

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAKARYA İLİNE AİT ARITMA ÇAMURU İLE
TARIMSAL İKİNCİL ÜRÜNLERİN BİRLİKTE
KURUTULMASININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan ZORLU

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN

OCAK 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAKARYA İLİNE AİT ARITMA ÇAMURU İLE
TARIMSAL İKİNCİL ÜRÜNLERİN BİRLİKTE
KURUTULMASININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan ZORLU

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez .../...../2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

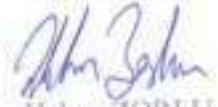
Doç. Dr.
Cenk ÇELİK
Jüri Başkanı

Doç. Dr.
Hüseyin PEHLİVAN
Üye

Yrd. Doç. Dr.
Asude ATEŞ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.


Hakan ZORLU

26.01.2015

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin PEHLİVAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.3. Çalışmanın Organizasyonu.....	4
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
BÖLÜM 3.	
ENERJİ KAYNAKLARI VE KULLANIMI.....	12
3.1. Dünyada Enerji Kaynaklarının Durumu.....	12
3.1.1. Dünyada petrolün durumu	13
3.1.2. Dünyada doğalgazın durumu	14
3.1.3. Dünyada kömürün durumu	15
3.1.4. Nükleer santrallerin durumu	15
3.1.5. Hidroelektrik santrallerin durumu	16
3.1.6. Yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu.....	16
3.2. Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Durumu	17

3.2.1. Kömürün durumu.....	18
3.2.2. Petrolün durumu	19
3.2.3. Doğalgazın durumu	19
3.2.4. Nükleer santrallerin durumu	20
3.2.5. Hidroelektrik santrallerin durumu	20
3.2.6. Yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu.....	20
3.3. Dünyada ve Türkiye’ de Birincil Enerji Kaynaklarının Durumunun Değerlendirilmesi	22
3.4. Enerji ve Çevre İlişkisi	23
3.5. Arıtma Çamuru	24
3.5.1. Birincil arıtma çamuru	25
3.5.2. İkincil arıtma çamuru.....	26
3.5.3. İleri arıtma çamuru	27
 BÖLÜM 4.	
METERYAL VE METOD	30
4.1. Arıtma Çamuru Kurutmasına Etki Eden Faktörler.....	30
4.2. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler.....	31
4.2.1. Çalışmada kullanılan maddelerin alınması	31
4.2.2. Çalışmanın yapıldığı yer ve kullanılan ekipmanlar	34
4.3. Çalışmanın Yapılması	35
4.4. Laboratuvar Ortamında Yapılan Deneyler	43
 BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE KURUTMA	45
5.1. Üç Farklı Metoda Kurutma.....	45
 BÖLÜM 6.	
TARTIŞMALAR ve ÖNERİLER.....	58

KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	61



SİMGELER VE KISALTMALAR

AÇ	: Arıtma çamuru
BTEP	: Bin ton eşdeğer petrol
FK	: Fındikkabuğu
KEG	: Küresel eylem grubu
KM	: Katı madde
TPAO	: Türkiye petroleri anonim ortaklığı
Vpe	: Varil petrol eşdeğer

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1. Klasik Atıksu Arıtma Tesisinde Katı Madde ve Çamur Kaynakları ...	28
Tablo 4.1. %80 AÇ - %20 FK Karışımlarının açık ortamda kurutması ile kültlerinin zamana bağlı değişimi (kg).....	38
Tablo 4.2. %80 AÇ - %20 FK Karışımlarının Kapalı Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi.....	38
Tablo 4.3. %70 AÇ - %30 FK Karışımlarının Açık Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi	39
Tablo 4.4. %70 AÇ - %30 FK Karışımlarının Kapalı Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi.....	39
Tablo 4.5. %100 AÇ Numunelerinin Açık Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi (kg)	40
Tablo 4.6. %100 AÇ Numunelerinin Kapalı Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi (kg)	40
Tablo 5.1. Çamuru ve Fındıkkabuğu Karışımının Fiziksel Özelliği.....	48
Tablo 5.2. Arıtma Çamuru ve Fındık Kabuğu Karışımının Kimyasal Özelliği.....	48
Tablo 5.3. Efektif Difüzyon Katsayıları... ..	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Dünyada 2014 Yılı Birincil Enerji kullanımı [32]	13
Şekil 3.2. Türkiye’de Enerji Tüketiminin Kaynaklar Bazında Dağılımı [30].....	18
Şekil 3.3. Arıtma tesisi aşamaları ve çamur arıtımı	26
Şekil 4.1. SASKİ Arıtma Tesisinin Kuşbakışı Görünüşü [51]	32
Şekil 4.2. File İçersinde Arıtma Çamuru Ve Fındikkabuğu Karışımları	34
Şekil 4.3. Açık Alanda Kurumaya Bırakılan Numuneler	36
Şekil 4.4. Kapalı Alanda Kurumaya Bırakılan Numuneler.....	37
Şekil 4.5. Günlük Sakarya İli Ortalama Nemin Zamanla Değişimi.....	41
Şekil 4.6. Günlük Sakarya İli Min ve Max Sıcaklığın Zamanla Değişimi	42
Şekil 4.7. Günlük Sakarya İli Rüzgar Hızının Zamanla Değişimi	42
Şekil 4.8. etüv fırını ve kurutma için hazırlanan numuneler.....	43
Şekil 4.9. mikrodalga ve kurutma için hazırlanan numuneler	44
Şekil 5.1. %80 AÇ - %20 FK Karışımının Zamana Bağlı Buharlaşma Oranı Değişimi.....	46
Şekil 5.2. %70 AÇ - %30FK Karışımının Zamana Bağlı Buharlaşma Oranı Değişimi.....	46
Şekil 5.3. %100 AÇ Numunelerinin Zamana Bağlı Buharlaşma Oranı Değişimi	47
Şekil 5.4. İç ve dış ortamda kurutulan numunelerin ortalama buharlaşma oranlarının zamanla değişimi	49
Şekil 5.5. Etüvde kurutulan numunelerin buharlaşma oranlarının zamanla değişimi	50
Şekil 5.6. Numunelerin alt ve üst ısı değerleri.....	51
Şekil 5.7. Arıtma çamurunun Mikrodalga kurutma özelliği	57

ÖZET

Anahtar kelimeler: Arıtma Çamuru, kurutma, Alternatif Enerji Kaynağı

Bu çalışmada; enerji ve çevre sorunlarından biri olan atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurunun bertarafı yerine alternatif yakıt olarak kullanımı araştırılmıştır. Sakarya Büyükşehir Belediyesine ait atıksu arıtma tesisinden elde edilen arıtma çamuru kullanılmıştır. Arıtma çamurunun enerji değerinin arttırmak için farklı oranlarda tarımsal ikincil ürün olan fındıkkabuğu ilave edilerek homojen karışımlar hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numunelerin bünyesinde bulunan yüksek nem içeriklerinin düşürülmesi amacı ile açık havada güneşte, mikrodalga fırında ve etüv fırında kurutma işlemleri uygulanmıştır. Kurutma verimliliği ve alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki maksimum enerji fırında kurutmada harcanırken en az enerji tüketimi de mikrodalga fırında olmuş ve ayrıca en yüksek spesifik enerji tüketimi değeri fırın kurutma olmuştur. Arıtma çamurunu açık alanda kurutma süresi diğer yöntemlere göre çok uzundur. Fakat açık alanda kurutma maliyeti en düşük olandır. Arıtma çamuru karışımlarının kurutma işlemi sonucunda alt ısı değeri ve üst ısı değerleri 3,4–4,9 Mcal/kg arasında olduğu görülmektedir. Ülkemizde yaygın olan elektrik santrallerinde kullanılan linyit kömürün alt ısı değeri ve üst ısı değeri 1-4,2 Mcal/kg arasında değiştiği için arıtma çamurundan oluşan karışımların alternatif yakıt veya ek yakıt olarak değerlendirilebilir.

INVESTIGATION OF DRYING SECONDARY AGRICULTURAL PRODUCTS WITH SEWAGE SLUDGE OF SAKARYA

SUMMARY

Keywords: Sewage sludge, drying, alternative energy source

In this study; instead disposal of sewage sludge from treatment plant, which one of the energy and environmental problems, has been investigated for use as alternative fuels. Sewage sludges were obtained from the wastewater treatment plant of Sakarya Metropolitan Municipality. In order to increase the energy value of sewage sludge, the homogeneous mixture is prepared by adding different ratios of nut shell that is the secondary agricultural products. Then open sun, microwave and oven drying were applied for reducing the high moisture content in the structure of the prepared sample. Drying efficiency and the usability for alternative energy sources have been investigated. While Maximum energy was consumed in oven during drying, in the microwave the least energy consumption was seen and also the highest specific energy consumption values were in oven drying. Sewage sludge drying time in the open space is very long compared to other methods. However, it is the one in the open field with the least cost. It has been seen that the minimum and the maximum heat of the sewage sludge mixtures after the drying process are 3,4 and 4,9 mcal/kg respectively. As the minimum and maximum heat of the brown coal which is used in power plants common in our country varies between 1-4,2 mcal/kg, the mixtures that derive from sewage sludge can be used as an alternative or supplementary fuel.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Canlılar tarih boyunca enerjiye ihtiyaç duymuşlardır. Canlı hayatının devam edebilmesi için yemek ihtiyaçları dışında asırlar boyunca ısıtmada, korunma, barınma ve ısınma da enerjiye ihtiyaç duymuşlardır. Enerji, her zaman hayatın devamı için vazgeçilmez bir araç olagelmıştır. Yeryüzündeki devletlerin gelişmişlik göstergelerinin ilk sırasında enerji tüketimi gelmektedir. Zamanımızda hayatın devam edebilmesi için her konuda ve alanda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Teknolojik gelişmeler, insanların hayatını sürdürebilmesi için gerekli araçların üretilmesi, bu araçların iş yapabilmesi, insan nüfusunun artması ve sanayileşme, serbest piyasa sonucu oluşan rekabetçi koşullar, iş imkânları oluşturma çabaları ülkeleri aşırı enerji tüketimine yöneltmiştir.

Geçmişte olduğu gibi ışık ve ısı ihtiyacını gidermek için kullanılan enerjiden, günümüzde hemen her alanda faydalanılmaktadır. Yüzyıllar içerisinde enerji, insanların en önemli tüketim materyali olmuştur. Dünyada çapındaki gelişmeler, enerjinin askeri, politik ve iktisadi gelişmelerin her zaman merkezinde olduğunu göstermiştir. Hızla küreselleşen dünyada, devletlerin iktisadi ve sosyal gelişimlerinin en temel ihtiyaçlarından birisi enerjidir. Günümüzde en çok kullanılan birincil enerji ihtiyacının yaklaşık %80'i, her geçen gün hızla azalan fosil yakıtlardan giderilmektedir. Yeryüzünde fosil yakıt kaynakları hızla tükenmektedir. Mevcut durum itibarıyla petrolün 40, doğal gazın 62, kömürün ise 216 yıllık ömrü kaldığı öngörülmektedir. Ülkemiz enerji ihtiyacının yaklaşık %68'i ithal edilmektedir. 2020 yılında enerji ihtiyacının %75'inin ithal edileceği ön görüldüğünden, alternatif enerji kaynaklarına geçiş yapılmadığı takdirde, önümüzdeki yıllarda bir enerji darboğazına

girileceği kaçınılmaz olduğu aşıkârdır [1]. Bu nedenle enerjinin daha verimli kullanılması gerekliliği herkes tarafından kabul edilmektedir.

Günümüzde enerji ihtiyacıyla birlikte ortaya çıkan sorunların başında çevresel faktörler gelmektedir. Harcanan enerjinin büyük bir çoğunluğu çevreye zarar veren yenilenemeyen; çok az bir kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Ancak, hızla tükenen fosil kaynaklar ve artan çevre kirliliği, devletleri alternatif enerji kaynakları arayışına yöneltmektedir. Alternatif enerji kaynaklarına yönelik artan ilgi, gelişmiş ölkelerin önderliğinde ön plana çıkmakla birlikte, zaman içerisinde enerji arzı ve çevre konusunda sorun yaşayan tüm ölkelerin bu kaynaklara yönelmelerine neden olmuştur. Enerji ihtiyacının artması ile artan evsel ve endüstriyel kökenli atıklar, insan sağlığını tehdit eder boyutta çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle enerji tüketimi ile çevre sorunlarında büyük artış meydana gelmektedir. Gelişmiş dünya ölkeleri atıkların doğal kaynaklara ve çevreye verdikleri zararı uzaklaştırmak veya bertaraf etmek yerine, enerjiye dönüşümlerinde kullanma yoluna gitmişlerdir. Bu alanda en çok dikkat çekenlerin başında arıtma çamuru gelmektedir. Arıtma çamurun çevreye verdiği zararın en aza indirilebilme ve enerjiye dönüştürölmesi olanağı olduğundan ön plana çıkmaktadır.

Gelişmiş dünya devletleri (ABD, İngiltere, Fransa, Hollanda vb.) atıkların zararlarını en aza indirmek ve atıkları değerlendirmek konusunda önemli çalışmalar yapılmaktadır. Sanayileşme ve kentleşme sürecinde bulunan Türkiye’de, atıkların çevreye verdiği zararların azaltılması amacıyla arıtma tesisleri inşa edilmektedir. Günümüzde atık su arıtma tesis sayısı hızla artmaktadır. Buna paralel olarak arıtma çamuru miktarlarında da büyük artış gözlenmektedir. Arıtma tesisi maliyetinin yaklaşık yarısı açığa çıkan çamurun bertarafından oluşmaktadır [2]. Türkiye’de arıtma çamurunun bertarafı konusunda Avrupa Birliği (AB) uyum süreci kapsamında yasal yönden yeni düzenlemelerle önemli adımlar atılmış ve son yıllarda bu konudaki bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır.

2012 yılı verilerine göre Türkiye’de yaz mevsiminde 14,6 milyon ton, kış mevsiminde 11,2 milyon ton olmak üzere toplam 25,8 milyon ton atık toplandığı

belirlenmiştir [3]. Kanalizasyon şebekesi ile toplanan 4,1 milyar m³ atık suyu büyük oranlarda arıtma çamuru oluşturmaktadır. Diğer yandan dünyada ve ülkemizde arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları organik atıklar içerisinde önemli yer tutmaktadır. Bu çalışmada kullanılan arıtma çamurlarının temin edildiği Sakarya Atık Su Arıtma Tesisine günde yaklaşık 80–130 bin m³ atık su girmekte ve bu atık suyun arıtım işlemi neticesinde ≈17,5 ton KM/gün arıtma çamuru çıkmaktadır. Şehirlerin büyümeleri ve alt yapı çalışmalarının hızlanmasıyla birlikte kanalizasyon şebekeleri de giderek genişlemekte ve bunların atık su arıtma tesislerine bağlanmasıyla ortaya çıkan çamur miktarı da hızla artmaktadır. Bu atıkların uygun bir proses ile değerlendirilmesi ile mevcut olan ekonomik ve çevresel problemler bir nebze azalacak ve özellikle enerji üretiminde hammadde veya yakıt olarak kullanılması ile hem çevre yönünden hem de ülke ekonomisi yönünden ciddi faydalar sağlayacaktır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ülkeler refah seviyelerini yükseltebilmeleri ve koruyarak devam ettirebilmeleri için alternatif enerjilere ihtiyaç duymaktadır. Dünya çapında birincil enerji kaynağı olarak fosil yakıt kullanımının artması ülkelerin ekonomisine her geçen gün daha fazla maliyet getirmektedir. Ayrıca ülkemizde olduğu gibi fosil kaynakları bakımından fakir olan ülkeler enerji ihtiyacını sağlamaları, ülkenin enerji ihtiyacında dışa bağılılığı arttırmakta ve bütçeye ayrıca yük getirmektedir. Bununla beraber artan insan nüfusu, kentleşme ve sanayileşme enerji talebinin yanında büyük oranda artarak devam eden evsel ve endüstriyel atık ortaya çıkarmaktadır. Evsel atık su arıtma tesislerinde her yıl çok büyük miktarlarda arıtma çamuru açığa çıkmaktadır. Bu çamurun çevreye zarar vermeden düzenli olarak bertaraf edilmesi ve mümkün olduğu kadar ekonomik yönlerden değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu atıkların çevreye zararının azaltılması ve ekolojik dengeyi bozmamak için yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması çevreye zararını azaltarak ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada Sakarya Büyükşehir Belediyesi evsel atık su arıtma tesislerinde çıkan arıtma çamurunun, çevreye en az zarar verecek şekilde bertarafı ve ülke ekonomisine katkı sağlamak için katı yakıt veya ek yakıt olarak kullanılabilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla arıtma çamurunun bünyesinde bulunan yüksek nem içeriğinin kurutma yolu ile azaltılması için mikrodalga, etüv ve güneş radyasyonundan yararlanarak kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Arıtma çamurunun enerji değerlerinin artırılması amacıyla tarımsal ikincil ürün olan fındikkabığı farklı oranlarda eklenerek homojen karışımlar elde edilmiştir. Oluşan karışımın katı yakıt veya ek yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

1.3. Çalışmanın Organizasyonu

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde temel bilgiler verilmiş ve çalışmanın amacı açıklanmıştır. İkinci bölümde ise bu konuda günümüze kadar yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın devamında dünya ve ülkemizde enerji durumu değerlendirilmiş, enerji ve çevre ilişkisi hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ise bu çalışmada yürütülen deneysel çalışmalar ve deney düzenekleri açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen bulgular değerlendirildi ve çalışmanın devamında altıncı bölümde yürütülen deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilere yer verilmiş ve tezin ana konusu olan arıtma çamurunun alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği hakkında bilgiler verilmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ülkemizde senelik evsel arıtma çamuru miktarının yaklaşık olarak 1,38 milyon ton dur. Meydana gelen arıtma çamurlarının büyük bir kısmı katı atık depolama sahalarında veya arazi alanlarında depolayarak bertaraf edilmektedir [4]. Miktarları her geçen gün artan arıtma çamurlarının çevresel bir sorun teşkil etmemesi için uygun yöntemlerle bertarafı gerekmektedir. Arıtma çamur bertarafı konusunda uzun yıllardan beri çeşitli yöntemler denenmiş ve çok sayıda araştırma yürütülmüştür.

Halisdemir [5] çalışmasında, biyolojik arıtma çamurunun ve portakal posasının yakıt olarak kullanılabilmesi için gerekli ön işlemler uygulamıştır. Arıtma çamurunun özellikleri, nem içeriği, kül tayini parametrelerinin etkilerini araştırmıştır. Araştırmalarıyla nem ve katı madde tayini, kül tayini, uçucu madde tayini, ısı değeri tayini gibi konuları inceleyerek arıtma çamuru ve portakal posasının biyogaz üretiminde kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Themelis ve ark. [6] yaptıkları çalışmada, katı atıkların yanma değerleri, atığın türüne içeriğine ve nem oranına bağlı olduğunu irdelemiştir. Deneyinde sırasıyla kentsel atıkların, endüstriyel atıkların ve ticari amaçlı atıkların kalori değerleri 9,20 MJ/kg, 5,67 MJ/kg ve 6,94 MJ/kg olarak tespit etmişlerdir.

Alam ve Bole [7], Bangladeşin Dhaka şehrinde 2001 yılında şehirselleşen katı atıklarının elektrik enerjisi olarak geri kazanımına dair araştırma yapmışlardır. Her yıl 1,28 milyon ton kentsel atıktan elde edilen elektrik üretim potansiyeli 71 MW olduğunu belirlemişlerdir.

