



T.C
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEYTİN KARASUYUNUN ARITILMASINDAN KAYNAKLANAN ARITMA
ÇAMURLARININ BERTARAFI

Gölnur KOÇI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010



T.C
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEYTİN KARASUYUNUN ARITILMASINDAN KAYNAKLANAN ARITMA
ÇAMURLARININ BERTARAFI

Prof. Dr. Kadir KESTİOĞLU
(Danışman)

Gülnur KOÇI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEYTİN KARASUYUNUN ARITILMASINDAN KAYNAKLANAN ARITMA
ÇAMURLARININ BERTARAFI

Gölnur KOÇI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 5 /11/2010 tarihinde aşğıdaki jüri tarafından oybirliğı/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof.Dr. Kadir KESTİOĞLU
ASİL ÜYE



Yrd. Doç. Dr. Taner YONAR
ASİL ÜYE



Yrd.Doç.Dr. Ali KARA
ASİL ÜYE

ÖZET

Zeytinyağı üretiminde ortaya çıkan atıksu, organik madde, askıda katı madde, polifenoller, yağ ve gres bakımından yüksek konsantrasyonlar içermektedir. Yağ ve etrafa yaydığı koku sebebiyle önemli bir kirlilik potansiyeli oluşturan zeytinyağı üretimi atıksuyunun arıtımı ve bertaraf edilmesi, oluşturacağı çevresel riskler açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Marmarabirlik Bursa tesislerinde oluşan zeytinyağı üretimi atıksuyunun arıtımına yönelik olarak Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından kurulan ve işletilen pilot arıtma tesisinden çıkan yağlı çamurların ve pirinanın sera benzeri bir pilot tesiste kurutularak bertarafı araştırılmıştır. Çalışmada 7 gün sonunda toplam $2693,5 \text{ W/m}^2$ güneş radyasyonuna maruz kalan atık çamurun %12 Katı Madde (KM) içeriğinden %49 KM'ye, ağırlıkça 1:1 oranında karıştırılan atık çamur ve pirinanın % 29 KM'den %99,9 KM'ye, pirinanın ise % 46 KM'den %99,4 KM'ye ulaştığı görülmüştür. İki farklı atık karıştırılarak, yüksek kalorifik değerli bir ürün elde edilmiştir, atık hacmi azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Zeytinyağı, atık yağlı çamur,pirina, güneşle kurutma.

ABSTRACT

Olive oil mill wastewater contains high concentrations of organic matter, suspended solids, polyphenols, oil, and grease. Olive oil mill wastewater treatment is necessary because of the potential environmental risks of the wastewater such as oxygen demand, odour release etc. In this study, solar drying of waste oily sludge and bagasse originated from an olive oil mill wastewater treatment pilot plant, which was built and operated by Uludag University Environmental Engineering Department at the field of Marmarabirlik Olive and Olive Oil Company, was investigated. Drying results of the sludge after the exposure to solar radiation ($2693,5 \text{ W/m}^2$) were found as follows: Dry solids (DS) ratio of waste oily sludge increased from 12%DS up to 49%. DS ratio of bagasse+waste oily sludge mixture (1:1, w/w) increased from 29 % DS to 99,9% DS, and the DS of bagasse increased from 46 %DS to 99,4 %DS. A product with high calorific value is produced, waste volume is decreased by mixing two different waste.

Keywords : Olive oil, waste oily sludge, bagasse, solar drying.

İÇİNDEKİLER

No	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Çamurun Özellikleri.....	4
2.1.1. Çamurdaki Suyun Dağılımı.....	4
2.2. Çamur Susuzlaştırmanın Önemi.....	5
2.3. Çamur Susuzlaştırma Yöntemleri.....	7
2.3.1. Kurutma Yatakları	7
2.3.2. Çamur Lagünleri.....	7
2.3.3. Vakum Filtrasyonu.....	8
2.3.4. Pres Filtreler.....	9
2.3.5. Santrifüjler.....	9
2.4. Zeytinyağı Üretimi ve Üretimi Sırasında Oluşan Atıkların Özellikleri.....	11
2.4.1. Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Atıkların Özellikleri	14
2.4.2. Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Katı Atıkların Yararlı Kullanımı ve Bertarafı	17
2.4.3. Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Katı Atıkların Yakılması.....	19

2.4.4. Zeytinyağı Üretimi Atıksuları Arıtımından Kaynaklanan Çamurların Bertarafı Konusunda Dünyada Yapılan Çalışmalar	23
2.5. Güneşle Çamur Kurutmayla İlgili Yapılan Çalışmalar (Seralar).....	26
2.5.1 Seraların Özellikleri.....	30
2.5.1.1 Seraların Çalışma Prensipleri	30
2.5.1.2 Yılın Farklı Zamanlarındaki Azimut Açısı.....	30
2.5.1.3 Seraların Yerleşim Eksenleri	31
2.5.2. Seraların Şekli.....	32
2.5.3. Kuzey Duvarı İzolasyonu.....	32
2.5.4. Çift Kat Örtüler.....	32
2.5.5. Isıl Örtüler.....	33
3. MATERYAL METOD.....	34
3.1. Zeytinyağı Üretiminden Kaynaklanan Atıksuyun Arıtımında Kullanılan Pilot Tesisin Tanıtımı	34
3.2. Arıtma Tesisi Asit Kraking Sonrası Oluşan Yağlı Çamurun Kurutulduğu Pilot Tesis	36
3.3. Yağlı Çamur Numunesinin Özellikleri.....	38
3.4. Deneysel Çalışma Süreci	40
3.1. Değerlendirme Süreci	41
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	42
4.1. Çamur Kurutma Seralarında Dış ve İç Ortam Arasındaki İlişki.....	43
4.2. Katı Madde ve Eklenik Radyasyon İlişkisi.....	45
4.3.Kızdırma Kaybı Değişimleri.....	47

5. SONUÇLAR	48
6.KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	57
TEŞEKKÜR.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Zeytinyağı Ayırma Prosesleri.....	11
Şekil 3.1. Zeytinyağı Atıksuyu Arıtma Tesisi Akım Şeması.....	34
Şekil 3.2. Marmarabirlik Tarım Kooperatifinde Kurulan Pilot Tesisin Görünüşü.....	35
Şekil 3.3. Çamur Kurutma Pilot Tesisi Şematik Görünümü.....	36
Şekil 3.4. Pilot Güneşle Kurutma Sistemi Önden Görünüş	37
Şekil 4.1. İç ve Dış Ortam Sıcaklık ve Nem Değişimleri	43
Şekil 4.2. Katı Madde ve Eklenik Radyasyon Arasındaki İlişki	45
Şekil 4.3. Kurutma Sırasında Kızdırma Kaybı Yüzdelerindeki Değişim.....	47

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Bir Ton Zeytinin İşlenmesine Bağlı Olarak Proseste Madde ve Enerji Dengesi, Girdi-Çıktı Analizi	13
Tablo 2.2. Atıksu-Katı Atık Karışımı (<i>Alperujo</i>) Karakteristiği.....	15
Tablo 2.3. Üç Fazlı Prosesten Kaynaklanan Atıksu Özellikleri	16
Tablo 2.4. Pres ve Üç Fazlı Proseslerden Kaynaklanan Atıksu Özellikleri.....	16
Tablo 2.5. Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Yanabilir Katı Atıkların Kuru Ağırlığı Üzerinden Analiz Sonuçları.....	19
Tablo 2.6. Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Yağsızlaştırılmış Katı Atıkların Yakılması ile Oluşan Yarım Saatlik Ortalama Emisyon Konsantrasyonları	20
Tablo 2.7. İkincil Hava Beslemesi Olmadan Sabit Izgaralı ve Döner Izgaralı Yanma Sistemlerinde Gerçekleştirilen Emisyon Testi Sonuçları.....	22
Tablo 2.8. Kompostta Kullanılan Lagün Çamuru ve Ağaç Atıklarının Genel Özellikleri.....	24
Tablo 2.9. Kapalı Yatakta Çamur Kurutma Maliyeti Ticari Verileri.....	29
Tablo 3.1. Yağlı Çamur Numunesi Karakterizasyonu	38
Tablo 3.2. Yağlı Çamur, Pirina ve Yağlı Çamur, Pirina Karışım Numunelerinin Özellikleri.....	40
Tablo 4.1. Günlük Ortalama En Yüksek ve En Düşük İç ve Dış Ortam Verileri.....	43

1. GİRİŞ

Dünyada zeytinyağı üretimi bakımından en büyük üretici ülkeler, İspanya, İtalya ve Yunanistan'dır. Türkiye, dünya zeytinyağı üretiminde 4. sıradadır ve ortalama yıllık 99.000 ton zeytinyağı üretimi ile dünya üretiminin % 4.6'sını, 36.400 ton ihracatla ise dünya ihracatının %10'unu karşılamaktadır. Türkiye'de Ege, Marmara, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde zeytin ağacı yetiştirilmektedir. Bu ağaçların %75'i Ege, % 9.3'ü Marmara, %14'ü Akdeniz, %1.7'si Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır (İkizoğlu ve Haskök, 2005). Zeytinyağı üretimi sırasında oluşan atıksuyun arıtımı içerdiği kirlilik yükleri sebebiyle oldukça güçtür. Yüksek kirlilik içeren atıksuyun arıtımı için pek çok arıtma yöntemi geliştirilmiş ve denenmiştir (Şengül ve ark., 2003). Zeytinyağı üretim proseslerinden çıkan atıksuyun miktarı ve özellikleri; üretim teknolojisine, zeytin çeşidine, zeytin ağaçlarının yetiştiği toprak ve iklim özelliklerine, zeytin hasat zamanına ve olgunluk derecesine, pestisit ve gübre kullanımına bağlıdır. Bu arada zeytin üretimi sonucunda çıkan atıksuya ait bazı temel özellikler şu şekilde sıralanmaktadır: Koyu kahverengi-siyah bir renk, özel zeytinyağı kokusu, çok yüksek organik kirlilik yükü (KOI değeri 220 g/l'ye çıkabilir ve KOI/BOI₅ oranı 2.5-5 arası ve zor ayrışabilir), pH değeri 3-5.9 (zayıf asit), yüksek miktarda polifenoller (80 gr/l'te çıkabilir) ve yüksek miktarda katı madde (total katılar 20 g/l'ye çıkabilir) (Anonim, 2000). Ülkemizde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY) zeytinyağı sektörü atıksuları için alıcı ortama deşarj standartları verilmiştir. Buna göre KOI'nin 230 mg/L, yağ ve gres 40 mg/L'nin altına indirilmesi gerekmektedir. Fakat zeytin ve zeytinyağı, üreticilerinin bir çoğu küçük çaplı işletmeler oldukları ve yılın sadece belli dönemlerinde üretim gerçekleştirdikleri için düşük miktarlarda atıksu üretmektedirler. Ayrıca bu işletmelerin üretim kapasiteleri değişiklik göstermekte ve işletmelerin büyük bir kısmı küçük yerleşim yerlerinde bulunmaktadır. Bu yüzden SKKY'nde verilen deşarj standartlarının sağlanması için arıtma tesislerinin kurulması ve işletilmesi ekonomik yönden oldukça yüksek maliyetler getirmektedir. Bunun yanı sıra birde arıtım sırasında oluşan yağlı çamurun bertaraf maliyeti söz konusudur.

Bu çalışmanın amacı karakterizasyonu belirlenen yağlı arıtma çamurunun en uygun bertaraf alternatifinin hayata geçirilmesidir. Bu çalışmada Marmarabirlik (S.S. Marmara Zeytin Tarım Satış Kooperatifleri Birliği) tesislerinde oluşan zeytinyağ üretimi atıksuyunun arıtımına yönelik olarak Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından kurulan ve işletilen pilot arıtma tesisinden çıkan yağlı çamurların sera benzeri bir pilot tesiste kurutularak bertarafı araştırılmıştır. Oluşan yağlı çamurun tek başına ve zeytinyağı üretim endüstrisinin bir diğer atığı olan pirina ile karıştırılarak serada güneş enerjisiyle kurutulması süreci incelenmiştir.

Çamurun kurutulması, çamur içerisindeki suyun katı kısımdan ayrılarak buharlaştırılmasını zorunlu kılmaktadır (Vaxelaire ve ark.,2000). Kurutma proseslerinin tasarımı ve optimizasyonu için ön şart buharlaşmanın anlaşılmasıdır (Schwartz ve Bröcker,2000). Çamur içerisindeki su farklı özellikler gösterdiği için genel olarak iki ana kısımda düşünülmektedir. Bunlardan birincisi: katı taneciklere bağlı olmayan serbest su, diğeri : buharlaştırılması zor olan bağlı su kısmıdır (Vaxelaire ve Cezac, 2004).

Güneşle atıksu arıtma çamurlarının kurutulması konusunda yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalarda kentsel atıksu arıtma çamurlarının hacimlerinin azaltılması ve ilave stabilizasyon amacıyla otomatik güneşle kurutma tesislerinden bahsedilmektedir (Luboschik,1999; Haralambopoulos ve ark.,2002;Bux ve ark.,2002). Luboschik (1999) atıksu arıtma çamurlarıyla yaptığı çalışmada güneşle kurutma sistemi işletme maliyetlerinin konvansiyonel mekanik kurutma sistemlerine göre daha düşük olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca atık ısı kaynağına sahip olunması ve bu kaynağın tabandan ısıtmada kullanılması durumunda kurutma performansının arttığını belirtmiştir.

Salihoğlu (2007 a), atıksu arıtma çamurlarıyla yaptığı çalışmada kullandığı pilot tesisin tasarım amaçlarını; güneş enerjisinden yararlanarak kurutma maliyetlerinin azaltılması, kurutma sırasında dış ortam şartlarının etkilerinin en aza indirilmesi, oluşturulan hacimde sinek, koku ve uçucu bileşiklerin kontrolünün sağlanması, taşınabilir, depolanabilir ve farklı amaçlarla kullanılabilecek ürün eldesi, istenildiğinde bir kompost tesisine de dönüştürülebilen ve özel durumlarda geçici depolamanın da gerçekleştirilebileceği bir hacim oluşturulması, çamur şartlandırmada kullanılan kimyasal miktarının azaltılması, sistemdeki ısının korunması ve ilave enerji kaynağı kullanımını mümkün kılan bir yaklaşım olarak sıralamıştır.

Çalışmamızda kurutma için tasarlanmış bir pilot tesis kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi kullanılarak yağlı çamurun tek başına ve pirina ile ağırlıkça (1:1) oranında karıştırılarak bir arada bertarafının sağlanması ve farklı amaçlarla kullanılabilir yeni ürün eldesi hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Atıksu arıtımı sonucu oluşan sıvı ya da yarı katı halde,kokulu; uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak % 0.25 ile %12 katı madde içeren atıklar arıtma çamuru olarak isimlendirilir. Çamur Çevre Mühendisliği'nde önemli bir sorundur. (Filibeli,1996) Çünkü;arıtılmamış atıksu içinde önemli miktarlarda bulunan ve ona kokulu karakterini veren maddeleri içerir,biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamur, ham atıksu içerisindeki maddelerin bileşimi halinde,fakat başka bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğilimindedir,çamurun sadece küçük bir kısmı katı madde, önemli bir kısmı sudur, bu nedenle büyük hacimler işgal eder.

Çamur atıksu arıtma tesislerinde genel olarak mevcut ünitelere bağlı olarak ön çökeltim tanklarından, kimyasal çökeltim tanklarından, son çökeltim tanklarından, çamur yoğunlaştırıcılardan, çürütücülerden çıkabilir (Filibeli 1996).

2.1 Çamurun Özellikleri

2.1.1. Çamurdaki Suyun Dağılımı

Çamurdaki su, ya serbest su halindedir veya partiküllere yapışık haldedir.

Çamurdaki suyu 4 grup halinde incelemek gerekir;

Serbest Su: Çamur partiküllerine bağlı olmayıp, graviteli çökme ile kolayca ayrılır.

Flok Suyu : Floklar içinde hapsedilmiş su olup, yumakla birlikte hareket eder, mekanik su alma işlemleri ile giderilebilir.

