

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ARITMA ÇAMURUNUN KURUTULMASININ TERMODİNAMİK
ANALİZİ**

RENGİN SIKI

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

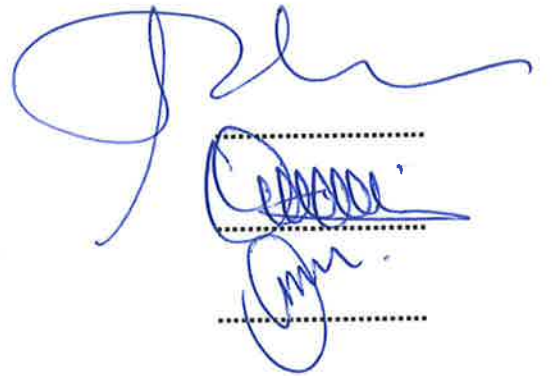
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARITMA ÇAMURUNUN KURUTULMASININ TERMODİNAMİK
ANALİZİ

RENGİN SIKI

Prof. Dr. İbrahim Kılıçaslan
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Durmuş Kaya
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Fatih Aktaş
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 28.06.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünya genelinde hızla artan kentselleşme ve sanayileşme sonucunda atık su hacminde çok ciddi oranlarda artış görülmektedir. Evsel ve endüstriyel atık su arıtma tesislerinde gerçekleştirilen süreçlerin yan ürünlerinden olan atık çamurların işlenmesi ve çevreye uyumlu bir şekilde uzaklaştırılması atık su arıtımı kadar önem taşımaktadır.

Türkiye’de çevre ile ilgili düzenlemeler, özellikle Avrupa Birliği uyum süreci ile de ilişkili olarak, hızlı bir gelişim içerisinde. Susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının A.B. standartlarında bertaraf edilebilmesi için katı madde muhtevasının artırılması ve stabilize edilmesi gerekmektedir. Uygun çamur kurutma teknolojilerinin kullanılması ile % 90 ve üzerinde katı madde içeriğine kadar kurutulmuş arıtma çamurları, çevreyle uyumlu depolanabildiği gibi toprak iyileştirici ve değişik sektörler için ekya-kıt olarak da kullanılabilir.

Arıtma çamurlarının kurutulması konusunda bana çalışma fırsatı veren değerli hocam Sn. Prof. Dr İbrahim Kılıçaslan’a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen aileme de minnet duygularımı sunarım.

Haziran - 2017

Rengin SIKI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ.....	1
1.GENEL BİLGİLER.....	2
1.1. Arıtma Çamuru Kaynakları.....	2
1.2. Çamur Bertaraf Yöntemleri.....	3
1.2.1.Stabilizasyon.....	3
1.2.2.Şartlandırma.....	4
1.2.3.Yoğunlaştırma.....	4
1.2.4.Susuzlaştırma.....	5
1.2.5.Kurutma.....	7
1.3. Çamur Kurutma Prosesi.....	14
1.3.1. Isı ve kütle transferi.....	14
1.3.2.Kurumanın aşamaları.....	15
1.3.3.Çamur kurutma ünitesinin seçimi.....	16
1.3.4.Enerji tüketimi ve kurutma maliyetleri.....	17
1.3.5.Çamur kurutma ünitesi için yer seçimi.....	18
1.3.6.Çamurun depolanması.....	19
1.4. Kurutucu Tipleri.....	19
1.4.1. Döner kurutucular.....	21
1.4.2. Konveyör bantlı kurutucular.....	24
1.4.3.Tambur kurutucular.....	29
1.4.3.1.Çift tamburlu kurutucu.....	29
1.4.4. İnce film tipi kurutucular.....	32
1.4.5. Disk tipi kurutucular.....	35
1.4.6. Akışkan yataklı kurutma sistemleri.....	37
2.MALZEME VE YÖNTEM.....	41
2.1. Kürekli Tip Kurutucu Protitipi.....	41
2.2. Penetrasyon Teorisi.....	47
2.2.1.Pedallı kurutucu içerisindeki ısı transferi.....	50
3.KÜREKLİ TİP KURUTUCUNUN TERMODİNAMİK ANALİZİ.....	53
4.DENEYLER VE BULGULAR.....	58
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	68
EKLER.....	70
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1.	Değişik özellikte arıtma çamuru örnekleri	2
Şekil 1.2.1.	Konvansiyonel tip susuzlaştırma sistemi	5
Şekil 1.2.2.	Vakum filtre çalışma bölgeleri	6
Şekil 1.2.3.	Bantlı pres filtre sistemi	6
Şekil 1.2.4.	Aktive edilmiş çamur floku	8
Şekil 1.2.5.	Çamur bünyesindeki suyun dağılımı	9
Şekil 1.2.6.	Çamur şartlandırma işlemleri sonucunda katı madde yüzdeleri	13
Şekil 1.4.1.	Konvansiyonel tip döner kurutucunun basit gösterimi	22
Şekil 1.4.2.	Döner kurutucunun enine kesiti	22
Şekil 1.4.3.	Paralel akış prensibi ile çalışan sistemin mekanik konstrüksiyonu	23
Şekil 1.4.4.	Konveyör bantlı kurutucunun yandan görünüşü ve kesit alanı	24
Şekil 1.4.5.	Bant üzerine yerleşimin hava akışı üzerine etkisi	25
Şekil 1.4.6.	DBM sınıfı bantlı kurutucu sistemi	25
Şekil 1.4.7.	IR kullanılan bantlı kurutma sistemi	26
Şekil 1.4.8.	Kondüksiyon ve konveksiyon mekanizmalı kurutma sistemi	26
Şekil 1.4.9.	Bantlı kurutma sistemi modeli	27
Şekil 1.4.10.	Çimento prosesinde atık ısı kullanılan bantlı kurutma sistemi	28
Şekil 1.4.11.	Tambur tipi kurutma sistemi	30
Şekil 1.4.12.	Tambur kurutucu konfigürasyonları	31
Şekil 1.4.13.	İnce film tipi kurutucu sistemi	33
Şekil 1.4.14.	İnce film prensibi	34
Şekil 1.4.15.	Yatay tip ince kurutma sistemi	35
Şekil 1.4.16.	Disk tipi kurutucu sistemi	35
Şekil 1.4.17.	Disk tipi kurutucunun temel yapısı	36
Şekil 1.4.18.	Endüstriyel disk tipi kurutucu	37
Şekil 1.4.19.	Basit akışkan yataklı kurutucu tasarımı	39
Şekil 1.4.20.	Kompleks tasarımlı sistem	39
Şekil 1.4.21.	Akışkan yataklı kombine sistem	40
Şekil 2.1.	Prototip kurutucu genel görünüm	41
Şekil 2.2.	Şaft, kürekler ve tekne	42
Şekil 2.3.	Kızgın yağ tankı ve yağ pompası	43
Şekil 2.4.	Isıtma sistemi elemanları	44
Şekil 2.5.	Salyangoz fan	44
Şekil 2.6.	Redüktörlü elektrik motoru	45
Şekil 2.7.	Kurutma denemesi	45
Şekil 2.8.	Ana gövde montajı	46
Şekil 2.9.	Kurutucu izolasyonu	46
Şekil 2.10.	Kürekli tip kurutucu prototipi	47
Şekil 2.11.	Sıcaklık profilleri ve ısı akıları	50
Şekil 2.12.	Nara markalı ticari kurutucu	50
Şekil 2.13.	Pedallı kurutucu sisteminde gerçekleşen ısı dirençleri	51

Şekil 3.1.1.	Kütle dengesi şematik gösterimi.....	53
Şekil 3.1.2.	Enerji dengesi şematik gösterimi.....	56
Şekil 4.3.	İlk kurutma denemesi.....	60
Şekil 4.4.	Kapalı sistemde kurutma denemesi.....	60
Şekil 4.5.	Kurutma öncesi ve sonrası görünüm.....	60
Şekil 4.6.	Kütle dengesi şematik gösterimi.....	61
Şekil 4.7.	Enerji dengesi şematik gösterimi.....	63



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.2.1.	Çamurun reolojik durumunun kuruluk ile ilişkisi.....	11
Tablo 1.3.1.	Çamur kurutmadan yararlanmaya ilişkin aralıklar.....	17
Tablo 1.3.2.	Çamur kurutma prosesi için öngörülen enerji sarfiyatları.....	18
Tablo 2.1.	Kurutucunun alan değerleri	42
Tablo 2.2.	Optima kapalı sistem ısı transfer yağının özellikleri.....	43
Tablo 2.3.	Kızgın yağ pompasının özellikleri	43
Tablo 2.4.	Tek emişli salyangoz fanın özellikleri	44
Tablo 2.5.	Elektrik motoru ve redüktörün özellikleri	45
Tablo 4.1.	Optimum çalışma koşulları.....	58
Tablo 4.2.	Kullar Atıksu Arıtma Tesisi susuzlaştırma ünitesi çıkış değerleri	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_1	:Çamur yatağı içerisindeki gömülü yüzey alanı, (m^2)
A_2	:Çamur yatağının serbest yüzey alanı, (m^2)
A	:Isı transfer yüzey alanı, (m^2)
A_{ps}	:Pedal ve şaftların yüzey alanı, (m^2)
A_{smo}	:Düzgün yüzey alanı, (m^2)
A_w	:Çeket duvarının yüzey alanı, (m^2)
a_w	:Çamurun nem aktivitesi
b	:Silindirin yarıçapı, (m)
c	:Malzeme yatağının sabit basınçtaki ısı kapasitesi, (J/kg K)
$c_{b,w}$	:Çamur yatağının spesifik ısı kapasitesi, (kJ/kg K)
$c_{b,d}$	:Kurutulmuş çamurun spesifik ısı kapasitesi, (kJ/kg K)
c_w	:Saf suyun spesifik ısı kapasitesi, (kJ/kg K)
d	:Çamurun partikül çapı, (μm)
D	:Kurutucu silindirik gövdenin çapı, (m)
Fr	:Froude sayısı
$h_{b,w}$	:Zaman bağlı ortalama ısı transfer katsayısı, (W/m^2K)
h_c	:Konveksiyon ısı transfer katsayısı, (W/m^2K)
h_{fp}	:Tek bir partiküle ait ısı transfer katsayısı, (W/m^2K)
H_f	:Kontak ısı transfer katsayısı, (W/m^2K)
h_m	:Ortalama ısı penetrasyon katsayısı, ($J/m^2K s$)
h_{oil}	:Yağın ısı direnci, (W/m^2K)
h_{ws}	:Kızgın yağdan ilk partikül tabakasına ısı transfer katsayısı, (W/m^2K)
h_{wall}	:Temas yüzeyi direnci, (W/m^2K)
h_{ws}^*	:Duvar ve ilk partikül tabakası arasındaki kontak direnci, (W/m^2K)
$\Delta H_v(X_i, T_s)$	:Latent buharlaşma ısı, (kJ/kg)
$\Delta H_T(X_i, T_s)$	:Toplam buharlaşma ısı, (kJ/kg)
$\Delta H_{des}(X_i, T_s)$	:Desorpsiyon ısı, (kJ/kg)
$J_0(X)$	:Bessel fonksiyonunun 0. mertebeden ilk türü
k_1	:Düzeltilme faktörü
k_2	:Düzeltilme faktörü
K_b	:Çamur yatağının termal difüzivitesi, (mm^2/s)
l	:Gaz molekülleri için modifiye edilmiş ortalama serbest yol, (L)
M	:Gaz moleküler ağırlığı, (gmol)
$m_{b,w}$	:Çamur yatağının ölçülen ağırlığı, (kg)
m_{DS}	:Çamurun katı madde içeriği, (kg)
m_v	:Çamurun kuruma hızı, (kg buharlaşan su/ m^2s)
n	:Şaftların dönme hızı, (d/d)
N_{mix}	:Penetrasyon modeline göre karışma sayısı, (d/d)
p	:Malzeme yatağının yoğunluğu, (kg/m^3)
$p_{b,w}$	:Çamur yatağının yoğunluğu, (kg/m^3)

P	:Gaz basıncı, ($\text{kg/m}^2\text{s}^{-1}$)
P_V	:Su buharının kısmi basıncı, ($\text{kg/m}^2\text{s}^{-1}$)
$P_{V,\text{sat}}$	:Suyun doyma basıncı, ($\text{kg/m}^2\text{s}^{-1}$)
q_1	:Kızgın yağın ısıtılması için gerekli olan enerji, (kj)
q_2	:Çamurun ısıtılması için gerekli olan enerji, (kj)
q_3	:Çevreye olan ısı kayıplarını karşılamak için gerekli enerji (kj)
q_{in}	:Kızgın yağdan kaynaklanan ısı akısı, (kj)
q_l	:Isı kaybı, (kj)
q_{lat}	:Latent buharlaşma ısısı, (kj)
q_{sen}	:Çamur yatağının sıcaklığını değiştiren ısı, (kj)
Q	:Isı transfer hızı, (W)
R	:Evrensel gaz sabiti, (J/mol.K)
t_c	:Kritik kalma süresi, (s)
t_{mix}	:Karıştırıcının zaman sabiti
t_R	:Karıştırıcı içerisindeki temas periyodu, (s)
t_s	:Çamurun bir kürek üzerinde geçen süresi, (s)
T	:Gaz sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
T_0	:Çamurun ilk sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
T_1	:Kızgın yağın sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
T_2	:Kurutulan malzemenin sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{bed},i}$	:Kontak periyodunun başlangıcında çamur yatağının sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{bed},i+1}$	:Kontak periyodunun sonunda çamur yatağının sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
T_{oil}	:Kızgın yağın sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
T_G	:Ortam havası sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
T_S	:Çamur yatağının yüzey sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
U	:Toplam ısı aktarım katsayısı, ($\text{W/m}^2\text{K}$)
$V_{b,w}$	:Çamur yatağının ölçülen hacmi, (m^3)

Kısaltmalar

DS	:Dry Solid (Kuru Madde Miktarı)
İSU	:Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi
PCB	:Polychlorinated Biphenyl (Poliklorlu Bifenil)

ARITMA ÇAMURUNUN KURUTULMASININ TERMODİNAMİK ANALİZİ

ÖZET

Termal yolla kurutma prosesi, arıtma çamurlarının kontrolü ve bertaraf edilmesi kapsamında kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Enerji giriş ve çıkışlarının hesaplanması, kurutucu sistemlerinin tasarlanması aşamasında büyük önem taşımaktadır. Kurutma sonucunda çamurun ısı değeri yükselmekte, böylece yakıt kalorifik değeri uygunsa başka bir yakıt katkısı olmadan kolayca yakılabilmektedir. Bu husus, enerji gereksinimi genellikle yüksek olan kurutma proseslerinin maliyetlerini düşürmek açısından destekleyici olmaktadır. Tez çalışmasında; Kocaeli-İSU Kullar Arıtma Tesisi'nin susuzlaştırma dekantörü çıkışından alınan evsel nitelikli arıtma çamuru örneği, N&A Çevre Teknolojileri firmasına ait araştırma laboratuvarında hazırlanan prototip kürekli tip kurutucu kullanılarak kurutulmuştur. Kürekli tip kurutucu sistemine ait termodinamik analiz hazırlanmış, kütle ve enerji denklıkları oluşturulmuş, arıtma çamurunun kurutulması için gerekli enerji miktarı hesaplanmıştır. Kurutulmuş ürünün ısı değeri tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda kurutulmuş çamurun yakılarak faydalı enerjiye dönüştürülmesi suretiyle sistemin enerji gereksiniminin sağlanabileceği ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arıtma Çamuru, Çamur Kurutma, Kürekli Tip Kurutucu.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF SEWAGE SLUDGE DRYING

ABSTRACT

Thermal sludge drying is one of the methods in order to manage and dispose of sewage sludge. Determining energy input and output of the process is of great importance to design the drying systems. As a result of drying process, calorific value of the sludge increases so that sludge can be easily incinerated without any additional fuel. Thus, sludge drying is supportive in terms of reducing costs of the energy intensive drying processes. In this research paddle dryer prototype manufactured at N&A Çevre Teknolojileri research laboratory is used to thermally dry sewage sludge sample taken from Kocaeli ISU-Kullar Wastewater Treatment Plant's dewatering decanter outlet. Thermodynamic analysis of the paddle dryer is performed, mass and energy balances are expressed and the energy requirement for sewage sludge drying process is calculated. Calorific value of the dried sludge is determined. Evaluation of the results revealed that drying system's energy requirement can be supplied via incineration of dried sewage sludge.

Keywords: Sewage Sludge, Sludge Drying, Paddle Dryer.

GİRİŞ

İçme suyu ve atık sulara fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri uygulanması sonucunda çökebilir veya yüzebilir hale getirilen katı maddeler çamur olarak tariflenir. Yüksek miktarlarda organik madde, besin maddeleri, patojen mikroorganizmalar ve çok miktarda su içerdiklerinden dolayı kendilerinin de ayrıca arıtılmaları gereken arıtılmadan çevreye verildiklerinde çevrede hasar oluşturabilecek, katı ve sıvı karışımından oluşan maddelerdir [1] .

Arıtma çamurlarının kullanımı uzun yıllardan beri tartışma konusu olmuştur. İlgili süreçlere tabi tutulan çamurdan sonrasında gübre veya yakıt olarak faydalanılabilir. Ancak çamurun işlenebilmesi ve yararlı hale getirilebilmesi için öncelikle bu işlemlerin yapılmasına uygun bir formda olması gerekmektedir.

Kurutma prosesi ile arıtma çamuru; kokusu azaltılmış, pastörize, depolanabilir, serpilebilir, taşınması kolay ve daha ileri proses kademelerine uygun bir hale getirilebilmektedir. Günümüzde kullanılan kurutma teknolojileri, bahsi geçen bu gereksinimleri hangi ölçüde sağladıklarına ve kurutulmuş çamurun nihai ürün olarak hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak, birbirinden ayrılırlar[2].

Termal yolla çamur kurutma sürecinde yüksek enerji gereksinimleri söz konusu olmaktadır. Geçtiğimiz son birkaç yılda, termal kurutma sistemlerinin tasarımı, enerji verimliliği etüdü ve optimizasyonu açısından termodinamik analizin önemi ortaya çıkmıştır . Kurutucu tipleri kapsamında yapılan araştırmada ,kürekli tip kurutucunun termodinamik analizine ilişkin literatür eksikliği tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasının konusu, kürekli tip kurutucu sisteminde evsel nitelikli arıtma çamurunun kurutulması prosesinin termodinamik analizidir. Kürekli tip kurutucu açık bir sistem olarak kabul edilmiş, ilgili kütle ve enerji denklileri oluşturulmuştur. Bu çalışma ile, kürekli tip kurutucu sisteminde giriş ve çıkış parametreleri bilinen çamur örneğinin kurutulmasına ilişkin enerji akışlarını analiz etmek isteyen insanlara fikir verilmesi hedeflenmiştir. N&A Çevre Teknolojileri firmasına ait araştırma laboratuvarında hazırlanan prototip kürekli tip kurutucuda gerçekleştirilen kurutma çalışmasına ait parametreler, hazırlanan termodinamik analiz modelinde yerine koyulmuş, böylece başlangıç ve çıkış koşulları bildirilen sistemin enerji akışları hesaplanmıştır.

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Arıtma Çamuru Kaynakları

Genel olarak çamur 3 ana kategoriden kaynaklanmaktadır. Bu sınıflar aşağıda belirtilmiştir;

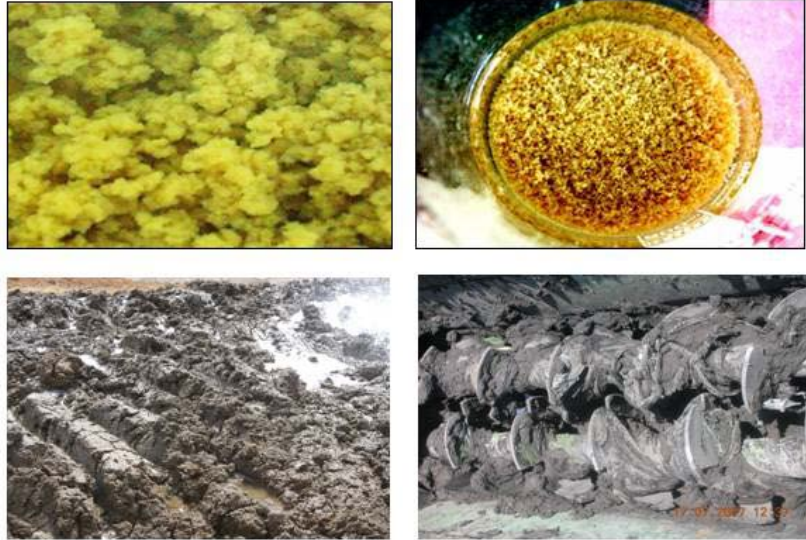
- İçme suyu arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları
- Atık su arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları
- Endüstriyel atık su arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları

Arıtma tipine ve amacına göre arıtma çamurlarının cinsleri farklılık göstermektedir.

Çamur cinsleri aşağıda belirtilmiştir;

- Çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar,
- İleri arıtma çamurları

Şekil 1.1' de değişik özellikte arıtma çamuru örnekleri görülmektedir.



Şekil 1. 1.Değişik özellikte arıtma çamuru örnekleri

1.2.Çamur Bertaraf Yöntemleri

Dünya genelinde hızla artan kentselleşme ve sanayileşme sonucunda atık su hacminde çok ciddi oranlarda artış görülmektedir. Ülkeler, toplum sağlığı açısından atık suların güvenilir bir biçimde deşarj edilmesi için bazı muamelelere tabi tutulmalarını yasalar gereğince zorunlu hale getirmişlerdir. Atık su arıtma tesislerinde gerçekleştirilen proseslerin bir yan ürünü olan arıtma çamuru, büyük hacimli(%95-99 su),zararlı bileşenler de içerebilen(fermente olabilir ürünler, patojenik organizmalar, ağır metaller, PCB vb.)bir yapıdır. Bu bakımdan büyük hacimlerdeki atık su büyük hacimlerde, gelişigüzel bertaraf edilmesi mümkün olmayan arıtma çamurlarını beraberinde getirecektir. Evsel ve endüstriyel arıtma tesislerinden çıkan atık çamurların nihai bertarafa verilmeden önce mutlaka arıtılması gerekmektedir [3].Çamur bertaraf yöntemleri aşağıda belirtilmiştir;

- Stabilizasyon
- Şartlandırma
- Yoğunlaştırma
- Susuzlaştırma
- Kurutma
- Nihai bertaraf

1.2.1.Stabilizasyon

Mikroorganizmaların çamurda aktif kalması durumunda patojenlerin canlı kalması, koku açığa çıkması ve bozunma meydana gelir. Bu yüzden çamurun uçucu bileşenlerinin stabilizasyonu gerekir. Stabilizasyon prosesi; uçucu bileşiklerin biyolojik parçalanması, uçucu bileşiklerin kimyasal oksidasyonu, mikroorganizmaları inhibe etmek üzere çamura kimyasal ilavesi, çamurun sterilizasyonu veya dezenfeksiyonu için ısı uygulaması işlemlerinin en az birini veya birkaçını ihtiva eder. Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca teknolojiler aşağıda verilmiştir;

- Kireç stabilizasyonu,
- Isıl arıtma,
- Havasız çürütme,
- Havalı çürütme
- Kompostlama

1.2.2.Şartlandırma

Çamurun susuzlaştırma özelliğini arttırmak üzere uygulanır. Kimyasal ilavesi ve ısıtma bu amaçla çok kullanılan metotlardır. Dondurma, ısınlama ve çözücü ekstraksiyonu gibi diğer metotlar da deneysel olarak kullanılmaktadır. Susuzlaştırma amacıyla şartlandırıcı kimyasalların kullanımı ile katının koagülasyonu ve absorbe olan suyun açığa çıkarılması sağlanır. Şartlandırma, vakum filtre, santrifüj, bant filtre ve pres filtre gibi ileri mekanik susuzlaştırma sistemleri öncesinde kullanılır. Kullanılan başlıca kimyasallar; demir klorür, kireç, alüm ve organik polimerlerdir. Isıtma sürekli bir proses olup, 260°C'ye kadar 2760 kN/m² basınçta yaklaşık 30 dk gibi kısa sürede çamurun ısıtılması esasına dayanır. Isıtma, kimyasal kullanmaksızın çamurun susuzlaştırılmasını sağlar. Çamur yüksek sıcaklık ve basınç altında kaldığında ısıtma aktivite ile bağlı su çamurdan ayrılır ve çamur koagüle olur. Buna ilave olarak, proteinli maddelerin hidrolizi gerçekleşir, hücre parçalanır, çözülmüş organik bileşikler ve amonyak açığa çıkar.