Atımtay ve Topal [8] temiz enerji elde etmek için yaptıkları çalışmada, akışkan yataklı bir yakma sisteminde zeytin küspesi ile birlikte kömür yakmışlardır. Zeytin

küspesi ile ülkemizde en yaygın kullanılan linyit kömür karışımının yanma özelliklerini incelenmiştir. Hazırlanan karışımlar kütlece %25-50-75 zeytin küspesi olacak şekilde hazırlanmıştır. Yanma deneyleri farklı hava oranlarında yapmışlar ve yatak boyunca sıcaklık dağılımı termokupl ile ölçmüşlerdir. Zeytin küspesi ve linyit kömürü karışımlarının yanma verimliliği hesaplamışlar ve çalışma parametreleri için optimum koşulları belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak küçük ölçekli sanayilerde daha temiz enerji üretimi için zeytin küspesi ile linyit kömürü karışımlarının yakıt olarak kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Frey ve ark. [9] çalışmalarında, kentsel katı atıkların yakıt olarak kullanılması için atıkları öğütürerek homojen karışımlar elde etmiş ve diğer yakıtlarla ve atıklardan elde edilen yakıtı karıştırmak suretiyle bir dizi ön işlemlere tabi tutulmuştur. Atıkların partikül boyutlarının küçülmesi yanma oranını artırır ve partikül boyutları yanma yöntemini belirlediği anlaşılmıştır [10]. Kentsel katı atıkların ısı değerlerinin nem miktarına da bağlı olduğu, zamandan zamana ve bölgeden bölgeye değişiklik gösterebileceği belirlenmiştir. Yakılmış atıkların çoğu yeterli ısıtma değerine sahip olduğundan, sık sık fosil yakıtlar için tasarruf sağlayan, yenilenebilir enerji kaynağı veya alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır [11].

Varbanov ve Friedler [12] çalışmalarında, enerji dönüşüm sistemlerinin araştırılması için süreç geliştirmişlerdir. Fosil yakıtlardan ve Biyoyakıtlardan çıkan CO₂ emisyon seviyesinin değerlendirmesini yapmışlardır. Belirli kombinasyonel karışımları P-grafik algoritma metodunu kullanarak etkili bir şekilde belirlemişlerdir.

Weber ve ark. [13] organik atığın, buhar kazanlarında ana yanıcı madde olarak ya da diğer yakıtlarla birlikte karıştırılarak yakıt olarak kullanılabileceğini incelemişlerdir. Pahalı ekipmanlara ihtiyaç duymadım uygun yakıt teknolojisini kullanarak organik atıklardan yakıt elde edilmesini sağlamışlardır. Analiz edilmiş yakıtın %20 kül içerdiğini ve yanma değerinin elde edilen ortalama yakıt standartlarının daha üstünde olduğunu bulmuşlardır.

Erdallı ve Uzun [14] yaptıkları çalışmalarında, tatlı sorgum bitkisini sıkıştırarak şekeri alınmış ve sonra uygun bir tünel kurutucuda kurutarak kuru madde verimini belirlemişlerdir. Biokütle kaynaklarından mısır, buğday, ayçiçeği, pamuk ve şeker pancarı atıkları karıştırılması sonucu; Elektrik santrallerinde kullanılan linyit kömürünün yakılmasıyla ürettiği enerji ile aynı miktarda enerji üretildiğinin hesabı yapılmıştır. Uygun yakma sistemlerinin geliştirilmesiyle tarımsal atıkların enerji kaynağı olarak kullanılabileceğini öngörmüştür. Ayrıca Türkiye'nin tarımsal atıklarının dönüştürülebilmesi ile elde edilebilecek enerji değeri bulunmuştur.

Karaca [15], Çukurova Bölgesi tarımsal atıklarının (pamuk çırçır atığı, ayçiçeği küspesi, zeytinyağı işleme atığı (prina), fıstık kabuğu ve defneyaprağı) enerjiye dönüşüm potansiyelini araştırmıştır. Tarımsal atıkların briketlenmesi için en uygun nem içeriği belirlenmiştir. Atıkların nem içerikleri briketlenmeden önce ve sonra ölçülmüştür. Nem içeriklerinin belirlenmesi amacıyla 105 °C sıcaklıkta 24 saat kurutma fırınında (etüv) bekletilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm atıkların (pamuk çırçır atığı hariç) ısı değelerinin odunun ısı değerinden daha yüksek, baca gazı emisyon değerinin ise daha düşük olduğu görülmüştür. Maksimum yanma verimlerinin %63-85 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Yaman [16] çalışmasında, tarımsal atıklarından ladin odun talaşı, gazete kağıdı atıkları, mısır sapı ve buğday samanı kullanmış ve atıklar delikleri 1-3,3 mm çapında değişen elekler kullanılarak elemiş ve daha sonra sıkıştırarak briketlemiştir. En dayanıklı briketin ladin odun tozundan elde edilen briket olduğu sonucuna varılmıştır. Numuneler 13 °C da 24 saat süresince fırında kurutulmuş. Nem içeriği kurutmadan önceki ve sonraki kütle farkı ile belirlenmiştir. Üretilen briketler belirli bir süre (7-21 gün) normal çevre şartlarında veya 20 °C çevre sıcaklığı ve %20 hava nemi şartlarında bekletilmekte, daha sonra ilk ve son ağırlıkları kaydedilerek ağırlık farkları nem içeriği olarak ölçülmektedir. Rutubet muhtevası %5-15 aralığındaki briketleme çalışmalarında daha dayanıklı briketler elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar mısır sapı ve buğday samanı gibi tarımsal atıkların gazete kağıdı atığı ve ladin odun talaşı gibi biyokütle atıklarına göre daha kolay briketlendikleri sonucuna varılmıştır. Hava direnci nem değeri, briketin yanma kalitesini belirlediği tespit etmiştir.

Gil ve ark. [17] çalışmalarında, tarımsal atıklarla(çam, kestane ve okaliptüs talaş, selüloz kalıntı, kahve kabuğu ve üzüm atık), iki farklı çeşit kömürlerle (bitümlü ve semianthracite) karışımlar hazırlamıştır. Bu karışımların mekanik özellikleri ve yanma davranışlarını pelet üretimi için çalışma alanında mevcut en iyi ham maddeleri seçmek üzere sırasıyla, bir sürtünmeyle aşınma indeksi ve termogravimetrik analiz (TGA) aracılığı ile incelenmiştir. Biyokütlenin yanma karakteristiği ham maddenin karışımlarına bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Peletler, endüstriyel ocaklarda yakılırken daha uygun yanma karakteristiği göstermeleri için planlamalarını yapmıştır.

Ayvaz [18], mekanik su gidermesi yapılmamış olan ham çamurun katı madde oranı yaklaşık %2 civarında olduğunu tespit etmiştir. Mekanik su gidermeye tabi tutulursa yaklaşık %25 katı madde oranına sahip olduğunu, termal kurutmayla ise bu oranın %95'e kadar çıktığını belirtmiştir. Arıtma çamurlarının termal olarak kurutulması amacıyla konveksiyonla kurutma, güneşle kurutma yöntemlerin kullanılmasının avantajlarını-dezavantajlarını ve kullanılan fırın tiplerinin yakıtta olan etkilerini incelemiştir.

Toraman ve ark. [19], yataklı sistemde arıtma çamurunun yakılarak yanma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Arıtma çamurunun çamurunu ayrıca zeytin prinası ve linyit kömürü karıştırarak yakma işlemi uygulamıştır. İçerisindeki linyit ve prinanın oranları %95, 90, 85, 80 olacak şekilde karışımlar yapılmıştır. Karışımları yakılması sonucu oluşan ve yanma verimleri ve baca gazları belirlenmiştir. Yaptıkları denemelerde, arıtma çamuru ve kömürün sistemde %96,18' lik bir yanma verimine sahip olduğu tespit etmiştir. Sonuç olarak, arıtma çamurunun farklı yakıtlarla karıştırılarak akışkan dolaşımli yataklı yakma sistemlerinde verimli yakılabileceği belirlenmiştir. Özellikle düşük kalitede ki yakıtların yakılması için zeytin prinasının çok iyi bir katkı maddesi olduğu irdelenmiştir.

Pehlivan [20] çalışmasında, tarımsal atık olan portakal ve fındikkabuğunun, tanecik boyutu, mikrodalga ile ön işlem süresi, sulu karışımdaki katı madde yüzdesinin, atığın yakıtta dönüşüm verimine etkileri araştırılmıştır. Portakal ve fındikkabuğu

örneklerinin nem, kül, uçucu madde ve ısı değerlerini standart yöntemlere göre saptamıştır. Portakal ve fındikkabuğu kurutularak öğütülmüş ve boyut analizi yapılarak, denemelerde farklı tanecik boyutunda numuneler kullanılmıştır. Materyaller mini reaktörlerle sıvılaşması sağlanmış, sıvı numunenin ısı değerini tespit etmiş ve sıvı yakıta dönüşebileceğinin sonucuna varmıştır.

Prasertsan ve ark. [21], ısı pompalı kurutucuda kesilmiş ahşap ile tarımsal gıda (muz) kurutmuşlardır. Numunelerin nem oranları ve kuruma süresi ve hızları belirlenmiştir.

Isı pompalı kurutucular nem içeriği yüksek numuneler için daha uygun olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca ısı pompalı kurutucuların işletme maliyetlerinin ekonomik olarak daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Husain ve ark. [22] yaptığı çalışmada, hidrolik pres yardımıyla 13,5 MPa basınçta değişik çaplarda (40, 50, 60 mm) hurma çekirdeği ve lifinden briketler yapmışlardır. Briketlerin fiziksel ve kalorifik değerleri belirlenmiştir. Briketlerin mekanik parçalanmaya karşı dirençlerinin ve neme karşı dayanıklılık özelliklerinin olduğu tespit etmişlerdir. Briketlerin, üst ısı değeri 16,4 MJ/kg, denge nem içeriği %12 ve kül içeriği %6 olarak bulmuşlardır.

Plıştıl ve ark. [23] yaptıkları çalışmada, kişniş, crambe, aspur, kuzukulağı, sorgum, kırmızı kanarya otu, madımak, arpa samanı, kolza samanı kullanmışlardır. Dokuz bitkinin briketleme basınçları ve etkilerini incelemiştir. Numuneler briketlenmeden önce daha verimli sıkıştırılabilmesi için değirmende parçalanmıştır. Numunelerin nem içerikleri %9-11 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Mathioudakis ve ark. [24] yaptıkları çalışmalarında, kanalizasyon çamurunun kısmi patojenleri kontrolü için güneş ile kurutma işlemine tabii tutmuştur. Arıtma çamuru ortalama nem içeriği kurutma işleminden sonra sonbaharda 9-33 gün içinde %85'den, %10'a ve yaz boyunca 7-12 gün içerisinde %85'den %6'a düştüğünü görmüşlerdir. Sonuçta ortalama toplam hacminden %80-85 civarında hacim azalması olmaktadır.

Mohee [25] yaptığı çalışmada, Mauritius'taki katı atıkların geri kazanım potansiyelini araştırdı. Mauritius ta meydana gelen katı atık doğrudan tartma, fiziksel test ve kamyon dolusu numune alma yöntemleri kullanılarak ölçüldü ve tanımlandı. Katı atık ve atık bileşimi miktarlarına dair veriler Katı atık oluşumunun oranlarının mevsimsel değişimi değerlendirmek için altı ay boyunca toplandı. Mauritiusdaki Mevcut durum katı atıkların bertarafı ve geri kazanımı düşünülerek tarif edilmiştir. Yerel koşullar ile katı atık uygun alternatif kararlılıkları tartışıldı. Katı atıkların birleşimi: gıda atıkları %25, bahçe atıkları %43, plastikler %13, kağıt %12, tekstil %3, metaller %1 yüksek miktarlarda organik maddeleri içermektedir. Mutfak ve bahçe atıkları gelen sebze ve gıda atıkları atıkların %60'dan fazlasını oluşturmaktadır. Nem içeriği %48 çivarında ve atıkların kalorifik değerleri kuru ağırlıkta 18.800 kJ/kg. çivarında olduğunu belirledi. Geleneksel atıklarına %60'dan fazlası toprakları zenginleştirmek için kullanılan gübre vb. olabilir olduğunu belirledi.

Statsa ve ark. [26] yaptıkları çalışmada, arıtma çamurunun bünyesinde bulunan suyun buharlaşma sırasında, 1 kg su için yaklaşık 614,02 kalorilik enerji gerektiğini tespit etmişlerdir.

Acma [27] çalışmasında, bazı biokütle örneklerinin (ayçiçeği kabuğu, kolza tohumu, çam kozalağı, pamuk ve zeytin çekirdeği) yanma özelliklerini incelemiştir. Numuneler, 40 mL/dk'lık dinamik hava sağlayan kurutucu ile 1273 K sıcaklığa kadar çıkarılmıştır. Biokütle örneklerinin analizleri ASTM standartlarına göre yapılmış, Termogravimetrik analizler için izotermal olmayan termogravimetre kullanılmıştır. Numunelerin yanma profilleri türevi termogravimetri tekniği uygulanarak elde edilmiştir. Bu incelemede, biokütle materyalleri farklı yanma karakteristikleri gösterdiği gözlenmiştir.

Vaxelaire ve Cézac [28] yaptıkları çalışmada, laboratuvar ortamında konveksiyonla kurutma deneyleriyle, kinetik eğrileri ve kurutma potansiyeli cinsinden makroskopik bir yaklaşım önermiştir. İlk olarak dış etkenleri tek bir parametre halinde (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı) gruplandırmak farklı işletme stratejilerinde kolay

sınıflandırmaya izin olarak sağlamıştır. Çalışmada atık aktif çamur ve atık pvc çamuru kullanılmış ve aktif çamurdaki kabuklaşma probleminden dolayı kurutma sürecinin daha güç işlediği buna karşın pvc çamurunun çok iyi kuruduğunu gözlemlemiştir.

Hill ve Bux [29] çalışmalarında, güneş radyasyonundan yararlanarak iki kurutma deneyi yapmışlardır. Birinci deneyde %17,8 KM içeren 160 m³'lük arıtma çamuru kurutucuya konmuş, 18 gün sonra %75 KM ve 20 günde %90 KM konsantrasyonuna ulaşıldığını görmüşlerdir. İkinci deneyde ise %14,7 KM içeren 160 m³'lük arıtma çamurunun 23 gün sonra %90 KM konsantrasyonuna sahip olduğunu gözlemlemiştir. Enerji kullanımı bakımından kurutma teknikleri içerisinde en tasarruflu kurutma tekniğinin güneş kurutma olduğunu belirtmişlerdir.

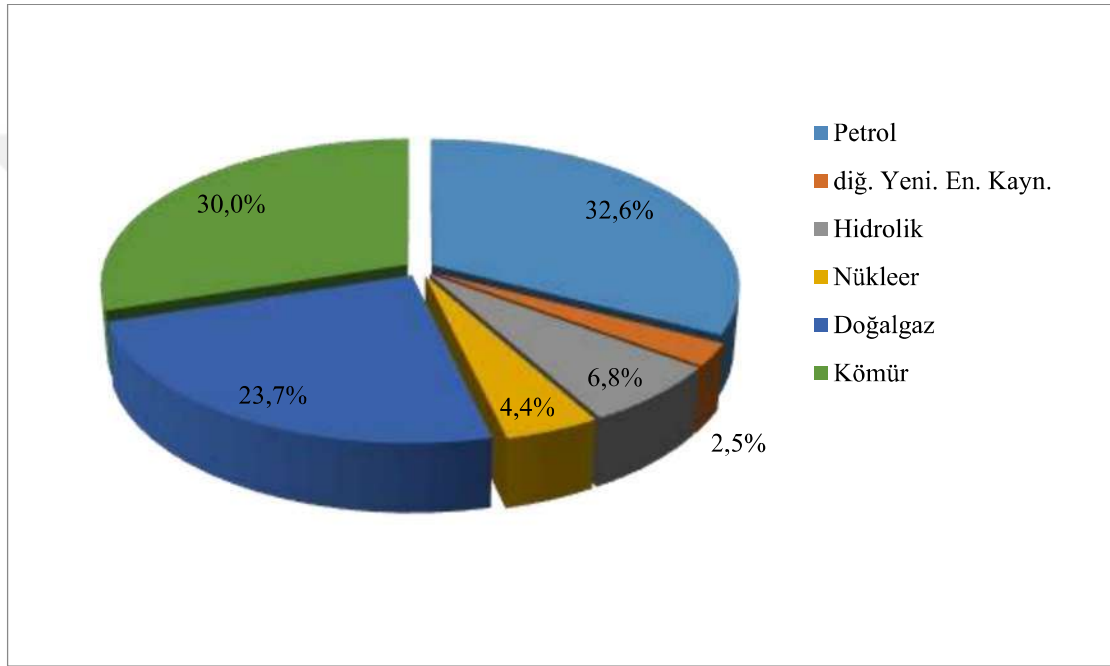
BÖLÜM 3. ENERJİ KAYNAKLARI VE KULLANIMI

3.1. Dünyada Enerji Kaynaklarının Durumu

Gelişmekte olan ülkelerdeki nüfusun hızlı artışı ve sanayileşme enerjiye olan ihtiyacın hızla artmasına sebep olmaktadır. Enerji, üretimde zorunlu bir üretim faktörü olup bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtmakta olan en temel göstergelerden biridir. Enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla enerji tüketiminin de arttığı izlenmektedir. [30, 31].

Enerji ve enerji kaynaklarına sahip olma gereksinimi, Sanayi Devrimi itibariyle uluslararası güç dengesini belirleyen en önemli göstergelerden biri haline gelmiş ve bu dönem itibariyle devletlerarası ilişkilerdeki etkisini artırarak devam ettirmiştir. Enerji kaynaklarına sahip olmanın bu kadar önemli olmasının sebebi, enerjinin aynı zamanda ülkelerin kalkınması, refahı ve gelişmesi için olmazsa olmaz unsurların başında gelmesinden kaynaklanmaktadır. Ekonomik kalkınma, refah ve gelişme için artık insan hayatının ayrılmaz parçası haline gelen makine, tesis ve fabrikaların çalışabilmesi ve insan hayatına katkı sunabilmesi için sürekli olarak enerjiye ihtiyaç vardır. Dünya üzerindeki enerji tüketimi, nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşme ve teknolojinin yaygınlaşmasına paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Sınırlı olan enerji kaynakları ise, enerji talebi ile ters orantılı olarak, dünya üzerinde sürekli azalmaktadır. Bununla beraber, ülkelerin nüfus artışı, iktisadi büyüme ve yüksek hayat standartlarını yakalama çabalarındaki farklılıklar, devletlerarası enerji ihtiyaç oranlarının da birbirinden farklı olmasını beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, gelişmiş, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerin enerji taleplerinde farklılıklar gözlemlenmektedir.

Dünyada kullanılmakta olan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. 2014 yılı verilerine göre dünyada birincil enerji kullanım miktarı 12928,4 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir. Şekil 3.1’de birincil enerji kullanımında en büyük paya sahip olan kaynakların sırasıyla; petrol (%33,1), kömür (%30,3) ve doğal gaz (%23,7) olduğu görülebilmektedir. Burada diğer yenilenebilir enerji kaynakları olarak bahsedilen; rüzgar, güneş, biyoyakıt ve jeotermal enerji kaynaklarıdır [32].



Şekil 3.1. Dünyada 2014 Yılı Birincil Enerji kullanımı [32]

3.1.1. Dünyada petrolün durumu

Ülkelerin giderek artan küresel enerji tüketimine bağlı olarak, petrole olan talep de artmaktadır. Artan petrol talebini karşılaya bilmek için; yeni petrol kaynakları arayışları dünyadaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli hızlanarak daha geniş alanlarda rezerv arama çalışmaları yapılmaktadır. Okyanuslar, denizler, göller, petrol arama sahaları durumuna gelmiştir. Bu arama çalışmalarının artması ile yeni petrol rezervlerin elde edilmesini sağlamaktadır.

