

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

**ARITMA ÇAMURLARININ
KARAKTERİZASYONU VE BRİKET
KÖMÜR İMALATINDA KULLANIMI**

**Nilüfer ÖMÜRLÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE
2010**

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

**ARITMA ÇAMURLARININ
KARAKTERİZASYONU VE BRİKET
KÖMÜR İMALATINDA KULLANIMI**

**Nilüfer ÖMÜRLÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Güleda ENGİN**

**GEBZE
2010**

 GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS/DOKTORA JÜRİ ONAY FORMU
---	--

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
 tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri
 tarafından/...../..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan
'ın tez çalışması
Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul
 edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Güleda ENGİN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. M. Salim ÖNCEL

ÜYE : Prof.Dr.Tülay ESİN

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
 tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: ARITMA ÇAMURLARININ KARAKTERİZASYONU VE BRIKET KÖMÜR İMALATINDA KULLANIMI

YAZAR ADI: NİLÜFER ÖMÜRLÜ

Arıtma tesislerinin artmasıyla birlikte her geçen gün miktarları artan arıtma çamurlarının bertarafı, işletmeler açısından her zaman bir problem olarak görülmektedir. Oysa fiziksel ve kimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ortaya konmuş olduğunda, arıtma çamurlarının yeniden kullanımı ve geri kazanımının ciddi bir ekonomik girdi olabileceği akla gelmektedir. Sonuç olarak, her yıl milyon tonlar seviyesinde ortaya çıkan arıtma çamurları yüksek maliyetlerle inşa edilen düzenli deponi alanlarına gömülerek bu tesislerin daha çabuk dolmasına, faydalı ömürlerinin kısılmasına, yine yakma tesislerinde yakılarak büyük bir ekonomik kayba sebep olmaktadır. Yapılması gereken en önemli hareket, arıtma çamurlarının fiziksel ve kimyasal karakterizasyonlarını belirleyip, uygun olan yeniden kullanım ve geri kazanım olanaklarına yönlendirmektir.

Ancak miktarları artan arıtma çamurlarını uzaklaştırmak veya bertaraf etmek üzere harcanan meblağlar, işletmeler açısından büyük bir sorun olarak görülmektedir. Bu çalışmada, bu maliyeti ortadan kaldırmak amacıyla arıtma çamurlarının değerlendirilerek briket kömür üretiminde kullanımı hedeflenmiştir. Bu amaçla, bir gıda endüstrisinden alınan organik kökenli arıtma çamuruna, belirlenen oranlarda bitüm ve ithal toz kömür ilave edilerek, karışım belli sıcaklık ve basınç altında presleme sonucu briket kömür üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylece hem bertaraf edilmek istenen arıtma çamurları değerlendirilmiş hem de yakıt olarak kullanılabilecek bir ürün ortaya konmuştur.

Çalışma sonunda elde edilen briket kömürleri gerekli dayanım testlerine ve ısı değer tayinlerine tabi tutulmuş, elde edilen sonuçlar briket kömür üretiminde bağlayıcı madde olarak arıtma çamurlarının kullanımının mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Böylece, Dünyadaki yeniden kullanım ve geri kazanım yöntemlerine örnek teşkil edecek bir çalışma ortaya konmuştur.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konunun anlam ve önemi, çalışmanın amaç ve kapsamı hakkında kısaca bilgi verilmektedir. İkinci bölümde arıtma çamurları, bertaraf yöntemleri ve arıtma çamurlarının yeniden kullanımı üzerinde durulmaktadır. Üçüncü bölümde briket kömürleri hakkında kısaca bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde çalışmayla ilgili deneysel metodlar açıklanmaktadır. Bu kapsamda, arıtma çamurlarının karakterizasyon metodları, briket kömür üretim metodu ve üretilen briket kömürler üzerinde gerçekleştirilen deneyler açıklanarak uygulanmaktadır. Beşinci bölümde deneysel sonuçlar açıklanmaktadır. Altıncı bölümde ise sonuçların kısa bir değerlendirmesi ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara ışık tutulabilmesi amacıyla öneriler yer almaktadır.

SUMMARY

TITLE OF THESIS: THE CHARACTERIZATION AND USE OF WASTE SLUDGES IN BRIQUETTE COAL PRODUCTION

NAME OF AUTHOR: NİLÜFER ÖMÜRLÜ

Increasing amounts of waste sludge disposal with increasing treatment plants are always seen as a problem from the point of production industry. However, when the physical and chemical properties of waste sludges are determined in detail, it is clear that the re-use and recovery of sewage sludge could be a serious economic input. As a result, millions of tons of produced waste sludge per year, are stored in landfill areas causing a great economic loss due to faster embankment and shorter life-span of landfills. Likewise, incineration also causes economic loss. The most important action should be to determine the physical and chemical sludge characterizations and direct the producers towards appropriate re-use and recycling opportunities.

However, the cost for the removal or final disposal of increasing amounts of waste sludge is seen as a major problem. In this study, the main aim was to use waste sludge for the production of briquette coal in order to eliminate these costs. For this purpose, bitumen and charcoal powder, in known proportions, were added into waste sludge with organic origin taken from the treatment plant of a food industry and the resulting mixture was pressed to produce briquette coal samples under certain temperature and pressure. Thus, a product which can be evaluated as a solid fuel was produced using waste sludge.

The briquette coal samples produced in this study was tested with necessary endurance and fuel analyses. The results obtained indicated that waste sludge can be used as a binder for the production of briquette coal. Therefore, it can be concluded that this study presents an example for reuse and recycling methods applied worldwide.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında ilgi, destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Güleda ENGİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve görüşleriyle yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Salim ÖNCEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında her türlü yardım ve desteklerini benden esirgemeyen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım sırasında desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tezde, kaynak olarak kullandığımız bilim adına yapılmış çalışmalarda katkısı ve emeği olan kişilere de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	1
SUMMARY	3
TEŞEKKÜR	4
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	5
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	7
ŞEKİLLER DİZİNİ	8
ÇİZELGELER LİSTESİ	9
 1. GİRİŞ	 10
1.1. Konunun Anlam ve Önemi	10
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	11
 2. ARITMA ÇAMURU	 12
2.1. Tanım	12
2.2. Çamur Kaynakları ve Özellikleri	13
2.2.1. Çamur Kaynakları	13
2.2.2. Çamur Özellikleri	14
2.2.3. Çamurun Genel Bileşimi	15
2.3. Çamur Bertaraf Yöntemleri	15
2.3.1. Birincil İşlemler	16
2.3.2. Yoğunlaştırma	17
2.3.3. Stabilizasyon	17
2.3.4. Şartlandırma	19
2.3.5. Dezenfeksiyon	20
2.3.6. Susuzlaştırma ve Kurutma	20
2.3.7. Nihai Bertaraf	22
2.4. Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi	24
2.4.1. Arıtma Çamurlarının Zirai Amaçlı Kullanımı	24
2.4.2. Arıtma Çamurlarının Islah Amaçlı Kullanımı	26
2.4.3. Arıtma Çamurlarının Kömürlü Santralde Kömürle Yakılması	26
2.4.4. Arıtma Çamurundan Çeşitli Yöntemlerle Gaz Eldesi	27
2.4.5. Arıtma Çamuru Küllerinin Çimento Üretiminde Kullanılması	28
2.4.6. Alternatif Teknolojiler	28
2.5. Bertaraf Yöntemlerinin Karşılaştırılması	29
2.5.1. Asya’da Durum	29
2.5.2. Avrupa’da Durum	30
2.5.3. Amerika’da Durum	31
2.5.4. Ülkemizde Durum	31
2.6. İlgili Yönetmelikler	32

3.	BİRİKET KÖMÜRLERİ	33
3.1.	Tanım	33
3.2.	Günümüze Kadar Uygulanmış Bazı Briket Kömür Örnekleri	33
4.	DENEYSEL METODLAR	35
4.1.	Arıtma Çamuru Karakterizasyon Çalışmaları	35
4.1.1.	Nem İçeriği Tayini	35
4.1.2.	Organik Madde İçeriği Tayini (Yanma Kaybı)	36
4.1.3.	pH Değeri Tayini	36
4.1.4.	Sülfat Tayini	36
4.1.5.	Klorür Tayini	36
4.2.	Arıtma Çamuru, Toz Kömür ve Bağlayıcı Madde Kullanarak Briket Kömür Üretimi	37
4.3.	Üretilen Briket Kömürler Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler	40
4.3.1.	Düşme Sağlamlığı Tayini (Shatter Testi)	41
4.3.2.	Kırılma Sağlamlığı Tayini	41
4.3.3.	Suya Dayanım Tayini	42
5.	DENEYSEL SONUÇLAR	43
5.1.	Arıtma Çamuru Karakterizasyon Sonuçları	43
5.2.	Elde Edilen Briket Kömür Örnekleri	44
5.3.	Elde Edilen Briket Kömürlerinin Dayanım Sonuçları	45
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	51
	KAYNAKLAR	53
	ÖZGEÇMİŞ	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
GYTE	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
EPA	ABD Çevre Koruma Örgütü
pH	Çalışmada Kullanılan Kalıp Pres
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
TKKY	Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
YK	Yanma Kaybı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UV	Ultraviyole
TÜBİTAK MAM	Türkiye Bilimsel Araştırma ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Avrupa ülkelerinde çamur değerlendirme alanları.	30
4.1	Çalışmada kullanılan kömür örneğinin eleklerden geçirilmesi.	37
4.2	Çalışmada kullanılan arıtma çamuru numunesi.	38
4.3	Çalışmada kullanılan kalıp pres.	38
4.4	(a) Kömür, bitüm ve atık çamur karışımının hazırlanışı, (b) Karışımın kalıp presten çıkmış hali.	39
4.5	Shatter testi deney düzeneği.	41
4.6	Yastık ve yumurta şekilli briketlerin kırma deneyinde konumu.	41
5.1	Üretilen briket kömürü örnekleri.	45
5.2	Kırılma sağlamlığı ve suya dayanım tayini sonuç değerlendirmesi.	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Arıtma çamurlarının kompozisyonu.	12
2.2. Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları.	13
2.3. Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur özellikleri.	14
2.4. Ham ve çürütülmüş çamur özellikleri ve kimyasal bileşimi.	15
2.5. Atık çamurun besleyici seviyeleri.	25
2.6. Ticari gübre ve çamurdaki besi maddesi seviyelerinin kıyaslanması.	25
2.7. 1997’de Japonya’da uzaklaştırılan ve kullanılan çamur miktarı.	29
2.8. 1990’da Avrupa birliğinde kullanılan ve deşarj edilen çamur miktarı.	30
4.1. Deneylerde kullanılan kömürün kısa analizi ve kalorifik değerleri.	37
4.2. Standart kömür briketlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.	40
4.3. Sanayi amaçlı kullanılacak kömürde aranan özellikler.	40
5.1. Çalışmada kullanılan arıtma çamurunun analiz sonuçları.	43
5.2. Üretilen briket kömürlere ait yüzde karışım oranları.	44
5.3. Üretilen briket kömürler üzerine uygulanan deney sonuçları.	46
5.4. Mekanik dayanım testlerinden başarıyla geçen briket kömürüne, TÜBİTAK MAM’da uygulanan analiz sonuçları.	50

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Anlam ve Önemi

Bilindiği gibi atıksu arıtma tesisleri, atıksu içinde bulunan kirliliği oluşturan askıda veya çözünmüş haldeki kirletici maddelerin çeşitli yöntemlerle konsantre hale getirildiği ve ortamdan ayrıldığı prosesler zincirine verilen addır. Uzaklaştırmak amacıyla konsantre hale getirilen katı maddelerin oluşturduğu çamura “arıtma çamurları” denmektedir. Arıtma çamurları, atıksu arıtımından kalan ve birçok kirleticiyi içeren, atıksu arıtımının kaçınılmaz bir son ürünüdür. Arıtma çamurlarının özellikleri, arıtmanın tipine ve amacına göre değişmektedir. Genel olarak çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları, kimyasal koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar ve biyolojik arıtım sonrası oluşan biyolojik çamurlar olmak üzere üçe ayrılabilir.

Arıtma çamuru miktarı; o bölgenin nüfus artışı, endüstrileşmenin ve atıksu arıtma tesislerinin yaygınlaşmasıyla birlikte giderek artmaktadır. Arıtma çamuru miktarının ve kimyasal madde çeşitliliğinin artması sonucu çamurların bertarafı büyük bir sorun haline gelmiştir. Arıtma çamurları mutlaka teknik olarak kontrol edilmeli ve ekosisteme zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmelidir. Ayrıca çeşitli teknikler ve teknolojilerden de bu amaç için yararlanılmalıdır.

Arıtma tesislerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının, aerobik veya anaerobik olarak parçalanması, mekanik kurutulması ve yakılması gibi yöntemlerle bertaraf edilmesinin maliyeti arıtma tesisi için yapılan toplam yatırımın yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır (Öbek ve ark., 2004). Çevresel açıdan bakıldığında arıtma çamurlarının nihai bertarafında potansiyel toksik ve organik kirliliğinin olmaması gerekmektedir. Çamurun nihai bertaraf yöntemleri için giderek ağırlaşan yasal şartlar ve sınırlamalar da göz önüne alınırsa bu konu ile ilgili çalışmaların arttırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Arıtım maliyetlerine büyük bir yük getirdiği için bu çamurların geri kazanılması günümüzde daha büyük bir önem kazanmaktadır (Öncel ve ark., 2007).