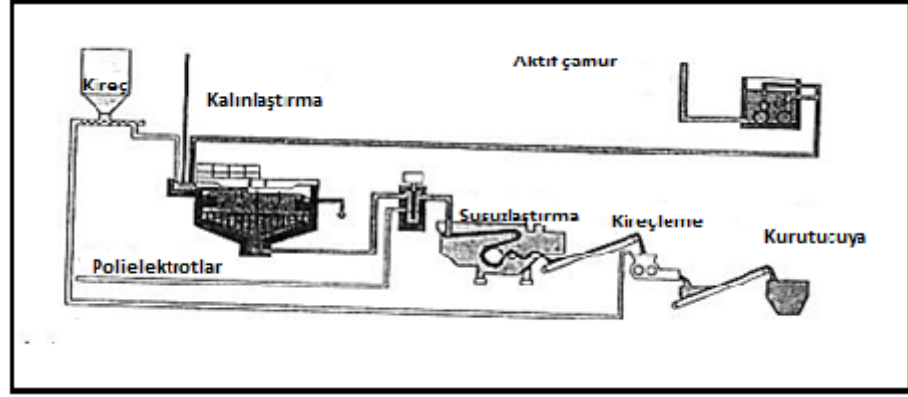
1.2.3.Yoğunlaştırma

Çamur yoğunlaştırma sistemleri; çamuru daha kıvamlı hale getirmek, dolayısıyla sürece daha küçük hacimdeki çamurla devam etmek için kullanılır. Yoğunlaştırma sonucunda katı madde derişimi 25 kat artabilir. Yoğunlaştırma işlemi çöktürme ve yüzdürme gibi metotlarla yapılabilmektedir. Yoğunlaşan çamurun hacmi bu sayede azalır ve susuzlaştırma maliyeti azaltılabilir. Yoğunlaştırmada özellikle ağırlıklı çökeltme metodu iyi sonuçlar vermektedir. Çökeltimin hızlandırılması için kimyasal koagülantlar ilave edilebilir. Gözenekler arasında bulunan (bağlı olmayan)su bu yöntemlerle uzaklaştırılabilir.

1.2.4.Susuzlaştırma

Çamur kurutma enerji tüketimi yoğun olan bir prosestir. Buna bağlı olarak ısıtma kurutma işleminden önce susuzlaştırma süreci yani bir miktar suyun buharlaşma olmaksızın uzaklaştırılması önem kazanmaktadır. Genellikle çamur susuzlaştırılmadan önce, yoğunlaştırılmış çamur filtre edilmesi kolay olan flokları oluşturmak üzere şartlandırılmaktadır.

En sık kullanılan metod, polielektrotlar, Fe(III), Fe(II), kireç veya Al(III) vasıtasıyla gerçekleştirilen kimyasal şartlandırmadır. Konvansiyonel tip çamur susuzlaştırma sistemi Şekil 1.2.1’de verilmektedir;

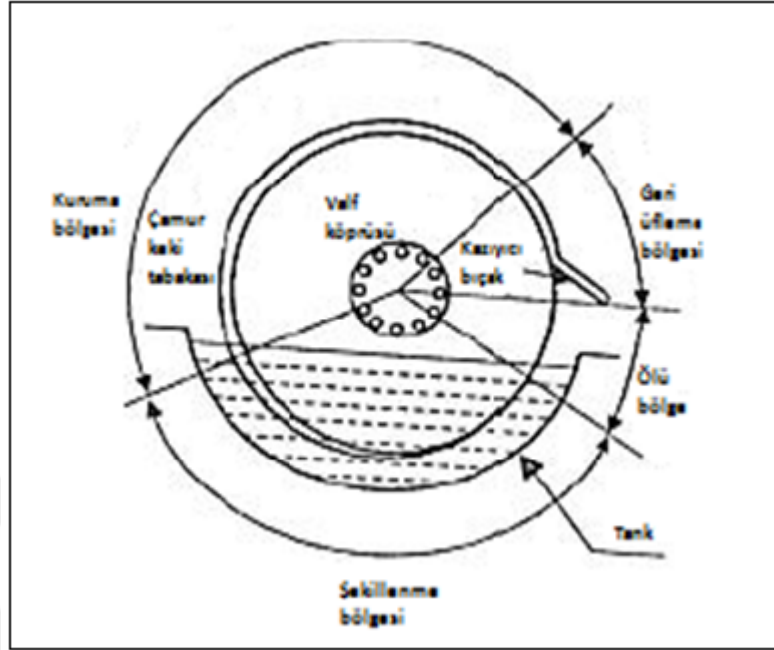


Şekil 1.2.1 Konvansiyonel tip susuzlaştırma sistemi

Kullanılan kimyasallar koagülan gibi davranarak katı partiküllerin veya çökelticilerin zeta potansiyelini köprüleme etkisiyle düşürerek düzgün formlarda floklar oluşturmaktadır. Yöntem olarak ayrıca basit ısıtma yöntemiyle termal şartlandırma ya da yaş oksitleme tercih edilebilir. Soğuk bölgelerde kış mevsiminde dondurma ve eritme tekniği de etkili olarak tercih edilebilir. Donma olayı sırasında oluşan buz kristalleri çamur partiküllerini kristal örgülerin dışına iterek katı buz bloklarını oluştururlar. Çamur tamamen donmuş hale getirilmelidir. Eritme sonrasında suyun hızla uzaklaştırılması ile >20% oranında katı içeriğine sahip susuzlaştırılmış çamur elde edilmektedir. Erimiş haldeki çamur filtre edilebilme özelliğini kaybetmemesi açısından çalkalanmamalıdır.

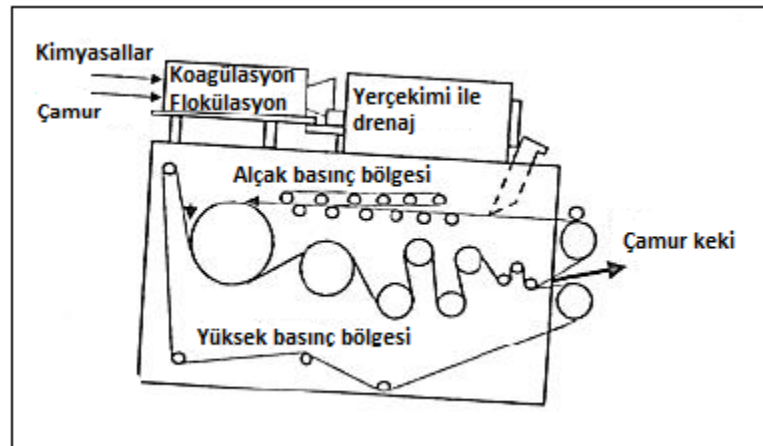
Çamurun mekanik olarak susuzlaştırılması için birtakım yöntemler mevcuttur. Bunlar; vakum filtreler, bantlı pres filtreler, santrifüj, membranlı pres filtreler olarak tanımlanabilir.

Şekil 1.2.2.'de vakum filtre çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 1.2.2. Vakum filtre çalışma bölgeleri

Günümüzde pek çok vakum filtre kurulumu yerini enerji verimliliği daha yüksek olan bantlı filtrelere bırakmaktadır. Bantlı pres filtreler kağıt yapımı prosesindeki presleme tekniğine benzerdir. Şekil 1.2.3'de bantlı pres filtre tekniği görülmektedir.



Şekil 1.2.3.Bantlı pres filtre sistemi

Koagülasyon ve flokülasyon(çöktürme) tekniği ile şartlandırılmış çamur yerçekimi etkisi altında süzöldükten sonra iki sonsuz filtre bantlarının arasında sıkıştırılarak süzölür. Gergin bantlarda basıncın etkisiyle çamurun suyu uzaklaştırılır. Böylece ilk durumda 2-5 %kuru madde içeriğine sahip olan çamur,15-25% kuru madde oranında çamur keki olarak sürekli biçimde sistemden alınır. İşleme tabi tutulacak çamur hacmi çok fazla miktarda değilse plaka ve çerçeveli baskı filtrelerinin kullanımı uygun olmaktadır.

Susuzlaştırma süreçlerinde döner preslerin kullanımı ise daha yeni bir yaklaşımdır. Biyokütle, duvarları döner filtre parçalarından oluşan periferik kanal içerisine pompalanır. Sistem dönme hareketi yaptıkça, sıkıştırma etkisi ile çamur bünyesindeki sıvı kısım filtre parçaları içerisine doğru hareket eder. İç kanallarda oluşan çamur keki ise sistemden alınır[4].

Santrifüj yöntemi ile susuzlaştırma tekniğinde ise sulu çamurlar hızla dönen bir silindire yüksek merkezkaç kuvvetine maruz bırakılmaktadır. Genellikle polielektrolit alum, kireç vb kimyasallarla şartlandırılan çamur 1600-2000 dev/dk hızla yatay bir eksen etrafında dönen santrifüjlere verilmektedir. Süzölen su dışarı atılmakta kıvamı artan çamur ise eksenel yönde ilerleyerek çıkış ucundan dışarı alınmaktadır. Santrifüjlerden çıkan çamur keklerinde katı madde oranları %20-35 değerlerine kadar elde edilebilmektedir.

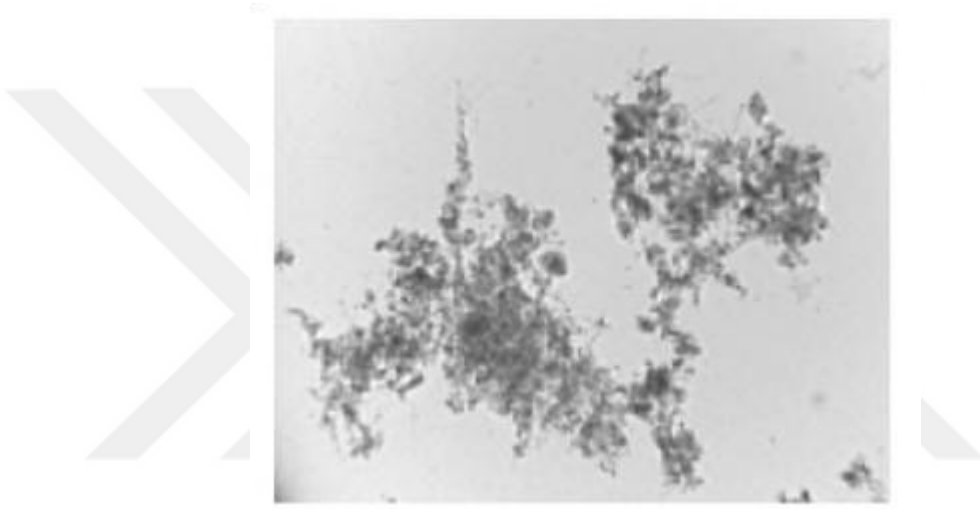
Membran filtreli presler ise konvansiyonel filtre preslerin modifiye edilmiş halleridir. Bu modifikasyonda; körüklü membran, otomatik temizleme, kontrollü doldurma ve otomatik deşarj gibi özellikler bulunmaktadır.

Çamur susuzlaştırma prosesi yeni teknolojilerle beraber gelişme göstermektedir. Uygun susuzlaştırma tekniğinin seçimi için çamur bertaraf yöntemi, tesisin işletme ve bakım kapasiteleri gibi faktörler göz önüne alınmalıdır [5].

1.2.5.Kurutma

Arıtma çamurunun susuzlaştırılması mekanik ve termal yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Mekanik yöntemle susuzlaştırma işleminin yerçekimi etkisiyle çöktürme, santrifüj ve filtrasyon (bantlı, vakumlu, basınçlı) yöntemleri ile gerçekleştirildiği susuzlaştırma kısmında açıklandı.Termal(ısıl)yöntem susuzlaştırma ise kurutma, yakma, piroliz, gazlaştırma, sulu oksitleme gibi teknikler kullanılarak gerçekleştirilir.

Çamur, endüstriyel tip kurutucularda kurutulan diğer ürünlere göre oldukça farklı bir yapıdadır.İçerik bakımından mikroorganizmalar, mineral partikülleri,kolloidler,organik polimerler,katyonlar ve lifler vb.den oluşan heterojen bir karışımdır.Bu nedenle bileşimi , kaynağı ve mevsimsel şartlar başta olmak üzere birtakım koşullara bağlı olarak değişmektedir.Bakteriyel metabolizmaların aktivitelerinin yan ürünü olarak husule gelen kompleks zamk yapısının içerisinde biyokütle ve askıda duran refrakter madde birlikte bulunmaktadır.Bu yapılar bakteriyel floklar olarak adlandırılmaktadır.Aktive edilmiş çamur flokuna ait görünüm 2001 yılında da Motta et al tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 1.2.4. Aktive edilmiş çamur floku

Kompleks polimerik ağ yapısının içerisinde, bakterinin etrafında ve içerisinde osmotik etkilerle birlikte,büyük miktarlarda su tutulabilir.Bu nedenle Vaxelaire J., Cezac P.,çamur bünyesinde bulunan suyun aşağıda belirtilen 4 genel sınıflandırmadan daha kompleks yapıda olduğunu belirtmişlerdir;

- Serbest su; katı partiküllerle ilişkili olmayan, boşlukta kapiler kuvvetlerden etkilenmeyen su
- Çatlak suyu; çatlaklar içerisinde bulunan su, floklar ve organizmalar arasındaki dokusal boşluklarda bulunan su

-Yüzey suyu; katı partiküllerin yüzeyine adsorpsiyon veya adhezyon kuvvetleri ile tutunmuş su

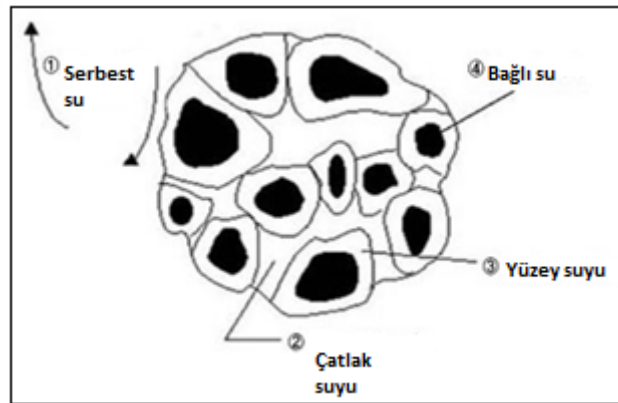
-Bağlı su; aşağıda belirtildiği üzere 3 kısımda incelenebilir;

-Biyolojik olarak bağlı olan su: Çamur içerisinde mevcut olan canlı organizmaların hücrelerinin parçası olan su, çamurun sabit fazına moleküler kuvvetlerle bağlıdır.

-Kimyasal olarak bağlı olan su: Çamurun sabit fazında bulunan moleküllerin oluşturduğu kristal örgünün parçasıdır.

- Fiziksel olarak bağlı olan su: Kolloidlerin yapısında faz sınırlarında mevcut olan yüzey gerilimi ile bağlı olan su.

Kolloidlerde bulunan ve kimyasal olarak bağlı bulunan su polimerik katkılar kullanılarak mekanik susuzlaştırma prosesi ile kısmen uzaklaştırılabilir. Kimyasal olarak bağlı olan su, yüzey gerilimini değiştiren polielektrotların kullanılması ile kırılabilir. Aynı durum fiziksel olarak bağlı su ve yarı bağlı su için de geçerlidir. Biyolojik olarak bağlı olan suyu uzaklaştırmak ancak çamur partikül duvarlarının ısıtma, dondurma veya elektroindüktif yöntemlerle kırılması ile mümkündür. Bu nedenle genellikle termal kurutma işlemi uygulanmadan biyolojik olarak bağlı suyu çamurdan uzaklaştırmak mümkün değildir. Aşağıdaki şekilde çamur bünyesindeki suyun dağılımı görülmektedir.



Şekil 1. 2. 5. Çamur bünyesindeki suyun dağılımı

Vaxelaire ve Cezac, 2004, çamur bünyesindeki suyun ayrıştırılması sürecini, bağlı su içeriği veya çamur içindeki suyun dağılımı gibi tek bir indeksten yola çıkarak açıklamanın yetersiz kalacağını savunmuşlardır. Bu nedenle çamur içindeki suyun dağılımını tespit etmek için kullanılan birtakım testler mevcuttur.

1.2.5.1 Çamur içindeki suyun dağılımının tespiti

Bağlı su içeriğinin tespit edilmesi için; genleşme ölçümü, vakum filtrasyonu, kurutma ve termal analiz gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Genleşme ölçümünde serbest suyun -20°C dolayında donacağı kabul edilmektedir. Miktarı bilinen çamur ölçekli dilatometre kabına yerleştirilir , -20°C sıcaklığındaki genleşme hacmi ölçölür ve serbest su miktarı tespit edilmektedir. Donmayan kısım ise bağlı su olmaktadır. Çamur; genellikle -20°C sıcaklığında donmayan, spesifik gravitesi 1.0'den az olan ve -20 ila 20 °C sıcaklık aralığında lineer genleşme karakteristiği gösteren bir akışkanla karışdırılmaktadır. Böylece donmuş çamur için hacim değişikliği kolaylıkla tespit edilmektedir. Bu tip proseslerde kullanılmak üzere önerilen akışkan ksilen olmaktadır. Ayrıca hidrolik yağ da bu amaçla kullanıma uygun bulunmuştur. Numune soğutma hızı, belirgin bir etkisi olmasa da genellikle 1°C/dk aralığında kontrol edilmektedir.

Vakum filtrasyonu yönteminde ise serbest su gözenekli ortamdan geçerken, bağlı su ile birlikte katı partiküller geçemez. Bağlı su içeriği ayrıca ince tabaka halindeki amurun 30-40°C aralığındaki sabit bir sıcaklıkta ve nemlilikte(50-60%bağıl nem) kurutulması ile de tayin edilmektedir. Serbest suyun kuruması sabit hızla tamamlanırken, bağlı suyun kuruma hızı nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak azalma göstermektedir. Kritik nem içeriği bağlı su içeriğine eşit olmaktadır.

Termal analiz yöntemleri kullanılarak serbest suyun donması sırasında açığa çıkan ısı veya donmuş suyun eritilmesi için gerekli olan ısı miktarı ölçülebilmektedir. Serbest suyun -20°C sıcaklığında donacağı kabul edilerek, donma ve erime sırasında açığa çıkan veya gerekli olan ısı miktarı kalorimetre kullanılarak veya ayrımsal taramalı kalorimetre kullanılarak tayin edilebilmektedir.

1.2.5.2.Çamurun reolojik özelliklerinin kuruma üzerine etkisi

Çamurun karakteristik özelliklerinin net bir biçimde tespit edilip,susuzlaştırma ve kurutma süreçlerindeki davranışlarını bu özellikleri ile açıklamak ayrıntılı olarak ele alınması gereken bir konudur.

Çamurlar ayrıca su içerikleri ile ilişkili olan karmaşık reolojik özellikleriyle de karakterize edilirler. Aşağıdaki tabloda çamurun kuru madde içeriği ile reolojik durumu arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 1.2.1 Çamurun reolojik durumunun kuruluk ile ilişkisi

Kuru katı içeriği %DS	<10	10-40	40-60	60-90	>90
Durum	Sıvı	Macun kıvamında viskoz sıvı	Yapışkan faz	Granül katı	Kuru katı

Pek çok çamur yüksek oranda su içeren macun kıvamında bir yapıya sahiptir. Genellikle bant filtre veya santrifüj yöntemi ile susuzlaştırıldıktan sonra çamur, katı içeriği %20-25 olacak hale gelir. Filtre preslerle susuzlaştırma yöntemi ile çamurun katı madde içeriği %30-35 aralığına kadar getirilir. Filtre presler performans bakımından daha üstün olmalarına rağmen sürekli çalışma koşulları söz konusu olmadığından büyük kapasiteli atık su arıtma tesisleri için kullanımları uygun değildir.

Huron Y. ve diğ., pompalama,kireçleme vb gibi bazı işlemlerin çamurun reolojik özelliklerini ve kuruma karakteristiklerini belirgin ölçüde etkileyebileceğini ileri sürmüşlerdir. Leonard A. ve diğ., yaklaşık olarak %20 oranında aynı başlangıç katı madde içeriğine sahip olan çamurlardan bazılarının ekstrüzyon için uygun iken bazıları uygun olmayıp kurutucu içerisinde yığın oluşturabileceğini açıklamıştır. Ferrasse J. ve diğ., yaklaşık 45-60% katı madde içeriğine sahip çoğu çamurun, kurutucunun hidrodinamik karakteristiğini,gaz-katı temas yüzeyini etkileyecek şekilde yapışkan hale geldiğini açıklamıştır.Bazı durumlarda çamurların organik madde içeriklerine bağlı olarak spesifik koşullar meydana gelebilmektedir. Fraikin L. ve diğ.,depolanma sırasında oksijenli veya oksijensiz fermantasyon sonucunda meydana gelen yapıların, çamurun reolojik özelliklerini ve kuruma karakteristiğini değiştirebildiğini belirtmiştir. Ferrasse J. ve diğ.,ısıtma sonucunda çamur içerisindeki bazı organik maddelerin parçalanarak hidrojen sülfür gibi kötü kokulu,uçucu organik maddelerin emisyonlarının ortaya çıkabildiğini belirtmişlerdir.

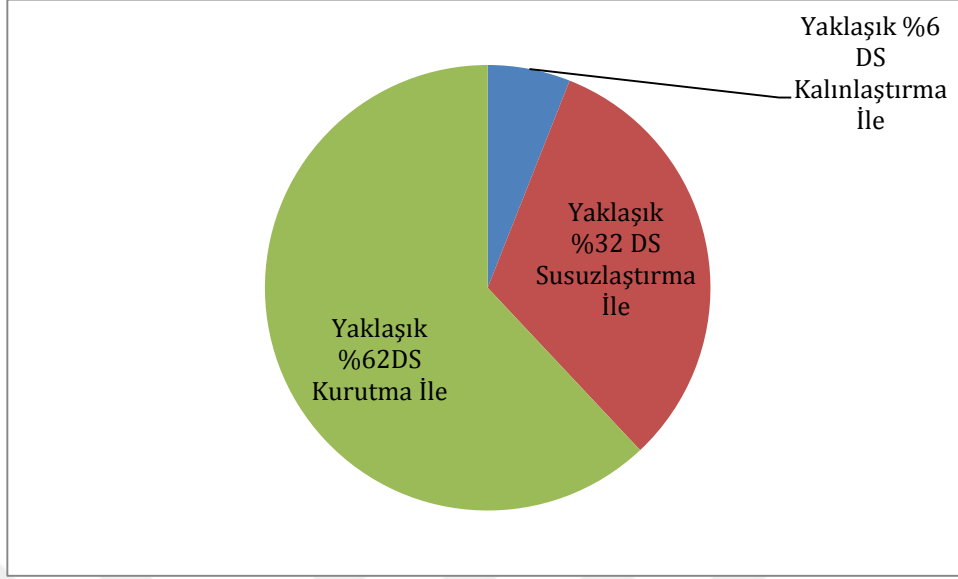
Buharın tekrar yoğuşturulamayan kısımları biyofiltereler, yıkayıcılar, absorpsiyon& adsorpsiyon ünitelerinde muamele edilirken, kondensat kısmı ise prosese tekrar gönderilmektedir. Bahsedilen bu özellikler ve çamurla ilgili yasal mevzuatlar göz önüne alınarak kurutucu tasarımları ve enerji analizleri gerçekleştirilmelidir.

1.2.5.3.Çamur kurutmanın sağladığı avantajlar

Kopp J. ve diğ., çamur bünyesindeki serbest suyun mekanik susuzlaştırma yöntemleri ile uzaklaştırılabileceğini fakat bağlı suyun uzaklaştırılması için çamur kurutuma prosesinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir [6]. Termal yolla çamur kurutulmasına karar verilmeden önce yüksek enerji ihtiyacı göz önüne alınarak, bu işlemin gerçekten gerekli olup olmadığı analiz edilmelidir. En azından biyogaz, yüksek entalpi değerine sahip atık gazlar vb. gibi başka bir prosesin atık ısısından çamur kurutma amaçlı olarak faydalanma imkanı yoksa kurutma prosesi şüphesiz ucuz maliyetli olmayacaktır. Diğer yandan çamur bünyesindeki kuru madde içeriğini belli oranların üzerinde sağlamak için termal kurutma işleminin gerekli olduğu açıktır. Örnek bir çamur numunesi için gerçekleştirilen çalışmaya ait veriler aşağıda sunulmuştur.