2013 yılı sonu 2014 yılında dünyanın kesinleşmiş petrol rezervi 1.701 milyar varil olarak belirlenmiştir. Rezervlerin %47,7'lik en büyük pay Orta Doğu bölgesinde toplanmıştır. Petrol rezervi bakımından Orta Doğu'yu, %19,4'lük bölümü ile orta Amerika takip etmektedir. Diğer bölgelerdeki rezervler ve payları ise şöyledir. Afrika %7,6, Avrupa %9,7, Kuzey Amerika %3,7, Asya-Pasifik %2,5 ile izlemektedir [32].

3.1.2. Dünyada doğalgazın durumu

Dünya doğalgaz tüketimi hızla artış göstermekte olup, doğalgaz tüketiminin dünya enerji kaynakları tüketimi içerisindeki payı da yükselmektedir. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren özellikle hızlı sanayileşme ile artan çevre kirliliği, fosil yakıtlar arasında nispeten temiz ve verimli bir yakıt olan doğal gazı yönelik talebin artmasına neden olmuştur.

Dünya çapında açılan arama ve tespit kuyuları büyük ölçüde kara alanlarında gerçekleşmekte olup, 2014 yılında da kuyuların %83'ü kara alanlarında açılmıştır. Açılan arama ve tespit kuyularının sadece %17'lik bölümü deniz alanlarında açılırken 2010 yılı sonrasında eklenen rezervler büyük ölçüde deniz alanlarından gelmiştir. 2010 yılında Brezilya tuz altı keşifleri önemli miktarda petrol ve doğal gaz tespit edilirken, 2014 yılında deniz alanlarından eklenen rezerv 2,8 milyar Vpe'yi geçmemektedir. Kara ve deniz alanlarında eklenen rezerv miktarları azalırken, keşfedilen sahaların geliştirilmesi ve alt yapının kurulması sonrasında çevredeki uydu sahaların geliştirilmesi önem kazanmaktadır [33].

2014 yılı dünyanın kesinleşmiş doğalgaz rezervi 186,5 trilyon metre küp olarak belirlenmiştir. Rezervlerin %42,7'lik en büyük pay Orta Doğu bölgesinde toplanmıştır. Doğalgaz rezervi bakımından Orta Doğu'yu, %31'lik bölümü ile Avrupa-Avrasya takip etmektedir. Diğer bölgelerdeki rezervler ve payları ise şöyledir. Asya-Pasifik % 8,2 Afrika %7,6, Kuzey Amerika %6,5, orta Amerika %4,1 ile izlemektedir [32].

3.1.3. Dünyada kömürün durumu

Kömür, yeryüzünde en dengeli dağılıma sahip olan enerji kaynağıdır. Bu nedenle, her ne kadar atmosfere en fazla zarar veren yakıt türlerinden birisi de olsa, dünyada petrolden sonra en çok ve en yaygın olarak kullanılan enerji kaynağıdır. Kömür, termik santraller de elektrik enerjisi üretiminde, konutlarda, sanayide, ulaşırmada, ısınma amaçlarıyla kullanılır. Kömür elektrik üretiminde, demir ve çelik ve çimento imalatında, endüstriyel proseslerde buhar üretmek ve ısınma amacı ile kullanılır. Dünya'da elektrik üretiminin yaklaşık olarak %40'ı kömürden sağlanmaktadır.

2014 yılı dünyada kömür rezervlerinin toplamı 891.531 milyon tondur. Kömür rezervleri bakımından en zengin bölge, %34,8 ile Avrupa-Avrasya bölgesidir. Ardından %32,3 ile Asya-Pasifik bölgesi izlemektedir. Daha sonra % 27,5 ile kuzey Amerika, Afrika ve Ortadoğu %3,7 ve orta Amerika %1,6 dır [32].

3.1.4. Nükleer santrallerin durumu

Günümüzde nükleer santrallerden elde edilen elektrik dünya toplam elektrik üretiminin yaklaşık olarak %15'i kadardır. Nükleer santraller sera etkisi yaratabilen ve doğaya zarar veren kükürt, karbon ve azot oksitleri atmosfere salmadıkları için avantajlı olarak görülmektedir. Fakat nükleer atıkların yok edilmesi konusunda duyulan önemli kaygılar ve nükleer santral denince akla hemen askeri acıdan kullanımı gelmesi nedeniyle dünyada nükleer santrallere büyük tepki gösteren çevreci gruplar vardır. Nükleer santrallere karşı çıkan en önemli iki kuruluş Green Peace ve Küresel Eylem Grubu (KEG) 'dir.

2014 yılı dünyada nükleer santrallerin ürettiği enerji 574 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) dır. Nükleer santrallerin ürettiği enerji bakımından, Avrupa-Avrasya bölgesi %43,6 ile ilk sıradadır. %37,6 ile Kuzey Amerika izlemekte ve ardında %14,4 Asya-Pasifik bölgesi gelmektedir [32].

Nükleer enerji, gelecekte fosil yakıtlar nedeniyle sıkıntı yaşamayı beklenen dünya için, günden güne bir zorunluluk haline gelmektedir. Her ne kadar nükleer enerjiye olan talebin azaldığı düşünülse de Nükleer enerjinin gelecekte gereklilik değil bir zorunluluk haline gelmesi kaçınılmazdır.

3.1.5. Hidroelektrik santrallerin durumu

Akan suyun enerjisini, hidroelektrik santralleri yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Ya da su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki yolla da kanal yada borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane gibi kolları olan türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Hidro elektrik santrallerin çevre açısından zararları olmaktadır. Bazı bitki ve hayvan türlerinin yok olmasına sebep verebilir bazı bölgeler su altında kalarak bitki örtüsünün değişmesine sebebiyet verebilir. Günümüzde hidroelektrik santrallerden elde edilen elektrik dünya toplam elektrik üretiminin yaklaşık olarak %16'ı kadardır.

2014 yılı dünyada hidroelektrik santrallerin ürettiği enerji 879 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) dır. Hidroelektrik santrallerin ürettiği enerji bakımından, Asya-Pasifik bölgesi %39,8 ile ilk sıradadır. %22,3 ile Avrupa-Avrasya bölgesi izlemekte ve ardında %17,7 orta Amerika bölgesi gelmektedir [32].

3.1.6. Yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu

Günümüzde en fazla kullanılan birincil enerji ihtiyacının yaklaşık %80'i, her geçen gün azalan fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Dünyada fosil yakıt rezervleri hızla tükenmektedir. Enerji talebini karşılamak için sınırlı ömrü olan fosil yakıtlar yerine çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynağı denince akla;

a. Biokütle Enerjisi

- b. Rüzgâr Enerjisi
- c. Güneş Enerjisi
- d. Jeotermal Enerji
- e. Dalga ve Gelgit Enerjisi gelmektedir.

2014 yılı verilerine göre yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji 316,9 Mtep'dir. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından, Avrupa-Avrasya bölgesi %39,3 ile ilk sıradadır. %29,7 ile Asya pasifik bölgesi izlemekte ve ardında %23,2 kuzey Amerika bölgesi gelmektedir [32].

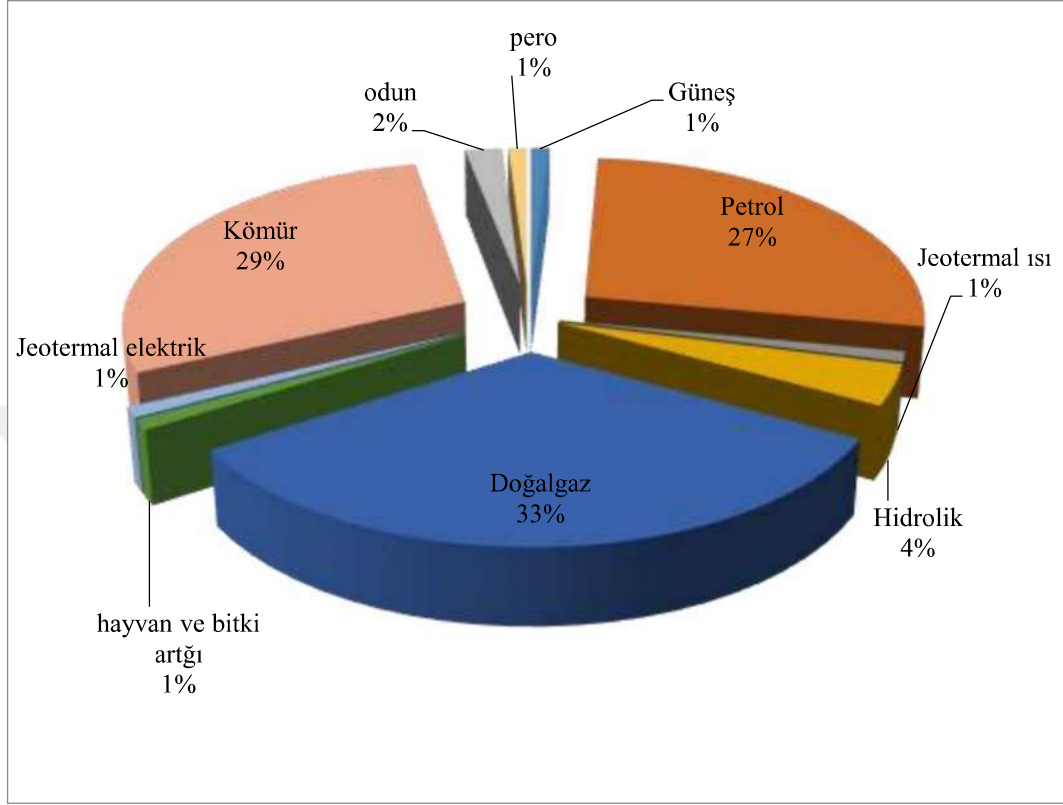
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında gün geçtikçe güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji kullanımı da hızla artmaktadır.

3.2. Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Durumu

Türkiye birincil enerji üretimi ağırlıklı olarak kömür ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (hidrolik, biyokütle, rüzgâr, güneş ve jeotermal) sağlanmakla birlikte, tüketim, bu kaynakların yanı sıra petrol ve son yıllarda artan oranlarda doğal gazdan karşılanmaktadır. Enerji talebinin karşılanması açısından, geçmiş yıllarda olduğu gibi, büyük oranda dışa bağımlıdır.

2011 yılı Türkiye birincil enerji üretimi 32.228,9 Btep (bin ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl birincil enerji üretiminin kaynaklar bazındaki dağılımı sırasıyla; linyit (%50), hidrolik (%14), odun (%8), petrol (%8), jeotermal-ısı (%5) ve taşkömürü (%4) şeklindedir. 2011 yılında 2010 yılına göre; linyit, jeotermal, rüzgar, güneş gibi kaynaklardan birincil enerji üretimi artarken; odun, hayvan ve bitki artığından birincil enerji üretiminin azaldığı tespit edilmiştir Türkiye toplam enerji tüketiminin kaynaklar bazındaki dağılımı ise Şekil 3.2’ de özetlenmiştir. Türkiye’nin 2011 yılı toplam enerji tüketimi 114.480,2 Btep olup ülkemiz dünyada enerji tüketimi en yüksek 23.ncü ülke konumundadır. Enerji tüketimimizin büyük bir kısmını dışa bağımlı olduğumuz petrol ve doğal gaz oluşturmaktadır. Enerji

kaynaklarının enerji tüketimindeki payları sırasıyla; doğal gaz (%33), petrol (%27), taşkömürü (%15), linyit (%14) ve hidrolik (%4) şeklinde gerçekleşmiştir [30].



Şekil 3.2. Türkiye’de Enerji Tüketiminin Kaynaklar Bazında Dağılımı [30]

3.2.1. Kömürün durumu

Türkiye’nin en önemli fosil enerji kaynağı kömürdür. Zira enerji tüketimin %24’lük oranı yerli üretim kömürden karşılanmaktadır. Kömür enerji üretiminde, çelik üretiminde ve çimento imalatında yoğun olarak kullanılmaktadır [34].

Türkiye’de ki kömür rezervlerini iki grupta toplayabiliriz. Bunlar taş kömürü ve linyit rezervleridir. Toplam dünya linyit rezervinin yaklaşık %1,6’sı ülkemizde bulunmaktadır. Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısı değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır. Ülkemiz linyit rezervinin yaklaşık %46’sı Afşin-Elbistan havzasında bulunmaktadır. Ülkemizin en önemli taşkömürü rezervleri ise Zonguldak ve civarındadır. Zonguldak

Havzası'ndaki toplam taşkömürü rezervi 1,322 milyar ton, buna karşılık görünür rezerv ise 519 milyon ton düzeyinde bulunmaktadır [35].

3.2.2. Petrolün durumu

Ülkemizin komşu coğrafyasında dünya toplam petrol rezervlerinin %65'i bulunmasına, üretiminin ise %41'inin yapılmasına karşılık, ülkemiz petrol açısından komşuları İran, Irak ve Suriye kadar zengin değildir. Bu durum, ülkemizdeki jeolojik yapının farklılığından kaynaklanmaktadır. Irak, İran ve Suriye'deki rezervuarların derinliği birkaç yüz metre ile bin metre arasında iken, Türkiye'de bu derinlik üç, dört bin metreye ulaşmaktadır [36].

2012 yılı yurtiçi üretilebilir petrol rezervi 294,8 milyon varil (43,2 milyon ton) olup, yeni keşifler yapılmadığı takdirde, bugünkü üretim seviyesi ile yurtiçi toplam ham petrol rezervinin 18,5 yıllık bir ömrü bulunmaktadır. 2012 yılında ham petrol talebinin %9'u yerli üretimle karşılanmış diğer kısımda yurt dışına bağlı bir ülkeyiz.

3.2.3. Doğalgazın durumu

2014 yılı sonu itibariyle üretilen doğalgaz rezervi ise 502 milyon m³'tür. Türkiye'de petrol ve doğal gaz üretimi – Akçakoca deniz alanlarındaki doğal gaz üretimi hariç – kara alanlarından yapılmaktadır [33]. Yeni keşifler yapılmadığı takdirde, bugünkü üretim seviyesi ile Türkiye'nin doğalgaz rezervlerinin 8,53 yıllık bir ömrü bulunmaktadır [37]. Yıllar itibariyle 0,3–1 milyar metreküp arasında değişen seviyede doğalgaz üretimi gerçekleştirilen Türkiye'de doğalgaz üretimi yıllar itibariyle artış trendi göstermiş; 1999 yılında Kuzey Marmara ve Değirmen köy sahalarının yeraltı doğalgaz depolama projelerine ilişkin planların oluşturulması amacıyla, her iki sahadan yüksek debi ile gaz üretimi gerçekleştirilmiştir. 2002 yılından itibaren TPAO - Amity Oil ortaklığı tarafından Trakya'da gerçekleştirilen yeni doğalgaz keşifleri ve eski sahalarda açılan yeni üretim kuyularının devreye girmesi ile 2001 yılında düşen doğalgaz üretimi tekrar yükselişe geçmiş ve 2008 yılında tarihin en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Tüketimi karşılayacak miktarda

rezerv bulunmadığından ve bu nedenle yeterli miktarda üretim yapamadığından, Türkiye doğalgazda dışa bağımlı bir ülkedir [38].

3.2.4. Nükleer santrallerin durumu

Ülkemizin yarım asırlık nükleer güç santrali kurma ideali, T.C. Hükümeti ile Rusya Federasyonu Arasında Akkuyu Sahasında Bir Nükleer Güç Santralini Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma'nın 12 Mayıs 2010 tarihinde imzalanmasıyla gerçekleşmeye başlamıştır. Söz konusu Anlaşma, 15 Temmuz 2010 tarihinde TBMM Genel Kurulu tarafından kabul edilmiş, 6 Ekim 2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmıştır. Adı geçen Anlaşmanın gerçekleştirilmesi kapsamında Proje Şirketi, 13 Aralık 2010 tarihinde Ankara'da Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş. adı ile kurulmuştur.

3.2.5. Hidroelektrik santrallerin durumu

Türkiye'de bulunan 553 Hidroelektrik Santrallerinin toplam kurulu gücü 25.673,20 MW'dır Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülkenin günümüzde artan enerji talebi ve enerjide dışa bağımlılığı bir gerçektir. Artan bu talebin karşılanması ve dışa bağımlılığın azaltılması için son yıllarda Türkiye'de hidroelektrik enerjisine büyük bir yönelim vardır. Hidroelektrik santrallerin avantajları yanında dezavantajları da vardır. En önemli dezavantajı çevreye verdiği zararlardır. Hidroelektrik santrallerin (HES) yapıldığı yerlerde su altında kalan yerlerde nadir bazı bitki ve hayvan türleri yok olabilir, ekolojik denge bozula bilir iklim değişiklikleri yaşanabilir. Avantajları göz önünde tutulduğunda; insan ihtiyacının vazgeçilmezi elektrik enerjisi için gereklilik arz etmektedir [39].

3.2.6. Yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu

Ülkemizde bulunan hidrolik santrallerin toplam kapasitesi 2011 yılı itibarıyla 17.137,1 MW'dır. Elektrik üretiminde doğal gaz ağırlık verilmesi sonucu, hidrolik enerji üretimi ve hidrolik enerjinin toplam enerji üretimindeki payı ülkemizde hızlı

bir düşüş göstermiştir. 2004 yılında hidrolik enerjinin toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı %30,6 iken 2011 yılında %22,8'e düşmüştür [31].

Ülkemizdeki biyodizel durumu ise; 2011 verilerine göre Enerji Piyasası Düzenleme Kuruluna (EPDK) kayıtlı 36 firmanın biyodizel üretim lisansına sahip olduğu görülmüştür. Ancak yerli tarım ürünlerinden aktif biyodizel üretimi yapan sadece bir firma bulunmaktadır. Bu firma verimsiz tarım arazilerinde yetiştirilen aspir bitkisiyle biyodizel üretimini gerçekleştirmektedir.

Ülkemizde biyogaz sektörü başta bazı şehirlerimiz olmak üzere çöpten biyogaz üretimi, bazı sanayi tesisleri ve belediyelerin atık su ve tesislerinden biyogaz üretimi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından Anadolu'nun farklı yörelerinde yürütülen gazifikasyon demonstrasyon projeleri ve özel sektörde yürütülmekte olan sayıları az da olsa nitelikli biyogaz projelerinden oluşmaktadır. Ayrıca ülkemizde hayvancılık alanında da gerekli yatırımlar yapılarak hayvan atıklarından biyogaz üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yıllık hayvan dışkısı biyogaz teorik potansiyelimizin büyüklüğü tahminen; kümes hayvanları için 401,5 milyon m³, küçükbaş hayvanlar için 852,6 milyon m³, büyükbaş hayvanlar 1.354,2 milyon m³ olmak üzere toplam 2608 milyon m³ gaz üretilebilir. Bu bilgiler ışığında Türkiye'nin biyogaz potansiyelinin 1400-2000 Btep/ yıl olduğu tahmin edilmektedir [40].

Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre daha avantajlı konumdadır. Ülkemizde ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi metrekarede 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddeti metrekarede yılda 1311 kWh (günlük ortalama 3,6 kWh) olarak tespit edilmiştir. Türkiye 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye, günde birim metrekaresinden 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir. Ülkemizde en fazla güneş enerjisi alan bölge Güneydoğu Anadolu olup, bunu Akdeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi takip etmektedir [40].

Türkiye, dünyanın 7. büyük jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Ülkemiz jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretiminde dünya kapasitesinin %0,23'üne, ısı enerjisi üretiminde ise dünya kapasitesinin %4,3'üne sahiptir.