Kapiler Su: Partiküller üzerinde bağlı (yapışık) halde bulunur ve partiküllerin sıkıştırılarak deformasyonları sonucu uzaklaştırılabilir.

Kimyasal Bağlı Su: Partiküller içinde kimyasal olarak bağlanmış sudur.

Arıtma tesislerinden çıkan çamurun kolayca uzaklaştırılabilmesi için sıvı halinden çıkıp katı hale dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle çamura, içerdiği su miktarının azaltılması için, değişik işlemler uygulanmalıdır. Arıtma çamurları genellikle yoğunlaştırma işlemi sonrasında susuzlaştırma işlemine tabi tutulurlar. Susuzlaştırıcı olarak seçilecek olan ünitenin verimli olmasına dikkat edilmelidir (Salihoğlu,2007).

2.2 Çamur Susuzlaştırmanın Önemi

Çamurların suyunun alınması, aşağıdaki sebeplerden bir veya birkaçının bir araya gelmesinden dolayı, çamurun su muhtevasının azaltılmasında kullanılan fiziksel (mekanik) bir işlemdir.

- 1- Çamur hacmi su alma işlemi ile azaltıldığı takdirde, çamurun nihai bertarafı amacıyla gerekli bölgeye taşınımında maliyet önemli ölçüde azalmaktadır.
- 2- Suyu alınmış çamurun bertarafı genellikle yoğunlaştırılmamış ya da sulu çamura nazaran daha kolaydır. Pek çok durumda suyu alınmış çamur kürenerek, traktörle ve bant taşıyıcılarla taşınabilir.
- 3- Su alma işlemi yakma tesislerinde enerji maliyetini azaltmak amacıyla fazla suyun uzaklaştırılmasında gereklidir.
- 4- Su alma işlemi, kompostlaştırma öncesi hacim artırıcı maddelerin tüketimini azaltmak amacıyla çamurlara uygulanır.
- 5- Su alma işlemi, kimi durumlarda çamurun kokusuz hale getirilmesi amacıyla çamur bünyesindeki fazla nemin giderilmesi amacıyla da kullanılabilir.
- 6- Depolama sahalarında bertarafı planlanan çamurların oluşturacakları süzüntü suyu miktarını azaltmak amacıyla kullanır. (Metcalf ve Eddy, 1991)

Suyun uzaklaştırılması amacıyla pek çok sayıda teknik, çamur su alma tesislerinde kullanılmaktadır. Çamurun suyunu güvenilir bir biçimde uzaklaştırmak amacıyla bazı doğal buharlaşma ve sızma metodları kullanılır. Mekanik su alma tesislerinde ise fiziksel yöntemler kullanılmaktadır ve çamur suyu çok çabuk bir biçimde alınır. Bu fiziksel yöntemler, filtrasyon, sıkıştırma, kapiler emme, vakum ve santrifüjdür (Metcalf ve Eddy 1991).

Su alma ekipmanının seçimi; suyu alınacak çamurun tipine, suyu alınmış ürünün karakteristiğine ve mevcut alana göre belirlenir. Arazi kullanımının sınırlayıcı bir koşul olmadığı küçük tesisler için genellikle kurutma yatakları veya lagünler kullanılır. Buna karşın dar alana kurulmuş tesislerde ise, genellikle mekanik su alma tesisleri tercih edilir.

Bazı çamurların, özellikle aerobik olarak parçalanmış çamurlar, mekanik su alma tesisleriyle sularının alınması güçtür. Bu çamurların suyu kum yataklarında iyi bir biçimde alınabilir. Herhangi bir özel çamurun suyunun alınması gerektiği takdirde

laboratuar veya pilot ölçekli bir tesis kurmadan, su alma amacıyla optimum su alma metodunun belirlenmesi çok güç, hatta imkansızdır . (Metcalf ve Eddy, 1991)

2.3 Çamur Susuzlaştırma Yöntemleri

Çamur susuzlaştırma yöntemleri, doğal su alma yöntemleri ve mekanik su alma yöntemleri olarak ikiye ayrılabilir. Kurutma yatakları ve çamur lagünleri doğal, vakum filtreler, pres filtreler ve santrifüjler mekanik su alma yöntemleri olarak sıralanabilir.

2.3.1. Kurutma Yatakları

Çamur kurutma yatakları, çamur susuzlaştırma amacıyla geçmişte kullanılmış olan ilk metoddur. Kurutma yatakları basitçe kum tabanlı ve dren borularıyla donatılmış sığ havuzlardır. Çamur bu yataklara 15-30 cm yüksekliğinde pompalanır. Stabilizasyon işlemlerinden sonra elde edilen çamurlar, çamur kurutma yataklarında kurutulurlar. Kurutma işlemlerinden sonra da , nihai bertaraf amacıyla düzenli depolama sahalarına gönderilirler veya tarımsal amaçlı gübre olarak toprakta kullanılırlar.

Çamur kurutma yataklarının en önemli avantajları maliyetinin düşük olması, işletilmeleri için özel bir itina gerektirmemesi ve elde edilen çamur kekinin katı madde içeriğinin yüksek oluşudur. Dört farklı tipte kurutma yatağı kullanılmaktadır;

- Klasik kurutma yatakları
- Kaplamalı (paved) tipi kurutma yatakları
- Sentetik malzemeli kurutma yatakları
- Vakumlu kurutma yataklarıdır.

Klasik tipteki kum yataklı kurutma yatakları en yaygın olarak kullanılan kurutma yataklarıdır (Filibeli,1996).

2.3.2 Çamur Lagünleri

Kurutma lagünleri çürütülmüş çamurların suyunu almak için kurutma yataklarının yerine kullanılabilir. Koku ve rahatsız edici özelliklerinden dolayı arıtılmamış çamurlar, kireç çamurları veya konsantre kirlilikte çamurların suyunu almak için uygun değildir. Lagünlerin verimi, kurutma yataklarında olduğu gibi iklim, yağış ve su alma işlemlerini geciktiren düşük sıcaklıklar gibi etkenlere bağlıdır. Lagünler yüksek buharlaşma hızları

olan bölgelerde yaygın olarak kullanılırlar. Taban drenajı ve sızma ile su alma işlemi Çevre Mevzuatı'ndaki sıkı standartlar ile sınırlandırılmıştır. Lagün bölgesinde içme suyu amacıyla kullanılan akifer olması halinde lagün tabanının sızdırmazlığının sağlanması gereklidir. Çamur derinliği 0.75 – 1.25 m aralığındadır. Su alma işleminin ana mekanizması buharlaşmadır. Çamur suyunun dekantasyonu için gerekli düzenekler mevcuttur ve bu su arıtma tesisine geri döndürülür. Çamur mekanik olarak bertaraf edilir. Genellikle %25-30 KM içeriğindedir. Lagünlerin çevrim süresi birkaç ay ile birkaç yıl arasında değişir. Tipik olarak çamur 18 ay süreyle lagüne pompalanır, sonra lagün 6 ay süreyle dinlenmeye bırakılır. Katı madde yükleme kriteri 36-39 kg KM /m³ lagün hacim.yıl'dır. Minimum iki ünite yapılması esastır. Böylece temizleme esnasında depolama işlemi de sürdürülebilir (Filibeli,1996).

2.3.3. Vakum Filtrasyonu

Vakum filtrasyonu çamurun mekanik olarak suyunun alınmasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Kentsel nitelikli arıtma çamurlarının suyunun alınmasında yaklaşık olarak 60 yıldan beri yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir; fakat alternatif su alma ekipmanlarının yaygınlaştırılması ve geliştirilmesinden dolayı son yıllarda kullanımı azalmıştır. Sistemin kompleks oluşu, şartlandırıcı gereksinimleri ve sistemin işletme maliyetinin yüksek oluşundan dolayı kullanımı azalmıştır.

Tipik vakum filtre, daha önceden şartlandırılacak yaş çamurun bulunduğu hazne içinde kısmen batık durumda bulunan, yatay konumda dönen bir tamburdan ibarettir. Tamburun üst düzeyi gözenekli filtre malzemesi ile kaplıdır. Bu malzeme suyu alınacak çamurun özelliklerine göre seçilir. Yaygın olarak kullanılan filtre malzemesi bez bantlar ve kıvrık çelik yaylardan oluşan çelik hasır örtülerdir. Tambur birkaç bölgeden oluşmaktadır. Her bölge otomatik olarak vakum altına girer. Çamur haznesi içinden gereken vakum uygulanır, filtre malzemesi üzerinde çamur tabakası oluşur. Bu bölge çamur haznesi içerisine tekrar girinceye kadar vakum korunur. Bu noktada çamur keki otomatik olarak sıyrılır. Aynı vakum-dren hatları, her bölgeyi tambur ekseninde bulunan ve tamburla birlikte dönen vanaya bağlar. Bu vana, filtre devrinin çeşitli fazlarını kontrol eder ve filtratın tamburdan atılmasını sağlar. Tambur dönerken vana;

- 1- Kek oluşumu,
- 2- Kekin suyunu alma,
- 3- Kekin sıyrılması,

fazlarının gerçekleşmesini sağlar (Filibeli,1996).

2.3.4. Pres Filtreler

Pres filtrede, su alma işlemi, yüksek basınç uygulamak suretiyle çamurdan suyun ayrılmasıyla gerçekleştirilir. Pres filtrelerin avantajları;

- Çamur kekinde yüksek katı madde konsantrasyonlarının sağlanması,
- Filtrelenen çamur suyunun berraklığı,
- Yüksek katı madde tutulması

sayılabilir. Bu avantajların yanı sıra;

- Kompleks yapıya sahip olması,
- Yüksek kimyasal madde maliyeti,
- İşletme maliyetinin yüksek olması ,
- Filtre bezinin ömrünün kısa olması

gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır.

Çamurun suyunu almak üzere kullanılan çeşitli tiplerde pres filtreler mevcuttur.

Bunlar;

- Sabit hacimli hücreli plakalı pres filtreler,
- Değişken hacimli hücreli plakalı pres filtreler,
- Bantlı pres filtreler

sayılabilir (Filibeli,1996).

2.3.5. Santrifüjler

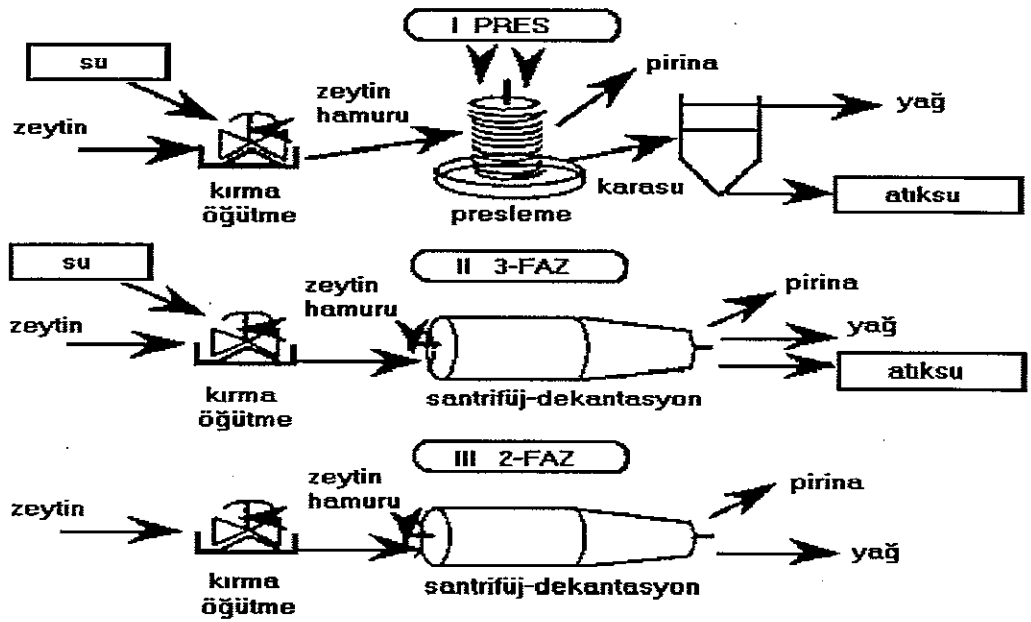
Santrifüjler hem çamurun yoğunlaştırılması hem de suyunun alınması amacıyla kullanılmaktadır. Santrifüjleme işleminde, merkezkaç kuvveti etkisi altında çamur katı maddeleri çamur suyundan ayrılır. Santrifüjlerde merkezkaç kuvveti, sulu çamurun içinde bulunduğu rotor tarafından oluşturulmaktadır. Çamur suyu savaklanarak sistemden uzaklaştırılır. Tamburdan konik veya kısmen konik olan santrifüjlere “dekantör” denilmektedir.

Santrifüjler için temel işletme parametreleri;

- Giriş çamurunun özellikleri,
- Santrifüj dönme hızı,
- Hidrolik yükleme,
- Santrifüjdeki sıvı derinliği,
- Verimi artırma için kullanılan polimer miktarıdır (Filibeli,1996).

2.4 Zeytinyağı Üretimi ve Üretimi Sırasında Oluşan Atıkların Yönetimi

Zeytinyağı üretimi preslerde gerçekleştirilmektedir. Presleme sonrasında zeytin posası ve kırık çekirdekler katı atık olarak ve zeytin özsuyu ile dekantasyon süresince eklenen su sıvı atık olarak oluşmaktadır. Kesikli ve sürekli prosesler zeytinyağı üretiminde kullanılan ana proseslerdir. Sürekli operasyondaki ayırma methoduna bağlı olarak , iki fazlı ve üç fazlı üretim teknolojileri tanımlanmaktadır. Bu prosesler temelde ihtiyaç duyulan proses suyu miktarına göre ayrılırlar. Üç fazlı sistemlerde proses suyu eklenir ve üç faz (yağ, atıksu, zeytin keki formunda katı atıklar) oluşturulur. İki fazlı bir tesis üç fazlı sisteme göre daha az suya ihtiyaç duyar ve iki faz (yağ, su – katı karışımı) (Şengül ve ark.,2000).



Şekil 2.1 : Zeytinyağı Ayırma Prosesleri (Oktav ve Özer, 2002)

Geleneksel presleme prosesinde, zeytinler yıkanır, kırılır ve sıcak su eklenerek hamur haline getirilir. Daha sonra oluşan hamur yağı süzmek için preslenir. Pres

prosesinden kaynaklanan sıvı atıklar , zeytin suyu, prosese eklenen su ve kalıntı yağ içeren bir karışımdan oluşur. Pres prosesinin sonunda ya dikey santrifüj ya da dekantasyon yöntemi kullanılarak yağ sudan ayrılır. (Demichelli ve ark.,1996) Preslenen katılar başka yerde daha ileri şekilde yağısızlaştırılabilen bir kek biçimindedir. Bu yağısızlaştırma işlemi bazı özel araçlara ihtiyaç duyar. Yağısızlaştırılan katılar genellikle enerji elde etmek için yakılırlar, elde edilen yağ ise sabun üreticilerine ya da rafine edildikten sonra yenilebilecek kalitede yağ üreten üreticilere satılır. Pres prosesi az miktarda suya ihtiyaç duyan geleneksel bir zeytin yağı ayırma prosesidir, fakat yüksek miktarda kirlilik içeren atıksu oluşturur. Günümüzde dünya zeytin yağı üretiminin önemli bir bölümü pres teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır (Azbar ve ark.,2004).

Sürekli proste, sürekli işletmeye imkan tanıyan bir yatay santrifüj kullanılır. Sürekli santrifügasyon prosesinin geleneksel pres prosesi ile karşılaştırıldığında temel avantajları ; yüksek üretim, minimum işletme masrafı, daha küçük alan ihtiyacı, mat tadın yok edilmesi ile daha iyi kalitede ürün elde etme, daha iyi proses kontrolü ve otomasyonda sağladığı kolaylık olarak sıralanabilir. Fakat pres prosesi ile karşılaştırıldığında daha yüksek kurulum maliyeti vardır. Tablo 2.1’ de farklı zeytin yağı üretim teknolojileri için temel parametreler verilmiştir.

Tablo 2.1 : Bir Ton Zeytinin İşlenmesine Bağlı Olarak Proseste Madde ve Enerji Dengesi, Girdi ve Çıktı Analizi (Azbar ve ark.,2004).