Başlangıç durumunda kuru madde oranı %2 olan çamur içerisinde %2 oranında kuru kütle bulunmaktadır. Prosese tabi tutulan çamur içerisinde bulunma olasılığı olan toplam katı madde miktarı %100(52-%90) aralığında olup, nihai durumda çamur içerisindeki katı oranının %90 olması hedeflenmiştir. Çamur kalınlaştırma prosesi ile %7 oranında DS, susuzlaştırma prosesi sonucunda ise %35 oranında DS değeri sağlanmıştır. Çamur içerisinde %90 oranında DS sağlanabilmesi için ;%6 oranında DS çamur kalınlaştırma prosesi ile, sonrasında %32 oranında DS susuzlaştırma prosesi ile, kalan %62 olası toplam DS oranı ise termal kurutma prosesi ile sağlanabilmektedir. Bahsi geçen prosese ait bulgular Şekil 1.2.6'de sunulmaktadır.

Şekil 1.2.6. Çamur şartlandırma işlemleri sonucunda katı madde yüzdeleri



Çalışma sonucunda çamur içerisindeki su yüzdesi minimize edilmek isteniyorsa (yaklaşık%90 DS) veya nem içeriği mekanik susuzlaştırma prosesi ile garanti edilenden daha düşük bir değere ayarlanmak isteniyorsa termal kurutma işleminin uygulanmasının gerekli olduğu ortaya koyulmuştur. Termal kurutma yöntemi en başarılı susuzlaştırma prosesinden daha efektif biçimde çamur bünyesindeki suyu uzaklaştırmaktadır.

Termal yolla çamur kurutma prosesinin uygulanmasının sağladığı başlıca avantajlar aşağıda maddeler halinde belirtilmektedir;

- Çamur bünyesindeki suyu uzaklaştırmak suretiyle hacmi yaklaşık olarak 4-5 katı oranında azaltılmaktadır. Böylece nakledilmesi ve depolanması kolaylaşmaktadır.
- Kurutma sonucunda çamurun kalorifik değeri yükselmekte, yakıt kalorifik değeri uygunsa ,başka bir yakıt katkısı olmadan kolayca yakılabilmektedir.
- Çamur bünyesindeki patojen organizmaların yok olması ile çamur nispeten hijyenik hale gelmektedir.
- Çamur içindeki toplam katı madde oranının, DS>%90 haline gelmesi sonucunda çamurun stabil hale gelmesi sağlanmaktadır.
- Tarımsal arazilerde kullanılırken makinelerle toprağa yayılmasından önce çamurun yapısı düzeltilmektedir.

-Çamur kıymetli hale getirilmekte ve bu şekilde gübre veya tarımsal amaçlı toprak katkısı olarak kullanılabilir.

Modern kurutma ünitelerinde kurutulan ürün çamur; bünyesinde hacimce 5-10% oranında su, maksimum %1 oranında toz içeren, 1-4 mm boyutlarında granül yapısındadır. Çamur içerisindeki kuru madde kütlesinin 1/3(33,3%) kadar kısmının yanma prosesine katılmayan mineral içeriği olduğu kabul edilerek, kurutulmuş çamurun üst ısı değeri yaklaşık 14 MJ/kg kuru madde olarak hesaplanmaktadır.

Kurutulmuş çamur doğal gübre olarak kullanıldığında suni gübreye nispeten doğayla daha az oranda etkileşime girmektedir. Termal kurutma prosesi sonucunda elde edilen gübrenin avantaj getiren yönleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Azot salınımı daha yavaş olmaktadır.
- Bitkiler için temel besin öğelerini içermektedir.
- Kumlu toprakların su tutma kapasitelerini yükseltir.
- Toprağın besin öğelerini tutma kapasitesini yükseltir.
- Suni gübre kullanımında yaşanabildiği gibi yeraltı suları açısından tehlike arz etmemektedir.

Buna karşın çamurun içerisinde bulunan patojenik mikroorganizmalar sebebiyle insan sağlığı ve çevre açısından bir tehdit oluşturabileceği unutulmamalıdır. Termal kurutma prosesi sırasında çamur, minimum 85 °C sıcaklıkta yaklaşık olarak 30 dakika kalmak suretiyle pastörizasyon işlemine maruz kalmaktadır. Hatta 100-140 °C sıcaklığına kadar ısıtıldığı kontak kurutucularda işleme tabi tutulan çamur kısmen sterilizasyona uğramıştır. Bu bakımdan ısı yolla kurutulan çamur sağlık açısından tehlike teşkil etmemektedir.

1.3.Çamur Kurutma Prosesi

1.3.1. Isı ve kütle transferi

Kurutulan çamur ve kurutucu hava akımı arasında gerçekleşen kütle ve ısı transferi kurutuma prosesi açısından büyük önem taşımaktadır. Isı transferi konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon yolu ile gerçekleşmektedir. Kütle transferi nemin yüksek konsantrasyonda bulunduğu bölgeden düşük konsantrasyonda olduğu bölgeye doğru difüzyon sonucunda hareket etmesi ile gerçekleşir. Sıcak kaynak (hava akımı,

ısıtılmış yüzey vb) ile temas halinde olan çamurun yüzeyindeki nem, havanın içine doğru buharlaşır. Nemin buharlaşma hızı malzemelerin özelliklerine bağlı olarak değişen karakteristik bir özelliktir. Buharlaşma hızı, çamur bünyesindeki suyun maksimum oranda olduğu, buharlaşma sürecinin ilk evresinde, en yüksek değerindedir. Sürecin takip eden evrelerinde giderek azalır. Nemin buharlaşma hızı aynı zamanda kurutucu ortam ile kurutulan malzeme arasındaki temas yüzeyine de bağlı olmaktadır. Temas yüzeyi arttıkça nemin buharlaşma hızı da artmaktadır. Çamur kurutma prosesi için temas yüzeyinin artırılması granülasyon yardımıyla sağlanmaktadır. Bu şekilde kurutma prosesi ısı ve ekonomik bakımdan makul olmaktadır.

1.3.2.Kurumanın aşamaları

Kuruma prosesinin ilk aşaması ön kuruma evresidir. Bu çok kısa süreli periyot boyunca, çamurun sıcaklığı belirli sabit bir değere kadar yükselmektedir. Ön kuruma evresini takiben asıl kuruma evresi başlamaktadır. Bu en uzun kuruma evresi boyunca, çamurun türünden bağımsız olarak, çamur partiküllerinin yüzeyindeki nem sabit bir hızla buharlaşmaktadır. Çamur partiküllerinin yüzeyinde bulunan su (nem)sürekli olarak buharlaşmakta ve buharlaşan nemin yerine çamurun iç kısımlarında bulunan su gelmektedir. Böylece partiküllerin yüzeyi sürekli olarak yenilenen sabit bir nem tabakası(film) ile kaplı olmaktadır. Asıl kuruma evresinde, çamurun sıcaklığı partikülleri çevreleyen suyun sıcaklığı ile aynı değerde olacak biçimde (50-85°C)sabit bir değerdedir. Bu evrenin süresi, çamur partiküllerinin yüzeyindeki nem ile partiküllerin içindeki bağlı olmayan suyun miktarı arasındaki farka bağlıdır. Çamur kurutma prosesinin 3.aşaması son kuruma evresidir. Bu evre; çamurun sıcaklığının yükselmeye başladığı, bünyesindeki nemin kritik bir değere ulaştığı anda başlamaktadır. Nemin yüzeyden buharlaşma hızı, partiküllerin iç kısımlarda bulunan suyun yüzeye doğru gerçekleşen yer değiştirme hızından daha yüksektir. Son evrede kuruma hızı, kuruma sıcaklığı ve havanın nem içeriğine bağlı olan denge-nem içeriğine ulaşıncaya dek azalma göstermektedir.Kuruma hızının bağlı olduğu faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- Kuruma sıcaklığı ve havanın nem içeriği
- Isıtıcı kaynağın(sıcak hava, sıcak yüzeyler)hareket hızı ve yönü
- Çamurun sıcak hava ile temas yüzeyi, temas ettirilme şekli
- Çamurun karıştırılması
- Çamurun ilgili kurutma ünitesinde kalış süresi

Kurutma sırasında çamur sıvı fazdan yapışkan macun benzeri bir forma dönüşmektedir. Bu faz çamurun yapışkan fazı olarak adlandırılmaktadır. Yapışkan faz halindeki çamur, kurutma sırasında kurutucunun iç çeperlerine asılı kalma eğilimindedir. Bu durum kurutucunun verimini azaltmaktadır. Yapışkan faz vaziyeti bazı durumlarda kurutucunun arızalanmasına neden olmaktadır. Evsel atık kaynaklı standart bir çamur için yapışkan faz durumu çamur içinde 45-65%DS oranında görülmektedir. 20-35%DS oranına getirilmiş susuzlaştırılmış çamur 90-95% DS oranına sahip önceden kurutulmuş çamurla karıştırılmalıdır. Böylece kurutucu girişine beslenen çamur 65-75%DS oranına ayarlanmaktadır. Ayrıca çamurun bu şekilde karıştırılarak kurutma sistemine verilmesi ile çamurun yapısal olarak iyileştirilmesi söz konusudur. Çamurun uygun granülasyon formuna sahip olması ise kurutulmuş çamurdan yararlanma aşaması açısından özellikle önemlidir. Evsel atık kaynaklı çamurun olumsuz fiziksel özellikleri düşünüldüğünde 48-80%DS oranı aralıklarına çamur kurutulması önerilmemektedir. 30-48%DS oranına kadar kısmi kurutma veya 80-97%DS oranına kadar tam kurutma proses ve ünitelerden en iyi şekilde faydalanılması için uygun olmaktadır.

Kurutucudan toplanan nemli hava yani buhar, atmosfere salınmadan önce bir takım işlemlere tabi tutulmaktadır. İlk aşamada partiküller uzaklaştırılmaktadır. Bu işlem toz tutma siklonlarında veya torbalı filtrelerde gerçekleştirilmektedir. Daha sonraki aşamada ise buhar soğutulmakta ve elde edilen kondensat atık su arıtma tesisine gönderilmektedir. Buhar yoğunlaştırma prosesi sprey tipi cihazlarda direkt veya membran tipi ısı değiştiricilerde dolaylı olarak gerçekleştirilmektedir. Soğutma işlemi hava, işlem görmüş atık su veya su vasıtasıyla kapalı devre sistemde sağlanmaktadır. Sıcak buharın yoğunlaştırılması ile açığa çıkan atık ısı tekrar kullanılabilir. İçerisindeki buhardan arındırılan hava atmosfere salınmadan önce biyolojik filtrelerle veya alev yöntemiyle deoderize (kokusuzlaştırma) edilmelidir.

1.3.3.Çamur kurutma ünitesinin seçimi

Çamur kurutma ünitesinin seçimi, kurutulacak çamurun tipine ve planlanan kullanım alanına bağlı olarak yapılmalıdır. Fransız uzmanlar tarafından gerçekleştirilen çalışmaların sonucunda belirlenen aralık değerleri Tablo 1.3.1'de görülmektedir.

Tablo 1.3.1.Çamur kurutmadan yararlanmaya ilişkin aralıklar

Yararlanma Metodu	Kuruma Aralığı			Kurutmanın Amaçları
	30-40%	60-90%	90% üzeri	
Tarımsal	Teknik ve ekonomik bakımdan verimsiz	Verimli	Verimli	1)Nakliye ve depolama uygunluğu 2)Stabilizasyon,sanitasyon (90% üzerinde DS için)
Yakma	35-45 %DS olarak verimli	Teknik ve ekonomik bakımdan verimsiz	Çamurun bir kısmı yakma ünitesine gönderilmeden önce tamamen kurutulup 35-45 %DS oranına sahip olan çamur ile karıştırılırsa verimli	Ototermik yakma
Atıklarla Birlikte Yakma	Teknik ve ekonomik bakımdan verimsiz	Verimli	Verimli	Kolaylaştırılmış nakliye, depolama ve yakma süreci

Kurutulmuş çamurdan tarım amaçlı, yakıt amaçlı vb olarak yararlanılması düşünülen alana göre optimum kurutma aralığı tayin edilmektedir. Çamur, tarımsal amaçlarla veya atıklarla birlikte yakılmak suretiyle alternatif yakıt olarak kullanılacaksa %60 ve üzeri DS oranlarına kadar kurutulması önerilmektedir. Çamur özel olarak tasarlanmış sistemlerde tek başına yakılacaksa %35-45 DS oranlarında kısmi kurutma önerilmektedir. Ayrıca spesifik özelliklere sahip yakıt elde edilmek isteniyorsa %90 üzerinde DS oranına kadar kurutulmuş çamur, yakma ünitesine gönderilmeden önce %35-45 DS oranına sahip çamurla karıştırılmalıdır.

1.3.4.Enerji tüketimi ve kurutma maliyetleri

Çamur bertaraf kapsamında kullanılan çeşitli yöntemler toplam maliyetleri açısından kıyaslandığında çamur kurutma prosesi çoğu kez en uygun seçenek olmaktadır. Karar aşamasında ekonomik etmenler dışında dikkate alınması gereken diğer parametreler aşağıda belirtilmiştir;

- Çözümün güvenilirliği
- Servis ve işletme kolaylığı
- Depolama ve nakliye kolaylığı
- Sunulan çözümün çevre dostu olması

Çamur kurutma prosesinin enerji tüketimi büyük ölçüde kurutulacak çamurun bünyesindeki su miktarına bağlı olmaktadır. Bu bakımdan yüksek verimlilikteki bantlı pres ve filtre preslerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Çamur stabilizasyon metoduna bağlı olarak, susuzlaştırılmış çamurda 20-35%DS oranına ulaşmak mümkündür. Korezak-Niedzialska ve Gromiec ;minimum 18-20%DS miktarına ulaşmaya dek çamurun susuzlaştırılmasını ve bu işlemi takiben susuzlaştırılmış çamurun kurutma ünitesinde işleme tabi tutulmasını önermişlerdir. Çamur kurutma prosesinin enerji tüketimi ayrıca kurutma ünitelerindeki teknik kapsamlı çözümlere de büyük ölçüde bağlı olmaktadır. Bu hususta öne çıkan parametreler aşağıda verilmiştir;

-Kurutucunun tipi

-Atık ısı geri kazanım yöntemi

-Isıtıcı gaz, istim veya diğer ısı taşıyıcıların sistem içerisinde transfer edilme şekilleri

-Çamurun karakteristik özellikleri

Termal yolla çamur kurutma işleminin enerji gereksinimi fazladır. Bu nedenle proses için gerekli ısı enerjisini fosil yakıtlardan temin etmek yerine biyogaz, çamur veya diğer alternatif yakıtların yakılması sonucunda açığa çıkan ısıнын veya herhangi bir prosesin atık ısısının kullanılması yerinde olacaktır. Fransız uzmanlara göre, çamur kurutma işlemi sırasında oluşacak tahmini enerji sarfiyatları Tablo 1.3.2 'de verilmiştir;

Tablo 1.3.2.Çamur kurutma prosesi için öngörülen tahmini enerji sarfiyatları

Enerji faktörü tüketimi	Birim	35% DS için	95 % DS için
Akaryakıt	l/t DS	120	300
Elektrik enerjisi	Kwh/t DS	30	50

Atık su arıtma tesisinden elde edilen biyogazın kullanılması sonucunda başlangıçta 25%DS oranına sahip 1 m³ çamuru kurutmanın maliyeti yaklaşık olarak 13-15 € bedelinde olmaktadır. Aynı işlem için akaryakıt kullanılması durumunda ise maliyet yaklaşık olarak 21-26 € bedeline yükselmektedir.

1.3.5.Çamur kurutma ünitesi için yer seçimi

Çamur kurutma ünitesi için uygun yer seçimi özellikle ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Atık su arıtma tesislerinde çamur kurutma ünitesinin çamura ön muamele işlemlerinin uygulandığı alana kurulmasına bağlı olarak kurutma prosesi, bertaraf işlemlerinin gerçekleştirildiği hattın bir parçası olacaktır. Arıtma tesisleri bünyesinde, merkezi bir çamur kurutma ünitesi veya her bir birim için kurutma

üniteleri kurulması tercih edilebilir. Birden fazla atık su arıtma tesisi için ortak bir kurutma ünitesinin kurulması ile tek bir tesisten gelecek olan çamura nispeten belirgin ölçüde fazla miktarda çamurun kurutma sürecine tabi tutulması söz konusu olacaktır. Bu noktada çamur kurutma için taşınabilir ünite kurulması da bir seçenek olarak düşünülebilir. Her bir atık su arıtma tesisine çamur kurutucu yerleştirilmesi durumunda ise; arıtma tesisinde bulunan sulu çamurun kurutma ünitesine taşınması için ekipman gereksiniminin ortadan kalkması, büyük miktarlardaki çamurun toplanıp depolanabilmesi, kurutma sırasında açığa çıkan buharların doğrudan arıtma hattına gönderilerek çürük istim bünyesindeki ısıнын kullanılması ile atık ısıdan faydalanılması gibi avantajlar söz konusu olmaktadır. Ancak bu tip bir sistem merkezi kurutma ünitesi ile kıyaslandığında, nispeten yüksek oranda yatırım ve işletme maliyetleri söz konusu olmaktadır.

1.3.6.Çamurun depolanması

Kurutulmuş çamur gibi kurutma öncesinde susuzlaştırma işlemine tabi tutulmuş çamurun da depolanması gerekmektedir. Kurutma ünitesinde herhangi bir aksaklık yaşanması durumuna karşın susuzlaştırılmış çamur tedbir olarak depolanmalıdır. Susuzlaştırılmış çamurun depolanması homojen kalitede çamur sağlanması bakımından da faydalı olmaktadır. Ayrıca kurutulmuş ürün çamurun depolanması da bazı durumlarda kritik olmaktadır. Örneğin ürün çamurun yakıldığı bir yakma ünitesinin devre dışı durumda olması durumunda depolanma imkanı olması bir avantajdır. Kurutulmuş çamurun depolanma şartlarına ise özellikle dikkat edilmelidir. Dış ortamdan tekrar nem çekmesi mutlaka önlenmeli ve gaz formundaki inert azot ortamı ile çevrelenmiş silolarda muhafaza edilerek kendi kendine tutuşmasının önüne geçilmelidir.

1.4.Kurutucu Tipleri

Piyasada çamur kurutma amacıyla kullanılan pek çok endüstriyel kurutucu tipi bulunmaktadır. Kurutucuların sınıflandırılması kurutucu içerisinde gerçekleşen ısı ve kütle transferi yöntemlerine bağlı olmaktadır. Kurutucular aşağıda belirtildiği gibi sınıflandırılmaktadır;

- Malzemenin doğrudan kurutucu hava (sıcak gaz) akımına maruz bırakılarak kurutma işleminin gerçekleştirildiği direkt(konvektif) kurutucular

- Çamurun, temas halinde bulunduğu sıcak yüzeyler boyunca yoğunlaşmakta olan buhar gibi bir ısı kaynağı ile ısı transferi içerisinde bulunduğu endirekt (kontakt) kurutucular
- Kontakt ve konvektif kurutucuların kombinasyonu biçiminde tasarlanmış kurutucular
- Radyasyon veya yüksek frekanslı akımların kullanımıyla oluşturulan IR kurutucular

Direkt kurutma üniteleri; çamur kurutma amaçlı kullanılabilen, çamurun sıcak kaynak ile doğrudan temas halinde bulunduğu sistemler olup, aşağıda belirtildiği üzere sınıflandırılırlar;

- Pnömatik Kurutucular(Flaş Kurutucular)
- Döner veya tambur kurutucular
- Akışkan yataklı kurutucular
- Bantlı kurutucular

Bu tip kurutucular genellikle yüksek sıcaklıktaki ısıtıcı ortam ile çalışmaktadır. Bu nedenle çoğu kez çamur tozu ve toz kaynaklı patlamalar gibi sakıncaları söz konusu olmaktadır. Konvektif kurutucu üniteleri kullanılırken pahalı hava koruma ve kokusuzlaştırma sistemlerinin de tatbik edilmesi gerekmektedir. Bu sistemlerin maliyetleri ise tüm kurutma ünitesinin maliyetinin %30-35 oranına tekabül eden bir değeri bulabilmektedir. Basit tasarımlarına rağmen direkt kurutucuların diğer başlıca dezavantajları; kurutucudan çıkan egzoz gazının taşıdığı toz ve uçucu bileşenlerden kaynaklanan, belirgin ölçüde kirletici özelliğe sahip olması, kurutulma derecesine bağlı olarak kurutulmuş çamurun sistem içerisinde devrettirilmesi gerekliliği, sistem içerisindeki kurutucu sıcak hava ortamının enerji tasarrufu sağlanması bakımından devrettirilmesi gerektiğinde, kuruma sırasında çamur bünyesinden açığa çıkan buharların devrettirilen hava akımından ayrılması zorunluluğu gibi faktörler olarak sıralanabilir. Endirekt kurutma üniteleri; ısının çamura kurutucunun iç yüzeyinden iletildiği sistemlerdir. İletim yoluyla gerçekleşen ısı transferi nedeniyle kondüksiyon sistemleri olarak da adlandırılmaktadırlar. Akışkanın ısı enerjisi cidarın metal yüzeyine aktarıldıktan sonra cidarın diğer yüzeyiyle kontak halindeki çamura kondüksiyon ile transfer edilmektedir. Bu sistemlerde çamur ile ısı taşıyan akışkan direk temasta bulunmamaktadır. Dolaylı kurutuculu sistemlerde işlemin doğasından dolayı ısı transfer verimliliği direk sistemlere göre daha düşük olmaktadır.

Bu sistemlerde ısı genel olarak kızgın yağlarla taşınmaktadır. Sistemdeki yağ eşanjörler vasıtasıyla ısıtılmakta ve kapalı bir devrede dolaşmaktadır. Yağı ısıtmak için gerekli ısı ise brülör benzeri sistemlerle direk yakmak suretiyle veya atık ısı kullanımıyla elde edilebilmektedir. Devrede dolaşan yağ sıcaklığı genel olarak 200 °C üzerinde olmaktadır. Eşanjöre yağı ısıtmak için ısı getiren akışkan eşanjör çıkışında hala yüksek miktarda enerji taşımaktadır. Bu enerji işlemin başka bir yerinde kullanılmıyorsa verimde önemli kayıplara sebep olmaktadır. Kurutucu içerisinde kurutma amaçlı gaz dolaşmadığı için buharlaşmadan kaynaklanan nemi dışarıya taşımak amacıyla sistemde ayrı bir devrede hava akımı dolaşmaktadır. Dolaylı kurutma sistemlerinde kurutucunun içerisinde çamurun sıcak yüzeyle temasını sağlamak üzere türbin benzeri çeşitli mekanizmalar kullanılmaktadır. Bu mekanizmalarda karşılaşılan temel problemler temas nedeniyle parçalarda yaşanan aşınma ve kurutucu içerisinde göreceli olarak karşılaşılan yüksek toz konsantrasyonu olmaktadır. En yaygın olarak kullanılan tipleri ince film ve disk tipi kurutucular olan dolaylı kurutma sistemleri, aşağıda belirtildiği üzere sınıflandırılırlar;

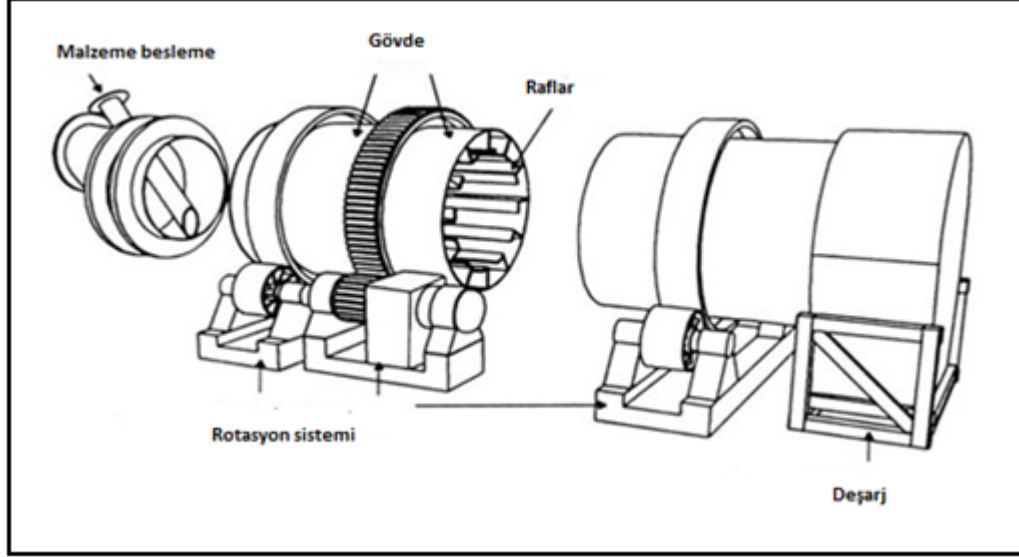
- İnce film Kurutucular
- Disk tipi Kurutucular
- Çok raflı kurutucular

Endirekt kurutucuların tercih edilmesinin başlıca avantajları; minimum miktarda buhar açığa çıkması nedeniyle işletme kolaylığı, azaltılmış koku ve toz riski, azaltılmış emisyonlar, kurutulmuş çamurun sistemde devrettirilmesi gerekliliğinin ortadan kalkması olarak sıralanabilir. Endirekt kurutucuların başlıca dezavantajı ise direkt kurutucular gibi çok yüksek sıcaklıklarda çalışmadığı için bunlara nazaran kurutma hızlarının düşük ve daha az verimli olmalarıdır. Ayrıca endirekt kurutucuların kurutma verimleri düşük olmakta ve buna bağlı olarak çamurun üniteye kalma süresi uzamaktadır[7].