3.3. Dünyada ve Türkiye' de Birincil Enerji Kaynaklarının Durumunun Değerlendirilmesi

Dünya enerji tüketimi, nüfus artısına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli artmakla birlikte, kullanılan fosil yakıtların rezervlerinin kısıtlı olması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri, dünya genelinde bu enerji kaynaklarının rasyonel şekilde kullanımını ve yeni enerji teknolojilerinin gerekliliğini zorunlu hale getirmiştir. Enerji gereksiniminin karşılanmasında yenilenemeyen fosil yakıtların kullanılmasının bazı olumsuz yönleri vardır. Bu yakıtların rezervlerinin zamanla tükenmesi, hava kirliliği, asit yağmurları ve sera etkisini ortaya çıkarmakta, bu da zamanla ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Bugün tüm dünyada, enerji sorununun uzun vadede çözümünün, fosil yakıtlardan, çevreyi kirliletmeyen ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ile olacağı gerçeği bilinmektedir [41].

Kömür ve petrol rezervlerinin hızla tükenmesi ülkeleri başka enerji kaynağı arayışına itmektedir. Başta Almanya, Avusturya ve Amerika olmak üzere dünyanın pek çok yerinde yenilenebilir enerji kaynaklarına dair araştırmalar yapılmakta ve uygulanmaktadır. Bu enerji kaynakları arasında evsel, kentsel, tarımsal ve hayvansal atıklar enerjiye dönüştürülebildikleri için dikkat çekmektedirler. Aynı zamanda atık birikiminin dolayısıyla da bu atıkların çevre üzerindeki zararlı etkilerinin de önüne geçilmiş olur. Arıtma çamurları da bu atıklar kapsamındadır [42].

Türkiye'de enerji ihtiyacının yaklaşık %68'i ithal edilmektedir. Bu da yeni enerji kaynaklarının bulunmasının bir zorunluluk olduğunu açıkça göstermektedir. Araştırmalar, hem daha ucuz olan, hem de çevreye diğer kaynaklara oranla çok daha az etkisi olan yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yöneltmiştir.

3.4. Enerji ve Çevre İlişkisi

Günümüzde enerji ve çevre denilince akla gelen ilk konu "enerji ve çevre kirlenmesi" olmaktadır. Çevre kirliliği denince fosil yakıtların yanma emisyonları anlaşılmaktadır. Enerji üretiminde en önemli çevre sorunları termik santrallerden özellikle de Linyitle dayalı elektrik üretim santrallerden kaynaklanmaktadır. Termik santraller yakılan çeşitli fosil yakıtlardan (kömür, fueloil, doğalgaz v.b.) elde edilen ısı ile suyun ısıtılarak yüksek basınçlı buhar haline dönüştürülmesi ve buhar vasıtasıyla elektrik jeneratörlerinin çok hızlı şekilde döndürülerek, jeneratörlerdeki magnetlerden oluşan elektrik impulslarının yoğunlaştırılması sonucu elektrik enerjisi üretimi esasına dayanır. Genelde kömür yataklarına yakın inşa edilirler. Termik santraller linyit kömürünün çıkarılmasından, yakılan kömürün oluşturduğu kulun depolanmasına kadar geçen birbirine bağımlı birçok işlemle önemli çevre kirliliği oluşturdukları gibi bu kirlilikten insan, hayvan ve bitkilerde etkilenmektedir. Kömürün yakılması ile bölgesel ölçekte asit yağmurlarına, yerel ölçekte insan sağlığı, bitki ve malzemelere zararlı etkilere sebep olan SO₂ ve NO_x küresel ölçekte ısınmaya yol açan CO₂ gazlarının açılması gibi çevresel etkileri vardır [43, 44].

Termik santrallerde filtre yoksa veya iyi çalıştıramıyorsa kirleticilerin ve uçucu küllerin atmosfere verilmesi sonucu önemli bir hava kirliliği oluşur. Uçucu küller huzme ile birlikte havaya yayılarak ağırlıklarına ve meteorolojik koşullara göre bacadan itibaren belirli mesafelerde yere çökerler. Bu esnada içerdikleri Co, Cd, Zn, Pb, Cu gibi metal bileşikler de hem yerel ölçekte alıcı ortamda (ormanlar, meralar, tarlalar vb.) tarla bitkileri veya meyve araçları üzerinde zehirli etki yapabilirler, hem de bölgesel ölçekte huzmede bulunan SO₂ ve NO_x gazlarının asit yağmurlarına dönüşmesinde katalizör etkisinde bulunurlar. Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisinin kaçınılmaz ürünü olan CO₂ yayılması sonucunda, atmosferdeki CO₂ miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmaktadır. Önümüzdeki 50 yıl içinde bu miktarın, bugüne oranla 1,4 kat daha artma ihtimali vardır [45].

Günümüzde enerji ihtiyacıyla birlikte ortaya çıkan sorunların başında çevresel faktörler gelmektedir. Harcanan enerjinin büyük bir çoğunluğu çevreye zarar veren

yenilenemeyen; çok az bir kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Ancak, hızla tükenen fosil kaynaklar ve artan çevre kirliliği, ülkeleri alternatif enerji kaynakları arayışına zorlamaktadır. Alternatif enerji kaynaklarına yönelik artan ilgi, gelişmiş ülkelerin önderliğinde ön plana çıkmakla birlikte, zaman içerisinde enerji arzı ve çevre konusunda sorun yaşayan tüm ülkelerin bu kaynaklara yönelmelerine neden olmuştur. Enerji ihtiyacının artması ile artan evsel ve endüstriyel kökenli atıklar, insan sağlığını tehdit eder boyutta çevre kirliliğine neden olmaktadır. Enerji kullanımını, çevresel etkileri ve sürdürülebilir gelişme açısından değerlendirildiğinde aralarında güçlü bir ilişki olduğu açıktır. Sürdürülebilirliğin oluşabilmesi için yenilenebilir enerji kaynak kullanımının artırılması, çevre kirliliğinin azaltılması, enerji kaynaklarının verimli kullanılması gerekmektedir. Enerjinin üretim ve tüketim esnasında ortaya çıkan çevresel problemleri en aza indirgeyen ve kaynakların ekonomik ve güvenilir bir şekilde optimum planlaması yapılmalıdır.

Evsel, kentsel, tarımsal ve hayvansal atıklar enerjiye dönüştürülebildikleri için dikkat yenilebilir bir enerji kaynağı olabileceklerinde dikkat çekmektedirler. Ayrıca atıkların çevre üzerindeki zararlı etkilerinin de önüne geçilmiş olacaktır. Arıtma çamurları da bu atıklar kapsamı içinde yer almaktadır [42].

3.5. Arıtma Çamuru

Atık suların işlendiği arıtma tesislerinde, kendiliğinden çöken, sıvı veya yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25 ile %12 katı madde içeren atıklar “ham arıtma çamuru” veya kısaca “ham çamur” olarak isimlendirilmektedir. Ham çamurlar stabilize edilerek ekolojik yönden kullanıma uygun hale getirildikten sonra “arıtma çamuru” olarak tanımlanmaktadır [46].

Arıtma çamuru, ortalama çamur üretiminin kişi başına günde 40–60 g kuru madde olduğu belirtilmektedir. Arıtma çamurları çıkış kaynaklarına göre üç başlıkta incelenebilir:

1. Yerel yönetimlerce işletilen atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; sadece evsel atıksu veya evsel, endüstriyel ve yağmur sularının arıtıldığı atıksu arıtma tesisleri,
2. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları;
3. İçme suyu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları;

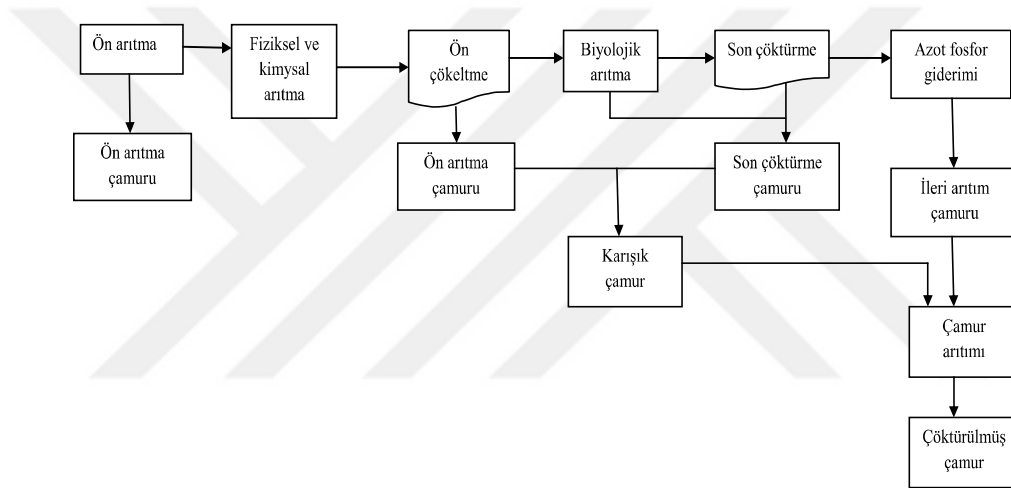
Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanı sıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır. Bu çamurlar, çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma prosesleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan alum çamurları gibi arıtımın tipine ve amacına bağlı olarak ta sınıflandırılabilir.

Klasik atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları, birincil, ikincil ve ileri arıtma proseslerinden çekilmektedir. Her bir arıtma prosesi, atıksu kirlilik yükü üzerinde farklı etkilere sahiptir. Buna bağlı olarak oluşan çamurlarda farklı yapıdadır. Mekanik arıtma işlemleri ile giderilemeyen askıda ve çözünmüş haldeki katı maddeler ise ya kimyasal yumaklaştırma işlemleri ile veya biyolojik arıtma işlemlerinde oluşturulan yumaklar yardımıyla çökeltilerek veya yüzdürülerek su ortamında uzaklaştırılırlar. Çözünmüş organik maddeler ise biyolojik arıtmada bakteri bünyesinde tutularak canlı hücrelere yani biyokütleyle dönüştürülür. Oluşan biyolojik çamur son çökeltme havuzlarında çökeltilerek sudan ayrılır. Son çökeltme işlemleri sonucu oluşan arıtma çamurlarının su ve organik madde içeriği oldukça yüksektir. Mekanik ve biyolojik yöntemlerle giderilemeyen çözünmüş haldeki organik maddeler veya metal tuzları kimyasal madde ilavesi ile yapılan kimyasal yumaklaştırma işlemi ile sudan ayrılır. Bir arıtma tesisinin aşamaları ve çamur arıtımı Şekil 3.3’de verilmiştir.

3.5.1. Birincil arıtma çamuru

Özellikle büyük şehirlerde yaygın olarak kullanılan ön arıtma sistemlerinden çıkan çamurdur. Ön arıtmanın temel prensibi çökebilir haldeki katı maddelerin atıksudan

uzaklaştırılmasıdır. Ön arıtma sistemlerinde oksijen gereksinimi olan maddelerin giderilmesi esas değildir, ancak BOI'nin bir kısmı çökebilir katı maddeler ile birlikte giderilir. Kendiliğinden çökebilir nitelikli ve esas olarak inorganik karakterdeki katı maddeler ızgara, kum tutucular ve ön çökeltme havuzlarında tutulurlar. Özellikle ızgaralarda tutulan kaba nitelikte çökebilir katı maddeler evsel katı atık niteliğinde olduğundan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar. Ham çökeltme çamuru olarak isimlendirilen bu çamurların organik madde içeriği %60-80 arasındadır ve su içeriği ise oldukça yüksektir [47].



Şekil 3.3. Arıtma tesisi aşamaları ve çamur arıtımı

3.5.2. İkincil arıtma çamuru

Çözünebilir nitelikteki organik maddelerin biyolojik oksidasyonunun yani BOI gideriminin yapıldığı ikincil arıtmada oluşan çamurdur. İkincil arıtmada BOI biyolojik proseslerle giderilir ancak fiziksel ve kimyasal arıtma işlemleri de bu amaç için kullanılabilir. Biyolojik sistemlerde aktif ajanlar mikroorganizmalardır ve lagünler, aktif çamur ve damlatmalı filtre veya biofiltrasyon prosesleri gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır.

En yaygın kullanılan ikincil arıtma prosesi aktif çamur sistemidir. Sudaki organik maddenin giderimini sağlayan biokütle, sıvı içinde süspanse halde bulunur. Aktif

çamur, havuz içerisinde aerobik şartlarda askıda çoğaltılmaktadır. Havalandırma havuzu içine hava, difüzörler, yüzeysel havalandırıcılarla verilir. Havalandırma tankındaki biokütle son çökeltme havuzunda çökeltilir, bir kısmı yeniden kullanılmak üzere tesis başına gönderilir. Atılan biokütle atık aktif çamur olarak bilinir ve arıtma tesisi için gerçek problemlerden biridir.

Damlatmalı filtreler de yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma yöntemidir. Filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltme havuzunda arıtılmış sudan ayrılır. Bu çamur filtre humusu olarak bilinir ve miktarı azdır. Filtre humusu ve atık aktif çamur genellikle ham ön çökeltme çamuru ile karıştırılır ve anaerobik çürütücülerde çürütülür.

Sonuç materyal karışık çürük çamur olarak isimlendirilir ve son ıslah öncesi suyunun alınması gerekir. Anaerobik çürütücüye alternatif olarak, atık aktif çamur aerobik olarakta çürütülür. Atık aktif çamur ayrı bir tank içine alınır ve birkaç gün süre ile havalandırılır. Böylece çamur içindeki uçucu katı maddeler biyolojik olarak stabilize olur. Sonuçta oluşan çamur aerobik çürük çamur adını alır.

3.5.3. İleri arıtma çamuru

İleri arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamurlar, kimyasal prosesler ve bakteriyel faaliyet nedeniyle oluşan istenmeyen azot ve fosfor giderilmesi için ikincil arıtma proseslerine ek olarak kurulan sistemlerde oluşmaktadır. İleri arıtım, alıcı ortam deşarj standartlarının sağlanması için gereklidir. Ortamda amonyak ve nitratin oluşumu toksiktir ve azot giderimi, N_2 oluşumu ile gelişen biyolojik bir prosestir. Her bir adım spesifik bakteriler ile yürütülür ve gelişimi için farklı şartlara ihtiyaç vardır.

Fosfor giderimi ise kimyasal ve biyolojik proseslerin birlikte kullanılması ile uygulanır. Fosforun fiziksel-kimyasal giderimi ile aktif çamur tesislerinde üretilen çamur miktarı %30 oranında artar. Biyolojik arıtma fosfor giderilmesine uygun spesifik mikroorganizmalar ile yürütülür. Arıtma sırasında bakteri bünyesinde

biriken fosfor, atılan çamurun arıtımını zorlaştırmaktadır [48]. Klasik atıksu arıtma tesislerindeki katı madde ve çamur kaynakları toplu halde Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Klasik Atıksu Arıtma Tesisinde Katı Madde ve Çamur Kaynakları

atık su arıtma tesisinde katı madde ve çamur kaynakları		
Uygulanan arıtma prosesi	Katı madde ve çamur tipi	Açıklama
Izgara	Kaba katı maddeler	Kaba katı maddeler elle veya mekanik olarak temizlenen ızgaralarda tutulur
Kum tutucu	Kum ve köpük	Köpük giderme işlemi kum tutucularda kum ayırma ile birlikte gerçekleşir
On havalandırma	Kum ve köpük	Bazı tesislerde ön havalandırma tanklarında köpük ve yağ gidericiler bulunmaz. Ön havalandırma havuzlarından önce kum tutucular yoksa ön havalandırma havuzlarında kum birikimi olabilir
Ön Çökelme	Ön çökelme çamuru ve köpük	Çamur ve yüzer madde toplama sistemine ve sisteme endüstriyel atık deşarjı olmamasına bağlıdır.
Biyolojik arıtma	süspanse katı madde	süspanse katı maddeler BOI gideriminden oluşur. Biyolojik arıtmadan çıkan atık çamurun yoğunlaştırılması için yoğunlaştırıcı gerekir.
Son çökelme	Son çökelme çamuru ve köpük	Biyolojik arıtma ünitesinden gelen çamurun ayrıldığı yerdir.
Çamur işleme prosesi	Çamur kompost ve kül	son ürünlerin özelliği işlenen çamurun karakteristiğine ve uygulanan arıtma yöntemine bağlıdır.

Arıtma çamurunun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi bizim için bertaraf yöntemini seçmemize yardımcı olmaktadır. Arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının nihai bertarafından önce arıtılması gereklidir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurun arıtılması ve depolanması için seçilecek yöntem, atıksu karakterizasyonuna, arıtmada kullanılan kimyasal maddelere, ilgili mevzuata bağlıdır. Avrupa Birliği atık politikasının da yönetim öncelikleri şöyle sıralanmaktadır;

- a. Minimizasyon
- b. Geri kazanım
- c. Enerjiyi tekrar kazanarak yakma
- d. Düzenli depolama

Genel olarak atıksu arıtma çamurları yoğunlaştırma, stabilizasyon, çürütme, kompostlaştırma, şartlandırma, dezenfeksiyon, çamur kurutma, zirai kullanım, düzenli depolama ve yakma ile bertaraf edilebilir. Gerek katı atıklardan kaynaklanan çevre kirliliği sorununun çözülmesinde, gerekse kaynakların ve doğanın kullanımında rasyonelliğin sağlanmasında, katı atıkların ekonomiye geri döndürülmeleri yani geri kazanımı çok önem teşkil etmektedir.

BÖLÜM 4. METERYAL VE METOD

4.1. Arıtma Çamuru Kurutmasına Etki Eden Faktörler

Çalışmalarda Arıtma çamurunun enerjiye kazanı için en önemli faktör susuzlaştırma olduğu anlaşılmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalar mikrobiyoloji, akışkanlar mekaniği, Kimya gibi farklı çalışma konularını da içine almaktadır. Çamur susuzlaştırma işlemi, çamurun bertarafı ve yeniden kullanılarak değerlendirilmesinde önemli bir yer işgal eder. Çamur nem içeriğinin en aza indirilmek çevresel ve ekonomik olarak en önemli amaçlardan birisidir [49].

Susuzlaştırmayı etkileyen faktörleri üç ayrı kategoride değerlendirmiştir. Buna göre;

- a. Akışkanın Özellikleri: Çamurun bağlı su içeriği, viskozitesi, iyonik direnci ve yoğunluğu,
- b. Partikül Özellikleri: Boyut ve şekil dağılımı, yüzey potansiyeli, yüzey alanı ve partikül yoğunluğu,
- c. Çamur Özellikleri: Katı madde konsantrasyonu, geçirgenliği, gerilimi ve elektrokinetik özellikleri.

Susuzlaştırılmış çamur kekindeki katı madde muhtevasını etkileyen faktörler halen tam olarak anlaşılamamıştır. Çamur yüzeylerinin fiziksel ve kimyasal olarak bağlayan suyun düşük katı madde muhtevasını etkileyen en önemli konu olduğu düşünülmektedir [50]. Birçok araştırmacı bağlı su içeriği ve susuzlaştırılmış çamur kekindeki katı madde muhtevası arasında bir ilişkiyi ortaya koymuştur.

Çamur susuzlaştırmayı etkileyen hususlardan bir diğeri ise çamur şartlandırmada kullanılan kimyasallardır. Bunların içerisinde özellikle molekül ağırlığı fazla, güçlü

adsorblama özelliklerine sahip ve genellikle yüksek iyonik yüklere sahip suda çözünebilen polimerler önemli yer tutar.

