

## 8. ÇAMUR ARITIMI VE UZAKLAŞTIRILMASI

Atıksu arıtma sistemi çamur, kum ve köpük tutma birimlerini de ihtiva eder. Arıtma işlemi sonunda çıkan çamur genellikle sıvı veya yarı katı formda olup kullanılan prosese ve işletmeye bağlı olarak %0.25-12 oranında katı içermektedir. Çıkan çamur hacimce büyük olup, işlenmesi ve bertarafı atıksu arıtma alanında oldukça karmaşık bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çamur probleminin karmaşık olmasının başlıca sebepleri,

- Arıtılmamış atıksu içindeki önemli miktarlarda koku veren maddeler,
- Biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması,
- Çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi,

olarak özetlenebilir.

Arıtma tipine ve amacına göre, arıtma çamurlarının cinsleri farklılık gösterir. Bunlar;

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

olarak sıralanabilir.

Atık bünyesinde kirleticileri üç grup altında toplamak mümkündür. Bunlar;

Çökebilen katı maddeleri,  
Askıda katı maddeler,  
Çözünmüş katı maddeler,  
olarak ifade edilir.

Çamur işlenmesi ve bertarafında kullanılan metotlar Tablo 8.1'de verilmiştir. Graviteli yoğunlaştırma, şartlandırma, susuzlaştırma ve kurutma, kullanılan başlıca arıtma metotlarıdır. Çürütme, kompostlama, yakma, ıslak-hava oksidasyonu ve derin şaft reaktörleri çamurdaki organik maddeleri stabilize etmek veya arıtmak amacıyla kullanılırlar.

### 8.1 ÇAMUR KAYNAKLARI, ÖZELLİKLERİ VE MİKTARLARI

Çamur işleme, arıtma ve bertaraf sistemlerini tasarlayabilmek için arıtma sisteminde oluşan çamurun kaynağı, özellikler, ve miktarının bilinmesi gerekmektedir.

### 8.1.1 Çamur Kaynakları

Çamur arıtma sistemleri, çamur kaynağı, prosesin tipi ve işletme metoduna göre değişiklik gösterir. Çamur ve katı atıkların esas kaynakları Tablo 8.2’de verilmiştir. Örneğin tam karışimli aktif çamur prosesinde, çamur uzaklaştırma veya havalandırma havuzundan yapılıyorsa, son çöktürme havuzu çamur kaynağı değildir. Diğer taraftan, uzaklaştırma çamur geri dönüş hattından gerçekleştiriliyorsa çamur kaynağı çöktürme tankı olarak kabul edilebilir. Yoğunlaştırma, çürütme, şartlandırma ve susuzlaştırma için kullanılan prosesler de çamur kaynağıdır.

Tablo 8.1. Çamur işleme ve bertaraf metotları(1).

İşletme, proses ve arıtma metotları	Fonksiyonları
<b>Birincil İşlemler</b> Çamur öğütme Kum ayırma Çamur karıştırma Çamur saklama	Boyut küçültme Kum ayırma Karıştırma Depolama-saklama
<b>Yoğunlaştırıcı</b> Graviteli yoğunlaştırıcı Flotasyonlu yoğunlaştırıcı Santrifüjlü yoğunlaştırıcı Bantlı yoğunlaştırıcı Döner elekli yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma
<b>Stabilizasyon</b> Kireç stabilizasyonu Isıl işlem Havasız çürütme Havalı çürütme Kompostlama	Stabilizasyon Stabilizasyon Stabilizasyon, kütle azaltma Stabilizasyon, kütle azaltma Stabilizasyon, ürün giderimi
<b>Şartlandırma</b> Kimyasal şartlandırma Termal (ısı)	Çamur şartlandırma Çamur şartlandırma
<b>Dezenfeksiyon</b> Pastörizasyon Uzun-süreli saklama	Dezenfeksiyon Dezenfeksiyon
<b>Susuzlaştırma</b> Vakum filtre Santrifüj Bant filtre Pres filtre Çamur kurutma yatakları Çamur lagünleri	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Saklama ve Hacim azaltma

<p>Isıl kurutma</p> <p>Flaş kurutucu</p> <p>Sprey kurutucu</p> <p>Döner tamburlu kurutucu</p> <p>Çok hücreli kurutucu</p> <p>Çoklu etkili buharlaştırıcı</p> <p>Termal Azaltma</p> <p>Çok hücreli yakıcı</p> <p>Akışkan yataklı yakıcı</p> <p>Katı atıklarla birlikte yakma</p> <p>Islak-hava oksidasyonu</p> <p>Derin şaft reaktörü</p> <p>Nihai bertaraf</p> <p>Arazide arıtma</p> <p>Dağıtım ve pazarlama</p> <p>Kimyasal sabitleme</p> <p>Düzenli depolama</p> <p>Lagünlerde biriktirme</p>	<p>Kütle ve hacim azaltma</p> <p>Kütle ve hacim azaltma</p> <p>Kütle ve hacim azaltma</p> <p>Kütle ve hacim azaltma</p> <p>Kütle ve hacim azaltma</p> <p>Hacim azaltma, kaynak geri kazanımı</p> <p>Hacim azaltma</p> <p>Hacim azaltma</p> <p>Stabilizasyon, hacim azaltma</p> <p>Stabilizasyon, hacim azaltma</p> <p>Son uzaklaştırma</p> <p>Faydalı kullanım</p> <p>Faydalı kullanım, son uzaklaştırma</p> <p>Son uzaklaştırma</p> <p>Hacim azaltma, son uzaklaştırma</p>
---	---

Tablo 8.2. Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları (1).

Proses	Çamur çeşidi	Notlar
Elek	Kaba katı atık	Kaba katılar mekanik olarak veya çubuk ızgaralardan elle toplanarak atılır.
Kum tutucu	Kum ve köpük	Köpük giderme, işlemi kum tutucularda kum ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön havalandırma	Kum ve köpük	Bazı sistemlerde ön havalandırma tankında köpük giderici yoktur, kum tutucunun bulunmaması tankta kum birikimine sebep olabilir.
Birincil (ön) çöktürme	Birincil çamur ve köpük	Çamur ve köpük miktarı toplama sistemine ve giren atıksuyun özelliklerine göre değişir.

Biyolojik arıtma	Askıda katı maddeler	Askıda katı madde biyolojik arıtma sonucu oluşur. Arıtma sisteminde oluşan fazla çamuru yoğunlaştırmak gerekebilir.
İkincil (son) çöktürme	Biyolojik çamur ve köpük	ABD EPA'ya göre köpük tutucu şart koşulmuştur.
Çamur işleme birimleri	Çamur, kompost ve kül	Son ürünün özelliği, kullanılan proses ve işletme ile çamur özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki yasal düzenlemeler giderek ağırlaşmaktadır..

### 8.1.2 Çamur Özellikler

Çamur arıtımı ve son uzaklaştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, çamur ve katı maddenin özelliği ve içeriğini bilmek çok önemlidir. Bu aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile de yakından ilgilidir. Arıtma çamurlarının bazı fiziksel özellikleri Tablo 8.3'de verilmektedir.

Tablo 8.3. Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri (1).

Çamur ve katı atık	Tanımlama
Izgara ve elkte tutulan atıklar	Büyük boyutlu organik ve inorganik maddelerin tutulmasında kullanılır. Organik madde içeriği sistemin yapısına ve mevsime göre değişim gösterir.
Kum	Hızlı çökme özelliğine sahip, ağır inorganik katılardan oluşmaktadır. İşletme şartlarına da bağlı olarak yağ ve gres gibi organik maddeleri de içerirler.
Köpük/yağ	Birincil ve ikincil çöktürme havuzları yüzeyinden sıyrılarak alınan yüzen maddeleri içerir. Köpük, yağ, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal katı yağlar, parafin, sabun, yiyecek atıkları,, sebze ve meyve kabukları, saç, kağıt ve karton, izmarit, plastik maddeler, kum ve benzeri maddeleri içerir. Özgül ağırlığı genellikle 0.95'dir.
Birincil çamur	Birincil (ön) çöktürmeden çıkan çamur gri ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir.
Kimyasal çöktürme çamuru	Metal tuzları ile yapılan çöktürmeden çıkan çamur koyu renkli, demir içeriği yüksek kırmızı renklidir. Kokusu

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

**Çamurun Genel Bileşimi:** Arıtılmamış (ham) ve çürümüş çamurun kimyasal bileşimi ile ilgili bilgiler Tablo 8.4.'de verilmektedir. Son uzaklaştırma yönteminin belirlenmesinde besi maddesi de dahil olmak üzere kimyasal bileşiklerin çoğunun

bilinmesi önemlidir. Havasız çürütme sisteminin kontrolünde pH, alkalinite ve organik asit içeriğinin ölçülmesi oldukça önemlidir. Yakma ve arazide bertaraf metodunun uygulanması durumunda çamurdaki ağır metal, pestisit ve hidrokarbonlar ölçülmelidir. Yakma gibi termal proses kullanılacağında çamurun enerji içeriğinde hesaplanmalıdır.

Tablo 8.4 Ham ve çürütülmüş çamur özellikleri ve kimyasal bileşimi (1).

	Ham birincil çamur		Çürütülmüş birincil çamur		Aktif çamur sistemi çamuru
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	
					Aralık
Toplam katı madde(TS),%	2-8	5	6-12	10	0.83-1.16
Uçucu katı (TS'nin %'si)	60-80	65	30-60	40	59-88
Yağ ve gres (TS'nin %'si)	6-30	-	5-20	18	-
Eterde çözünebilir	7-35	-	-	-	5-12
Eterde ekstrakte	20-30	25	15-20	18	32-41
olan	1.5-4	2.5	1.6-6	3	2.4-5
Protein (TS'nin %'si)	0.8-2.8	1.6	1.5-4	2.5	2.8-11
Azot (TS'nin %'si)	0-1	0.4	0-3	1	0.5-0.7
Fosfor( $P_2O_5$ , TS'nin %'si)	8-15	10	8-15	10	-
Potasyum( $K_2O$ , TS'nin %'si)	2-4	2.5	3-8	4	-
Selüloz (TS'nin %'si)	15-20	-	10-20	-	-
Demir (sülfatsız)	5-8	6	6.5-7.5	7	6.5-8
Silika( $SiO_2$ , TS'nin %'si)	500-1,500	600	2,500-3,500	3,000	580-1,100
pH	200-2,000	500	100-600	200	1,100-1,700
Alkalinite(mg/l $CaCO_3$ olarak)	23,000-29,000	25,000	9,000-14,000	12,000	19,000-23,000
Organik asitler(mg/l, HAc)					
Enerji içeriği, kJ TS/kg					

Çamurun arazide bertarafı ve faydalı kullanımını etkileyen başlıca özellikleri, organik içeriği (uçucu katı olarak ölçülür), besi maddeleri, patojenler, metaller ve toksik organiklerdir. Çamurun arazide kullanılması durumunda, gübre özelliği (azot, fosfor ve potasyum içeriği) önem kazanır. Ticari bir gübre ile çamurun karşılaştırması Tablo 8.5'de verilmektedir. Araziye verilen çamur, bitki büyümesi için gereken besi maddelerini karşılar. Bazı uygulamalarda, çamurun fosfor ve potasyum içeriği bitki gereksinimini karşılayamayacak kadar az olabilir. Çamurdaki iz elementler, inorganik kimyasal elementler olup bitki ve hayvanlar için gerekli veya zararlı olabilir. Ağır metal konsantrasyonları Tablo 8.6'de verilmektedir. Çamurun arazide kullanım miktarı, yapısındaki ağır metal konsantrasyonuna bağlıdır.

Tablo 8.5. Ticari gübre ve çamurdaki besi maddesi seviyelerinin kıyaslanması (1).

	Besi maddesi %		
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımda kullanılan gübre <sup>1</sup>	5	10	10
Stabilize aktif çamur tipik değeri	3.3	2.3	0.3

<sup>1</sup> Besi maddesi konsantrasyonu toprak ve bitki özelliğine göre değişir.

Tablo 8.6. Atıksu arıtma tesisi çamurundaki metal içerikleri (1).

Metal	Kuru çamur, mg/kg	
	Aralık	Ortalama
Arsenik	1.1-230	10
Kadmiyum	1-3,410	10
Krom	10-99,000	500
Kobalt	11.3-2,490	30
Bakır	84-17,000	800
Demir	1,000-154,000	17,000
Kurşun	13-26,000	500
Manganez	32-9,870	260
Civa	0.6-56	6
Molibden	0.1-214	4
Nikel	2-5,300	80
Selenyum	1.7-17.2	5
Kalay	2.6-329	14
Çinko	101-49,000	1700

ABD’de üretilen çamur miktarı 1972’den beri artmakta olup, 1997 yılına göre bu değer 6.23 milyon ton/senedir. Yıllara göre çamurun uzaklaştırma yöntemi de farklılıklar göstermektedir. Örneğin 1972 de, toplam çamurun %20’si arazide uygulama ile (land application), %25’i de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktaydı. Ancak 1997’de üretilen toplam çamurun %55’i arazi uygulamasında, %17’si de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktadır (Tablo 8.7). Çamurun denize deşarjına ise 1991 Aralığında son verilmiştir.

Tablo 8.7. ABD’de çamur kullanma ve uzaklaştırma metotları (üretilen toplamın %’si) (4).

Uygulama	1972	1989 <sup>1</sup>	1997 <sup>1</sup>
Arazide uygulama	20	33.3	54.8
Yüzey uzaklaştırma	veri yok	10.3	19.2 <sup>2</sup>
Arazide Depolama	40	33.9	veri yok
Yakma	25	16.1	17.3
Deniz deşarjı	15	6.3	0
Diğer	veri yok	veri yok	8.7 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> US EPA (1993)

<sup>2</sup> Katı atık ile depolama ve monofilling’i içermektedir.

<sup>3</sup> Bazı maddelerin diğer alanlarda depolama ve uzun süreli saklamalarını içerir.

Avrupa Birliği ülkelerinde 1990'de 7 milyon ton kuru çamur üretilmiştir. Tablo 8.8'de görüldüğü gibi çamurun tarımda kullanımı %10 - %80 arasında değişmesine rağmen, yakma işlemi sadece birkaç ülkede kullanılmaktadır. Denize deşarj ise 1998'in sonlarına kadar devam etmiştir.

Tablo 8.8. 1990'da Avrupa Birliğinde kullanılan ve deşarj edilen çamur miktarı (4).

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

Asya ülkeleri arasında Japonya'da çamur uzaklaştırma uygulamaları Tablo 8.9'da verilmektedir. Ancak Japonya'da arazide depolama ve arazi ıslahı olanakları oldukça kısıtlıdır.

Tablo 8.9. 1997'de Japonya'da uzaklaştırılan ve kullanılan çamur miktarı (ton) (4).

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

<sup>1</sup> cüruf içerir.

<sup>2</sup> kompost içerir.

### 8.1.3 Çamur Miktarı

Çeşitli proses ve işlemler sonucu üretilen çamur miktarı ve fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler Tablo 8.10'da verilmektedir. Bu bilgiler oldukça faydalı olmasına karşın üretilen çamur miktarının büyük değişkenlik gösterdiği unutulmamalıdır.



Çeşitli proseslerden elde çamurun konsantrasyonu ile ilgili bilgiler Tablo 8.11’de verilmektedir.

Tablo 8.10. Çeşitli arıtma sistemlerinden çıkan çamur miktarları ve fiziksel özellikleri(1).

Arıtma işlemleri ve prosesleri	Çamur katısının özgül ağırlığı	Çamurun özgül ağırlığı	Kuru madde kg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	
			Aralık	Tipik
Birincil çamur	1.4	1.02	108-167	151
Aktifçamur <sup>a</sup>	1.25	1.005	72-96	84
Damlatmalı filtre humusu <sup>a</sup>	1.45	1.025	60-96	72
Uzun havalandırılmalı sist. <sup>a</sup>	1.3	1.015	84-120	96 <sup>d</sup>
Havalandırılmalı lagün <sup>a</sup>	1.3	1.01	84-120	96 <sup>d</sup>
Filtrasyon tesisi	1.2	1.005	12-24	18
Alg giderimi	1.2	1.005	12-24	18
Ön çöktürme <sup>b</sup> (fosfor giderimi için)				
Düşük dozda kireç (350-500mg/l)	1.9	1.04	241-398	301
Yüksek dozda kireç (800-1600mg/l)	2.2	1.05	602-1325	795
Askıda büyüyen A.Ç. ile denitrifikasyon	1.2	1.005	12-30	18
Kaba kum filtreler	1.28	1.02	-	- <sup>e</sup>

<sup>a</sup>Atık çamur

<sup>b</sup>Fosfor giderimi için kimyasal ilavesi

<sup>c</sup> İhmal edilebilir

<sup>d</sup> Ön arıtma yok

<sup>e</sup> Biyolojik arıtmadan gelen çamuru da içerir

Tablo 8.11 Çeşitli proseslerden elde edilen çamurlarda katı madde yüzdeleri

Arıtma İşlemleri	Çamur kuru madde konsantrasyonu % kuru madde	
	Aralık	Tipik
<i>Ön çökeltim tankı</i>		
Ön çökeltim çamuru	4-10	5
Siklona gönderilen ön çökeltim çamuru	0.5-3	1.5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	3-8	4
Ön çökeltim ve damlatmalı filtre humusu	4-10	5
P giderimi için demir ilaveli ön çökeltim çamuru(öçç)	0.5-3	2
P giderimi için kireç (düşük doz) ilaveli (öçç)	2-8	4
P giderimi için kireç (yüksek doz) ilaveli (öçç)	4-16	10
Köpük	3-10	5
<i>Son çökeltim tankı</i>		
Aktif çamur		
Ön çökeltim havuzu olan	0.5-1.5	0.8
Ön çökeltim havuzu olmayan	0.8-2.5	1.3
Saf oksijenli aktif çamur		
Ön çökeltim havuzu olan	1.3-3	2
Ön çökeltim havuzu olmayan	1.4-4	2.5
Damlatmalı filtre humusu	1-3	1.5
Döner biyodisk sistemi	1-3	1.5
<i>Graviteli yoğunlaştırıcı</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	8
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2-8	4
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4-9	5
<i>Flotasyonlu yoğunlaştırma</i>		
Sadece aktif çamur		
Kimyasal madde ilavesi ile	4-6	5
Kimyasal madde ilavesi olmadan	3-5	4
<i>Santrifüj yoğunlaştırıcı</i>		
Sadece atık aktif çamur	4-8	5
<i>Bantlı yoğunlaştırıcı</i>		
Kimyasal madde ilavesi ile sadece atık aktif çamur	3-6	5
<i>Havasız çürütücü</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	7
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	3-8	4
<i>Havali çürütücü</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	1.5-4	2.5
Sadece atık aktif çamur	0.8-2.5	1.5

*Çamurda hacim-özgül ağırlık ilişkileri:* Çamur hacmi büyük oranda içeriğindeki su miktarına ve daha az oranda ise katı madde özelliğine bağlıdır. Örneğin %10 katı maddeli çamur, ağırlık olarak %90 su içerir. Katı madde sabit (mineral) katı ve uçucu organik katıdan oluşmuş ise katı maddenin özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{W_s}{S_s \rho_w} = \frac{W_f}{S_f \rho_w} + \frac{W_v}{S_v \rho_w} \quad (8.1)$$

$W_s$  = çamurun toplam katı madde ağırlığı  
 $S_s$  = toplam katının özgül ağırlığı  
 $\rho_w$  = suyun yoğunluğu  
 $W_f$  = sabit katının (mineral kısım) ağırlığı  
 $S_f$  = sabit katının özgül ağırlığı  
 $W_v$  = uçucu katının ağırlığı  
 $S_v$  = uçucu katının özgül ağırlığı

Çamur hacmi aşağıdaki eşitliğe göre tanımlanır;

$$V = \frac{W_s}{\rho_w S_s P_s} \quad (8.2)$$

$W_s$  = kuru katı ağırlığı, kütle  
 $\rho_w$  = suyun yoğunluğu, kütle/hacim<sup>3</sup>  
 $S_s$  = çamurun özgül ağırlığı  
 $P_s$  = yüzde katı

Katı içeriğinin yaklaşık hesaplanmasında, hacim aşağıdaki eşitlikle verilen yüzde katı miktarı ile doğrudan ilişkili olup değişkenlik göstermektedir.