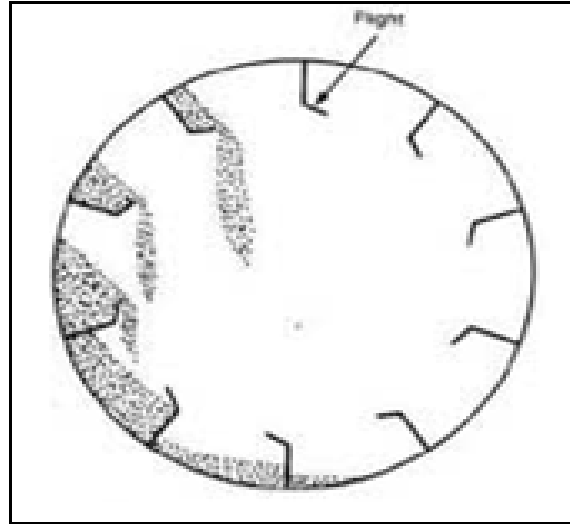
1.4.1.Döner kurutucular

Döner kurutucular temel olarak yatay düzlemle hafif bir açı yapacak şekilde eğimli, uzun silindirik bir gövdeden oluşmaktadır. Silindirin iç çeperine eşit aralıklarla yerleştirilmiş rafların dönme hareketi ile kurutulacak olan nemli katı malzeme kendisi ile karşıt akış veya paralel akış prensibi ile hareket eden kurutucu gaz akımı içerisinde önce yükseltilip daha sonra fırlatılarak kurutma işlemi gerçekleştirilir.

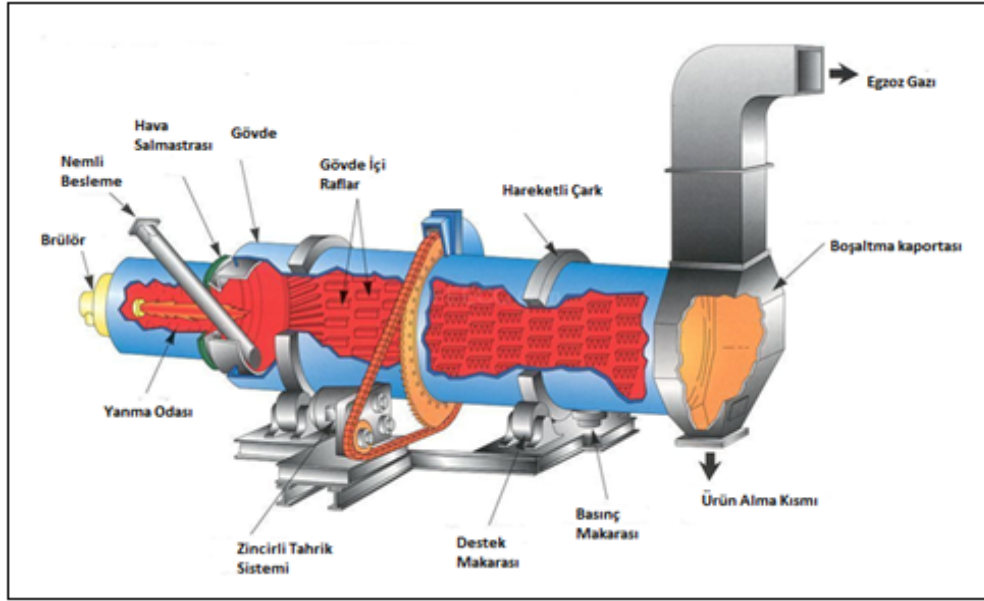
Nemli katı malzeme döner silindir sisteminin yüksek kısmından beslenir, kurutulmuş ürün ise silindirin diğer ucundan dışarı alınır. Aşağıdaki şekillerde konvansiyonel tip döner kurutuculara ait basit gösterim, enine kesit ve ayrıntılı mekanik konstrüksiyon görülmektedir.



Şekil.1.4.1.Konvansiyonel tip döner kurutucunun basit gösterimi



Şekil 1.4.2.Döner kurutucunun enine kesiti



Şekil 1.4.3. Paralel akış prensibi ile çalışan sistemin mekanik konstrüksiyonu

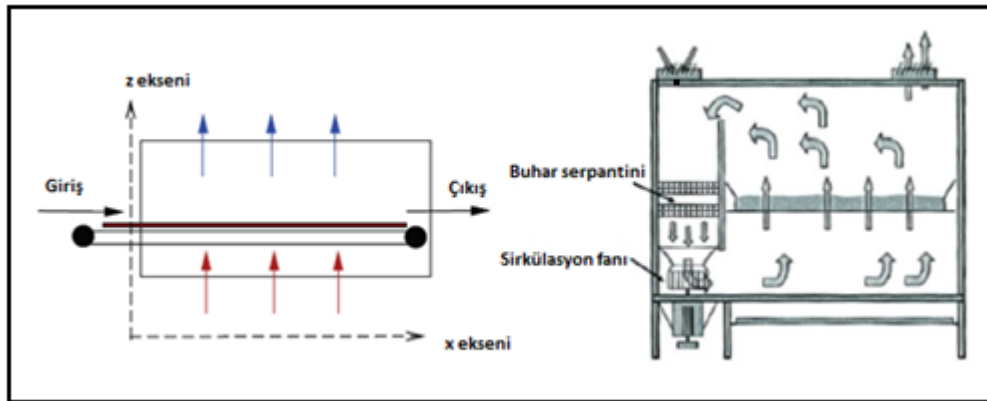
Silindirik gövde boyunca, kurutulacak partiküllere rölatif olan sıcak gaz akış yönünün belirlenmesi esas olarak prosese tabi tutulan materyalin cinsine göre olmaktadır. Şekilde görülen paralel akış prensibi ısıya duyarlı malzemenin kurutulmasında tercih edilmektedir. Bu sistemde kurutucu gaz akımının giriş sıcaklığı yüksek olsa bile, malzemenin yüzeyindeki nemin ilk buharlaşma sürecinde gaz sıcaklığı hızla düşmektedir. Buna karşılık ısıya nispeten dayanıklı malzemeler için, karşıt akışlı döner kurutucu sistemlerinin yüksek termal verimliliğinden yararlanılması yerinde olacaktır. Paralel akışlı sistemlerde gazın akış yönü malzemelerin akış hızını arttırmakta, karşıt akışlı sistemlerde ise gazın malzeme akışına karşıt yönde akması ile malzemenin hareketi yavaşlamaktadır.

Lisboa M. ve diğ., bir döner kurutucunun performansının temel olarak, 3 taşınım olayından katı transferi ile, Arruda E. ve diğ., ise ısı ve kütle transferi ile belirlendiğini savunmuşlardır. Krokida M., bahsedilen bu taşınım olaylarının karakteristiklerinin doğru olarak öngörülmesinin döner kurutucunun tasarım ve işletme aşamalarında önem taşıdığını belirtmiştir. Sherrit R., silindir gövde dönerken içinde bulunan kurutulacak katı malzemenin hareketinin proses koşulları, gövdenin tasarımı ve iç çeper kısmındaki raflar ile ilişkili olduğunu, bu nedenle döner kurutucuların teorik matematiksel modellemesinin diğer kurutuculara nispeten zorluklar içerdiğini belirtmiştir. Kemp I., partiküllerin döner kurutucu içerisinde silindir çeperindeki raflar tarafından yükseltilmeleri, hava akımı içerisinde fırlatılmaları, düşme ve karışma hareketlerini analiz etmenin ve uygun bir modelleme ortaya

koymanın oldukça zorlayıcı olduğunu belirtmiştir. Literatürde konvansiyonel döner kurutucular için; Kemp I., Oakley D. ve diğ., tarafından, katı ve sıcak gaz akımı arasında gerçekleşen kütle ve enerji transferlerini hesaba katarak ortaya koyulmuş bazı kurutma modelleri bulunmaktadır. Bu modeller; ısı transfer katsayıları, kuruma kinetiği, denge-nem içeriği, akışkan dinamiği gibi birtakım karakteristikleri içermektedir[8].

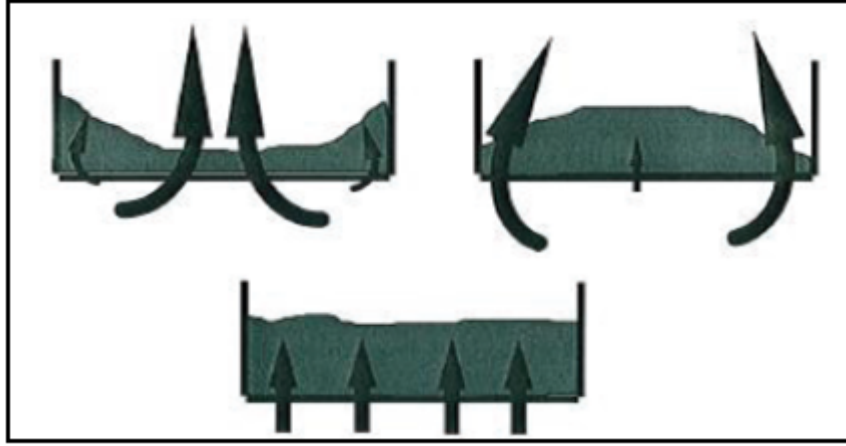
1.4.2.Konveyör bantlı kurutucular

Konveyör bantlı kurutucuların çalışma prensibi oldukça basittir. Kurutulacak malzeme delikli konveyör bantların üzerine dökülerek bu şekilde kurutma bölmelerine iletilmektedir. Kurutma bölmelerinde, sıcak hava malzeme yatağı aralıklarından malzemeye doğru gönderilmektedir. Kurutucu havanın sıcaklığı prosesin ayarlanabilir parametresidir.Şekil1.4.4'de konveyör bantlı kurutma sistemindeki bir kurutma bölümü gösterilmektedir.



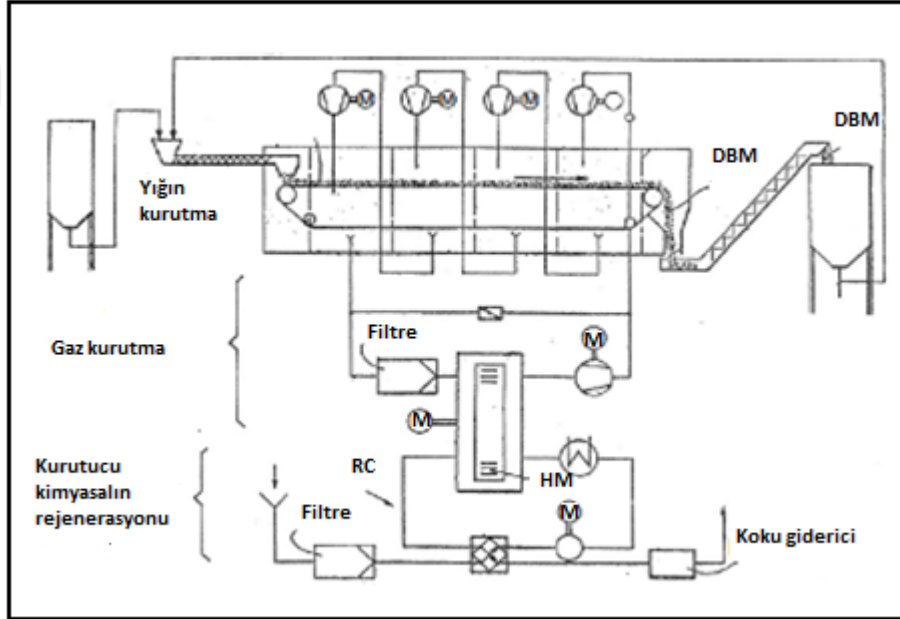
Şekil1.4. 4.Konveyör bantlı kurutucunun yandan görünüşü ve kesit alanı

Bantlı kurutucu sistemine beslenen malzemenin homojen kalitede kurutulması için bant üzerine eşit biçimde dağıtılması gerekmektedir. Bu nedenle malzeme bir ürün dağıtıcı vasıtasıyla bant üzerine eşit ölçülerde yayılmaktadır. Şekil 1.4.5'de hava akışının nasıl en az direnç gösteren yolu takip ettiğini ve buna bağlı olarak homojen olmayan bir kurutma elde edilebileceğini ifade eden doğru ve doğru olmayan dağılım şekilleri görülmektedir[9].



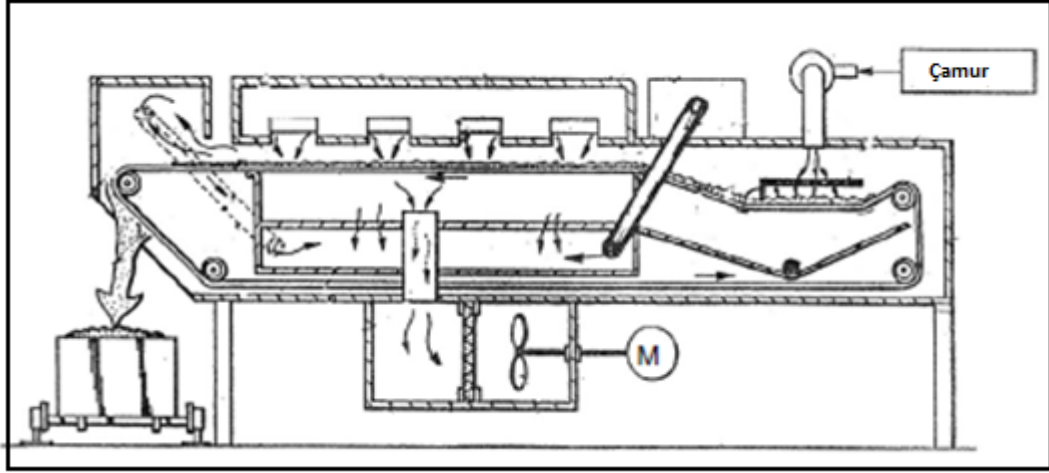
Şekil 1.4.5. Bant üzerine yerleşimin hava akışı üzerine etkisi

Bantlı kurutma sistemleri; açık devre, kısmi açık devre ve kapalı devre olarak tasarlanmaktadır.Şekil 1.4.6' da ısıtma havasının kurutulup sistem içerisinde devrettirildiği kapalı devre tasarım görülmektedir.Tasarım, BM tipi rezonans titreşimli kurutucuların sadece kurutma amaçlı olan DBM sınıfına ait örneğine aittir. Şekilde görülen M sembolü basınç ölçeri, HM ise ısı ölçerleri ifade etmektedir.



Şekil1.4. 6.DBM sınıfı bantlı kurutucu sistemi

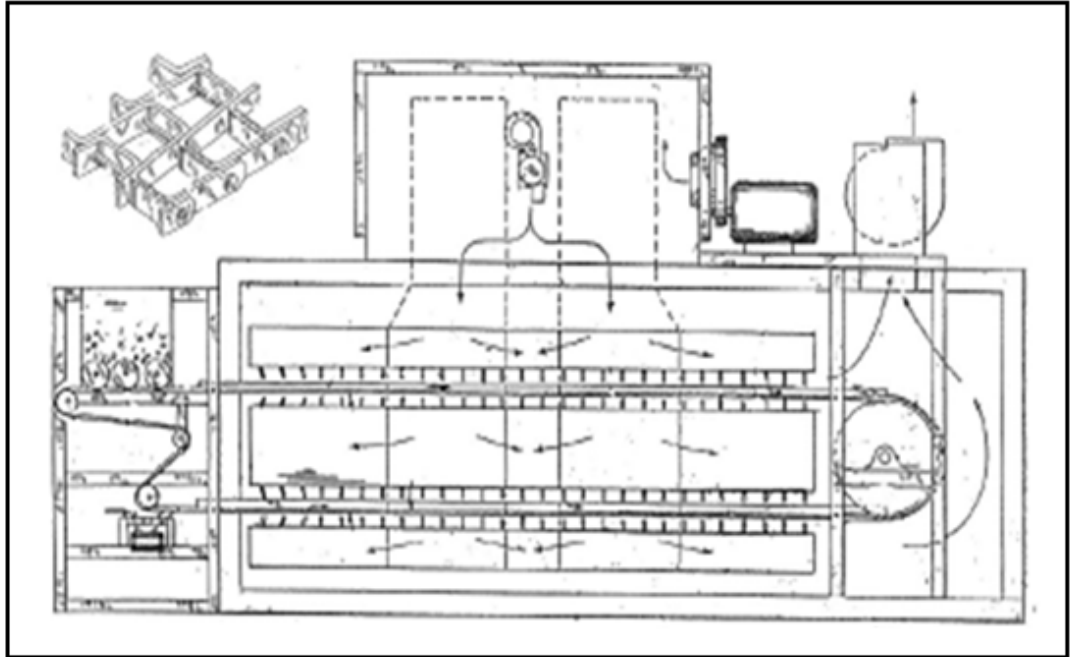
Infrared (IR) ısıtma kullanılan bir çamur kurutma sistemine ait örnek Şekil 1.4.7'de görülmektedir.



Şekil 1.4.7. IR kullanılan bantlı kurutma sistemi

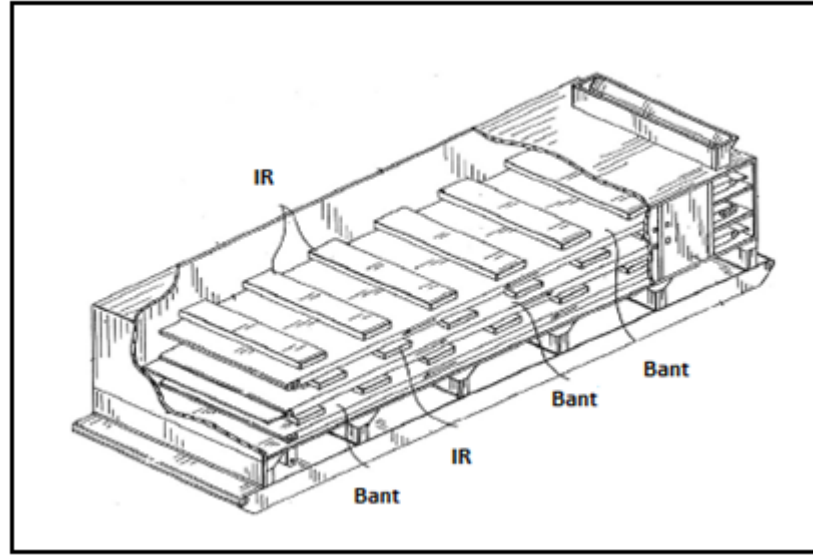
Basıncı ayarlanmış hava IR ısıtıcıların yüzeyinden geçerek aşağı, bant ilerleyiş yönünde çamura doğru gönderilir. Bandın üstteki uzantısının hemen alt kısmına vakum sağlanarak düşük basınç bölgesi elde edilir. Böylece çamurdan hava çekilmesi mümkün olur. Aparat içerisindeki nemi uzaklaştırmak için yüksek basınç bölgesindeki havanın yaklaşık %10-30 kısmı egzoz edilir. Buna karşılık olarak aynı oranda hava bandın giriş ve çıkış geçitlerinden sisteme çekilerek dengelenir.

Bölmeli olarak tasarlanmış hareketli bantlardan oluşan bir çamur kurutma sistemi Şekil 1.4.8'de yer almaktadır.



Şekil 1.4.8. Kondüksiyon ve konveksiyon mekanizmalı kurutma sistemi

Çamurla doldurulan hazneler ısıtılmış bir yüzey üzerinde konumlandırılmıştır. Isıtılmış hava haznelerin hem üst hem de alt yüzeylerinden sağlanmaktadır. Böylece sistemde ısı transferi hem konveksiyon hem de kondüksiyon ile gerçekleşmektedir. Çamur, kurutulmuş ürün halinde haznelerden dışarıya alınmadan önce, sistem içerisinde birkaç kez geçiş yapabilir. Şekil 1.4.9'da görülen, sıralı biçimde dizilmiş ısıtma haznelerinden meydana gelen patentli sistem konfigürasyonunun daha yüksek termal verimliliğe sahip olduğu belirtilmiştir.

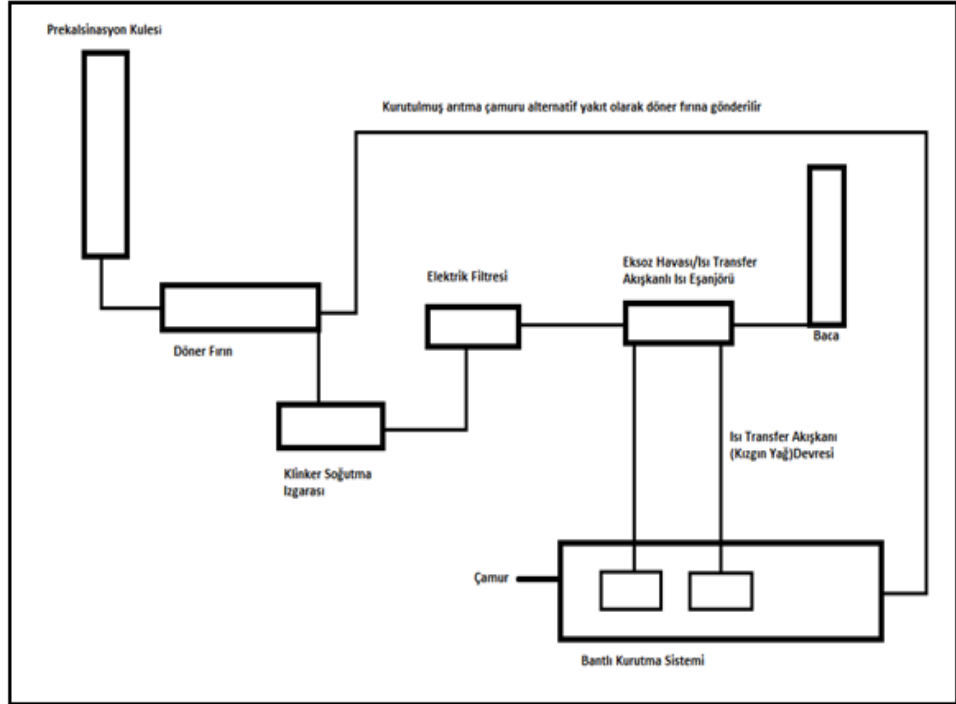


Şekil 1.4.9. Bantlı kurutma sistemi modeli

Son teknoloji bantlı kurutma sistemlerinde bir mikser içerisinde, susuzlaştırılmış çamur ve daha önceden kurutulmuş çamur birlikte granüle edilmektedir. Mikserden çıkan nemli karışım özel olarak tasarlanmış olan besleme modülü yardımıyla kurutucu içerisindeki bant üzerine eşit olarak dağıtılmaktadır. Böylece kurutucu hava akımının bant üzerine yayılmış olan karışıma etkin ve homojen bir biçimde nüfuz etmesi sağlanmaktadır. Bant üzerine düzgün biçimde konumlandırılmış olan malzeme tabakası, granül tabakası üzerine yukarıdan gelen hava akışı için bir filtre ortamı vazifesi görmektedir. Böylece tozun sürüklenmesi önlenmektedir. Ayrıca malzeme tabakası yardımıyla kurutma havasının granül tabakası üzerine eşit biçimde nüfuz etmekte ve buna bağlı olarak homojen kurutma imkanı sağlanmaktadır. 150 °C'den düşük sıcaklıklarda operasyon imkanı ve sistem içerisindeki düşük toz içeriği ile güvenli proses şartları oluşmaktadır.