Çamurun su içeriği, iki kategoriye ayrılabilir; serbest su ve bağlı su. Serbest su, yoğunlaştırma veya zayıf mekanik araçlarla kolaylıkla uzaklaştırılabilir ve saf su gibi termodinamik davranış gösterir. Ancak bağlı su, sıkı bir şekilde tutulmuştur, çamura bağlanmıştır veya çamur partikülleri arasına tutunmuştur. Mekanik araçlarla giderilemez ve toplam suyun küçük bir oranını temsil eder. Bunun da ötesinde bağlı su kütlesiyle kıyaslandığında farklı bir kimyasal potansiyele sahiptir. Bağlı su, 105°C'nin üzerinde ısı kurutmayla giderilebilen fiziksel bağlı su, kimyasal bağlı su ve mikro ve makro boşluklardaki kılcal kuvvetler tarafından bağlanmış mekanik bağlı su olarak ayrılabilir.

4.2. Çalışmada Kullanılan Hammaddeler

Çalışmada kullanılan hammaddeler Sakarya büyükşehir belediyesi Karaman atıksu arıtma tesisi fiziksel ve biyolojik arıtma sonucu oluşan arıtma çamuru ile tarımsal ikincil ürün olan fındikkabuğudur.

4.2.1. Çalışmada kullanılan maddelerin alınması

Sakarya Belediyesi atıksu arıtma tesisi; Sakarya İli'nin kuzeyinde yer alan SASKİ Genel Müdürlüğüne bağlı Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi konutlardan ve sanayi kuruluşlarından kaynaklanan atıksuları arıtmaktadır (Şekil 4.1). Sanayi kuruluşlarından alınan atıksular ön arıtmadan geçirilerek tesisimize alınmaktadır. Tesis kuru havalarda 198.800 m³/gün, yağışlı havalarda 271.941 m³/gün atık suyu arıtabilecek kapasitededir. Tesiste fiziksel ve biyolojik olmak üzere iki temel arıtma metodu ile işletilmektedir. Arıtılan su “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”ndeki deşarj değerlerinin çok daha altında deşarj edilmektedir. Tesis 2015 yılına kadar 1.000.000 eşdeğer nüfusa hizmet edecek kapasitede olup 2015 yılından sonra yapılacak ilave inşaatlarla 1.625.767 eşdeğer nüfusa hizmet edebilecek kapasiteye sahip olacağı düşünülmektedir. Birinci kademenin yapımına 1997 yılında başlanmış ve

1999 yılında tamamlanmış, deprem nedeniyle kolektör ve şebekelerin tamamlanması gecikmiş ve tesis ancak 2003 yılında devreye alınabilmiştir [51].

Atıksu arıtma tesisi Sakarya'ya bağlı Adapazarı Merkez, Arifiye, Serdivan, Yazlık, Güneşler, Hanlı, Nehirkent, Sapanca, Kırkpınar, Kurtköy ile Kocaeli'ye bağlı Maşukiye ve Hikmetiye'nin atıksuları arıtılmaktadır.



Şekil 4.1. SASKİ Arıtma Tesisinin Kuşbakışı Görünüşü [51]

Bütün atıksu arıtma tesislerinde olduğu gibi sonraki ünitelerdeki ekipmanları korumak amacıyla ızgaralar kullanılır. Izzgaralar kaba, orta ve ince olmak üzere üç tipte ele alınır. Sakarya atıksu arıtma tesisinde 50 mm aralıklı ızgara kullanılmıştır ve debisi $5400 \text{ m}^3/\text{h}$ dir. Tesise gelen atıksular daha sonra Atıksu pompa istasyonlarından geçer, Atıksu pompa istasyonları kanalizasyon şebekelerinde, arıtma tesisi girişinde ve tesis içerisinde atıksuyu yükseltmek ya da geri devir amacıyla kullanılmaktadır.

Diğer arıtma ünitelerinden önce bir kum ve yağ tutucu kullanılmaktadır. Debisi $535 \text{ m}^3/\text{h}$ dir. Evsel atıksu arıtma tesislerinde yağlar, normal olarak birincil çöktürme havuzunda su üzerine çıkar.

Havalandırma havuzlarından savaklanan atıksu son çökeltim havuzlarına gelmektedir. Bu havuzlarda oluşan çamur dibe çökmekte ve yüzeyde kalan arıtılmış su savaklar ile çark deresine deşarj edilmektedir. Dibe çökelen çamur tam köprü sıyrıcılar ile sıyrılarak geri devir istasyonuna gönderilmektedir. Geri Devir İstasyonu Atıksuyun geri devir çamuruyla karıştırıldığı ve havalandırma havuzlarına gönderildiği bölümdür. Bu bölümde geri devir çamurunun bir kısmı fazla çamur pompaları ile yoğunlaştırma tanklarına gönderilmektedir. Son aşamada arıtım işlemi sırasında oluşan çamur sitemden çekilir ve suyunun azaltılması için mekanik bir susuzlaştırma sistemi olan belt filtreye gönderilir. En son işlem olan belt filtre susuzlaştırma işlemi yapılarak kamyonlara doldurulup arazi üzerine depolanmaktadır. Belt filtreden çıkan arıtma çamuru kullanılmıştır [51].

Deneyde kullanılan tarımsal ikincil ürün olan fındikkabuğu açısından ülkemiz önemli fındık üreticilerindendir. Fındık, çalı ve ağaç türlerinden olup esasen huşgiller familyasından bir bitkidir. Genellikle yıllık 1000–2000 mm yağış alan, nemli, kışların ılık geçtiği ve humuslu toprağa sahip bölgelerde yetişir. Ticari değeri yüksek olduğundan fındık üretimi, yıllık 600 ile 650 bin tonla en çok üretimin yapıldığı Türkiye ile İtalya, ABD, İspanya, Azerbaycan gibi ülkeler başta olmak üzere, İran, Fransa, Yunanistan, Rusya gibi ülkelerin yetiştirme koşulları uygun olan bölgelerinde yoğun olarak yapılmakta ve yıllık fındık üretimi 1 milyon tonu bulmaktadır [52].

Ülkemizde her yıl yaklaşık olarak 200 bin ton fındık zürufu ortaya çıkmakta ve bu zürufun büyük bölümü Ordu, Giresun, Trabzon, Samsun, Sakarya ve Düzce illeri gibi ağırlıklı olarak fındık tarımı yapılan yerlerde bulunmaktadır.

Belt filtrede elde edilen arıtma çamuru ile belirli oranlarda (%80 AÇ - %20 FK, %70 AÇ - %30 FK, %100 AÇ) fındikkabuğu karıştırılıp filelere doldurulmuştur. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2. File İçersinde Arıtma Çamuru Ve Fındıkkabuğu Karışımları

4.2.2. Çalışmanın yapıldığı yer ve kullanılan ekipmanlar

Çalışma yapılan Sakarya ili; Karadeniz kıyılarında kuzeye özgü karakter kazanan Karadeniz iklimi ile Marmara havzasına kadar uzanan Akdeniz ikliminin etkili olduğu il, iklimlerin geçiş alanıdır. Güney ve batıda Akdeniz ikliminin özellikleri görülmekle beraber, yaz kuraklığının sürekli olmaması, bazı yıllarda yağışların çok azalması ve genel olarak ortalama ve mutlak sıcaklık farklarının az oluşu bölgenin Akdeniz ve Karadeniz iklim bölgeleri arasında bir geçiş alanı olmasının göstergesidir. Ayrıca Marmara iklimi özelliklerini taşıyan Sakarya ili; yağışlı, rutubetli bir havaya ve ılıman bir iklime sahiptir. Kışlar bol yağışlı ve ılık, yazlar sıcak geçer. Yıllık ortalama sıcaklık 14,4 °C, ölçülen en düşük sıcaklık -14,5 °C, en yüksek sıcaklık 41,8 °C'dir. Yıllık ortalama nem oranı %73,9 yıllık yağış ortalaması 1,016 mm'dir.

Bu çalışmada arıtma çamurlarını findıkkabuğu hassas terazide tartılarak önceden belirlediğimiz kütleli oranlarda (%80 AÇ - %20 FK, %70 AÇ - %30 FK, %100 AÇ) numuneler hazırlandı ve filelere doldurmadan önce homojen karılması için 650 wattlık matkap ve harç karma ucu kullanılmıştır.

Her 12 kg'lık numuneler için 30 litrelik plastik kova içersine belirlenen oranlarda arıtma çamuru ve findıkkabuğu konularak üst kapağı harç karma ucu girecek kadar kesilerek 5 dakika karıştırılmıştır. Karışımlar 3 mm kare delikli filelere doldurulmuştur. Doldurulan filelere hepsine belirli desen olacak şekilde dizilerek numara verilmiştir.

4.3. Çalışmanın Yapılması

Arıtma çamuru ve tarımsal ikincil ürün olan findıkkabuğu karışımların kalorifik değerlerini yükseltebilmek için karışımların bünyesinde bulunan nem içeriğini düşürmek gerekir. Susuzlaştırma işlemi düşük maliyetlerde gerçekleştirmek için enerji ihtiyacını çevre ortamdan sağlamak (güneş radyasyonu, rüzgar, yağış vb.) çok büyük yarar sağlayacaktır.

Belt filtreden elde edilen arıtma çamurlarının kalorifik değerlerini ve kuruma hızı arttırmak için 3 mm kare aralıklı filelere, tarımsal ikincil ürün olan findıkkabuğunu belirlenen kütleli oranlarda (%80 AÇ - %20 FK , %70 AÇ - %30 FK, %100 AÇ) karıştırıldı. her karışım oranı için ayrı ayrı 12 adet numune oluşturuldu her numune 12 kg olacak şekilde hazırlandı. Ayrıca buharlaşmayı hızlandırmak için ahşap paletler üzerine hava akışını engellemek amacıyla belli bir desenle yerleştirilmiştir.

Numuneler hem açık ortama (Şekil 4.3) hem de kapalı ortama (Şekil 4.4) yerleştirilerek kurumaya bırakıldı. Açık ve kapalı ortamda kurutmaya bırakılan numunelerin karışım oranları %80 AÇ - %20 FK , %70 AÇ - %30 FK, %100 AÇ' dir. Karışımlar homojen olması için 30 L' lik plastik kova içerisinde harç karıştırma uçu ile 650 wattlık matkap vasıtasıyla her numune 5 dakika karıştırılmıştır. Ve daha

sonra filelere konmuştur. Filelerin her birine numara verilerek kütle kayıpları kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.3. Açık Alanda Kurumaya Bırakılan Numuneler

Açık alanda ve kapalı alanda bulunan %80 AÇ - %20 FK, %70 AÇ - %30 FK, %100 AÇ karışımına ait 12 adet numunenin kütle kayıpları birinci, üçüncü, yedinci, onuncu, on üçüncü, yirminci günlerde buharlaşan kütle kayıpları ölçülerek kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.4. Kapalı Alanda Kurumaya Bırakılan Numuneler

Aşağıdaki tablolarda, 27/08/2012 ile 18/09/2012 tarihleri arasında Şekil 4.4 ve 4.5 gösterildiği gibi açık ve kapalı ortamlarda gerçekleştirilen kurutma deneyi için hazırlanan karışımların (%70 AÇ - %30 FK, %100 AÇ ve %80 AÇ - %20) bünyesindeki suyun buharlaşması kayıt altına alınmıştır. Karışımlarının zamana göre kütle değişimleri verilmiştir.

Tablo 4.1. %80 AÇ - %20 FK Karışımlarının açık ortamda kurutması ile kültlerinin zamana bağlı değişimi (kg)

GÜN NO	0	1	3	7	10	13	20
1	12,00	10,76	9,71	8,33	7,63	7,01	5,94
2	12,00	11,37	10,45	9,14	8,44	7,79	6,74
3	12,00	11,17	9,96	8,66	7,90	6,99	5,89
4	12,00	11,08	9,96	8,57	7,82	7,15	6,13
5	12,00	11,28	10,36	9,11	8,46	7,81	6,84
6	12,00	11,28	10,30	8,91	8,15	7,35	6,33
7	12,00	11,24	10,07	8,48	7,64	6,94	5,87
8	12,00	11,17	9,90	8,31	7,44	6,68	5,64
9	12,00	11,18	10,22	8,62	7,76	7,04	6,08
10	12,00	11,23	10,23	8,63	7,84	7,10	5,93
11	12,00	11,10	9,97	8,67	7,98	7,32	6,27
12	12,00	11,21	10,14	8,75	7,99	7,29	6,21

Tablo 4.2. %80 AÇ - %20 FK Karışımlarının Kapalı Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi (kg)

GÜN NO	0	1	3	7	10	13	20
1	12,00	11,63	11,13	10,46	9,95	9,45	8,53
2	12,00	11,54	11,09	10,48	9,95	9,49	8,56
3	12,00	11,60	10,96	10,17	9,61	9,10	8,23
4	12,00	11,53	11,01	10,33	9,80	9,16	7,86
5	12,00	11,50	10,94	10,26	9,67	9,10	8,11
6	12,00	11,50	10,74	9,86	9,27	8,67	7,64
7	12,00	11,54	11,01	10,42	9,82	9,31	8,22
8	12,00	11,56	11,01	10,28	9,63	9,02	8,12
9	12,00	11,49	10,90	10,26	9,68	9,02	7,85
10	12,00	11,43	10,71	9,94	9,23	8,59	7,39
11	12,00	11,40	10,83	10,17	9,38	8,68	7,43
12	12,00	11,28	10,62	9,70	9,17	8,40	7,25

Tablo 4.3. %70 AÇ - %30 FK Karışımlarının Açık Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi (kg)

GÜN NO	0	1	3	7	10	13	20
1	12,00	11,28	10,42	8,85	8,18	7,50	6,32
2	12,00	11,24	10,54	9,29	8,69	8,03	6,96
3	12,00	11,16	10,44	9,09	8,51	7,90	6,57
4	12,00	11,20	10,42	8,98	8,35	7,60	6,58
5	12,00	11,39	10,82	9,74	9,22	8,66	7,45
6	12,00	11,33	10,65	9,31	8,64	8,01	6,95
7	12,00	11,38	10,63	9,31	8,70	7,79	6,87
8	12,00	11,26	10,45	9,05	8,53	7,85	6,60
9	12,00	11,44	10,62	9,06	8,22	7,45	6,57
10	12,00	11,13	10,34	9,00	8,20	7,38	6,46
11	12,00	11,21	10,23	8,60	7,68	7,16	6,19
12	12,00	11,22	10,29	8,84	8,14	7,04	6,00

Tablo 4.4. %70 AÇ - %30 FK Karışımlarının Kapalı Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi (kg)

GÜN NO	0	1	3	7	10	13	20
1	12,00	11,65	11,23	10,73	10,30	10,03	9,30
2	12,00	11,63	11,24	10,80	10,38	10,10	9,40
3	12,00	11,58	11,09	10,50	10,05	9,68	8,78
4	12,00	11,58	11,15	10,66	10,24	9,96	9,15
5	12,00	11,65	11,28	10,83	10,49	10,22	9,51
6	12,00	11,60	11,13	10,29	10,07	9,74	8,83
7	12,00	11,68	11,25	10,77	10,36	10,04	9,24
8	12,00	11,67	11,28	10,79	10,37	10,08	9,33
9	12,00	11,65	11,26	10,83	10,46	10,18	9,30
10	12,00	11,53	11,08	10,47	10,02	9,67	8,77
11	12,00	11,68	11,23	10,65	10,14	9,81	8,99
12	12,00	11,61	11,10	10,54	10,07	9,71	8,65

Tablo 4.5. %100 AÇ Numunelerinin Açık Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi (kg)

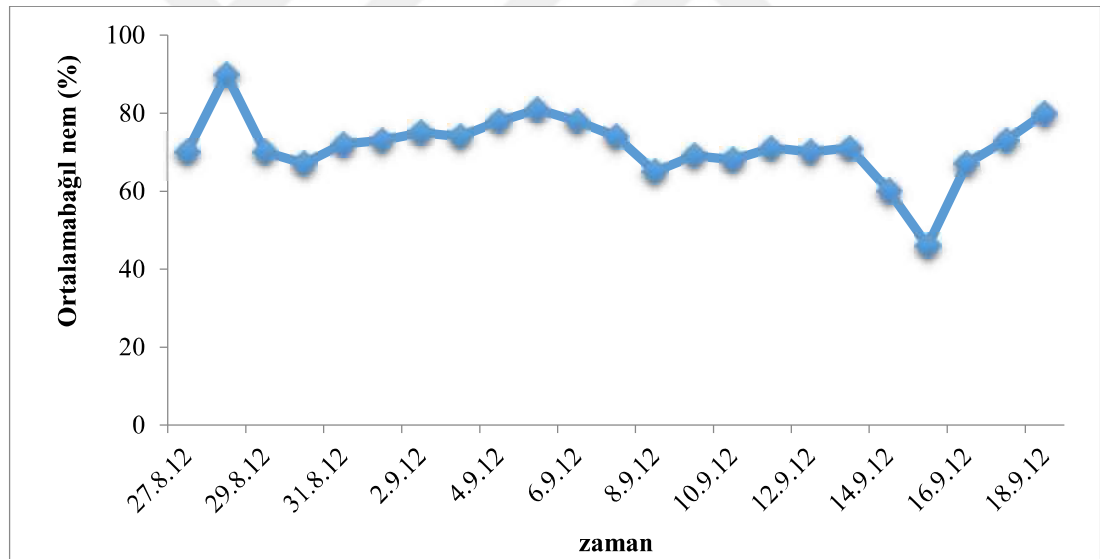
GÜN NO	0	1	3	7	10	13	20
1	12,00	10,84	9,38	6,95	5,68	4,69	3,52
2	12,00	11,23	10,39	8,76	7,76	6,48	4,15
3	12,00	10,86	9,45	7,16	5,83	4,46	3,34
4	12,00	11,01	9,75	7,80	6,74	5,66	3,78
5	12,00	11,23	10,38	8,77	7,76	6,46	4,35
6	12,00	11,04	9,90	8,29	7,10	5,94	4,38
7	12,00	10,97	9,68	6,95	5,81	4,77	3,56
8	12,00	10,97	9,62	6,99	5,77	4,66	3,25
9	12,00	10,90	9,72	7,42	6,06	4,81	3,58
10	12,00	10,89	9,24	6,62	5,15	4,12	3,15
11	12,00	10,97	9,50	7,29	6,06	4,91	3,46
12	12,00	10,96	9,63	7,06	5,47	4,23	2,95

Tablo 4.6. %100 AÇ Numunelerinin Kapalı Ortamda Kurutması ile Kültlerinin Zamana Bağlı Değişimi (kg)