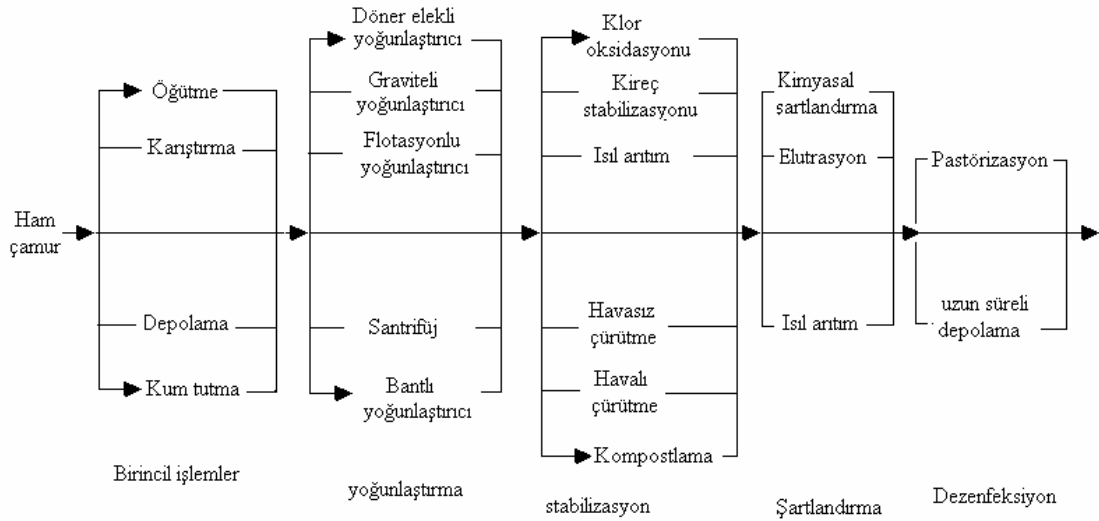
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad (8.3)$$

$V_1$  ve  $V_2$  = çamur hacimleri  
 $P_1$  ve  $P_2$  = katı madde yüzdesi

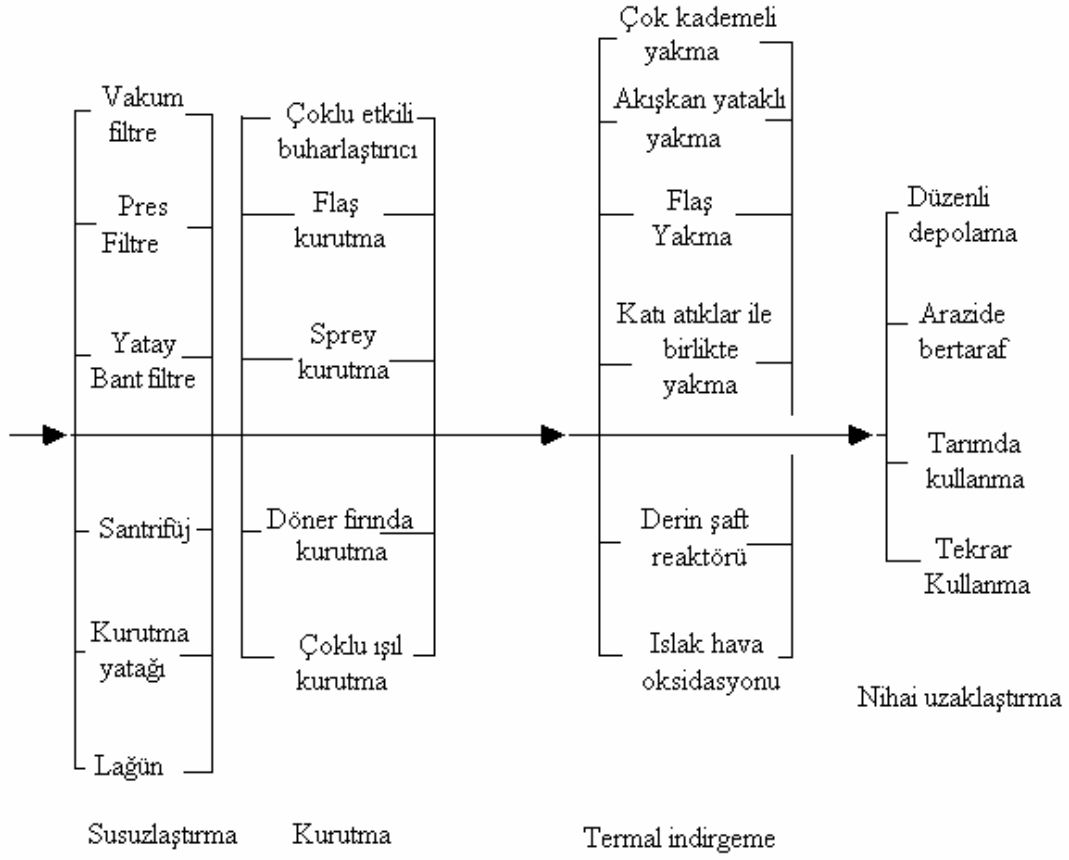
## 8.2 Çamur Arıtım Sistemleri Akış Şeması

Çamur arıtma proses ve işlemlerinin tek tek verildiği genelleştirilmiş akım şeması, Şekil 8.1’de görülmektedir. Pratikte biyolojik arıtmanın olduğu veya olmadığı durum gözönüne alınarak çamur arıtma akış diyagramları iki genel sınıfa ayrılır. Biyolojik arıtmanın da dahil olduğu akım şeması Şekil 8.2’de verilmektedir. Çamur kaynağına bağlı olarak, çamur stabilizasyonu, susuzlaştırma ve uzaklaştırma metotlarına bağlı olarak yoğunlaştırıcı kullanılır. Biyolojik çürütmenin devamında ekonomik imkanlar ve yerel şartlara bağlı olarak, alternatif metotların birisi çamur susuzlaştırmada kullanılabilir.

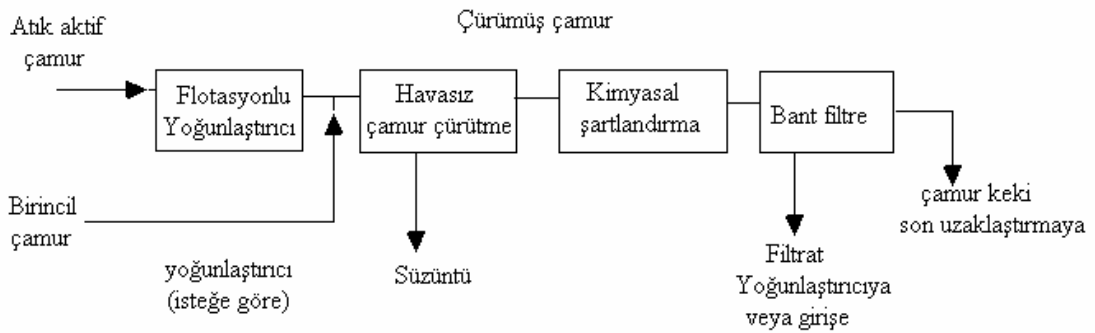
Endüstriyel ve diğer toksik atıkların bulunması çürütücülerin çalıştırılmasında sorunlara yol açabileceği için, çamur arıtımında farklı seçenekler düşünülmelidir.



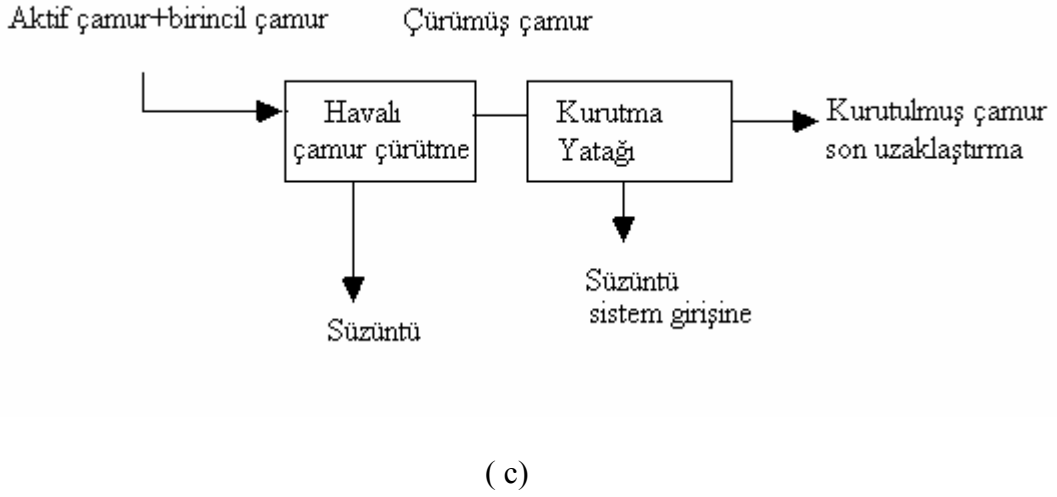
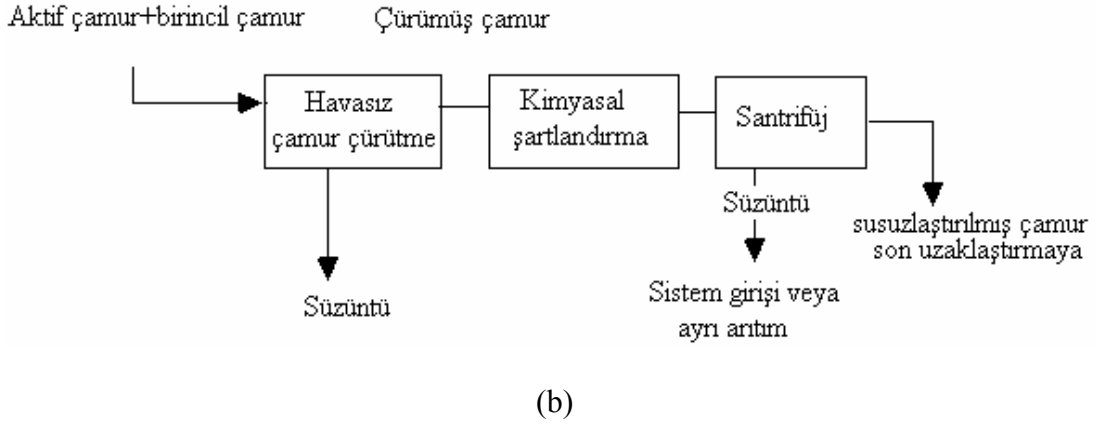
Şekil 8.1. Çamur işleme ve uzaklaştırma akış diyagramı (1).



Şekil 8.1. (Devam) Çamur işleme ve uzaklaştırma akış diyagramı



(a)



Şekil 8.2. Biyolojik çürütme ve üç farklı çamur susuzlaştırma prosesi ile tipik çamur arıtma akış diyagramı: a) Bant filtre, b) Santrifüj, c) Kurutma yatağı (1).

### 8.3 Çamur ve Köpük İletimi

Üretilen çamurun susuzlaştırma amacıyla bir sistemden diğerine taşınması gerekmektedir. Çamur, arıtmak veya atılmak üzere de taşınmak zorunda kalınabilir. Çamur tipi ve özelliklerine göre, farklı tipte pompaların kullanımı gerekebilir.

#### 8.3.1 Pompa Tipleri

Çok sık kullanılan pompa tipleri;

- Mono pompa,
- Santrifüj,
- Tork akışlı,
- Diyaframlı,
- Yüksek basınçlı piston,

**Mono pompa:** Bu pompa hemen hemen tüm çamur çeşitlerinde kullanılır. Pompa, aralarında minimum boşluk olan, kauçuk esaslı çift vida ve dişli helezon statoru çalıştıran tek-vida dişli rotordan oluşmaktadır. Hacim veya “boşluk”, rotor döndükçe emmeden deşarja kademeli olarak hareket eder. Emme kaldırışı 8.5m de olacak şekilde pompa otomatik çekişlidir, ancak kauçuk stator yanabileceğinden kuru iken çalıştırmamak gerekir. Bu tür pompalar 75 L/s’ye kadar çalışabilir ve 137m’lik terfi yüksekliklerine iletim yapılabilir. Birincil çamurda pompa normal olarak öğütücüden sonra gelir. Pompanın bakım maliyeti, rotor ve statorda özellikle kumlu birincil çamurun pompalanmasında aşınma nedeniyle yüksektir. Bu pompaların özellikle uygun birincil, karışık ve çürümüş çamurların iletiminde kullanılması tavsiye edilir.

**Santrifüj Pompalar:** Tıkanmasız (açık fanlı) santrifüj pompalar çamur iletiminde yaygın kullanılmaktadır. Bu tip pompalarda ana sorun uygun kapasitenin seçimidir. Değişken çamur özellikleri, pompa terfi yüksekliğinin değişmesine yol açar. Seçilen pompalar, hem tıkanıklığa yol açmayacak uygun fan açıklığına, hem de çok sulu çamurda sadece suyu pompalamayı önlemek için de yeteri kadar küçük kapasiteye sahip olmalıdır. Kapasiteyi azaltmak için vananın kısılması, sık sık tıkanıklığa yol açacağından pratik bir yol değildir. Bu nedenle bu pompaların değişken hız sürücü ekipmanlarına sahip olması gerekmektedir. Özel tasarlanmış santrifüj pompalar, büyük sistemlerde birincil ve özellikle geri devir çamurlarının iletiminde kullanılır.

**Tork-akışlı veya yüksek devirli santrifüj pompalar:** Bu pompalar çamur taşımada oldukça etkilidirler. Tutulabilen partiküllerin boyutları, emme ve basma borularının çapı ile kısıtlıdır. Çarkın döndürme kuvveti çark önünde girdap oluşturur, ancak burada esas itici güç sıvının kendisidir. Sıvının çoğu çarkla temas etmez, böylelikle aşındırıcı teması en aza indirmiş olur. Ancak çamurda kullanılan pompalar dönen aksamı aşındırma etkisine karşı nikel veya kromdan olmalıdır. Pompalar verilen hızlar için dar yük aralığında çalıştırılmalıdırlar, böylece sistem çalışma şartları dikkatlice değerlendirilmiş olur. Pompaların geniş aralıklı işletme şartlarında da çalıştırılacağı düşünüldüğünde, değişken hız kontrolleri önerilmektedir.

Yüksek basınç gerektiren uygulamalarda tork akışlı pompalar seri bağlanarak kullanılabilir.

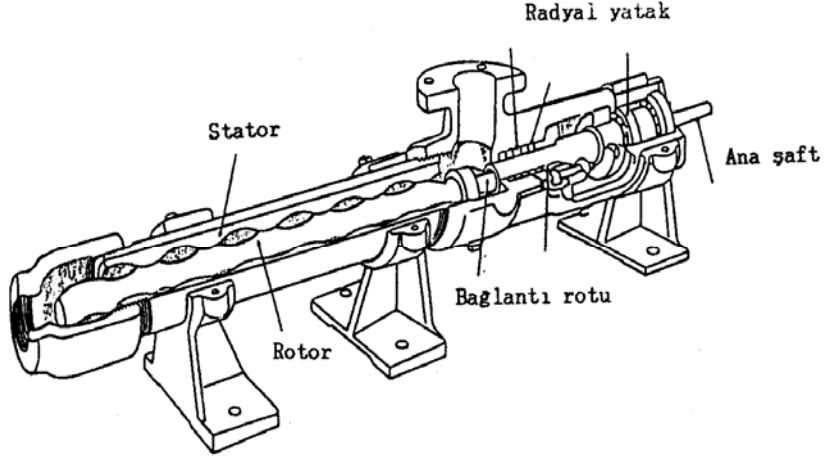
Tork akışlı santrifüj pompalar özellikle havalandırma tankına aktif çamurun geri döndürülmesi ve çürümüş çamurların iletiminde kullanılır.

**Diyafram Pompalar:** Esnek bir membrana sahip olan diyafram pompalar, itme ve çekme etkisi ile kavitasyon yaratırlar. Akım, çek-valf vasıtasıyla bu kavitasyon içine yönlendirilir. Diyafram pompaların kapasitesi diyafram strokunun uzunluğu ve dakikadaki strok sayısı ile değişir. Bunlar düşük kapasitedeki ve düşük yük kayıplarının olduğu yerlerde kullanılan pompalardır. En büyük kapasitedeki hava diyaframlı pompa, 14 L/s debiyi 15m yükseğe basma kapasitesindedir.

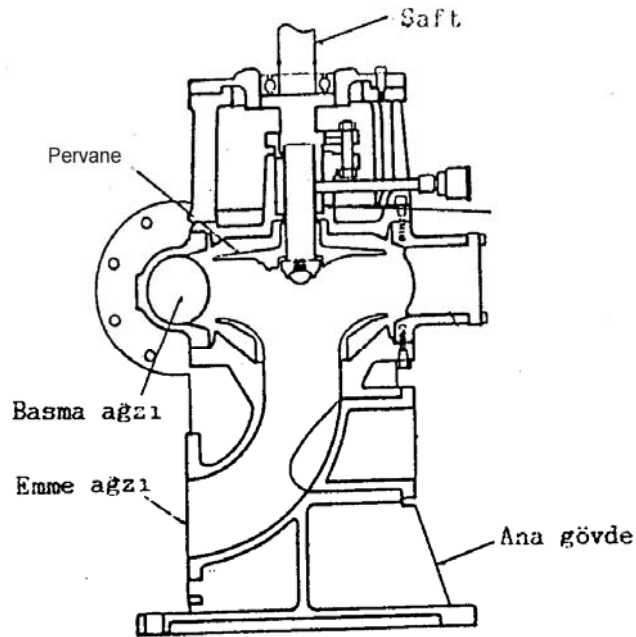
**Yüksek Basınçlı Piston Pompalar:** Yüksek basınçlı piston pompalar, çamurun uzun mesafelere taşınması gibi yüksek basınç uygulamalarında kullanılırlar. Yüksek basınç uygulamaları için geliştirilmiş birçok tipi vardır, işleyişi dalgıç pompalara benzer. Avantajları,

Yüksek basınçlarda küçük debiler iletebilir (13800 KN/m<sup>2</sup>),  
Büyük partikülleri basabilecek çaplarda olabilir,  
Belli katı konsantrasyonu aralığında çalışabilir,  
Pompajı tek kademede gerçekleştirebilirler.

Bu avantajlarına karşılık çok pahalıdırlar.

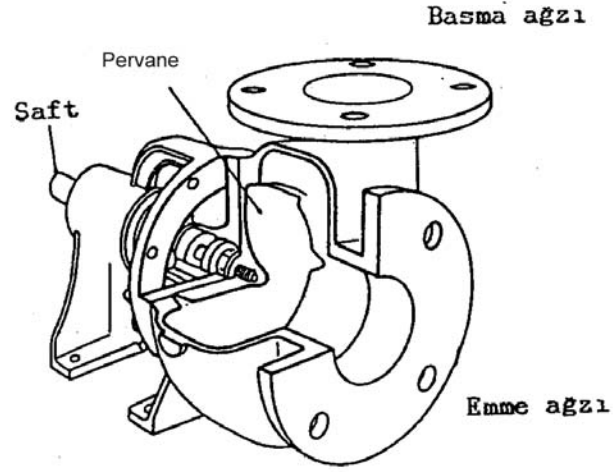


(a) Mamut Pompa

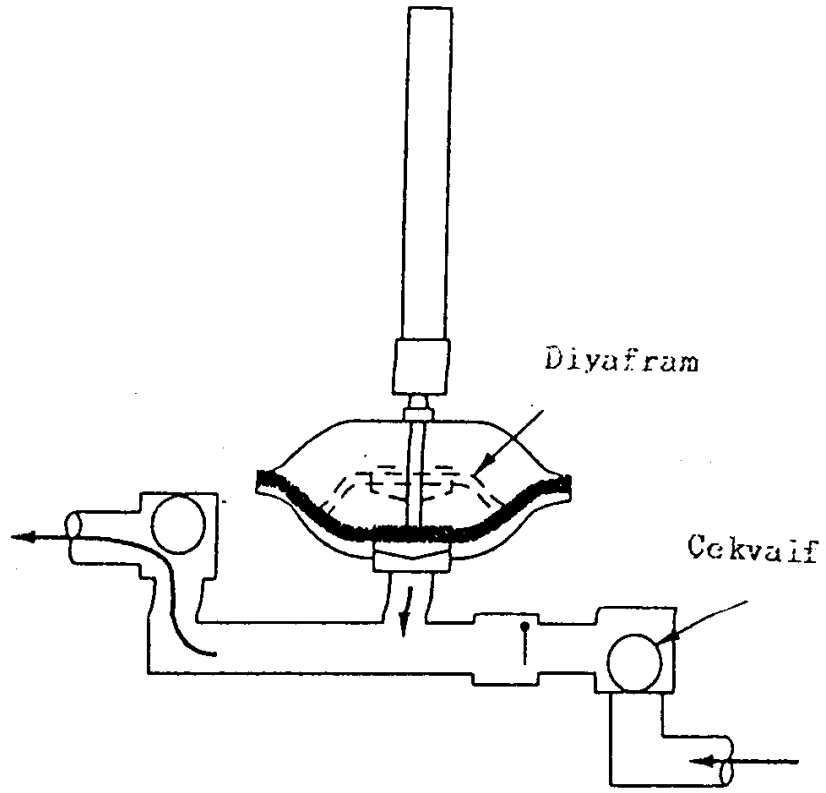


(b) Santrifuj Pompa





(c) Yüksek Devirli Santrifüj (Tork Akışlı) Pompa



(d) Diyafram Pompa



	akışlı, mono pompa, santrifüj ve diyafram	kadar konsantre olması istenir, çamuru toplamak ve yoğunlaştırmak için çamur haznesinde toplanır, daha sonra pompalanır. Ham birincil çamurun özelliği, arıtma sistemi tipine, verimine ve sudaki katı özelliğine göre değişkenlik gösterir.
Biyolojik çamurlar	Birincil çamurun aynısıdır.	Biyolojik arıtmada 1) Atık aktif çamur, 2) Damlatmalı filtre sonrası humus çamuru, 3) Çürütme tankı süzöntü suyu ve 4) Susuzlaştırma işleminden dönen çamur, çamur özelliğini etkiler.
Kimyasal çöktürme çamuru	Dalgıç, tork akışlı santrifüj, mono pompa, diyafram, yüksek basınçlı piston	Birçok durumda, çamurun özelliği, santrifüj pompa için uygun değildir.
Çürütülmüş çamur	Tıkanmasız ve tork akışlı santrifüj, mono pompa, klapeli ve diyafram pompalar	İyi çürütülmüş çamur homojen olup %5-8 katı madde ve gaz kabarcığı içerir, %12'ye kadar katı içerebilir. İyi çürütülmemiş çamuru kullanmak zordur. Eğer elek ve kum tutucu kullanılmış ise tıkanmasız santrifüj pompa kullanılabilir.
Damlatmalı Filtre humusu	Tıkanmasız ve tork akışlı santrifüj, mono pompa, klapeli ve diyafram pompalar	Çamur genellikle homojen karakterde olup, kolaylıkla pompalanır.
Geri dönüş veya atık aktif çamur	Klapeli, diyafram, yüksek-basınçlı piston, mono pompa, pozitif yerdeğiştirmeli	Çamur sulu ve ince katıları içerdiğinden tıkanmasız pompalar kullanılabilir. Bu pompalarda floküle partikülleri kırılmasını en aza indirmek için düşük hızlar önerilir.
Yoğunlaştırılmış çamur		Dönüşümlü kullanılan mono pompalar çamur kütlelerini hareket ettirebilme özelliğine sahip olduğundan konsantre çamurlar için uygundur. Tork akışlı pompalarda kullanılabilir ancak itici güç veya sulandırma gerekebilir.

### 8.3.3 Yük Kaybının Hesabı

Çamur terfiinde karşılaşılan yük kaybı, çamur özelliğine, boru çapına ve akış hızına bağlıdır. Katı ve uçucu madde konsantrasyonunun artması ve düşük sıcaklık yük kaybında artışlara sebep olmaktadır. Katı madde yüzdesi ile uçucu kısmın yüzdesi çarpımının 600'ü aşması durumunda pompalamada güçlüklerle karşılaşılır. Su, yağ ve diğer akışkanlar "Newtonian" karakterlidir. Laminer akış şartlarında bu sıvılardaki basınç düşüşü hız ve viskozite ile orantılıdır. Hız belli kritik değerin üzerine ulaştığında, akış türbülanslı olur. Yoğunlaştırılmamış aktif çamur ve damlatmalı filtre çamuru gibi sulu çamurlar, suya benzer davranışta bulunurlar. Ancak konsantre aktif çamur Newtonian sıvı değildir. Newtonian olmayan sıvılar için laminer şartlardaki basınç düşüşü akışla orantılı olmadığından viskozite de sabit değildir.

Yoğunlaştırılmamış aktif çamur ve damlatmalı filtre çamurunun pompalanmasındaki yük kaybı, suyun kaybindan %10-25 daha büyüktür. Düşük akım hızlarında birincil, çürütülmüş ve yoğunlaşma çamur plastik davranış gösterir. Bu durumda direncin yenilebilmesi için önce belli bir basınç gerekir ve sonra akış başlar. Laminer akış boyunca, düşük kritik hız 1.1m/s'ye ulaşana kadar hızın ilk kuvveti ile direnç artar. Yaklaşık 1.4m/s den daha yüksek kritik hızda akış türbülanslı olarak düşünülebilir. Birincil ve konsantre çamurlar için özellikle kritik artıhızlarda yük kaybı oldukça büyük olabilir.