Çimento fabrikaları bant tipi kurutucularda çamurun kurutulmasına dair endüstriyel açıdan bir örnek oluşturmaktadır. Çimento üretim prosesinin en kritik ünitelerinden birisi olan döner fırınlarda, atık su arıtma çamuru kurutulup granül formuna

getirilerek alternatif yakıt olarak kullanılmakta ve döner fırınlardan pişmiş halde çıkan klinkerin soğutulması amacıyla kullanılan klinker soğutma ızgaralarının atık ısısından arıtma çamurunu kurutmak amacıyla yararlanılmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım ile enerji ve mineral bakımından kaynakların korunması amaçlanmaktadır. Şekil 1.4.10'da, çimento tesisine ait atık ısı kullanımlı bantlı kurutma sistemi örneği görülmektedir.



Şekil 1.4.10. Çimento prosesinde atık ısı kullanılan bantlı kurutma sistemi

Böyle bir sistemde atık su çamurunu kurutmak için gerekli olan termal enerji tamamıyla klinker soğutma ünitesinden açığa çıkan atık sıcak gazlardan temin edilmektedir. Kurutulmuş çamur granülü ise susuzlaştırılmış arıtma çamurunun bantlı kurutucuda kurutulması ile elde edilmekte, çimento döner fırınları için karbonsuz bir takviye yakıt işlevi görmektedir. Buna ilaveten arıtma çamurunun külü ise çimentoya katılan katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve katkı bakımından ihtiyaç duyulan mineral sarfiyatının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Prosesin avantajları şöyle sıralanabilir;

- Arıtma çamurunun tüm ısı değeri ve kül içeriğinden çimento prosesinde faydalanılmaktadır.
- Primer enerji kaynaklarının ve mineral gereksinimlerinin alternatif kaynakla takviye edilmesi ile işletme maliyetleri belirgin ölçüde azalmaktadır.

-Döner fırınlarda kullanılan yakıt karbonsuz bir alternatif yakıtla yer değiştirmektedir [10].

1.4.3.Tambur kurutucular

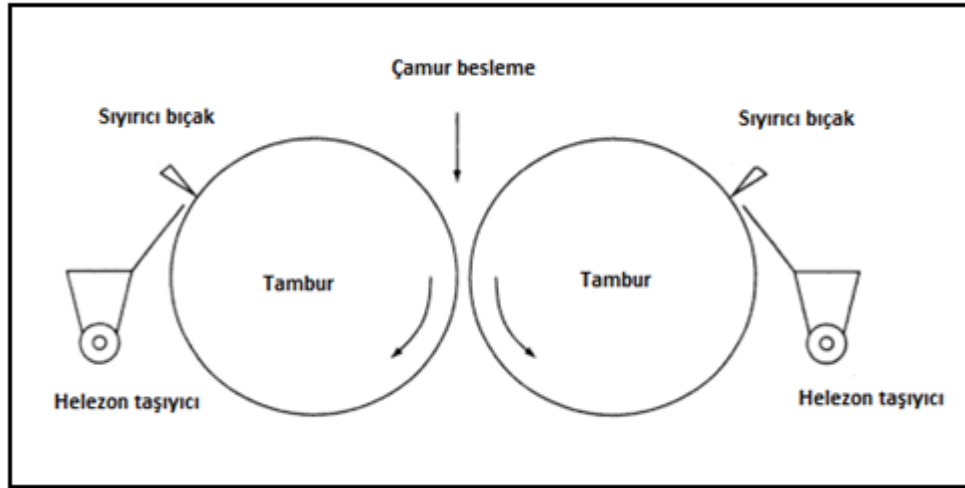
Tambur tipi kurutucularda kurutulması istenilen yapılar, istim vasıtasıyla ısıtılan ve yavaşça dönme hareketi yapan tamburların yüzeylerinde kurutulmaktadır. Genellikle viskoz, kıvamlı çözeltiler, çamur veya macun kıvamında karışımların kurutulmasında kullanılmaktadırlar. Ayrıca sıcak tambur yüzeyi ile ilk temas ettiği anda bünyesindeki nemi kaybeden ya da içeriği tersinir olmayacak şekilde termokimyasal dönüşüme uğrayan derişik çözeltilerin veya çamur tipi yapıların kurutulmasında da tercih edilebilirler.

Tek tamburlu kurutucularda viskoz çözelti veya çamur birbirine zıt yönde dönen iki tamburun mekaniksel dağıtma hareketi ile sıcak tamburun yüzeyine ince bir film halinde yapışmak suretiyle yayılmaktadır. Çift tamburlu kurutucularda ise ayrı olarak her iki silindirin de üzerine film şeklinde yayılmaktadır. Yüzeyle yapışan bu ince film tabakaları daha sonra tamburun içerisinde yoğunlaşmakta olan istimden kaynaklanan yüksek ısı akısı vasıtasıyla kondüksiyon mekanizması prensibi ile hızla kurumaktadır.

Çok nemli yapıların kurutulması sırasında oluşan film tabakaları da nemli olacaktır. Bu nedenle kurutmayı desteklemek amacıyla film tabakalarının üzerine sıcak kuru hava gönderilebilir. Husule gelen ince film tabakası içerisinde vitamin gibi ısıya duyarlı yapılar mevcut ise bu durumda vakum altında daha düşük sıcaklıklarda çalışılması mümkündür. Çamurun sıcak tambur yüzeyleri ile ilk temas ettiği anda tersinir olmayan termokimyasal dönüşümler gerçekleşiyorsa bu durum kurutulmuş ürün ile ilgili istenilen belirli niteliklerin aynı zamanda tespit edilmesi bakımından kullanılabilir.

1.4.3.1.Çift tamburlu kurutucu

Merkezden beslenen tipik çift tamburlu kurutma ünitesi Şekil 1.4.11’de yer almaktadır.



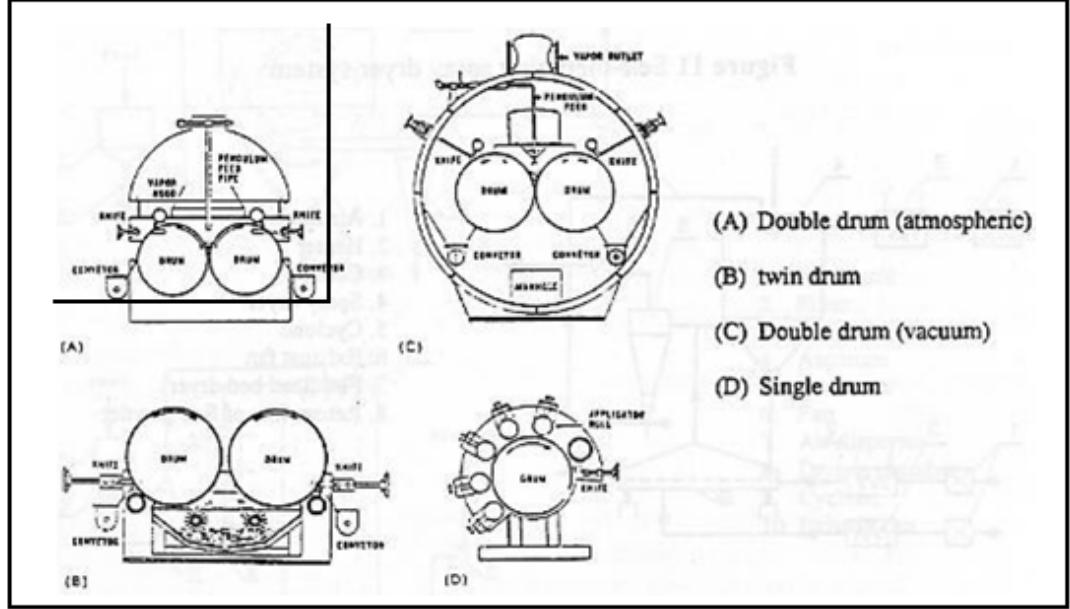
Şekil 1.4.11. Tambur tipi kurutma sistemi

Sıvı besleme karışımı oluk vasıtasıyla iki tamburun arasında ve üst kısımda bulunan havuz kısmına doldurulmaktadır. Havuz, sabit uçlu plakalar yardımıyla ilgili kısma tutturulmuştur. İki tambur arasında, kurutulacak çözeltiye ısı transferi kondüksiyon yolu ile sağlanmakta ve karışımın derişimi nispeten artmaktadır. Havuzun dip kısımlarından ise tamburun kalan diğer yüzeylerini viskoz bir tabaka halinde kaplayarak derişik karışım husule gelmektedir. Tamburlar dönme hareketlerini yaptıkça karışım bünyesindeki tüm sıvı büyük ölçüde buharlaşmakta ve kalan kuru madde ince tabaka halinde kazıyıcı bıçaklar yardımıyla alınarak konveyör içerisine bırakılmaktadır. Proses sırasında buharlaştırılan nem ise toplanarak tamburların üst kısmında bulunan buhar tahliye kısmından dışarı alınmaktadır. Çift tamburlu kurutucular seyreltik çözeltiler, yüksek çözünürlüğe sahip maddelerin derişik çözeltileri ve orta kıvamlı çamurların kurutulmasında başarı ile kullanılmaktadır. Bu tip sistemler, proses sırasında açığa çıkarak tamburların arasında çökelmek suretiyle aşırı basınç oluşturan çözünürlüğü sınırlı tuzların çözeltileri ve korozyif karakterli katıların çamurlarının kurutulması için uygun değildir.

Tipik bir tambur kurutucu için tamburların çapları 0,6-3 m, uzunlukları 0,6-4 m, dönme hızları ise 1-10 devir/dakika aralıklarında olmaktadır. Katı maddenin sıcak metal yüzeyleri ile temas süresi yaklaşık olarak 6-15 sn aralığındadır. Temas süresinin yeterince kısa oluşu ısıya duyarlı yapıların bile eser oranda bozunması avantajını beraberinde getirmektedir.

Optimum çalışma koşulları altında ısı transfer katsayısı yeterince yüksek olup 1200-2000W/m²C° (220-360 Btu/ft²-h-Ff) aralığında değere sahiptir. Kurutma kapasitesi efektif tambur yüzeyine bağlı olarak genellikle 5-50 kg/m²/h aralığında

değişmektedir. Kurutma performansı oluşan film tabakasının kalınlığına ve kalitesine bağlı olmaktadır. Bu nedenle tamburların tasarımı büyük önem taşımaktadır. Aşağıdaki şekilde çeşitli tambur kurutucu konfigürasyonları verilmiştir.



Şekil 1.4.12. Tambur kurutucu konfigürasyonları

Tambur kurutucuların performanslarını etkileyen temel faktörler aşağıda belirtilmiştir;

-Isıtıcı buharın basıncı veya ısıtıcı yüzeyin sıcaklığı

-Tamburların dönme hızları

-Meydana gelen film tabakasının kalınlığı

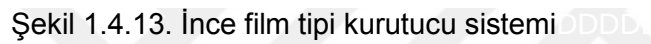
-Kurutulacak olan besleme karışımının derişim, reolojik yapısı ve sıcaklığı

Tambur kurutucularda sıcaklık kontrolü iyi bir şekilde sağlanabildiği için bu tip sistemlerin kullanılmasıyla hidratların karışımı şeklinde bir yapı yerine kimyasal bir bileşiğin belirgin bir hidratını elde etmek mümkün olmaktadır. Tek ve çift tamburlu kurutucular için vakum altında operasyon ile ısıya duyarlı yapıların kurutma hızlarının artırılması veya istenildiği takdirde poröz yapılı ürün elde edilmesi mümkün olmaktadır. Diğer yandan uçucu solventlerin geri kazanılması istenildiğinde de vakum operasyonu önerilmektedir. Etilen glikol gibi yüksek kaynama noktasına sahip olan solventlerin geri kazanılması istenildiğinde, basıncın azaltılması ile kaynama noktalarının düşürülmesi sağlanmaktadır [11].

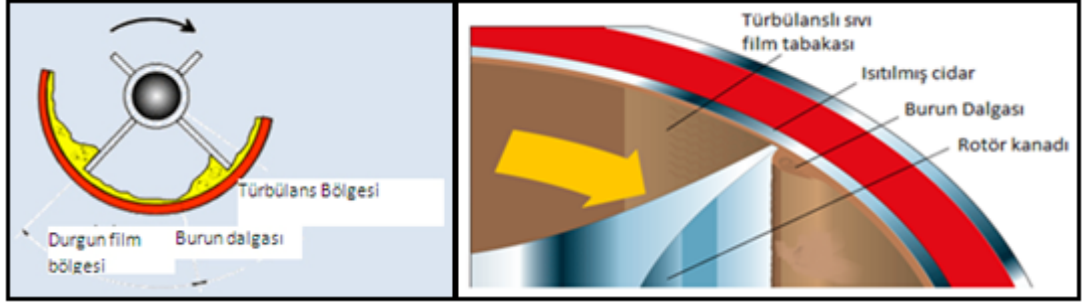
1.4.4.İnce film tipi kurutucular

Endirekt kurutucularda, kurutma prosesi sırasında direkt kurutuculara göre daha az miktarda gaz açığa çıktığı için bu tip sistemlere ait çoğu tasarım ısı geri kazanımlı ve /veya koku bertaraf sistemli kapalı devre şeklinde olmaktadır. Bu tip kurutucularda ısıtılmış bir yüzey aracılığıyla ısı transferi gerçekleştiği ve susuzlaştırılmış çamur halen göreceli olarak(aktif çamur için yaklaşık %25 kuru madde oranı) nemli olduğu için çamur ve ısıtılmış yüzeyler arasındaki koşulların dikkatle ele alınması gerekmektedir. Sistemde hava akışı olmadığından, nemli çamuru dağıtmak için mekaniksel karıştırma sağlanarak özellikle çamurun %55-70 kuru madde aralığındaki yapışkan faz durumunda ısıtıcı yüzeylerin kirlenmesinin önüne geçilmektedir. Kurutulmuş çamurda istenilen nihai nem oranına bağlı olarak tek veya iki kademeli endirekt kurutma sistemleri tasarlanmıştır. Örneğin yakma fırınlarında kullanılması hedeflenen çamurun özelliklerinin bu doğrultuda iyileştirilmesi gerekiyorsa tek kademeli ince film buharlaştırıcılarla bu kapsamda %65 kuru madde içeriğine kadar kurutulmuş çamur elde edilebilmektedir. Çamur kurutma proseslerinde genellikle 20-160 kg/m²/h kapasiteli yatay, karıştırmalı ince film buharlaştırıcılar tercih edilmektedir.

Dolaylı tip kurutucuların bir cinsi olan ince film tipi kurutucu sistemlerinde ısı genel olarak kızgın yağlarla taşınmaktadır. Sistemdeki yağ eşanjörler vasıtasıyla ısıtmakta ve kapalı bir devrede dolaşmaktadır. Yağı ısıtmak için gerekli ısı ise brülör vb aracılığı ile direk yakmadan veya atık ısı kullanımıyla elde edilebilmektedir. Kurutucu içerisinde kurutma amaçlı gaz dolaşmadığı için buharlaşmadan kaynaklanan nemi dışarıya taşımak amacıyla sistemde ayrı bir devrede hava akımı dolaşmaktadır. Dolaylı kurutma sistemlerinde kurutucunun içerisinde çamurun sıcak yüzeyle temasını sağlamak üzere türbin benzeri çeşitli mekanizmalar kullanılmaktadır. İnce film kurutucularda temel olarak çamur besleyici, kurutucu, gaz-çamur ayırıştırıcısı ve arıtım üniteleri bulunmaktadır. Şekil 1.4.13'de bu tip bir sistemin şematiği verilmiştir.

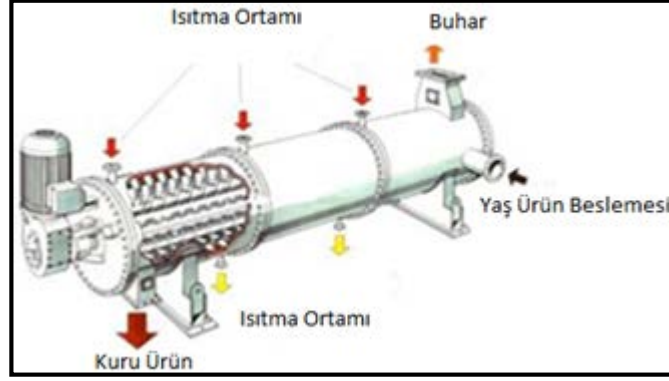


33



Şekil 1.4.14. İnce film prensibi

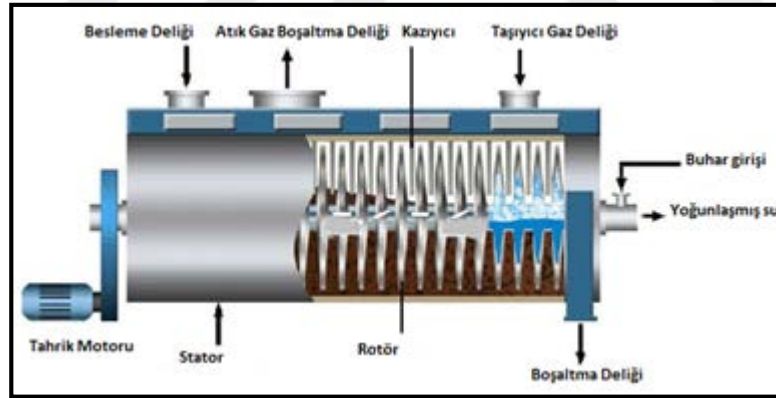
Tabakanın kalınlığı kanat ile ısıtılmış duvar arasında ki açıklık tarafından belirlenir. Dönen kanadın önünde bir iyice karışmış burun dalgası oluşmaktadır. Ürün açıklıktan geçerken türlölans artmakta, uçucu bileşen ise sürekli olarak buharlaşmaktadır. Rotorun kanatları; ısı transfer yüzeyinin ürün tarafından kirletilmesini önlemek için minimum açıklık sağlayacak fakat ısıtılan duvarla temas etmeyecek şekilde tasarlanmaktadır[12]. Bu türbinin bıçak boyut ve açıları değiştirilerek farklı kalınlıklarda çamur filmi oluşturulabilmekte ve farklı nem oranları ve yapışkanlıklarda çamur kurutucu içerisinde ilerletilebilmektedir. Bu sistemlerde karşılaşılan temel problemler, temas nedeniyle parçalarda yaşanan aşınma ve göreceli olarak kurutucu içerisinde yüksek toz konsantrasyonu olmaktadır. Kurutucu içerisinde oluşan nem ve çamur tozu parçacıklarını taşımak üzere sistemde ayrıca bir de hava çevrim devresi bulunmaktadır. Bu devrede dolaşan hava farklı firmaların uygulamalarında farklı sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Bazı firmalar bu çevrim havasını da yüksek sıcaklığa çıkararak dolaylı kurutmanın yanında bir miktar direk kurutma işlemi de gerçekleştirmektedir. Sistemin kapasitesi ve çamur özelliklerine bağlı olarak çamur parçacıklarının kurutucu içerisinde kalma sürelerini 2-3 dakika mertebesine indirmek mümkün olabilmektedir. Geri besleme olmadığı için kurutucudan çıkan çamurun tamamı siloya yönlendirilmektedir. Proses gereği toz boyutuna parçalanmış ve havayla birlikte taşınan çamur parçacıkları ise ayrıştırıcı içerisinde çevrim havasından ayrıştırılmaktadır. Sistemde buharlaşma sonucunda oluşan fazla gaz ve nem arıtıma tabi tutulduktan sonra atmosfere verilmektedir. Yatay tip ince film kurutucu sistemi Şekil 1.4.15'te verilmiştir [13].



Şekil.1.4.15. Yatay tip ince kurutma sistemi

1.4.5. Disk tipi kurutucular

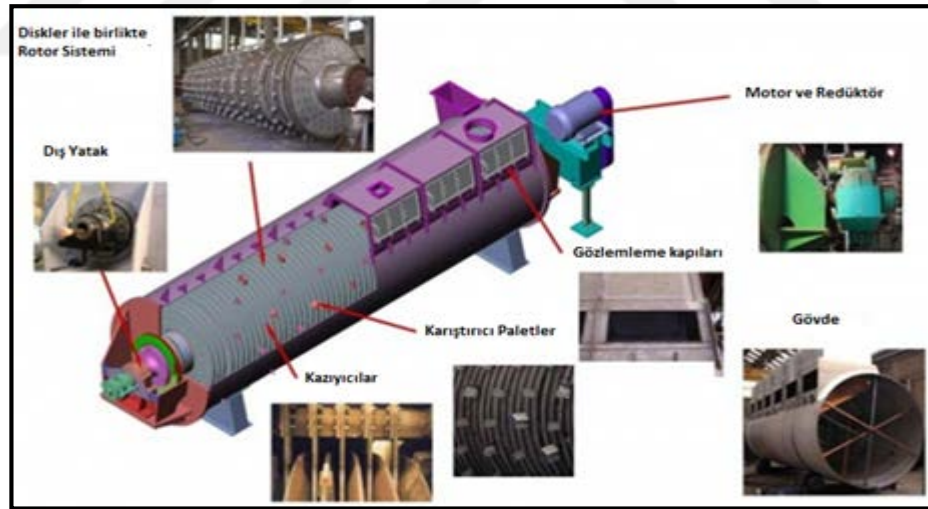
Tek kademeli ince film kurutucularda nihai katı içeriği %65 kuru madde değerine kadar elde edilebilmektedir. Daha yüksek kuru madde oranları hedeflenmesi durumunda döner paletli veya disk tipi kurutucular tek başına veya bir ince film buharlaştırıcıya takiben ikinci aşama kurutma sistemi olarak tercih edilmektedir. Şekil 1.4.16'da endirekt kurutucularda genel olarak bulunması gereken kısımlar ve tasarım prensibi görülmektedir.



Şekil1.4.16. Disk tipi kurutucu sistemi

Kurutucunun yapısı temel olarak kazıyıcılarla birlikte durgun stator, karıştırıcılar ve tahrik birimleri ile birlikte hareketli rotor kısımlarından oluşmaktadır. Ekipmanın hareketsiz kısmı olan stator kurutulacak maddeyi içine alan neredeyse silindirik, drum olarak da tabir edilen yatay bir tamburdan oluşmaktadır. Tamburun içinde, tambura bağlı olan ve karıştırıcı görevini yapan sıyrıcı çubuklar mevcuttur. Hareketsiz kısmın (stator) üst tarafında, toz ayırıcı ve kaçak buhar toplayıcı bir açıklık bulunur. Kurutucu genel olarak düşük bir alçak basınç ile çalıştırılır. Ekipmanın hareketli kısmı (rotor) paralel biçimde sıralanmış, yatay bir şafta

kaynaklanmış içi boş disklerden oluşmaktadır. Buhar veya başka ısıtıcı maddeler bu içi boş disklerin içinde dolaşmaktadır. Ekipmanın işletmesi açısından küçük bir hava akımının olması avantaj yaratsa da, kurutma işlemi tamamen havasız da rahatlıkla sürdürülebilir. Az havalı veya tamamen havasız işlem toz ayrıştırma ve koku azaltma maliyetlerini en aza indirmektedir. Rotorun hareket etmesi sonucunda oluşan nazik sürtünme kuvvetlerinin etkisi ile ısı transfer yüzeyleri kendiliğinden temizlenmektedir. Karıştırıcıların ve kazıyıcıların katkıları ile yeterli karıştırma sağlanmaktadır. Sıralı biçimde yer alan hazneler yardımıyla özellikle çamur sterilizasyonu için önem taşıyan, çamurun kurutucu içerisinde piston akışı ile hareketi sağlanmaktadır. Bu tip bir kurutucu; nemi giderilmesi hedeflenen malzeme ve ısıtıcı akışkanın endirekt olarak birbiri ile ısı transferinde bulunduğu, sürekli olarak çalışan disk yapılı nem giderme sistemidir. Rotor, ısıtılmakta olan yatay bir kanal üzerine istiflenmiş disklerden oluşmaktadır. Diskler; rotor miline enjekte edilen ısıtıcı veya termal akışkan vasıtasıyla ısınmaktadır. Disklerin, kazıyıcı millerin ve karıştırıcı çarkların kombine hareketleri ile kurutulmak istenilen malzeme sistem içerisinde yavaşça ilerlerken muntazam bir ısı transferine maruz kalır. Disk tipi kurutucunun temel yapısı Şekil 1.4.17’de gösterilmektedir.



Şekil 1.4.17. Disk tipi kurutucunun temel yapısı

Yüksek verimlilikte ısı transferini sürekli kılmak için ısı transfer yüzeyi olan diskleri sürekli temiz tutmak gerekmektedir. Disk kurutucularının yapışkan özellikli maddeleri işleyebilmesi için aşağıda belirtilen koşulların sağlanması gerekmektedir;

-Aynı anda karıştırıcı ve sıyırıcıların faaliyetleri ve yüksek ısı transferi sonucunda kurutucu içinden geçen maddenin yapışmadan ve tıkanıklık yaratmadan geçmesinin sağlanması

-Disklerin kurutulacak madde içerisinde hafif sürtünme ile dönmesi sonucunda ısı transfer yüzeyinin kendini temizleme özelliği[14].