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışma Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans tez çalışması olarak hazırlanmıştır. Çalışmanın amacı, bertaraf edilmek istenen arıtma çamurlarını değerlendirerek briket kömürü üretmek ve yakıt elde etmektir. Çalışmada, arıtma çamurlarını değerlendirmek amacıyla bir gıda fabrikasından alınan organik kökenli arıtma çamuruna, toz kömür ve bitüm karıştırılarak briket kömürü üretilmiştir.

Gıda sanayinden alınan organik kökenli arıtma çamur örneğinin GYTE Çevre Mühendisliği Bölümü araştırma laboratuvarında öncelikle fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak çamur tanımı yapılmıştır. Daha sonra bu arıtma çamuru kullanılarak, farklı yüzdelerde kömür ve bitüm ilavesiyle briket kömürleri oluşturulmuştur. Bu briket kömürlerinin üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştirerek mekanik dayanım tayinleri yapılmıştır. Son olarak üretilen briket kömürleri, Tübitak Araştırma Merkezi'ne gönderilerek ısı değeri analizleri yaptırılmıştır. Tüm bu analizler sonucunda, üretilen briket kömürlerin ticari yakıt olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Bilindiği gibi enerji krizi, günümüzün ana problemlerinden biridir. Dünyanın birçok yerinde yenilenebilir enerji kaynaklarına dair araştırmalar yapılmakta ve uygulanmaktadır. Enerjiye dönüştürülebilen atıklar arasında arıtma çamurları da mevcuttur (Ayvaz, 2000). Bu çalışma kapsamında arıtma çamurları değerlendirilerek kullanılabilir yeni bir malzemenin ortaya konulabilirliğinin ön araştırmaları yapılmıştır.

2. ARITMA ÇAMURLARI

2.1 Tanım

Atıksu arıtma işlemleri sırasında kendiliğinden çökebilen katı maddeler ile biyolojik ve kimyasal işlemler sonucunda oluşan, suyu alınmış, belli oranda kurutulmuş katıya “arıtma çamuru” denmektedir. Arıtma çamurları, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25–12 katı madde içeren, kokulu bir çeşit katı atıktır (Filibeli, 2002). Arıtma çamurlarının bileşimleri atık suyun kaynağına göre büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Çizelge 2.1’de arıtma çamurlarının genel bileşimi verilmiştir. Arıtma çamurlarının önemli bir kısmı su olduğu için kapladıkları hacim fazladır, bu sebeple işlenmesi ve bertarafı büyük bir problemdir. Ayrıca atıksu içindeki koku veren maddeler de arıtma çamurlarında problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple arıtma çamurları mutlaka teknik olarak kontrol edilmeli ve uygun teknolojilerden yararlanılarak ekosisteme zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmelidir.

Çizelge 2.1. Arıtma çamurlarının kompozisyonu (Yokoyama et al., 1987).

Özellik	Tipik Değer
Kalorifik değer	21,3 MJ/kg (kuru, külsüz)
Kül miktarı	% 37
Yanabilen kısmın kompozisyonu	
Karbon	% 53
Hidrojen	% 7,7
Oksijen	% 33,5
Azot	% 5
Sülfür	% 0,8
Organik kompozisyon	
Protein	% 30
Yağ	% 13
Lif	% 33
Lifsiz karbonhidrat	% 24

2.2 Çamur Kaynakları ve Özellikleri

2.2.1 Çamur Kaynakları

Çamur arıtma sistemleri, çamur kaynağı, prosesin tipi ve işletme metoduna göre değişiklik gösterir. Yoğunlaştırma, çürütme, şartlandırma ve susuzlaştırma için kullanılan prosesler çamur kaynağıdır (Öztürk ve ark., 2005). Çamur, birincil, ikincil ve ileri atıksu arıtma sistemlerinde üretilir. Birincil çamur, ham atıksuyun taşıdığı çökebilir katılardan; ikincil çamur, biyolojik ve çökebilir katılardan; ileri arıtım sistemi çamuru ise biyolojik ve kimyasal çamurdan oluşmaktadır. Çamur ve katı atıkların esas kaynakları Çizelge 2.2’de verilmiştir (Metcalf and Eddy, 1991).

Çizelge 2.2. Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları

Proses	Çamur-Katı Atık	Notlar
Elek	Kaba katı atık	Kaba katılar mekanik olarak veya çubuk ızgaralardan elle toplanarak atılır.
Kum tutucu	Kum ve köpük	Köpük giderme, işlemi kum tutucularda kum ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön havalandırma	Kum ve köpük	Bazı sistemlerde ön havalandırma tankında köpük giderici yoktur, kum tutucunun bulunmaması tankta kum birikimine sebep olabilir.
Birincil (ön) çöktürme	Birincil çamur ve köpük	Çamur ve köpük miktarı toplama sistemine ve giren atıksuyun özelliklerine göre değişir.
Biyolojik arıtma	Askıda katı maddeler	Askıda katı madde biyolojik arıtma sonucu oluşur. Arıtma sisteminde oluşan fazla çamuru yoğunlaştırmak gerekebilir.
İkincil (son) çöktürme	Biyolojik çamur ve köpük	ABD EPA’ya göre köpük tutucu şart koşulmuştur.
Çamur işleme birimleri	Çamur, kompost ve kül	Son ürünün özelliği, kullanılan proses ve işletme ile çamur özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki yasal düzenlemeler giderek ağırlaşmaktadır.

2.2.2 Çamur Özellikleri

Çamur arıtımı ve son uzaklaştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, çamur içeriğini bilmek çok önemlidir. Bu aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile de yakından ilgilidir. Arıtma çamurların bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.3’de verilmektedir (Metcalf and Eddy, 1991).

Çizelge 2.3. Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur özellikleri.

Çamur	Tanımlama
Birincil Çamur	Birincil (ön) çöktürmeden çıkan çamur gri ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir.
Kimyasal Çöktürme Çamuru	Metal tuzları ile yapılan çöktürmeden çıkan çamur koyu renkli, demir içeriği yüksek kırmızı renklidir. Kokusu birincil çamur kadar yoğun değildir. Çamurdaki demir veya alum hidratları, çamuru jelatinimsi yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş bir çürümeye uğrar. Önemli miktarda gaz çıkışı olur ve tankta uzun süreli kalırsa çamur yoğunluğu artar.
Aktif (Biyolojik) Çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir. Renk açık ise az havalandırma sonucu çökme özelliği kötü çamurdur. İyi şartlardaki çamur toprak kokusundadır. Çamur kolaylıkla septikleşmeye meyillidir, çürük yumurta kokusu yayabilir. Yalnız veya birincil çamurla karışmış aktif çamur kolayca çürüyebilir.
Damlatmalı Fitre Çamuru	Kahverengimsi, floklu ve taze olduğunda nispeten kokusuzdur. Aktif çamura göre daha yavaş parçalanmaya uğrar ancak kolay çürütülebilir.
Aerobik Çürütülmüş Çamur	Kahve ve koyu kahve renklidir. Floküler özelliklidir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.
Anaerobik Çürütülmüş Çamur	Koyu kahve-siyah renkli olup, çok miktarda gaz içerir. Tam çürütüldüğünde, kötü kokmaz, kokusu hafif, sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir. Çamur ince tabak şeklinde, kurutma yatağına yayıldığında, katılar yüzeyde tutulur, su hızlı şekilde drene olur ve katılar yatak üzerinde yavaşça çökerler. Çamur kurudukça, gaz çıkar, zengin bahçe toprağı özelliklerindedir.
Kompost Ürünü	Koyu kahve-siyah renklidir. Ancak kompostlaştırmada kullanılan odun kırıntıları ve geri döndürülen kompost dolayısıyla renk değişebilir. İyi kompostlaştırılmış çamur kokusuz olup, ticari değerde bahçe toprağı şartlandırıcısı olarak kullanılabilir.
Septik tank Çamuru	Siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gazlardan dolayı kötü koyu yayar. Bu durumdaki çamurun kurutulmasında ciddi koku problem ile karşılaşılır.

2.3 Çamurun Genel Bileşimi

Aritma çamurlarının son uzaklaştırma yönteminin belirlenmesinde çamurun fiziksel ve kimyasal bileşiminin bilinmesi çok önemlidir. Havasız çürütme sisteminin kontrolünde pH, alkalinite ve organik asit içeriğinin ölçülmesi de önemlidir. Yakma ve arazide bertaraf metodunun uygulanması durumunda çamurdaki ağır metal, pestisit ve hidrokarbonlar ölçülmelidir. Yakma gibi termal proses kullanılacağında çamurun enerji içeriği de hesaplanmalıdır (Metcalf and Eddy, 1991).

Çizelge 2.4. Ham ve çürütülmüş çamur özellikleri ve kimyasal bileşimi (Metcalf and Eddy, 1991).

	Ham Birincil Çamur		Çürütülmüş Birincil Çamur		Aktif Çamur Sistemi Çamuru
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık
Toplam katı madde (TS), %	2–8	5	6–12	10	0,83–1,16
Uçucu katı (TS'nin %'si)	60–80	65	30–60	40	59–88
pH	5–8	6	6,5–7,5	7	6,5–8
Enerji içeriği, kJ TS/kg	23000–29000	25000	9000–14000	12000	19000–23000

2.4 Çamur Bertaraf Yöntemleri

Yeni kurulan endüstriler ve gelişen çevre standartları nedeniyle giderek sayıları artan atıksu arıtma tesisleri önemli miktarlarda arıtma çamuru oluşturmaktadır. Arıtma tesislerinden çıkan bu atık çamurlar nihai bertarafa verilmeden önce mutlaka arıtılmalıdır. Arıtma tesisi tasarımı yapılırken çamur sorunu dikkate alınıp en uygun arıtma metodu seçilmelidir. Arıtma çamurunun arıtılması ve depolanması için uygulanacak yöntemler ham atıksuyun karakterizasyonuna, arıtma proseslerine, kullanılan kimyasallara, yönetmeliklere ve diğer pek çok özel koşullara bağlıdır. Özellikle arıtma çamurları tehlikeli atık sınıfına giren tesislerde bu atıkların normal atıklarla karıştırılmadan özel yollarla bertarafı gerekmektedir.

Çamur tasfiyesi, arıtma tesislerindeki en karmaşık işlemlerden biridir. Çamur arıtma ünitelerinin yatırım bedeli toplam sistem maliyetinin %30-40'ı, işletme maliyeti ise bütün işletme maliyetinin %50'si kadardır (Öbek ve ark., 2004). Bu sebeple en uygun çamur tasfiye metodunun seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Çamuru arıtmanın amacı hacmini azaltmak, çamuru stabilize etmek, suyunu gidermek ve patojen organizmaları öldürmektir. Çamur arıtımı için pek çok arıtma metodu vardır (Ünlü ve Tunç, 2007). Bu metotlar şu şekilde sıralanabilir;

- Birincil (Ön) işlemler
- Yoğunlaştırıcı
- Stabilizasyon
- Şartlandırma
- Dezenfeksiyon
- Susuzlaştırma-Kurutma
- Nihai bertaraf

2.4.1 Birincil işlemler

Çamur öğütme, kum ayırma, karıştırma ve depolama kademeleri, çamur işleme ünitesine homojen ve sabit özellikli bir çamur verebilmek için gereklidir.

— Öğütme, tıkanmaları ve ekipmanlara sarılmaları önlemek için, çamurdaki büyük maddeleri kırma-kesme kuvvetiyle küçük parçalar haline getiren bir prosestir.

— Kum ayırma, kum tutucuların yükleri karşılayamadığı durumlarda çamurun işlenmesinden önce kumun ayrılması işlemidir. Birincil çamurun yoğunlaştırılması planlanıyorsa, çamurdan kum ayırma pratik bir çözümdür.

— Çamur karıştırma, çamurun homojen olması, susuzlaştırma, ısıtma ve yakma gibi kısa kalma zamanlı sistemler için çok önemlidir. Çamurda homojen bir karışım elde edilerek daha sonraki işlem ve prosesler için hazırlanır. Uygun özellikli iyi karıştırılmış çamur, sistemin işletme verimliliğini büyük ölçüde artırır.

— Çamur depolama, debi dalgalanmalarını önlemek ve çamur arıtım üniteleri çalışmadığı zamanlarda çamurun biriktirilmesini sağlamak amacıyla yapılır. Çamur depolamasının önemi, kireç stabilizasyonu, ısıt arıtım, mekanik susuzlaştırma, kurutma ve yakma proseslerine sabit besleme hızı sağlamaktır (Öztürk ve ark.,2005).

2.4.2 Yoğunlaştırma

Yoğunlaştırma, çamur karışımındaki sıvının giderilerek katı içeriğinin arttırılması işlemidir. Daha küçük hacimdeki çamurla uğraşmak ve daha ekonomik çürütücü tankı elde etmek için çamur yoğunlaştırma sistemleri kullanılır. Yoğunlaştırmada özellikle ağırlıklı çökeltme iyi sonuçlar vermektedir. Çökeltimin hızlandırılması için kimyasal koagülantlar ilave edilebilir. Yoğunlaştırma sonucunda katı madde konsantrasyonu 25 kat artabilir (Akyarlı ve Şahin, 2005).

2.4.3 Stabilizasyon

Parçalanabilen organik maddelerin kireçleme, yüksek basınç altında ısıtma, havalı ya da havasız çürütme, kompostlama gibi biyolojik, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle giderilmesi işlemidir. Stabilizasyonun amacı, kokuşmanın engellenmesi çamur hacminin ve patojenlerin azaltılmasını sağlamaktır (Akyarlı ve Şahin, 2005). Stabilizasyon yönteminin seçimi, kullanılacak nihai bertaraf işlemine bağlıdır. Eğer çamurun susuzlaştırılması ve sonra yakılması gerekiyorsa, stabilizasyon işlemine gerek yoktur. Çamur arazide kullanılacak ise, patojen giderimi çok önemlidir ve stabilizasyon gereklidir. Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca teknolojiler aşağıda açıklanmıştır.