**Basitleştirilmiş Yük Kaybı Hesabı:** Kısa çamur iletim hatları için yük kaybının hesabında nispeten kolay bir yöntem kullanılmaktadır. Yük kaybını hesaplamak için  $k$  faktörü, verilen çamur tipi ve katı konsantrasyonu için geliştirilmiş deneysel eğriden elde edilir (Şekil 8.3.a). Pompalanan çamurun yük kaybı, *Darcy-Weisbach*, *Hazen-Williams* veya *Manning* eşitlikleri kullanılarak su için bulunan yük kaybı  $k$  ile çarpılarak bulunur. Arıtma sisteminde çamur hattı genellikle kısa olduğundan, sürtünme kayıpları için basitleştirilmiş hesap yöntemini uygulamak yeterlidir. Uzun çamur hatlarında sürtünme kaybının tahmin edilmesi, mühendislik, ekonomik ve işletme durumlarını içeren daha dikkatli bir çalışmayı gerektirir.

Yük kaybının yaklaşık tahmini, Şekil 8.3b kullanılarak ta yapılabilir. Bu şekil laminer akım şartları altında;

- En düşük hız 0.8m/s olmak,
- Thixotropic davranışları dikkate alınmamak,
- Borunun yağ-gres veya diğer katımlarla tıkanmadığı kabulü ile kullanılabilir.

Ham birincil çamurun yoğunluğu genellikle pompalama süresince değişir. Öncelikle en konsantre çamur pompalanır. Çamurun büyük kısmı pompalandıktan sonra, su ile aynı hidrolik özelliğe sahip sulu çamur pompaya gelir. Çamur özelliğindeki bu değişim santrifüj pompanın daha fazla çalışmasına sebep olur. Pompa motoru, ek yüklere ve değişken hız şartlarına, özellikle hızı yavaşlatmaya, uygun olacak şekilde seçilmelidir. Motor, yüksek hızlı terfide elde edilen maksimum yüklemeler için boyutlandırılmamış ise, aşırı yüklenecek veya zarar görecektir.

Santrifüj pompalarda gerekli işletme hızı ve motor gücünü belirlemek için, iletim hattı karakteristik eğrisi;

- Beklenen en yoğun çamur,
- Ortalama şartlar,
- ve su için hesaplanmalıdır.

Bu sistem eğrileri, geçerli hız aralığına ait pompa (H-Q) eğrisi grafiği üzerine çizilir. Belli pompalar için maksimum ve minimum hızlar, pompa karakteristik eğrisi ile sistemin istenen kapasitedeki karakteristik eğrisinin kesim noktası olarak elde edilir. Maksimum hız için pompa karakteristik eğrisinin boru hattının su için olan eğrisi ile kesişim yeri pompa için gerekli yükü belirler.

***Yük kaybı hesabında çamurun reolojik özelliklerinin dikkate alınması:*** Çamurun uzak mesafelere taşınması için, çamurun reolojik özelliklerini dikkate alan özel bir yük kaybı hesap metodu da geliştirilmiştir. Yük kaybı hesap metodu, Babbitt ve Caldwell tarafından deneysel ve teorik çalışmalar sonucu laminer akım şartları için geliştirilmiştir.

Su, yağ ve diğer bir çok sıvılar “Newtonian” olup, laminer akım şartlarında basınç düşüşü doğrudan hız ve viskozite ile orantılıdır. Hız artışı kritik değeri geçtikçe, akış türbülanslı olmaya başlar. Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş Reynolds sayısına bağlı olup, akışkan viskozitesi ile ters orantılıdır. Ancak atıksu çamuru “Newtonian” karakterde değildir. Laminer şartlar altında basınç düşüşü akış ile orantılı olmayıp, ayrıca viskozite de sabit değildir. Karşılaşılan türbülanslı akım özelliğinde Reynolds sayısı çamur için belli değildir.

Çamurun Bingham plastik karakteri gösterdiği bilinmektedir. Bu özelliğe göre akış başladıktan sonra kayma gerilmesi ve akış arasındaki doğrusal ilişki vardır. Bingham plastik akışkan iki sabit ile tanımlanır;

- Sınır kayma gerilmesi,  $z_y$ ,
- Rijitlik katsayısı,  $\eta$ 'dir. Sınır kayma gerilmesi ve rijitlik katsayısı için tipik aralıklar şekil 8.3'te gösterilmiştir. Özel uygulamalar için reolojik verileri saptamada pilot deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Çamur için sürtünmeye bağlı basınç düşüşünü (yük kaybı) hesaplamada iki boyutsuz sayı, Reynolds sayısı ve Hedstrom sayısı kullanılabilir. Reynolds sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$Re = \frac{\rho V D}{\eta} \quad (8.4)$$

Burada, Re = Reynolds sayısı, boyutsuz,

$\gamma$  = çamurun özgül ağırlığı,  $kg/m^3$

$\rho$  = çamurun özgül kütlesi,  $kg/m^3$

V = ortalama hız, m/s

D = boru çapı, m  
η = rijitlik katsayısı, kg/m.s

Hedstrom sayısı da aşağıdaki ifade ile hesaplanır;

$$He = \frac{D^2 \tau_y \rho}{\eta^2} \quad (8.5)$$

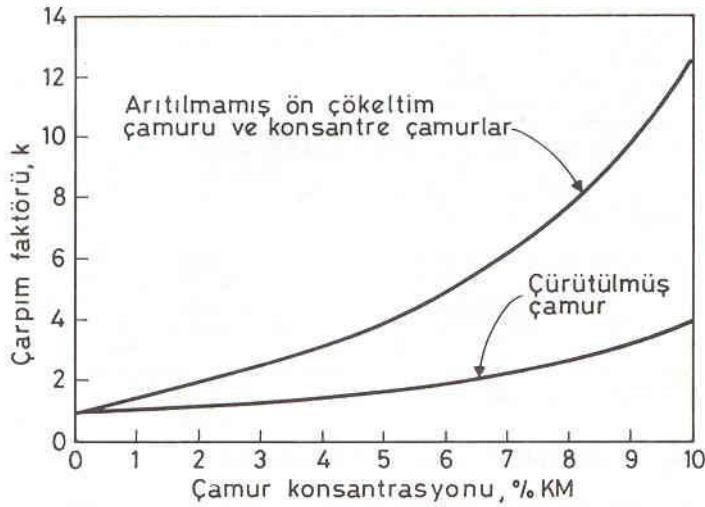
He = Hedstrom sayısı, boyutsuz  
τ<sub>y</sub> = sınır kayma gerilmesi, N/m<sup>2</sup>  
g = 9,8 m/s<sup>2</sup> yerçekimi ivmesi

Türbülanslı şartlar için basınç düşüşü aşağıdaki gibi hesaplanır;

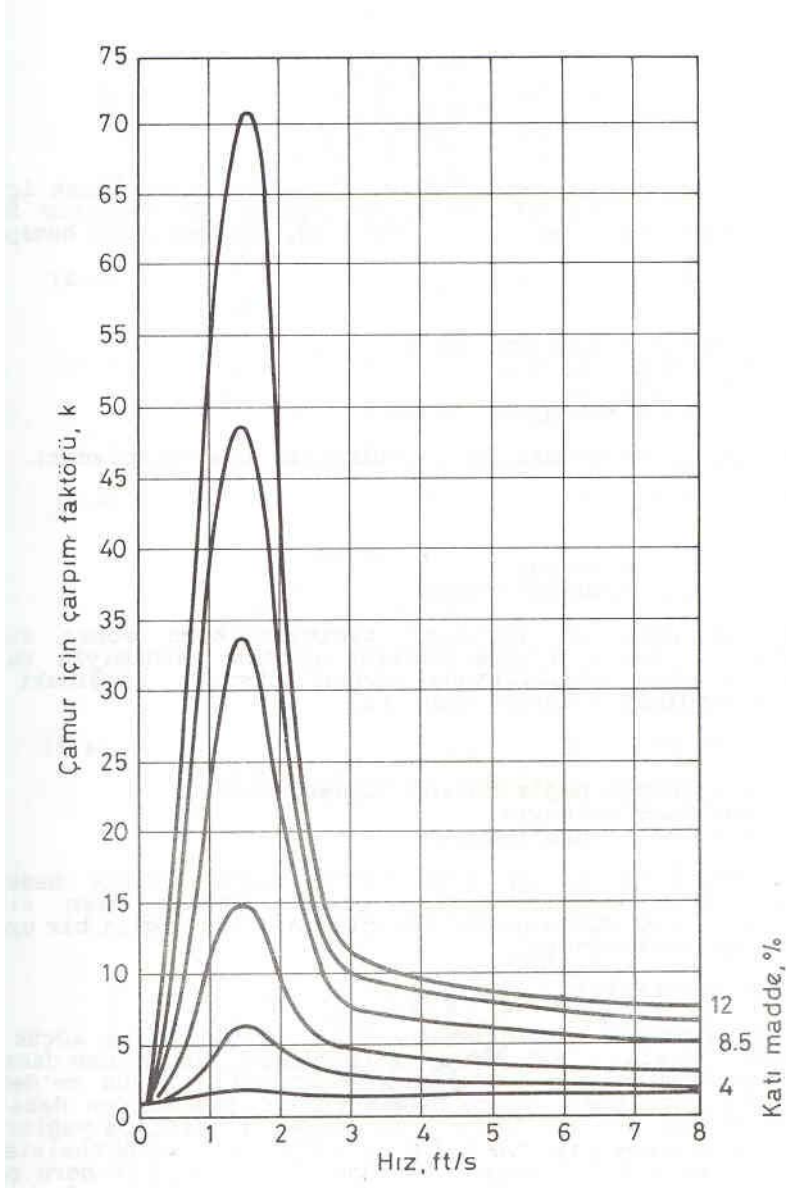
$$\Delta p = \frac{2f \rho LV^2}{D} \quad (8.6)$$

Δp = sürtünmeye bağlı basınç düşüşü, N/m<sup>2</sup>  
f = sürtünme faktörü  
L = Boru uzunluğu, m

Yukarıdaki eşitliklerden de görüldüğü gibi, Reynolds sayısı, viskoziteye bağlı Reynolds sayısı ile aynı değildir. Plastik akışta, etkin bir viskozite tanımlanabilir, ancak bu değişkendir ve rijitlik katsayısından çok büyüktür. Sürtünme faktörü f, su için belirlenen f'den oldukça farklı olup, su için bulunan şekilde kullanılan değer in dört katı olabilir.

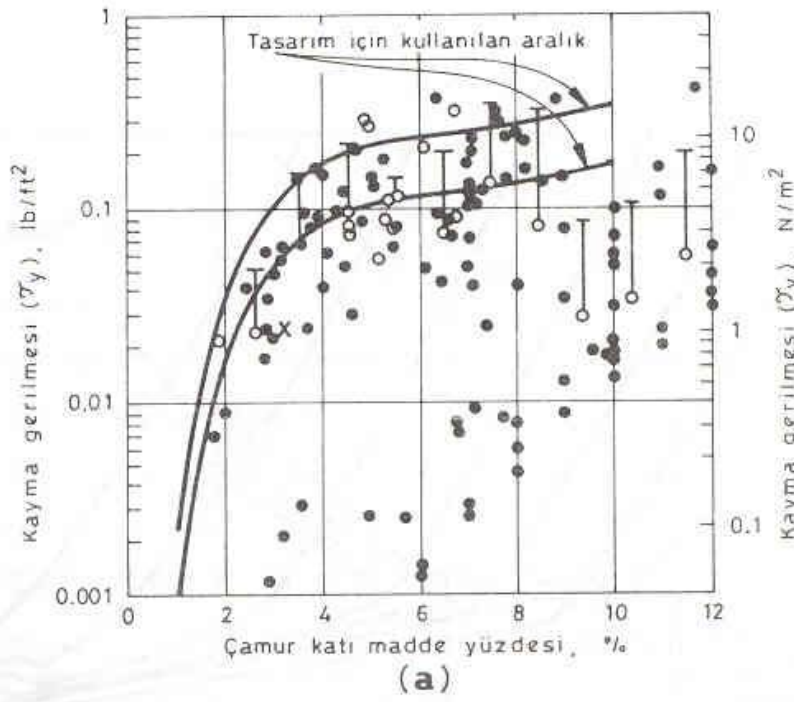


(a)



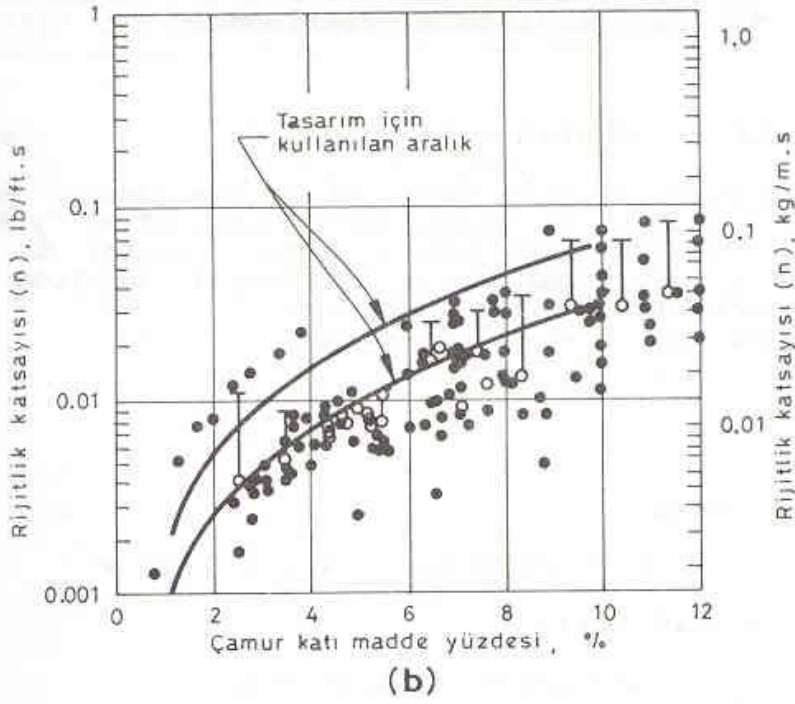
(b)

Şekil 8.3 Yük kaybı çarpım faktörleri a) farklı çamur tip ve konsantrasyonları için, b) boruda farklı hızlar ve çamur konsantrasyonları için. (1).

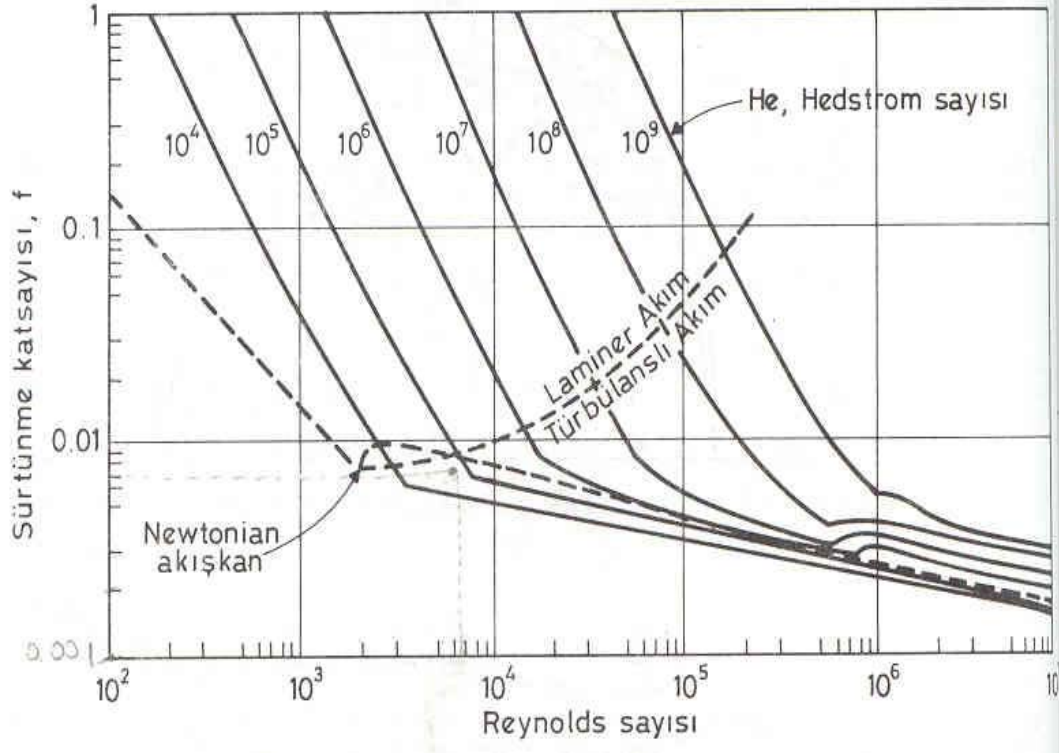


**AÇIKLAMALAR**

- - Ham ön çökeltim çamuru
- X - Son çökeltim çamuru
- - Çürümüş çamur
- - Medyan+standart sapma







(c)

Şekil 8.4 Çamur reolojisi yöntemlerine göre borularda yük kaybı hesabı için eğriler a) sınır kayma gerilmesine karşı % KM, b) sertlik katsayısına karşı % KM, c) Bingham plastiği olarak tanımlanan çamur için sürtünme faktörü (1).

### 8.3.4. Çamurun Borularla İletimi

Arıtma sisteminde, çamur ileten boru hatlarında çap 150 mm'den küçük olmamalıdır, ancak CTP hatlara daha küçük çaplar da başarılı bir şekilde kullanılır. Hız 1.5-1.8 m/s'yi aşmadığı sürece boru çapı 200 mm den büyük olmamalıdır. Çamur geri devir hattının çapı 200mm'den az olmamalıdır. Pompa bağlantı borularında da çapı 100 mm'den küçük olmamalıdır.

Birincil çamur ve köpüğün taşınımında çamurdaki gres borunun iç çeperlerini kaplama eğilimindedir. Gres birikimi büyük sistemlerde küçük sistemlere kıyasla daha fazla probleme yol açar. İç çeperlerin kaplanması, etkin çapı azaltıp terfi yükünü büyük oranda artırır. Bu yüzden, düşük kapasiteli mono pompalar için hesaplanan teorik yükün fazlası esas alınır. Sulu çamurun pompalanması durumunda, yağ birikiminin yol açacağı yük kaybı daha uzun sürede ve yavaş olacaktır. Büyük kapasiteli santrifüj pompalar, çoğunlukla sulu çamurun pompalanmasında kullanılır. Bazı sistemlerde, yağı eritmek için ana boru hattından döndürerek sıcak su, buhar veya çürütme tankı üst suyu geçirilir.

Arıtma sistemlerinde, boru boylarının kısa olması dolayısıyla sürtünme kayıpları genellikle daha az olur ve emniyet faktörü belirlemede daha az zorlukla karşılaşılır. Uzun çamur hatlarının tasarımında, aşağıda özel tasarım yöntemleri düşünülür;

- Tek boru hattının tıkanması durumuna önlem olarak iki boru hattı önerilir.
- Dış korozyon ve yükler için önlemler alınır.
- Basınçlı su hattına seyreltik su vermek için ilave kolaylıklar sağlanır.
- Arıtma sistemine boru temizleyici yerleştirmek için gerekli donanım temin edilir.
- Buhar enjeksiyonu imkanı için tedbirler alınır.
- Yüksek ve düşük noktalar da hava tahliye ve sıvı boşaltma vanaları bulundurulur.
- Su darbesi etkileri de dikkate alınır.

## 8.4 Ön İşlemler

Çamur öğütme, kum ayırma, karıştırma ve depolama kademeleri, çamur işleme ünitesine homojen ve sabit özellikli bir çamur verebilmek için gereklidir. Karıştırma ve depolama, uygun tasarlanmış bir birimde veya ayrı birimlerde gerçekleştirilir.

### 8.4.1 Çamur Öğütme

Öğütme, tıkanmaları ve dönen ekipmanlara sarılmaları önlemek için, çamurdaki büyük ve şerit halindeki maddeleri kırma veya kesme kuvveti ile küçük parçacıklar haline getiren bir prosestir. Çamur öğütmeyi gerektiren bazı prosesler ve amaçları Tablo 8.13'de verilmektedir. Öğütücüler yoğun bakım gerektirir, ancak tasarlanmış düşük hızlı öğütücülerin yeni modelleri daha dayanıklı ve güvenilirdir. Bu yeni tasarımlar, geliştirilmiş taşıma ve kapama, kesme işlemi için sertleştirilmiş çelik malzeme, aşırı yüklemeye duyarlılık, tıkanıklığı açmak için ters dönen kesiciler veya tıkanıklığın geçmemesi durumunda ünitenin durdurulması için gerekli mekanizmaları içermektedir.

Tablo 8.13. Çamur öğütmeyi gerektiren prosesler veya işlemler (1).

İşlem veya proses	Öğütmenin amacı
Mono pompayla pompalama	Tıkanmayı önleme ve aşınmayı azaltma
Santrifüjle ayırma	Tıkanmayı önleme, genellikle büyük parçacıkları tutulduğu için çamur öğütme gerekmez.
Bant filtre ile susuzlaştırma	Çamur dağıtma sisteminin tıkanmasını önlemek, merdanenin eğrilmesini önlemek ve daha uniform susuzlaştırma sağlamak.
Isıl arıtma	Yüksek basınç pompasının ısı değiştiricinin tıkanmasını önlemek.
Klorla oksidasyon	Çamur partikülleri ile klorun temasını arttırmak.

#### 8.4.2 Kum Ayırıcı

Birincil çöktürme tanklarının ön kısmında kum tutucuların kullanılmadığı bazı tesislerde veya kum tutucuların pik debileri ve yükleri karşılamakta yetersiz kaldığı durumlarda, çamurun işlenmesinden önce kumun ayrılması gerekebilir. Birincil çamurun yoğunlaştırılması planlanıyorsa, çamurdan kum ayırma pratik bir çözümdür. Çamurdan kum ayırmanın en etkin metodu, santrüfjü kuvvetlerinin uygulanmasıdır. Bu işlem hiçbir hareketli parçası olmayan siklon kum ayırıcılarla gerçekleştirilebilir. Çamur silindirik besleme kısmına teğetsel olarak gönderilir ve üzerine bir santrüfjü kuvveti uygulanır. Ağır kum partikülleri silindir kısmın dışına gider ve konik besleme bölümünden dışarı atılır. Organik çamur ise ayrı bir çıkıştan (üstten) deşarj edilir.

Siklon kum tutucunun verimi, basınca ve çamurdaki organik madde konsantrasyonuna bağlıdır. Verimli bir kum giderimi için çamur seyreltik olmalıdır. Çamur konsantrasyonu arttıkça, giderilebilecek dane çapı düşer. Siklon kum tutucular kullanıldığında, çamur genellikle bir yoğunlaştırıcıya gönderilir.

#### 8.4.3 Çamur Karıştırma

Çamur, birincil, ikincil ve ileri atıksu arıtma sistemlerinde üretilir. Birincil çamur, ham atıksuyun taşıdığı çökebilir katılardan ikincil çamur ise, biyolojik ve çökebilir katılardan oluşur. İleri arıtım sistemi çamuru, biyolojik ve kimyasal çamurdan oluşmaktadır. Çamurda homojen bir karışım elde edilerek daha sonraki işlem ve prosesler için hazırlanır. Çamurun uniform özellikli olması, susuzlaştırma, ısı arıtım ve yakma gibi kısa kalma zamanlı sistemler için çok önemlidir. Uygun özellikli iyi karıştırılmış çamur, sistemin işletme verimliliğini büyük ölçüde artırır.