Endüstriyel ölçekli disk tipi kurutucu örneği Şekil 1.4.18’de görülmektedir[15].



Şekil1.4.18.Endüstriyel disk tipi kurutucu

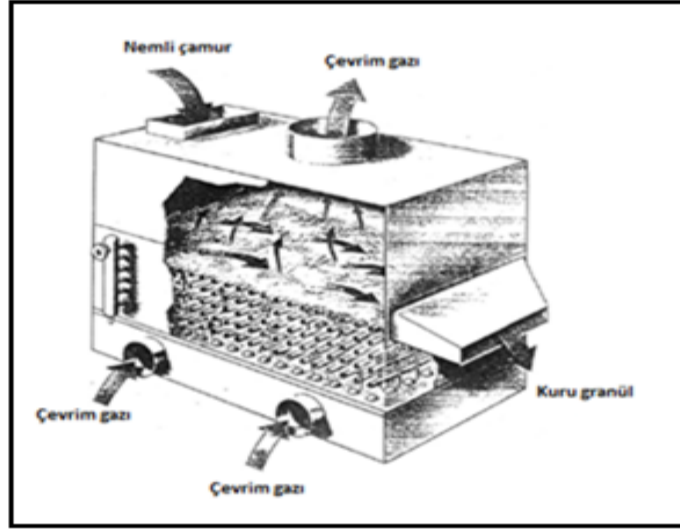
1.4.6.Akışkan yataklı kurutma sistemleri

Direkt ve indirekt kurutuculara ek olarak konveksiyon ve kondüksiyon metotlarını birlikte kullanan veya ısı transferini başka tekniklerle gerçekleştiren sistemler de mevcuttur. Bu tip kurutuculara örnek olarak akışkan yatak teknolojisi verilebilir.

Dibi elekli bir silindir içine belirli bir yükseklikte bir toz kümesi yerleştirilirse, toz kümesinin bu durağan haline yatak ya da durağan yatak denilir.

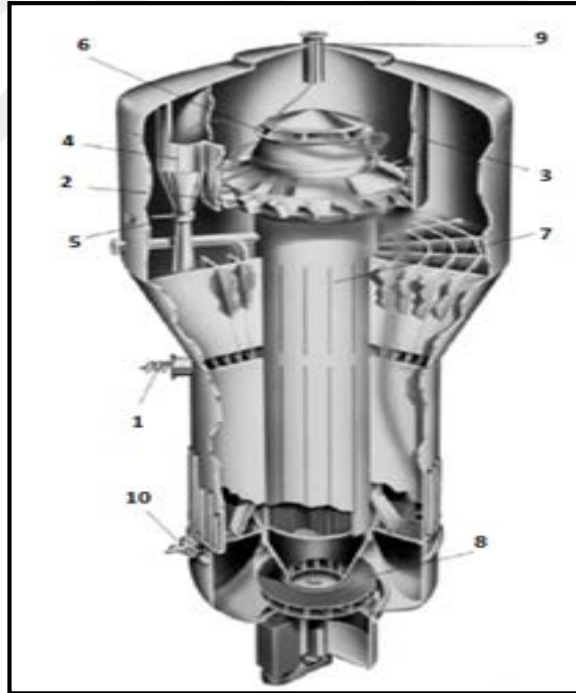
Toz yatağının tabana yaptığı basıncı karşılamaya yeterli basınçta aşağıdan hava gönderilirse, tozlar havalanarak askıda kalır ve silindirdeki toz yatağı, hava içinde belirli bir yükseklik oluşturacak şekilde gözenekliliği daha yüksek olan bir yatak oluşturur. Bu yapıya akışkan yatak denilir. Karışma ve ısı transfer hızlarının çok yüksek olduğu bu sistemlerde katı parçacıklar hava hızıyla birlikte kurutulmaktadır. Nemli besleme karışımı yatağın üst kısmından sisteme giriş yapar, kurutulan ürün ise alt kısma yakın bir noktadan sistemden alınır. Tozlu veya tanecikli madde ile akışkan arasında yakın temas olduğu için ısı transfer oranları oldukça iyidir.

Böylece hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulmaları sağlanır. Kurutulacak malzeme konvansiyonel sistemlerden farklı olarak tepsi ve benzeri ısı alışveriş yüzeylerine serilmeden serbest olarak akar. Otomatik doldurma, boşaltma mümkündür ve sistemin en büyük avantajı azaltılmış işlem süresi olmaktadır. Küçük partiküller akışkanlaştırıcı gazın çıkış kuru termometre sıcaklığına kadar ısınırken, ısıya duyarlı malzemeler nispeten düşük sıcaklıktaki bir ortamda kurumaya maruz bırakılırlar. Sisteme beslenen malzeme ya da proses sırasındaki parça kopmalarından kaynaklanan küçük boyuttaki katılar çıkış gazıyla birlikte kayda değer miktarlarda sürüklenebilirler. Bu nedenle akışkan yatak sisteminde partikül tutucu siklon veya torbalı filtre gibi kısımlar bulunmaktadır. Bütün akışkan yataklı kurutucular patlama-çıkış kapaklarına sahip olmalıdır. Patlama basınç ve alevleri tehlikelidir. Toksik malzeme kullanıldığında gazın atmosfere kontrolsüz olarak verilmesi önlenmelidir. Basınç hareketli amonyak fosfat söndürücüler gibi patlama bastırıcı sistemler kullanılabilir. Patlayıcı karışımların oluşmasını engellemek için kurutucu iç atmosferi hazırlanabilir. Nemli çamur, az miktarda hareketli parça ihtiva eden akışkan yatak sistemine sürekli olarak beslenilir ve nemini kaybeden çamur sistemden dışarı alınır. Suyu buharlaştırmak için gerekli olan ısı enerjisi büyük ölçüde termal yağ taşıyan kanalların sıcak yüzeylerinden sağlanmaktadır. Yaklaşık 85 °C değerine kadar ısıtılmış olan hava hem bir miktar ısı sağlar hem de çamur granüllerinin akışkan yatak sistemi içerisinde askıda kalmak suretiyle sıcak kanalların yüzeyleri ile ısı alışverişinde bulunmalarına destek olur. Şekil 1.4.19'da görülen bu tip bir kurutma sisteminde çamurun nem içeriği %5 mertebesine kadar düşürülebilir.



Şekil 1.4.19. Basit akışkan yataklı kurutucu tasarımı

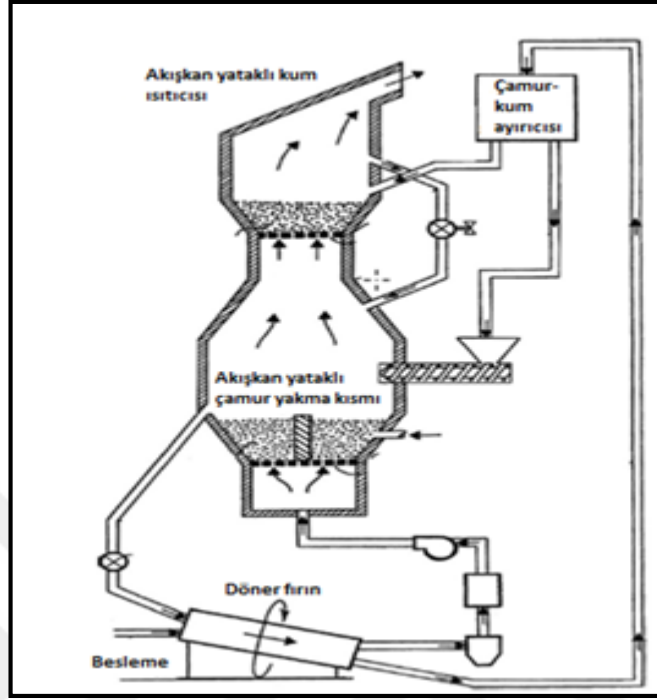
Buna karşılık aşırı ısıtılmış istimle çalışan çok daha karmaşık olarak tasarlanmış bir sistem örneği Şekil 1.4.20'de görülmektedir.



Şekil 1.4.20. Kompleks tasarımlı sistem

Nemli çamur, süper ısıtıcının yanındaki hücrelerden birinin içine beslenir ve taban kısmında bulunan delikli plaka boyunca pervane yardımıyla oluşturulan aşırı ısıtılmış istim akımı ile askıda bırakılarak akışkan hale getirilir. Ürün sistemden deşarj edilene kadar kısmen kurutulmuş çamur her bir hücre içerisinde hareketini sürdürür.

Şekil 1.4.21. çamur kurutma ve kurutulmuş çamuru yakma proseslerini birleştiren kombine sistemi ifade etmektedir.



Şekil1.4.21.Akışkan yataklı kombine sistem

Kurutma prosesi, döner fırında ısıtılmış kum ve nemli çamurun karıştırılması ile gerçekleştirilir. Kurutulmuş çamur akışkan yatak sisteminde kum ile birlikte yakılır. Atık gaz, akışkan yatak yakma ünitesinin üst kısmında kum ısıtma amacıyla kullanılır. Atık ısının bu şekilde kullanılmasıyla sistemin enerji verimliliği artmaktadır. Bu sistemde; döner fırında nemi giderilmiş çamur yaklaşık 800 °C sıcaklığındaki akışkan hale gelmiş kum yatağının üzerine dağıtılmakta, hızla gerçekleşen buharlaşma ve yanma süreçleri sonucunda büyük ölçüde mikro partikül boyutuna indirgenmektedir.

2.MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, N&A Çevre Teknolojileri firmasına ait araştırma laboratuvarında hazırlanan prototip kürekli tip kurutucu kullanılarak çeşitli tipte arıtma çamurlarının kurutulması gerçekleştirilmiştir. Endirekt tip kurutucu sınıfına ait kürekli tip kurutucu kapsamında literatür araştırması yapılarak matematiksel modelleme hazırlanmıştır. Modelleme kullanılarak, arıtma çamurunun kurutulması için gerekli olan enerji miktarı hesaplanmıştır.

2.1.Kürekli Tip Kurutucu Protitipi

Prototip imalatı N&A Çevre Teknolojileri firmasına ait araştırma laboratuvarında yapılmıştır. Gerekli malzemeler, teçhizat ve personel firma tarafından karşılanmıştır. Prototip kurutucunun genel görünümü Şekil 2.1’de verilmiştir.Şaftlar,kürekler ve tekne görünümleri ise Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.1.Prototip kurutucu genel görünüm



Şekil 2.2. Şaft, kürekler ve tekne

Kürekli kurutucu boyutları yaklaşık olarak 2m genişliğe, 80cm alt, 50cm üst olmak üzere 135cm yüksekliğe ve 65cm derinliğe sahiptir. Çamurun temas ettiği yüzeyler paslanmaz çelikten yapılmıştır. Kurutucu; içi boş 2 adet mil, 26 adet kürek ve 1 adet tekneden oluşmaktadır. Kurutucu alan değerleri Tablo 2.1’de sunulmuştur.

Tablo 2.1.Kurutucunun alan değerleri

Tekne Yanı	0,275 m ²
Tekne Altı	0,45 m ²
Toplam Tekne	0,725 m ²
1 Adet Mil	0,166 m ²
2 Adet Mil	0,332 m ²
1 Adet Kürek	0,025 m ²
26 Adet Kürek	0,65 m ²
Çamurun Temas Ettiği Sıcak Yüzeylerin Toplam Alanı	1,707 m²

Kurutucu teknesinde birbiri ile kaynak şeklinde birleştirilmiş iç ve dış ceket bulunmaktadır. Millerin yatakları ve tahrik motoru çamur teknesinin aynalarına cıvata ile monte edilmiştir. Dış yüzeye uygulanan izolasyon yardımıyla ısı kaybının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Sistemde kullanılan kızgın yağ tankı ve yağ pompası Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2. 3.Kızgın yağ tankı ve yağ pompası

Şekilde de görüldüğü üzere ısı kaybını minimize etmek için, yağ tankına izolasyon uygulanmıştır. Sistemde ısı taşıyıcı olarak kullanılan kızgın yağ, yağ pompası vasıtasıyla kurutucuya gönderilmektedir. Optima Kapalı Sistem Isı Transfer Yağı'nın spesifikasyon değerleri ve kızgın yağ pompasının özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2.Optima kapalı sistem ısı transfer yağının özellikleri

Kızgın Yağ Özellikleri	
Yoğunluk @200°C, kg/m ³	700
Isı iletim katsayısı @200 C(kcal/mh°C)	0,103
Özgül ısı @200 C (kcal/kg °C)	0,605
İlk kaynama noktası (°C)	320
Parlama noktası (°C)	220
Viskozite @100°C,mm ² /s	5.4
Akma noktası (°C)	-12

Tablo 2.3.Kızgın yağ pompasının özellikleri

Kızgın Yağ Pompası	
Güç (kW)	0,55
Frekans (Hz)	50
devir/dk	670
A	1,92
Verim (%)	71,4

Deneylerde, yağın ısıtılması için elektrik enerjisi kullanılmıştır. Standart boylarda, magnezyum oksit toz izolasyonlu, paslanmaz borulu, çalışma sıcaklığı 350°C ve her biri 7500 W gücünde olan 3 adet kazan rezistansı kullanılmış olup, Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4. Isıtma sistemi elemanları

Kurutma süreci boyunca sistem içerisinde oluşan buharın çekilerek dışarı atılmasında, aspiratör gibi kullanılan salyangoz fan yer almaktadır. Açığa çıkan su kanalizasyon şebekesine verilmektedir. Tek emişli salyangoz fan ve özellikleri Şekil 2.5 ve Tablo 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Salyangoz fan

Tablo 2.4. Tek emişli salyangoz fanın özellikleri

Tek Emişli Salyangoz Fanın Özellikleri	
Devir sayısı (rpm)	2735
Güç (W)	500
Frekans (Hz)	50
Debi (Nm ³ /h)	1820

Kürekli kurutucu sisteminde yer alan şaftların hareketi aşağıdaki şekilde görülen redüktörlü motor ile sağlanmaktadır. Tabloda 2.5'de ise redüktör ve motorun özellikleri verilmiştir.



Şekil 2.6. Redüktörlü elektrik motoru

Tablo 2.5. Elektrik motoru ve redüktörün özellikleri

Elektrik Motorunun Özellikleri	
Devir sayısı (d/d)	925
Güç (KW)	1,5
Frekans (Hz)	50
Redüktörün Özellikleri	
Giriş devri (d/d)	900
Çıkış devri (d/d)	17
"i" oranı	52,9
Güç (kW)	1,5

Prototip imal edildikten sonra sistemin çalışmasını kontrol etmek için Kocaeli İSU Kullar Atık su Arıtma Tesisinden alınan çamur numunesi kurutulmuştur. İlk etapta sistemin kapakları kapatılmadan kurutma yapıldığından buharın atılması kapsamında kullanılan fana ihtiyaç duyulmamıştır. Şekil 2.7’de bu kurutma denemesi görülmektedir.



Şekil 2.7. Kurutma denemesi

Kurutma denemesinin başarı ile gerçekleşmesini takiben, ana gövde sisteme monte edilmiştir. Şekil 2.8’de ana gövde montajı görülmektedir.



Şekil 2.8. Ana gövde montajı

Yüksek sıcaklıklarda çalışılan kurutma sistemlerinde ısı kaybının en düşük seviyede olması gerekmektedir, böylece yüksek verimlilik elde edilmesi hedeflenir. Isı, yangın ve ses yalıtımının gerçekleştirilmesi için rabitz teli kapla taş yünü kullanılmıştır. Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.9. Kurutucu izolasyonu

Kürekli tip kurutucu prototipinin son hali Şekil 2.10 'da görülmektedir.



Şekil 2.10.Kürekli tip kurutucu prototipi

2.2.Penetrasyon Teorisi

Bu başlık altında, kontak yolu ile karıştırılarak kurutulan katılar için literatürde yer alan penetrasyon modeli tanıtılmıştır.Kürekli tip kurutucu prototipine ait hesaplamalar ise bir sonraki başlıkta, termodinamik analiz kısmında detaylı verilmiştir.

Schlünder E. Ve diğ., 1984 yılında mekaniksel olarak karıştırılan partikül formundaki katıların vakum altında kontak yoluyla kurutulmasına ait “nüfuz etme,penetrasyon” adlı bir model ortaya koymuştur. Bu modelde,sürekli karıştırma prosesi,bir sıra halinde ilerleyen t_R uzunluğundaki temas periyotları ile takiben dönüşümlü olarak gerçekleşmektedir. Modele göre, gerçekleştiği varsayılan bu temas periyotları sırasında kurutulan malzemenin hareketsiz, durağan yatak halinde olduğu kabul edilmektedir. Daha sonra malzeme aniden bütün halinde mükemmel olarak karıştırılır ve takiben tekrar temas periyodu gerçekleşir. Bu modelin kurutma prosesine uyarlanmasıyla durgun periyot sırasında kurutucu ortamın ısısı sıcak yüzeyler boyunca kurutulacak olan çamura doğru nüfuz etmektedir. $t = t_R$ zamanında sona eren 2 durgun periyot arasında malzeme kusursuzca karıştırılmakta takiben ısıtıcı yüzey tekrar malzemeye nüfuz etmektedir. Belirgin olarak gözlemlenen bu hareketsiz süreç karışma sayısının, karıştırıcının saniyedeki devir sayısına oranı olarak ifade edilmektedir. N_{mix} olarak ifade edilen karışma sayısı; nüfuz etme teorisinin deneysel olarak elde edilen kuruma hızı eğrilerine uyarlanması sırasında eğri uydurma yöntemi ile belirlenmektedir. Bu sayı, ürünün

ideal olarak karışmış olması için karıştırıcının hangi sıklıkla dönmesi gerektiğini ifade etmektedir. Schlünder E., Mollekopf N., tarafından ortaya koyulan nüfuz etme teorisi; kolloid özellikleri bakımından yaklaşık olarak homojen partikül boyutu dağılımına sahip olan, kendiliğinden akan partikül tipi malzemenin vakum altında kontakt metodu ile kurutulması sürecine, ilk defa Dittler A. tarafından, 1997 yılında yapışkan malzemenin vakum altında kontak metodu ile kurutulmasının simülasyonunu gerçekleştirmek amacıyla tatbik edilmiştir. Kurutucunun sıcak yüzeyi ile malzeme yatağı arasındaki temas direnci ve malzeme yığınının sıcaklık nüfuz etmesine karşı gösterdiği geçirim direnci kuruma hızını sınırlayan faktörler olarak öne çıkmaktadır. Tsotsas E. ve diğ., nüfuz etme modelini, sisteme inert gaz eklenen yeni duruma da uyarlamışlardır. Kuruma prosesinin inert gaz varlığında gerçekleştiği sistemler için gaz fazındaki kütle transfer direnci de göz önüne alınmalıdır.

Nitekim arıtma çamurlarının kontak metodu ile kurutulmasının modellenmesi homojen partikül dağılımına sahip olan kolloid yapılarının kurutulmasına öngörülen modellemelere nazaran çok daha zordur. Çünkü çamurlar; viskoziteleri, karmaşık yapıları ve azalan nem içeriğine bağlı olarak tabi oldukları yapışkan, topaklı ve granüle faz geçişleri nedeniyle değişik olarak ele alınması gereken madde grubunu temsil etmektedir. Arlabosse P. ve diğ., 2007 yılında nüfuz etme modelini kullanarak çamurun kontak metodu ile kurutulmasına ait simülasyonu hazırlamışlardır. Yaptıkları çalışmada açığa çıkan buhar sürükleyici gaz akımı olarak kullanılmış, böylece gaz fazındaki kütle transfer direnci dikkate alınmamıştır. Bu nedenle bu çalışma için vakum altında gerçekleştirilen kurutmaya ait nüfuz etme modeli kullanılarak çamur kurutmanın simülasyonu ortaya koyulmuştur.

Pek çok durumda çamur kurutma prosesi için inert sürükleyici gaz akımı sistemde kullanılmaktadır. Bu şartlarda gaz fazındaki kütle transfer dirençleri dikkate alınmalıdır.

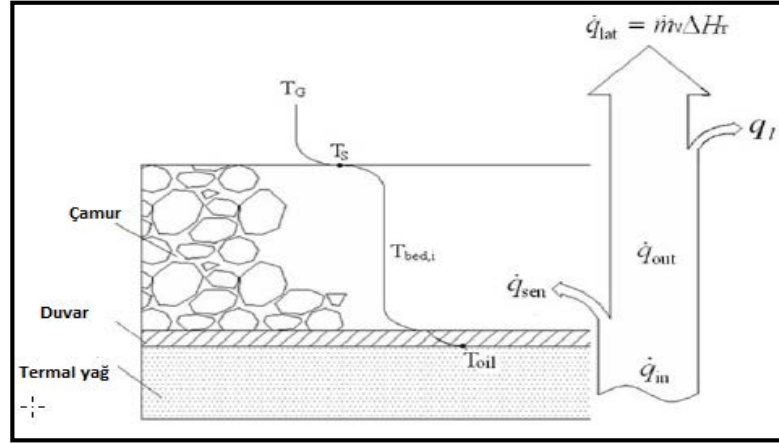
Kürekli kurutucu düzeneğinde, kama biçimli kanatların konfigürasyonu ve birbirine zıt yönde dönmekte olan eşdeğer şaftların sürekli hareketi sayesinde kanatlar çamuru kurutma prosesi boyunca sürekli olarak sıkıştırmaktadır. Böylece kurutma prosesinin başlarında çamurun kanatların yüzeyine yapışmasının önüne geçilmektedir. Ancak çamur, hacmin ve nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak, daha yapışkan, elastik hale gelmekte ve daha fazla miktarda çamur kanatların yüzeylerine yapışmaya başlamaktadır. Sonuç olarak kızgın yağ vasıtasıyla çamura doğru gerçekleşmesi istenilen ısı transfer performansı azalmaktadır. Bu nedenle

nem içeriği 2,50-1,55 kg H₂O/kg kuru madde aralığına tekabül eden yapışkan faz sürecinde kuruma hızının belirgin olarak azaldığı görülmektedir. Takiben nem içeriği daha da azaldığında, şaftların döndürme momenti giderek azalmaktadır. Bu durum çamurun tabi olduğu topaklı faz ve yapışkan faz arasındaki geçişe tekabül etmektedir. Topaklı faz durumunda, sabit kuruma hızı aşamasında çamur kuru görünmekte ve kanatlara tutunmakta, artan kuruma hızı aşamasında ise şaftların döndürme momentinde belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Bu durum, topaklı haldeki çamur yığının parçalanmaya başladığına işaret etmektedir. Topaklı fazın sonunda ise, tork keskin biçimde azalır ve granüle faza doğru geçiş başlar.

Granüle faz sürecinde, çamur kuruma hızı pik değerinden itibaren sürekli olarak azalma gösterir. Bu fazda, şaftların döndürme momenti diğer iki faza nispeten neredeyse ihmal edilebilir büyüklükte olmaktadır.

Bu model ilk olarak Tsotsas E. ve diğ., tarafından 1986 yılında inert gaz varlığında granül yapısındaki malzemelerin karıştırılmak suretiyle kontak metodu ile kurutulmasını analiz etmek amacıyla ortaya koyulmuş, Gevaudan A. ve diğ., tarafından 1991 yılında gözenekli higroskopik malzemelerin kontak metodu ile kurutulmasını analiz etmek amacıyla geliştirilmiştir.

Modelde kararlı hal karıştırma sürecini bir dizi kararlı olmayan karıştırma süreçleri takip eder. tR uzunluğundaki kontak süresini takiben ani bir hareketle kütlenin makro düzeyde muntazam karışması gerçekleşir. Kontak periyodu süresince, kütlenin ısıtıcı yüzeyler üzerinde durgun halde kondüksiyon mekanizması ile ısı transferine tabi olduğu kabul edilir. Şekil 2.11'de kontak sürecine ait sıcaklık profili ve ısı akıları görülmektedir.