Ürün Prosesi	Girdiler	Girdi Miktarları	Çıktılar	Çıktı Miktarları
Geleneksel pres prosesi	Zeytin Yıkama suyu Enerji	1 ton 0.1-0.12 m ³ 40-63 kWh	Yağ Katı atık (%25 su + % 6 yağ) Karasu (% 88 su)	200 kg 400 kg 600 L
2-Fazlı Dekantör	Zeytin Yıkama suyu Enerji	1 t 0.1-0.12 <90-117 kWh	Yağ Katı atık (% 60 su + %3 yağ)	200 kg 800-950 kg
3-Fazlı Dekantör	Zeytin Yıkama suyu Dekantörü temizleme suyu Yağdaki safsızlıkları yıkama suyu Enerji	1 t 0.1-0.12 m ³ 0.5-1 m ³ 10 L 90-117 kWh	Yağ Katı atık (%50 su + % yağ) Atıksu (%94 su + % 1 yağ)	200 kg 500-600 kg 1000-1200 L

Sürekli proses sonunda elde edilen katı faz su bakımından biraz daha zengindir; üç fazlı sistemde %30-50 , iki fazlı sistemde %60-70 aralığında su içeriği mevcuttur. Ayrıca atıklar %2-4 aralığında kalıntı zeytinyağı içerir (Bayram ve ark.,2002) . Yağsızlaştırma ve zeytin katılarını yakıt olarak kullanma üç faz ve pres prosesleri için ekonomik olarak mümkündür, ancak iki faz prosesinde oluşan katıların nem içeriği yüksektir.

Üç fazlı bir proses pres prosesine göre 3 kat daha fazla atıksu oluşturur. Pres prosesinde 1 ton ürün için 0,4-0,6 m³ atıksu oluşurken, üç faz prosesinde bu miktar 1,0-1,2 m³ seviyelerine yükselir. Ancak, pres prosesinde oluşan atıksu üç fazlı proseste oluşan atıksuya göre daha konsantre kirlilikler içerir. İki fazlı proseste ise atıksu miktar olarak azdır ve çoğunlukla yıkama sularından kaynaklanır. Bazı çevreler tarafından iki fazlı sistem az su ve enerji ihtiyacı ve diğer proseslerle karşılaştırıldığında düşük kirlilik

yükü dolayısıyla “ekolojik” olarak nitelendirilir. Buna rağmen , katı-sıvı karışım atıkların bertarafı ile ilgili problemler tamamıyla çözülmemiştir. Toplam miktarda zeytinyağı üretimi atıksuyu az oluşmakta , fakat katı –sıvı karışım atıkların bertarafı kolay değildir. Bununla birlikte , katı atıkları ayırıp yağsızlaştırmaya göndermek mümkün olmamaktadır (Azbar ve ark.,2004).

İspanya’da zeytin yağı üretimi atıksularının toplanması ve bertarafının yüksek maliyetini düşürmek için iki fazlı üretim teknolojisi ulusal politikalarla desteklenmektedir (Bonazzi,1996). İki fazlı sistem uygulanabilmesi için kamu fonlarından yararlandırılmaktadır. Ayrıca diğer zeytinyağı üreticisi ülkelerde yavaşça bu teknolojiye adapte olmaktadırlar. İki fazlı teknolojinin % 80 oranında proses suyu tasarrufu sağladığı , %20’lere varan enerji tasarrufu sağladığı öngörülmektedir. Üç fazlı sistemle kıyaslandığında ilk yatırım için %25 daha az maliyete ihtiyaç duymaktadır. Bu teknoloji İspanyolca’da “ *alperujo*” olarak anılan katı-sıvı karışık bir atık oluşturmaktadır. *Alperujo* %60 oranında su, %3 oranında yağ içermektedir (Azbar ve ark.,2004).

İstenilen bir iki fazlı tesis üç fazlı tesise rahatlıkla çevrilebilirken, üç fazlı prosesle çalışan bir tesisi iki fazlı bir tesise çevirmek teçhizat kapasitesi üç fazlı sisteme göre yapıldığından zordur. Ayrıca bazı üreticiler geleneksel zeytinyağı kalitesini tutturmak için mutlaka su eklenmesi gerektiğini savunmaktadırlar.

2.4.1 Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Atıkların Özellikleri

Yağ üretim metoduna göre zeytinyağı üretiminden kaynaklanan atıksuların karakteristiği çeşitlilik göstermektedir. Örneğin , iki fazlı sistemde atıksu miktarı 50-700 L/ton preslenen zeytin ve KOİ konsantrasyonu 5-25 g/L aralığında değişmektedir. Bu aralıklar üç fazlı sistemde sırasıyla 900-1500 L/ton ve 50-90 g/L olarak seyretmektedir (Azbar ve ark.,2004).

Zeytinyağı endüstrisinden kaynaklanan atıksular genel olarak aşağıda sıralanan özelliklere sahiptirler;

- Yoğun koyu kahverengiden siyaha bir renk
- Zeytine has kuvvetli asidik bir koku
- Yüksek organik kirlilik yükü (KOİ değerleri üç fazlı sistemde 220 g/L seviyelerindedir) ve KOİ/BOİ5 oranı 2,5-5 aralığında seyreden düşük biyolojik olarak parçalanabilirlik
- pH değerleri 3-5,9 seviyelerinde olan asidik karakter
- Yüksek konsantrasyonlarda fenolik bileşikler (80 g/L'nin üzerinde)
- Yüksek miktarda katı madde içeriği (toplam katı maddesi 20 g/L'nin üzerinde) .

İki fazlı proseste oluşan atığın özellikleri Tablo 2.2'de özetlenmiştir . Üç fazlı prosesten kaynaklanan atıksuyun özellikleri literatür verisi olarak Tablo 2.3'te verilmiştir. Diğer bir tabloda ise pres teknolojisi ve üç fazlı sürekli proseslerde oluşan atıksu özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2 : Atıksu-Katı Atık Karışımı (*Alperujo*) Karakteristiği (Anonim,2000)

Parametreler	Atıksu-Katı Atık Karışımı (<i>Alperujo</i>)	Hamur(Etli Kısım) Olmadan <i>Alperujo</i>	Yağı Alınmış Hamursuz <i>Alperujo</i>	400°C'de Kurutulmuş <i>Alperujo</i>
pH	5,3-5,8	4,87	5,00	5,80
Kül (%)	7,10-7,46	7,65	9,12	-
Lipitler (%)	4,34	7,18	6,38	12,48
Proteinler(%)	13,56-14,80	9,44	8,65	15,96
Şekerler(%)	1,30-2,31	1,48	1,21	1,87
Taninler (%)	1,25-2,70	2,18	2,61	1,33
Azot (%)	2,48-3,16	2,10	1,96	3,08
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	27,61	15,04	22,45	-

Tablo 2. 3: Üç Fazlı Prosesten Kaynaklanan Atıksu Özellikleri (Anonim,2000)

Parametreler	Değerler
pH	3,0-5,9
KOİ (g/L)	40-220
BOİ (g/L)	23-100
Toplam Katılar (g/L)	1-102,5
Organik Toplam Katılar (g/L)	16,7-81,6
Yağlar (g/L)	1-23
Polifenoller (g/L)	0,002-80
Uçucu Organik Asitler (g/L)	0,78-10
Toplam Azot (g/L)	0,3-1,2

Tablo 2.4: Pres ve Üç Fazlı Proseslerden Kaynaklanan Atıksuların Özellikleri (Şengül,1991)

Parametre	Geleneksel Pres Prosesi	3-Fazlı Proses
pH	4,5-5,0	4,7-5,2
Toplam Katılar (%)	12	3
Uçucu Askıda Katılar (%)	10,5	2,6
Mineral Askıda Katılar (%)	1,5	0,4
Askıda Katılar (%)	0,1	0,9
KOİ (g/L)	120-130	40
BOİ (g/L)	90-100	33
Şekerler (%)	2-8	1,0
Toplam Azot (%)	2-5	0,28
Polialkoller (%)	1,0-1,5	1,0
Pektin,tanin (%)	1	0,37
Polifenoller (%)	1,0-2,4	0,5
Yağ ve gres (%)	0,03-10	0,5-2,3

Dünyanın birçok yerinde zeytinyağı üretiminden kaynaklanan atıksular yüksek organik kirlilik içeriği ve arıtma bedelleri ile ilişkili olarak ciddi bir çevresel sorun olarak algılanmaktadır. Tarımsal atıkların şehir kanalizasyonuna veya nehir ya da

kontROLSÜZ rezervuarlar gibi alıcı ortamlara dökülmesi konusunda uygulanan sınırlamalar vardır. Bazı ülkelerde mevzuat hükümlerinde büyük miktarda zeytinyağı üretimi atıksularının eğer ağaç gelişmesine ve su temin sistemlerine negatif etkisi yoksa zeytin ağacı üretiminde kullanılması söylenmektedir. Bu atıksulardaki potasyum, fosfor ve diğer iz elementleri tarımda kullanabilmek için çabalar ve araştırma çalışmaları mevcuttur. Fakat, arıtılmamış zeytin yağı üretimi atıksularının lipitler, tuzluluk ve fenolik bileşikler içermesi dolayısıyla direkt olarak tarımsal amaçlı kullanılmasında uzun dönemde toprak ve bitkiler üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği unutulmamalıdır. Ayrıca toprak bir kez kontamine olduğunda rehabilitasyonu ne pratik ne de fizibil değildir (Azbar ve ark.,2004).

2.4.2 Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Katı Atıkların Yararlı Kullanımı ve Bertarafı

Pres prosesi ve üç fazlı proses kullanılarak zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıklar çoğunlukla merkez tesislerde yeniden işlenilerek ıslah edilir. Katılar taşınır, kurutulur ve hekzanla yağı ekstrakte edilir. Hekzan yoğunlaştırılır ve bu işlem için tekrar kullanılır. Bazı ülkelerde ekstrakte edilen yağ sabun üretim endüstrisi için iyi bir başlangıç materyali olmaktadır. Ekstrakte edilen bu yağ ileri seviyede rafine edilir ve bir miktar natürel zeytinyağı ile harmanlanarak kimyasal kompozisyonu kullanım için uygun hale getirilirse yenilebilecek düzeyde iyi bir sıvı yağ elde edilebilir. Orta derece yüksek bir kurutma sıcaklığında yanıcı gazlarla direkt temasında, zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıklardan ekstrakte edilerek elde edilen yağ poliaromatik hidrokarbonlar gibi eksik yanma ürünleri içerebilir. Bu durum ekstrakte edilen yağın sıvı yağ olarak tüketilmesine karar verilmeden önce dikkatli bir şekilde analiz edilmesini zorunlu kılar. Çeşitli kalıntıları bu yağdan elimine ederek, iyi kalitede bir ürün olarak değerlendirmek için aktif karbon kolonları kullanılabilir (Azbar ve ark.,2004).

Birçok zeytinyağı üreticisi, kurutulmuş ve yağı alınmış katı atıklarını bu atıkların yüksek ısı değeri dolayısıyla alternatif yakıt kaynağı olarak kullanmaktadır. Bu şekilde elde edilen ısı soğuk kış günlerinde hamur hazırlama prosesinde kullanılabilir. Katı atık içerisinde çekirdekler bazen ayrı olarak bulunur, bu atıklar direkt olarak yakılabilir ya

da aktif karbon üretiminde kullanılabilir. İspanya'da iki fazlı prosesten elde edilen kurutulmuş katı atıklar enerji üretimi için kojenerasyon tesislerinde kullanılırlar, fakat enerji maliyeti sübvansede edilmektedir (Demichelli ve Bontoux,1996).

Türkiye gibi bazı ülkelerde, yağsızlaştırılmış katı atıkların yerel düşük kaliteli linyit kömürü yerine kullanımının iyi olacağı düşünülmektedir. Türkiye'de şu an mevcut uygulamada yağsızlaştırılmış katı atıkların bir kısmı katı atıkların yağının ekstrakte edildiği tesislerde yüksek nem içeriğine sahip katı atıkların ekstraksiyon prosesinden önce kurutulması amacıyla yakılmaktadır ve geri kalan kısmı diğer endüstrilere enerji kaynağı olarak satılmaktadır. Marmara ve Ege bölgelerinde gerçekleştirilen emisyon çalışmaları katı atıkları yakmak için kullanılan geleneksel yakma sistemlerinin ve oluşan baca gazlarının ulusal hava kalitesi hükümlerini karşılamadığını göstermektedir. Bu materyal iyi bir yenilenebilir yakıt olmakla birlikte , oluşan yüksek miktarda gaz, partikül fazlı hidrokarbonlar ve karbonmonoksit gibi eksik yanma ürünleri dolayısıyla oldukça problemlidir (Bayram ve Dumanoglu,2002).

Sadece kurutulmuş ve yağı alınmış katı atıkların yağ ve enerji ekonomisi sağlamak üzere yakılması, baca gazı emisyonu için yönetmelik hükümlerini sağlamak açısından önerilmektedir (Dumanoglu,2003). Yetkililer son zamanlarda Türkiye'de zeytin yağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların, yakma kazanlarının tasarımında ihtiyaç duyulan belirli koşullar için değişiklikler yapıldıktan sonra yakıt olarak kullanılmasına izin vermektedirler. İhtiyaç duyulan bu değişiklikler araştırma ve geliştirme aşamasındadır.

Birkaç günden fazla yaşlı katı atıklar rahatsız edici bir koku, fazlaca sızıntı suyu oluşturur, ve kalıntı yağ ürününün asiditesini yükselmesine sebep olabilir ve ekstrakte edilen yağın kalitesinin sıvı yağ olarak kullanılmasına imkan veremeyecek hale getirebilir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalar göstermiştir ki zeytin yağı üretimi sırasında oluşan katı atıklar taze iken kalıntı yağ ekstrakte edilmelidir. Yağ ekstraksiyonundan sonra kalan zeytin keki furfural üretiminde ya da havyan yemi katkısı olarak ya da gübre üretiminde kullanılabilir. Ayrıca çalışmalar zeytin kekinin kompostta kullanılabileceğini ve biyoteknoloji için iyi bir hammadde olduğunu ortaya koymaktadır (Azbar ve ark.,2004).

İki fazlı proseste oluşan katı atıklar, kolaylıkla taşınıp kurutulamazlar ve kalıntı yağ geri kazanım tesislerinin depolama, kurutma makine ve ekipmanları pek uygun değildir. Sonuç olarak üç fazlı sistemden iki fazlı sisteme geçildiğinde katı atıklardan

yağ geri kazanımı imkanı kalmamaktadır. İki fazlı sistemden kaynaklanan katı atıklardan yararlanmak için kompost yapılması ya da diğer tarımsal atıklarla karıştırılarak kompostlanması bu nemli materyalin nihai bertarafından önce gerçekleştirilmek üzere önerilen makul bir yaklaşımdır (Filippi ve ark.,2002) .

2.4.3. Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Katı Atıkların Yakılması

Zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların ekstraksiyon prosesinden geri kalan kısmı diğer biomas ve bazı yerel kömürlerden daha iyi özelliklere sahiptir. Bu materyalin % 0,12-0,26 aralığında değişen düşük bir sülfür içeriği vardır. Kurutulmuş katı atıkların alt ısı değeri (LHV) 3922 - 4445 kkal/kg aralığındadır. Zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların farklı kısımları için gerçekleştirilen en yakın analiz sonuçları Tablo 2. 5’de verilmiştir.