Birincil, ikincil ve ileri arıtmadan kaynaklanan çamur birkaç şekilde karıştırılır;

- **Ön çöktürme tankında** : ikincil ve ileri arıtım çamurları ön çöktürme tankına geri döndürülerek birincil çamur ile birlikte çöktürülür.
- **Borularda**: Bu durumda iyi bir karıştırma için çamur kaynağının ve besleme hızının dikkatli kontrol edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde çamurda uygun olmayan özellikler elde edilebilir.
- **Uzun bekletme süresi gerektiren çamur işleme sistemlerinde**: Havalı ve havasız çürütücüler (tam karışımli tipleri) beslenen çamurları uniform bir şekilde karıştırırlar.
- **Ayrı karıştırma tankında**: Bu yöntem karıştırılmış çamurun kalitesini kontrol etmek için en iyi imkanı sağlar.

44L/s kapasitesinin altındaki arıtma sistemlerinde, karıştırma ön çöktürme tankında gerçekleştirilir. Daha büyük sistemlerde optimum verime karıştırmadan önce ayrı yoğunlaştırıcı ile ulaşılır. Karıştırma tankı genellikle, mekanik karıştırıcı ve yönlendirme perdesinden oluşmaktadır.

#### 8.4.4 Çamur Depolama

Çamur, debi dalgalanmalarını önlemek ve çamur arıtım üniteleri çalışmadığı zamanlarda çamurun biriktirilmesini sağlamak amacıyla depolanır. Çamur depolanmasının önemi özellikle, kireç stabilizasyonu, ısıl arıtım, mekanik susuzlaştırma, kurutma ve yakma proseslerine sabit besleme hızı sağlamaktır.

Düşük bekletme süreli çamur depolama, atıksu çöktürme tankı veya çamur yoğunlaştırma tankında yapılabilir. Uzun bekletme süreli çamur depolama, uzun bekletme süreli havalı ve havasız çürütme tankı gibi stabilizasyon tanklarında veya özel tasarlanmış ayrı tanklarda yapılır. Küçük sistemlerde çamur genellikle çöktürme tankı veya çürütücülerde depolanır. Havalı ve havasız çürütme kullanmayan büyük sistemlerde, çamur ayrı karıştırıcıda veya depolama tankında saklanır. Bu tanklar birkaç saatten birkaç güne kadar depolama yapabilecek kapasitede boyutlandırılmalıdır. Çamur 2-3 günden daha uzun sürelerde depolanacak ise, çamurda bozunma meydana gelebilecek ve susuzlaştırılması güçleşecektir.

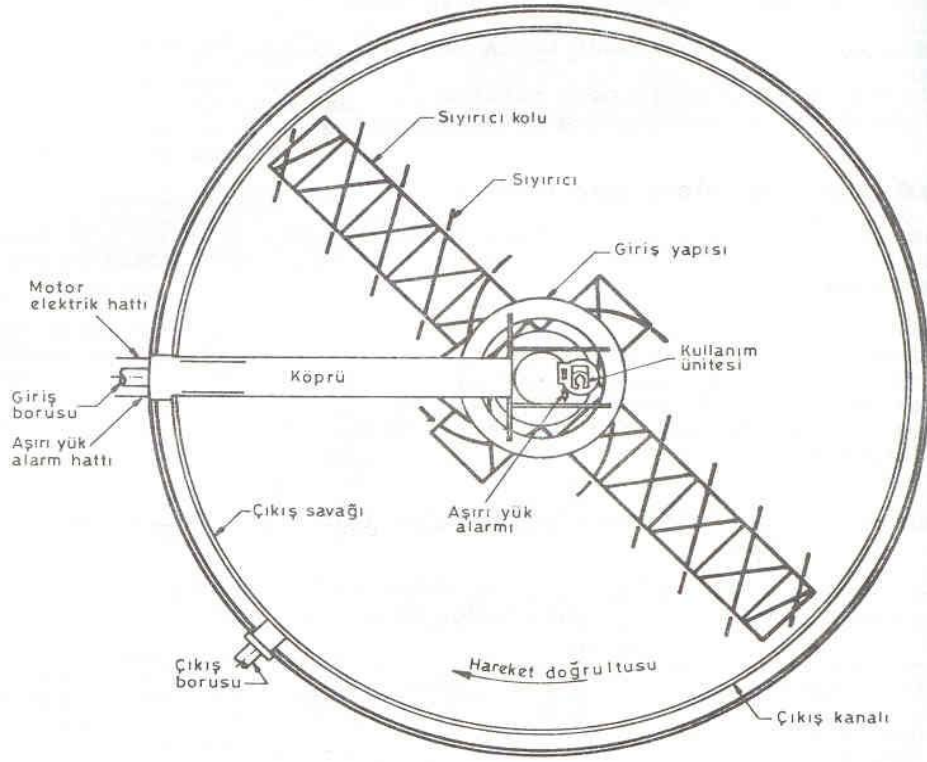
Çamur, septikleşmeyi önlemek ve karıştırmayı iyileştirmek için genellikle havalandırılır. Mekanik havalandırıcılar tam karışımın sağlanması için gereklidir. Septikleşmeyi ve kokuyu önlemek için depolama veya karıştırma tankında klor ve hidrojen peroksit kullanılmaktadır. Sodyum hidroksit veya kireç pH'ı yükselterek kokuyu kontrol etmek ve hidrojen sülfürü çözültide tutmak için kullanılır.

#### 8.5 Yoğunlaştırma

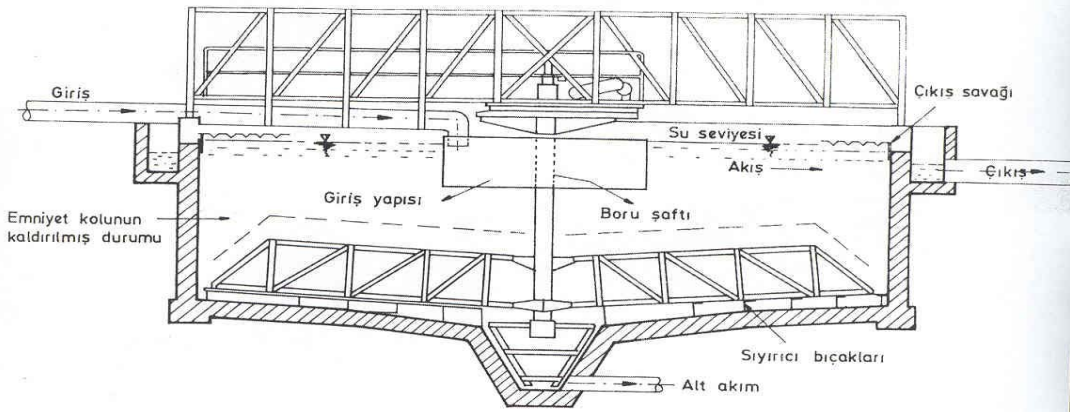
Birincil, fazla aktif çamur, damlatmalı filtre humusu veya karışık çamurların (birincil çamur + aktif çamur) katı içeriği, çamur özelliğine, çamur giderim ve iletim yöntemine ve işletme metoduna bağlıdır. Yoğunlaştırma, çamur karışımındaki sıvıyı gidererek katı içeriğinin artırılması işlemidir. İkincil çöktürme tankından pompalanan %0.8 katı içeren fazla aktif çamur, yoğunlaştırıcıda %4 katı konsantrasyonuna kadar yoğunlaştırılır, yani çamur hacminde 5 kez azalma sağlanır. Yoğunlaştırma genellikle graviteli, flotasyonlu, santrifüjlü ve graviteli bant filtre gibi fiziksel yollarla olur. Tipik çamur yoğunlaştırma yöntemleri Tablo 8.14'de verilmiştir. Graviteli yoğunlaştırıcının şeması Şekil 8.5 verilmiştir.

Tablo 8.14. Çamur proseslerindeki başlıca yoğunlaştırma teknikleri(1).

Metot	Çamur tipi	Kullanma sıklığı ve verim
Graviteli	Ham birincil çamur	Çok iyi sonuç alınır. Hidrosiklon kum tutucu ile kullanılır.
Graviteli	Ham birincil ve atık aktif çamur	Sık kullanılır. Küçük sistemlerde çamur konsantrasyonu %4-6 aralığında elde edilir. Büyük sistemde sonuçlar sınırlıdır.
Graviteli	Atık aktif çamur	Nadiren kullanılır. Düşük katı konsantrasyonları elde edilir (%2-3).
Çözülmüş-hava ile yüzdürme	Ham birincil ve atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. Sonuçlar graviteli yoğunlaştırıcıya benzer.
Çözülmüş-hava ile yüzdürme	Atık aktif çamur	Yaygın kullanılır. İyi sonuç verir (%3.5-5 katı madde konsantrasyonu).
Sepet santrüfuj	Atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. İyi sonuç verir (%8-10 katı madde konsantrasyonu).
Helezon küreyicili santrüfuj	Atık aktif çamur	Kullanımı artmakta. İyi sonuç verir (%4-6 katı madde konsantrasyonu).
Graviteli bant filtre	Atık aktif çamur	Kullanımı artmakta. İyi sonuç verir (%3-6 katı madde konsantrasyonu).
Döner elekli yoğunlaştırıcı	Atık aktif çamur	Kısıtlı kullanım. İyi sonuç verir (%5-9 katı madde konsantrasyonu).



(a)



(b)

Şekil 8.5 Graviteli yoğunlaştırıcı şeması: a) plan ve b) kesit (1).

### 8.5.1 Uygulama Alanları

Yoğunlaştırıcılarla başlıca hacim azaltma, sistemde daha sonra gelen üniteler, örneğin çürütme, susuzlaştırma, kurutma ve yakma, için başlıca aşağıda belirtilen dolaylı faydalar sağlanır;

- Gerekli tank ve ekipman kapasitesi azalır,
- Çamur şartlandırma için gereken kimyasal miktarı düşer,
- Çürütücü için gereken ısı, ısıllı kurutma ve yakma için gerekli yakıt miktarı azalır.

Çamurun önemli bir uzaklığa transfer edildiği büyük tesislerde, çamur hacminde azalma, boru çapında ve terfi maliyetinde azalmaya yol açar. Küçük tesislerde, minimum çap ve hız ihtiyacı, çamura ilave olarak önemli miktarda atıksuyu da pompalamak için gereklidir.

Çamur yoğunlaştırma, ön çöktürme, çamur çürütme ve özel tasarlanmış üniteler olmak üzere bütün atıksu arıtma sistemlerinde fayda sağlar. 44 L/s'den düşük kapasiteli arıtma sistemlerinde ayrı bir çamur yoğunlaştırıcı seyrek kullanılır. Yoğunlaştırıcı çeşitleri;

- Graviteli yoğunlaştırıcı,
- Flotasyon yoğunlaştırıcı,
- Santrifüj yoğunlaştırıcı,
- Bantlı yoğunlaştırıcı,
- Döner elekli yoğunlaştırıcı.

### 8.6 Stabilizasyon

Çamur stabilizasyonu başlıca aşağıdaki faydaları temin etmek üzere gerçekleştirilir:

Patojenlerin azaltılması,  
İstenmeyen kokunun giderilmesi,  
Kokuşmanın önlenmesi.

Mikroorganizmaların çamurda aktif kalması durumunda patojenlerin canlı kalması, koku açığa çıkması ve bozunma meydana gelir. Bu yüzden çamurun uçucu bileşeninin 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 ,

İşlemlerinin en az birini veya birkaçını ihtiva eder.

Stabilizasyon prosesinin tasarımında dikkat edilecek en önemli hususlar , arıtılacak çamur miktarı ve diğer arıtma ünitelerine uygun bir entegrasyonun sağlanmasıdır. Çamur arazide kullanılacak ise, patojen giderimi bilhassa önemlidir.

Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca teknolojiler;

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

olarak sıralanabilir.

### 8.6.1 Kireç Stabilizasyonu

Kireç stabilizasyonunda, kireç ham çamura ilave edilerek pH 12 veya üzerine yükseltilir. Yüksek pH'nın oluşturduğu ortam mikroorganizmaların canlı kalmasına uygun değildir. Bunun sonucu olarak ortam pH'ı bu seviyede tutulduğu sürece, çamurda çürüme, kötü koku ve sağlığa zararlı durum oluşmayacaktır. Kireç stabilizasyonunda iki şekilde uygulanır;

- Çamur susuzlaştırmadan önce kireç ilavesi yapılır, bu işleme kireçle ön stabilizasyon,
- Çamur susuzlaştırmadan sonra kireç ilavesi, buna da kireçle son stabilizasyon denir.

Kireç stabilizasyonunda  $\text{Ca(OH)}_2$  veya CaO kullanılabilir. Bazı durumlarda kül, çimento tozu, karpit kireci de kireç yerine kullanılabilir.

**Kireçle ön-stabilizasyon:** Sulu çamurda istenen pH seviyesine ulaşabilmek için daha fazla kireç ilavesine ihtiyaç duyulur. Buna ilave olarak, uygun patojen giderimine ulaşmak için susuzlaştırmadan önce yeterli bekletme süresi sağlanmalıdır. Önerilen tasarım kriteri, pH 12 nin üzerinde yaklaşık 2 saat kalma süresidir. Kireç dozajı çamur tipi ve katı madde konsantrasyonuna göre değişim gösterir. Tipik dozajlar Tablo 8.15'de verilmektedir.

Tablo 8.15. Sıvı çamur stabilizasyonu için tipik kireç dozları (4).

Çamur tipi	Katı konsantrasyonu, %		Kireç miktarı, $\text{gCa(OH)}_2/\text{gKM}^1$	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
Birincil çamur	3-6	4.3	120-340	240
Aktif çamur	1-1.5	1.3	420-860	600
Havalı çürütülmüş çamur	6-7	6.5	280-500	380
Septik tank çamuru	1-4.5	2.7	180-1020	400

<sup>1</sup>pH'ı 30 dakika 12 de tutmak için gereken miktar.



Kireç stabilizasyonu, mikrobiyal büyüme için gereken organik maddeyi parçalamadığından çamur pH'ında önemli bir düşme olmadan çamur uzaklaştırılmalı veya daha fazla kireç ilave edilmelidir. İlave doz miktarı pH'ı 12 ye getiren miktarın yaklaşık 1.5 katı kadardır.

**Kireçle son stabilizasyon:** Organik maddelerin kireç ile stabilizasyonu her ne kadar bilinen bir yöntem olsa da, susuzlaştırılmış çamurun kireç ile ileri arıtımı yeni bir yöntemdir. Bu proste,  $\text{Ca(OH)}_2$  veya CaO (sönmemiş kireç) susuzlaştırılmış çamurun pH'ını yükseltmek amacıyla kullanılır. Sönmemiş kireç çamur suyuyla exotermik reaksiyon verdiğini için tercih edilir. Su karışım sıcaklığını  $50^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıkarır ve bu değer kurt yumurtalarını pasif hale getirmeye yetecek sıcaklıktır.

Kireçle ön stabilizasyona kıyasla, son stabilizasyonun üstünlükleri;

- Kuru kireç kullanılabilirdiğinden dolayı, susuzlaştırılmış çamura su ilavesi gerekmez.
- Susuzlaştırma için ilave başka birşeye ihtiyaç yoktur.
- Kabuk problemi ve çamur susuzlaştırma ekipmanlarının bakım problemleri ortadan kalkar.

Kireç ve çamurun iyi karıştırılması durumunda, ufalanabilir iyi bir doku elde edilir. Bu çamur uzun süre saklanabilir veya araziye kolaylıkla yayılabilir.

### 8.6.2 Isıl Arıtım

Isıl arıtma, stabilizasyon ve şartlandırma proseslerinin her ikisinde de çamurun yüksek basınç altında kısa süreli ısıtılmasını içerir. Kullanım amacı; katıyı koagüle etmek, jel yapısını parçalamak ve katı çamurun bünye suyunu azaltmaktır. Sonuç olarak çamur sterilize olur ve kolaylıkla susuzlaştırılır. Isıl proses daha çok, sterilizasyonu ve şartlandırması zor olan biyolojik çamura uygulanır. Yüksek yatırım maliyeti büyük sistemlerde bu yöntemin kullanımını kısıtlar. Isıl arıtmadan çıkan üst su, yüksek BOI,  $\text{NH}_4$  ve P içerdiğinden ana arıtım sistemine verilmeden önce ön arıtımı gerekebilir.

Isıl arıtmadan çıkan kısmen okside olmuş çamur, vakum filtre, santrifüj, bant filtre veya kurutma yataklarında susuzlaştırılabilir. Bu sistemin başlıca üstünlükleri:

- Ulaşılan oksidasyona bağlı olarak susuzlaştırılmış çamurun katı içeriği %30-50 arasında değişir.
- Oluşan çamur için kimyasal şartlandırmaya gerek duyulmaz.
- Proses, çamuru stabilize eder ve hastalık yapan bakterileri yok eder.
- İşlenen çamurun ısı değeri 28-30 kJ/g'dır.
- Çamur bileşimindeki değişim proses verimini etkilemez
- Uçucu katının tam oksidasyonu, yüksek basınç ve sıcaklıklarda tamamlanır.

Sistemin önemli mahsurları;

- Ekipman yoğun olması ve korozyona dayanıklı malzeme kullanımı yüzünden yüksek ilk yatırım maliyetine sahiptir.
- Uсталık gerektiren bir işletme, tecrübe ve ciddi önleyici bakım programı gerektirir.
- Proseste oluşan atıksu yüksek organik karbon, amonyak ve renk kirliliğine sahiptir.
- Arıtım gerektiren kötü kokulu gazlar meydana gelir.
- Isı değiştirici, borular ve reaktörde kazan taşı oluşumu problemi görülür. Kabuk kontrolü asitle yıkama ve yüksek basınçlı su püskürtme gerektirir.

### 8.7 Havasız (Anaerobik) Çamur Çürütme

Havasız çürütme, çamur stabilizasyonu için kullanılan en eski proseslerde biri olup moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması işlemi olarak tanımlanabilir. Bu sistemlerde meydana gelen biyokimyasal reaksiyonların özellikleri havasız kontakt prosesinin reaksiyonları ile aynı özelliktedir. Atıksu arıtımı sonucu oluşan arıtma çamurlarının biyolojik stabilizasyonunda ve bazı endüstriyel atıksuların arıtımında günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çürütme işlemi hava girişinin önlenildiği kapalı bir reaktörde gerçekleştirilir. Havasız çürütme bir seri organizma grubu tarafından yürütülen bir biyolojik bozunma işlemidir. Havasız çürütme işleminin mekanizması daha önce Bölüm 7’de detaylı olarak açıklanmıştır. Havasız çamur çürütücüler düşük hızlı ve yüksek hızlı olmak üzere başlıca iki tiptir (Şekil 8.6) Düşük hızlı (standart) çürütücülerde ısıtma ve karıştırma uygulanmaz. Hidrolik bekleme süresi yörenin iklimine bağlı olarak 30-60 gün arasında değişir. Yüksek hızlı çürütücülerde ise havasız ayrışma sürecini hızlandırmak amacıyla ısıtma ve karıştırma uygulanır. Bu tip çürütücüler genellikle seri bağlı 2 reaktörden oluşur. İkinci reaktör katıların çökertilmesini ve çamur yaşının kontrolünü sağlar.

Bu iki sistemden düşük hızlı çürütücüler kesikli olarak çalıştırılmakta olup, genellikle ısıtılarak, gereken çamur bekletme süresi 30 ila 60 güne düşürülmektedir. Bu tip çamur çürütme birimlerinde organik yükleme hızı  $0.5-1.5 \text{ kgUAKM/m}^3\text{-gün}$  arasında değişmektedir. Karıştırmanın uygulanmadığı standart hızlı çürütme tankları düşük kapasiteli (  $4000 \text{ m}^3\text{/gün}$ ) biyolojik arıtma tesislerinde kullanılmaktadır.

Yüksek hızlı çürütme birimleri iki kademeli olarak işletilmekte, birinci kademede tam karışım sağlanarak çamurların ısıtılması sağlanmaktadır. İkinci tank ise çökeltme ve gaz biriktirme tankı olarak görev yapmaktadır. Bu tip tanklara  $2.4-6.4 \text{ kg UAKM/m}^3\text{-gün}$  çamuryüklenilmektedir. Birinci tanktaki çamur bekletme süresi  $35^\circ\text{C}$ ’de 10-15 gün arasında değişebilir. Çamur çürütme tankları genellikle dairesel olarak inşa edilmektedir. Bu tankların çapı 6m’den 35m’ye kadar değişebilir. Tank tabanı  $\frac{1}{4}$  eğiminde olmalıdır. Merkezdeki sıvı derinliği 6 m’den 15m’ye kadar değişebilir.

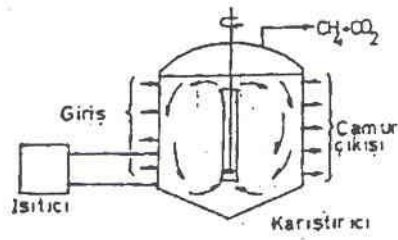
Çeşitli atıkların havasız çürütmesi için kinetik katsayıların tipik aralıkları Tablo 8.16’de verilmiştir. Sürekli akımlı tam karıştırmalı çürütücülerde çeşitli sıcaklıkları için tavsiye edilen ortalama çamur yaşı değerleri ise Tablo 8.17’de verilmiştir.

Tablo 8.16 Çeşitli atıkların havasız çürümesi için kinetik katsayıların tipik aralıkları (2).

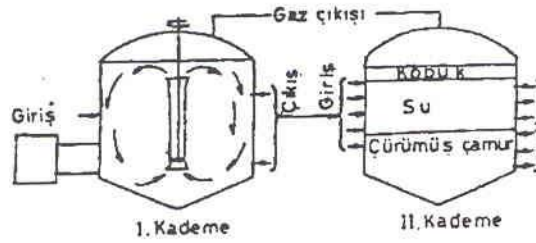
Atık türü	Kinetik katsayı	Birim	Değer(20°C)	
Evsel atıksu çamuru	Y	mgUKM/mgBOI <sub>5</sub> gün <sup>-1</sup>	0.04-0.1	0.06
	k <sub>d</sub>		0.02-0.04	0.03
Yağ asitleri	Y	mgUKM/mgBOI <sub>5</sub> gün <sup>-1</sup>	0.04-0.07	0.05
	k <sub>d</sub>		0.03-0.05	0.04
Karbonhidrat	Y	mgUKM/mgBOI <sub>5</sub> gün <sup>-1</sup>	0.02-0.04	0.024
	k <sub>d</sub>		0.025-0.035	0.03
Protein	Y	mgUKM/mgBOI <sub>5</sub> gün <sup>-1</sup>	0.05-0.09	0.075
	k <sub>d</sub>		0.01-0.02	0.014



a) Düşük hızlı çürütücü



b) Yüksek hızlı çürütücü



c) İki kademeli çürütücü

Şekil 8.6 Havasız çamur çürütücü tipleri ( 6).