Kireç stabilizasyonu

Yeterli miktarda kireç ilavesi ile çamurun pH değeri 12,0 ila 12,5 arasında tutulur, böylece çamurun stabil hale getirilmesi ve patojen organizmaların bertarafı sağlanır (Akyarlı ve Şahin, 2005). Yüksek pH'ın oluşturduğu ortam mikroorganizmaların canlı kalmasına uygun olmadığından, ortam pH'ı bu seviyede tutulduğu sürece, çamurda çürüme, kötü koku ve sağlığa zararlı bir durum oluşmaz (Öztürk ve ark, 2005).

Isıl arıtma

Isıl arıtım, kimyasal madde kullanmaya gerek kalmadan çamurun susuzlaştırılmasını sağlar. Çamur, yüksek sıcaklık ve basınç altında kaldığında ısıl aktiviteyle bağlı olduğu sudan ayrılır. Isıl proses daha çok sterilizasyonu ve şartlandırması zor olan biyolojik çamurlara uygulanır (Öztürk ve ark., 2005). Gerekli sıcaklık organik maddeyi tahrip etmeyecek derecede olmalıdır. Bu durumda çıkan ürün gübre veya toprak şartlandırıcısı olarak da kullanılabilir. Bir yandan organik katıların araziye verilmesiyle doğal kaynakların korunumu sağlanırken, diğer yandan çamur hacminin azaltılması, kokusuz ürün eldesi ve patojen organizmaların bertarafı da söz konusudur.

Havalı (Aerobik) Çamur Stabilizasyonu

Havalı çamur stabilizasyonu, arıtma tesisinde elde edilen organik çamurun oksijenli ortamda 10–12 gün süreyle havalandırılarak çürütülmesi işlemidir. Biyolojik olarak ayrışabilir maddeler oksitlenir ve mikrobiyal kütle aerobik organizmalar tarafından parçalanır. Çürütülen çamur kokusuz, biyolojik filtre çamuruna benzer, biyolojik bakımdan dengeli bir son üründür (Akyarlı ve Şahin, 2005).

Havasız (Anaerobik) Çamur Stabilizasyonu

Anaerobik çamur stabilizasyonu, organik çamurun oksijensiz ortamda çürütülmesi işlemidir ve kullanılan en eski proseslerden biridir. Bir seri organizma grubu tarafından yürütülen ve bir biyolojik bozunma işlemi olan anaerobik çürütme süreci üç kademede gerçekleşir. Birinci aşamada karmaşık organik maddeler basit bileşiklere, ikinci aşamada bu bileşikler asit bakterileri tarafından uçucu asitlere, üçüncü aşamada ise uçucu asitler metan bakterileri tarafından metan ve karbondioksit dönüştürülerek biyogaz oluşmaktadır. Oluşan biyogaz, tesisin işletilmesi için gerekli ısı ve elektrik enerjisini sağlamada kullanılmaktadır (Akyarlı ve Şahin, 2005).

Kompostlaştırma

Atık çamurun biyolojik aktivite ile çürütülmesi işlemidir. Kompostlaştırma, çamurun organik madde içeriğinin azaltılması, nutrientlerin kazanımı ve patojenlerin bertarafına yöneliktir. Kompostlanmış çamurun bakteriyolojik kalitesini ve pazarlanmasını etkileyen en önemli unsurlar, zaman, sıcaklık ve oksijen gereksinimidir. Uygun bir kompostlaştırma işlemi sonunda, daha kuru, biyolojik olarak kararlı ve kokusuz bir malzeme elde edilir. Böylece sinek ve koku sorunu oluşturmaksızın açıkta depolanabilir. Ayrıca kompostun satışı ile elde edilen gelir, işletme masraflarının azalmasını sağlayacaktır (Öztürk ve ark., 2005).

2.4.4 Şartlandırma

Çamurun suyunun alınmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir prosestir. Kimyasal şartlandırma ve ısıt arıtım en yaygın yöntemlerdir.

Kimyasal şartlandırma

Kimyasal şartlandırma, atığın özelliğine bağlı olarak, giren çamurda %90-99 su azalması sağlayarak nem içeriğini %65-85'e düşürür. Bu yöntemin esası, şartlandırıcı kimyasallarla katının koagülasyonu ve absorbe olan suyun açığa çıkarılmasıdır. Çamuru daha iyi susuzlaştırmak için şartlandırıcı kimyasalların kullanımı, yüksek verimi ve esnekliği dolayısıyla daha ekonomiktir (Öztürk ve ark., 2005).

Isıl arıtım

Isıl arıtım, kimyasal kullanılmadan çamurun susuzlaştırılmasını sağlar, sürekli bir proses olup 260 °C 'ye kadar 2760 kN/m² basınçta yaklaşık 30 dakika gibi kısa sürede çamurun ısıtılması esasına dayanır. Çamur, yüksek sıcaklık ve basınç altında kaldığında ısıl aktiviteyle bağlı olduğu sudan ayrılır ve koagüle olur. Isıl arıtım hem stabilizasyon hem de şartlandırma prosesi olarak işlev görür (Öztürk ve ark., 2005).

2.4.5 Dezenfeksiyon

Çamurun araziye yayılması ve tekrar kullanımı için yönetmelik kısıtlamalarından dolayı çamur dezenfeksiyonu önem kazanmaya başlamıştır. Aerobik ve anaerobik çürütme, önemli sayıda patojen bakteri azalmasını sağlamakta ancak çamuru tam dezenfekte etmemektedir. Aerobik ve anaerobik çürütmeye tabi tutulmuş ve suyu alınmış çamurların tam dezenfeksiyonu için en uygun yöntemler, kompostlaştırma ve uzun süreli depolamadır (Öztürk ve ark., 2005).

2.4.6 Susuzlaştırma ve Kurutma

Aritma tesisinden çıkan çamurun uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak için suyunun alınması gerekmektedir. Doğal ve mekanik su alma işlemleri, genellikle yoğunlaştırma işlemi sonrasında ve nihai bertaraf öncesinde çamur hacmini azaltmak ve çamurda yüksek katı madde içeriğine ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır.

Çamurun Mekanik Yöntemlerle Kurutulması

Çamur suyunun alınması, vakum, pres, yatay bant filtre, burgulu pres, santrifüj gibi usullerle veya kurutma yatakları ve çamur lagünleriyle sağlanabilir. Bu konuda en yaygın kullanılan ekipmanlar filtre preslerdir. Vakum, pres ve yatay bant filtre gibi sistemler, makine ve teçhizat gerektiren, yetişmiş elemana ihtiyaç gösteren, aynı zamanda yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksek olan sistemlerdir (Filibeli, 2002).

Çamur Kurutma Yatakları

En basit su alma yöntemidir. Yoğunlaştırma, çürütme veya şartlandırma işleminden sonra çamur, kum yataklara serilir ve doğal süzülme ve buharlaşma ile suyunun uzaklaştırılması sağlanır. İstenen katı madde oranı sağlandıktan sonra çamur yataktan sıyrılır ve uygun bir şekilde bertaraf edilir. Drenaj ve buharlaşmayı etkileyen faktörler, iklim koşulları, çamur özellikleri, sistem tasarımı, kimyasal şartlandırma ve çamuru bekletme süresidir. İşçilik maliyeti düşük olup özellikle arazi birim fiyatının az olduğu bölgelerde tercih edilmektedir (Öztürk ve ark., 2005).

Termal Kurutma

Termal metotlar ısı uygulayarak çamurdan suyu uzaklaştırırlar. Termal kurutma, çamurun nem içeriğini mekanik su giderme yöntemleriyle elde edilenin çok altına düşürür. Termal kurutmanın avantajları; düşük taşıma masrafları, patojenlerin azaltılması ve kurutulmuş çamurun daha iyi depolama ve pazarlama imkânları vermesidir. Termal olarak kurutulmuş çamur gübre ya da toprak iyileştiricisi olarak kolayca pazarlanabilmekte ve deponilerde de kabul görmektedir (Ayvaz, 2000).

Kireçle Kurutma

Sönmüş kireç ilavesiyle çamurda oluşan reaksiyon ısısı, çamurdaki suyu buharlaştırarak katı içeriğini artırır ve kuruma gerçekleşir. Böylece atık çamurdan hijyenik ve bakterisiz bir ürün elde edilir. Elde edilen ürün organik içeriğiyle tarımda kullanılabildiği gibi kireç eksikliği olan toprakların iyileştirilmesinde de kullanılabilir (Ayvaz, 2000).

Bitkilerle Kurutma

Bu yöntemde çamur, sazlıkların kök kısımları ile topraklaştırılır. Sazlıklar ekildiği çamur içinde iyice kök salarak gelişirler ve yeni çamur eklenmesiyle birlikte yeni kökler de gelişerek yeraltında yüksek yoğunlukta bir biokütle oluştururlar. Bitki, su gereksinimini çamurdan sağlayarak çamurun su konsantrasyonunu düşürürken bir yandan da kökleri ile çamur tabakasını mekanik olarak zayıflatır. Böylece çamur içine giren oksijen miktarı artarak çamurun yapısı bakteriyel aktiviteye uygun hale gelir ve doğal bir kompostlama oluşur. Bu işlemde elde edilen ürün biyolojik olarak stabildir ve toprak iyileştirici ve gübre olarak kullanılabilir (Ayvaz, 2000).

Güneşle Kurutma

Bu metotta ıslak çamur, ısı kaybını önleyen özel örtülerle kaplı sera şeklindeki alanlarda kurutulur. Buradaki vantilatörlerle optimal hava akım hızı sağlanarak ortam havasının kurutma potansiyeli devreye sokulur. Kurutma için gerekli alan; çamurun özellikleri ve yağış alma, bağıl nem ve sıcaklık gibi koşullara bağlıdır. Diğer metotlara göre daha az maliyetle gerçekleştirilebilen bir metottur (Ayvaz, 2000).

2.4.7 Nihai Bertaraf

Aritma çamurlarının nihai bertarafı için çeşitli alternatifler sunulabilir. Çamur özellikleri ile mevcut ekonomik ve teknik imkanlar göz önünde bulundurularak uygulanan nihai bertaraf yöntemleri de farklılık gösterir. Aritma çamurlarının nihai bertarafı için kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

Düzenli depolama

Düzenli depolama, geri dönüşümü ve değerlendirilmesi mümkün olmayan atıklarla ve yakma tesislerinden çıkan kül, cüruf gibi maddelere uygulanan nihai bertaraf işlemidir. Diğer uzaklaştırma teknolojilerine göre basit ve ucuz olması nedeniyle günümüzde çok kullanılan bir bertaraf yöntemidir. Ancak düzenli depolama alanlarında, en iyi yerleşim ve işletme koşullarında bile toprak kirliliği olması muhtemeldir. Çamurun kontrolsüz olarak ortama deşarjının önemli tehlikeleri bulunmaktadır. Bunların başında çamurda bulunan ve uzun süre canlı kalabilen patojen organizmaların varlığı gelmektedir. Ayrıca yeraltı suyu kirlenmelerini önlemek amacıyla düzenli depolama yapılacak arıtma çamurlarının su içeriği %65 altında tutulmalıdır (Arıkan ve Öztürk, 2005).

Çamur Lagünlerinde depolama

Buradaki çamur lagünleri, ham çamurlar için değil, çürütülmüş çamurlar içindir. Bu lagünler, çamurun bir yere deşarj edilmesinden önce bekletme amacıyla kullanılan depolama lagünleriyle karıştırılmamalıdır. Çamur lagünleri, alt kısımlarında katı maddelerin biriktirilip sıkıştığı, organik maddelerin uzun bir süre sonunda biraz daha bozunmaya uğradığı ve gelen akımla yer değiştiren suyun dışarı atıldığı lagünlerdir. Uygun topografik şartlarda, lagünler doğal çukurlardan oluşturulabilir. Ham çamur lagünlerinde olduğu gibi, bu lagünlerde de kötü koku problemi oluşmaz. Yer seçiminde diğer lagünlerde olduğu gibi, yeraltı suyu kirlenmesine karşı önlemler alınmalıdır. Lagüne dışarıdan yüzey suyunun girmesi de engellenmelidir (Öztürk ve ark., 2005).

Kompostlaştırma

Kompostlaştırma organik atıkların, havalı termofilik çürüme ile olabildiğince stabil çamur benzeri bir humusa dönüştürülmesidir. Bu yöntem ABD’de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise organik evsel katı atıklar için bazı kompost tesisleri bulunmaktadır (Arıkan ve Öztürk, 2005). Bu yöntemle elde edilen ürün, park, bahçe, ıslah edilecek araziler gibi yerlerde gübre olarak kullanılabilir (Akça ve ark., 1998).

Termal yöntemler

Termal yöntemler genelde çamur uzaklaştırma imkanlarının kısıtlı olduğu büyük tesislerde uygulanır. Suyu alınmış çamurun yakılması ile çamurun hacim ve ağırlığı önemli ölçüde azaltılır. Son ürün kokusuz ve inert küldür. Yakma işleminden önce stabilizasyon gereksizdir. Çünkü aerobik veya anaerobik olarak çamurun stabilize edilmesi sonucu organik madde içeriği azalacağından yakma işlemi için gerekli yakıt miktarı artacaktır. Çok gözlü veya akışkan yataklı fırınlarda yakma, piroliz, ıslak hava oksidasyonu ve ani kurutma ile yakma, termal yöntemler olarak sıralanabilir (Filibeli, 2002).