Tablo 2.5 : Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Yanabilir Katı Atıkların Kuru Ağırlığı Üzerinden Analiz Sonuçları (Bayram ve Dumanoglu,2002)

Atık Türü	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Bağlı Karbon (%)	Üst Isıl Değer (MJ/kg)
Zeytin Küspesi	6,01-30,9	6,5-9,1	43,1-59,0	44,3-3,0	25,46-22,02
Etli Kısım	21,5	3,9	-	-	20,59
Zeytin Çekirdeği	9,0-29,9	1,0-11,5	30 (300 °C)	-	-

Zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların biomas yakıt olarak kullanılmasında yanma süresince davranışlarının anlaşılması için yapılan çalışmada, artan sıcaklıklarla birlikte kütlede gerçekleşen azalma, sıcaklık- gravimetrik analiz sonuçları için tablolar hazırlanarak izlenmiştir. Bu analizler 100 °C’ de kurutulduktan sonra bu materyalin uçucu fraksiyonlarını kaybettiğini ve 250-260 °C’ lerde orijinal kütlelerinin %70-80 oranında azaldığını göstermiştir (Bayram ve Dumanoglu,2002). Bu atıkları verimli bir şekilde yakabilmek için ikincil hava enjeksiyonunu ve birincil yakma

zonunda yüksek kalma zamanı ihtiyacını karşılayan özel bir kazan dizayn edilmelidir. Aksi takdirde, diğer yakıtlar için tasarlanmış geleneksel kazanlar kullanıldığında önemli seviyede ve oldukça kararsız konsantrasyonlarda karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbonlar oluşur (Azbar ve ark.,2004).

Türkiye’den alınan yağsızlaştırılmış zeytin keki numuneleriyle, Almanya Stuttgart Üniversitesi, Proses Mühendisliği ve Elektrik Santrali Teknolojisi Bölümü tarafından başka tam ölçekli yakma testleri serisi gerçekleştirilmiştir. Çeşitli yakma parametrelerinin önemi üç farklı tipte kazan için incelenmiştir (Zuberbuehler ve ark.,2000) . Tablo 2.6’da incelemenin sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.6: Zeytinyağı Üretimi Sırasında Oluşan Yağsızlaştırılmış Katı Atıkların Yakılması ile Oluşan Yarım Saatlik Ortalama Emisyon Konsantrasyonları (%13 Oksijen Varlığında, Sürekli Biçimde Çalıştırılan Yakma Sistemlerinden Alınan Numuneler) (Zuberbuehler ve ark.,2000)

Kazan Numarası ve Kapasitesi	Yük (kW)	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	PM (mg/Nm ³)
1 (150 kW)	69	93	31,3	157
2 (150 kW)	113	101	256	83
3 (240 kW)	214	18	297	162

1 numaralı kazanın yanma odası (150 kW) kademeli yakmayı gerçekleştirmek için iki kısımdan oluşmaktadır. Yakıtın uçucularının gazlaştırıldığı birincil yanma odasına eğimli bir ızgara üzerinden vidalı bir besleyici ile yakıt sağlanır. Nihai yanma kıvrımlı bir fanın yanma gazları ile ikincil havanın iyi şekilde karışmasını sağladığı ikincil yanma odasında gerçekleşir. Isı eşanjöründen sonra yerleştirilmiş olan bir siklonla türbülanslı akım oluşturularak sıcak partiküllerin ayrılması sağlanır.

2 numaralı kazan (150 kW), birincil ve ikincil yanma odalarına bölünmüştür, sıcak gaz sirkülasyonu ve ikincil aşama kıvrımlı bir fan kullanılarak sıcak partiküllerin ayrımının sağlanması için birleştirilmiştir.

3 numaralı kazan 240 kW'lık bir termal ısı kapasitesine sahiptir. Çıkış gazının temizlenmesi için ısı eşanjöründen sonra bir multisiklon yerleştirilmiştir ve ortak bir hareketli ızgarası vardır. Test sonuçları kuru baca gazında %13 oksijen varlığında alınmıştır. Sürekli emisyon ölçümü yapan ve kaydeden bir cihaz kullanılarak partikül madde (PM), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x), yanmamış hidrokarbonlar (C_xH_y) ve sülfür dioksit (SO₂) ölçülmüştür.

Tablo 2. 7'de sabit ızgaralı fırın ve döner ızgaralı fırınlı kazanlar için tam ölçekli pilot yanmanın performans testinden alınan karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x) ve partikül madde (PM) emisyon değerleri özetlenmiştir (Bayram,2001). Sabit ızgaralı fırın ünitelerinde, ikincil hava sağlanamamıştır ve atığın uçucu fraksiyonları sıcak bölgeye geçer geçmez salınmıştır, burada karbon monoksit (CO) gibi eksik yanma ürünleri oluşmuştur. Döner ızgaralı fırınlı ünitelerde CO, NO_x ve PM emisyonları sabit ızgaralı ünitelere göre daha düşük konsantrasyonlardadır, fakat hava kalitesi için gereken değerlerle uyum sağlanamamıştır. Her iki fırın tipinde de CO emisyonları, sadece tam yanma prosesinin gerçekleşmesi için ikincil hava sağlanabildiğinde kontrol edilebilmektedir. Testler sırasında iyi yanmanın gerçekleşebilmesinde zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların tane boyut dağılımının önemli olduğu görülmüştür. Genel olarak tane boyutu 3 mm' den az olan partiküllerin oranı % 50' den fazladır. Sabit ızgaralı fırında yanma gerçekleşirken, küçük partiküller düşmekte ve ızgaranın altındaki yetersiz oksijenle yanmaktadır, dolayısıyla CO ve yanmamış hidrokarbonlar oluşmaktadır. 1 numaralı kazanda gerçekleştirilen ileri seviye testlerde, yüksek CO emisyonlarında soğuk başlangıçlı yanmanın ardından, optimum yakıt besleme hızları ve hava oranlarında eksik yanma ürünü emisyonların azaldığı görülmüştür.

Tablo 2.7: İkincil Hava Beslemesi Olmadan Sabit Izgaralı ve Döner Izgaralı Yanma Sistemlerinde Gerçekleştirilen Emisyon Testi Sonuçları (Bayram,2001)

Parametreler	Birimler	Sabit Izgaralı Fırın	Döner Izgaralı Fırın
Baca Gazı Sıcaklığı	°C	139	127
Oksijen	%	11	11
Karbon Monoksit	mg/Nm ³	8943	3445
Azot Oksitler	mg/Nm ³	402	261
Partikül Madde	mg/Nm ³	521	273
Sülfür Dioksit	mg/Nm ³	-	-

Not: Nm³, 0 °C' de 1 atm basınç altında ölçülen baca gazı hacmini ifade eder.

Birincil ve ikincil hava oranları ve toplam akış hızlarının CO emisyonlarının azaltılmasında, önemli faktörler olduğu bulunmuştur. Stabilize yanma koşulları altında, CO konsantrasyonları 50 mg/m³, ve toplam hidrokarbon konsantrasyonları 20 mg/m³ altında gerçekleşmiştir (Bayram,2001). Birincil ve ikincil hava oranları, bekleme zamanları, sıcaklık dağılımları başarılı yanmanın gerçekleştirilmesi için önemli dizayn parametreleridir. Bu parametrelerde uyumun olmaması zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların, yüksek kirletici emisyonlar oluşturacak şekilde fakir yanmasına sebep olur. Bayram (2001), kimyasal ekstraksiyondan sonra uygun fırın dizaynıyla yanma koşullarını sağladığı zeytin kekinin yanması ile ilgili gerçekleştirdiği testlerde Türk hava kirliliği yönetmeliğinde belirtilen 250 mg/m³'lük CO emisyonu limit değerinin karşılandığını ortaya koymuştur. Eğer uygun şekilde yakılırsa, zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıklar ekonomi sağlayan ve baca gazında neredeyse sülfür dioksitsiz ve çok az partikül madde içeren emisyonu olan, alternatif yenilenebilir enerji kaynağı bir biyoyakıt olarak kullanılabilir (Bayram,2001) . Ayrıca zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıklar uygun reaktörlerde anaerobik ayrıştırırmadan sonra biyogaz olarak da yakılabilir (Azbar ve ark.,2004).

Bir başka çalışmada zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların tam ölçekli akışkan yataklı yakma hücrelerinde, kömürle birlikte yakılması araştırılmıştır (Patumsawad ve Cliffe, 2002). Zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların yüksek nem içeriğinin, akışkan yatakta yanmanın verimini negatif etkilediği ve yüksek CO emisyonlarının olduğu görülmüştür. Malzeme sıcak bir odaya serilip 1 gün boyunca

kurutulduğunda eksik yanma ürünlerine ait emisyonların azaldığı görülmüştür. Ayrıca sıvılaştırma özelliklerinin gaz oluşumu üzerinde ve tam yanmanın elde edilmesinde büyük etkisi vardır. Akışkan yataklı sistemlerde iyi yanmanın sağlanması için ikincil hava verilir (Bayram ve Dumanoglu,2002). Zeytinyağı üretimi sırasında oluşan katı atıkların enerji üretiminde kullanılması bir diğer değerlendirme yöntemidir (Azbar ve ark.,2004).

2.4.4. Zeytinyağı Üretimi Atıksuları Arıtımından Kaynaklanan Çamurların Bertarafı Konusunda Dünyada Yapılan Çalışmalar

Zeytinyağı üretimi sırasında oluşan atıksuların arıtımı için son yıllarda çeşitli fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma methotları uygulanmaktadır. Fiziko-kimyasal arıtma methotları; flokülan ve koagülan kullanarak kimyasal arıtma, ultrafiltrasyon, ters osmoz, havuzlarda termal konsantrasyon ve buharlaştırma yöntemlerine dayanmaktadır. Genellikle çok pahalı ve/veya proses sonrası oluşan çamurların bertarafı dolayısıyla problemin tam olarak çözülemediği methotlardır.

Biyolojik methotlar; protein üretimi, poli-hidroksi- β - bütirat, anaerobik parçalanma ve kompost yöntemlerini içerir (Paredes ve ark., 2000) . Yan ürünlerinin yararlı kullanımı dolayısıyla biyolojik methotların belirli avantajları vardır (Paredes ve ark., 2002).

Ekonomik nedenler dolayısıyla, zeytinyağı üretimi atıksuları genelde buharlaştırma lagünlerinde depolanır ve dibinde bir çamur oluşur. lagünlerde zeytinyağı üretimi atıksuları arıtımından kaynaklanan çamurların, yüksek organik yük ve içeriğinde bulunan önemli miktarda nutrient (N, P, K, Ca, Mg ve Fe) dolayısıyla organik gübre elde edebilmek için kompostlanması uygundur (Azbar ve ark.,2004).

Plaza ve arkadaşları (2007), zeytinyağı üretimi atıksularının buharlaştırma lagünlerinde arıtılmasından kaynaklanan çamurun, ağaç atıkları ile karıştırılarak kompostlanması konusunda çalışmışlardır. Açık hava lagünlerinde buharlaştırılan atıksulardan kaynaklanan çamur toprak iyileştirici olarak kullanılabilecek, kolay parçalanabilir organik madde ve nutrientler içermektedir. Fakat çeşitli çalışmalar, bu çamurun direkt uygulanmasının, aşırı tuz, polifenoller gibi fitotoksik bileşiklerin varlığı

ve azot bağlanması dolayısıyla toprak özellikleri üzerinde negatif etkileri olduğunu söylemektedir (Plaza ve ark.,2007).

Zeytinyağı üretimi atıksularının buharlaştırma lagünlerinde arıtılmasından kaynaklanan çamurun ligno selülozik katı atıklarla birlikte kompostlanması; fiziksel yapı ve yeterli C/N oranı sağlandığında, organik madde stabilizasyonu ve çamur detoksifikasyonu gerçekleştiği için iyi bir bertaraf yöntemi olarak görülmektedir (Plaza ve ark.,2007).

Plaza ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmada iki farklı substrat kullanmışlardır. M1 substratında, optimum C/N oranı ($C/N = 30$) ve kompost için yeterli fiziksel yapının elde edilebilmesi için %48 oranında lagün çamuru, %52 oranında ağaç atığı karıştırmışlardır. M2 substratında, C/N oranını düşürmek ($C/N \text{ oranı} = 26$) ve kompost için yeterli poroziteyi sağlamak için %58 oranında lagün çamuru ve %42 oranında ağaç atığını karıştırmışlardır. Tablo 2.8’de her iki numuneye ait özellikler kuru ağırlık üzerinden özetlenmiştir .

Tablo 2.8 : Kompostta Kullanılan Lagün Çamuru ve Ağaç Atıklarının Genel Özellikleri (Plaza ve ark, 2007)

Numune	pH	Nem (%)	Katı Madde (%)	TOC (g/kg)	Toplam Azot (g/kg)	C/N Oranı
Lagün Çamuru	7,2	43	57	526	30,5	17
Ağaç Atıkları	5,4	11	89	534	6,0	89

Humik asit ve fulvik asit toprak organik maddesinin en önemli bileşenleridir. Toprağı bozulmadan ve kontaminasyondan korumada kilit rol oynarlar. Humik asit (HA) ve fulvik asit (FA) konsantrasyonlarının ölçülmesi kompostun topraktaki başarısını gösterir. HA ve FA konsantrasyonlarının yüksek değerlerde olması ve/veya serileceği topraklardaki değerlere yakın olması, kompostun zirai olarak ne kadar yeterli, çevresel olarak güvenli ve ne kadar ekonomik olduğunu gösterir (Plaza ve ark, 2007). Çalışma sonunda %58 lagün çamuru içeren substratın, % 48 lagün çamuru içeren substrata göre, humik asit kalitesi ve son ürünün humifikasyon derecesinin az da olsa daha iyi gerçekleştiği görülmüştür. Bu substrat (M1) daha büyük miktarda lagün

çamurunun dönüştürülmesine imkan sağlar. Sonuç olarak lagün çamurunun ağaç atıkları ile karıştırılarak kompostlanması taze organik maddeyi humik formlara dönüştürerek, çevresel negatif etkisi olmayan organik gübre elde etmek için uygun bir yöntemdir (Plaza ve ark, 2007).

Hachicha ve arkadaşları, (2008), lagün çamuru ve susam kabuklarını karıştırarak substrat oluşturmuş ve komposta tabi tutmuşlardır. Kompost süresince oksitlenen substrattaki fenolik bileşik ve biyotoksisite içeriğinde meydana gelen değişimi izlemişlerdir. Yedi aylık kompost sonrasında, fenolik bileşiklerin tamamının yok olduğu görülmüştür. 210 gün sonunda lagün çamurunun fitotoksik etkisinin azaldığı, bitki çimlenme indeksinin %80'e ulaştığı bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar hazırlanan substratın stabilitesinin ve detoksifikasyonunun kompost olgunlaştıkça kademeli olarak gerçekleştiğini göstermiştir. 210 gün sonunda humik maddeler bakımından zengin, 18,75' ten büyük C/N oranına sahip ve % 80 oranında bitki çimlenme indeksine ulaşmış, tarımsal amaçlı kullanılabilecek iyi bir gübre elde etmişlerdir.

2.5. Güneşle Çamur Kurutma ile İlgili Yapılan Çalışmalar (Seralar)

Atıksuların arıtılması sonucu oluşan çamur, ham atıksu içerisindeki maddelerin bileşimi halinde, fakat başka bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğilimindedir, çamurun sadece küçük bir kısmı katı madde, önemli bir kısmı sudur, bu nedenle büyük hacimler işgal eder. Çamur atıksu arıtma tesislerinde genel olarak mevcut ünitelere bağlı olarak ön çökeltim tanklarından, kimyasal çökeltim tanklarından, son çökeltim tanklarından, çamur yoğunlaştırıcılardan, çürütücülerden çıkabilir (Filibeli 1996).

Çamurun bertarafı ile ilgili alternatifler düşünülürken arıtma çamurunun fazla suyunun alınması için kurutulması önemli bir bileşendir. Arıtma çamurları içeriğindeki yüksek su miktarları ile karakterize edilmektedir. Tipik olarak atık aktif çamur %1 oranında kuru madde konsantrasyonuna sahipken, yoğunlaştırıcı sonrası bu miktar % 5-6 oranında kuru maddeye, susuzlaştırma sonrası da % 20-25 oranında kuru maddeye çıkabilmektedir. Arıtma çamurlarında daha yüksek oranda kuruluk (%10' dan az nem) istendiğinde arıtma çamurunun kurutulması gerekir. Arıtma çamurunun içerisindeki suyun kademeli olarak giderilebilmesinin sebebi çamurda farklı şekillerde bağlı su bulunmasıdır. Mekanik susuzlaştırma ile yaklaşık % 25-35 oranında kuru madde elde edilir. Böyle bir sistemle arıtma çamurunun katı madde konsantrasyonunu %5' den %35'e çıkarmak için 3-5 kWsaat elektrik enerjisi gerekir. Susuzlaştırılmış çamuru %25 katıdan %90 katı madde oranına kurutmak için uçurulan her kg su için 70-80 kWsaat termal enerji gerekir (Flaga,2007).