Tablo 8.17. Sürekli akımlı tam karıştırmalı çürütücülerde çeşitli sıcaklıklar için tavsiye edilen ortalama çamur yaşları (2).

Sıcaklık (°C)	Çamur yaşı ( $\theta_c$ , gün)	
	En düşük	Tasarımda tavsiye edilen
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Çamur konsantrasyonu ve hidrolik bekleme süresinin uçucu katı madde yükleme hızları üzerindeki etkisi Tablo 8.18’de verilmiştir.

Tablo 8.18. Çamur konsantrasyonu ve hidrolik bekleme süresinin uçucu katı madde (UKM) yükleme hızları üzerindeki etkisi (çamurun özgül ağırlığı 1.02 ve katı maddelerin %75’inin uçucu olduğu esas alınmıştır)(2).

Çamur konsantrasyonu (%)	Uçucu katı madde yükleme faktörü (kg/m <sup>3</sup> .gün)			
	10gün	12 gün	15gün	20gün
4	3.04	2.56	2.08	1.60
5	3.84	3.2	2.56	1.92
6	4.49	3.84	3.04	2.24
7	5.29	4.49	3.52	2.72
8	6.09	5.13	4.00	3.04
9	6.89	5.77	4.65	3.36
10	7.69	6.41	5.13	3.84

Kişi başına birim reaktör hacmi ihtiyacı Tablo 8.19’da verilmiştir. Bu değerler ısıtılmalı tanklar için geçerlidir. Isıtılmayan tanklar için kapasiteler bölgesel iklim koşullarına ve depolama ihtiyaçlarına göre artırılmalıdır. Tablodaki değerler mutfak öğütücülerinin kullanıldığı yerlerde %60 oranında ve endüstriyel atıkların çürütücülere verilmesi durumu söz konusu ise eşdeğer nüfusa göre artırılmalıdır. Mesofilik sıcaklık aralığında işletilen düşük hızlı ve yüksek hızlı havasız çürütücüler için tasarım kriterleri Tablo 8.20’de verilmiştir.

Tablo 8.19. Çürütücülerin hacim ihtiyaçları(2).

Tesis tipi	Kuru katı madde (g/N-gün)	Katı madde %	m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> N.gün	Hacim ihtiyacı m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> N
Birincil çamur	72	5	1.44	50-65
Birincil çamur + Damlatmalı filtre humusu	108	4	2.7	95-122
Birincil çamur + Aktif çamur	114	3	3.8	133-171

Tablo 8.20. Düşük hızlı ve yüksek hızlı havasız çürütücüler için tasarım kriterleri(2).

Parametre	Düşük hızlı	Yüksek hızlı
Çamur yaşı (gün)	30-60	15-20
Katı madde yükü(kgUKM/m <sup>3</sup> .gün)	0.64-1.6	2.4-6.4
Hacim kriterleri(m <sup>3</sup> /kişi)		
Birincil çamur	0.06-0.09	0.04-0.06
Birincil çamur + Damlatmalı filtre humusu	0.11-0.14	0.07-0.09
Birincil çamur + aktif çamur	0.11-0.17	0.07-0.11
Besleme konsantrasyonu(%KM)	2-4	4-6
Çıkış konsantrasyonu (%KM)	4-6	4-6

### 8.7.1 Çürümüş Çamur Suyu Özellikleri

Çürütücü suyu kalitesi, çürütücünün tek veya iki kademeli oluşu, karıştırma durumu ve katı maddelerin ayrılma (çökelme) oranı vb parametrelere göre değişir. Yoğunlaştırılmış birincil çamur ve biyolojik aktif çamur karışımının çürütüldüğü bir anaerobik çürütücünün tipik çıkış suyu özellikleri aşağıdaki Tablo 8.21’de verilmiştir.

Tablo 8.21. Havasız çamur çürütücü çıkış (üst) suyu özellikleri (6)

Parametre	Konsantrasyon (mg/l)
Toplam katı madde	3000-15.000
BOI <sub>5</sub>	1000-10.000
KOI	3000-30.000
NH <sub>4</sub>	400-1000
Toplam P	300-1000

### 8.7.2 İnhibitör ve Zehirli Maddeler

Çamur çürütücülerin organik maddeleri ayrıştırma verimleri, sisteme beslenen çamur içindeki çeşitli inhibitör maddeler nedeniyle belli ölçüde değişim gösterebilir. Çamur çürüme sürecini belirgin oranda inhibe eden, pratikte sık rastlanan inhibitör maddelerin zehirlilik eşikleri Tablo 8.22’de verilmiştir.

Tablo 8.22. Katı madde oranı %4.5 olan evsel atıksu arıtma tesisi çamurunun çürütüldüğü bir çürütücü için inhibitör madde zehirlilik sınır konsantrasyonları (6).

Madde	Zehirlilik eşiği (mg/l)
Anyonik deterjanlar	900
Metilen klorür, CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1000
Kloroform, CHCl <sub>3</sub>	0.5-1
Karbon tetra klorür, CCl <sub>4</sub>	2-10
1,1,1-trikloreten	2.25
Monoklorobenzen	900
Ortodiklorobenzen	900
Paradiklorobenzen	1300 <sup>1</sup>
Pentakloro fenol	1-2
Siyanür	3-30 <sup>2</sup>
Zn	590 <sup>3</sup>
Ni	530 <sup>3</sup>
Pb	1800 <sup>3</sup>
Cd	1000 <sup>3</sup>
Cu	850 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Atıksu arıtma tesisi girişindeki konsantrasyon

<sup>2</sup>Başlangıçta çok zehirli ancak zamanla anaerobik bakteriler alışabilir.

<sup>3</sup>Zehirlilik etkisi metal sülfür oluşumuna bağlı olarak değişir.

## 8.8 Havalı (Aerobik) Çamur Çürütme

Çeşitli arıtma işlemlerinden gelen organik çamurların biyolojik stabilizasyonu için kullanılan bir prosestir. Havasız çürütmeye alternatif olarak, atık aktif çamur havalı olarak da çürütülebilir. Atık aktif çamur ayrı bir tank içine alınır ve birkaç gün süre ile havalandırılır. Böylece çamur içindeki uçucu katı maddeler biyolojik olarak stabilize olur. Sonuçta oluşan çamur “havalı çürük çamur” adını alır. Havalı çürütmenin üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Uçucu katı madde (UKM) giderimi havasız çürütme ile elde edilene yakındır.
- Substrattaki BOI konsantrasyonları oldukça düşüktür.
- Kolayca bertaraf edilebilecek kokusuz, humusa benzer, biyolojik olarak kararlı ürün elde edilir.
- Oluşan çamurun susuzlaştırma karakteristikleri çok iyidir.
- Çamurun gübre değeri yüksektir.
- İşletme problemleri azdır.
- Yatırım maliyetleri düşüktür.

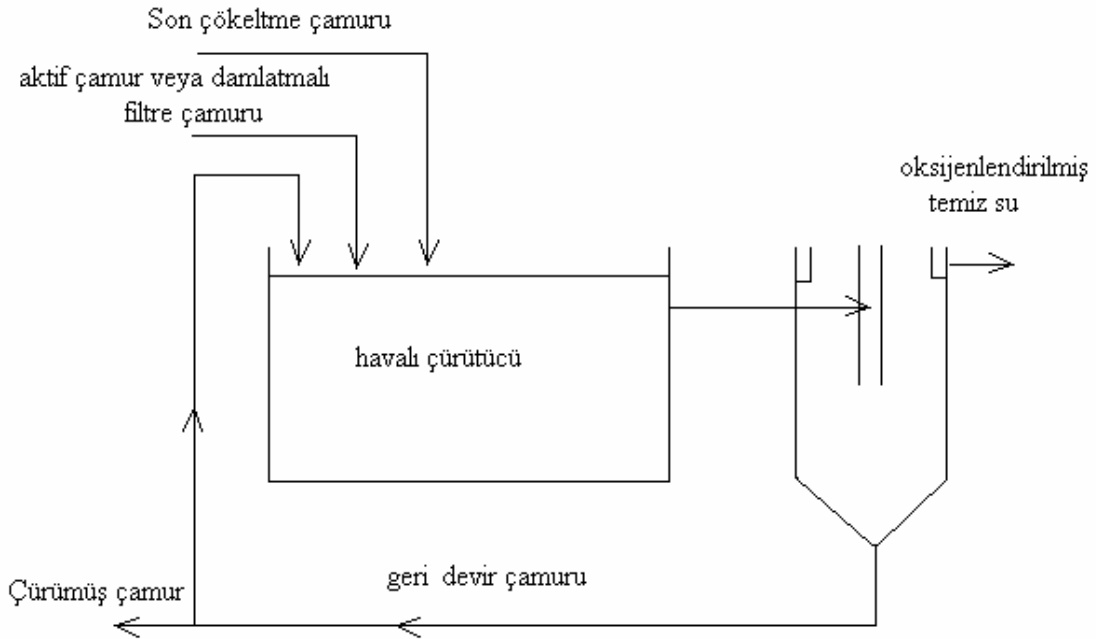
Havalı çürütmenin üstünlükleri yanında en önemli mahsuru, sisteme gerekli oksijeni sağlamak için yüksek, enerji ihtiyacıdır. Metan gibi yararlı bir son ürünün elde edilememesi de diğer bir sorunudur.

### 8.8.1 Havalı Çürütme Mekanizması

Havalı çürütme aktif çamur prosesine benzer. Ortamda mevcut besi maddesi miktarı azalırken, mikroorganizmalar hücre bakım reaksiyonları için gerekli olan enerjiyi eld etmek üzere kendi protoplazmalarını yiyip bitirmeye başlarlar. Bu olay başladığında mikroorganizmalar endojen fazda bulunmaktadır. Hücre dokusu, havalı ortamda su, karbondioksit ve amonyağa oksitlenir. Gerçekte hücre dokusunun yalnızca %75-80'i oksitlenir; kalan %20-25'lik kısım ise inert maddeler ve biyolojik olarak indirgenemeyen organik maddelerden meydana gelmektedir. Bu oksidasyondan açığa çıkan amonyak, sonuçta nitrata oksitlendiğinde pH düşebilir. Teorik olarak oksitlenen kg amonyak başına 7.1 kg  $\text{CaCO}_3$  alkalitesi giderilir. Havalı çürütücülerin tasarım kriterleri Tablo 8.23'de verilmektedir.

Aktif çamur veya damlatmalı filtre çamuru ön çökeltim çamuru ile karıştırılıp havalı olarak çürütüldüğünde ön çökeltim çamurundaki organik maddenin direkt oksidasyonu ve hücre dokusunun içsel oksidasyonu bir arada gerçekleşir. Havalı çürütücüler kesikli veya sürekli reaktörler olarak işletilebilir. Sürekli beslemeli havalı çürütücüye ait şematik kesit Şekil 8.7'de verilmiştir. Sistemin iki uygulaması vardır:

- Klasik havalı çürütme,
- Saf oksijenli havalı çürütme.



Şekil 8.7 Havalı çürütücü sistemine ait şematik resim.



Tablo 8.23. Havalı çürütücüler için tasarım kriterleri(2).

Parametre	Birim	Değer
Hidrolik bekleme süresi	Gün	
Atık aktif çamur		10-15
Ön çökeltimsiz aktif çamur		12-18
Birincil çamur+aktif çamur veya damlatmalı filtre çamuru		15-20
Katı madde yüklemesi	kgUKM/ m <sup>3</sup> .gün	1.6-4.8
Oksijen ihtiyacı	kg/kg tüketilen	
Hücre dokusu (UKM)		2.3
Birincil çamurdaki BOI <sub>5</sub>		1.6-1.9
Karıştırma için enerji ihtiyacı		
Mekanik havalandırıcı	kW/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	20-40
Basınçlı hava ile karıştırma	m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> .dakika	20-40
Sudaki çözünmüş oksijen	mg/l	1-2
Sıcaklık	°C	15
Uçucu katı madde giderimi	%	40-50

## 8.9 Kompostlaştırma

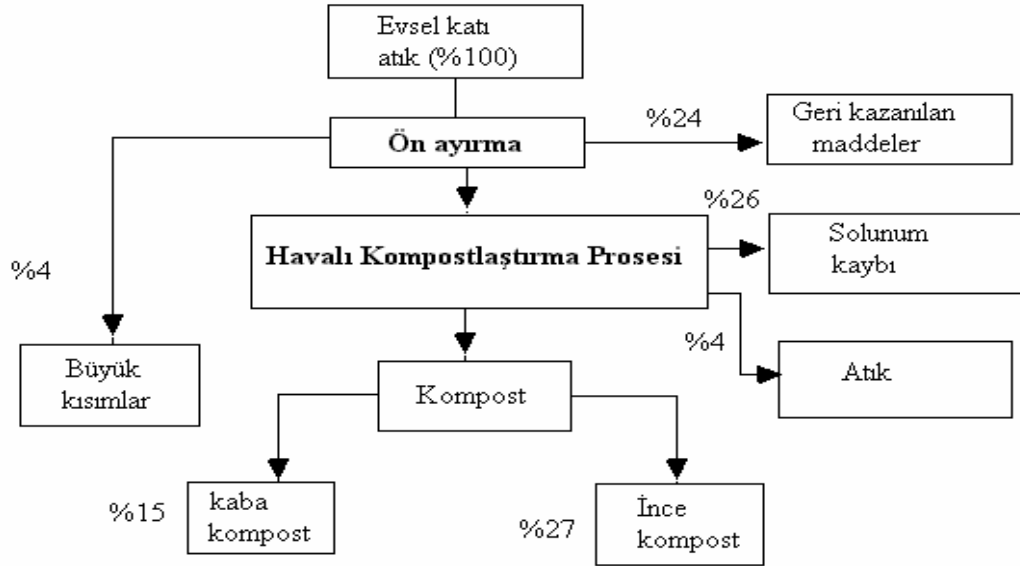
### 8.9.1 Havalı Kompostlaştırma

Şehirleşme ile birlikte katı atık oluşumu hızla artmış ve günümüzde en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Organik maddeler evsel katı atıkların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu probleme ekonomik ve çevre dostu çözümler araştırılması sonucunda kompost uygulanabilir bir çözüm olarak gündeme gelmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Katı atıkların havalı şartlarda biyolojik arıtımı kompostlaştırma olarak adlandırılır. Havalı ve havasız kompostlaştırma, hacim azaltmak, stabilizasyon ve patojen giderme amacıyla uygulanan katı atık dönüştürme ve uzaklaştırma teknolojileridir.

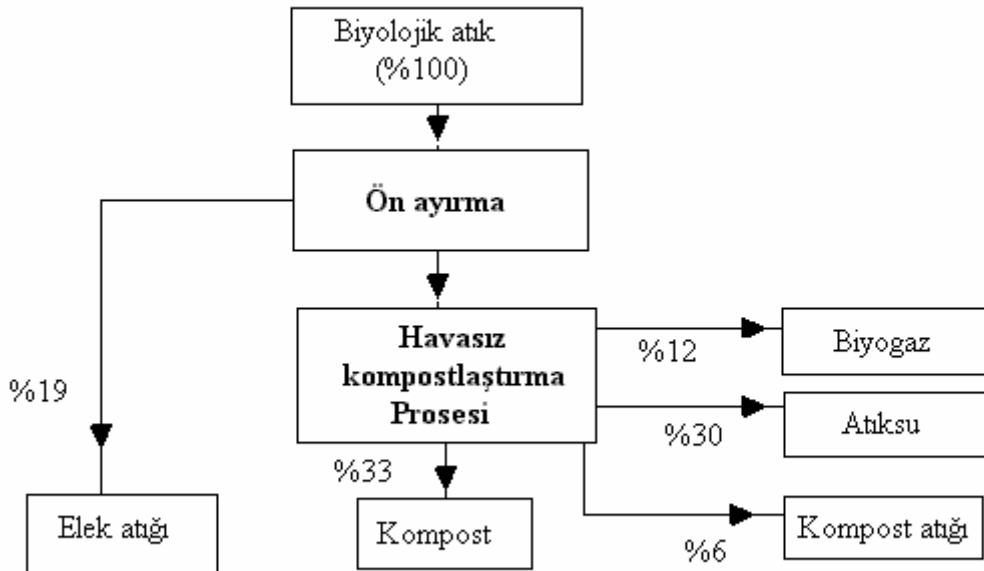
Kompostlaştırma organik atıkların, havalı termofilik çürüme ile olabildiğince stabil çamur benzeri bir humusa dönüştürülmesidir. Sonuç olarak ortaya çıkan humusta %25'e varan oranda ölü veya canlı organizma mevcut olabilir. Kompostlaştırmada pratik olarak kontrol edilmesi gereken en önemli parametreler karbon/azot oranı, sıcaklık ve havalandırmadır. Doğru bir kompostlaştırma için C/N oranı 40'tan fazla olmamalı ve nem oranı %60'ı geçmemelidir. Optimum sıcaklıkta 60°C'dir.

Mekanik havalandırma, kompostlaşma süresini 10 haftadan 2 haftaya indirebilir. Katı atıkların biyolojik arıtımı sıvı ve gaz atıkların giderilmesinden farklılık gösterir. Katı atıklar çok heterojen yapıda ve biyolojik parçalanması zor atıklardır. Katı atık oluşumunun minimize edilmesi ve geri dönüşümle sisteme verilmesi en uygun çözüm olarak görülmektedir. Metal, cam ve kağıt atıklarının geri kazanılıp tekrar kullanılması, plastiklerin de tekrar kullanılabilir cinsten olması gerekir. Katı atıkların depolama alanlarında toprak altına gömülmesi uzun dönemde kokuşma ve yer altı suyu kirliliği gibi problemlere yolaçabilir.

Biyolojik olarak parçalanabilen katı atıklar havalı veya havasız olarak kompostlaştırılabilir. Havalı prosesler kompostlaştırma olarak bilinir (Şekil 8.8 ve 8.9). Biyolojik bozunma düzeyine ve sonuç işlemine bağlı olarak kompost 4 tipte sınıflandırılabilir.



Şekil 8.8 Bir havalı kompostlaştırma tesisi için kütle dengesi.



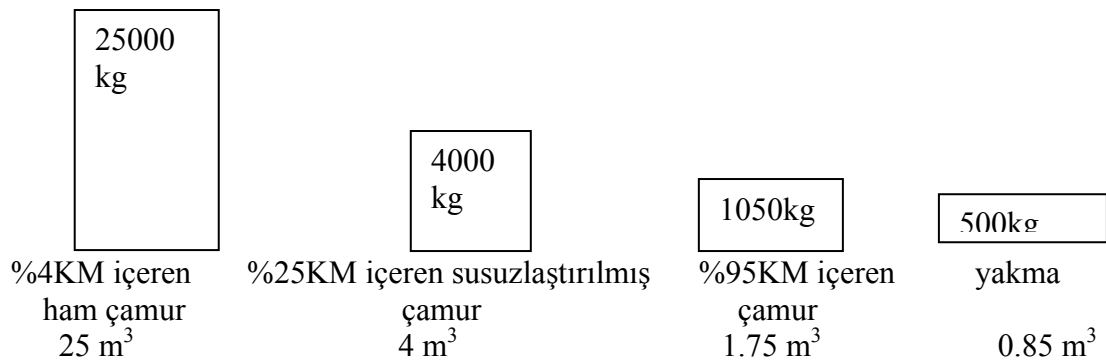
Şekil 8.9 Bir havasız kompostlaştırma tesisi için kütle dengesi.

**Arıtma Çamuru:** Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamur susuzlaştırıldıktan sonra kompostlaştırılabilir. Çeşitli atıksu arıtma proseslerinde oluşan çamurun bileşimi Tablo 8.24’de verilmiştir. Çamurun suyunun alınması, hacim ve ağırlığı azaltır. Örneğin %5 katı madde içeren 20 kg çamurda yalnızca 1 kg katı madde vardır. Susuzlaştırma işleminden sonra %40 katı madde içeren (hacmi 1/8 e düşen) bu çamurun ağırlığı sadece 2.5 kg gelecek yani %87.5’luk bir ağırlık azalması olacaktır.

Tablo 8.24. Arıtma çamurlarının özellikleri (2).

Çamur tipi	Nem oranı (%ağırlık)	Katı oranı (% ağırlık)	Organik katılar (%kuru ağırlık)	İnorganik katılar (% kuru ağırlık)
Ham birincil çamur	92-95	8-5	80-60	20-40
Düşük hızlı damlatmalı filtre çamuru	90-92	10-8	-	-
Yüksek hızlı damlatmalı filtre çamuru	93-95	7-5	-	-
Atık aktif çamur prosesi	96-97	4-3	75-62	25-38
Çürümüş çamur	90-93	10-7	60-45	40-55

Biyolojik arıtma işlemi sonucunda ortaya çıkan çamurların, insanlara ve çevreye değişik zararları bulunmaktadır. İçerdiği organik maddeler, mikroorganizmaların çoğalmasına fırsat tanır. Bu mikroorganizmalar değişik hastalıklara yol açacağından bu çamurların mutlaka düzenli depolama alanlarına taşınması gerekmektedir. Ancak hiçbir işleme tabi tutulmamış çamurun taşınması ve depolanması, katı madde (KM) oranının çok düşük olmasından dolayı pek akılcı bir yaklaşım değildir. Örneğin 1 ton katı madde içeren atık çamurun farklı işlem düzeylerindeki miktarları Şekil 8.10’da verilmiştir.



Şekil 8.10 1 ton katı madde (KM) içeren atık çamurun farklı işlem düzeylerindeki miktarları.

### 8.9.1.1 Kompostlaştırma mekanizması

Katı atıkların havalı şartlarda biyokimyasal süreçlerle stabilizasyonu kompostlaştırma olarak adlandırılır. Biyolojik olarak parçalanabilen katı atıklar (özellikle gıda sanayi atıkları) öğütülerek küçük parçacıklar haline getirildikten sonra yığın halinde alt tarafı ızgaralı bir zemin üzerine konarak gerekirse uygun mikroorganizmalarla aşılandıktan sonra alt taraftan havalandırılarak biyolojik parçalanmaya tabi tutulurlar. Kompostlaştırma süresi ortalama olarak 5-7 hafta arasında değişebilir.

Kompostlaştırma, katı organik maddelerin uygun çevresel koşullarda mikroorganizmalar tarafından havalı çürütülme ve stabilizasyonudur. Son ürün stabil, toprağa benzer ve humusça zengin hijyenik bir maddedir. Kompostlaştırma prosesinin amacı, atığın çevreye zarar vermeden biyolojik olarak parçalanabilmesidir. Kompostlaştırma, atığın biyolojik olarak parçalanabilen kısmının geri kazanılması ve yeniden değerlendirilmesi olarak görülebilir. Bu proses, biyolojik olarak parçalanabilen atığın hacmini, kütleini ve nemini azaltıp değerli birtoprak düzenleyici haline dönüştürür.