Yakma prosesinde yatırım maliyetleri, diğer arıtma çamuru işleme proseslerindeki maliyetlere göre daha fazladır, ancak büyük ölçekli tesislerde yakma prosesi ekonomik ve teknik olarak avantajlıdır, tesis boyutu büyüdükçe yatırım maliyetleri de dengelenir. Ayrıca yanma olayının yakıt ilavesi yapmadan sadece atık çamurun ısıl değerinden yararlanılarak gerçekleştirilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir. Yanmada açığa çıkan ısı ile elektrik enerjisi üretilmesi, evlerin ısıtılması veya tesiste gereken buharın üretilmesi mümkündür (Ayvaz, 2000).

2.5 Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi

Arıtma çamurlarının bertarafı için kullanılan klasik yöntemler yerine arıtma çamurlarının yeniden değerlendirilmesi için yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Şimdiye kadar geliştirilen değerlendirme teknolojilerinden bazıları çamurların gübre, yakıt, yapı ve yol kaplama malzemesi ve çimento sanayi için hammadde olarak kullanılmalarıdır (Krogmann et al., 1997). Aşağıda kurutulmuş arıtma çamurlarının çevreye zarar vermeden ekonomik ve ekolojik yollarla giderilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla uygulanan metotlar açıklanmıştır.

Ayrıca bu çalışmadaki arıtma çamurlarının briket kömür üretiminde kullanılmasıyla birlikte arıtma çamurlarını değerlendirme teknolojilerine bir yenisi daha eklenmiştir. Geri dönüşüm yöntemlerine örnek teşkil edecek olan bu çalışma, deneysel metodlar bölümünde uygulamalarıyla birlikte detaylı olarak açıklanmıştır.

2.5.1 Arıtma Çamurlarının Zirai Amaçlı Kullanımı

Arıtma çamurlarındaki azot ve fosfor gibi nütrientlerin atığa faydalı bir gübre, organik maddelerin ise iyi bir toprak ıslah edici madde özelliği vermesi sebebiyle ABD Çevre Koruma Örgütü (EPA) başta olmak üzere birçok ülkedeki yetkili kuruluş arıtma çamuru gibi biyolojik katıların tarımda kullanımını desteklemeye başlamışlardır (Öbek ve ark., 2004). Atıksu arıtma çamurlarının tarımda değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesi ve sahip olunan doğal kaynakların korunması açısından etkin bir geri dönüştürme prosesidir. Bu metot diğer değerlendirme metotları ile kıyaslandığında en ucuz atık muamele yöntemidir. İçerdiği besleyicilerle organik gübre olarak kullanılan çamur, toprağı bitkilerin yetişmesine uygun hale getirmeye yardımcı olur. Çamurun arazide kullanılması durumunda, gübre özelliği (azot, fosfor ve potasyum içeriği) önem kazanır. Bitkiler tarafından kullanılacak azot türü organik olandır ve toprağı uygulandığında topraktaki mikroorganizmalar tarafından ya da mineralleşmeyle inorganik forma dönüştürülerek bitkiler tarafından alınması sağlanır. Çizelge 2.5’de atık çamur içinde bulunan besleyici seviyeleri kuru madde yüzdesi olarak verilmiştir.

Çizelge 2.5. Atık çamurun besleyici seviyeleri. (Ayvaz, 2000).

Besleyici	KM içinde kuru madde olarak %
Toplam Azot	3,90
Amonyum (NH_4^+) formundaki azot	0,65
Nitrit (NO_3^-) formundaki azot	0,05
Fosfor	2,5
Potasyum	0,40
Sodyum	0,57
Kalsiyum	4,9
Demir	1,3

Ticari bir gübre ile çamurun karşılaştırması Çizelge 2.6'da verilmektedir. Araziye verilen çamur, bitki büyümesi için gereken besi maddelerini karşılar. Fakat bazı uygulamalarda, çamurun Fosfor ve Potasyum içeriği bitki gereksinimini karşılayamayacak kadar az olabilir.

Çizelge 2.6. Ticari gübre ve çamurdaki besi maddesi seviyelerinin kıyaslanması (Metcalf and Eddy, 1991).

	Besi maddesi %		
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımda kullanılan gübre ¹	5	10	10
Stabilize aktif çamur tipik değeri	3,3	2,3	0,3

¹ Besi maddesi konsantrasyonu toprak ve bitki özelliğine göre değişir.

Pedreno ve ark. (1996), arıtma çamuru uygulanmış kalkerli bir toprağın tarımsal kalitesini incelemeye yönelik bir çalışma yapmışlar ve arıtma çamurunun toprağın azot (N), fosfor (P), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) ve organik madde içeriğini arttırdığını belirtmişlerdir.

Williams (1979), arıtma çamurlarının ve organik gübrelerin tarım arazilerindeki faydalı kullanımını belirlemek için havada kurutulmuş ham çamur, havada kurutulmuş çürük çamur ve çiftlik gübrelerinin bitki besin düzeylerini belirlemiş, bu atıkları tarım alanlarına uygulayarak ürün verimi ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Arıtma çamurlarının Azot ve Fosfor yönünden yararlanılabilir bir kaynak olduğunu ancak potasyum yönünden fakir kaldığını, özellikle sulu haldeki çürütülmüş çamurların bitkiye yarıyışlı Azot ve Fosfor bakımından oldukça değerli bir kaynak olduğunu vurgulamıştır.

2.5.2 Arıtma Çamurlarının Islah Amaçlı Kullanımı

Tarımsal amaçlı kullanılamayan toprakların arıtma çamurlarıyla desteklenerek tarımsal değeri olan topraklara dönüştürülmesi mümkündür. Kapatılmış maden, taş, kömür ocakları ve erozyona uğramış alanlar ıslah alanları arasında sayılabilir. Islah çalışmalarındaki en önemli amaç, toprak verimliliğini yitirmiş bu alanlarda yeniden bitkilendirmenin sağlanacağı ortamların oluşturulmasıdır. Islah uygulamalarına başlamadan önce, bu alanın nasıl kullanılacağı belirlenmelidir. Islah edilecek alan tarımsal üretim veya hayvan otlatma amaçlı kullanılacaksa uygulanacak işlenmiş arıtma çamur miktarının, uygulama zamanının ve şeklinin belirlenmesinde yönetmeliklerin öngördüğü düzenlemelerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca toksik ve ağır metal içeriği yüksek olan çamurlar arazi ıslahında kullanılamazlar (Kocaer ve Başkaya, 2001).

Byrom ve Bradshaw (1989) tarafından yapılan çalışmada, maden işlemlerinden olumsuz yönde etkilenmiş verimsiz bir toprakta yapılan denemelerde, toprağa farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanmış ve çimendeki büyüme gözlemlenmiştir. Tek seferlik uygulamadan bir sene sonra çimende önemli bir büyüme görülmüştür. İkinci sene sonunda da çamur uygulanmış bölgelerde çimendeki büyüme devam etmiştir.

2.5.3 Arıtma Çamurlarının Kömürlü Santrallerde Yakılması

Çürütülmüş, mekanik olarak suyu alınmış, pompalanabilir atık çamur, getirildiği sirkülasyonlu akışkan yatağın kül geri döngüsü bölgesinde aniden kurutulur ve küçük parçacıklara ayrılır. Çamurun yanabilen kısmı 15–22 MJ/kg ısı değere sahip olacak şekilde akışkan yatakta yakılarak enerji temin edilir. 820 °C'lik orta seviyeli bir yanma sıcaklığında çalışıldığı için azot oksitleri meydana gelmez ve kireç ilavesiyle kükürt oksitleri de külde toplanır. Sistemin kazan tesisinde, %90 yakma randımanıyla oluşan ısıdan yüksek basınçlı buhar elde edilir. Bu buhardan önce elektrik üretilir, sonra proses buharı olarak faydalanılır. Bu şekilde ısı-güç birliğiyle yılda 7000 saatin üzerinde %80'den fazla randıman sağlanır (Ayvaz, 2000).

2.5.4 Arıtma Çamurlarından Çeşitli Yöntemlerle Gaz Eldesi

Enerji krizi günümüzün ana problemlerinden biridir. Yapılan araştırmalar kömür rezervinin 225 yıl, petrol rezervinin de 20 yıl sonra tükeneceğini göstermektedir. Bu gerçekler göz önüne alınarak dünyanın pek çok yerinde yenilenebilir enerji kaynaklarına dair araştırmalar yapılmakta ve uygulanmaktadır. Enerjiye dönüştürülebilen atıklar arasında arıtma çamurları da mevcuttur. Bu atıkların işlenmesinde en popüler prosesler gazifikasyon, fermantasyon ve pirolizdir. Bu prosesler atık çamurların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltarak enerji sağlarlar. Prosesler sonunda elde edilen gaz ısı ya da elektriğe dönüştürülebilir.

— Gazifikasyon prosesinde, organik atıklar (karbon içeren bileşikler) 850–900 °C’de, atmosferik basınç altında hava buharıyla heterojen reaksiyona girerek gazlaştırıcı maddeler içeren buhar, hidrojen, karbondioksit, oksijen gibi gaz halinde ürünlere dönüştürülür. Gazifikasyon sonucu oluşan gazın bir bölümü yakındaki bir çimento fabrikasının ısı ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Ana bileşeni olan metandan hidrojen ve metanol üretilebilir ya da elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Artan gaz ise temizlenerek atmosfere verilir (Ayvaz, 2000).

— Fermantasyonla biyogaz eldesi yönteminde organik atıklar havasız ortamda çeşitli mikroorganizmalar tarafından parçalanır. Mikroorganizmalar önce asit fermantasyonu ile şeker gibi çözünmüş maddeleri organik asit, karbondioksit ve hidrojen Sülfür gazlarına dönüştürürler. Asidik çözünmede ise organik asitler ve azotlu bileşikler daha yavaş bir hızla bozunur. Asidik çürümeyi stabilizasyon izler. Bu aşamada asit konsantrasyonu 500 ppm’in altına düşer. Fermantasyon ürünü gaz, %70 Metan ve %30 yanmayan gazları (karbondioksit ve hidrojen sülfür) içerir. Ayrıca fermantasyondan elde edilen katı atık, gübre olarak toprak iyileştirmede kullanılabilir (Ayvaz, 2000).

— Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda termal bozunmasıdır (Toraman ve Topal, 2003). Piroliz iki aşamada gerçekleşir. Atık 750 °C’de gazlaştırılır ve oluşan gaz, piroliz ünitesinde zararlı maddelerin indirgenmesi amacıyla 850 °C’de yakılır. Piroliz için gerekli olan ısıyı ürün gazdan sağlamak mümkündür (Ayvaz, 2000). Piroliz sonunda piroliz gazı (faydalı yakıt), yarı kok ve

yağ oluşur. Yarı kok, yakıt veya gaz temizleme için absorban malzeme olarak kullanılabilir. Yağ ise kimyasal endüstriler için hammadde veya yakıt olarak kullanılabilir (Caballero and Front, 1997).

2.5.5 Arıtma Çamuru Küllerinin Çimento Üretiminde Kullanılması

Atık çamurların yakılması sonucunda oluşan küller, gizli hidrolik ve kendi kendine yapışabilir özelliklere sahiptirler. Dolayısıyla bu küllerin çimento üretiminde bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi mümkündür (Ayvaz, 2000).

2.5.6 Alternatif Teknolojiler

Buraya kadar sıralanan klasik atık çamur giderme yöntemlerine ek olarak hem kül miktarını hem de baca gazı hacmini azaltan yeni geliştirilen bazı alternatif prosesler kısaca açıklanacaktır.

— Hidroliz reaksiyonlarında, 320 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklar kullanılarak hem organik hem de anorganik bileşikler parçalanır. Yüksek sıcaklıklarda biokütlelerin hücre yapısı parçalanır ve burada toplanan ağır metaller açığa çıkar. Büyük ölçüde sıvı faza geçen ağır metaller, pH değerinin yükseltilmesiyle çöktürülür. Katı faz büyük ölçüde ağır metalden arınmıştır. Bu işlemde halojenli organik bileşiklerde parçalanır ve sonra yeni bileşik oluşturmazlar (Ayvaz, 2000).

— Çamurdan Türetilmiş Yakıt (C-G Prosesi), etkin bir kurutma işlemiyle ve çok az enerji kullanarak çamuru yakıtla dönüştürmektedir. Mekanik olarak susuzlaştırılan çamur, suyunkinden daha yüksek kaynama noktasına sahip bir endüstriyel yağ ile karıştırılmakta ve daha sonra ön-kurutma yapılmaktadır. Kurutma sonrası yağ, filtre presle ayrılmakta ve geri beslenmektedir. Böylece üretilen çamur yakıt, %87 katı çamur, %9 yağ ve %4 sudan oluşmaktadır. Isıl değeri yaklaşık 16,7–18 MJ/kg'dır. (Shiota, 1987). Günümüzde ABD'de 405 ton/gün kuru arıtma çamurundan bu yolla enerji kazanımı sağlanmaktadır (Bress, 1987).

— Yaş oksidasyon, atık çamurun sulu çözeltide, yüksek sıcaklık ve basınç altında, oksijen, hava gibi oksidasyon maddeleriyle alevsiz oksitlenmesidir (Daun ve

Reinhard, 1998). Organik bileşikler bu prosesle karbondioksit ve suya ayrışır. Azotlu bileşiklerden amonyak ve azot oluşur. Kükürt, fosfor ve klordan da mineral asitler oluşur (Ayvaz, 2000). Bu proseste %70’lik bir kütle azalma elde edilmektedir (Toraman ve Topal, 2003).

— Mikrodalga yüksek basınç işlemi ise sulu fazdaki organik atıkların termokimyasal dönüşümü prensibine dayanmaktadır. Süspansiyon içindeki organik kısım, yüksek basınçlı reaktörün 300–400 °C sıcaklığı ve 160–180 bar’lık basıncı altında bir yağ ürünü ve karbondioksit dönüşmektedir (Ayvaz, 2000).