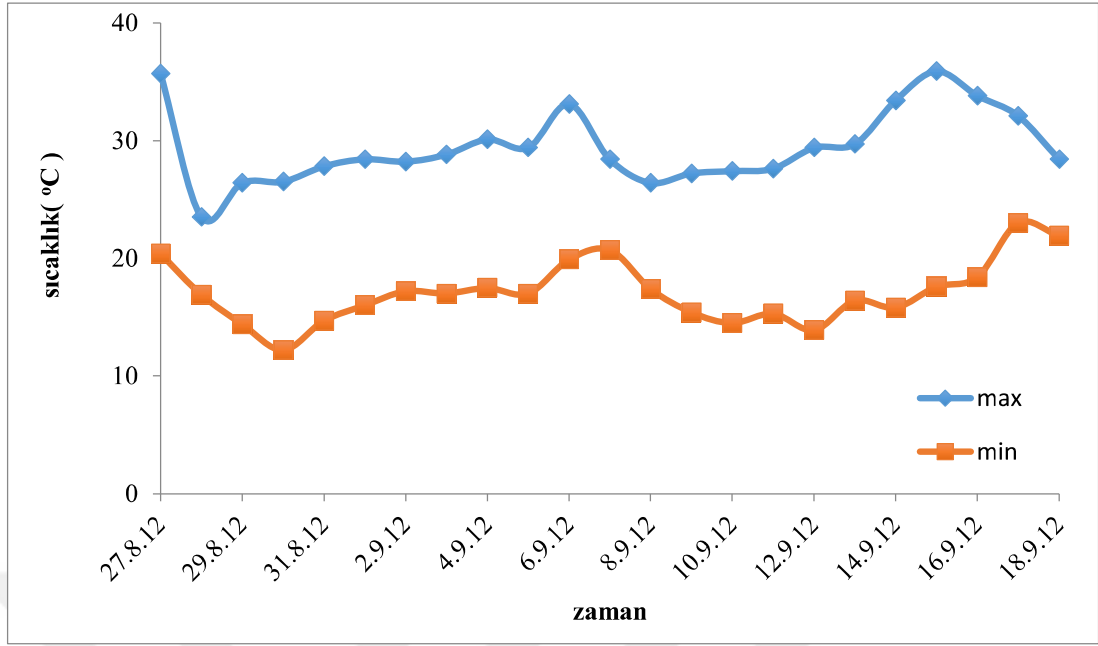
GÜN NO	0	1	3	7	10	13	20
1	12,00	11,71	10,96	10,27	9,76	8,99	7,45
2	12,00	11,80	11,26	10,71	10,25	9,72	8,44
3	12,00	11,57	10,76	9,88	9,30	8,50	6,93
4	12,00	11,68	11,05	10,37	9,85	9,12	7,53
5	12,00	11,79	11,40	10,90	10,54	10,00	9,06
6	12,00	11,66	11,04	10,19	9,64	8,86	7,18
7	12,00	11,72	11,13	10,39	9,80	9,27	7,55
8	12,00	11,77	11,16	10,41	9,85	9,22	7,73
9	12,00	11,78	11,20	10,60	10,13	9,41	7,91
10	12,00	11,78	11,11	10,46	9,97	9,13	7,55
11	12,00	11,69	10,99	10,25	9,70	8,70	7,23
12	12,00	11,68	10,99	10,14	9,54	8,68	7,01

Arıtma çamuru bünyesinde bulunan su içeri findıkkabuğu içerisinde bulunan su içeriğinde çok fazla olduğundan ve buharlaşarak kaybolan kütle su olacağı için burada kaybolan kütle yani Karışımın bünyesinde bulunan yüksek nem içeriği arıtma çamurunun bünyesinde bulunan nem içeriği olarak değerlendirilmiştir. Deneyin yapıldığı 27/08/2012 ile 18/09/2012 tarihleri arasında, kütle kayıpları belirli gün (1-3-5-7-10-15-20 gün) aralıklarıyla kayıt altına alınmıştır. Hazırlanan karışımların susuzlaştırılmasındaki en önemli faktörler olan hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, bağıl nem, yağış yüksekliği, rüzgar hızı gibi meteorolojik veriler meteoroloji istasyonu verilerinden alınmıştır. [53]

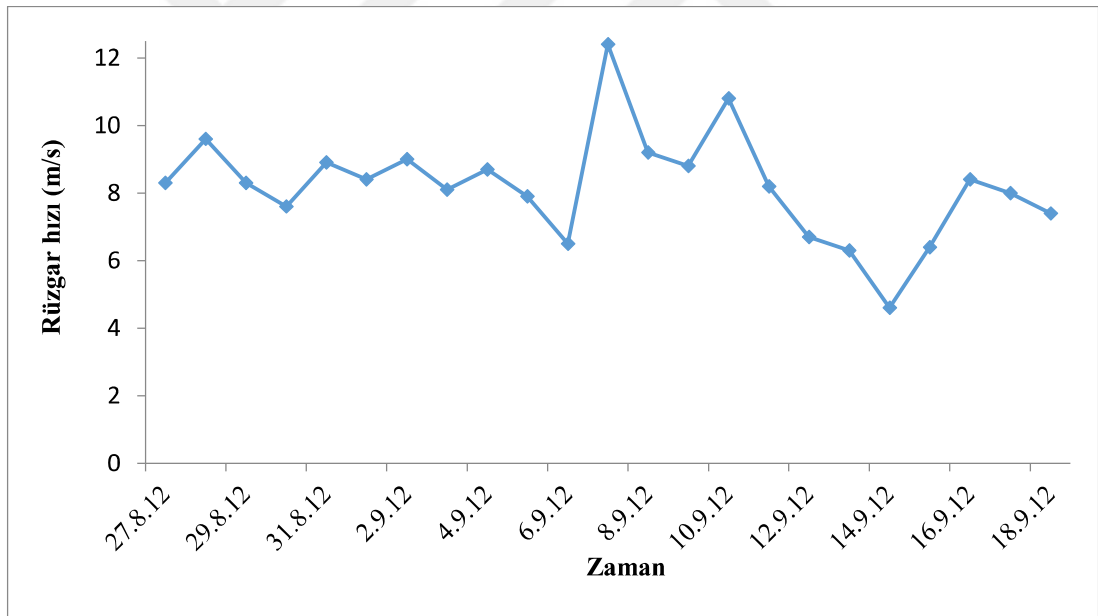
Deneyin yapıldığı 27/08/2012 ile 18/09/2012 tarihleri arasında Sakarya ilinin hava sıcaklığı ortalama bağıl nemi ve rüzgar hızının zamanla olan ilişkisi verilmiştir(Şekil 4.5, 4.6, 4.7) [53].



Şekil 4.5. Günlük Sakarya İli Ortalama Nemin Zamanla Değişimi



Şekil 4.6. Günlük Sakarya İli Min ve Max Sıcaklığın Zamanla Değişimi



Şekil 4.7. Günlük Sakarya İli Rüzgar Hızının Zamanla Değişimi

Sakarya'da en fazla güneşlenmenin, günlük ortalama 8/34 (saat/dk) ile Temmuz ve Ağustos aylarında olduğu görülmektedir. İlde esme sayısı yönünden egemen rüzgâr yönü kuzeybatıdır. Kuzeybatı (karayel) rüzgârları Sapanca Gölü üzerinde Adapazarı Ovası'nın içlerine sokularak iklimi azda olsa serinletmektedir. Daha sonra sırasıyla en çok esen rüzgârlar kuzey ve kuzey-kuzey batıdır. İlde en hızlı esen rüzgâr 22,3

m/sn ile güney-güney batıdır. İklim özellikleri açısından, Marmara ve Karadeniz bölgesi arasında geçiş alanında bulunan Sakarya da, ortalama sıcaklık açısından en sıcak ay Temmuz (23,2 °C) olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı günlerin ortalama sıcaklığı 23,3°C, ortalama bağıl nem % 71,39 ve ortalama rüzgar hızı 18,14 m/s olduğu görülmektedir. [54]

4.4. Laboratuvar Ortamında Yapılan Deneyler

Sakarya üniversite laboratuvarlarında yapılan deneyde arıtma çamuru ve karışımlarının zamana bağlı nem değişimleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan araçlar etüv, desikatör, normal ve yüksek hassaslıkta dijital tartı, öğütme makinesi, buzdolabıdır. Fırında kurutma işlemi doğal konveksiyon ile olmaktadır. Deney süresinde Fırının iç sıcaklığını 105°C de olacak şekilde ayarlanmış ve kapak açılarak sıcaklık dengesi bozulduğunda otomatik olarak tekrar 105°C'ye gelecek şekilde ayarlanmıştır. numuneler kurutuldu. Tabanında kalsiyum klorür vb. nem çekici maddelerin bulunduğu desikatörler kullanılarak kurutma sonrasında nem miktarı bir miktar daha düşürülmüştür. her bir numune yaklaşık olarak 100 gr olarak hazırlanmış. Bu numuneler alüminyum kaplara konularak PID programlanabilir bir laboratuvar fırını kurutucu (Nüve, FN 055) yerleştirilmiştir (Şekil 4.8). Kurutulan numunelerin kütle kaybı çok hassas tartı ile ölçülmüş ve fırının toplam enerji tüketimi 24 saat boyunca enerji metre ile ölçülmüştür. Numunelerin nem içerikleri ölçülmüştür



Şekil 4.8. Etüv fırını ve kurutma için hazırlanan numuneler

Ayrıca arıtma çamuru ve karışımlarından hazırlanan numuneleri mikrodalga fırında, cam tabak üzerinde ince bir tabaka olacak şekilde yayılmış ve maksimum 700 W güç kapasitesine sahip bir mikrodalga fırında (FAKIR, Model MW70170 Almanya) yerleştirilmiştir. Uniform kurutma sağlamak için döner platform üzerinde koyulmuştur. Mikrodalga fırın farklı güç seviyelerinde (336, 462 ve 595 W) çalıştırılarak deney yapılmış. Üç farklı güçte çalıştırılan mikrodalga fırınla, numuneler beş dakika kurutma testine tabi tutulmuştur. Numuneler Soğutulduktan sonra, izole edilmiş poşetlerde alınmıştır. Numunelerin kütle kayıtları için tartılması 0,01g hassasiyetli 3 kg kapasiteli elektronik tartı ile tartıldı.



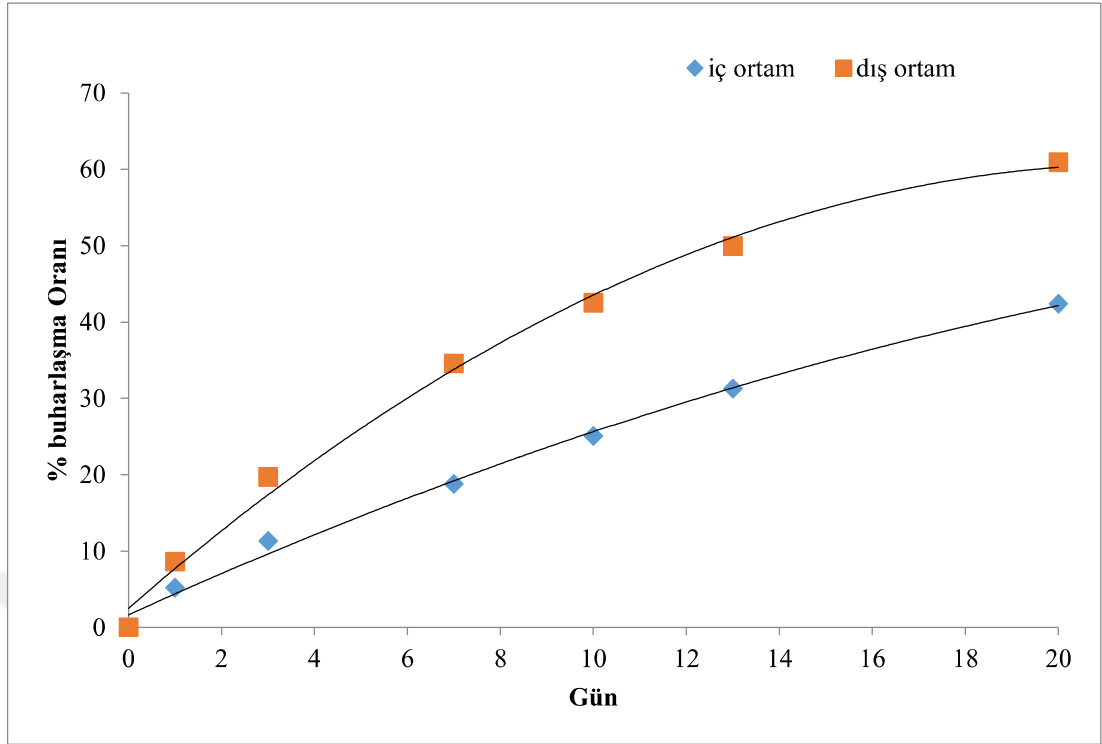
Şekil 4.9. mikrodalga ve kurutma için hazırlanan numuneler

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE KURUTMA

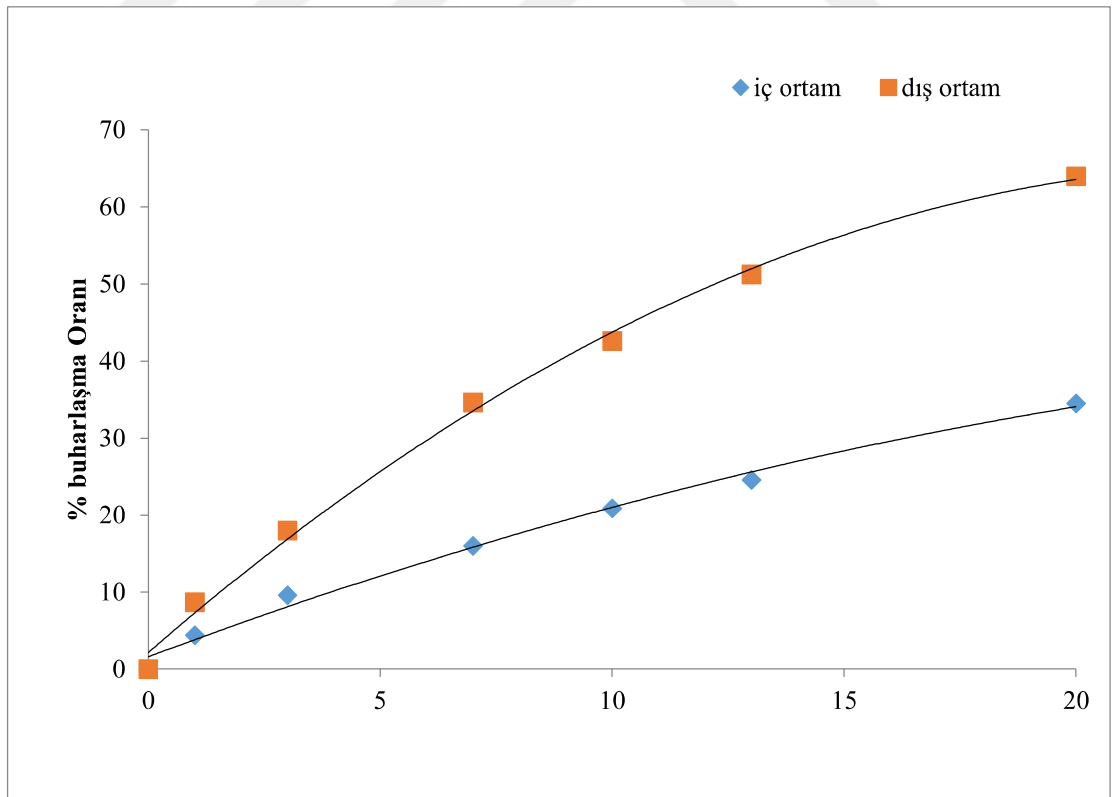
Çevreye zarar veren atıkların yeniden değerlendirilmesi gerektiği fikrinden yola çıkarak, arıtma çamurunun katı yakıt olarak kullanılabilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla arıtma çamurunun bünyesinde bulunan yüksek nem içeriğinin kurutma yolu ile azaltılması işlemi yapılmıştır. Açık alanda kurutma ve kapalı alanda kurutma, etivde ve mikrodalga fırında kurutma işlemleri uygulanmıştır. Arıtma çamurunun enerji değerlerinin artırılması amacıyla tarımsal ikincil ürün olan ve dünyada üretiminde en büyük ihracatçı konumunda olduğumuz fındıktan elde edilen fındıkkabuğu farklı oranlarda (%70 AÇ - %30 FK, %100 AÇ ve %80 AÇ - %20) eklenerek homojen karışımlar elde edilmiştir. arıtma çamuru ile elde edilen karışımın, kuruma süresini azaltarak kalorifik değerin artırılması hedeflenmiştir.

5.1. Üç Farklı Metoda Kurutma

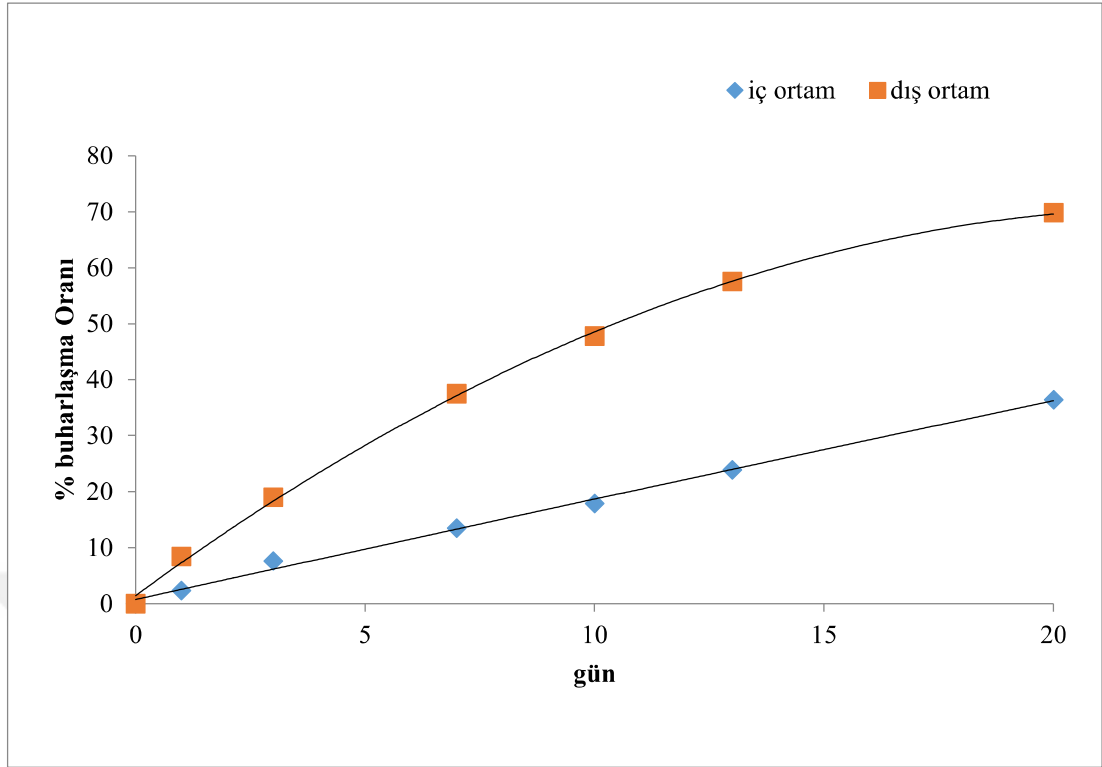
Arıtma çamuru fındık karışımlarının deneyin yapıldığı 27/08/2012 ile 18/09/2012 tarihleri arasındaki zaman diliminde Açık ortamda ve kapalı ortamda bulunan her karışım (%80 AÇ - %20 FK, %70 AÇ - %30 FK, %100 AÇ) için hazırlanmış 12 adet numunenin kayıt altına alınan kütle kayıplarının ortalamaları alınarak buharlaşma oranları halinde hesaplanıp Şekil 5.1,5.2 ve 5.3 de sunulmuştur.