Arıtma çamurunun kurutulması enerji yoğun bir işlemdir ve maliyet yönünden ucuz bir uygulama değildir. Bu bakımdan sistemin aşağıda belirtilen avantaj ve dezavantajlarının dikkatle değerlendirilerek arıtma çamurunu kurutmanın gerçekten gerekli olduğu durumlar belirlenmelidir.

Arıtma çamurunu kurutmanın avantajları;

- Çamurun su içeriği büyük ölçüde azaltılmaktadır,
- Çamurdaki katı madde konsantrasyonu % 90'ın üzerine çıkarılabilmektedir,
- Çamur hacmi 4-5 kat azaltılmaktadır,
- Çamurun kalorifik değeri önemli ölçüde artmakta ve yakılması kolaylaşmaktadır,
- Çamurda hijyen ve stabilite sağlanmaktadır.

Arıtma çamurunu kurutmanın dezavantajları;

- Kurutma işlemi yüksek enerji gerektirmektedir,
- Enerji gereksiniminin yüksek olması nedeniyle maliyetli bir işlemdir,
- Kurutma sırasında koku ve toz problemi yaşanabilmektedir. Bu problemlerin giderilebilmesi için önlemler alınması gerekmektedir (Flaga, 2007).

Salihoglu ve arkadaşları (2007b), yaptıkları çalışmada atıksu arıtma çamurlarının güneş enerjisiyle kapalı yataklarda kurutulmasını incelemiştir. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinden yararlanmak ve çevre yatırımlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması yaptıkları çalışmanın temelini oluşturmuştur. Deneysel süreç için 2m × 5m taban genişliğinde, dolgu yataklı, şeffaf polikarbonat örtülü, beton kaplama tabanlı, tünel tip kurutma yatağı tasarlanmıştır. Kapalı ve açık sistem arasındaki farkı tespit etmek için aynı boyutlarda bir de açık kurutma yatağı teşkil edilmiştir. Uzun havalandırmalı kentsel bir atıksu arıtma tesisi belt filtre presinden alınan % 20-25 KM içeriğindeki çamur 25 cm yüksekliğinde beton kaplama üzerine serilmiş ve kontrollü ortamda kurutma süreci incelenmiştir. Yöntemde patojen giderimini hızlandırmak amacıyla düşük miktarda (0,15 kg sönmemiş kireç/ kg KM) kullanılmıştır. % 23 KM içeriğindeki atık çamurun, Temmuz- Ağustos döneminde 26 gün sonunda, açık tesiste %79 KM, kapalı tesiste ise %91 KM oranına kadar kuruduğu görülmüştür. Kasım- Aralık döneminde %23 KM içeren çamurun, 26 gün sonunda, açık sistemde hava şartları nedeniyle %17 KM'ye düştüğü, kapalı sistemde ise %37 KM oranına kadar kuruduğu görülmüştür. Ölçümler sonunda çamur katı madde yüzdesi ve eklenik radyasyon değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu ($r^2 = 0,9$) belirlenmiştir. Buna göre belt filtre presi çıkışından alınan çamurun Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre %35 KM oranına ulaşması için $45 \pm \text{kW m}^2$ güneş radyasyonuna gereksinim duyulduğu hesaplanmıştır.

Hohenheim Üniversitesi ve Thermo System Company çamur hacminin azaltılması ve çamurun ileri seviyede stabilizasyonuna imkan veren, sürekli karıştırılmalı ve havalandırmalı, düşük sıcaklıklı, tam otomatik bir güneşle kurutma sistemi geliştirmişlerdir. Teknolojinin potansiyelini test etmek üzere, ticari olarak işletilen kentsel bir arıtma tesisinin aerobik çamur çürütücüsünden alınan numunelerin kuruma prosesini araştırmışlardır. Deneme süresi boyunca, kuru madde konsantrasyonundaki

değişimler, uçucu katılar, iklim koşulları ve enerji tüketimi süreli olarak ölçülerek dokümanite edilmiştir (Bux ve ark., 2002).

Floküle çamurdan alınan numunelerin 64 günde, floküle olmayan çamurdan alınan numunelerin 83 günde % 3 KM'den %93 KM' ye ulaştığı bulunmuştur. Aynı zamanda, uçucu katı madde içeriğinin %65'den % 34' e düştüğü görülmüştür. Buharlaştıran bir ton su için elektrik enerjisi ihtiyacı sadece 22- 28 kWh olarak hesaplanmıştır, geleneksel kurutma prosesinde gereken elektrik enerjisi ise 70- 110 kWh arasında değişmektedir. Buharlaşma için gerekli olan tüm termal enerji güneş enerjisi ile sağlanmıştır (Bux ve ark., 2002) .

Güneş enerjisiyle çamur kurutma, makul ilk yatırım bedeli, buharlaştıran bir ton su başına 30 kWh'ten daha az enerji tüketimi, kullanımda sağladığı esneklik ve çıkan son ürünün nihai bertarafa hazır oluşu dolayısıyla küçük ve orta ölçekli kentsel atıksu arıtma tesisleri için oldukça ilgi çeken bir teknolojiye dönüşmüştür(Bux ve ark., 2002) .

Mathioudakis ve arkadaşları (2009), ileri seviyede çamur kurutmak, çamur hacmini azaltmak ve arıtma çamurunun kısmi patojen kontrolünü sağlamak için bir güneşle kurutma prosesi uygulamışlardır. Yaz döneminde, 7-12 günde ortalama çamur nem içeriği %85'den % 6' ya düşmüştür. Sonbahar döneminde 9-33 gün aralığında % 10'a düşmüştür. Toplam hacim azaltımı % 80-85 aralığında gerçekleşmiştir. Güneş enerjili bir su ısıtıcısıyla birleştirilerek, tesisin dibinden dolaştırılan su ile, kış koşullarında 1-9 gün aralığında kurutma prosesinin hızlandırıldığı görülmüştür. Güneşle çamur kurutma sistemi, Yunanistan gibi aldığı yıllık güneş enerjisi miktarı yüksek olan bölgeler için verim sağlamıştır.

Su içeren çamurlar mekanik olarak belirli ölçülerde susuzlaştırılırlar. Bu seviyenin üzerinde susuzlaştırma için ısı yöntemleri kullanılmaktadır. Kasım 1942ten itibaren IST firması Kandern Hammerstein' de kendi geliştirdiği güneş enerjili bir çamur kurutucuyu kentsel atıksu arıtma tesisinde çalıştırmaktadır. Sonuçlar Almanya'nın güneyinde yılda 1 m² alanda bu sistemle çamurdaki 700- 800 kg suyun buharlaştırılabildiğini göstermiştir. Aynı zamanda 1997 Ağustos'undan itibaren benzer başka bir IST sistemi de Baden Baden yakınlarında işletilmektedir. Bu sistemleri endüstriyel kurutma ünitelerine göre oldukça yüksek alan ihtiyacı duymalarına rağmen çok düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Kurutma süresi başlangıçtaki nem içeriğine ve doğal radyasyona bağlıdır. Güneş enerjisiyle kurutma mevsimsel bazda değişim gösteren radyasyon

yoğunluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Tablo 2.9'da kapalı yatakta çamur kurutma ilk yatırım maliyeti ile ilgili veriler özetlenmiştir (Luboschik,1999).

Tablo 2.9 : Kapalı Yatakta Çamur Kurutma Maliyeti Ticari Verileri (Lubochik,1999)

İş	Alman Markı	Euro
İnşaat Mühendisliği Kısmı	200.000	102.258
Prefabrike Parçalar	115.000	58.799
Taşıma ve karıştırma Ünitesi	99.500	50.873
Kurutma Alanı Maliyetleri ve Kaplama Örtüsü	117.800	60.230
Elektrik Tesisatı	38.200	19.531
Vantilatörler	9.400	4.806
Egzos Bacası ve Cephe Kaplaması	26.800	13.702
2 Yıllık İşletme Desteği	16.500	8.436
Toplam İlk Yatırım	623.200	318.637

İlk Yatırım Maliyetleri :

1 dönümlük bir alan için 1997 fiyatları esas alınarak hesaplanmıştır.

Finansman Maliyeti :

15 yıllık hizmet ömrü ve %6 faiz üzerinden inşa maliyetinin yıllık %10,3' ü olan 64.000 Alman Markı, 32.723 Euro olarak hesaplanmıştır.

İşçilik Maliyetleri :

Çamur nakli, numunelerin analizi, teçhizat kontrol ve yağlama tutarı yıllık 14.300 Alman Markı, 7.312 Euro olarak hesaplanmıştır.

Enerji Maliyetleri:

$18.000 \text{ kWh} \times 0,23 \text{ Alman Markı/kWh} = 4.140 \text{ Alman Markı}$, 2.117 Euro olarak hesaplanmıştır.

Toplam Yıllık Maliyet:

82.440 Alman Markı, 42.131 Euro olarak bulunmuştur.

Toplam İlk Yatırım ve Toplam Yıllık Maliyet :

705.440 Alman Markı = 360.686 Euro olarak ortaya koyulmuştur.

2.5.1. Seraların Özellikleri

Kapalı çamur kurutma yataklarının tasarımında esas alınan yapılar seralardır. Seralar güneş radyasyonunun şeffaf bir örtüyle kaplı yapı içerisine alınması ve bu yapı içerisinde yansımalar sayesinde yapıya gelen uzun ve kısa dalga boylu ışınların alıkonma sürelerini uzatarak iç ortamın ısıtılmasını sağlamak üzere planlanır. Özellikle sera tabanının, içerisindeki bitki örtüsünün ve şeffaf örtü malzemesinin güneş radyasyonunu ne kadar absorbe edeceği enerji bilançosu yönünden önem taşır (Salihoğlu, 2007).

2.5.1.1. Seraların Çalışma Prensibi

Burada en önemli nokta, güneş enerjisi ile işletilen seranın doğru yönde konumlanmış olmasıdır. Seranın uzun ekseninin Doğu-Batı doğrultusuna yönlenmiş olması gerekir. Bunun sebebi kuzey yarı kürede güneş radyasyonuna en uzun süre maruz kalarak verimin artırılmasıdır. Bunun için önemli parametrelerden birisi bölgeye düşen güneş ışınlarının azimut açısıdır. Azimut açısı rasatçının bulunduğu enlem değeri ile rasatçı ile gözlenen cisim arasındaki açı olarak ifade edilir. Derece cinsinden 0 ile 360 arasında değerlendirilir (DMİ 2007).

2.5.1.2. Yılın Farklı Zamanlarında Azimut Açısı

Güneş ışınlarından en uygun şekilde (direk/dolaylı) faydalanabilmek için seranın güneşten en çok faydalandığı yönün saydam bir örtü ile kapatılması gerekir. Bunu sağlayabilmek için cam ya da güneş ışınlarına (UV) dayanıklı bir plastik folyo kullanılması gerekir. Güneş enerjisi ile işletilen seraların kuzeye bakan kısımlarının iyi yalıtılmış bir duvar ile kapatılması gerekir. Bu işlem, oluşan ısı kayıplarını azaltmak için yapılır. Ayrıca, iç kısımdaki ısıyı koruyabilmek için çift cam ya da çift folyo kullanımı uygun görülmektedir. Güneş enerjisinden pasif yarar sağlanabilmesi, seraya yerleştirilmiş ısı depolayan birimler aracılığı ile mümkündür. En doğal ısı depolayan madde olarak ilk akla gelen su olmaktadır. Seranın akıllı bir bölümüne yerleştirilmiş,

kapalı bir kapta veya borular içinde bulunan su, gün boyunca ısıyı depolar ve geceleri de depolamış olduğu ısıyı geri verir (Salihoğlu,2007) .

2.5.1.3. Seraların Yerleşim Eksenleri

Gupta ve Chanda tarafından 2002 yılında seraların yerleşim eksenlerinin etkisi üzerine bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Brun ve Ville-o-de (1974), Akdeniz şartlarında seraların yerleşimi üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Kuzey – güney eksenli yerleşimin seradaki mikro iklim koşullarının homojenliğine katkısı olduğunu ortaya koymuşlardır. Diğer taraftan doğu-batı eksenli yerleşimin erken bitki büyümesinde elverişli olmadığını görmüşlerdir. Mahsuller kuzey-güney eksenli yerleştirilen seralarda büyüyenlere göre daha büyüktü. Bu yerleşim aynı zamanda daha iyi kullanımı sağladı ve hüküm süren kuzeybatı rüzgarlarına karşı serayı desteklemeye yardım etti. Chandra (1976), doğu-batı eksenli yerleşimin serbest duruşlu gotik kemerli şekillendirilmiş bir seranın aynı boyutta kuzey-güney eksenli bir serayla kıyaslandığında %20 daha az ısınma ihtiyacı olduğunu gözlemiştir. (49,25 N enleminde) Harnett ve ark. (1979) farklı sera tiplerini ve yerleşimlerini karşılaştırmışlar ve ışık geçirimsliği açısından tutarlı bir avantaj sağladığı sonucuna varmışlardır. Chandra (1976) Boy/En Oranı >1 olan bir sera için sera yerleşiminin bu alana gelen güneş enerjisi miktarını etkileyeceğini belirtmişlerdir. Facchini ve ark. (1983) düşük tüketim enerjisi olan güneş enerjisi seraları üzerinde deneyler yapmışlar ve kuzey İtalya seralarının güneşe bakan en uzun kenarlı seralar olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu nedenle, Boy/En Oranı >1 olan seralar için doğu-batı eksenli yerleşimin enerji tüketimini azalttığı sonucu çıkarılabilir. Kurata ve ark. (1991) çeşitli açıklıklarda, yılın farklı zamanlarında, farklı enlemlerde sera yerleşiminin doğrudan güneş radyasyon geçirimsliliği bir matematiksel model kullanılarak yukarıda sayılan faktörlerin düşük enlemlerde daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Ancak doğu batı eksenli seralardaki alansal radyasyon düzensizlikleri bütün enlemlerde problem olabilir. Yukarıdaki çalışmalar, amaca uygun özgül yerleşimin ve eksenin avantajını ortaya koymaktadır. Bu nedenle yerleşimin seranın enerji etkinliği üzerindeki etkisi üzerinde çalışma etkisi ortaya çıkmıştır.

2.5.2. Seraların Şekli

Facchini ve ark. (1983) düşük tüketim olan güneş enerjisi seraları üzerinde yaptıkları deneylerde sera şeklinin güneş enerjisi kullanımını maksimize etmede önemli bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır. Kurata ve ark. (1991) optimum tünel tipi seraların dik güney yüzeyleri, simetrik olmayan kesitleri olduğunu göstermiş ve soğuk iklimlerdeki doğrudan ışık geçirimsizliğinin yarı dairesel kesitlerle %10'un çıkarılabileceğini açıklamışlardır.

Zamir ve ark. (1984) eğimli bir yüzeye kurulmuş seranın aynı iklim koşullarında sıradan bir serayla kıyaslandığında ısı ihtiyaçlarını %15'e kadar azaltılabileceğini göstermişlerdir.

2.5.3. Kuzey Duvarı İzolasyonu

Chandra (1976) doğu-batı eksenli yerleşime sahip bir seradaki şeffaf kuzey kenarın kış aylarındaki güneş enerjisi kazancına etkisinin düşük olduğunu saptamıştır. (Aralık ayında yaklaşık %3 katkı). Hartz ve ark. (1982) yansıtmalı bir duvara sahip 5,5m x 9m Boyutlarında prototip bir seranın Ekim ve Mart ayları arasındaki ısınma için %14 daha az enerji gerektiğini bulmuştur. Tiwari ve Dhiman (1985) sera ısı çevresi için geliştirdikleri matematik modelde kuzey duvarının mat olduğunda sistem performansının arttığını saptamışlardır.