2.6 Bertaraf Yöntemlerinin Karşılaştırılması

2.6.1 Asya’da Durum

Asya ülkeleri arasında Japonya’da ülkedeki işlenebilir alanların azlığı ve nüfus yoğunluğu nedeniyle arıtma çamurlarının %60’lık bir bölümü yakılarak bertaraf edilmesine rağmen yılda 230.000 ton arıtma çamuru yeşil alanlarda kullanılmaktadır (Inubushi et al., 2000). Asya ülkeleri arasında Japonya’da çamur uzaklaştırma uygulamaları Çizelge 2.7’de verilmektedir. Ancak Japonya’da arazide depolama ve arazi ıslahı olanakları oldukça kısıtlıdır (Spinosa and Vesilind, 2001).

Çizelge 2.7. 1997’de Japonya’da uzaklaştırılan ve kullanılan çamur miktarı (ton) (Spinosa and Vesilind, 2001).

	Düzenli Depolama	Körfezde Arazi ıslahı	Faydalı Kullanım	Diğer	Toplam (%)
Susuzlaştırılmış kek	766	247	527	60	1.600 (68)
Yakmadan çıkan kül ¹	102	146	101	12	361 (15)
Kurutulmuş Çamur ²	14	0	165	10	189 (8)
Çürütülmüş çamur	0	0	0	214	214 (9)
Toplam (%)	882 (37)	393 (17)	793 (33)	296 (13)	2.364 (100)

¹ cüruf içerir.

² kompost içerir.

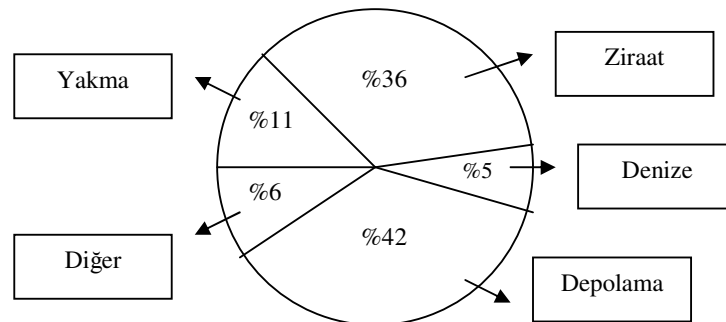
2.6.2 Avrupa’da Durum

Avrupa ülkelerinde 1990’da 7 milyon ton kuru çamur üretilmiştir. Çizelge 2.8’de görüldüğü gibi çamurun tarımda kullanımı %10–80 arasında değişmektedir fakat yakma işlemi sadece birkaç ülkede kullanılmaktadır. Denize deşarj ise 1998’in sonlarına kadar devam etmiştir (Spinosa and Vesilind, 2001).

Çizelge 2.8. 1990’da Avrupa birliğinde kullanılan ve deşarj edilen çamur miktarı (Spinosaand Vesilind, 2001).

Ülke	Toplam (10 ³ kuru madde t/sene)	Tarım (%)	Arazi depolama (%)	Yakma (%)	Deniz (%)
Belçika	35	57	43	0	0
Danimarka	150	43	29	28	0
Fransa	900	27	53	20	0
Almanya	2750	25	65	10	0
Yunanistan	200	10	90	0	0
İrlanda	23	23	34	43	0
İtalya	800	34	55	11	0
Lüksemburg	15	80	20	0	0
Hollanda	280	53	29	10	8
Portekiz	200	80	12	0	8
İspanya	300	61	10	0	29
İngiltere	1500	51	16	5	28

Bugün Avrupa ülkelerinde atıksu arıtma çamurlarının 1/3’ü tarımsal faaliyetlerde gübre olarak kullanılmakta, diğer 2/3’lük kısmı ise yakılmakta veya atık olarak depolanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Avrupa ülkelerinde çamur değerlendirme alanları (Ayvaz, 2000).

2.6.3 Amerika'da Durum

ABD'de üretilen çamur miktarı 1972'den beri artarak 1997 yılında 6,23 milyon ton/sene olmuştur. Çamurun uzaklaştırma yöntemleri yıllara göre farklılıklar göstererek 1972'de, toplam çamurun %20'si arazide uygulama ile %25'i de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktaydı. Ancak 1997'de üretilen toplam çamurun %55'i arazi uygulamasında, %17'si de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktadır. Çamurun denize deşarjına ise Aralık 1991'de son verilmiştir (Spinosa and Vesilind, 2001).

2005 yılı verilerine göre ABD'de arıtma çamurlarının %33'nün arazide kullanıldığı, arazide kullanılan bu çamurların %67'sinin tarım alanlarında, %3'ünün orman alanlarında, %9'nun arazi iyileştirmede, %9'nu yeşil alanlarda ve %12'sinin de torbalanarak satıldığı bilinmektedir (İşgenç ve Kınay, 2005).

2.6.4 Ülkemizde Durum

Ülkemizde belediyelere ait 69 adet evsel atıksu arıtma tesisinde yaklaşık 500.000 ton/yıl ve sanayide 3,6 milyon ton/yıl arıtma çamuru açığa çıkmaktadır. Ayrıca 11 organize sanayi bölgesinde yaklaşık 300 bin ton/yıl endüstriyel arıtma çamuru oluşmaktadır (Toraman ve Topal, 2003). Çıkan bu arıtma çamurlarının %8'i tarımda kullanılmakta, %12'si denize boşaltılmakta, %34'ü sahada ve %20'si özel depo alanlarında bertaraf edilmektedir (DİE, 1999).

Ayrıca yapılan araştırmalar sonucunda, İstanbul'daki arıtma tesislerinden 2010 yılında 620 ton Kuru madde/gün, 2040 yılında ise 1476,9 ton kuru madde/gün arıtma çamuru çıkacağı tahmin edilmektedir (Sarıkaya, 2002).

2.7 İlgili Yönetmelikler

Atıksuların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle arıtılmasından kaynaklanan arıtma çamurlarının yönetimi 90'lı yılların sonlarına doğru önem kazanmıştır. Çamur uzaklaştırma için gerekli arazinin giderek azalması, atıklar içindeki kirleticilerin toprak ve su yolu ile besin zincirine girmesi gibi nedenlerle, özellikle gelişmiş ülkelerde çamur yönetimi hakkında yönetmelikler çıkarılmış ve bu yönetmeliklerdeki kriterlere göre çamurların ne şekilde değerlendirileceği veya bertaraf edileceği belirlenmiştir (Harrison and Eaton, 2001).

Ülkemizde arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların uzaklaştırılması konusunda yasal çerçeve, 'Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği' ve 'Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde belirlenmiştir. Yine bu kapsamda 2001 yılında çıkan 'Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde ise Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması sonucu ortaya çıkan arıtma çamurlarının, yönetmelik hükümlerini sağlaması şartıyla tarımsal amaçlı faaliyetler için toprakta kontrollü olarak kullanılmasına, toprak kirliliğine sebep olmamasını sağlamak amacıyla, "Arıtma Çamuru Kullanım İzin Belgesi" verilmeye başlanmıştır.

26.04.2006 tarihinde kabul edilen 5491 sayılı çevre kanununda değişiklik yapılmasına dair kanun'un 11. maddesindeki hükmü uyarınca atık üreticileri uygun metod ve teknolojiler ile atıklarını en az düzeye düşürecek tedbirleri almak zorundadırlar. Yine aynı kanunun 3. maddesinin (f) bendindeki her türlü faaliyet sırasında doğal kaynakların ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılması amacıyla atık oluşumunu kaynağında azaltan ve atıkların geri kazanılmasını sağlayan çevre ile uyumlu teknolojilerin kullanılması esastır.

Ayrıca Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (TKKY) Madde 9, 10, 11, 12, 13'e göre, işlenmiş arıtma çamurlarının genellikle doğrudan insan beslenmesinde kullanılan ürünler yerine, besin endüstrisinde işlendikten sonra tüketilen ürünlerde kullanılmalarına öncelik verilmektedir.

3. BRİKET KÖMÜRLERİ

3.1 Tanım

Toz kömürün çeşitli bağlayıcılarla birlikte belli bir basınç altında preslenerek parça kömür haline getirilmesine “Briket (pres) kömür” denmektedir. Briket kömürler yakıt amaçlı kullanılmaktadırlar. Genellikle bağlayıcı kullanılarak elde edilen briketlerin kalitesi, kömürün cinsine, bağlayıcının özelliklerine ve briketleme yöntemine bağlıdır. Kömürün kül ve nem oranı, tane büyüklüğü, briketleme basıncı, sıcaklığı ve süresi, bağlayıcının cinsi, miktarı ve suya dayanıklılığı briket kalitesini etkileyen başlıca faktörlerdir (Çinçinoğlu ve ark., 2004).

3.2 Günümüze Kadar Uygulanmış Bazı Briket Kömür Örnekleri

Pres kömür üretiminde bağlayıcı olarak günümüze kadar çok çeşitli maddeler kullanılmıştır. İlk üretimin yapıldığı yıllarda petrol kökenli bağlayıcılar uzun bir süre kullanılmış, ancak daha sonra yönetmeliklerde yasaklanmıştır. Petrol bazlı bağlayıcılar, başka maddelerle de karıştırılarak pres kömür imalatında kullanılmıştır. Pulverize zift eşit miktarda asfalt, nişasta ve sülfat likörü ile karıştırılarak %7 oranında kömür tozuna karıştırılarak bağlayıcı olarak kullanılmıştır (Mead, 1945).

Bitümlü emülsiyonlar ile farklı karışımların da pres kömür imalatında kullanıldığı görülmektedir. Toz kömür, bitümlü materyal kurutularak öğütülmüş patates unu 70–300 °C arasında ısıtılarak preslenebilmiş ve iyi sonuç alınmıştır (Futo and Futo, 1939).

Petrol ve bitüm bazlı bağlayıcılar uzun süre kullanıldıktan sonra özellikle 1950'li yıllardan sonra yeni arayışlara girilmiş ve 1980'li yıllardan sonra da Çevre kanun ve yönetmeliklerinde getirilen sınırlamalar ile petrol bazlı bağlayıcıların kullanımı minimuma indirilmiştir.

Yeni arayışlara başlanarak birçok deneme sonunda Tall Yağı (Talloil), selüloz xanthate, selüloz hidroksi asetat, melas, bitkisel protein nişasta gibi organik kökenli bağlayıcılar ile inorganik bağlayıcılar geliştirilmiştir. Tall-yağı kağıt sanayiinde çıkan bir yan üründür. Bu artığın diğer bir adı da Terpak'tır. Bu bileşiğin %20-50'si sabunlanmayan, %30-70'i reçine ve yağ asitleri, %7-25'i ise oksiasitlerdir. 1,5 kg terpak (tall-yağı artığı) 70 °C'ye kadar ısıtılıp üzerine 14,5 kg toz kömür (-3 mm) ilave edilerek karıştırılan hamurdan yapılan presleme sonucu üretilmiş briketler 230 °C'de 12 saat süre ile kurutulduğunda mekanik dayanımı yüksek ve ekonomik briketler elde edilmiştir (Kotawski et. al., 1983).

Bu çalışmadaki briket kömür üretiminde ise, bağlayıcı madde olarak arıtma tesislerinde oluşan ve bertaraf edilmek istenen arıtma çamurlarının kullanılması hedeflenmiştir. Bir gıda endüstrisinden alınan organik kökenli arıtma çamuruna, belirlenen oranlarda bitüm ve ithal toz kömür ilave edilerek, karışımı belli sıcaklık ve basınç altında presleme sonucu briket kömür üretimi gerçekleştirilecektir.

Böylece hem bertaraf edilmek istenen arıtma çamurları değerlendirilecek, hem de yakıt olarak kullanılabilecek bir ürün ortaya konulabilecektir. Çalışma sonunda elde edilecek briket kömürleri gerekli dayanım testlerine ve ısıl değer tayinlerine tabi tutulup, olumlu sonuçlar alındığı takdirde briket kömür üretiminde bağlayıcı madde olarak arıtma çamurlarının kullanımıyla dünyada bir ilk gerçekleştirilmiş olacaktır.

4. DENEYSEL METODLAR

Bu bölümde, briket kömür üretiminde kullanılan toz kömür ile arıtma çamurunun karakterizasyon metotları, briket kömürü hazırlama metotları ve üretilen briket kömürü üzerinde gerçekleştirilen deney yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır.