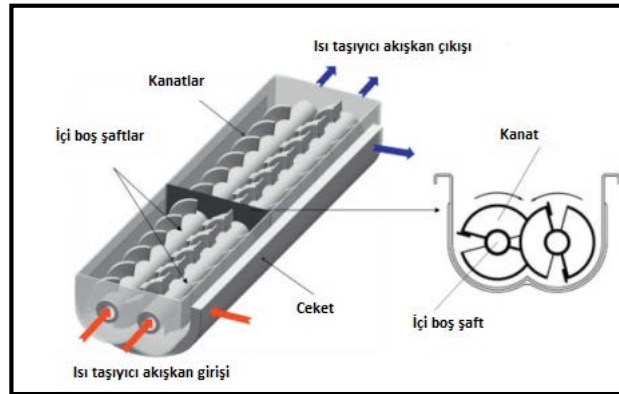


Şekil 2.11. Sıcaklık profilleri ve ısı akıları

Şekilde görüldüğü üzere; kızgın yağdan kaynaklanan, q_{in} olarak ifade edilen ısı akısı kurutucu içerisindeki çamur yatağına doğru ilerler. Isı akısının q_{sen} olarak ifade edilen bir kısmı çamur yatağının sıcaklığını değiştirir. q_{out} olarak belirtilen kalan kısmı çamur yatağını; q_{lat} denilen latent ısı ve q_l ile belirtilen ısı kaybı olarak terk eder. Isı kaybı yani q_l ; malzemenin serbest yüzeyinden konveksiyon ve radyasyon yolu ile taşıyıcı (sürükleyici) gaz, hava akımı içerisinde doğru gerçekleşir.

2.2.1. Pedallı kurutucu içerisindeki ısı transferi

Ticari bir kürekli kurutucunun üç boyutlu gösterimi ve kesit alanı Şekil 2.12'de verilmiştir.



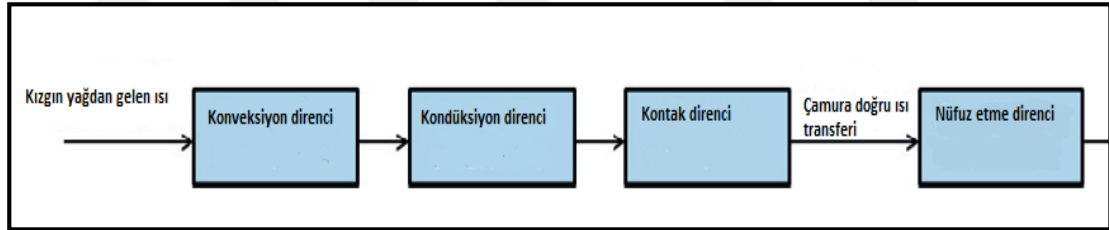
Şekil 2.12. Nara markalı ticari kurutucu

Kürekli kurutucu temel olarak; içi boş 2 adet şaft, kama tipi bıçaklar ve ceketten oluşmaktadır. Bu çalışma konusu olan kurutucu sisteminde kullanılan ısı taşıyıcı kızgın yağ; ceket, şaftlar ve bıçakların içerisinde geçmektedir. Kurutma süreci boyunca çamur sürekli olarak sistemin bir ucundan beslenmekte ve diğer ucundan

kurumuş ürün halinde alınmaktadır. Çamur sistem içerisinde sürekli olarak dönmekte olan bıçaklar vasıtasıyla karıştırılmakta ve kızgın yağ tarafından sağlanan ısı ile kuruma işlemine tabi olmaktadır.

Endirekt kurutucu sistemlerinde toplam ısı transfer direnci temel olarak; sıcak duvar ve malzeme arasındaki kontak (temas) direnci, sıcak duvar boyunca oluşan kondüksiyon direnci ve ısı taşıyıcı akışkan ile sıcak duvar arasında gerçekleşen konveksiyon direnci olarak tanımlanmaktadır.

Pedallı kurutucu sistemi için tanımlanmış olan ısı transfer dirençleri Şekil 2.13'de verilmiştir. Buna bağlı olarak; kurutucu duvarı ve kızgın yağ arasındaki konveksiyon direnci, kurutucu duvarı bünyesinde gerçekleşen kondüksiyon direnci ve kurutucunun sıcak yüzeyi ile çamur yığını arasında gerçekleşen kontak direnci kapsam içerisinde olmaktadır. Sistemlerde kullanılan değişik ısı taşıyıcı akışkanlar için gerçekleşen konveksiyon dirençleri de farklı olmakta ve bu durumun kuruma kinetiği üzerine etkileri kontak metodu ile kurutma (nüfuz etme, penetrasyon modeli) ile açıklanmaktadır. Nüfuz etme direnci ise çamur yığını içerisinde de oluşan ısı transfer direnci olarak tanımlanmaktadır[17].



Şekil 2.13. Pedallı kurutucu sisteminde gerçekleşen ısı dirençleri

Kimball G., içerisinde ısı taşıyıcı akışkan dolaştırılan sıcak yüzeyler vasıtasıyla, sabit veya karıştırılan yatak sisteminde, kurutulan malzemeye doğru gerçekleşen ısı transfer hızının genel olarak Denklem (2.24) ile hesaplanacağını ;

$$Q=UA(T_1-T_2) \quad (2.24)$$

Belirtmiştir .

Denklem (2.24)'de yer alan; Q terimi ısı transfer hızı, U terimi toplam ısı aktarım katsayısı, A terimi ısı transfer yüzey alanı, T_1 terimi ısı taşıyıcı akışkanın yani kızgın yağın sıcaklığı, T_2 ise kurutulan malzemenin sıcaklığı olmaktadır.

Walsh J.,toplam ısı transfer direncinin Denklem (2.25)'de verildiği üzere birtakım film ve termal dirençlerin toplamından oluştuğunu;

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{1}{h_w} + \frac{1}{h_f} + \frac{1}{h_m} + \frac{1}{h_v} \quad (2.25)$$

Açıklamıştır.

Denklemden bulunan toplam ısı transfer direncinin hesaplanması için beş adet direncin hesaba katılması gerektiği görülmektedir. Bunlar; ısı taşıyıcı akışkan ile iletken cidar arasındaki direnç ($1/h_h$) iletken cidar boyunca oluşan direnç ($1/h_w$) kurutulan malzeme yatağının yüzeyi ile sıcak cidar arasında oluşan direnç ($1/h_f$) kurutulan malzeme yatağı boyunca oluşan direnç ($1/h_m$),buharlaştırma yüzeyinde oluşan direnç ($1/h_v$) olarak belirtilmiştir. Schlünder E., pratikte etkileri belirgin olan iki adet direnç bulunduğunu savunmuştur.Bunlar; cidar ile kurutulan malzeme yatağının yüzeyinde oluşan kontak direnci ve kurutulan malzeme yatağı boyunca oluşan nüfuz etme (penetrasyon) direnci olarak belirlenmiştir. Bazı özel durumlarda penetrasyon direnci kontak direncinden çok daha büyük olabilmektedir. Genel olarak, kurutma prosesinin başlangıcında, malzeme yatağının ilk sıcaklık değerinde olduğu izotermal koşullarında penetrasyon direnci çok büyük olmaktadır. Bu durumda kimyasal reaksiyonlar veya buharlaşmaya bağlı olarak ya da malzeme yatağının muntazam biçimde karıştırılması sonucunda yatağın ısı kapasitesi sonsuz bir değere yaklaşmaktadır.

3.KÜREKLİ TİP KURUTUCUNUN TERMODİNAMİK ANALİZİ

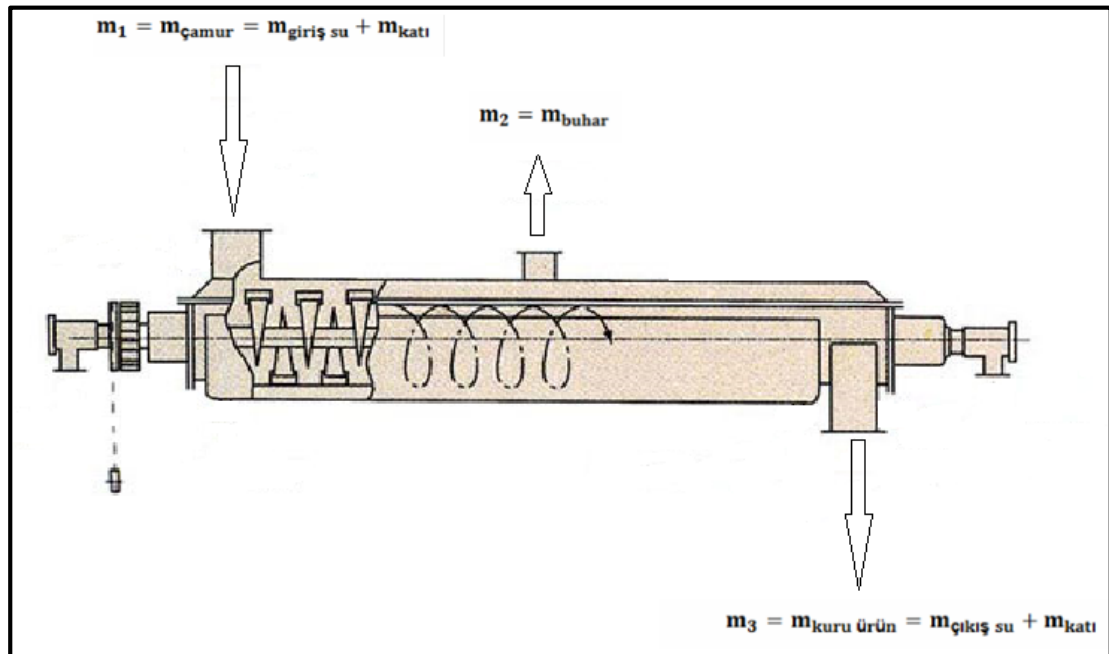
Söz konusu termodinamik analiz, çamur türüne özgü olarak hazırlanan bir modelleme değildir. Bu bakımdan, herhangi bir kürekli tip kurutucu sisteminde çamur kurutma işlemine ait enerji gereksinimlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılabilecek temel bir yaklaşımdır.

3.1. Kürekli Tip Kurutucuda Isı ve Kütle Dengesi

Kurutma haznesinin iç cidarı sınır kabul edilerek, kontrol hacmi için ısı ve kütle denge eşitlikleri tanımlanmıştır. Kurutucu içerisindeki malzeme akışının sürekli olarak sağlandığı, kütle birikimi ve hava kaçakları olmadığı kabul edilmiştir.

3.1.1. Kütle Dengesi

Kütle dengesinin oluşturulmasında ; başlangıç koşullarında nemli çamurun kurutma haznesine girişi,çamur bünyesinden uzaklaşan buhar,kurutulmuş çamurun (nemi azaltılmış) kurutma haznesinden çıkışı olmak üzere 3 bileşen esas alınır.Şekil 3.1.1'de kütle dengesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1.1. Kütle dengesi şematik gösterim

m_1 :Çamur besleme hızı (kg/h)

m_2 : Buhar çıkış hızı (kg/h)

m_3 : Kuru ürün çıkış hızı (Nemi azaltılmış) (kg/h)

Kütle dengesi yazılırsa;

$$m_1=m_2+m_3 \quad (3.1)$$

$$m_1=m_{\text{giriş su}}+m_{\text{katı}} \quad (3.2)$$

Giriş koşulları için;

Çamurun nem miktarı ; $X \text{ kg su} / \text{kg katı}$ ile ifade edilir.

$$m_1=X. m_{\text{katı}}+m_{\text{katı}} \quad (3.3)$$

$$m_{\text{katı}}=m_1 X \left(\frac{1}{(X+1)} \right) \quad (3.4)$$

$$m_{\text{giriş su}}=m_1 X \left(\frac{X}{(X+1)} \right) \quad (3.5)$$

$m_1=\dots \text{ kg/h}$ ise;

Ağırlıkça DS % kuru madde içeren çamur beslemesindeki katı madde miktarı;

$$m_{\text{katı}}=m_1 X \frac{DS}{100}=\dots \text{ kg/h} \quad (3.6)$$

Su mikarı ise ;

$$m_{\text{giriş su}}=m_1-m_{\text{katı}} \quad (3.7)$$

Eşitlikleri ile hesaplanır.

Çıkış koşulları için;

Çamurun nem miktarı ; $Y \text{ kg su} / \text{kg katı}$ ile ifade edilir.

$$m_3=m_{\text{çıkış su}}+m_{\text{katı}} \quad (3.8)$$

$$m_{\text{katı}} = m_3 \times \left(\frac{1}{(Y+1)} \right) \quad (3.9)$$

$$m_{\text{çıkış su}} = m_3 \times \left(\frac{Y}{(Y+1)} \right) \quad (3.10)$$

$m_3 = \dots$ kg/h ise ;

Ağırlıkça DS %kuru madde kuru madde içeriği ölçülen ürün çıkışındaki katı madde miktarı;

$$m_{\text{katı}} = m_3 \times \frac{DS}{100} = \dots \text{ kg/h} \quad (3.11)$$

Su miktarı ise ;

$$m_{\text{çıkış su}} = m_3 - m_{\text{katı}} \quad (3.12)$$

Eşitlikleri ile hesaplanır.

Buhar çıkış debisi ise ;

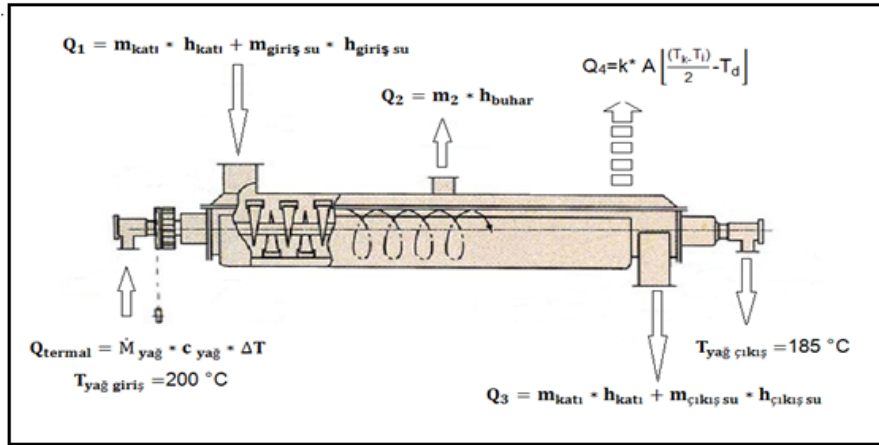
$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_2 = m_{\text{buhar}} = m_1 - m_3$$

$m_2 = m_{\text{buhar}} = \dots$ kg/h olarak hesaplanır.

3.1.2. Enerji Dengesi

Şekil 3.1.2'de kütle dengesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1.2 Enerji Dengesi Şematik Gösterimi

Kurutma prosesi için gerekli ısı enerjisi; kızgın yağın sisteme giriş ve çıkış sıcaklığı, debisi , yoğunluğu ve özgül ısı kullanılarak hesaplanılır.

Kızgın yağ pompasının debisi ; $V_{yağ}$; m^3/h

200 °C'deki yağın yoğunluğu; $d_{yağ}$; kg/m^3

$$M_{yağ} = V_{yağ} \times d_{yağ} \quad (3.13)$$

$$M_{yağ} = kg/h$$

$M_{yağ}$ = kg/sn cinsinden hesaplanır.

$$\Delta T = T_{yağ \text{ giriş}} - T_{yağ \text{ çıkış}} = \dots ^\circ C \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{termal}} = M_{yağ} \times c_{yağ} \times \Delta T = \dots kW \quad (3.15)$$

$$Q_2 = m_2 \times h_{\text{buhar}} \quad (3.16)$$

$$Q_2 = m_{\text{buhar}} \times h_{\text{buhar}} = \dots kW$$

$$h_{\text{buhar}} = \dots kJ/kg$$

Suyun ilgili sıcaklıkta doymuş buhar halindeki entalpisitermodinamik tablolardan bulunur.

Çıkış koşulları ilgili sıcaklıkta ;

$$Q_3 = m_{\text{katı}} \times h_{\text{katı}} + m_{\text{çıkış su}} \times h_{\text{çıkış su}} = \dots kW \quad (3.17)$$

Giriş koşulları ilgili sıcaklıkta;

$$Q_1 = m_{\text{katı}} \times h_{\text{katı}} + m_{\text{giriş su}} \times h_{\text{giriş su}} = \dots \text{ kW} \quad (3.18)$$

Radyasyonla olan ısı kayıpları ;

$$Q_4 = k \times A \left[\frac{(T_k + T_i)}{2} - T_d \right] = \dots \text{ kW} \quad (3.19)$$

k: Kurutucu yüzeylerinin toplam ısı transfer katsayısı (W/m²K) aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{1}{\alpha_d} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (3.20)$$

$\alpha_{iç}$: İç yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

$\alpha_{dış}$: Dış yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

d: Duvarları oluşturan her bir katmanın kalınlığı, (mm)

λ : Duvarları oluşturan her bir katmanın ısı iletim katsayısı, (W/m²K)

A:Kurutucunun ısı transfer yüzey alanı (m²)

T_k = Kurutucu işletme sıcaklığı (°C)

T_i =Kurutmaya başlamadan önceki iç hava sıcaklığı (°C)

T_d =Dış hava sıcaklığı (°C)

4.DENEYLER VE BULGULAR

Bu tez çalışmasında N&A Çevre Teknolojileri firmasında tasarlanan kürekli tip kurutucu kullanılarak Kocaeli-İSU Kullar Arıtma Tesis'i'nden alınan evsel nitelikli arıtma çamurunun kurutulması gerçekleştirilmiştir.

Kurutucunun devir sayısı 17, 20, 24, 28 d/d olarak ayarlanarak, denemeler yapılmıştır. 24 d/d'dan düşük devirlerde, nispeten düşük sıcaklıklarda çalışılsa bile çamurun makine içerisinde yandığı tespit edilmiştir. 24 d/d'dan fazla devirlerde ise çamur numunesi tam olarak kurumadan sistemden çıkmıştır. Bu kapsamda ideal devir sayısı 24 d/d olmuştur. Denemeler sonucunda tespit edilen optimum çalışma koşulları Tablo.4.1.'de sunulmuştur.

Tablo 4.1.Optimum çalışma koşulları

Devir Sayısı	24 d/d
Ortam Sıcaklığı	20- 25
Sistemdeki Yağ Basıncı	0,5-1
Sistemdeki Yağın Giriş Sıcaklığı	200 °C
Sistemdeki Yağın Dönüş Sıcaklığı	185 °C
Fanın Çalışma Devri	1820

Kararlı çalışma koşullarına ulaşılabilmesi için, sistemde kullanılan ısı taşıyıcı kızgın yağın sıcaklığının 200 °C değerine ulaşması gerekmektedir. Takiben kurutma süreci başlatılmıştır. Her bir deneyde sisteme 25 kg arıtma çamuru numunesi verilmiş ve elde edilen kurutulmuş çamurun nem ve kalorifik değeri İZAYDAŞ laboratuvarında ölçülmüştür.Kalorifik değeri ASTM D 5468-02/TS ISO1928:2010 deney metoduna göre 14,521 kJ/kg olarak raporlanmıştır. Söz konusu kalorifik değer, Kocaeli-İSU Kullar Arıtma Tesis'i'nden 21.01.2014 tarihinde alınan evsel nitelikli çamur numunesine aittir.Yapılan literatür araştırmasına göre;dünya genelinde evsel atıkların ortalama kalorifik değerinin değişken ve genellikle 2,400-2,500 kcal/kg aralığında olduğu görülmüştür [18-20].Ölçümde hata olduğu düşünülerek analiz yinelenmiş,buna rağmen 2.ölçümde de aynı sonuç raporlanmıştır.

Çıkan sonuç, evsel nitelikli arıtma çamuru örneğine başka tür atığın da karışmış olabileceği yönünde yorumlanmıştır. Bu nedenle, ilgili yüksek kalorifik değer in bu çalışmaya özgü olduğu düşünülmelidir. Nem içeriği ise TS 9546 EN 12880:2002 deney metoduna göre %8,66 olarak raporlanmıştır. Farklı bir deneye geçilmeden önce sistem tamamen boşaltılarak temizlenmiştir. Çalışma sırasında kullanılan mekaniksel olarak susuzlaştırılmış olan çamurun kg katı madde (DS) başına içerdiği kg su miktarı, numunenin alındığı tesis vb belirlenmelidir. Bu çamurun tabi tutulduğu susuzlaştırma yöntemi ile hangi prosesin artığı olarak elde edildiği belirlenmelidir. Buna bağlı olarak çamurun karakteristikleri ifade edilecektir. Bu araştırma kapsamında kullanılan evsel nitelikli çamur Kocaeli-İSU Kullar Arıtma Tesisleri'nden alınmıştır. Arıtma tesisinde susuzlaştırma dekantörü çıkışındaki çamurun kuru madde içeriği %18 olarak (%DS) verilmiştir. Tablo 4.2'de arıtma tesisi çamur susuzlaştırma ünitesine ait değerler bulunmaktadır.

Tablo 4.2.Kullar Atıksu Arıtma Tesis i susuzlaştırma ünitesi çıkış değerleri

TARİH	ÇAMUR TONAJI (kg/gün)	İŞLENEN ÇAMUR HACMI (m3/gün)	ÇIKAN ÇAMUR % KM	TOPLAM KURU MADDE (kg/gün)	GİRİŞ ÇAMURU % KM
2010-01-01	46,650	179,19	18,00	8,397	4,66
2010-01-02	25,300	73,59	18,00	4,554	6,17
2010-01-04	21,460	72,21	18,00	3,863	5,33
2010-01-05	33,640	155,80	18,00	6,055	3,86
2010-01-06	46,550	78,81	18,00	8,379	10,61
2010-01-07	47,950	152,34	18,00	8,631	5,64
2010-01-08	47,600	79,42	18,00	8,568	10,76
2010-01-09	23,950	165,58	18,00	4,311	2,58
2010-01-10	23,450	84,51	18,00	4,221	4,98
2010-01-11	48,000	81,90	18,00	8,640	10,53
2010-01-12	24,850	156,29	18,00	4,473	2,84
2010-01-15	22,500	84,26	18,00	4,050	4,79
2010-01-22	24,750	107,13	18,00	4,455	4,14
2010-01-25	26,480	77,82	18,00	4,766	6,10
2010-01-26	24.740	75,29	18,00	4,453	5,89
2010-01-28	25,000	91,60	18,00	4,500	4,89
2010-01-30	27,700	81,88	18,00	4,986	6,07

Yaş arıtma çamurunun sistemde ilerleyişi sırasında yapışma olmadığını garanti etmek adına ilk etapta sistemin kapakları açık olarak deneme yapılmıştır. Bu süreç Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3. İlk kurutma denemesi

Takiben kapalı sistemde kurutma denemesi gerçekleştirilmiştir. Bu süreç Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Kapalı sistemde kurutma denemesi

Şekil.4.5'te evsel nitelikli arıtma çamurunun kurutma öncesi ve sonrası görünümü sunulmaktadır.

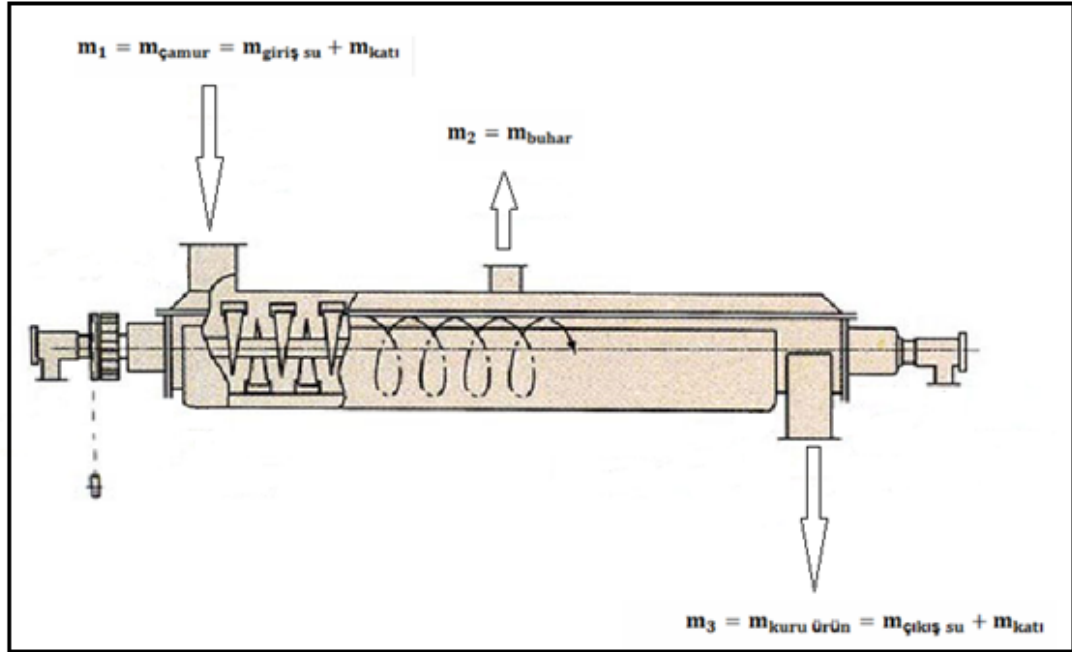


Şekil 4.5. Kurutma öncesi ve sonrası görünüm

Gerçekleştirilen kurutma deneyinde, sisteme 1 saat sürede 166 kg olarak beslenen evsel nitelikli arıtma çamuru 31,54 kg/h olarak çıkmıştır. Çamur kilogram olarak ağırlığının %81'ini kaybetmiştir.%82 nem oranı ile sisteme giriş yapıp,%8,7 nem oranı ile sistemden ayrılmıştır. Arıtma çamurunun ilk ağırlığının %19'u kalmıştır.