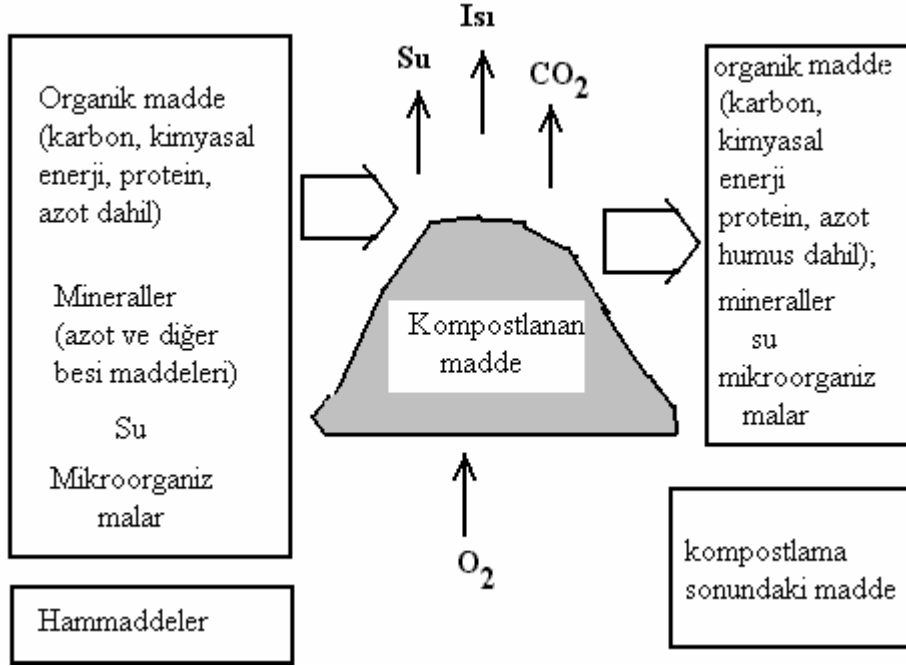
Her canlı, canlı kalabilmek ve yaşamını düzenlemek için enerjiye ihtiyaç duyar. Kompostlaştırma sırasında, mikroorganizmalar ürettikleri enzimler yardımıyla organik maddeleri parçalarken oksijen tüketirler. Havaya yüksek ısı, büyük miktarda CO<sub>2</sub> ve su buharı verilir ve yeni mikroorganizmalar gelişir (Şekil 8.11).

Bir grup havalı mikroorganizma, partiküllerin yüzeyini saran sıvı tabakasında oluşur. Mikroorganizmalar partikülün iç kısmını değiştirmeden bırakarak partikül yüzeyindeki uygun oksijeni kullanırlar. Partikülün suyu çekilir ve mikroorganizma faaliyetleri ile ayrışır.

Isının ortaya çıkması direkt olarak mikrobiyal aktiviteyle bağlantılı olmasına rağmen, sıcaklık proses için iyi bir indikatördür. Kompostlaştırmanın ilk günlerinde organik atıkların kolayca parçalanabilen bileşikleri metabolize olur. Sıcaklık bazı durumlarda 60°C'yi aşabilir. Bu yüksek sıcaklık patojenleri ve zararlı tohumları öldürür, ancak bu arada birçok mikroorganizma da ölmeye başlar veya daha dirençli hale gelir. Bu da daha az ısının oluşması ve sonuç olarak yığının birkaç gün sonra soğuması demektir. Yığın soğuduğunda sporlar, termofilik mikroorganizmalar ve son olarak mezofilik popülasyon oluşur. Normal olarak kompostlanan maddenin sıcaklığı 50-60°C'lik hızlı bir artışı takip eder. Bu sıcaklık aralığı birkaç hafta devam eder. Aktif kompostlaştırma yavaşladığında, sıcaklık yavaş yavaş  $\pm 37^{\circ}\text{C}$  ve sonunda çevre havası sıcaklığına düşer. Sonunda yığın yeteri kadar soğur ve içinde doğal olarak toprak mikroorganizmaları, protozolar, solucanlar, mantarlar, böcekler ve diğer daha büyük mikroorganizmalar ve organik maddeler yer alır. Zaman içindeki bu sıcaklık değişimi kompostlaştırma prosesindeki ayrışmanın hızını ve tipini yansıtır.

Kompostlaştırma ham maddedeki bir çok besleyici maddeyi saklar ve bunları stabil organik bileşiklerde stoklar. Bu da bitkilere besinlerin hızlı bir şekilde sağlanmasını azaltır, ancak bunların yavaş yavaş serbest bırakılmasını sağlar.

Bu olgunlaşma periyodunu aktif kompostlaştırma dönemi izler. Maddeler daha yavaş hızda olmak üzere biyokompostlanmaya devam eder ve oksijen tüketim hızı azalır. Aktif biyokompostlaştırma döneminden sonra elde edilen komposttaki azot, amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) halindedir. Bir çok bitki, yüksek konsantrasyondaki amonyumdan zarar görür. Kompostlaştırma prosesi belli bir noktada durmaz. Maddeler “enerji yorgunu” organikler ve inorganikler kalana kadar parçalanmaya devam eder. Her şeye rağmen kompost göreceli olarak stabil olur ve uzun süre bu durumda kalır. Olgunlaşmamış kompost tarlaya uygulandıktan sonra da oksijen tüketmeye devam eder ve topraktan bitkiye giden  $\text{O}_2$  miktarını azaltır.



Şekil 8.11 Kompostlaştırma mekanizması.

Yığın tepesindeki olgunlaşmamış kompost yüksek seviyelerde organik asit içerebilir veya yüksek C/N oranına sahip olabilir. Olgunlaşmamış kompost ürün ve bitkilere zarar verebilir. Kompost C/N oranı, oksijen gereksinimi, sıcaklık ve koku gibi sabit karakteristikleri ile değerlendirilir.

Zamanla kompostlaştırma tamamlandıkça bileşiklerin karışımı daha üniform olur. Orjinal maddelerin çok azı ayırt edilebilir veya hiçbiri ayırt edilemez. Madde koyu kahverengiden siyaha doğru renkler alır. Partiküller küçülür, sabitleşir ve toprak gibi olur. Kompostlaştırma mikroorganizmaların gelişmesini belirleyen ve sağlayan koşullar sağlandığında en yüksek hıza ulaşır (Tablo 8.25).

Tablo 8.25. Hızlı kompostlaştırma için tavsiye edilen koşullar (2).

Koşul	Kabul edilen aralık	Önerilen aralık
C/N oranı	20:1-40:1	25:1-30:1
Nem içeriği	%40-60	%50-60
Oksijen konsantrasyonu	>%5	>>%5
Partikül çapı (cm)	0.3-5	Çeşitli
pH	5.5-9.0	6.5-8.0
Sıcaklık (°C)	40-60	50-60

### 8.9.1.2 Kompostlaştırma mekanizmasını etkileyen parametreler

**Mikroorganizmalar:** Kompostlaştırma işlemine katkıda bulunan mikroorganizmalar arasında bakteriler, mantarlar, küfler ve aktinomisetler sayılabilir. Kompostta bulunan patojenler Tablo 8.26’da verilmiştir. Düşük nem şartlarında (%50-60nem) özellikle küf ve aktinomisetler rol oynarlar. Daha yüksek nemde (%60-90), bakteriler de kompostlaştırma işleminde aktif rol oynarlar. Sıcaklıklara göre aşağıdaki mikroorganizmalar ayırt edilir:

- Mezofilik (10-40°C)  
Bakteriler: *Pseudomonas*, *Proteus*, vd.  
Mantarlar : *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Phanaerochaeta*, *Trichoderma*
- Termofilik:  
Bakteriler (30-65°C): *Basicillus*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces*  
Mantarlar (40-50°C): *Aspergillus*, *Fumigatus*, *Chaetomium*, *Humicola*

Tablo 8.26. Kompostta bulunan patojenler.

Mikroorganizma türü	Hastalık
<i>Salmonella spp.</i>	Bağırsaklarda bozukluk ve tifo
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amipli dizanteri
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Yuvarlak kurt
<i>Taenia spp.</i>	Yassı kurt
<i>Aspergillus fumigatus</i> vd.türler	Sporlarla akciğer enfeksiyonu

**Havalandırma:** Havalandırma, havalı kompostlaştırma işlemi için mutlaka gereklidir. Izgara şeklinde bir taban üzerine konan katı atıklar alttan bir blower yardımıyla sürekli havalandırılırlar. Hava genellikle 0.6-1.8 m<sup>3</sup>/kg uçucu katı gün hızıyla verilir. Havalandırma yığın belli aralıklarla aktarılarak ta sağlanabilir.

**Nem (su) muhtevası:** Kompostlaştırma işlemi atıkların nem içeriğine bağlıdır. Ortalama nem içeriği %40-70 arasında değişmekle birlikte optimum nem içeriği %55 civarı olarak bilinir. Yüksek nem içeriği bakterilerin aktivitelerini artırır ve kompostlaştırmanın daha hızlı oluşmasını sağlar. Düşük nem içeriklerinde ise küf ve aktinomisetler aktivite gösterir.Nem miktarı %40’a yaklaştıkça inhibe olur. %40’ın

altında mikrobik aktivite yavaşlar. Nem %65'i aşarsa yığındaki materyalin boşluklarındaki havanın suyla yer değiştirmesine sebep olur.

**Sıcaklık:** Sıcaklık ortalama 50-60°C arasında değişebilir. Yüksek sıcaklıklarda ( $T > 60^\circ\text{C}$ ) termofilik mikroorganizmaların aktif rol alması nedeniyle kompostlaştırma hızı artar. Kompostlaştırma işlemi çok hassas sıcaklık kontrolü olmadan yapıldığına da sıcaklık genellikle yığınının üst kısımlarından tabanına doğru artış gösterir.

**Besin maddeleri:** Mikroorganizmalar hücrelerini beslemek ve düzenlemek için minimum miktarlarda belli elementlere gereksinim duyarlar. Bu besin maddelerinin miktarları türlerine, büyüme yerlerine ve çevresel koşullara bağlıdır. Biyokompostlaştırılan atıkta C/N oranı genellikle 40'ın üzerindedir. Ancak aktif kompostlaştırma sağlamak için C/N=40/1 civarında olması gerekir. Optimum C/P oranı 100/1 civarında olmalıdır. Bu nedenle optimum C/N/P=100/2.5/1 olarak bilinir. Katı atıklarda azot ve fosfor içeriği düşük olduğu için dışarıdan evsel atıksu çamuru veya azot ve fosfor tuzları ilave edilerek C/N/P oranı istenilen seviyeye yükseltilir. C/N oranı 40'dan fazla olursa, mikroorganizmaların fazla karbonu kullanabilmesi için kompostlaştırma süresi uzar.

**pH:** Kompostlaştırma işlemi  $4.5 < \text{pH} < 9.5$  arasında oluşur ve optimum pH = 6.5 civarındadır. Düşük pH değerleri bakterilerin, yüksek pH değerleri küf ve aktinomisetlerin daha yoğun olmasını sağlarlar. Kompostlaştırma materyali mikroorganizmaların geniş spektrumu nedeniyle pH'a göreceli olarak daha az duyarlıdır ancak istenen aralık 6.5-8 arasındadır.

**Katkı Maddeleri:** Katkı maddesi çeşitlerinden bazıları Tablo 8.27'de verilmiştir. Arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında boşluk artırıcı ve su muhtevasının azaltıcı katkı maddeleri büyük önem taşır.

Tablo 8.27 Katkı maddesi çeşitleri (2).

Ürün kalıntıları	Orta dereceden fazla nem Uygun C/N oranı Eski ürün daha kuru ve daha az azot içerir. İyi parçalanabilme
Saman	Kuru ve karbonlu İyi parçalanabilme İyi yapı sağlar
Yapraklar	Göreceli olarak kuru Yüksek karbon Orta derecede nem adsorpsiyonu İyi parçalanabilme
Yonga	Kuru Yüksek karbon Mükemmel yapı Kötü parçalanabilirlik
Çim kırıntıları	Orta derecede ıslak İyi bir azot kaynağı Karıştırmalı, sadece kırıntılar kompaktlaşma ve havasız olmasına neden olur.
Gazete	Kuru Yüksek karbon içeriği Orta derecede parçalanabilme İyi absorpsiyon Kötü yapı Muhtemel ağır metaller
Meyve ve sebze	Meyve ve sebze Kötü yapı İyi parçalanabilme
Mukavva	Kuru Yüksek karbon içeriği İyi parçalanabilme İyi nem adsorpsiyonu ve yapı

**Süre:** Kompostlaştırma süresi genellikle 5-7 hafta arasında değişmekle birlikte kolay parçalanabilen katılar için bu süre 3 hafta olabilir. Zor parçalanabilen katılar için ise kompostlaştırma süresi 9-10 haftaya kadar uzayabilir. Biyokompostlaştırılacak atıklar belirli aralıklarla (haftada bir-iki defa) aktarılır ve böylece daha homojen bir havalandırma sağlanabilir.

Uygun nem içeriği ve C/N oranına ek olarak havalandırma kompostlaştırma periyodunu en kısa süreye indirir. Prosesi yavaşlatan koşullar, nem azalması, yüksek C/N oranı, düşük sıcaklık, yetersiz havalandırma ve büyük partiküllerdir. İstenen kompostlaştırma süresi amaçlanan kompostta bağlı olup, genellikle 3-6 ay sürer.

**Parçacık boyutu:** Kompostlaştırılacak katı atıklar genellikle 0.5-2 cm boyutlarına gelecek şekilde öğütülmesi uygun olur. Daha küçük parçacıklar, daha fazla yüzey



alanına sahip olduklarından tercih edilebilirler ancak çok küçük parçacıklar hava akımıyla sürüklenebilecekleri ve taşımada zorluk çıkaracakları için pratikte pek tercih edilmezler. Arıtma çamurlarında öğütme ihtiyacı yoktur.

### **8.9.1.3 Kompostlaştırma uygulamaları**

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından çıkarılan 14 Mart 1991 tarihli Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği gereği depolama sahalarının havza koruma alanları ve konut alanlarının dışında olması gerekmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Eyüp İlçesi Kısırmandıra Köyü hudutlarında 32 hektarlık saha içerisinde, 1000 ton/gün kapasiteli(1-1.5 milyon nüfusça üretilen katı atığa eşdeğer) “İstanbul Katı Atık İşleme (Kompostlaştırma ve Geri Kazanma)” tesisi yapımı planlanmıştır. Bu tesise gelecek 1000 ton/gün çöpün ayıklanmasından sonra yaklaşık 500-600 tonu kompost ünitesine sevk edilecek, buradan günde 250-300 ton kompost elde edilmektedir. 400-500 ton atık da yakın mesafedeki Odayeri düzenli depolama sahasına gönderilecektir.

İstanbul’da yapılan katı atık analizlerine göre, atıkların yaklaşık %50’si değerlendirilebilir yaş atıklardan (organik atık) oluşmaktadır. Organik atık oranı, semtlerin gelir durumuna ve mevsime göre değişmektedir. Planlanan tesiste üretilen kompostun maliyetinin, 20-22 \$/ton seviyesinde olacağı tahmin edilmektedir.

Halen İstanbul’da 1 ton çöpün düzenli depolama sahasında bertarafı 12 \$ civarındadır. Burada kompost için sarf edilecek ilave bedel 8-10 \$/ton’dur. Kompostun faydalı kullanımı halinde getirisi ton başına 8-10 Doların üzerindedir ve bu nedenle mevcut maliyete ilave herhangi bir etkisi olmayacaktır. Katı atık işleme tesisinin işletme birimleri Tablo 8.28’de verilmektedir. Katı atık işleme tesisinde üretilen kompostun kalitesi hakkında bilgi vermek amacıyla, halen İzmir’de başarı ile çalıştırılan Uzundere kompostlaştırma tesisinde üretilen kompost ile İstanbul Zeytinburnu’ndan alınan çöp numunesinden üretilen bir kompost numunesinin analiz sonuçları Tablo 8.29’da verilmiştir. İstanbul tesislerinde üretilen kompost, faaliyeti bitmiş maden ocaklarının (30000 hektar civarında) ıslahı için hem dolgu malzemesi, hem de yeşillendirme çalışmalarında nebati toprak olarak değerlendirilecektir. Kompostun %20’si Orman Bölge Müdürlüğüne verilecek ve bu kompost orman arazilerinin ıslahında kullanılacaktır.

Tablo 8.28 İstanbul Katı Atık Kompost Tesisinin (Tünel reaktör) İşletme birimleri(2).

Konu	Süre	Gerekli araç ve ekipman
Araç kabulü ve ara depolama	Günlük	1 adet loder, 5m <sup>3</sup> hacimli kepçe
Ön şartlandırma	Sürekli	çifte döner elek (8 ve 60-68 mm delik çapı), Mıknatıs ayırıcı
Çürütme	3Kapalı+5açık=8hafta	Havalandırma tertibatı Nemlendirme tertibatı Otomatik taşıma ve karıştırma makinesi Hava çekme tertibatı
Son şartlandırma	Süresiz	İnce elek (çifte döner elek, 10 ve 40mm açıklıklı) Mıknatıslı ayırıcı Sert malzeme ayırıcısı Hafif malzeme ayırıcısı
Kompost deposu ve Pazarlama	Max.3 ay	
Ayırma	Sürekli	2 adet konveyör band, ilerleme hızı 0.0.3m/s 30'ar çalışma yeri Mıknatıslı ayırıcı
Değerlendirilebilir malzemelerin hazırlanması	Sürekli	Kağıt ve plastik için pres ve balyalama makinesi Metal pres ve balyalama makinesi Cam kırıcı
Atıkların depolama sahasına gönderilmek üzere hazırlanması	-	
Atıksu depolama ve arıtma	-	Biyolojik yıkayıcı Baca
Atıksu depolama ve arıtma	-	Arıtma tesisi

Tablo 8.29. İzmir Uzundere ve İstanbul Zeytinburnu'nda Üretilen Kompostun Ağır metal içeriği(2).

Parametre	İzmir tesis	Zeytinburnu <sup>1</sup>	Almanya'da Referans değeri	Ziraate kullanılabilir maks.değerler <sup>2</sup>
Su içeriği (yaş ağırlık,%)	28.5	33	-	-
Organik madde (%)	38.5	34.6	33.3	-
Kurşun (mg/kg)	2.7	24.7	51.3	200
Kadmiyum(mg/kg)	0.64	4.66	5.5	3.3
Krom (mg/kg)	8.7	58.1	71.4	200
Bakır (mg/kg)	18.2	123.6	274	200
Nikel (mg/kg)	2.3	24.3	44.9	33
Civa (mg/kg)	41.5	252.1	2.4	4.2
Çinko (mg/kg)	128.1	137.8	1570	500

<sup>1</sup>Zeytinburnu'nda alınan çöp numunesinden üretilmiş kompost.

<sup>2</sup>Bu değerler her üç yılda 40ton/ha kompost (kuru madde olarak) araziye verilmesi durumunda geçerlidir. Değerler, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Tablo Ek IV-B kullanılarak hesaplanmıştır.

### 8.9.2 Havasız Kompostlaştırma

Kuru (yüksek katılı) havasız kompostlaştırma, çürümenin %22 veya daha yüksek toplam katı içeren bir ortamda gerçekleştiği biyokimyasal bir süreçtir. Yüksek katılı havasız kompostlaştırma nispeten yeni bir teknoloji olup, bu yolla evsel katı atığın organik kısmından enerji eldesi henüz geliştirme aşamasındadır. Bu prosesin iki önemi üstünlüğü; düşük su muhtevası ve birim reaktör hacmi başına (düşük katılı prosese göre) daha yüksek gaz üretimidir. Başlıca mahzuru ise kurulu tesis sayısı ve işletme tecrübesinin az olmasıdır.

Havasız kompost sistemlerinde proses seçiminde başlıca iki proses esas alınır. Bunlar;

- Çamur çürütme benzeri düşük katılı prosesler,
- Yüksek katılı proseslerdir.

Yüksek katılı havasız kompostlaştırma prosesi, henüz geliştirilme aşamasında olup, önemli tasarım parametreleri Tablo 8.30'da özetlenmiştir. Genellikle yüksek katılı havasız kompostlaştırma prosesi, çamur çürütme benzeri düşük katılı havasız proses

göre daha fazla organik atığı stabilize etme ve birim reaktör hacmi başına daha fazla gaz üretme potansiyeline sahiptir.

Tablo 8.30 Evsel katı atığın organik kısmının kuru havasız kompostlaştırılması prosesi için tasarım parametreleri (6).

Parametre	Açıklama
Madde boyutu	Çürütülecek atıklar parçalarak, besleme ve boşaltma mekanizmalarının çalışma verimine engel olmayacak boyuta indirilmelidirler.
Karıştırma ekipmanı	Kullanılacak reaktörün tipine bağlıdır.
Çamurla karıştırılan katı atık yüzdesi	Çamurun özelliklerine bağlıdır.
Çamur yaşı	Tasarım için 20-30 gün alınabilir. Pilot tesis çalışma sonuçları esas alınır.
Organik yük	6-7 kg KM/m <sup>3</sup> -gün. Daha yüksek hızlar da bildirilmiştir.
Katı (kuru madde) oranı	%20-35 arasında (tipik olarak %22-28) değişir.
Sıcaklık	Mezofilik şartlar için 30-38 °C, Termofilik şartlar için 60 °C arasındadır.
Uçucu Katı Maddelerin Giderimi	Çamur yaşı ve hacimsel yüke bağlı olarak %90-98 arasında değişir.
Toplam katı giderimi	Atığın lignin içeriğine bağlı olarak değişir.
Gaz üretimi	0.625-1 m <sup>3</sup> /kg giderilen UKM (CH <sub>4</sub> = %50, CO <sub>2</sub> = %50)

## 8.10 Şartlandırma

Çamurun susuzlaştırma özelliğini arttırmak üzere uygulanır. Kimyasal ilavesi ve ısıtma bu amaçla çok kullanılan metotlardır. Dondurma, ışınlama ve çözücü ekstraksiyonu gibi diğer metotlar da deneysel olarak kullanılmaktadır.

### 8.10.1 Kimyasal Şartlandırma

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

Kimyasallar kolaylıkla sıvı formunda uygulanabilirler. Toz halindeki kimyasallar için çözücü tank gerekmektedir. Çoğu sistemlerde tek vardiya dikkate alındığında bir tank yeterli olabilmektedir. Tank korozyona dayanıklı maddeden yapılmış ve/veya iç yüzeyi kaplanmış olmalıdır. Polivinil klorür, polietilen ve kauçuk tank ve boru sisteminde kullanılabilir aside dayanıklı uygun malzemelerdir.

***Çamur Şartlandırmasını Etkileyen Faktörler:*** Çamur şartlandırıcı malzemelerin tipi ve dozu, çamur özelliğine, karıştırma tipine, susuzlaştırma şekline bağlı olarak değişir. Önemli çamur özellikleri, çamur kaynağı, katı konsantrasyonu, çamur yaşı, pH ve alkalinitedir.

- Katı konsantrasyonu, şartlandırma maddesinin dağılımını ve dozunu etkiler.
- pH ve alkalinite, özellikle inorganik şartlandırıcının verimini etkiler. Yüksek pH ya ulaşmak için kireç kullanılması durumunda kuvvetli amonyak kokusu ve kazan taşı oluşumu gibi problemler meydana gelir.
- Susuzlaştırma metodu, farklı karıştırma ekipmanlarından ve seçilen metottan dolayı şartlandırma kimyasallarının seçiminde etkilidir. Örneğin, polimerler santrifüj ve bant filtrelerde genellikle kullanılırlar, ancak vakum ve pres filtrelerde daha seyrek kullanılırlar.