4.1 Arıtma Çamuru Karakterizasyon Çalışmaları

Arıtma çamurları, gerekli çevre sağlığı kriterleri göz önünde bulundurularak ve uygun arıtma işlemlerinden geçirilerek bertaraf edilmelidir. Arıtma çamurlarının ekonomik ve verimli bir şekilde işlenmesi için fiziksel ve kimyasal yapılarının bilinmesi gereklidir. Bu çalışma kapsamında bir gıda endüstrisinden elde edilen gerçek arıtma çamurunu tanımlamak amacıyla öncelikle fiziksel ve kimyasal karakterizasyonları yapılmıştır. Uygulanan fiziksel ve kimyasal karakterizasyon analizleri sırasında GYTE Çevre Mühendisliği laboratuvarları kullanılmıştır. Arıtma çamurunun fiziksel ve kimyasal karakterizasyon analizi için uygulanan deneyler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

4.1.1 Nem İçeriği Tayini

Su miktarı, 105 ± 2 °C’de numunenin kurutulmasından sonra ağırlık kaybı olarak tanımlanmaktadır. İstenmeyen yüksek nem içeriği arıtma çamurlarının hacmini daha çok arttıracığından, nihai bertarafının maliyetini yükseltir. Bu sebeple nem içeriği, ölçülmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Nem içeriği tayini yapılırken uçucu veya kolay parçalanabilir maddeler analiz değerini etkileyebilir. Bu analizin yürütülmesi sırasında NUVE FN 500 marka etüv kullanılmıştır. Tartılan çamur numunesi (1 gr), 105 ± 2 °C’de etüv’de 24 saat süreyle kurutulmuştur. Daha sonra, soğuması için yarım saat desikatörde bekletilip ve tekrar tartılmıştır. Nem içeriği, gerekli hesaplamalar yapılarak aşağıda verilen formül uyarınca hesaplanmıştır (Erdin, 1996).

$$\% \text{ Nem içeriği} = [(\text{sulu ağırlık} - \text{kuru ağırlık}) / (\text{sulu ağırlık})] * 100$$

4.1.2 Organik Madde İçeriği Tayini (Yanma Kaybı)

Yanma kaybı (YK), amurdaki organik maddeyi tayin etmek ve yorumlamak için kullanılan basit ve önemli bir yöntemdir. Yanma kaybı, kuru katı maddenin 550 °C’de uçan kaybolan kısmıdır. Geriye kalan maddeler ise kl oluşturur. Numunenin organik madde içeriği tayininde Elektro Mag marka kül fırını kullanılmıştır. Tartılan suyu alınmış çamur numunesi, 1 saat 550 °C’de kül fırınında yakıldıktan sonra soğuması için yarım saat desikatörde bekletilmış ve tekrar tartılmıştır. Gerekli hesaplamalar yapılarak yanma kaybı belirlenmiştir (Erdin, 1996).

$$\% \text{ YK} = [(\text{ilk tartım} - \text{son tartım}) / \text{fırına giren numune miktarı}] * 100$$

4.1.3 pH Değeri Tayini

Aritma amurunun yorumlanmasında pH değeri çok önemlidir. Bu çalışmada pH tayini elektrometrik yöntemle yapılmış ve Mettler Toledo marka pH metre kullanılmıştır. lme elektrodu numuneye daldırılarak, rakamlar 1 dakika sabit kaldığında pH değeri okunmuştur (Erdin, 1996).

4.1.4 Sülfat Tayini

100 ml numuneye 20 ml Buffer A tampon çözeltisi ve 1 kaşık dolusu (0,2–0,3 ml) kristalize Baryum Klorür (BaCl_2) ilave edilerek reaksiyon süresi hemen başlatılır. 1 dakika boyunca sabit hızda çalkalanır. Karışım 5 dakika bekletilir ve bu süre sonunda numune 420 nm’de okunur. Yapılan hesaplamalar sonucu numune amurun Sülfat içeriği belirlenmiştir (Standard Methods, 2005).

4.1.5 Klorür Tayini

Numune pH’ı 7–10 aralığında olduğu için direkt titrasyon yapılmıştır. Aksi takdirde, pH sülfürik asit (H_2SO_4) veya sodyum hidroksit (NaOH) ile ayarlanmalıdır. şahit numune (saf su) için genellikle 0.2, 0.3 gibi sarfiyat görülür. 20 ml numune, 80 ml saf su ve 1 ml potasyumdikromat (K_2CrO_4) ile standart gmşnitrat (AgNO_3) titre edilmiştir. Gerekli hesaplamalar yapılarak çamurdaki klorür miktarı tayin edilmiştir (Standard Methods, 2005).

4.2 Arıtma Çamuru, Toz kömür ve Bağlayıcı Madde Kullanarak Briket Kömür Üretimi

Briket kömür, toz kömürün çeşitli bağlayıcılarla işlenerek, belli bir basınç altında preslenerek parça kömür haline getirilmesidir. Briket kömürleri, yakıt amaçlı kullanılmaktadır. Bu çalışmada, arıtma çamurlarını değerlendirmek amacıyla kömür, organik kökenli arıtma çamuru ve bitüm karışımıyla briket kömürü üretimi yapılmıştır. Kullanılan toz kömür ile arıtma çamuru numune içerikleri ve hazırlanma metotları ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Kömür: Deneyler kalori değeri yüksek bir ithal kömür ile gerçekleştirilmiştir. İthal toz kömür örneğinin analizi Çizelge 4.1’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan kömürün ideal tane boyunu saptamak için ufalanmış kömür örneği Şekil 4.1’de görüldüğü gibi eleklerden geçirilerek tane boylarına ayrılmıştır. Bu çalışmada kullanılan tane boyları; 0,6 mm-0,180 mm ve 0,180 mm-dipkap olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan kömürün analizi ve kalorifik değerleri.

Özellik	Değer
Toplam Nem	% 6,18
Kül	% 10,69
Sabit Karbon	% 56
Uçucu Madde	% 27,54
Toplam Kükürt	% 1,04
Kalorifik Değer	7814 kcal/kg



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan kömür örneğinin eleklerden geçirilmesi.

Bağlayıcı madde: Bu çalışmada bağlayıcı madde olarak laboratuvarlarımızda bulunan bitüm kullanılmıştır.

Arıtma çamuru: Deneyler bir gıda fabrikasının atıksu arıtma tesisinden elde edilen gerçek arıtma çamuru kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gıda fabrikasının arıtma çamurunun kullanılmasının nedeni, bu tesisten çıkan arıtma çamurunun organik madde içeriği nedeniyle tutuşabilir özellikte olması ve yakıt üretimi için elverişli olmasındandır. Kullanılan arıtma çamurunun görünümü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru numunesi.

Kalıp pres: Çalışmada karışımın belli bir biçimde sıkıştırılması ve şekillendirilmesi için özel dizayn edilmiş bir kalıp pres (Şekil 4.3) kullanılmıştır. İçindeki karışıma 150 kg/cm^2 (15 MPa)’lık bir basınç uygulayan bu kalıp pres, 50 mm çaplı yumurta şekilli briketler oluşturacak şekilde dizayn edilmiştir.



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan kalıp pres.

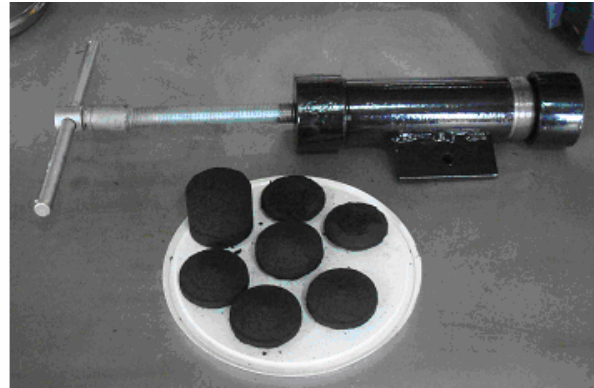
Çalışmanın verimli olması için öncelikle arıtma çamur örneği, seçilen tane boylarındaki kömür ve bitüm karışımları farklı konsantrasyonlarda denenerek, dayanımlı briket kömürü üretilmesi hedeflenmiştir.

Karışım oranları belirlenmiş briketlerin hazırlanmasında, seçilen tane boylarındaki kömür, bitüm ve arıtma çamur örneği 100–120 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak homojen bir karışım elde edinceye kadar karıştırılmış ve elde edilen sıcak karışım 50 mm çapındaki metal kalıp pres içerisinde sıkıştırılarak briketlenmiştir. Oluşturulan sıcak karışımlar 30 gr'lık briketler elde edilecek şekilde 150 kg/cm²'lık basınç altında preslenmiştir (Şekil 4.4). Daha sonra briketler, 105 °C'de 1 gün bekletilerek ardından 250 °C'de 2 saat süreyle fırınlanarak dayanımları arttırılmıştır.

Bu ısıtma işlemi, nemin giderilmesi, bitümün daha viskoz hale geçerek daha iyi bağlayıcılık sağlaması ve istenmeyen organiklerin (çeşitli canlı yapılar, mikroorganizmalar gibi) uzaklaştırılması amacıyla yapılmıştır. Ayrıca ısıtma işlemiyle, arıtma çamuru içindeki karbonatlı bileşikler yanarken, kömürdeki SO_x'ler sülfat formlarına dönüşerek kükürt emisyonları azalarak, bunların külde kalması sağlanır.



(a)



(b)

Şekil 4.4. (a) Kömür, bitüm ve atık çamur karışımının hazırlanışı.
(b) Karışımın kalıp prestlen çıkmış hali.

4.3 Üretilen Briket Kömürler Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Briket kömürlerde aranan özelliklerin başında mekanik sağlamlık, suya karşı dayanım ve ısı değeri yeterliliği gelmektedir. Briket kömürlerin mekanik sağlamlıklarını ölçmek için değişik testler uygulanmaktadır. Bunlar arasında, düşme sağlamlığı ve kırılma sağlamlığı testleri bulunmaktadır. Briketlerin suya dayanımları ise su dolu kap içerisinde dağılma ve bünyelerine su alma özellikleri incelenerek test edilmektedir (Beker ve ark., 1998). Bu analizler için GYTE Malzeme Mühendisliği laboratuvarları kullanılmıştır. Elde edilen briket kömürlerinin nem, uçucu madde, kül, toplam kükürt, üst ısı ve alt ısı değeri tayinleri ise Türkiye Bilimsel Araştırma ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü (TÜBİTAK MAM)’da yaptırılmıştır. Sonuçların uygunluğu TSE 12055 standartlarında belirlenmiş Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’deki parametrelerle değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.2. Standart kömür briketlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri (TSE 12055).

ÖZELLİK		SINIF 1	SINIF 2
Alt Isı Değeri ⁽¹⁾ (Kcal/kg) en az		5000	4000
Düşme Sağlamlığı (%) m/m, en az		90	80
Kırılma Sağlamlığı	Yastık veya Yumurta Şeklindeki Briketlerde (Newton), en az	790	590
Suya Dayanım ⁽²⁾ (%) en az		70	70

(1) Bu özellik, orjinal (satışa sunulan) briket bazındadır.

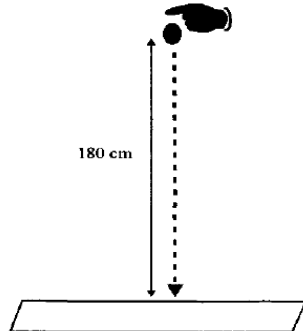
(2) Su geçirmeyen torbalar içerisinde satılan briketlerde bu özellik aranmaz.

Çizelge 4.3. Sanayi amaçlı kullanılacak kömürde aranan özellikler (TSE 12055).

ÖZELLİK	TOLERANS MİKTARI
Alt Isı Değeri (Orijinalde)	6000 Kcal (satışa sunulan) (-500 Kcal/Kg Tolerans)
Toplam Kükürt (Kuru Bazda)	% 1 (kuru bazda) + (% 0.1 Tolerans)
Uçucu Madde (Kuru Bazda)	% 36 (kuru bazda) + (% 1 Tolerans)
Toplam Nem	% 10 (satışa sunulan) + (% 1 Tolerans)
Boyut	0-50 mm

4.3.1 Düşme Sağlamlığı Tayini (Shatter Testi)

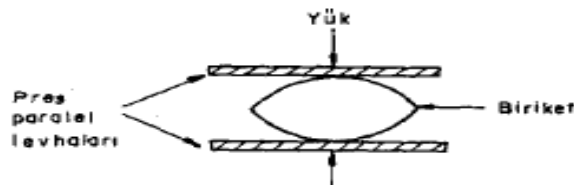
Pres kömürlerin nakliyat ve depolanmalarında önemli bir test olan Shatter Testi (Şekil 4.5), çelik bir plaka üzerine 1,8 m'den bırakılan briketlerin elek üstü tanımları ile ifade edilmektedir (Richards, 1990). Test düzeneğinde briket numuneleri, 180 cm yükseklikten çelik bir plaka üzerine bırakılmıştır. Bu işlem 6 kez tekrarlandıktan sonra briket numunesinden geriye kalan ağırlığın yüzdesi bulunmuş ve sonucun uygunluğunun kontrolü için Çizelge 4.2 esas alınmıştır.



Şekil 4.5. Shatter testi deney düzeneği.

4.3.2 Kırılma Sağlamlığı Tayini

Briket kömürlerin değerlendirme kriterlerinden biri de kırılma sağlamlığıdır. Bu deney için GYTE Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarındaki Instron-5569 çekme-basma cihazı kullanılmıştır. Üzerinde ezilme ve çatlak bulunmayan briket kömür örnekleri ayrı ayrı hidrolik presin paralel iki levhası arasına Şekil 4.6'daki gibi yerleştirilmiştir. Pres çalıştırılarak briket kömürün kırılma noktası presin uyguladığı yükü gösteren kadrandan tespit edilmiştir. Bu şekilde briket numune örneklerinin kırılma değerleri bulunmuştur ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.6. Yastık ve yumurta şekilli briketlerin kırılma deneyinde konumu.