2.5.4. Çift Kat Örtüler

Landgren (1985) çift kat örtülü sera için %35-40 ısı tasarrufu gözlemlemiştir. Mielsch (1985) çift katla %38 enerji tasarrufunun olduğunu söylemiş bunun yanında Gonzales ve Hannan (1988) geceleyin standart şartlar altında çift katın ısınma amaçlı gaz tüketimini azalttığını bulmuştur. Bu da geceleri ısıtma olmayan süreçlerde ısı kaybının daha az gerçekleşeceği anlamını taşımaktadır (Salihoğlu,2007) .

2.5.5. Isıl Örtüler

Gece perdeleri veya ısı örtüler gece boyunca ısı radyasyon kaybını azaltmak için geceleri kapatılırlar. Chandra (1976) analitik olarak gece perdelerinin seranın ısı ihtiyacı üzerindeki etkisini belirlemiş ve gece perdelerinin kullanımıyla %70 civarında tasarruf sağlanabileceği tahminini yürütmüşlerdir.

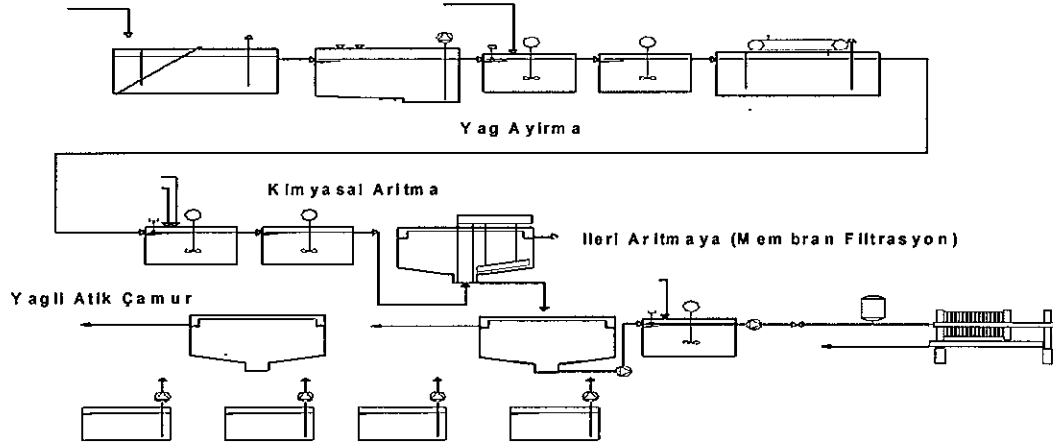
Pieters ve Deltour' un (1999), yaptığı çalışmada Batı Avrupa koşullarında seraların güneş enerjisi toplama verimini etkileyen inşaat parametrelerinin göreceli önemini açıklamak için yarı tek boyutlu iklim modeli kullanılmıştır. Seralardaki güneş radyasyonu girdisine göre yapılan araştırma, sera örtüsünü ve çerçevesiyle sınırlandırılmamış, güneş radyasyonu geçişini engelleyen diğer başlıca faktörlere de dikkat edilmiştir. Sonuçlar; seraların mevcut güneş radyasyonunun 2/3' ünü aldığını göstermiştir. Bu düşük verim seraların geometrisi, tarımsal engellerle geometrisi belirlenen sabit güneş kolektörleri olmaları gerçeği ile açıklanabilir. Radyasyon toplama verimi, kış aylarında daha düşük, yaz aylarında daha yüksek bulunmuştur. Bu enerjinin çoğu sera içindeki bitkilerce absorblanır. Yoğunlaşmadan kaynaklanan ve referans seraya göre %2,8 gibi yüksek geçirgenlik azalmasına rağmen yardımcı ısıtma gereksinimleri, çerçeve veya örtü geçirimliğindeki değişikliklerden etkilenir.

Simülasyonlarda zemin özelliklerinin sera enerji ihtiyacı üzerinde, mahsule gelen güneş enerjisi miktarı üzerinde oldukça düşük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bitkiler küçük olduğunda ve zeminin çoğunu kaplamadığında yaşanan başlangıç periyodu bu durum için istisnadır. Qiu ve ark. (1998), yaptığı çalışmada su buharı hareketine olan direncin tam hesabının, topraktan olan buharlaşmanın değerlendirilmesinde büyük bir güçlük olduğunu görmüştür.

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Zeytinyağı Üretiminden Kaynaklanan Atıksuyun Arıtımında Kullanılan Pilot Tesisin Tanıtımı

Çalışmada, Marmara Zeytin Tarım Satış Kooperatifleri Birliği zeytinyağı üretim tesisi atıksularının arıtımı için inşa edilmiş pilot arıtma tesisinin işletilmesi sonucu oluşan yağlı çamurun kurutulması üzerinde durulmuştur. Yağlı çamur dengeleme tankı çıkışında, asit kraking uygulaması sonrasında oluşmaktadır. Zeytinyağı üretimi atıksuyunun arıtıldığı pilot tesis akım şeması Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Zeytinyağı Atıksuyu Arıtma Tesis Akım Şeması (Kestioğlu ve ark., 2008)

Zeytinyağı endüstrisi atıksularının arıtılması için tasarlanan pilot arıtma tesisi; fizikokimyasal arıtma, ultrafiltrasyon ve ileri oksidasyon proseslerinden oluşmaktadır.

Arıtma tesisinde bulunan üniteler;

1. Dengeleme Tankı
2. Asit Kraking Tankı
3. Hızlı Karıştırma Tankı
4. Yavaş Karıştırma Tankı
5. Kimyasal Çökeltim Tankı
6. Mikrofiltrasyon Ünitesi
7. Ultrafiltrasyon Ünitesi

Tesisten gelen atıksu dengeleme tankında toplanmaktadır. Dengeleme tankı, endüstriden gelen atıksuyun, olabilecek debi salınımlarını ve değişen kirlilik yüklerini sabitlemek amacıyla kullanılmaktadır. Ardından asit kraking tankına gelen atık suyun pH'ı 2'ye düşürülmektedir. Bu işlem esnasında teknik H_2SO_4 kullanılmaktadır. Daha sonra kimyasal arıtmaya gönderilen atıksuya $FeCl_3$ eklenerek koagülasyon-flokülasyon işlemi gerçekleştirilir.

Buradan çıkan atıksu kimyasal çökeltim tankında toplanır. Burada toplanacak çamur tankta bulunan sıyrıcılar tarafından tank tabanından uzaklaştırılır. Kimyasal çökeltin tankından gelen atıksu, ultrafiltrasyon prosesine gönderilerek süzme işlemi gerçekleştirilir.

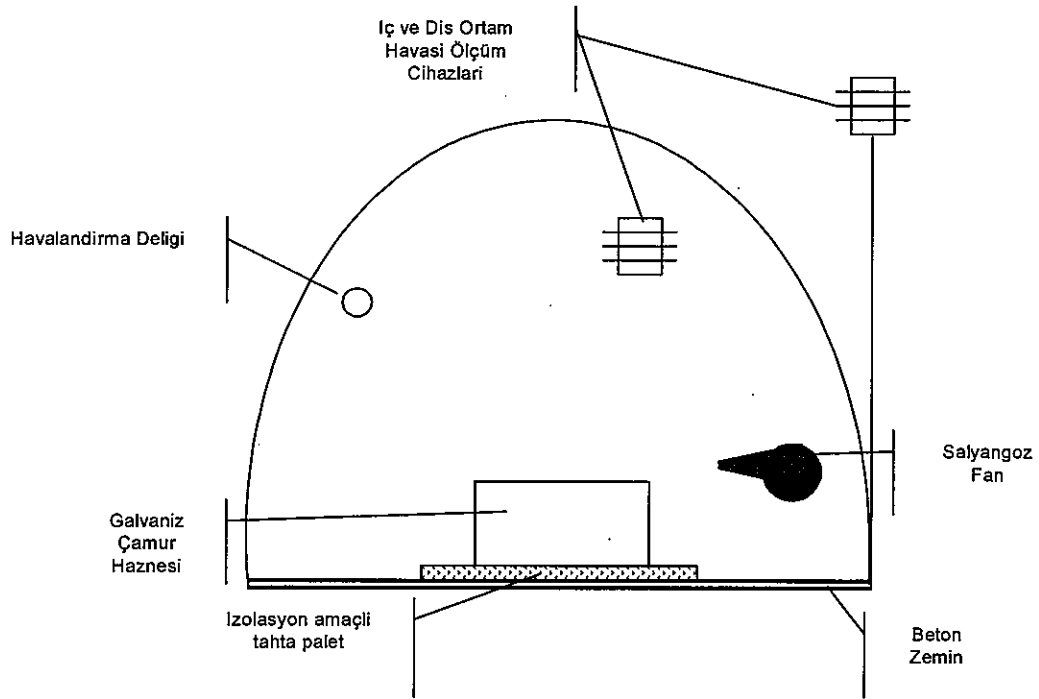
Şekil 3.2'de pilot arıtma tesisi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Marmarabirlik Tarım Kooperatifinde Kurulan Pilot Tesis Görünüşü

3.2. Arıtma Tesisi Asit Kraking Prosesi Sonrası Oluşan Yağlı Çamurun Kurutulduğu Pilot Tesis

Çalışma için Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) Doğu Atıksu Arıtma Tesislerinde atıksu arıtma çamuru kurutma amaçlı inşa edilmiş olan sızdırmaz, beton tabanlı, 2m.× 5m. ölçülerinde, kapalı çamur kurutma yatağı pilot tesisi kullanılmıştır. Üzeri 8 mm. kalınlıkta, %90 ışık geçirimsizliği olan tek hava bölmeli şeffaf polikarbonat örtü ile örtülmüştür. Kapı üstlerinde bırakılan 20 cm. çaplı boşluktan hava yenilenmesi sağlanmıştır. Ayrıca buharlaştırmayı hızlandırmak için çamur yüzeyinde yoğunlaşan havayı süpürmek amacıyla 100 m³/h kapasiteli salyangoz fan kullanılmıştır. Şekil 3.3'te pilot tesisin şeması görülmektedir.



Şekil 3.3: Çamur Kurutma Pilot Tesisi Şematik Görünümü

Tünel tip sera yapısında oluşturulan kurutma yatağı 40°13' N, 29°04' E koordinatında yerleştirilmiştir. Şekil 3.4'de , BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisinde inşaa edilmiş olan pilot tesis önden görünüşü verilmektedir.



Şekil 3.4. Pilot Güneşle Kurutma Sistemi Önden Görüntü (Salihoğlu,2007)

Pilot tesis tasarımında literatür araştırmaları sırasında ulaşılan bilgilerden yararlanılmıştır. Pilot tesis taban teşkili için zemin iyileştirme amacıyla stabilize malzeme, ısı ve su izolasyonu için uygun malzemeler kullanılmış, dolgu yatağının üstündeki grobetonun yüzeyine güneş kolektöründen gelen sıcak su boruları döşenmiş ve en üst katman olarak da çamurun konacağı beton yüzey teşkil edilmiştir (Salihoğlu,2007).

Pilot tesisin çalışma prensibi; kapalı bir kontrol hacmi olarak çalıştırılması ve çamur suyunun buharlaştırma hızının artırılmasına uygun şartların sağlanmasıdır. Bu amaçla pilot tesis içerisinde farklı iç ortam şartlarını sağlamak için 2 müstakil dolgu yatağı oluşturulmuştur. Taban ısıtma sistemi yine bu prensiple ayrı ayrı çalıştırılabilen 2 bölüm olarak teçhiz edilmiştir. Tesisin en önemli özelliği güneş kolektöründen elde edilen sıcak suyla sıcak bir taban elde edilebilmesidir. Bu amaçla gelen su kapalı bir sistem içerisinde dolaştırılmaktadır (Salihoğlu,2007).

3.3. Yağlı Çamur Numunesinin Özellikleri

Marmarabirlik Zeytin Tarım Satış Kooperatifleri Birliği'nde işletilen pilot arıtma tesisinin asit kraking sonrası oluşan yağlı çamuru supernatant üzerinden sıyırma yöntemiyle numune alınarak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.1'de ham yağlı çamur numunesinin karakterizasyonuna ait analiz sonuçları verilmektedir.

Tablo 3.1. Yağlı Çamur Numunesi Karakterizasyonu

pH	2
Katı Madde (%)	12
Uçucu Katı Madde (%)	84
Nem (%)	88
Yağ (%)	2,66
Toplam Azot (g/kg)	16,8
Toplam Fosfor (g/kg)	0,9

Yağlı çamurun katı madde içeriği %12 olarak tespit edilmiştir, katı madde içeriğinin bu kadar düşük olması fiziksel su alma yöntemlerinin uygulanabilirliğinin az olduğunu göstermiştir. %84'lük uçucu katı madde içeriği çamurun organik madde içeriğinin yüksek olduğunu göstermektedir. %2,66'lık yağ içeriği yağın alınarak alternatif yan ürün olarak çeşitli amaçlarla kullanılabileceği sistemlerin araştırılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Tez geliştirme aşamasında yağlı çamur numunesinde gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre çeşitli çamur arıtma ve bertaraf alternatifleri üzerinde düşünülmüştür. İlk alternatif olarak çamurun polielektrolit kullanılarak yoğunlaştırılması ve ardından filtre preslerde suyunun alınarak hacminin azaltılması düşünülmüştür. Çeşitli katyonik ve anyonik polielektrolitler denenmiş ve Buchner Hunisi testi ile çamurun özgül direnci belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak istenilen katı madde seviyesine ulaşamadığı için bu alternatiften vazgeçilmiştir.

Zeytinyağı üretimi atıksuyu arıtımından kaynaklanan çamurların bertarafı ile ilgili Dünya’da yapılan çalışmalar araştırıldığında ise kompost alternatifi üzerinde durulmuştur. Ancak arıtma sisteminin diğer arıtma sistemlerinden farklı oluşu ve çamur numunesinin özelliklerinin de diğer çamurlardan ayrı oluşu ve içeriğindeki N ve P oranının kompost edilen üründen daha az olması, ayrıca kompostun uzun süreli bir işlem olması ve topraktaki yan etkilerinin henüz araştırılıyor olması ikinci alternatiften de vazgeçilmesini sağlamıştır. Daha ekonomik ve kısa sürede çamur bertarafı için BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisinde inşa edilmiş olan pilot tesisin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.4. Deneysel Çalışma Süreci

Aynı miktarlarda yağlı çamur, eşit miktarda karıştırılmış pirina atığı ve yağlı çamur ve sadece pirina atığı kontrollü bir deneme gerçekleştirmek üzere sızdırmazlığı sağlandıktan sonra galvaniz alüminyum kaplara 5 cm yüksekliğinde serilerek kurumaya bırakılmıştır. Çamur sıcaklığı, dış ve iç ortam verileri Onset Computer H21-001 HOBO meteoroloji istasyonu ile ölçülerek saatlik ortalamalar olarak veri derleyicilere kaydedilmiştir. Ölçülen parametreler ve ölçüm hassasiyetleri şöyledir: Güneş radyasyonu (10 W/m^2 veya $\pm \%5$), sıcaklık ($+ 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar $\pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$), nem ($0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dan $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar $\pm \%3 \text{ RH}$). Numune sıcaklıkları, iç ortam nem ve sıcaklık değerleri de Onset Computer H21-002 HOBO mikro istasyon ile ölçülerek saatlik ortalamalar olarak veri derleyiciye aktarılmıştır. Pilot tesisten alınan, yağlı çamur, yağlı çamur ve pirina karışımı ve pirina numunelerine, BUSKİ atıksu laboratuvarlarında Standart Metotlara (APHA, AWWA, WEF, 1998) göre toplam KM, uçucu KM ve sabit KM deneyleri yapılmıştır. Analizlerde, SHIMADZU hassas terazi, NUVE FN 500 etüv ve Lenton Furnaces kül fırını kullanılmıştır. Tablo 3.2'de yağlı çamur, pirina ve yağlı çamur ve pirina karışımı numunelerinin kurutma öncesi özellikleri yer almaktadır.