Laboratuar ve pilot tesis çalışmaları yapılarak, kimyasal şartlandırıcı madde seçimine gidilmesi tavsiye edilmektedir.

***Dozaj:*** Kimyasal dozajı laboratuar çalışmaları ile belirlenir. Bu maksatla yapılan testlerle standart jar test, çamur özgül direnci, kapiler emme süresi (KES) belirlenir. Genellikle en düşük kes ve özgül direnci veran şartlandırıcı dozu optimum doz olarak belirlenir.

Standart jar test, kullanımı son derece kolay bir yöntem olup, farklı şartlandırıcı dozlarında hızlı karıştırma, flokleştirme ve çöktürme sonucu elde edilen çamur hacminin ve üst faz bulanıklığının ölçümüne dayanmaktadır.

Genel olarak gerekli kimyasal dozu, çamurun cinsine bağlı olarak değişir. Farklı çamurlar için susuzlaştırma metotları ve şartlandırıcı polimer miktarları Tablo 8.31'de verilmektedir.

Tablo 8.31. Farklı susuzlaştırma metodu ve çamurlar için polimer miktarları (1).

Çamur tipi	kg Polimer/10 <sup>3</sup> kg kuru katı		
	Vakum filt	Bant filtre	Santrifüj
Birincil çamur	1-5	1-4	0.5-2.5
Birincil ve aktif çamur	5-10	2-8	2-5
Birincil ve damlatmalı filtre humusu	1.25-2.5	2-8	-
Atık aktif çamur	7.5-15	4-10	5-8
Havasız çürütülmüş birincil çamur	3.5-7	2-5	3-5
Havasız çürütülmüş birincil + aktif çamur	1.5-8.5	1.5-8.5	2-5
Havalı çürütülmüş birincil + aktif çamur	7.5-10	2-8	-

Polimer dozajları, kullanılan polimerin molekül ağırlığına, iyonik şiddetine ve aktivite seviyesine bağlıdır. Demir klorür ve kireç, vakum ve pres filtrelerde şartlandırma için en sık kullanılan kimyasallardır.

**Çamur Karıştırma:** Tam bir şartlandırma için çamur ve kimyasalın birlikte iyi karışımı esastır. Karıştırma oluşan floku kırmamalı ve kalma zamanı minimumda tutulmalıdır. Karıştırma ihtiyacı kullanılan susuzlaştırma metoduna bağlı olarak değişir. Ayrı karıştırma ve flokülasyon tankı vakum ve pres filtrelerin girişinde yer alır; ayrı flokülasyon tankı bant filtre için de kullanılabilir veya şartlandırma bant filtrenin çamur besleme hattına eklenir.

### 8.10.2 Isıl Arıtım

Isıl arıtım sürekli bir proses olup, 260°C'ye kadar 2760 kN/m<sup>2</sup> basınçta yaklaşık 30 dk gibi kısa sürede çamurun ısıtılması esasına dayanır. Isıl arıtma hem stabilizasyon hem de şartlandırma prosesi olarak işlev görür. Çoğunlukla ısıl şartlandırma prosesi olarak sınıflandırılır. Isıl arıtma, kimyasal kullanmaksızın çamurun susuzlaştırılmasını sağlar. Çamur yüksek sıcaklık ve basınç altında kaldığında ısıl 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.

### 8.10.3 Diğer Prosesler

Çamur şartlandırmada araştırılmış diğer prosesler;

- Organik polimer ve inorganik kimyasalları birlikte kullanarak yapılan kimyasal şartlandırma.
- Dolgu malzemesi olarak kağıt hamuru ve uçucu kül kullanımı.
- Susuzlaştırmayı iyileştirmek için çamur asidifikasyonu.
- Çamurun dondurulması ve çözülmesi.
- Çamurdan yağ ve gresin ekstraksiyonu.
- UV uygulamasıdır.

## 8.11 Dezenfeksiyon

Çamurun araziye yayılması ve tekrar kullanımı için yönetmelik kısıtlarından dolayı çamur dezenfeksiyonu giderek önem kazanmaya başlamıştır. Çamurun araziye verildiği alanlarda halk sağlığı açısından insanların hastalık yapan organizmalarla teması kontrol altına alınmalıdır.

Sıvı ve susuzlaştırılmış çamurda hastalık yapan organizmaların yok edilmesi için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir:

- Pastörizasyon
- Isıl şartlandırma, ısıl kurutma, yakma ve piroliz gibi diğer ısıl prosesler
- Yüksek pH arıtımı, (kireç ile pH 12'nin üzerine getirilir, 3 saat kalma zamanı)
- Çürütülmüş sıvı çamurun uzun süreli depolanması
- Çamurun stabilizasyonu ve dezenfeksiyonu için klorür ilavesi
- Diğer kimyasallarla dezenfeksiyon
- Yüksek enerjili ışın uygulaması ile dezenfeksiyon
- 55°C'nin üzerinde tam kompostlama ve en az 30 gün olgunlaştırma

Havalı ve havasız çürütme çamuru tam dezenfekte etmemekte ancak önemli sayıda patojen bakteri azalmasına sebep olmaktadır. Bu çamurların tam dezenfeksiyonu, pastörizasyon veya uzun süreli depolama ile sağlanabilir.

### 8.11.1 Pastörizasyon

Pastörizasyon Avrupa'da kullanılmakta olup, Almanya ve İsviçre'de bahar ve yaz dönemlerinde özellikle toprağa verilecek çamur için uygulanmaktadır. Nemli çamurun pastörizasyonu için 30 dakika temas süresi ve 70°C sıcaklık parazit larvaları ve kist'leri etkisiz hale getirecektir.

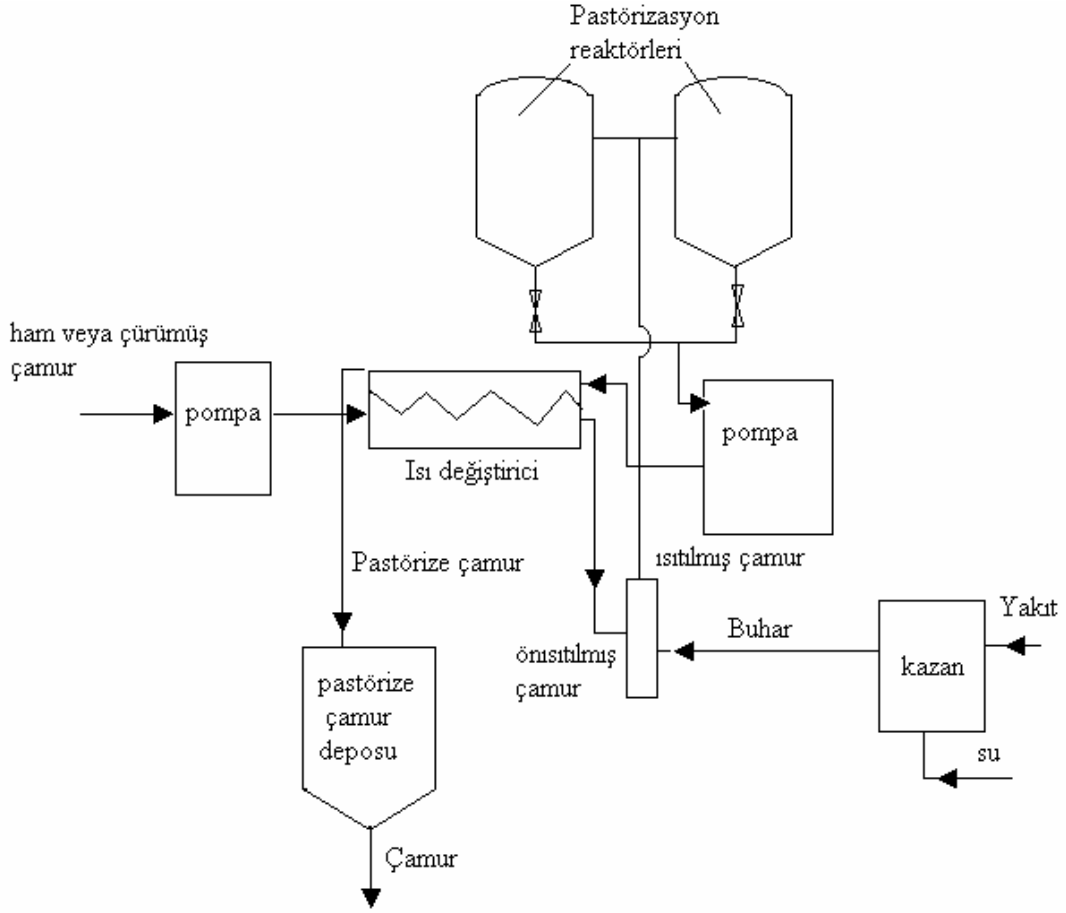
Sıvı çamurun Pastörizasyonu için iki metot kullanılmaktadır;

- Doğrudan buhar enjeksiyonu
- Dolaylı ısı değişimi.

Isı değiştiricinin iç yüzeyinde kabuk oluşumu ve organiklerden dolayı kirlenmesi nedeniyle, doğrudan buhar enjeksiyonu çok daha uygun bir metottur. Bu metodun şematik diyagramı şekil 8.12 verilmektedir. 200 L/s kapasitenin altındaki sistemler için bu metodun kullanılması ekonomik değildir.

### 8.11.2 Uzun süreli depolama

Çürütülmüş çamur normal olarak toprak lagünlerde depolanır. Depolama için yeterli alan gerekir. Depolama, hava şartları veya bitki su ve gübre ihtiyacı dolayısıyla bekletme gerektiren şartlar için genellikle araziye uygulama sisteminin yanında olmalıdır. Bu durumda, depolamanın yanı sıra dezenfeksiyon da sağlanmış olur. Dezenfeksiyon için tipik bekleme süresi 20°C de 60 gün, 4°C de ise 120 gündür.



şekil 8.12 Çamur pastörizasyon sisteminin şematik diyagramı (1).

## 8.12 Çamur Kurutma

### 8.12.1 Çamur Kurutmanın Önemi

Çamur tasfiyesi, arıtma tesisleri bünyesindeki en karmaşık işlemlerinden birisidir. Atıksu arıtımında ortaya çıkan çamur miktarı, atıksuyun %1, ila %6'sı gibi düşük bir yüzdesini teşkil etmekle beraber, çamur tasfiye (arıtma) ünitelerinin yatırım bedeli toplam sistem maliyetinin %30-40'ı işletme maliyeti ise bütün işletme maliyetinin %50'si kadardır. Bu yüzden en uygun çamur tasfiye metodunun seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Çamurun nihai uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak bakımından katı madde muhtevasının artırılması veya su muhtevasının azaltılması yani suyunun alınması gerekmektedir. Çamurun suyunun alınması ile aşağıdaki faydalar sağlanır.

- Çamurun su muhtevası azaldığında hacmi de azalacağından nihai uzaklaştırma sahasına nakil masrafı azalır.
- Kürek, kepçe nakil bandı, traktör gibi vasıtalarla taşınabildiğinden sıvı haldeki çamura göre daha kolay nakledilebilir.



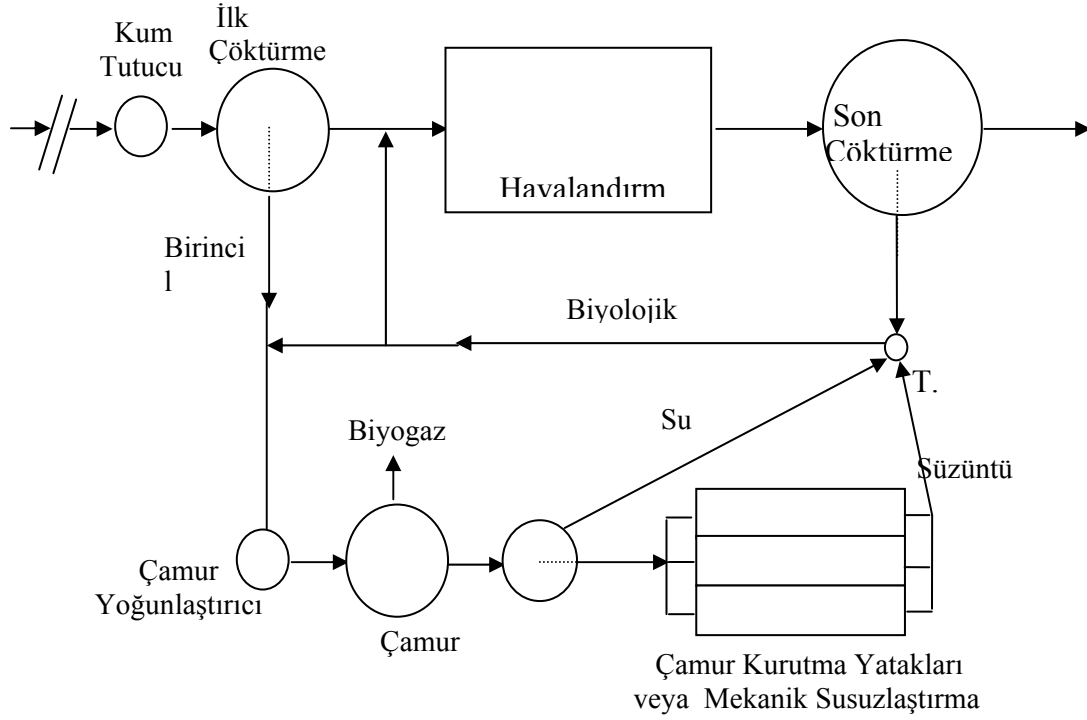
- Yakma bahis mevzuu olduğu zaman, su muhtevası azaldığından yakılması daha da kolaylaşır.
- Çamurun tamamen kokusuz olmasını ve ayrışmamasını temin eder.
- Çamurun nihai olarak araziye serilme durumunda, yeraltına sızma sonucu yer altı suyunun kirlenmesi önlenebilir.

Çamur suyunun alınması, vakum, pres, yatay band filtre, burgulu pres, santrifüj gibi usullerle veya kurutma yatakları ve çamur lagünleriyle sağlanabilir (Şekil 8.1). Vakum, pres ve yatay band filtre gibi sistemler, makine ve teçhizat gerektiren, yetişmiş elemana ihtiyaç gösteren, aynı zamanda yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksek olan sistemlerdir.

Kurutma yatakları ise inşa ve işletme kolaylığı ile nisbeten düşük yatırım ve işletme maliyetleri sebebiyle diğerlerine göre tercih edilmektedir. Bunların tek mahzurlu tarafı fazla alana ihtiyaç göstermeleridir. İklim şartlarının uygun olduğu hallerde bu mahzur ortadan kalkmaktadır.

Aktif çamur ve damlatmalı filtre tasfiye tesislerinden çıkan çamurlar çürütüldükten sonra çamur kurutma yataklarına verilebilir. Aktif çamur tesislerinde çürütme öncesi tercihen çamur yoğunlaştırma uygulanmaktadır. Evsel atıksu arıtma tesislerinin çeşitli kısımlarında ortaya çıkan çamur miktarları ve özellikleri Tablo 8.32’de özetlenmiştir.

Aktif çamurun tadil edilmiş şekillerinden biri olan uzun havalandırılmalı sistemde uzun bekletme süresi sebebiyle çamurlar stabilize olduğundan yoğunlaştırmayı müteakip çamurlar doğrudan çamur kurutma yataklarına verilebilir. Klasik aktif çamur sisteminde havasız çamur arıtımının yeri Şekil 8.13’de verilmiş.



Şekil .8.13 Klasik aktif çamur sisteminde havasız çamur arıtımı

## 8.12.2 Başlıca Çamur Kurutma Teknikleri

### Çamur Kurutma Yatakları

Çamur kurutma yataklarının alanı iklime ve bilhassa yağış ile buharlaşmaya bağlı olarak değişmektedir. Kurutma yatağı nüfus veya birim alan başına düşen yıllık katı madde yükü cinsinden hesaplanabilir.

Kurutma yataklarının alan ihtiyacını bulmak için yatağa bir yılda kaç defa çamur serilebileceğinin bilinmesi gerekir. Bu ise kurutma yatağına giren ve çıkan su miktarlarının bilinmesiyle, yani madde korunum denklemleri yazılmak suretiyle bulunabilir.

Türkiye’de yerleşim merkezlerinin yağış ve buharlaşma rasadları da dikkate alınarak hesaplanan kişi başına lüzumlu kurutma yatağı alanları Tablo 8.33’de gösterilmiştir.

Tablo 8.33. Türkiye İçin Kurutma Yataklarının Bir Yılda Kullanma Sayısı ve Kişi Başına Kurutma Yatağı Alanı İhtiyacı Ortalamaları (n=46 yerleşim merkezi)

	Ortalama	S.Sapma	En az	En fazla
Çamur serme sayısı	8.69	4.46	2.81	23.91
Alan ihtiyacı, m <sup>2</sup> /nüfus	0.137	0.076	0.038	0.325

Tablo 8.33’ün incelenmesi ile Türkiye için anaerobik olarak çürümüş çamurların serildiği kurutma yataklarına yılda ortalama 3 ila 24 defa çamur serilebileceği ve kişi başına kurutma yatağı ihtiyacının 0.038 ila 0.325 m<sup>2</sup>/N arasında değiştiği görülmektedir.

İzmit, Rize, Trabzon ve Zonguldak gibi bölgelerde yağışın buharlaşmadan çok fazla olması sebebiyle açık kurutma yatağı yapılması uygun görülmemektedir. Bu gibi yerleşim bölgeleri

için çamur kurutma yataklarının üzerinin kapatılması veya başka bir usulün tatbiki icab etmektedir. Yukarıdaki beldeler dışındaki 46 şehir ve kasaba için ortalama değerler hesaplanarak Tablo 8.34’de gösterilmiştir.

### **Çamurun Mekanik Yöntemlerle Kurutulması:**

- **Santrifüjlerle Kurutma:** Santrifüjler, hızla dönen bir silindire sulu çamurları yüksek merkezkaç kuvvetine maruz bırakırlar. Genellikle bazı kimyasallarla (poli elektrolit alum, kireç vb.) şartlandırılan çamurlar 1600-2000 dev/dak. Hızlar yatay bir eksen etrafında dönen santrifüjlere verilir. Süzülen su dışarı atılır, koyulaşan çamur ise eksenel yönde ilerleyerek çıkış ucundan alınır. Santrifüjlerden çıkan çamur keklerinde katı madde oranı %20-25 ve katı madde tutulma nisbeti %90-95 dir (Tablo 8.35). Gerekli şartlandırıcı polimer miktarı d beslenen çamurun kuru katı madde yüzdesi başına %3-10’dur. Santrifüjler fiyat ve verim bakımından vakum filtrelerle rekabet edebilir durumdadır. Az yer kaplamaları ve tam kapalı olmaları dolayısıyla koku problemi olmayışı en önemli üstünlükleridir. Bakım zorluğu, mekanik aşınma riski ve çıkış sıvısında yüksek AKM konsantrasyonu ise bu sistemin mahzurları olarak verilebilir

Tablo 8.34 Anaerobik Çürümüş (Ön Çöktürme+Aktif Çamir Fazla Çamuru) İçin Kurutma Yatağı İhtiyaçları

Yerleşim Merkezi	Kot M	Ort. Yıllık buharlaşma B(mm/yıl)	Ort. Yıllık Yağış Y.(mm/yıl)	Yılda yatağı kullanma sayısı	Kişi başına olan ihtiyacı
Adana	20	1307,6	646,8	9,05	0,101
Afyon	1034	1054,8	455,5	7,82	0,117
Akhisar (Manisa)	93	1162,9	609,5	7,77	0,117
Anamur (Mersin)	3	1605,4	1032,3	9,22	0,099
Ankara	894	1304,6	357,0	11,26	0,081
Antalya	42	1445,8	1058,2	7,21	0,127
Balıkesir	147	1447,8	609,2	18,85	0,064
Beypazarı (Ankara)	682	2491,9	390,2	23,91	0,038
Beyşehir (Konya)	1129	987,5	477,4	6,92	0,132
Bilecik	526	1095,3	436,3	8,41	0,108
Bolu	742	677,2	533,7	3,11	0,293
Burdur	957	1072,2	436,7	8,16	0,112
Bursa	100	1048,4	713,1	5,71	0,160
Ceylanpınar					
Viranşehir-Urfa	398	328,4	328,4	17,26	0,053
Çorlu (Tekirdağ)	183	568,6	568,6	5,39	0,169
Çorum	798	401,1	401,1	8,26	0,110
Diyarbakır	650	495,9	495,9	17,04	0,054
Edirne	48	599,3	599,3	5,25	0,174
Elazığ	1105	433,2	433,2	10,93	0,083
Erzurum	1859	450,5	450,5	7,83	0,117
Gaziantep	855	558,9	558,9	11,46	0,080
Gölcük (Kocaeli)	16	653,7	653,7	3,39	0,269
Göztepe (İstanbul)	39	673,4	673,4	3,05	0,298
Isparta	997	619,3	619,3	8,78	0,104
İnebolu (Kastamonu)	64	1052,2	1052,2	4,34	0,210
İskenderun	3	785,4	785,4	4,46	0,205
İslahiye (Gaziantep)	518	850,7	850,7	10,78	0,085
İzmit (Kocaeli)	76	768,0	768,0	x	x
Kastamonu	791	449,7	449,7	3,00	0,304
Kırşehir	985	378,7	378,7	10,74	0,085
Konya	1028	323,9	323,9	10,29	0,089
Kütahya	969	554,6	554,6	5,03	0,181
Lüleburgaz (Kırklareli)	46	614,5	614,5	10,03	0,091
Malatya	998	382,6	382,6	10,35	0,088
Manisa	71	745,7	745,7	8,38	0,109
Menemen (İzmir)	20	606,4	606,4	13,79	0,066
Mersin (İçel)	5	617,5	617,5	4,37	0,209
Merzifon (Amasya)	755	378,8	378,8	10,47	0,087
Muğla	646	1220,9	1220,9	4,81	0,190
Nazilli (Aydın)	60	611,0	611,0	7,15	0,128
Niğde	1208	348,8	348,8	14,00	0,065
Rize	4	2357,0	2357,0	x	x
Samsun	44	735,0	735,0	3,01	0,303
Sinop	32	679,6	679,6	2,81	(0,325)
Sivas	1285	411,3	411,3	8,05	0,113
Tekirdağ	4	590,5	590,5	4,83	0,189
Trabzon	30	822,7	822,7	x	x
Urfa	547	473,1	473,1	18,44	0,049
Uşak	919	540,6	540,6	12,66	0,072
Zonguldak	136	1242,9	1242,9	X	X

(\*) B bölgelede açık kurutma yatağı uygun değil.