4.3.3 Suya Dayanım Tayini

Türkiye'de üretilen kömür briketlerinin en önemli dezavantajlarından biri rutubete dayanıklı olmamasıdır. Bunu saptamak için briket kömür numuneleri üzerinde hidrolik pres yardımıyla suya dayanım testi yapılmıştır. Deney numunesi olarak ayrılan sağlam ikişer adet briket kömür numunelerinden biri, tamamı su içinde kalacak şekilde beher içine konmuş ve 1 saat suda bırakılmıştır. Sudan çıkarılan briketler, yüzeydeki su süzöldükten sonra doğrudan kırılma testine tabi tutulmuştur. Suya atılmamış orjinal briket ile suda bekletilen briketler, aynı yüzeylerinden hidrolik presin paralel iki levhası arasında ayrı ayrı kırılmıştır. Orjinal briketlerle suya atılan briket örneklerinin kırılma değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmış ve sonuçların uygunluğu Çizelge 4.2'e bakılarak belirlenmiştir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 Arıtma Çamuru Karakterizasyon Sonuçları

Arıtma çamurunun karakterizasyonu, çamuru tanımlamak açısından çok önemlidir. Çalışmada kullanılan çamurun pH'ı 8 olarak ölçülmüştür ve bu değer çamurun nötre yakın bazik bir çamur olduğunu göstermektedir. %80 nem içeriği ile su muhtevası yüksek olan bu arıtma çamuru, %58 organik madde miktarıyla da briket kömür üretimi için gerekli organik madde miktarını içermektedir. Çamurun organik içerikli olması yanıcı olduğunun bir göstergesidir. Briket kömür üretiminde ihtiyacımız olan çamur da yanıcı özellikte olmalıdır. Ayrıca Çizelge 5.1'den görülebileceği gibi klorür ve sülfat değerleriyle tehlikesiz atık sınıfına giren bu arıtma çamuru, fenol değeriyle de inert atık sınıfına girmektedir. Arıtma çamurunun karakterizasyon özelliklerine bakılarak, briket kömür üretimi için uygun olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan arıtma çamurunun analiz sonuçları.

İçerik	Analiz sonuç	Standartlar
pH	8	-
Nem içeriği	% 80	-
Yanma kaybı (Organik madde miktarı)	% 58	-
Kül tayini	% 42	-
Klorür	740 mg/L	80–1500 mg /L arasında tehlikesiz atık
Sülfat	227 mg/L	100–2000 mg/L arasında tehlikesiz atık
Fenol	0,09 mg/L	<0,1 mg /L inert atık

5.2 Elde Edilen Briket Kömür Örnekleri

Çalışmada briket kömürü oluştururken farklı karışım oranları denenerek (Çizelge 5.2) en ideal karışım oranı %60 kömür, %20 arıtma çamuru ve %20 bitüm olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu ideal oran, 2 farklı dane boyundaki kömürle çalışılarak, kömür dane boyunun oluşturulan briket kömürü üzerine etkisi incelenmiştir. Dane boyunun briket kömürüne etkisi deney sonucunda açıklanmıştır. Ayrıca farklı bitüm oranlarıyla da bitümün briket kömürü üzerine etkileri incelenmiştir.

Çizelge 5.2. Üretilen briket kömürlere ait ağırlıkça yüzde karışım oranları.

No	Kömür Oranı (%)	Arıtma Çamur Oranı (%)	Bitüm Oranı (%)
1	65 ince kömür (0,180mm-dipkap)	23	12
2	60 ince kömür (0,180mm-dipkap)	20	20
3	55 ince kömür (0,180mm-dipkap)	27	18
4	50 ince kömür (0,180mm-dipkap) 25 iri taneli kömür (0,6mm-0,180mm)	17	8
5	40 ince kömür (0,180mm-dipkap) 20 iri taneli kömür (0,6mm-0,180mm)	15	25
6	40 ince kömür (0,180mm-dipkap) 20 iri taneli kömür (0,6mm-0,180mm)	20	20
7	65 iri taneli kömür (0,6mm-0,180mm)	23	12
8	60 iri taneli kömür (0,6mm-0,180mm)	20	20
9	55 iri taneli kömür (0,6mm-0,180mm)	27	18

Şekil 5.1’de üretilen briket kömür örneklerinin fotoğrafları sunulmuştur. 1, 2, 3, 4 ve 5 nolu briket örnekleri dayanımları arttırılmak amacıyla 2 saat süreyle 250 °C’de kül fırınında tutulmuştur. Bu ısıtma işleminin sadece birkaç briket örneğine uygulanma amacı, ısıtma işleminin dayanıma etkisini görmek içindir. Diğer briket örnekleri dayanım arttırmak için herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmamıştır.



Şekil 5.1. Üretilen briket kömürü örnekleri.

Şekil 5.1’den anlaşıldığı gibi 1. ve 4. numuneler daha ilk oluşumda dağılırken, diğer karışım örneklerinde herhangi bir dağılma görülmemiştir. 1. ve 4. numuneler haricindeki diğer numuneler, dayanıklılık testlerine tabi tutulmak üzere ayrılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, 1. ve 7. numunelerdeki karışım oranları aynı olmasına rağmen 1. karışım ilk oluşumda dağılırken 7. karışım sağlam kalmıştır. Bunun nedeni 7. karışımında kullanılan kömürün daha iri taneli olmasıdır. 4. karışımın dağılma nedeni ise kullanılan bitüm oranının çok düşük olmasıdır.

5.3 Elde Edilen Briket Kömürlerinin Dayanım Sonuçları

Farklı oranlarda arıtma çamuru, kömür ve bitüm karışımıyla oluşturulan briket kömür örnekleri dayanıklılıklarının belirlenmesi için çeşitli dayanıklılık testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçların uygunluğu için Çizelge 4.2’de sunulan TSE 12055 standartları esas alınarak, her bir numunenin girdiği sınıf belirlenmiştir. Alınan sonuçların uygunluğuna göre elde edilen briket kömürlerinin ticari olarak kullanılabilirliği de incelenmiştir. Üretilen briket kömürler üzerine uygulanan deney sonuçları ve numunelerin sınıflandırılmaları Çizelge 5.3’te sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Üretilen briket kömürler üzerine uygulanan deney sonuçları

N o	Kömür Oranı (%)	Arıtma Çamur Oranı (%)	Bitüm Oranı (%)	Uygulanan kuvvet (N) (kuru briket)	Uygulanan kuvvet (N) (ıslak briket)	Kırılma sağlamlığı (N)	Suya dayanım (%)	Düşme sağlamlığı (%)
1	65 ince kömür	23	12	Deney uygulanamadan dağılmıştır.	Deney uygulanamadan dağılmıştır.	-	-	-
2	60 ince kömür	20	20	650 N≤kırılma	500 N≤kırılma	650 (2. Sınıf)	77 (1. Sınıf)	99,79 (1. Sınıf)
3	55 ince kömür	27	18	1000 N≤kırılma	450 N≤kırılma	1000 (1. Sınıf)	45 (Dayanımlı değil)	99,11 (1. Sınıf)
4	50 ince kömür 25 iri taneli kömür	17	8	Deney uygulanamadan dağılmıştır.	Deney uygulanamadan dağılmıştır.	-	-	-
5	40 ince kömür 20 iri taneli kömür	15	25	800 N≤kırılma	620 N≤kırılma	800 (1. Sınıf)	77,5 (1. Sınıf)	99,71 (1. Sınıf)
6	40 ince kömür 20 iri taneli kömür	20	20	1000 ≤ çatlama veya kırılma görülmedi≤3000	1000≤çatlama 2000<kırılma görülmedi	3000< (1. Sınıf)	100 (1. Sınıf)	99,90 (1. Sınıf)
7	65 iri taneli kömür	23	12	350 N ≤ çatlama 500 ≤ kırılma	350 N ≤ çatlama ve kırılma	500 (Dayanımlı değil)	70 (1. Sınıf)	99,29 (1. Sınıf)
8	60 iri taneli kömür	20	20	1000 ≤ çatlama veya kırılma görülmedi≤3000	1000≤çatlama veya kırılma görülmedi≤3500	3000< (1. Sınıf)	100 (1. Sınıf)	98,13 (1. Sınıf)
9	55 iri taneli kömür	27	18	950≤çatlama veya kırılma görülmedi≤2000	950 ≤ çatlama veya kırılma görülmedi≤1100	2000< (1. Sınıf)	100 (1. Sınıf)	91,23 (1. Sınıf)

Üretilen briket kömürler üzerinde uygulanan dayanım testi sonuçları aşağıda her bir numune için detaylı olarak açıklanmıştır. Elde edilen numunelerin kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testlerine tabi tutulduktan sonra çekilen fotoğrafları Şekil 5.2’te sunulmuştur.

- 1 nolu numune (%65 ince kömür; %23 çamur; %12 bitüm) oluşturulduktan hemen sonra dağıldığından dayanım testlerine tabi tutulamamıştır ve test sonucuna ait bir fotoğrafı yoktur.
- 2 nolu (%60 ince kömür; %20 çamur; %20 bitüm) kuru numune 650 N kuvvetle sıkıştırıldığında kırılırken, ıslak numunesi 500 N kuvvette kırılmıştır. Her iki numune de kırılma sonucu 3 parçaya ayrılmış fakat tamamen dağılmamıştır. Islak ve kuru numunelerinin dayanımları arasında

önemli bir fark olmaması, 2 nolu numunenin suya dayanıklı olduğunu göstermektedir. 2 nolu numune için gerçekleştirilen düşme sağlamlığı testinde %99,79 değeriyle oldukça dayanıklı olduğu görülmektedir.

- 3 nolu (%55 ince kömür; %27 çamur; %18 bitüm) kuru numune 1000 N kuvvetle sıkıştırıldığında kırılırken, ıslak numunesi 450 N kuvvetle sıkıştırıldığında kırılmıştır. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi her iki numune de kırılma sonucu ufalanmıştır. Islak ve kuru numunelerinin dayanımları arasında önemli bir fark olmaması 3. karışımın suya dayanıklı olduğunu göstermektedir. Düşme sağlamlığı test sonucu %99,11 değeriyle karışımın dayanıklı olduğunu ortaya koymuştur.
- 4 nolu numune (%50 ince kömür; %25 iri kömür; %17 çamur; %8 bitüm) oluşturulduktan hemen sonra dağıldığından dayanım testlerine tabi tutulamamıştır ve test sonucuna ait bir fotoğrafı yoktur.
- 5 nolu (%40 ince kömür; %20 iri kömür; %15 çamur; %25 bitüm) kuru numune 800 N kuvvetle sıkıştırıldığında kırılırken, ıslak numunesi 620 N kuvvetle sıkıştırıldığında kırılmıştır. Her iki numunede tamamen dağılmıştır. Islak ve kuru numunelerinin dayanımları arasında önemli bir fark olmaması, bu briket numunesinin suya dayanıklı olduğunu göstermektedir. Düşme sağlamlığı test sonucu %99,71 değeriyle karışımın dayanıklı olduğunu ortaya koymuştur.
- 6 nolu (%40 ince kömür; %20 iri kömür; %20 çamur; %20 bitüm) kuru numunede 1000 N kuvvetle sıkıştırma sonucu ufak çatlamlar görülse de, 3000 N’a kadar sıkıştırma yapıldığı halde herhangi bir kırılma görülmemiştir. Islak numunesinde ise 1000 N kuvvetle sıkıştırma sonucu ufak çatlamlar oluşmuş fakat 2000 N’a kadar sıkıştırma yapıldığı halde herhangi bir kırılma görülmemiştir. Sadece yüksek kuvvet altında sıkıştırmaya bağlı olarak numunelerin formunda hafif bir ezilme görülmüştür. Bu numuneler basınca çok dayanıklıdır ve ıslak-kuru numuneler arasında fazla bir dayanım farkı olmaması suya da dayanıklı olduklarını göstermektedir. Düşme sağlamlığı deneyinde en yüksek değer bu numunede elde edilmiştir (%99,90).

- 7 nolu (%65 iri kömür; %23 çamur; %12 bitüm) kuru numunede 350 N kuvvetle sıkıştırma sonucu ufak çatlamlar görülmüş, 500 N'a kadar sıkıştırma yapıldığında da numunenin kenarında derin bir çatlak oluşmuştur. 7 nolu ıslak numunede ise 350 N kuvvetlik sıkıştırma sonucu numune kenarında derin bir çatlak oluşmuş ve numunenin o tarafında ufak bir kopma görülmüştür. Her iki numune de basınca fazla dayanıklı değildir. Fakat ıslak-kuru numuneler arasında fazla bir dayanım farkı bulunmaması bu briket örneğinin suya dayanıklı olduğunu göstermektedir. Diğer numunelere benzer şekilde bu numunenin de düşme sağlamlığı testinde elde edilen %99,29 değeriyle dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

- 8 nolu (%60 iri kömür; %20 çamur; %20 bitüm) kuru numunede 1000 N kuvvetle sıkıştırma sonucu ufak çatlamlar görülse de, 3000 N'a kadar sıkıştırma yapıldığı halde herhangi bir kırılma görülmemiştir. 8 nolu ıslak numunede ise 1000 N'luk kuvvetle sıkıştırma sonucu ufak çatlamlar görülse de, numunelerde 3500 N'a kadar sıkıştırma yapıldığı halde herhangi bir kırılma görülmemiştir. Sadece yüksek kuvvet altında sıkıştırmaya bağlı olarak numunelerin formunda hafif bir ezilme görülmüştür. Bu numuneler basınca dayanıklıdır. Ayrıca ıslak ve kuru numuneler arasında fazla bir dayanım farkı olmaması bu briket örneğinin de suya da dayanıklı olduğunu göstermektedir. 8 nolu numune için gerçekleştirilen düşme sağlamlığı %99,13 değeri ile oldukça dayanıklı olduğu görülmektedir. Numuneler arasında mekanik sağlamlığı en fazla olan briket numunesidir.

- 9 nolu (%55 iri kömür; %27 çamur; %18 bitüm) kuru numunede 950 N kuvvetle sıkıştırma sonucu ufak çatlamlar görülse de, 2000 N'a kadar sıkıştırma yapıldığı halde herhangi bir kırılma görülmemiştir. 9 nolu ıslak numunede ise 950 N'luk kuvvetle sıkıştırma sonucu ufak çatlamlar görülse de, 1100 N'a kadar sıkıştırma yapıldığı halde herhangi bir kırılma görülmemiştir. Bu numuneler basınca dayanıklıdır. Ayrıca ıslak ve kuru numuneler arasında önemli bir dayanım farkı bulunmaması bu briket örneğinin de suya da dayanıklı olduğunu göstermektedir. Son olarak, yapılan düşme sağlamlığı deneyi bu numunenin de diğerlerine benzer şekilde %91,23 değeriyle dayanıklı olduğunu ortaya koymuştur.