Tablo 3.2. Yağlı Çamur, Pirina ve Yağlı Çamur ve Pirina Karışımı Numunelerinin Özellikleri

	Katı Madde (%)	Kızdırma Kaybı (%)
Yağlı Çamur	12	84
Pirina	46	96
Pirina ve Yağlı Çamur Karışımı	29	90

3.5. Değerlendirme Süreci

Çalışma sırasında dış ve iç ortam verileri arasındaki ilişki, eklenik radyasyon ve çamur katı maddesi arasındaki ilişki ile kurutma sırasında kızdırma kaybı yüzdelerindeki değişim incelenmiştir.

Yapılan analizler ve ölçümler sonucu elde edilen veriler, tablolar ve grafikler halinde tez çalışması içerisinde kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada polikarbon örtü ile örtülmüş 2m × 5m taban genişliğinde, dolgu yataklı iç ve dış hava sirkülasyonuna sahip pilot tesiste gerçekleştirilen deneme sonuçları ve bu sonuçların değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Denemeler sırasında özellikle iç, dış hava ve çamur sıcaklığı parametreleri sürekli ölçüm yapıp kaydedebilen özel sensörler ve veri derleyicilerle toplanmıştır. Çamur katı madde analizleri kurutma süreci boyunca üç numunenin her biri için örnekler alınarak laboratuvar şartlarında standart methodlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışılan konuda detaylı bilimsel çalışmaların yapılmamış olması araştırılacak konunun nicelik ve niteliğini artırırken literatür çalışmalarında problem oluşturmıştır.

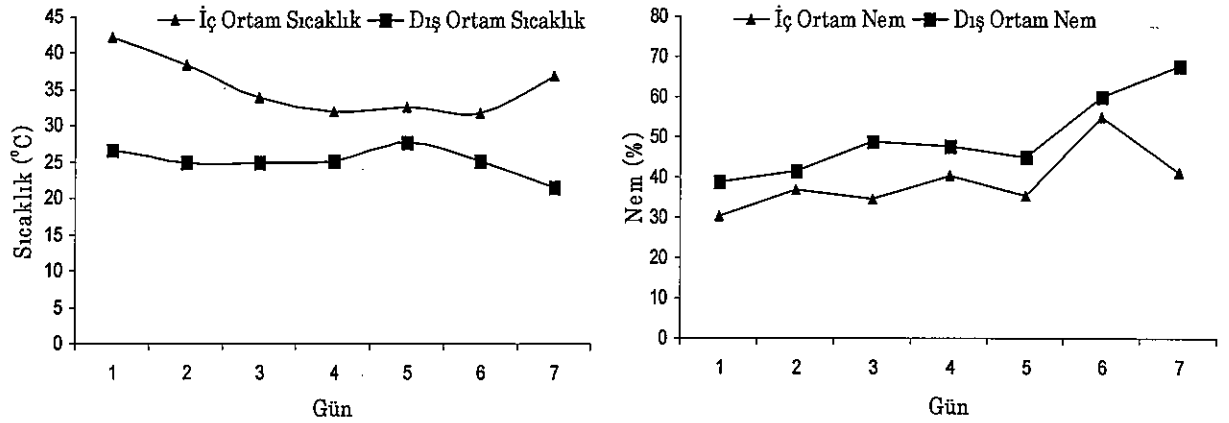
Bulgular ve tartışma bölümünde;

- Çamur Kurutma Seralarında Dış ve İç Ortam Arasındaki İlişki
- Katı Madde ve Eklenik Radyasyon İlişkisi
- Kızdırma Kaybı Değişimleri

açıklanmaya çalışılmıştır.

4.2. Dış ve İç Ortam Verileri Arasındaki İlişki

Yapılan çalışmalar sonunda elde edilen iç ve dış ortam sıcaklık ve nem değişimleri Şekil 4.1’de verilmektedir. 10.07.2009 – 17.07.2009 tarih aralığında yapılan çalışmalar sırasında ölçülen günlük ortalama değerler dikkate alındığında iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklıklarına göre 10,18 °C ve dış ortam neminin iç ortam nemine göre %10,76 yüksek olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.1 : İç ve Dış Ortam Sıcaklık ve Nem Değişimleri

Tablo 4.1’de verilen günlük ortalama iç ve dış ortam verileri dikkate alındığında ;

Tablo 4.1. Günlük Ortalama, En Yüksek ve En Düşük İç ve Dış Ortam Verileri

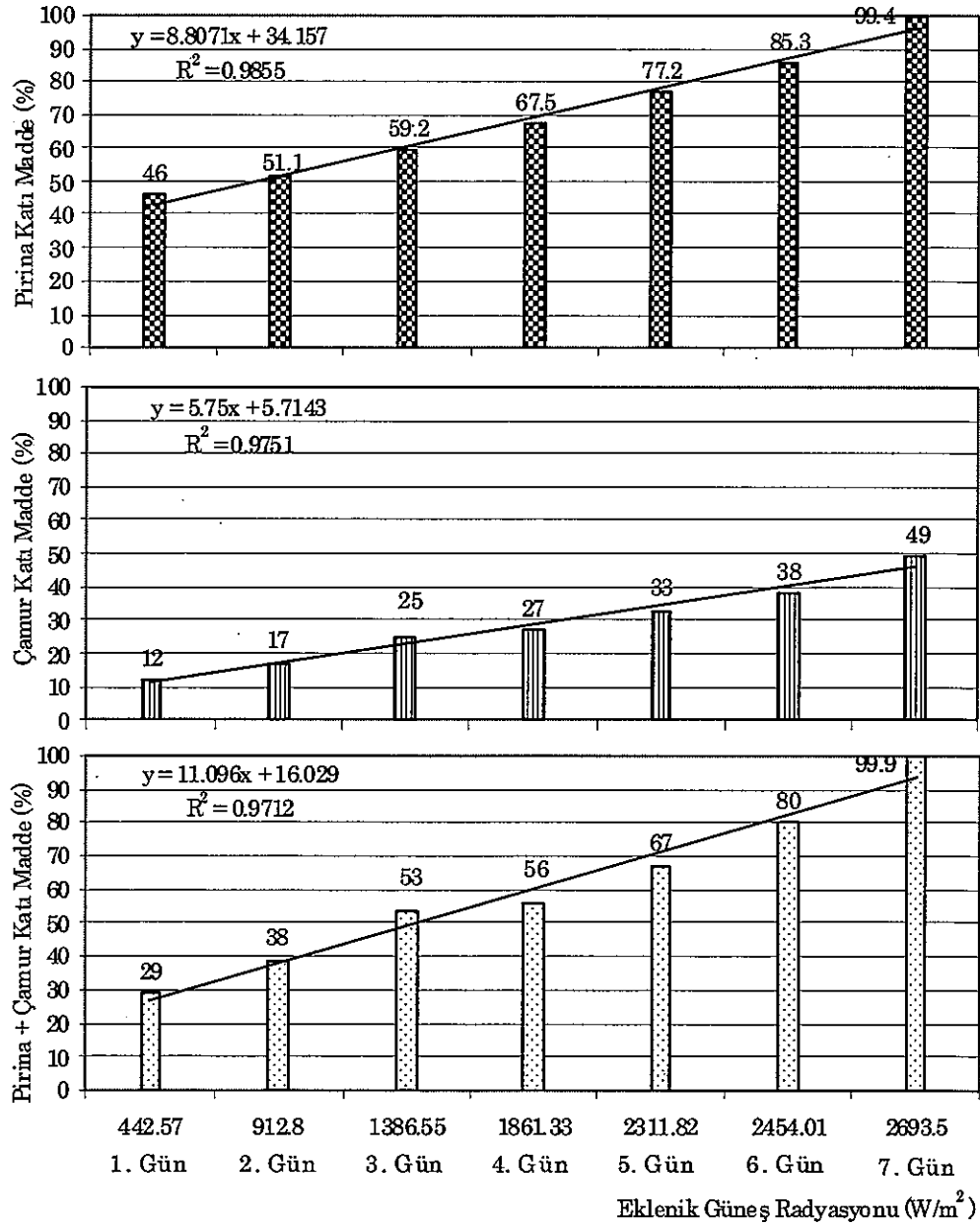
	İç Ortam Sıcaklık (°C)	Dış Ortam Sıcaklık (°C)	İç Ortam Nem (%)	Dış Ortam Nem (%)	Solar Radyasyon (W/m ²)	Pirina Sıcaklık (°C)	Pirina + Çamur Sıcaklık (°C)	Çamur Sıcaklık (°C)
Ortalama	35.62	25.89	37.82	47.84	406.13	29.57	28.66	27.92
En Yüksek	51.79	36.00	74.88	89.50	901.25	50.26	43.31	46.05
En Düşük	22.38	15.40	15.85	23.00	0.00	21.12	21.56	20.73

05.00-21.00 saatleri arasında iç ve dış ortam ortalama nem değerleri sırasıyla , % 37,8 ve % 47,8 olarak gerçekleşmiştir. Önemli etkenlerden biri olan ortalama güneş radyasyonu 406,13 W/m² olarak tespit edilmiştir. İç ortam sıcaklığı ve radyasyon değerleri arasında ($r^2 = 0,58$) gibi bir ilişki olduğu görülmüştür. İç ortam sıcaklığının her üç numune içinde iç ortam çamur sıcaklığından yüksek olduğu saptanmıştır. Pirina iç

sıcaklığı ortalama 29,5 °C, pirina ve yağlı çamur karışımı iç sıcaklığı ortalama 28,7 °C ve yağlı çamur iç sıcaklığı ortalama 27,9 °C olarak ölçülmüştür.

4.3. Katı Madde ve Eklenik Radyasyon Arasındaki İlişki

Şekil 4.2’de kurutma çalışmaları sırasında her üç numune için elde edilen katı madde değerleri ve eklenik radyasyon arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 4.2’de görüleceği üzere yağlı çamurun %12 KM içeriğinden % 49 KM içeriğine, pirina ve yağlı çamur karışım numunesinin %29 KM içeriğinden % 99,9 KM içeriğine, pirina numunesinin %46 KM içeriğinden %99,4 KM içeriğine ulaşması için gerekli güneş radyasyonu değeri olarak 2693,5 W/m² olarak bulunmuştur.



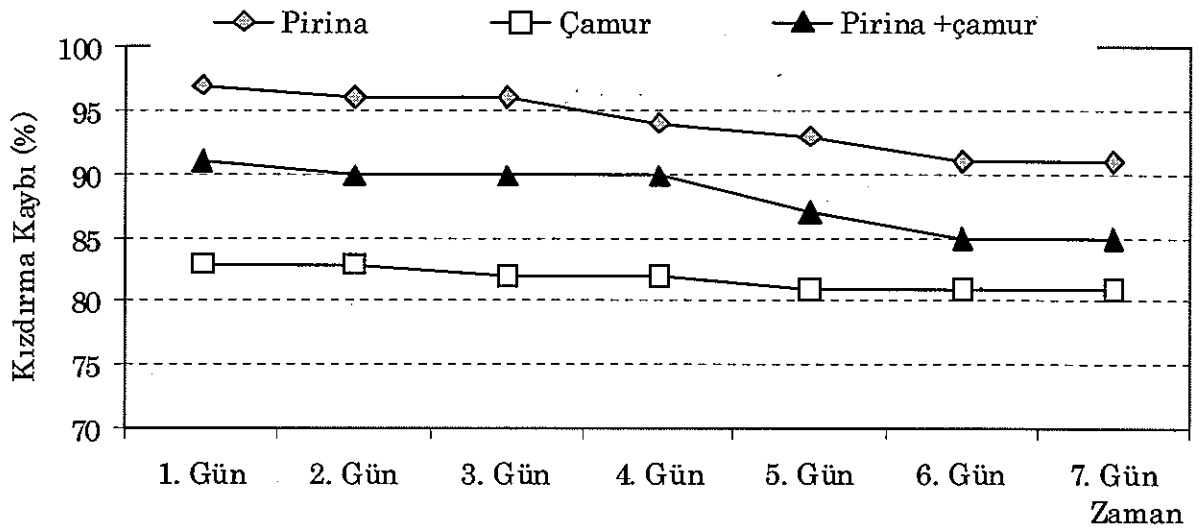
Şekil 4.2. Katı Madde ve Eklenik Radyasyon Arasındaki İlişki

Kuruma sırasında %KM'deki değişimler dikkate alındığında Şekil 4.2'de görüldüğü üzere; pirina %116 artışla, %46 KM'den %99,4 KM'ye, sadece atık yağlı çamur %308 artışla %12KM'den %49 KM'ye ve pirina+çamur %244 artışla %29 KM'den %99,9KM'ye ulaştığı görülmektedir. Aynı zaman periyodu içerisinde en yüksek KM değerine pirina+çamur karışımı ulaşırken, kuruma hızı olarak çamurun daha yüksek hıza sahip olduğu tespit edilmiştir. Gün içerisinde artan radyasyon değerleriyle ısınan hava nem oranında belirgin düşüşlere sebep olmakta, özellikle sabahın ilk saatlerinde bağıl nem en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Kapalı kurutma yatağı içerisindeki bu dalgalanma yoğunlaşmaya ve buharlaşma hızında düşmelere sebep olmaktadır. İç ortam nem, sıcaklık değerleri ile havalandırma miktar ve hızlarının otomatik olarak kontrol edilmesi durumunda kurutma sürelerinde azalma olması beklenmektedir (Salihoğlu ve ark., 2007 b).

Her üç farklı malzeme için yukarıda bulunan eşitlikler kullanılarak farklı mevsimlerde ulaşmak istenen katı madde değerleri için ihtiyaç duyulan toplam güneş radyasyonu miktarları tespit edilebilir. Uzun dönemli radyasyon verilerinden istifade edilerek kurutma için gerekli olan alan ihtiyacı hesaplanabilir.

4.4. Kurutma Sırasında Kızdırma Kaybı Yüzdelerindeki Değişim

Deneyler sırasında 20 °C ile 52 °C arasında meydana gelen kurutma nedeniyle organik maddedeki değişimin bir göstergesi olarak kurutmanın başlangıcından itibaren kızdırma kaybındaki % değişim takip edilmiştir. Şekil 4.3’de görüleceği gibi, pirinada %6, çamurda %2 ve pirina+çamur karışımında %6’lık bir azalma belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Kurutma Sırasında Kızdırma Kaybı Yüzdelerindeki Değişim

Numunelerin düşük sıcaklıkta kurutulmuş olması organik madde kaybının az olmasını sağlamıştır. Organik madde içeriği materyalin kalorifik değerini artıran bir özellik olduğundan kurutma ile kalorifik değerin kaybolmadığı ve daha iyi yanabilen materyaller olduğu düşünülmüştür. Pirina ve yağlı çamur numunesinin birlikte kurutulmasıyla yağlı çamurun tek başına sağlayacağı kalorifik değerin daha üstünde kalorifik değere sahip bir materyal olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR

Zeytinyağı üretim endüstrisinden kaynaklanan atıkların bertarafı için harikulade çözümler yoktur. Endüstriden kaynaklanan atıklar için sunulacak çözümler mutlaka, çevre dostu, ekonomik olarak gerçekleştirilebilir ve sosyal bir krize yol açmadan tüm üreticiler tarafından kabul edilebilir olmalıdır. Alıcı ortamların ve toprağın kalıcı kirliliğinin önlenmesi için atıkların toprağa direkt olarak uygulanmasından ve/veya alıcı ortama verilmesinden kaçınılmalıdır.

Zeytinyağı üretim endüstrisinden kaynaklanan atıkların bertarafı için alternatifler düşünülürken, öncelikle yararlı kullanımı mümkün olan atıkların ayrıştırılması ve bunların pazarının oluşturulması konuları düşünülmelidir. Daha sonra uygulanacak arıtma ve bertaraf yöntemleri düşünülmelidir. Her arıtma da olduğu gibi zeytinyağı üretiminden kaynaklanan atıksuların arıtımında da hangi method uygulanırsa uygulansın mutlaka bir miktar çamur oluşmaktadır. Oluşan çamur atıksu içerisindeki kirlilikleri yoğun biçimde içermektedir ve daha farklı bir yapı teşkil etmektedir. Dolayısıyla çamurun nihai bertarafından önce yapılması gerekenler mutlaka düşünülmelidir.