Şekil 5.1. %80 AÇ - %20FK Karışımının Zamana Bağlı Buharlaşma Oranı Değişimi



Şekil 5.2. %70 AÇ - %30FK Karışımının Zamana Bağlı Buharlaşma Oranı Değişimi



Şekil 5.3. %100 AÇ Numunelerinin Zamana Bağlı Buharlaşma Oranı Değişimi

Çalışmanın devamında alınan numuneler analiz yapılması için TÜBİTAK'a gönderilmiştir. TÜBİTAK MAM laboratuvarlarında hazırladığımız karışımların, kimyasal ve elemental analizleri yapılmıştır. Karışımların fiziksel ve kimyasal madde (ağır metal) özellikleri Tablo 5.1. ve 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Çamuru ve Fındıkkabığı Karışımının Fiziksel Özelliği

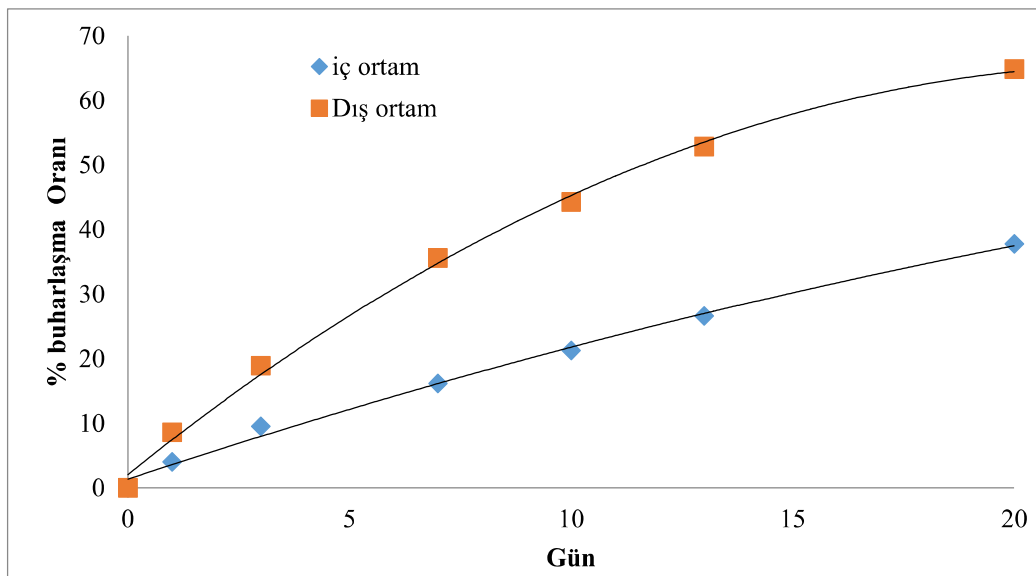
	AÇ %100			FK %100			%80AÇ+ %20 FK			%70AÇ+ %30 FK			%60AÇ+%40 FK			Metot
	son alınan	hava kurutma	kuru	son alınan	hava kurutma	Kuru	son alınan	hava kurutma	kuru	son alınan	hava kurutma	kuru	son alınan	hava kurutma	kuru	
Nem	58.74	7.02	-	5.7	-	-	48.34	6.92	-	43.11	6.83	-	37.68	6.46	-	ASTM D7582
Kül	14.68	33.09	35.59	1.77	-	1.88	14.74	26.56	28.53	14.58	23.89	25.63	13.8	20.71	22.14	ASTM E 1755
Uçucu	23.27	52.44	56.39	68.38	-	72.51	30.63	55.2	59.3	34.52	56.54	60.68	38.76	58.18	62.2	ASTM D 7582
sabit C	3.31	7.46	8.02	24.15	-	25.62	6.29	11.33	12.17	7.79	12.75	13.68	9.76	14.65	15.66	*
toplam S	0.45	1.01	1.09	0.04	-	0.05	0.44	0.8	0.86	0.43	0.7	0.76	0.41	0.62	0.66	ASTM D 4239

Tablo 5.2. Arıtma Çamuru ve Fındık Kabuğu Karışımının Kimyasal Özelliği

	AÇ %100	FK %100	%80AÇ+%20 FK	%70AÇ+%30 FK	%60AÇ+%40 FK	Metot
C	36.35	55.67	40.02	42.2	44.31	ASTM D 5373
H	4.34	4.97	4.14	4.34	4.48	ASTM D 5373
O	17.29	39.98	21.99	23.1	24.97	*
N	5.34	0.45	4.46	3.97	3.44	ASTM D 5373
S	1.09	0.05	0.86	0.76	0.66	ASTM D 4239

Açık ve kapalı ortam koşullarında karışımların içerisindeki nem içeriklerinin zamanla değişimi izlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda , deney süresince hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, bağıl nem, rüzgar hızı gibi meteorolojik veriler meteoroloji istasyonu kullanılarak toplanmıştır.

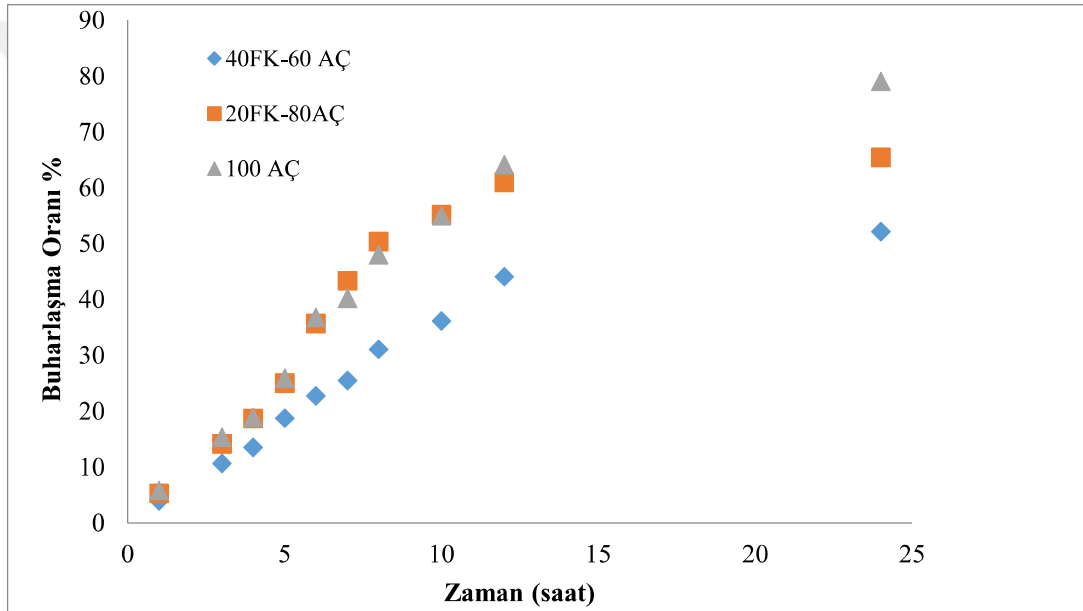
Açık alanda kurutmaya bırakılan 12 adet numunenin birinci gün ortalama buharlaşan su oranı %8,6 kapalı alanda kurutmaya bırakılan numunelerin birinci gün sonu kütle kaybı %4,3, üçüncü gün ortalama buharlaşan su oranı; açık alanda kurutulan numunelerin %18,9, kapalı alanda kurutulan numunelerin %9,5, yedinci gün ortalama buharlaşan su oranı; açık alanda kurutulan numunelerin % 36,2, kapalı alanda kurutulan numunelerin %16, onuncu gün ortalama buharlaşan su oranı; açık alanda kurutulan numunelerin %44,3, kapalı alanda kurutulan numunelerin %21,3, on üçüncü gün ortalama buharlaşan su oranı; açık alanda kurutulan numunelerin %52,93, kapalı alanda kurutulan numunelerin %26,6 ve yirminci ortalama buharlaşan su oranı; açık alanda kurutulan numunelerin %65, kapalı alanda kurutulan numunelerin %37,7 olarak ölçüldü. Çamurun nem muhtevası ağırlık kaybı ile belirlendi. Şekil 5.4’de numunelerin 20 günlük dönemde açık ortamda bulunan numunelerin nem değişimleri yaklaşık %70’i bulmaktadır ve kapalı ise %40 oranında olmaktadır. Açık alanda kurutmada yedinci günde ulaşılan buharlaşma oranına kapalı alanda kurutmada 20 günde ulaşılmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5.4. İç ve dış ortamda kurutulan numunelerin ortalama buharlaşma oranlarının zamanla değişimi

Yapılan gözlemlerde kapalı alandaki su buharı tahliyesi açık alana göre daha düşüktür. Bunu en önemli etkeni güneş ve rüzgârdır. Kurutma verimliliği ve enerji tasarrufu açısından yaz döneminde açık alanda kurutma süresi arttırılarak kurutma verimliliği arttırılabilir.

Fırında kurutma işlemi doğal konveksiyon ile olmaktadır. Deney süresinde Fırının iç sıcaklığını 105°C de ve alüminyum kaplar içerisinde 100 g olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurutma işlemi sonucunda ortalama kütlesinde %65 kayıp olmaktadır.

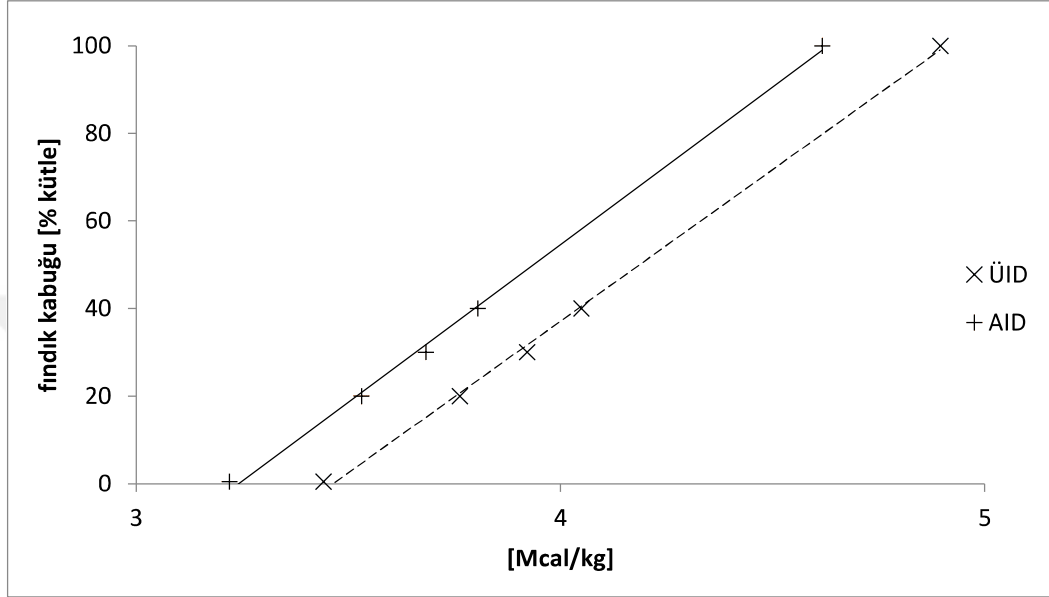


Şekil 5.5. etüvde kurutulan numunelerin buharlaşma oranlarının zamanla değişimi

Mikro dalga fırın için hazırlanan numuneler 100g olacak şekilde cam bir tabak üzerine ince bir tabaka olarak serildi. Düzgün bir kurutma sağlaması amacıyla döner pıkaba yerleştirildi. Üç farklı güçte (336, 462 ve 595 W) mikro dalga fırın 5-10-20-30 dakika çalıştırılıp kurutma testine tabi tutulmuştur. Soğuma işlemi bitince numuneler hassas elektronik terazide tartılmıştır.

Kurutulan Numuneler üzerinde TÜBİTAK MAM laboratuvarlarında yapılan analizler sonucu arıtma çamuru karışımlarının kurutma işlemi sonucunda alt ısı değeri (AID) ve üst ısı değeri (ÜİD) 3,4–4,9 Mcal/kg arasında olduğu görülmektedir (Şekil

5.6). Elektrik santrallerinde kullanılan linyit kömürün kalorifik değeri 4,16 Mcal/kg dir. Fındikkabuğu ve arıtma çamuru karışımlarının kalorifik değerleri, elektrik santrallerinde kullanılan linyit kömürün kalorifik değeri birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6. Numunelerin alt ve üst ısı değerleri

Kurutma deneyleri sırasında arıtma çamuru nem oranı (MR), aşağıdaki eşitlik (denklem 5.1) kullanılarak hesaplanır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5.1)$$

Bu formülde MR Boyutsuz nem oranı, M_t herhangi bir t zamanındaki nem içeriği, M_e : Denge anında nem içeriği ve M_0 başlangıç anında nem içeriğidir. Kurutma havasının bağıl neminin sürekli dalgalanması nedeniyle $MR = M/M_0$ denklemi gibi basitleştirilmiştir [55].

Kurutma olayı malzemelerin bünyesindeki suyun buharlaşmasını ifade eder. Malzemelerin bünyesinde bulunan nemin buharlaşması ve nemin ters yönde sıvı veya buhar olarak taşınması için ısı gereklidir. Bünyelerinde bulun su buharlaşır ve kuru havaya konveksiyon yoluyla geçer. Biyolojik malzemelerde fick difüzyon denklemini kuruma olayında tanımlaya bilmek için tipik olarak düşük seviye kurutma süresinde kurutulur.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (5.2)$$

Difüzyon denklemi Crank (denklem 5.2) tarafından yukarıdaki gibi düzenlenmiştir [56]. Başlangıç nem içeriği, sabit yönlü difüzyon, merkeze göre simetrik kütle transferi, ısı ve kütle transferine önemsiz dış direnci ve kütle transferinden daha hızlı ısı transferi varsayımlarıyla Doymaz [57] (denklem 5.3) aşağıdaki gibi bir çözüm yapmıştır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{N=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5.3)$$

Burada L (m) numunelerin kalınlığının yarısı olduğu, D_{eff} (m^2/s) etkin difüzyonudur ve t ise zamandır. Kurutma eşitliği $\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M$ serideki ilk terim kullanılarak basitleştirilebilir ve efektif difüzyon katsayısı logaritmik formda yazılırsa;

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t \quad (5.4)$$

Bu denklemde (MR) nem oranı değerlerinin logaritması, t deneysel verilere göre kurutma süresi ve D_{eff} belirlenir. Enerji Tüketimi ve Kurutma Verimliliği düşünüldüğünde mikrodalga ve fırın kurutucu ile enerji tüketimi Hosain (Denklem 5.5) eşitliği kullanılır[58];

$$E_t = E \Delta t \quad (5.5)$$

E_t (kWh) toplam enerji tüketimiye, E (kW) ısı kaynağı ısı kapasitesi ve t (dakika) kuruma zamanıdır. Kurutma verimi, mikrodalga fırın tarafından verilen ısıya bağlı olarak, maddeden suyun buharlaştırılması için kullanılan ısı enerjisi oranı olarak tanımlanabilir.

$$\eta = \frac{m_w \lambda}{E \Delta t} 100 \quad (5.6)$$

λ suyun buharlaşması için gerekli olan gizli ısıyı temsil eder ve m_w ise kurutma da buharlaşan suyun toplam kütlesidir. Sadece güneş radyasyonu numunelerin kurutulmasında kullanıldığından açık havada kurutma enerjisiz yoğun sonuç olarak kabul edilmiştir.

Özgül Enerji Tüketimi ise suyun bir birim kütlesinin buharlaşması için gerekli enerji kaynağı olarak hesaplanabilir;

$$E_s = \frac{E_t}{m_w} \quad (5.7)$$

Burada E_s (kJ/kg) spesifik enerji tüketimidir. Mikrodalga fırına konulan numune için enerji tüketimi, spesifik enerji ve verimi hesaplırsak;

Mikrodalga fırını ayarladığımız enerji değeri olan 336 W ısı kaynağının kapasitesi olarak alınır,

$$E = 336 \text{ W};$$

m_w ise mikrodalga fırında kurutulan numunenin, t zaman sonra yani 5 dakika sonraki buharlaşan kütledir. $m_w = 7,3$ g ve $t=5$ dk'dır. Suyun buharlaşması için gereken gizli ısı olan λ 1 atm basınçta nominal kaynama noktası 100°C olan suyun buharlaşma gizli ısı olarak 2257 kJ/kg alınmıştır.[59] Verim denkleminde (denklem 5.6) elde edilen verileri yerine koyarsak

$$\eta = \frac{m_w \lambda}{E \Delta t} 100$$

$$\eta = \frac{7,3 \times 2257 \times 60}{336 \times 5 \times 3,6 \times 1000} 100$$

$\eta = 16,34$ olarak bulunur. Elde edilen bu değer Tablo 5.3’de hesaplanmış olan 336 W ısı kapasitesine sahip mikrodalganın verimidir.

Toplam enerji tüketimi aynı numune için Hosain (Denklem 5.5) eşitliği kullanılırsa;

$$E_t = E \Delta t$$

Mikrodalga fırını ayarladığımız enerji değeri olan 336 W ısı kaynağının kapasitesi, Δt kuruma zamanı olan 5 dk’dır.

$$E_t = 336 \times 5 / (60 \times 1000)$$

$E_t = 0,03$ KWh. bu değer Tablo 5.3’de hesaplanmış olan 336 W ısı kapasitesine sahip mikrodalganın enerji tüketimidir.

Özgül Enerji Tüketimi ise ;

$$E_s = \frac{0,028 \times 36000}{7,3} = 13,8 \text{ J/kg}$$

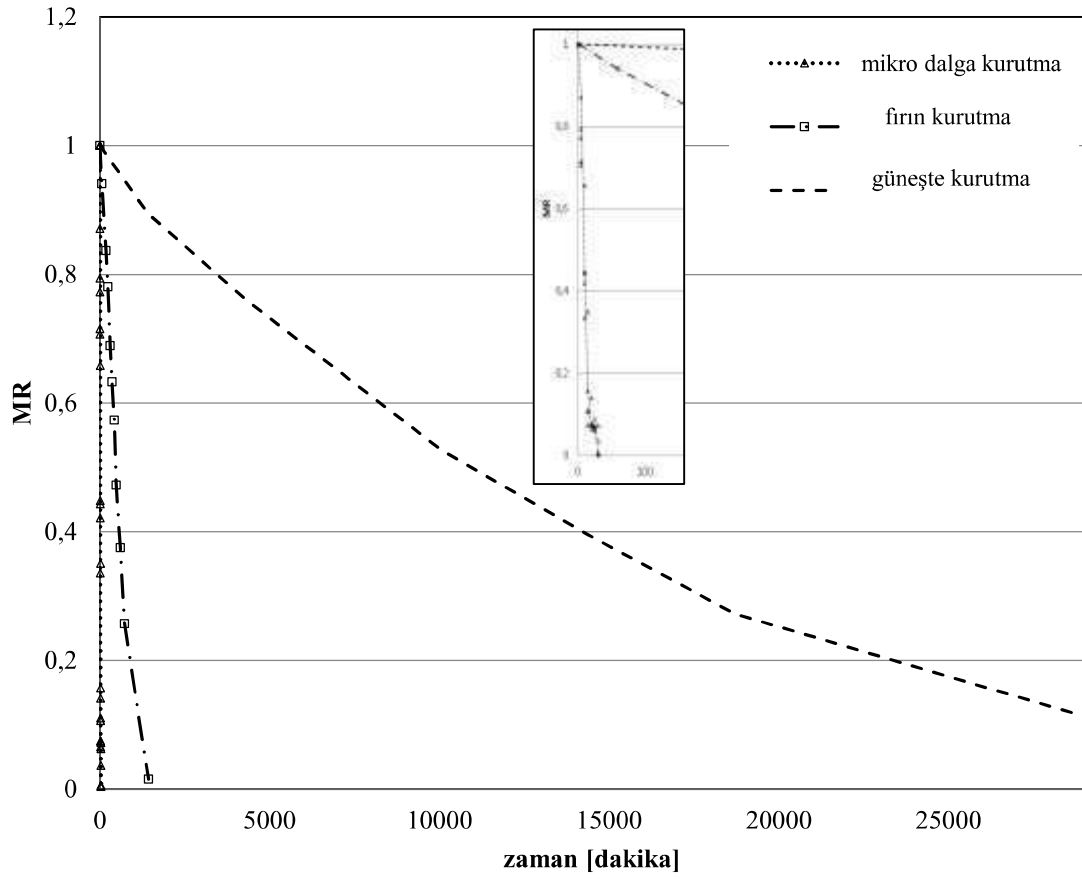
Deneylerde kullanılan kurutma yöntemlerine göre harcadıkları enerji tüketimi, özgül enerji tüketimi ve verimler hesaplanmış ve Tablo 5.3’de verilmiştir. En yüksek özgül enerji tüketimi, 1440 dakika, ısı kapasitesi 48 W ve verimi 3,81 olan fırın kurutmada meydana gelmiştir. En düşük enerji tüketimi ise mikrodalgada meydana gelmiştir. Arıtma çamurunu güneş radyasyonu ile kurutma açık ve kapalı alanda kurutma en uzun kurutma zamanına sahiptir. Bu beklenen bir sonuçtur.

