz-Mendez MV. 2003. Elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons by bleaching of olive pomace oil. *Euro J. Lipid Sci. Technol.*, 105: 9-16.
- Liebanes MD, Aragon, JM, Palancar MC., Arevalo G, Jimenez D. 2006. Fluidized bed drying of 2-phase olive oil mill by-products. *Drying Technology*, 24: 1609-1618.
- Lopez-Pineiro A, Murillo S, Barreto C, Munoz A, Rato JM, Albarran A, Garcia A. 2007. Dhanges in Organic Matter and Residual Effect of Amendment with Two-phase Olive-mill Waste on Degraded Agricultural Soils. *Science of the Total Environment*. 378: 84-89.
- Meziane S. 2011. Drying Kinetics of Olive Pomace in a Fluidized Bed Dryer. *Energy Conversion and Management*, 52(3): 1644-1649.
- Milczarek RR, Dai AA, Otoni CG, McHugh TH. 2011. Effect of Shrinkage on Isothermal Drying Behavior of 2-phase Olive Mill Waste. *Journal of Food Engineering*. 103: 434-441.
- Moral PS, Mendez, MVR. 2006. Production of pomace olive oil. *Grasas Y Aceites*, 57(1): 47-55.
- Oktar A, Çolakoğlu A, Işıklı T, Acar H. 1983. Zeytinyağı ve Teknolojisi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Zeytincilik Araştırma Enstitüsü. Yayın No: 27. Bornova-İzmir.
- Oktav E, Özer A. 2002. Zeytinyağı endüstrisi atıklarının özellikleri ve arıtım alternatifleri. 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı, 07-09 Haziran 2002, Zeytinli/Edremit-Balıkesir.
- Oktav E, Şengül F. 2003. Zeytinyağı üretimi atıklarının distilasyon yöntemiyle arıtımı. *SKKD*. 13(3): 8-17.
- Ortaburun A, Özturan M, Turan U. 2014. 2 faz Pirinanın Klasik Döner Kurutucular yerine Düşük Sıcaklıkta Kalitesinin Korunarak Kurutulması için Yöntem Geliştirilmesi. Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği, İzmir.
- Özden F. 2006. Türkiye'nin Zeytinyağı Dış Ticareti, Uygulanan Politikalar, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Papaoiannou EH, Patsios SI, Karabelas AJ, Philippopoulos NA. 2013. Characterization of condensates from an indirect olive oil pomace drying process: The effect of drying temperature. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1: 831-837.
- Paredes C, Bernal MP, Roig A, Cegarra J. 2001. Effects of olive mill wastewater addition in composting of agro-industrial and urban wastes. *Biodegradation*, 12: 225-234.
- Ranelli A, Martinelli, N. 1995. Integral centrifuges for olive oil extraction at the third millennium threshold, Transformation yield. *Grasas y Aceites*, 46: 255-263.
- Sadi T, Meziane S. 2015. Mathematical modelling, moisture diffusion and specific energy consumption of thin layer microwave drying of olive pomace. *International Food Research Journal*, 22(2): 494-501.

- Tercan S. 2009. Zeytinyağı fabrikası atıklarında polifenol analizi ve ısıtma işlemlerinin pirina ekstraktlarının polifenol konsantrasyonuna ve antioksidan aktivitesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- TGK (Türk Gıda Kodeksi Gıda maddeleri Bulaşanlar Tebliği). 2011-28157.
- TGK (Türk Gıda Kodeksi ve Prina Yağı Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği). 2014-29181.
- Torrecilla JS, Aragon JM, Palancar M. 2005. Modeling the Drying of a High-Moisture Solid with an Artificial Neural Network. *Ind. Eng. Chem. Res*, 44: 8057-8066.
- Troche SV, Falcon MSG, Amigo SG, Yusty MAL, Lozano JS. 2000. Enrichment of Benzo(a)pyrene in Vegetable Oils and Determination by HPLC-FL. *Talanta*. 51: 1069-1076.
- Ulusal Zeytin ve Zeytinyağı Konseyi. 2015. Türkiye Zeytin Rekolte Raporu 2014-2015. Aydın Ticaret Borsası, Aydın, Türkiye.
- Vega-Galvez A, Margarita M, Diaz LP, Lopez L, Rodriguez K, Di Scala K. 2010. Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive-waste cake. *Bioresource Technology*, 101: 7265–7270.
- Zanzi R, Minkova V, Razvigorova M, Bjornbom, E, Budinova T, Petrov N. 2001. Effect of water vapour and biomass nature on the yield and quality of the pyrolysis products from biomass. *Fuel Processing Technology*, 1: 53–61.