Uludağ Üniversitesi tarafından Marmarabirlik Zeytin Tarım Satış Kooperatifleri Birliği'nde kurulan pilot arıtma tesisinde zeytinyağı üretiminden kaynaklanan atıksuların yasal mevzuatta belirtilen deşarj kriterlerine getirilmesi sağlanmıştır. Çalışmamızda bu pilot tesisin asit kraking ünitesinden çıkan yağlı çamurun sıyrılarak, zeytinyağı üretiminden kaynaklanan bir diğer atık pirina ile bertarafı araştırılmıştır. Bu yöntemle her iki atığın hacminin azaltılarak, kalorifik değeri yüksek bir ürün elde edilmesi planlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının araştırılması ve yüksek oranda ve organik madde içeriği kaybolmadan bir kuruma gerçekleştirmek adına Uludağ Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir doktora tez çalışması sırasında inşa edilen pilot kurutma tesisinden yararlanılmıştır. Kapalı kurutma yatağı sistemleriyle çamur kurutma yüksek güneş radyasyonu alan bölgelere uygulanabilir. Güneşle kapalı kurutma yatağı sistemlerinin kullanılması ile, kurutma maliyetleri azaltılabilir, kurutma sırasında dış ortam şartlarının etkisi en aza indirilebilir, taşınabilir, depolanabilir ve farklı amaçlarla

kullanılabilir ürün elde edilebilir, istenildiğinde bir kompost tesisine de dönüştürülebilen ve özel durumlarda geçici depolamanın da gerçekleştirilebileceği bir hacim oluşturulabilir, sistemdeki ısının korunması ve ilave enerji kaynağı kullanımı mümkün olabilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının araştırılması, çamur bertaraf maliyetlerinin azaltılması ve elde edilen nihai ürünün yararlı kullanım imkanlarının oluşması adına gerçekleştirilen çalışma sonunda, tüm malzemeler taşınabilir ve depolanabilir bir yapıya kavuşmuştur. Kurutma işlemi sırasında kızdırma kaybı sonuçları dikkate alındığında organik madde oranında önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Proseste kurutma sıcaklığının düşük olmasının organik madde kaybını önlediği düşünülmektedir.

Yağlı çamurun tek başına ya da pirina atığı ile karıştırıldıktan sonra yakılarak bertaraf edilmesi düşünülüyorsa organik madde kaybının az olması kurutma sonrası elde edilen ürünün kalorifik değeri açısından avantaj sağlayacaktır. Elde edilen kurutulmuş üründe yağ alma işleminin uygulanması da bir bertaraf adımı olarak düşünülebilir.

Tek başına yağlı atık çamurun kurutulması yerine pirina atığı ile karıştırılması bertaraf edilmesi gerekli her iki ürünün yeni bir ürün halinde daha kısa sürede kurutulmasını sağlamıştır. Yağlı çamur, güneş enerjisiyle kurutularak bertaraf edilmesi sırasında herhangi bir ön işlem görmemiştir. Bu nedenle bu tür bir yöntemde kapalı kurutma yatağı ilk yatırım tutarı en önemli maliyet kalemi olarak düşünülmelidir. Özellikle zeytinyağı atıksuyu arıtımından kaynaklanan yağlı çamurların ve zeytinyağı üretiminde oluşan pirinanın güneşle kurutulması taşıma kolaylığı, bertaraf maliyetinin azalması, depolama hacmi gereksiniminin düşmesi anlamında önem taşımaktadır.

6. KAYNAKLAR

Anonim, "Improvements of Treatment and Validation of the Liquid Waste from the Two-phase Olive Oil Extraction", Final Report, Project Improlive, FAIR-CT 96-1420, FAO.2000

APHA,AWWA,WEF,1998.*Standard methods for the examination of water and wastewater*,20th Ed.,Washington D.C.

AZBAR, N., BAYRAM, A., FİLİBELİ,A., MÜEZZİNOĞLU,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.

BAYRAM,A., AND DUMANNOĞLU, Y. Evaluation of pirina as fuel. *Proc. First Int. Symp. Environmental Problems in Olive Oil Production and Solutions*, 7-9 Haziran 2002, eds. N.Azbar, N.Vardar,M.Akın, and I.Cevilan. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye.

BAYRAM, A. Bir yenilenebilir enerji kaynağı pirina: Üretim, Özellikler ve Değerlendirme. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. İzmir Elektrik Mühendisleri Odası, 18-20 Ocak 2001, pp. 108 -112. İzmir

BONAZZİ,M. *Euro – Mediterranean policies and olive oil: Competition or job sharing*. Executive Summary. EUR 17270 EN, Seville, 1996.

BRUN,R., VİLLE,O.D., 1974. Orientation of Greenhouses In The Mediterranean Zone. *Acta Horticulturae*, International Society for Horticultural Science,V.42,p.43-54

BUX, M., BAUMANN, R.,QUADT, S., PINNEKAMP J., MÜHLBAUER W., 2002. Volume reduction and biological stabilization of sludge in small sewage plants by solar drying,*Drying Technology*,20,829-37.

CHEN, G.,W.,J.C.LIU,D.J:LEE,1996.Co-Conditioning and Dewatering of Chemical and Waste Activated Sludge, Water Research,Elsevier,Amsterdam,V.35 (3-4),443-448.

CHANDRA P., 1976. Predicting the Effects of Greenhouse Orientation and Insulation On Energy Conservation. MSc. Thesis. Department of Agricultural Engineering,University of Manitoba,Winnipeg,Manitoba,Canada. Yayınlanmamış.

DEMİCHELLİ, M., AND BONTUOX, L. *Survey current activity on the valorization of by-products from the olive oil industry*. European Commission Joint Research Centre, Final Report. www.jrc.es/projects/ff/EC/IPTS/IPTSPUBL.html,1996.

DICK,R. I.,R.D.BALL,1980. Sludge Dewatering,CRC Critical Reviews In Environmental Control, TaylorFrancis,Oxfordshire,269-337.

DMİ,2007.Devlet Meteoroloji İşleri genel Müdürlüğü Web Sayfası

<http://www.meteor.gov.tr> ve <http://www.meteor.gov.tr/2006/tahmin/tahmin-iller.aspx>

DUMANOĞLU, Y. *Investigation of pirina combustion in a test boiler for energy production*. Unpublished MSc thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir,2003.

EMİR,Ü.E.,2002. The Role of Dewaterability Measures On The Liquid – Solid Separation of Biological Sludges: Compactibility As A New Measure Of Sludge Dewaterability. Yüksek Lisans Tezi . Boğaziçi Üniversitesi. Yayınlanmamış.

FACCHİNİ U.,G.MARELLİ,L.CANZİ,1983. Solar (Heated) Greenhouses with Low Energy Consumption. Colture Protette,V.12(11),p.31-45.

FİLİBELİ,A., 1996.Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ,D.E.Ü.Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi,İzmir.254.

FILIPPI,C.,BEDINI,S., LEVI-MINZI,R.,CARDELLI,R.,AND SAVIOZZI, A.
Cocomposting of olive oil mill by-products. Chemical and microbiological evaluations,
Compost Sci.Utilization 10(1), 63-72,2002

FLAGA, A., sludge Drying, Proceedings of Polish-Swedish Seminars, Cracow March
17-18, (2007). Integration and Optimisation of Urban Sanitation Systems. TRITA-
LWR.REPORT .

GONZALES,D.,HANNAN, J.J.,1988. effect of Radiation, Wind Velocity and
Temperature Differential on Natural Gas Consumption of Greenhouses: Preliminary
report, Research Bulletin No. 454,Colorado Greenhouse Grower's Association.

GUPTA,M.J.,CHANDRA, P., 2002. Effect of Greenhouse Design Parameters on
Conservation of Energy for Greenhouse Environmental Control. Energy, International
Association for Energy Economics, IAEE,V.27,p.777-794

HACHICHA S., CEGARRA, J., SELAMI, F., HACHICHA,R., DRIRA, N., 2009.
Elimination of polyphenoles toxicity from olive mill wastewater sludge by its co-
composting with sesame bark. Journal of hazardous materials, 1131-1139.

HARALAMBOPOULOS,D.A., BISKOS , G., HALVADAKIS, C., LEKKAS, T.D.,
2002.Dewatering of wastewater sludge through a solar stil. *Renewable Energy*, 26,247-
56.

HARNETT,R.F., T.V.SIMS,BOWMAN,G.E.,1979. Comparison of Greenhouse Types
And Their Orientation. Experimental Horticulture,V.31,p.59-66.

HARTZ T.K.,LEWIS A.J.,1982. Reflective Wall Reduces Energy Consumption.
American Vegetable Grower, V.30(2),p.22-4.

HIGGINS,M.J., NOVAK J.T.,1997.Settling and Dewatering of Activated Sludge: The Case for Using Cation Analysis, Water Environment Research ,Ingenta Connect,WEF,V.69,225-236.

İKİZOĞLU, E. VE HASKÖK, S., "Zeytin Karasuyunun Fiziksel Kimyasal Ve İleri Oksidasyon Yöntemleriyle Arıtımı", Su Ve Çevre Teknolojileri Dergisi, Eylül-Ekim 2005, Sayı-4

JIN,B.,B.M.WILEN,P.LANT,2003. A Comprehensive Insight Into Floc Characteristics and Their Impact On Compressibility and Settleability Of Activated Sludge.Chemical Engineering Journal,Elsevier,Amsterdam,95,221-234.

KESTİOĞLU, K., YONAR, T., YALILI KILIÇ, M., KAYA G., KOÇI G., 2008. Uludağ Üniversitesi Bilimsel Projeleri M-2008/33 No'lu Proje: Zeytin Karasuyunun Laboratuvar ve Pilot Ölçekli Tesisler Yardımıyla Arıtılabilirliğinin Araştırılması.

KURATA K., QUAN Z., NUNOMURA,O.,1991. Optimal Shapes of East-West Oriented Single-Span Tunnels with respect to Direct Light Transmissivity.Journal of Agricultural Engineering Research, Academic Pres, V.48(2),p.89-100.

LANDGREN,B.,1985. Aging Tests With Covering Materials for Greenhouse. Acta Horticulturae, International Society for Horticultural Science,v.170,p.119-25.

LUBOSCHIK, U.,1999. Solar sludge drying-based on the IST process.*Renewable Energy*.16,785-8.

MATHIOUDAKIS, V.L., KAPAGIANNIDIS, A.G., ATHANASOULA, E.2009. Extended dewatering of sewage sludge in solar drying plants.Desalination, 733-739.

MIKKELSEN,L.H.,K.KEIDING,2002. Physico-Chemical Characteristics Of Full Scale Sludge With Implications to Dewatering,water Research,V.36,2451-2462.

MIELSCH, W., 1985. Development and production of New Energy Efficient Greenhouses, Dresden GDR Conference May 13-15.

METCALF AND EDDY., 1991. Wastewater Engineering :Treatment ,Disposal,Reuse: Third Edition.

PAREDES, C., BERNAL, M.P., CEGARRA, J., ROÍG, A., 2002. Biodegradation of olive oil mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes. Bioresource technology, 1-8.

PATUMSAWAD, S., AND CLIFFE, K.R, Experimental study of fluidized bed combustion of high moisture municipal solid waste. *Energy Combust. Manage.* 43(17),2329,2340,2002.

PIETERS, J.G. VE DELTOUR, J.M., 1999. Modelling Solar Energy Input In Greenhouses. Solar Energy, Elsevier, Great Britain, p.119-130.

PLAZA, C., SENESİ, N., BRUNETTİ, G., MONDELLİ, D., 2005. Cocomposting of sludge from olive oil mill wastewater mixed with tree cuttings. Compost Science and Utilization, 217-226.

PLAZA, C., SENESİ, N., BRUNETTİ, G., MONDELLİ, D., 2007. Evolution of the fulvic acid fractions during cocomposting of olive oil mill wastewater sludge and tree cuttings. Bioresource Technology, 1964-1971.

QIU, GUO YU. Y. TOMOHISA, M. KAZURO, 1998. An Improved Methodology to Measure Evaporation From Bare Soil Based On Comparison of Surface Temperature with A Dry Soil Surface, Journal of Hydrology, elsevier, Great Britain, V.210, p. 93-105.

SALİHOĞLU, N.K., 2007 Atıksu Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması ve Stabilizasyonunda Kapalı Kurutma Yataklarının Kullanımı, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

SALİHOĞLU, N.K., PINARLI, V., 2007 a. Atıksu arıtma çamurlarının kapalı yataklarda güneş enerjisiyle kurutulması. *İtùdergisi*, 1, 3-14.

SALİHOĞLU, N.K., PINARLI, V., SALİHOĞLU, G., 2007 b. Solar drying in sludge management in Turkey, *Renewable Energy*, Volume 32, Issue 10, August 2007, Pages 1661-1675.

SCHWARTZE, J.P., BRÖCKER, S., 2000. The evaporation of water into air of different humidities and the inversion temperature phenomenon. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 43, 1791-1800.

ŞENGÜL, F., Endüstriyel atıksuların karakterizasyonu ve arıtımı. Mühendislik Fakültesi Yayınları, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir, 1991.

ŞENGÜL, F., ÇATALKAYA ÇOKAY, E., EVCİL, H., ÇOLAK, O., SAĞER, Y., 2003. Zeytin Karasuyunun Arıtım Projesi, Ebso Projesi Kapsamındaki Zeytinyağı İşletmeleri İçin Durum Tespiti, Karasu Karakterizasyonu, Karasuyu Arıtılabilirlik Çalışmaları ve Sonuçları, D. Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, 2003.

ŞENGÜL, F., OKTAV, E., AND COKAY, E. *Zeytinyağı üretiminden kaynaklanan atıksuların arıtılması ve yan ürünlerin yararlı kullanımı*. 2000-GAP- Çevre Kongresi., Harran Üniversitesi, 2, 713, 16-18, 2000, Şanlıurfa, Türkiye.

TİWARI, G.N., DHİMAN, N.K., 1985. Periodic theory of A Greenhouse. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, Amsterdam, V.25(2), p.217-33.

VAXELAİRE, J., BONGİOVANNİ, J.M., MOUSQUES, P., PUİGGALİ, J.R., 2000. Thermal drying of residual sludge, *Water Research*, 34, 4318-4323.

VAXELAİRE, J., CEZAC, P., 2004. Moisture distribution in activated sludges: A review, *Water Research* 39, 2215-2230

ZAMIR,N., MEDAN,G.,ARKEL,A.,LEVAV,N.,1984. The Influence of Climatic Condition on The Heat Losses from Conventional and Sloping Greenhouses. *Acta Horticulturae*, International Society for Horticultural Science, V.148,p.319-28.

ZUBERBUEHLER,U.,BERGER,R.,BAUMBACH,G.,HEIN, K.R.G., AND BAYRAM, A. Combustion performance with residues of olive oil production in three different firing systems for decantralized process heat generation. *1st World Conf. Exhibition on Biomass for Energy and Industry*, 5-9 June 2000, Sevilla, Spain, 8(48).

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Bitlis'te doğan Gülnur KOÇI, 2001 yılında Bursa Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi'ni, 2007 yılında da Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. Ardından Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

Ekim 2009 tarihinden itibaren Maysan Mando Otomotiv Parçaları San. Ve Tic. A.Ş'de Kalite Sistem ve Çevre Mühendisi olarak görev yapmaktadır

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren Danışmanım, Sayın Prof. Dr. Kadir KESTİOĞLU'ya ve çalışmanın yürütülmesinde teknik desteğini, bilgisini esirgemeyen Hocam, Öğretim Üyesi Dr. Nezih Kamil SALİHOĞLU'na tezime ve kariyerime yaptıkları katkıdan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini aldığım Sayın Yrd.Doç. Dr. Taner YONAR'a ve Arş. Gör. Melike Yalılı KILIÇ'a teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisi çalışanlarına teşekkür ederim. Lisans ve yüksek lisans dönemlerinde eğitim-öğretim adına emeği geçmiş olan tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen annem Aynur KOÇİ ve babam Faik KOÇİ'ye teşekkür ederim. Her zaman dostluklarını hissettiğim, iyi günümde de kötü günümde de yanımda olan kardeşlerime ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.