Yeterli boş alana ve süreye sahip isek bu kurutma yöntemi maliyeti en düşük yöntem olacaktır.

Tablo 5.3. kurutma yöntemlerine göre enerji tüketimi

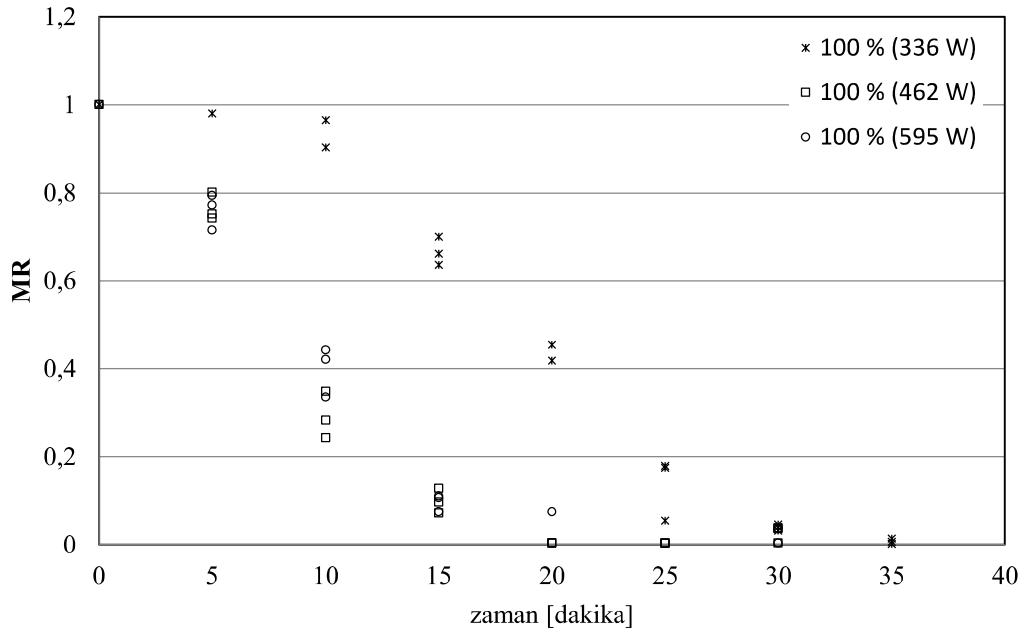
Kurutma Teknikleri	Isı Kapasitesi (W)	Başlangıç ağırlığı (g)	zaman (dak)	Buharlaşan Su Kütlesi m v (g)	Enerji tüketimi [KWh]	SEC [MJ/kg]	Verim %
Mikrodalga	336	100	5	7,3	0,03	13,8	16,34
Mikrodalga	462	100	5	14,5	0,04	9,56	23,61
Mikrodalga	595	100	5	20,5	0,05	21,77	25,92
Mikrodalga	336	100	10	25,5	0,06	7,91	28,54
Mikrodalga	462	100	10	37,5	0,08	7,39	30,53
Mikrodalga	595	100	10	51,5	0,10	6,93	32,55
Mikrodalga	336	100	20	60,5	0,11	16,66	33,86
Mikrodalga	462	100	20	66,0	0,15	21,00	26,86
Mikrodalga	595	100	20	66,0	0,20	27,05	20,86
Mikrodalga	336	100	30	63,3	0,17	23,91	23,60
Mikrodalga	462	100	30	70,5	0,23	29,49	19,13
Mikrodalga	595	100	30	70,8	0,30	37,84	14,90
Fırın(105 °C)	48 (ort.)	100	60	5,8	0,048	29,79	7,57
Fırın	48	100	720	64,1	0,58	32,34	6,97
Fırın	48	100	1.440	70,1	1,15	52,46	3,81
Açık alanda kurutma		100	1.440	7,6	0,03	15,19	14,85
Toplam güneş radyasyonu ,168 kWh/m ²		100	4.320	43,0	0,32	26,78	8,42
Örnek yüzey alanı: 0,01 m ²		100	14.400	62,8	0,64	36,69	6,15

Fırın ve mikrodalga da kurutulan numunelerin nem içeriği %79,06'dan yaklaşık %5'e kadar azalmış ve açık alanda kurutulan numunelerin nem içeriği %15 kadar azalmış olduğunu gözlemlenmiştir. Şekil 5.6'de mikrodalga, fırın ve güneş radyasyonunda kurutma yöntemlerle kurutulmuş arıtma çamuru karışımlarının deneysel kurutma eğrileri verilmiştir. Arıtma çamuru açık havada kurutma işleminde geçen süre 20 gün ve laboratuvar fırınında kurutma için gereken süre 12 saat, mikrodalgada (336 W) ise 20 dakikada kaybolan su kütleleri aynı olmaktadır. Mikrodalga fırının en hızlı kurutma metodu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6. Farklı Yöntemlerle Kurutulmuş arıtma Çamuru karışımlarının Deneysel Kurutma eğrileri

Güç seviyesi ve zamanın etkilerini mikrodalga kurutma için incelenerek yürütülmüştür. Arıtma çamurunun mikrodalga kurutma özelliklerini Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Başlangıçta, MR değerleri mikrodalga güç seviyelerinde orantılı elde edilmiştir. Daha yüksek bir sıcaklıkta bir kurutma açıkça kütle transferi hızı ile ilişkilidir ısı transferi için daha büyük bir itici kuvvet sağlaması nedeniyle, güçteki artışla kurutma artar. Buna ek olarak nem içeriği, denge nem içeriğine yaklaştığında kurutma oranlarının çok düşüktür ve bu veriler birbirleri ile örtüşürler.



Şekil 5.7. Arıtma çamurunun Mikrodalga kurutma özelliği

Etkin difüzyon katsayıları denklem 5.4'deki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar $1,09427\text{E-}07$ ile $4,05285\text{E-}11$ arasında olduğu görülmüştür. Tablo 5.4'de sunulmuştur.

Tablo 5.4. Efektif Difüzyon Katsayıları

KURUTMA TEKNİĞİ	EFEKTİF YAYILIM
Mikrodalga (336 W)	9,72683E-08
Mikrodalga (462 W)	1,09427E-07
Mikrodalga (595 W)	1,33744E-07
Fırın (105 C)	2,02642E-09
Güneşte Kurutma	4,05285E-11

Tablo 5.4'den de anlaşılabacağı gibi en etkili difüzyon katsayısı değeri mikro dalga (462 W) sağlamıştır. En kötü katsayısı değeri ise açık alanda güneş radyasyonundan yararlanarak kurutulan numunelerdedir.

BÖLÜM 6. TARTIŞMALAR ve ÖNERİLER

Son yıllarda artan arıtma tesisleri, arıtma çamuru bertaraf maliyetlerini de gündeme getirmektedir. Ülkemizde artan mekanik ve biyolojik atıksu arıtma tesisleri çamur gibi önemli bir sorunu da beraberinde getirmektedir. Çamur bertarafında yöntem seçiminde nihai bertaraf metodu önem taşımaktadır. Bu süreçte çamur nihai bertarafına yönelik ulusal kararların alınması zorunlu görünmektedir.

Sürdürülebilir çevre anlayışı gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre yatırımlarında kullanılması bertarafı için diğer dikkat çekici noktadır. Ülkemizde son yıllarda artan arıtma çamurlarıyla birlikte arıtma çamurlarının bertaraf maliyetleri de artmaktadır. Arıtma çamurlarının bertaraf edilmesinde kullanılan yöntem ve işlemlerinde yüksek enerji maliyetinin, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla azaltılması ülke ekonomisine yeni bir katkı yapacağı şüphesizdir.

Atıksu arıtma tesisi çamurlarının gelişen uluslararası standartlar çerçevesinde yeniden değerlendirilmesi, ülkemiz içinde güncel bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjisi kullanılarak arıtma çamurunun kurutulması ile doğrudan veya yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Ayrıca arıtma çamurunu kurutma;

1. Kurutma maliyeti çok düşürülebilir,
2. Kurutma sırasında dış ortamın etkileri belirlenebilir,
3. Kurutulan çamur taşınmada kolaylık sağlayabilir, depolanabilir ve farklı amaçlarla kullanılabilir ürün elde edilebilir,
4. Çamur şartlandırmada kullanılan kimyasal miktarının azaltılabilir, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir

Düşey tip fırınlarda enerji kaynağı olarak tek başına yada diğer yakıtlarla birlikte değerlendirilmesi olasıdır. Taşıma sorunlarının olmayacağı bölgelerde termik santrallerde kömürle birlikte yakıt olarak kullanımı düşünülebilir. Çimento sanayisi için enerji elde edebilmek için kullanılabilir.

Güneş enerjisini daha verimli kullanabilmek için güneş izleme sistemi yapılarak kurutma işleminde bulunduğu ortamın sıcaklığını artırarak kuruma verimi yükseltilebilir.

Bu tip bir çalışmada meteorolojik şartlara bağımlı olmak veri toplamayı zorlaştırmaktadır. Bu yüzden yapılacak çalışmaların sürecinin iyi tayin edilmesi önemlidir. Çalışmada ana unsur olarak arıtma çamur nem içeriği ve güneş radyasyonu arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Arıtma çamuru örneklerinin farklı kurutma teknikleriyle (mikrodalga fırın, laboratuvar fırını ve açık güneş altında) kurutma davranışı incelendiğinde mikrodalga kurutmasının kuruma süresi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde azdır. Numunelerin bünyesinden buharlaşan su kütlelerinin %60 civarında olduğu anda Mikrodalga kurutma (336 W) enerji tüketimi 0,11 kWh ve diğer kurutma yöntemlerinde bu değerin çok üzerindedir. Kurutma verimi değerleri göz önüne alındığında en yüksek verim %33 ile mikrodalga fırında gerçekleşmiştir. Diğer kurutma teknikleri ile karşılaştırıldığında mikrodalgada kurutma enerji tüketimi açısından en az enerji tüketen kurutma yöntemidir.

KAYNAKLAR

- [1] Utlu ,Z. 2023’e enerji köprüsü. Stratejik Araştırmalar Dergisi, 4, 167-188, 2004.
- [2] Winkler, M. Sewage sludge treatments. Chemistry and Industry, 7, 237-240, 1993.
- [3] http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16170_ En Son Erişim Tarihi: 30.12.2015
- [4] Aksu, T. Isparta belediyesi atık su arıtma tesisinde oluşan çamurun bertaraf stratejilerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [5] Halisdemir , B. Aktif çamur ve portakal posasının biyogaz üretim verimier ve bazı ön işlemlerin biyogaz üretim verimine etkilerinin araştırılması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009.
- [6] Themelis, N., Kim, Y., Brady, M. Energy recovery from new york city solid wastes. Waste Management and Research, 20, 223-233, 2002.
- [7] Alam, M., Bole, B. Energy recovery form municipal solid waste in dhaka city. Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering, 125-130, 2001.
- [8] Atımtay, T., A., Topal, H., Co-combustion of olive cake with lignite coal in a circulating fluidized bed. *Fuel*, Volume 83, Issues 7–8, 859-867 . Waste Management, 8, 23, 689-701, 2003.
- [9] Frey,H. H., Peters, B., Hunsinger, H. Verhlow, J. Characterization of municipal solid waste combustion in a grate furnace.Waste Management, 8, 23, 689-701, 2003.
- [10] Haas, J., Weber, R. Co-firing of refuse derived fuels with coals in cement kilns: combustion conditions for stable sintering. Journal of the Energy Institute,83(8), 225–234, 2010.
- [11] Stehlík, P., Contribution to advances in waste-to-energy technologies. Journal of Cleaner Production, 10(10), 919-931, 2009.

- [12] Varbanov, P., Friedler, F. P-graph methodology for cost-effective reduction of carbon emissions involving fuel cell combined cycles, *Applied Thermal Engineering*, 28, 2020–2029, 2008.
- [13] Weber R., Kupka, T. Zajac, K. Jet flames of a refuse derived. *Combustion and Flame*, 156(4), 922–927, 2009.
- [14] Erdallı, Y., Uzun, D. Türkiye’deki tarım atıklarının ve tatlı sorgumun enerji eldesi amacıyla değerlendirilmesi, *tesisat dergisi doğalgaz özel sayısı*, 38, 27-30, 1997
- [15] Karaca, C. Çukurova bölgesindeki tarıma dayalı sanayi atıklarının enerjiye dönüşüm olanaklarının incelenmesi. Çukurova Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009.
- [16] Yaman, M. Tarımsal atıkların briketlenmesi, Yüksek Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Lisans Tezi, 2005.
- [17] Gil; M.V., Oulego P., Casal; M.D., Pevida; C., Pis; J. J., Rubiera, F. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. *Bioresource Technology*, 101(22), 8859–8867, 2010.
- [18] Ayvaz, Z. Atık su arıtma çamurlarının değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 2000.
- [19] Toraman, Ö., Topal, H. Bayat, O., Atımtay, A. emission characteristics of co-combustion of sewage sludge with olive cake and lignite coal in a circulating fluidized bed. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 4(A39), 973–986, 2004.
- [20] Pehlivan, E., Portakal ve fındık kabuğunun sıvı yakıtı dönüşüm koşullarının araştırılması, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, Doktora Tezi, 2005.
- [21] Prasertsan S. and Saen-Saby P., Heat pump drying of agricultural materials, *Drying Technology*, 16, 235- 250, (1998b).
- [22] Husain, Z., Zainac, Z., Abdullah, Z. Briquetting of palm fibre and shell from the processing of palm nuts to palm oil. *Biomass and Bioenergy*, 22, 505-529, 2002.
- [23] Plíštl, D., Brožek, M., Malat’ák, J., Roy, A. Hutla, P. Mechanical characteristics of standard fuel briquettes on biomass basis. *Res. Agr. Eng.*, 51, 66-72, 2005.

- [24] Mathioudakis, V L; Kapagiannidis, A G; Athanasoulia, E; Diamantis, V I; Melidis, P; Aivasidis, A. Extended dewatering of sewage sludge in solar drying plants. *Desalination*, 248, 733–739, 2009.
- [25] Romeela, M. Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius, *Resources. Conservation and Recycling*, 36, 33-43, 2002.
- [26] Stasta, P., Boran, J., Bebar; L., Stehlík; P., Oral; J. Thermal processing of sewage sludge. *Applied Thermal Engineering*, 26, 1420-1426, 2006.
- [27] Acma Hanzade, Combustion characteristics of different biomass materials. *Energy Conversion and Management* , 44, 155–162, 2003
- [28] Vaxelaire, J., Cézac, P. Moisture distribution in activated sludges. *Water Research*, 38, 2215–2230, 2004.
- [29] Hill, M., Bux, M. Comparing the Carbon Footprint of Conventional Gas-Fired Thermal Sludge Drying to Solar Sludge Drying to Solar sludge Drying. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 11, 220-230, 2010
- [30] Koç, E. ve Kaplan, E. Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu ve dünya değerlendirmesi. *Termodinamik Dergisi*, 187, 70-80, 2008.
- [31] Koç, E. ve Kaplan, E. Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu ve dünya değerlendirmesi. *Termodinamik Dergisi*, 188, 106-118, 2008.
- [32] BP Statistical Review of World Energy. british petrol, london, 2015.
- [33] Ham petrol ve doğal gaz sektör raporu. Türkiye petrolleri, Ankara, 2015.
- [34] Kömür Çalışma Grubu Raporu. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, Aralık 2007.
- [35] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>. En Son Erişim Tarihi: 30.12.2015
- [36] 2013 Yılı Ham petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu. TPOA, Ankara, 2013.
- [37] E. P. D. K. Raporu. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, EPDK, Ankara, 2013.
- [38] Akyıldız O. XXI. Yüzyılın değişen dinamikleri ve AB’nin enerji politikaları kapsamında türkiye’nin bağımsız enerji politikası. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, yüksek lisans tezi, 2010.
- [39] Ürker, O. ve Çobanoğlu, N. Türkiye’de hidroelektrik santraller’in durumu (HES’LER) ve çevre politikaları bağlamında değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 65-88, 2012.

- [40] Türkiye'nin Enerji Görünümü. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara, 2012.
- [41] Angın, D. Aspir tohumu pres kuspesinin pirolizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 7-140, 2005.
- [42] Ayvaz, Z. Atık su arıtma çamurlarının değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 35(9),3-12, 2000.
- [43] Goncalolu, B., Ertürk F. Erdal, A. Termik santrallerle nükleer santrallerin çevresel etki değerlendirmesi açısından karşılaştırılması. Ekoloji Çevre Dergisi, 34, 9-14, 2000.
- [44] Kultur, O. F. Enerji ve Çevre İlişkisi. Mimar ve Mühendis Dergisi, 33, 2004.
- [45] Koç, E., Şenel M. Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu - genel değerlendirme. Mühendis ve Makina, 639(54), 32-44., 2013.
- [46] Küçükhemek, M., Gür, K., Uyanöz, R., Çetin, Ü. Arıtma çamuru ve çiftlik gübresinin çim bitkisi verimine ve renk özelliğine etkisi. I. Ulusal Arıtma Çamuru Sempozyumu, İzmir, 2005.
- [47] Filibeli, A. Arıtma çamurlarının işlenmesi. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, 255, İzmir, 2002.
- [48] Krogmann, U., Boyles, L. Martel, C., McComas, A. Biosolid and sludge management. Water Env.Res, 69(4), 534-549, 1997.
- [49] Emir, Ü. E. The role of dewaterability measures on the liquid –solid separation of biological sludges: compactibility as a new measure of sludge dewaterability. Boğaziçi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
- [50] Mikkelsen, L. Keiding, K. Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludges with implications to dewatering. Water Research, 36, 2451-2462, 2002.
- [51] <http://www.sakarya-saski.gov.tr/Sayfalar/Tesisler/Atiksu-TesisKaraman.aspx>. Enson Erişim Tarihi: 15.12.2015
- [52] FAO Tarımsal Üretim İstatistikleri, www.fao.org. Enson Erişim Tarihi: 15.12.2015
- [53] Sakarya Meteoroloji Servisi, 2012
- [54] Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. Sakarya İl Çevre Raporu, Sakarya, 2012.

- [55] Akpinar, E., Midilli, A., Bicer Y. Single layer drying behavior of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modelling. *Energy Conversion Management*, 4, 1689–1705, 2003.
- [56] Crank, J. *The Mathematics of diffusion*. Oxford University Press, Oxford, New York, A.B.D. 1975, 1975.
- [57] Doymaz, I. Thin-layer drying behavior of mint leaves. *Food Eng.*, 74, 370–375, 2006.
- [58] Darvishi Hosain, *Energy Consumption and Mathematical Modeling of Microwave Drying Of Potato Slices*. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 2012, 14(1), 94–102
- [58] Cengel, Y. A., Boles, M., *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 4th ed., New York: McGraw-Hill, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Hakan ZORLU, 07.12.1982’de Kocaeli’nde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı.1999 yılında Ali Dilmen Lisesi’nden mezun oldu. 2000 yılında başladığı Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2006 yılında tamamladı. 2007 yılından 2010 yılına kadar TVK tersanecinde Boru donatım sorumlusu olarak yöneticilik yaptı. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalından enerji bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı 2010 yılında Düzgit Tersanesinde Donatım Mühendisi olarak görev yaptı. 2011 yılında Sakarya il Afet Acil Durum Müdürlüğü’nde mühendis olarak göreve başladı halen Sakarya il Afet ve Acil Durum Müdürlüğü’nde çalışmaktadır.