1 nolu numune, ilk oluşum sırasında dağıldığı için dayanım testlerine tabi tutulamamıştır. Bu nedenle test sonucundaki görünümüyle ilgili bir fotoğraf bulunmamaktadır.	
	
	
4 nolu numune de ilk oluşum sırasında dağıldığından dayanım testlerine tabi tutulamamıştır. Bu nedenle test sonucuna ait bir fotoğrafı yoktur.	
5 nolu numune, dayanım testi sırasında tamamen dağılmıştır. Testler sonucu fotoğraflanacak bir malzeme kalmadığı için fotoğrafı yoktur.	
	
	
	
	9 nolu ıslak numune, dayanım testi sonunda basma cihazında uzun süre kaldığı için tamamen parçalanmıştır ve fotoğrafı yoktur.

şekil 5.2. Kırılma sağlamlığı ve suya dayanım tayini sonuç değerlendirmesi.

Çizelge 5.3 ve açıklamalardan anlaşıldığı gibi çalışılan karışımların bir kısmının hem kırılma sağlamlığı hem de suya dayanım özellikleri bakımından

kullanılabilir olduğu görülmüştür. Yapılan kırılma sağlamlığı ve suya dayanım testleri sonucu, özellikle iri taneli kömür kullanılan briket örneklerinin basınca ve suya dayanıklı olduğu görülmektedir. 1 ve 4 nolu numuneler haricindeki tüm numunelerin düşme sağlamlığı testine göre dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3'den görülebileceği gibi 5, 6, 8 ve 9 nolu numuneler, TSE 12055'deki standart kömür briketleri için belirlenmiş dayanım testlerine göre Sınıf I'de yer almıştır. Test sonuçlarına göre, dayanımı en fazla olan numunenin, %60 iri taneli kömür, %20 arıtma çamuru ve %20 bitüm karışımıyla 8 nolu briket numunesi olduğu görülmektedir. Mekanik dayanım testlerinden başarıyla geçen 8 nolu briket numunesi, TÜBİTAK MAM'a gönderilerek nem, uçucu madde, kül, toplam kükürt, alt ve üst ısı değer tayinlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar Çizelge 5.4.'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Mekanik dayanım testlerinden başarıyla geçen briket kömürüne TÜBİTAK MAM'da uygulanan analiz sonuçları

ANALİZLER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI			TSE 12055'e göre sanayi amaçlı kullanılacak kömürde aranılan özellikler
		Havada kuru bazda	Orijinal bazda	Kuru bazda	
Nem	%	1,12 ±0,02	4,52	-	%10 (satışa sunulan) + (%1 Tolerans)
Uçucu madde	%	31,42 ±0,06	30,33	31,77	%36 (kuru bazda) + (%1 Tolerans)
Kül	%	8,82 ±0,04	8,51	8,91	Max %14 (kuru bazda) + (%1 Tolerans)
Toplam kükürt	%	1,30 ±0,18	1,25	1,31	%1 (kuru bazda) +(% 0.1 Tolerans)
Üst ısı değer	cal/gr	7691 ±26	7426	7765	-
Alt ısı değer	cal/gr	7441 ±49	7166	7531	6000 Kcal (satışa sunulan) (-500 Kcal/Kg Tolerans)

Deney sonuçlarına göre 8 nolu briket kömür numunesinin nem, uçucu madde, kül, toplam kükürt, alt ısı ve üst ısı değerleri, sanayi amaçlı kullanılacak ve satışa sunulabilecek kömür özelliklerine uymaktadır. Hatta alt ısı değeri istenilen miktarın çok üzerindedir. Bu özellik üretilen briket kömürünün yakıt olarak verimli olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde sanayinin gelişmesiyle birlikte arıtma tesisleri çoğalmış ve arıtma tesislerinde ortaya çıkan arıtma çamur miktarları da giderek artmıştır. Miktarları artan arıtma çamurlarını uzaklaştırmak üzere harcanan meblalar işletmeler açısından büyük bir sorun olarak görülmektedir. Bu çalışmada, bu maliyeti ortadan kaldırmak amacıyla arıtma çamurları değerlendirilerek briket kömür üretiminde kullanılmıştır. Arıtma tesislerinden çıkan ve bertaraf edilmek istenen arıtma çamurları briket kömür üretiminde bağlayıcı madde olarak kullanılarak dünyada bir ilke imza atılmıştır.

Bir gıda endüstrisinden alınan organik kökenli arıtma çamuruna, belirlenen oranlarda bitüm ve ithal kömür ilavesiyle, belirli sıcaklık ve basınç altında briket kömür üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylece hem bertaraf edilmek istenen arıtma çamurları değerlendirilmiş, hem de yakıt olarak kullanılabilecek bir ürün ortaya çıkarılmıştır. Dünyadaki geri dönüşüm teknolojilerine örnek teşkil edecek olan bu çalışmayla hem enerji, hem nakit tasarrufu sağlamak mümkündür.

Yapılan uygulamalar ve deneyler sonucunda üretilen briket kömür numuneleri arasında, iri taneli kömürün kullanıldığı numunelerin daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular, ince kömür oranı fazla olan briketlerin, dayanım arttırmak için fazladan ısıtma işlemine tabi tutulsalar bile, iri taneli kömür kullanılan briketlere göre daha dayanıksız olduklarını ortaya koymuştur. Bu durumda oluşturduğumuz briket kömür numunelerinde kömürün tane boyu, dayanıklılığı etkileyen önemli bir faktördür sonucuna varabiliriz.

Yapılan dayanım testleri sonucu briket numunelerinin dayanımlarına bakıldığında en dayanıklı karışım %20 bitüm, %20 arıtma çamuru ve %60 iri taneli kömür karışımıyla 8 nolu briket numunesi olarak belirlenmiştir. Elde edilen, basınca ve suya dayanımlı 8 nolu briket numunesinin son olarak nem, uçucu madde, kül, toplam kükürt ve ısı değerleri de ölçülerek yakıt olarak kullanılabilirliği incelenmiştir ve sonuçlar bu briket kömürlerinin ticari yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Hatta alt ısı değeri istenilen miktarın çok üzerindedir. Bu özellik üretilen briket kömürünün yakıt olarak verimli olduğunu göstermektedir.

Arıtma çamurlarını uzaklaştırmak amacıyla büyük meblağlar harcayan tesislerde gerekli maliyet analizleri de yapılarak, bu çalışmanın hayata geçirilmesi sağlanabilir, böylece hem bertaraf edilmek istenen arıtma çamuru değerlendirilir hem de üretilen briket kömürlerinin aynı tesiste yakıt olarak kullanımı sağlanabilir. Bu çalışmanın hayata geçirilmesiyle büyük bir enerji tasarrufuna önayak olunabilir.

KAYNAKLAR

Akça, L., Sevimli, M. F., Alp, K., Boya Sanayi Arıtma Tesisi Çamurlarının Karakterizasyonu ve Uzaklaştırılması, İTÜ 6. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, 1998.

Akyarlı, A., Şahin, H., Arıtma Çamurlarının Bertarafında Kireç Kullanımı, 1. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 2005.

Arıkan, O.A., Öztürk, İ., Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Evsel Katı Atık İlavesinin Etkisi, İTÜ Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, 15-24, 2005.

Ayvaz, Z., Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi, Ekoloji Çevre Dergisi, Cilt 9, Sayı 35, 3-12, 2000.

Beker, G., Kural, Ü., Dağalp, O., Kömürün Briketlenmesi, S 453–475, 1998.

Bress, D.F., Greenfield, B.S., Haug, R.T., “Energy from Sludge Derived Fuels” Energy From Biomass and Wastes, Institute of Gas Technology. P.1173–1182, 1987.

Byrom, K.L., Bradshaw, A.D., The Potential Value of Sewage Sludge in Land Reclamation. Alternative Uses for Sewage Sludge Conference, 5-7 September 1989, U.K, Alternative Uses for Sewage Sludge Conference Proceedings, 1-19, U.K., 1989.

Caballero, J.A., Front, R., Characterisation of Sewage Sludges by Primary and Secondary Pyrolysis, J. Anal. And Applied Pyrolysis, 4041, 1997.

Çinçinoğlu, Ö., Anıl, M., Kılıç, Ö., İthal ve Yerli Kömür Karışımı ile Farklı Bağlayıcı Maddeler Kullanılarak Üretilen Pres Kömürler, Türkiye 14 Komite Kongresi Bildiriler Kitabı, 02–04 Haziran 2004.

Daun, M., Reinhard, B., TASY-konforme Restmüllbehandlung, Umwelt, 28(9), P. 44-47, 1998.

Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE), 1999.

Erdin, E., Katı Atık Teknolojisinde Analiz Yöntemleri, Çöp ve Katı Atıklar Laboratuvar El Kitabı, 1996.

Filibeli, A., Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255, 2002.

Futo, J., Futo, A., Fuel briquets and binding agents, 514, 340, Nov. 6, 1939.

Harrison, E.Z., Eaton, M.M., The role of municipalities in regulating the land application of sewage sludges and septage, Natural Resources Journal, 41(1), 77-123, 2001.

Inubushi, K., Goyal, S., Sokamoto, K., Wada, Y., Yamakawa, K., Arai, T., Influences of Application of Sewage Sludge Compost on N₂O Production in Soils, Chemosphere-Global Change Science, 2, 329-334, 2000.

İşgenç, M.F., Kınay, E.H., Türkiye’de Arıtma Çamurları, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu (23-25 Mart 2005), 519-528, 2005.

Kocaer, F.O., Başkaya, H.S., Arıtma Çamurlarının Araziye Uygulanması, Ekoloji Çevre Dergisi, Cilt 11, S. 41, 12-15, 2001.

Kotawski, W., Mazur, A., Radko, W., Formed briquets of solid fuel of high mechanical strength, Poland 116, 085, 1983.

Krogmann, U., Boyles, L.S., Martel, C.J., McComas, A.K., Biosolids and Sludge Management. Water Env Res 69, 534–549, 1997.

Mead, E.S., Briquets Using a Fuel-pitch Binder ; E.S.; US 2, 370, 060, 1945.

Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill International Editions, 1991.

Öbek, E., Tatar, Ş.Y., Hasar, H., Arslan, E.I., İpek, U., Kentsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Değerlendirilmesi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 31-38, 2004.

Öncel, S., Önkol Engin, G., Ömürlü, N., Morgül, A., Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonu ve Yeniden Kullanımı Üzerine Bir Çalışma, Mersin Üniversitesi Ulusal Çevre Sempozyumu, 2007.

Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U., Atıksu Arıtımının Esasları Kılavuzu, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005.

Pedreno, J.N., Gomez, I., Moral, R., Mataix, J., Improving the Agricultural Value of a Semi-Arid Soil by Addition of Sewage Sludge and Almond Residue, Agriculture, Ecosystems and Environment, 58, 115-119, 1996.

Richards, S.R., Briquetting peat and peat coal mixtures, Fuel Processing Technology, Vol 25, P 175, 1990.

Sarıkaya, H.Z., Master Plana Göre İstanbul'da Arıtma Çamurlarının Yönetimi ve Kontrolü, Türk-Alman Atıksu Arıtma Çamurlarının Yönetimi ve Kontrolü Semineri (30 Ekim–1 Kasım 2002), 2002.

Shiota T., Economical Evaluation of a System for Making a Fuel from Sludge, Recycling von Klarschlom. Berlin. EF für Energie, P.223–239. 1987.

Spinosa, L., Vesilind, P.A., Sludge into Biosolids, Processing, Disposal and Utilization, IWA Publishing, UK, 2001.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition, 2005.

Toraman, Ö.Y., Topal, H., Katı Atık ve Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesinde Alternatif Termal Teknolojiler ve Uygulamaları, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 18 (1), 19–33, 2003.

TSE 12055, Ev ve Benzeri Yerlerin Isıtmasında Kullanılan Kömür Briketi Standartları ve Sanayi Amaçlı Kullanılacak Kömürde Aranılan Özellikler, 1996.

Ünlü, A., Tunç, M.S., Elazığ Kenti Atıksu Arıtma Tesisi Çamur İşleme Birimlerinin İşletiminin Değerlendirilmesi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (1), 53–60, 2007.

Williams, J.H., Utilization of Sewage Sludge and Other Organic Manures on Agricultural Land, First European Symposium: Treatment and Use of Sewage Sludge, 13-15 February 1979, Cadarache, First European Symposium: Treatment and Use of Sewage Sludge Proceedings, 227-242, Cadarache, 1979.

Yokoyama, S.Y., Suzuki, A., Murakami, M., Ogi, T., Koguchi, K., Nakamura, E., Liquid fuel production from sewage sludge by catalytic conversion using sodium carbonate, Fuel Volume 66, Issue 8, August 1987, Pages 1150–1155.

ÖZGEÇMİŞ

5 Şubat 1981 yılında İstanbul’da doğan Nilüfer ÖMÜRLÜ ilköğretim ve lise öğrenimini de İstanbul’da tamamladı. 1999–2003 yılları arasında Antalya Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimini tamamladı. Halen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans yapmaktadır. 3 Eylül 2007 tarihinden itibaren babasının da kurucularından olduğu ZEKİ Plastik İmalat Ltd. Şti.’nde Üretim Planlama Mühendisi olarak görev yapmaktadır.