Elde edilen deneysel bulgular, kürekli tip kurutucu prototipi için hazırlanan termodinamik analiz yaklaşımında yerine koyularak sistemin kütle ve enerji dengesi ifade edilir.

Şekil 4.6'da verilen şematik gösterim göz önüne alınarak sistem için kütle dengesi yazılırsa;



Şekil 4. 6. Kütle Dengesi Şematik Gösterimi

Evsel nitelikli arıtma çamuru 18% kuru madde içeriğinden,91 % kuru madde içeriği değerine 166 kg/h yaş besleme kapasitesi ile kurutulmuştur.

Sisteme giriş koşulları;

$m_1=166$ kg/h sisteme gerçekleşen yaş ürün besleme kapasitesidir.

Ağırlıkça %18kuru madde içeren yaş ürünündeki katı ve su miktarı ;

$$m_1=m_{\text{giriş su}}+m_{\text{katı}}$$

$$m_{\text{katı}} = 166 \times \frac{18}{100} = 29,88 \text{ kg/h}$$

$m_{\text{giriş su}} = 136,12 \text{ kg/h}$ olarak hesaplanır.

Giriş koşulları için bu parametreler yerine koyulduğunda;

$$m_{\text{katı}} = m_1 \times \left(\frac{1}{(X+1)} \right)$$

$$m_{\text{giriş su}} = m_1 \times \left(\frac{X}{(X+1)} \right)$$

$X = 4,55$ olarak hesaplanır.

Sistemden çıkış koşulları;

$m_3 = 31,54 \text{ kg/h}$ kapasite ile kuru ürün (katı içerik+ düşük oranda nem) kurutucudan çıkmıştır.

Ağırlıkça %91 kuru madde içeren kuru üründeki katı ve su miktarı;

$$m_3 = m_{\text{çıkış su}} + m_{\text{katı}}$$

$$m_{\text{katı}} = 31,54 \times \frac{91}{100} = 28,70 \text{ kg/h}$$

$m_{\text{çıkış su}} = 2,83 \text{ kg/h}$ olarak hesaplanır.

Çıkış koşulları için bu parametreler yerine koyulduğunda;

$$m_{\text{katı}} = m_3 \times \left(\frac{1}{(Y+1)} \right)$$

$$m_{\text{çıkış su}} = m_3 \times \left(\frac{Y}{(Y+1)} \right)$$

$Y = 0,10$ olarak hesaplanır.

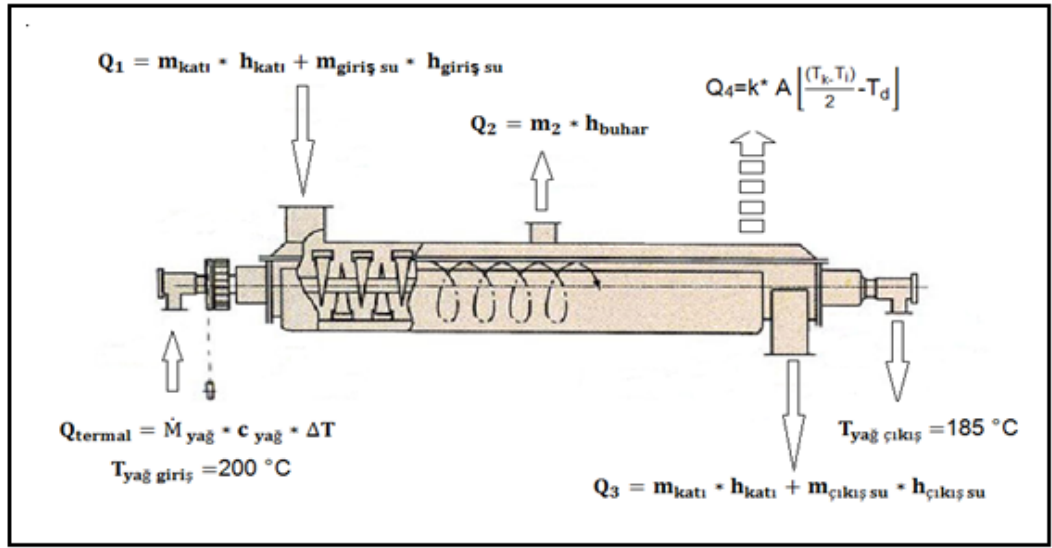
Genel kütle balansı kullanılarak çıkan buharın debisi ;

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_2 = m_{\text{buhar}} = m_1 - m_3$$

$m_2 = m_{\text{buhar}} = 134,46 \text{ kg/h}$ olarak hesaplanır.

Kurutucunun termodinamik analizinde , kütle balansına ilave olarak ısı balans da hazırlanmalıdır.Şekil 4.7’de verilen şematik gösterim göz önüne alınarak enerji dengesi yazılır.



Şekil 4. 7. Enerji Dengesi Şematik Gösterimi

Kurutma prosesi için sistemin ısı enerji gereksinimi;

$Q_{termal} = M_{yağ} \times c_{yağ} \times \Delta T$ formülü ile hesaplanır.

Yağın debisi;

$$M_{yağ} = V_{yağ} \times d_{yağ}$$

Kızgın yağın taşınması için kullanılan pompa 13,3 m³/h kapasiteye sahiptir.

Optima kapalı sistem ısı transfer yağını 200 °C'deki ortalama yoğunluğu üretici tarafından 700 kg/m³ olarak verilmiştir.

$$13,3 \text{ m}^3/\text{h} \times 700 \text{ kg/m}^3$$

$$= 9310 \text{ kg/h}$$

$$= 2,58 \text{ kg/sn olarak hesaplanır.}$$

Kurutma sistemine giren ve çıkan yağın sıcaklık farkları ;

$$T_{yağ giriş} = 200 \text{ °C}$$

$$T_{yağ çıkış} = 185 \text{ °C}$$

$$\Delta T: 200 - 185 = 15 \text{ °C}$$

Bu durumda sistemin ısı enerji gereksinimi ;

$$Q_{termal} = M_{yağ} \times c_{yağ} \times \Delta T$$

$$=2,58\text{kg/sn}\times 2,80(\text{kJ/kg K})\times 15$$

$$=108,36 \text{ Kw ısıll olarak hesaplanır.}$$

Giren ürünün ısıll enerjisi;

$$Q_1=m_{\text{katı}}\times h_{\text{katı}}+m_{\text{giriş su}}\times h_{\text{giriş su}}$$

$$m_{\text{katı}}=29,88 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{katı}}=0,0083 \text{ kg/s}$$

$$m_{\text{giriş su}}= 136,12 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{giriş su}}= 0,038 \text{ kg/s}$$

$h_{\text{su}}@25^\circ\text{C} =104,83 \text{ kJ/kg}$, ilgili sıcaklıktaki suyun entalpi değeri termodinamik tablolardan bulunur.

$$Q_1=(0,0083 \text{ kg/s} \times 10.500 \text{ kJ/kg}) + (0,038 \text{ kg/s} \times 104,83 \text{ kJ/kg})$$

$$0,087 +3,983$$

$$Q_1=4,070 \text{ kw olarak hesaplanır.}$$

Kocaeli Kullar Arıtma Tesisi yaz dönemi çamur örneğinin kuru bazdaki alt ısıll değeri literatürden ortalama 10,500 kJ/kg olarak alınmıştır [18].

Çıkış koşullarındaki kuru ürünün (katı içerik+ düşük oranda nem) ısıll enerjisi;

$$Q_3=m_{\text{katı}}\times h_{\text{katı}}+m_{\text{çıkış su}}\times h_{\text{çıkış su}}$$

$$m_{\text{katı}}=28,70\text{kg/h}$$

$$m_{\text{katı}}=0,0079 \text{ kg/s}$$

$$m_{\text{çıkış su}}= 2,83 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{çıkış su}}= 0,0007 \text{ kg/s}$$

$$Q_3=(0,0079 \text{ kg/s} \times 14,521 \text{ kJ/kg}) + (0,0007 \text{ kg/s} \times 104,83 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_3=0,114 +0,073$$

$$Q_3 = 0,187 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

Kurutulmuş çamurun kalorik değeri 14,521 kJ/kg olarak ölçülmüştür.

$h_{\text{su}}@25^\circ\text{C} =104,83 \text{ kJ/kg}$, ilgili sıcaklıktaki suyun entalpi değeri termodinamik tablolardan bulunur.

Çıkan buharın ısı enerjisi;

$$Q_2 = m_{\text{buhar}} \times h_{\text{buhar}}$$

$$Q_2 = m_2 \times h_{\text{buhar}}$$

$$h_{\text{buhar}} = 2,792 \text{ kJ/kg}$$

Suyun 200°C'de doymuş buhar halindeki entalpisi termodinamik tablolardan bulunur.

$$m_2 = m_{\text{buhar}} = 134,46 \text{ kg/h}$$

$$m_2 = m_{\text{buhar}} = 0,037 \text{ kg/s}$$

$$Q_2 = 0,037 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2,792 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_2 = 104,281 \text{ Kw olarak hesaplanır.}$$

Kurutucunun enerji balansı hazırlanırken, giren ürünün enerjisi, çıkan ürünün enerjisi ve çıkan buharın enerjisine ilave olarak, kurutucu yüzeyinden çevre havasına doğru gerçekleşen ısı kayıpları da göz önüne alınmalıdır. Kurutucunun ısı transfer yüzey alanı 1,70 m² olarak hesaplanmıştır. Kürekli tip kurutucunun yüzeylerinin toplam ısı transfer katsayısı ise literatürden 17,20 W/m²K olarak bulunmuştur. Bu parametrelere ilave olarak , kurutucunun işletme sıcaklığı, kurutmaya başlamadan önceki iç hava sıcaklığı ve dış hava sıcaklığı ölçülerek radyasyon yolu ile gerçekleşen ısı kayıpları;

$$Q_4 = k \times A \left[\frac{(T_k + T_i)}{2} - T_d \right]$$

$$Q_4 = 17,20 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right) \times 1,70 \text{ m}^2 \times \left[\frac{(200 + 140)}{2} - 25 \right]$$

$$Q_4 = 4,239 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

Kalorifik değeri 14,521 kJ/kg olarak ölçülen kurutulmuş ürünün yakılarak faydalı enerjiye dönüştürülmesi durumunda;

$$Q_{\text{ısı}} = 0,0079 \text{ kg/s} \times 14,521 \text{ kJ/kg} = 114,715 \text{ kW ısı enerjisi elde edilebilir.}$$

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Kocaeli-İSU Kullar Arıtma Tesis'i'nden alınan evsel nitelikli arıtma çamuru örnekleri kürekli tip kurutucu prototipinde kurutulmuştur. Kurutma prosesinin termodinamik analizi gerçekleştirilmiş, enerji gereksinimleri hesaplanmış kurutulan çamurun kalorifik değeri tayin edilmiştir.

Kurutma verimini artıran parametreler; arıtma çamurunun sistem içerisindeki akışının sürekli olarak sağlanabilmesi, çamur ile ısıtıcı yüzeyler arasındaki ısı transfer alanının artırılması, sistem sıcaklığının çamur sıcaklığına göre gerçek zamanlı kontrol edilmesi olarak belirlenmiştir.

Kuruma hızına etki eden parametreler; kızgın yağ sıcaklığı ve sistemde yer alan millerin devir sayısı olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen denemelerde, millerin devir sayısının 24d/d'dan daha yüksek olması ya da kızgın yağ sıcaklığının 170 °C'den daha düşük olması durumunda çamur sistemi nemli olarak terk etmiş, devir sayısının 17d/d'dan daha düşük olması ya da kızgın yağ sıcaklığının 220 °C'den daha yüksek olması durumunda çamurun yandığı gözlemlenmiştir. Optimum çalışma koşulları, 24 d/d ve ısı taşıyıcı kızgın yağın sisteme giriş sıcaklığının 200 °C olarak sağlandığı durum olmuştur.

Çalışma kapsamında, Kocaeli-İSU Kullar Arıtma Tesis'i'nden alınan, başlangıç koşullarında %82 nem oranına sahip arıtma çamuru kürekli tip kurutucuda kurutularak yaklaşık %9 nem oranına düşürülmüştür. Sisteme giren toplam yağ çamur miktarı çıkışta %19 oranına düşmüştür.

Kurutma denemesi sonucunda elde edilen kurutulmuş çamur örneğinin kalorifik değeri 14,521 kJ/kg (3,469 kcal/kg) olarak ölçülmüş, kurutulmuş ürünün yakılarak faydalı enerjiye dönüştürülmesi ile 114,715 kW ısı enerji elde edileceği hesaplanmıştır.Söz konusu yüksek kalorifik değerin, Kocaeli-İSU Kullar Arıtma Tesis'i'nden 21.01.2014 tarihinde alınan evsel nitelikli çamur numunesine özgü olduğu göz önüne alınmalıdır.

Çamurun kurutulması için sistemin ısı enerji gereksinimi ise 108,36 kW ısı olarak hesaplanmıştır. Kurutulmuş çamurun yakılarak faydalı enerjiye dönüştürülmesi

suretiyle, bu çalışmaya özgü olarak, sistemin enerji gereksiniminin sağlanacağı görülmüştür.

Başka bir prosesin atık ısısından faydalanılarak ve/veya elde edilen kurutulmuş çamur yakılarak kurutma işlemi için söz konusu enerji gereksinimi sağlanabilir. Kurutma sistemine uygun modifikasyonların yapılması, ek donanımların entegre edilmesi ile enerji gereksinimi azaltılabilir. Diğer yandan, elde edilen kurutulmuş çamur tarım amaçlı ya da alternatif yakıt olarak kullanılarak farklı amaçlar doğrultusunda değerlendirilebilir.

Kurutma haznesinin iç cidarı sınır kabul edilerek hazırlanan termodinamik analiz değerlendirildiğinde, toplam ısı girdinin yaklaşık %3,7 oranı kurutucudan çevre havasına radyasyon yolu ile kaybolmaktadır. Yüzey ısı kayıplarını minimize etmek için izolasyonun iyileştirilmesi ve dış yüzey alanının minimum, iç kısımdaki ısı transfer yüzey alanlarının ise maksimum düzeyde tasarlanması önerilebilir.

Ayrıca, toplam ısı girdinin yaklaşık %3,3 oranında, sistemde iç kayıplar olduğu hesaplanmıştır. Penetrasyon teorisi kısmında değinildiği üzere, metal yüzey ve malzeme arasında oluşan temas direnci, metal yüzey boyunca oluşan konveksiyon direnci, ısı taşıyıcı kızgın yağ ile metal yüzey arasında oluşan konveksiyon direnci ve çamur yığını içerisinde oluşan nüfuz etme direncinin etkili olduğu düşünülmektedir. Kurutucu tasarımı aşamasında, kurutulacak malzemeye özgü metal aksam seçimi, daha muntazam karıştırma koşullarının sağlanması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yıldız Ş., Yılmaz E., Ölmez E.,Eysel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri, *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye,15-17 Haziran 2009.
- [2] Jacobs U.,Haintz J. , Kappel J.,Selection Criteria for Sludge Drying Plants Belt, Drum and Fluidised Bed Dryers,*VDI Meeting*,Bamberg,Germany,01 May 2003.
- [3] Silval D. P., RudolphII V.,Tarantol O. P., The Drying of Sewage Sludge by Immersion Frying, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, ISSN: 0104-6632.
- [4] Mujumdar A.,*Handbook of Industrial Drying*,4 th ed.,CRC Press , Boca Raton,2015.
- [5] <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum08.pdf/> (Ziyaret tarihi: 27 Ekim 2013).
- [6] Tsotsas E.,Mujumdar A., *Modern Drying Technology*,1 st ed .,Wiley-VCH, Germany,2012.
- [7] Flaga A., Sludge Drying, Cracow University of Technology, https://www.kth.se/polopoly_fs/1.650658!/JPS11p9.pdf/ (Ziyaret tarihi: 28 Ekim 2013) .
- [8] M.G.Silva., T.S.Lira., E.B.Arruda.,V.V.Murata., Modelling of Fertilizer Drying in a Rotary Dryer: Parametric Sensitivity Analysis,*Brazilian Journal of Chemical Engineering*, DOI: 10.1590.
- [9] Delft J.T., Modeling and Model Predictive Control of a Conveyor-Belt Dryer, Applied to The Drying of Fish Feed, Norwegian University of Science and Technology,<http://daim.idi.ntnu.no/masteroppgaver/005/5396/masteroppgave.pdf/> (Ziyaret tarihi: 30 Ekim 2013) .
- [10] [http://www.andritz.com/se-downloads-drying technologies for sewage sludge_web_en.pdf](http://www.andritz.com/se-downloads-drying-technologies-for-sewage-sludge_web_en.pdf) (Ziyaret tarihi: 20 Nisan 2014).
- [11] Mujumdar A.,*Handbook of Industrial Drying*,3rd ed.,CRC Press,Boca Raton, 2007.
- [12] <http://www.sms-vt.com/en/technologies/drying/vertical-thin-film-dryer> (Ziyaret tarihi: 25 Haziran 2014).

- [13] <http://www.ranteko.com/en/thermal.html> (Ziyaret tarihi:25 Haziran 2014).
- [14] <http://www.sil-sa.fr/industrie-en-environnement-produit-secheurs-horizontaux.html> (Ziyaret tarihi:26 Haziran 2014).
- [15] http://www.tdgtic.com/en/pdetail_109.html (Ziyaret tarihi:26 Haziran 2014).
- [16] Wen - Yi Deng ., Jian - HuaYan., Xiao - DongLi., FeiWang., ShengYongLu., YongChi., Ke-FaCen., Measurement and Simulation of the Contact Drying of Sewage Sludge in a Nara-Type Paddle Dryer , *Chemical Engineering Science*, DOI: 10.1016.
- [17] Wen-Yi Deng., Yaxin Su., Weichao Yu., Theoretical Calculation of Heat Transfer Coefficient When Sludge Drying in a Nara-Type Paddle Dryer Using Different Heat Carriers, *International Symposium on Environmental Science and Technology*, Dalian,China,4-7 June 2013.
- [18] <http://lechtenberg-partner.de/html/201104> (Ziyaret tarihi: 01Temmuz 2017).
- [19] <http://www.agir.ro/buletine/2661.pdf> (Ziyaret tarihi:01 Temmuz 2017).
- [20] <http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-21/issue-3/> (Ziyaret tarihi: 01 Temmuz 2017).
- [21] <http://www.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/EK11.pdf> (Ziyaret tarihi: 04 Ağustos 2016).



EKLER

Ek-A

İZAYDAŞ Nem Ve Kalorifik Değer Ölçüm Sonuçları

İZAYDAŞ İZMİT ATIK VE ARTIKLARI ARITMA YAKMA VE DEĞERLENDİRME A.Ş. Alibahya Atatürk Mahallesi, Çarşıbaşı Caddesi, 290.Sokak No:350 P.K.66 41310 İzmit / KOCAELİ Deney Raporu <i>Testing Report</i> <table><tr><td>İZAYDAŞ</td></tr><tr><td>Lab.14.01.0002 8749</td></tr><tr><td>22.01.2014</td></tr></table>				İZAYDAŞ	Lab.14.01.0002 8749	22.01.2014
İZAYDAŞ						
Lab.14.01.0002 8749						
22.01.2014						
Müşterinin Adı/Adresi <i>Customer Name/Address</i>	NA ÇEVRE TEKNOLOJİLERİ TASARIM GELİŞTİRME MAK. SAN. TİC. LTD. ŞTİ. KOCAELİ					
Numunenin Adı / Tanımı <i>Name and identity of test item</i>	BİYOLOJİK ARITMA					
Numune Numarası <i>Order No.</i>	0000029828	Numuneye Uygulanan İşlemler <i>Preliminary procedure applied on the test item</i>	-			
Numune Alma Metotları <i>Sampling Methods</i>	-	Numunenin Geliş Şekli <i>Sampling type</i>	Firma Yetkilisi			
Numunenin Alındığı Yer <i>Sampling location</i>	Numuneyi Firma Yetkilisi Teslim Etmiştir	Numunenin Kabul Tarihi <i>The date of receipt of test item</i>	21.01.2014 00:00:00			
Numunenin Alındığı Tarih <i>Date of sampling</i>	21.01.2014 00:00:00	Deneylerin Yapıldığı Tarih <i>Date of Testing</i>	21.01.2014- 22.01.2014			
Numuneyi Alan <i>Personnel responsible from sampling</i>	Firma Yetkilisi	Raporun Toplam Sayfa Sayısı <i>Number of pages of the Report</i>	2			
Yorum: <i>Conclusions</i> Analiz sonuçları, sadece analizi yapılan numuneyi temsil eder.						
Deney ve/veya ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri (olması halinde) ve deney metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayılarda verilmektedir. <i>The testing and/or measurement results, the uncertainties (if applicable) with confidence probability, and test methods are given on the following pages which are part of this report.</i> Analizi tamamlanan atık, toprak ve arıtma çamuru analizleri, analizleri tamamlandıktan sonra 6 ay süre ile muhafaza edilir. Su ve atık su numuneleri ise analizleri tamamlandıktan sonra imha edilir. <i>The samples of waste, soil, and sludge are stored for a duration of six months after their analyses have been completed whereas water and waste water samples are discarded as soon as the final report is issued.</i> Raporun yer alan sonuçlar sadece incelenen numunelere aittir. <i>The results stated herein relate only to the items tested.</i>						
Mühür <i>Seal</i>	Tarih <i>Date</i>	Hazırlayan <i>Prepared by</i>	Laboratuvar Şefi <i>Chief of Laboratory</i>			
	22.01.2014	Gökçe POLSUN <i>Analizci / Analyst</i>	Erkan <i>Laboratuvar Şefi / Chief of Laboratory</i>			
Tel: 0262 316 60 00 Faks: 0262 316 60 50 www.izaydas.com.tr e-mail:izaydas@izaydas.com.tr						

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İzmit ve mühürsüz raporlar geçerli değildir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are not valid

İZAYDAŞ
İZMİT ATIK VE ARTIKLARI
ARTIRMA YAKMA VE DEĞERLENDİRME A.Ş.

Alikahya Atatürk Mahallesi, Çarşıbaşı Caddesi, 290.Sokak No:350
P.K.66 41310 İzmit / KOCAELİ

İZAYDAŞ

Lab.14.01-000287
49

22.01.2014

Analiz Raporu

Parametre	Deney Metodu	Birimi	Ölçülen Değer
NEM TAYİNİ	TS 9546 EN 12880-2002	%	8,66
KALORİFİK DEĞER	ASTM D 5468-02 / TS ISO 1928-2010	kJ/kg	14521

Numune Alma Esnasındaki Çevresel Şartlar

Koordinatlar	-	Ambalaj uygun mu?	Evet
Hava Durumu	-	Sızıntı, akma vb. var mı?	Hayır
Hava Sıcaklığı	-	Mühürlü mü?	Hayır
Derinlik	-	Numune geri isteniyor mu?	Hayır
Debi	-	pH	-
Şahit numune var mı?	Hayır	İletkenlik	-
Numune miktarı yeterli mi?	Evet	Oksijen	-

Analizler esnasındaki çevre koşulları, Laboratuvar Çevre ve Yerleşim Kuralları Talimatına (T-135-82) göre izlenmiştir.
Numune alma uygulamaları "Laboratuvar Numune Alma ve Numanelere Uygulanan İşlemler Prosedürüne" (PR-135-82) göre gerçekleştirilmiştir.

Tel: 0262 316 60 00 Faks: 0262 316 60 50 www.izaydas.com.tr e-mail: laboratuvar@izaydas.com.tr

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmaksızın kısmen veya bütünüyle çoğaltılamaz, basılamaz ve mühürsüz raporlar geçersizdir.
This report shall not be reproduced other than as full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are invalid.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Özön N., **Sıkı R.**, Kılıçaslan İ., Arıtma Çamurunun Ekonomik Kurutulması, *2.Uluslararası İnşaat ve Çevre Mühendisliği Konferansı*, Nevşehir, Türkiye, 8-10 Mayıs 2017.



ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında İstanbul'da doğdu. İlk,orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2006 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 2011 yılında Kimya Mühendisi olarak mezun oldu.2012-2017 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir. Enerji sektöründe, uygulama mühendisi olarak çalışmaktadır.