Tablo 8.35. Santrifüjlerin Kurutma Verimleri

Çamur tipi	Kekteki KM oranı (%)	Katı madde geri kazanımı (%)	Polimer ihtiyacı (kg/ton KM)
Ham ilk çökeltme	28-34	90-95	2-3
Anaerobik çürütülmüş ilk çökeltme çamuru	26-34	90-95	2-3
Ham aktif çamur	14-18	90-95	6-10
Anaerobik çürütülmüş aktif çamur	14-18	90-95	6-10
Ham karışık çamur	18-25	90-95	3-7
Anaerobik çürütülmüş karışık çamur	17-24	90-95	3-8
Uzun havalandırma veya aerobik çürütme çamuru	12-26	90-95	6-10

- **Vakum Filtrelerle Kurutma:** Döner vakum filtreler ham ve çürütülmüş çamurların suyunun alınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip filtrelerin tasarımında şartlandırılmış çamur özellikleri, kurutma süresi, viskozite, uygulanan vakum çamur kekinin özgül direnci, filtre bezi tipi ve filtre verimi gibi faktörler önem taşımaktadır. Vakum filtrelerin yüzey alanı 5 ila 60 m<sup>2</sup> arasında değişir ve filtre bezi normal olarak filtre üreticisi firmalarca sağlanır. Döner vakum filtrede bulunan belli başlı ekipmanlar vakum pompası, süzüntü suyu toplayıcısı ve pompası, filtre bezi ve çamur şartlandırma düzenleridir. Normal olarak beher m<sup>2</sup> filtre yüzeyi alanı başına 69 kN/m<sup>2</sup> vakum altında 0.5 m<sup>3</sup>/dk hava debisine ihtiyaç duyulmaktadır. Vakum filtrelerin kurutma verimleri ve tasarım parametreleri Tablo 8.36'de verilmiştir.

Tablo 8.36 Döner Vakum Filtrelerin Kurutma Verimleri

Çamurun Cinsi	Beslenen Çamurdaki Katı Madde %	Kimyasal Dozajı (KM'nin yüzdesi olarak)*		Filtre Verimi (kg/m <sup>2</sup> -sa)	Kekteki Katı Madde (%)
		FeCl <sub>3</sub>	CaO		
<b>Ham çamur</b>					
İlk çök.çamuru	4 – 9	2 – 4	8 – 10	17 – 40	27 – 25
İlk çök.+aktif çam.	3 – 7	2 – 4	9 – 12	12 – 30	18 – 25
İlk çök.+damlatmalı filtre	4 – 8	2 – 4	9 – 12	15 – 35	23 – 30
<b>Anaerobik Çürümüş Çamur</b>					
İlk çökt.çamuru	4 – 8	3 – 5	10 – 13	15 – 35	25 – 32
İlk çökt.+aktif çam.	3 – 7	4 – 6	15 – 20	10 – 20	18 – 25
İlk çök.+Dam.filtre	5 – 10	4 – 6	13 – 18	17 – 40	20 – 27
<b>Aerobik Çürümüş Çamur</b>					
İlk çök.+aktif çam.	3 – 6	3 – 7	8 – 12	8 – 20	16 – 23

- % 1 lik kimyasal madde dozajı= 10 g/kg. kuru çamurdur.

- **Pres Filtrelerle Kurutma:** Pres filtreler, düşey plakalardaki çerçevelere gerilen filtre bezleri içerisinde yüksek basınçta verilen çamurların süzülmesine imkan verirler. Çamur basma pompası 350-1575 kN/m<sup>2</sup> lik bir basınç sağlayabilecek kapasitededir. Plakalar arasında biriken filtre edilmiş çamur kekleri, plakalar mekanik olarak açılarak uzaklaştırılır. Pres filtrenin dolması için 20-30 dk yeterlidir. Filtreye doldurulan çamurun tasarım basıncında 1-4 saat tutulması gerekir. Bu süre sonunda kekteki katı madde nisbeti %40'a ulaşabilir. Pres filtrelerin kurutma verimleri Tablo 8.37'de verilmiştir.

Tablo 8.37 Pres Filtrelerinin Kurutma Verimleri

Çamurun Cinsi	Beslenen Çamurdaki Katı Madde %	Kimyasal Dozajı (KM'nin yüzdesi olarak).....		Filtre Verimi (kg/m <sup>2</sup> -sa)	Kekteki Katı Madde (%)
		FeCl <sub>3</sub>	CaO		
İlk çöktürme + aktif çamur	4	5	15	5	40
Anaerobik Çürümüş İlk çök.+aktif çam.	4	6	16	5	40
Termal Şartlandırılmış İlk çök.+aktif çam.	14	0	0	12	60

- **Yatay Bant Filtrelerle Kurutma :** Yatay bant filtreler hareketli tek ve çift filtrelerle sürekli çamur sıkılmasını sağlarlar. Kesintisiz çalıştırılabilmeleri, daha yüksek kek/katı madde oranı ve düşük enerji maliyeti bu sistemin en önemli üstünlükleridir. Başlıca mahzurları ise filtre bezinin ekonomik ömrünün kısıllığı ve verimin çamur özelliklerine bağlı olarak değişim gösterebilmesidir. Yatay bant filtreler gerek evsel ve gerekse endüstriyel atıksu çamurlarının suyunun alınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bant filtrelerin tasarım ve işletme parametreleri Tablo 8.38'de özetlenmiştir.

Tablo 8.38. Yatay Bant Filtreler İçin Tasarım Parametreleri

Şartlar	Değerler
Beslenen çamurdaki katı madde (%)	3 – 10
Kekteki katı madde (%)	20 – 40
Polimer miktarı (K.M.'nin yüzdesi olarak), Anaerobik veya aerobik olarak çürütülmüş karışık çamurlarda	1,5 – 7,5
Süzüntü suyundaki AKM konsantrasyonu (mg/l)	100 – 1000
Katı tutma verimi (%)	90 – 95
Filtre verimi (kg/m <sup>2</sup> -sa)	20 – 40
Filtrenin süzme hızı (kg/m-sa)	375 – 750

- **Burgu Pres:** Burgu pres, hızlı karıştırma (statik mikser ve yumaklaştırma tankı ile çamur presinden oluşan paket bir çamur susuzlaştırma sistemidir. Çamur silosu veya çürütme tankından gelen çamur statik mikser ve yumaklaştırma tankında uygun kimyasal maddeler (genellikle polimer) şartlandırılır ve suyunu daha kolay bırakması sağlanır. Şartlandırılmış çamur, çok ince gözenekli özel çelik ızgaradan kademeli olarak artan basınç altında geçirilerek sürekli şekilde susuzlaştırılır. Çamur susuzlaştırma için gerekli basınç, dıştaki tambur eleğinin enkesit daralması ve aynı şekilde elek içindeki burgunun da hatvesinin küçülmesi ile sağlanır. Yumaklaştırmayı kolaylaştırmak ve kimyasal madde tasarrufu sağlamak üzere süzöntü suyu kısmen yumaklaştırma tankına geri devrettirilir. Tek ünite de 1-22 m<sup>3</sup>/sa debiyle sürekli çamur susuzlaştırma yapılabilen Burgu Preslerle elde edilen işletme sonuçlarından bazıları Tablo 8.39'de özetlenmiştir. Sürekli çakıştırılabilmesi ile işletme ve bakımlarının kolay, enerji giderlerinin çok düşük oluşu Burgu Preslerin giderek yaygınlaşmasına yol açmaktadır.

Tablo 8.39. Burgu Preslerle Çamur Susuzlaştırma Uygulamaları

Çamur Debisi (m <sup>3</sup> /sa)	Çamur Tipi	Katı Madde (%)	
		Girişte	Çıkışta (kekte)
4 – 19	Aerobik stabilize edilen aktif çamur	0,8 – 2,0	19 – 23
4,5 – 24	Birincil çamur	1,5 – 3,0	23 – 30
4 – 20	Anaerobik stabilize edilen D.Filtre çamuru	0,5 – 2,0	19 – 23
4 – 18	Biyolojik A.Tesisi (kağıt san.)	0,5 – 2,5	19 – 25
4,5 – 18	İçme suyu arıtma tesis	0,5 – 3	18 – 24
3 – 17	Süt endüstrisi atıksuyu biyolojik çamuru	0,6 – 1	14 – 19
4,5 – 22	Fazla biyolojik çamur	0,5 – 1,5	15 – 19
4,5 – 21	Çürümüş çamur	1,5 – 3,0	24 – 30

### 8.12.3 Çamur Lagünleri

Çamur lagünleri, çamur kurutmaya bir alternatif olarak bazı durumlarda tercih edilebilir. Burada verilen çamur lagünleri, ham çamurlar için değil, havalı veya havasız olarak çürütülmüş çamurlar içindir. Bu lagünler, çamurun bir yere deşarj edilmesinden önce bekletme amacıyla kullanılan depolama lagünleriyle karıştırılmamalıdır. Çamur lagünleri, alt kısımlarında katı maddelerin biriktirilip sıkıştığı, organik maddelerin uzun bir süre sonunda biraz daha bozunmaya uğradığı ve gelen akımla yer değiştiren nispeten durulmuş suyun dışarı atıldığı lagünlerdir.

Uygun topografik şartlarda, lagünler doğal çukurlardan oluşturulabilir. Ham çamur lagünlerinde olduğu gibi, bu lagünlerde de kötü koku problem oluşturmaz. Bilhassa havalı yolla stabilize olmuş çamurlar için kullanıldıklarında, koku çok azdır. Yer seçiminde diğer atıksu havuzlarında ve lagünlerinde olduğu gibi, yer altı suyu kirlenmesine karşı önlemler alınmalıdır. Lagüne dışarıdan yüzey suyunun girmesi de engellenmelidir. Dışarı verilen duru su, arıtma tesisine veya doğrudan araziye verilebilir. Sıcak iklimlerde sıvı hacmi azalmasında buharlaşmanın etkisi de büyüktür.

Birkaç yıllık temizleme aralıklarıyla lagün veya lagünün bölümlerinden biri by-pass edilerek çamur alınır ve bu çamur tarım arazilerinde kullanılır. Temizleme işleminde sık sık az miktarda çamur alınması yerine daha uzun aralıklarla stabilize olmuş çok miktarda çamur alınması tercih edilmelidir.

Biriken çamurdaki organik maddeler, yavaş bir şekilde bozunmaya uğrarlar. Belirli lagün sıcaklıklarında ve diğer özel çevre şartlarında bir bozunma katsayısı ( $K_v$ ) belirlemek için yeterli veri yoktur. Bazı tahminlere göre,  $K_v$  değeri, 0.4-0.6 arasındadır. Katı madde birikmesi ve bozunması, zamanla artar. Net UKM birikmi, birinci-derece kinetik kabulüyle aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$W_t = \frac{W_o}{K_v} (1 - \exp(-K_v \cdot t)) \quad (8.18)$$

Burada,

$W_t$  = t zamanı sonra uçucu katı madde ağırlığı,  
 $W_o$  = Birim zamanda beslenen uçucu katı madde ağırlığı,  
 $K_v$  = Birim zamanda bozunma (UKM giderimi) hızı katsayısı.

Çamur lagünlerindeki yükleme değeri 25-75 kg/m<sup>2</sup>-yıl olarak verilmektedir (3). Lagün gereklerini mahalli şartlara göre belirlemek daha iyidir. Özellikle iklimin kurutma için elverişli olmadığı yerlerde, derin olmayan lagünler, arazi ihtiyacı yönünden kurutma yataklarına üstün değerlidir. Sıcak iklimlerde çok fazla arazi tasarrufu sağlanamaz; ancak topografya uygun değilse inşaat maliyeti daha düşük olabilir.

## UYGULAMALAR

### Problem 8.1:

Sabit (mineral) ve uçucu (yanıcı) kısımlarının özgül ağırlıkları sırasıyla 2,4 ve 1,0 olan, bünyesinde %95 oranında su ve çamurun (%5 KM'li) özgül ağırlıklarını bulunuz. (Çamurda UKM/TKM oranının %70 olduğu kabul edilecektir)

### Çözüm:

Verilenler:

$$\begin{aligned} S_f &= 2,4 & KM &= 1 - 0,95 = 0,05 \\ S_v &= 1,0 & UKM/TKM &= 0,70 \end{aligned}$$

Katı kısımların özgül ağırlığı ( $S_s$ ):

$$\frac{1}{S_s} = \frac{UKM}{S_v} + \frac{(1 - UKM)}{S_f} = \frac{0,70}{1,0} + \frac{0,30}{2,4} \rightarrow S_s = 1,21$$

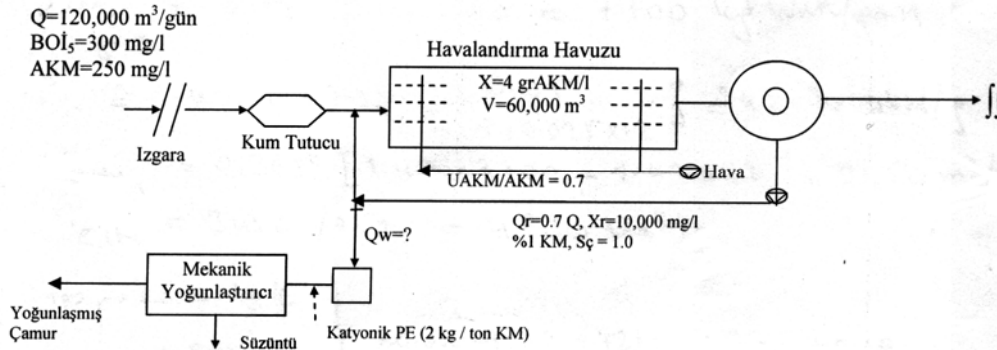
Çamurun özgül ağırlığı ( $S_c$ ):



$$\frac{1}{S_c} = \frac{Su}{S_s} + \frac{kati}{S_s} = \frac{0,95}{1} + \frac{0,05}{1,21} \rightarrow S_c = 1,009$$

### Problem 8.2:

- Şekildeki aktif çamur sisteminde oluşacak fazla biyolojik çamur miktarını kg KM/gün ve m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplayınız. (çamur yaşı ( $\theta_c$ ) 12 gün alınacaktır)
- %4 KM muhtevalı yoğunlaşma çamur miktarını ve hacim azalma oranını bulunuz. (yoğunlaştırmada kullanılan katyonik PE'in %70'inin yoğunlaşmış çamurda kaldığı kabul edilecektir)
- Yoğunlaşmış çamuru aneorobik olarak stabilize etmek için gerekli mezofilik çürütücüyü boyutlandırınız ve oluşacak %70 CH<sub>4</sub> içeren biyogaz debisini bulunuz. (çamurdaki UKM'nin ~%55'inin stabilize edildiğini (giderildiğini) kabul ediniz; Y=0,05, k<sub>d</sub>=0,025 gün<sup>-1</sup> alınız)
- Çürütücüden çekilecek çürümüş çamurun santrifuj sistemi ile susuzlaştırılması sonucu oluşacak %27 KM'li kek miktarını hesaplayınız. Santrifuj öncesi 5 kg PE/ton KM dozunda şartlandırıcı katyonik PE kullanılacak ve PE'in %80'inin keke geçtiği kabul edilecektir.
- Çürümüş çamurda %4 KM ve santrifuj katı madde tutma verimi %95 olduğuna göre süzöntü suyu debisini ve AKM içeriğini (konsantrasyonunu) bulunuz. (Çürümüş çamur ve kekte özgül ağırlıklar sırasıyla 1,020 ve 1,060 alınacaktır)



### Çözüm:

- Fazla biyolojik çamur debisi ( $Q_w$ ) hesabı:

$$\theta_c = \frac{V \times X}{Q_w \times X_r} = \frac{60.000 \times 4}{Q_w \times 10} = 12 \text{ gün}$$

$$Q_w = 2.000 \text{ m}^3/\text{gün}, \text{ \%1 KM'li}$$

$Q_w$  içindeki KM miktarı,

$$W_x = Q_w \times X_r = 2.000 \times 10 = 20.000 \text{ kg KM/gün}$$

- Katyonik PE = 2 kg/ton KM x 20 ton KM/gün = 40 kg/gün

$$\text{Kektteki PE} = 40 \times 0,70 = 28 \text{ kg/gün}$$

$$W_{X,YÇ} = 20.000 + 28 = 20.028 \text{ kg} \approx 20 \text{ ton/gün}$$

$$Q_{YÇ} = \frac{0,01}{0,04} \times Q_w = 500 \text{ m}^3/\text{gün}, \quad \%4 \text{ KM'li}$$

$$\text{Hacim azalması} = \left(1 - \frac{0,01}{0,04}\right) = 0,75 \text{ (\%75)}$$

c)  $Q_{YÇ} = 500 \text{ m}^3/\text{gün}, \quad \%4 \text{ KM}, \quad 20 \text{ ton KM/gün}$

$$UKM = 0,70 \times 20.000 = 14.000 \text{ kg UKM/gün}$$

$$UKM_{gid} = 0,55 \times 14.000 = 7.700 \text{ kg UKM/gün}$$

Gerekli çürütücü hacmi:

Hacimsel yük  $3 \text{ kgUKM/m}^3\text{-gün}$  alınarak,

$$L_x = \frac{14.000}{V} = 3 \rightarrow V = 4.700 \text{ m}^3$$

$$\theta_c \geq 12 \text{ gün}, \quad V = 500 \times 12 = 6.000 \text{ m}^3$$

$$\text{ise seçilen hacim: } V = 6.000 \text{ m}^3 \text{ (1.kademe)}$$

$$V = 3.000 \text{ m}^3 \text{ (2.kademe)}$$

Aneorobik çamur oluşumu,

$$P_x = 1,42 \times UKM_{gid} \left[ \frac{Y}{1 + k_d \times \theta_c} \right]$$

$$= 1,42 \times 7.700 \left[ \frac{0,05}{1 + 0,025 \times 12} \right] = 421 \text{ kg UKM/gün}$$

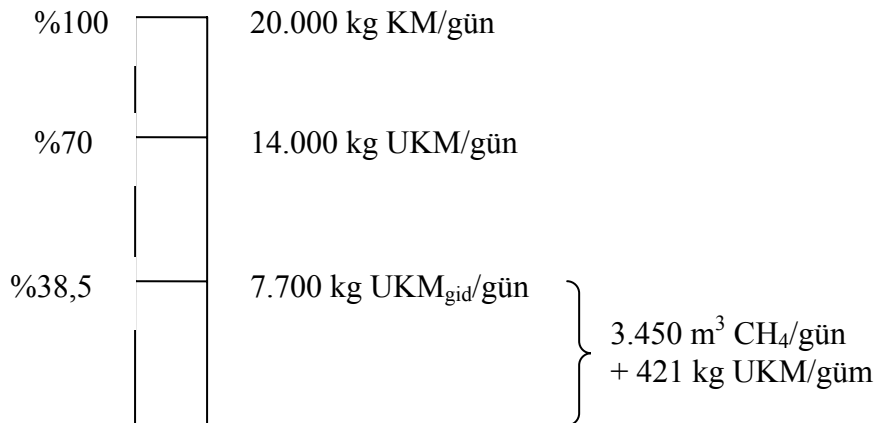
Metan üretimi ( $T = 35^\circ\text{C}, p=1 \text{ atm}$ ):

$$V_{CH_4} = 0,395 [1,42 \times UKM_{gid} - 1,42 \times P_x]$$

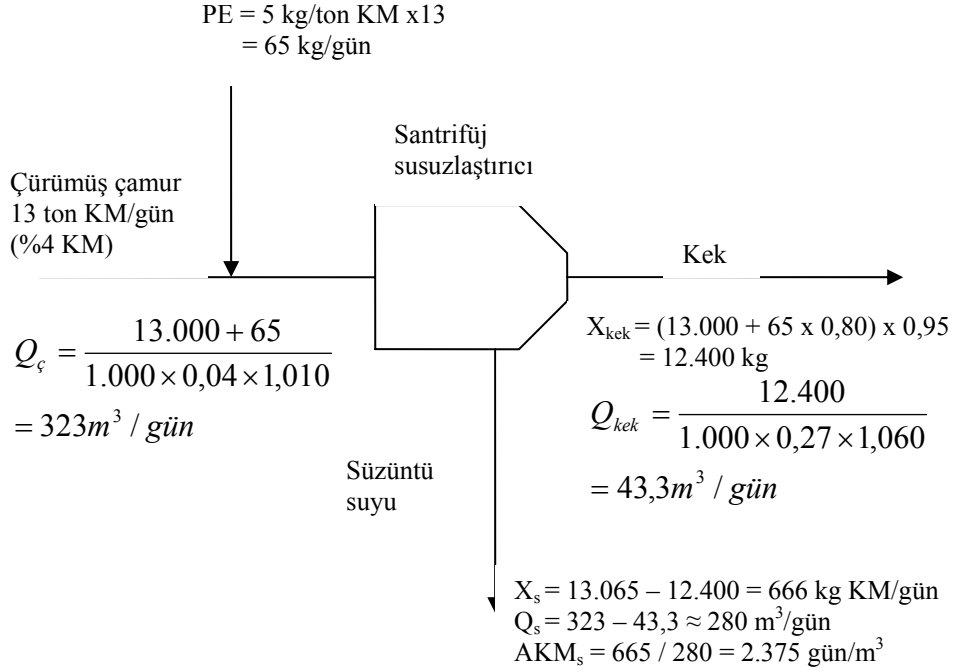
$$= 0,395 [1,42 \times 7.700 - 1,42 \times 421] = 3.450 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$Q_{gaz} = \frac{V_{CH_4}}{0,70} = 4.930 \text{ m}^3/\text{gün}, \quad \%70 \text{ CH}_4$$

Çürütücüdeki KM giderimi özeti:



d) Çürütücü sonrası çamur akışı aşağıdaki şemada özetlenmiş ve hesaplar aynı şema üzerinde gösterilmiştir.



### Problem 8.3:

AKM = 300 mg/L,  $PO_4^{-3} = 40 \text{ mg/L}$  ve  $180 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$  sertlik ihtiva eden bir atıksuya sönmüş kireçle fiziko-kimyasal çöktürme uygulanmaktadır. Arıtma sonunda sertlik  $200 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ 'ye yükselmekte ve kimyasal çamur olarak sadece  $Ca_5(OH)(PO_4)_3$  oluşmakta olup, fazla kireç  $CaCO_3$  formunda kalmaktadır. Uygulanan kireç dozu  $250 \text{ mg Ca(OH)}_2/\text{L}$ 'dir. Fosfatın tamamının  $Ca_5(OH)(PO_4)_3$  halinde giderildiğine ve AKM giderim verimi de %90 olduğuna göre oluşacak toplam çamur miktarını  $\text{kg KM/m}^3$  olarak hesaplayınız. (Ca:40, P:31, O:16, H:1)

### Çözüm:

$Ca_5(OH)(PO_4)_3$  çamuru:

$$\frac{Ca(OH)(PO_4)_3}{(PO_4)_3} \times PO_4 = \frac{502}{285} \times 40 = 70,5 \text{ mg/L}$$

Sertlik artışına yolaçan (çökelme reaksiyonuna girmeyen) kireç miktarı:

$$200 - 180 = 20 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

Bunun için harcanan Ca,

$$20 \times \frac{Ca}{CaCO_3} = 20 \times \frac{40}{100} = 8 \text{ mg/L}$$

Ca<sub>5</sub>(OH)(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>'teki Ca miktarı,

$$70,5 \times \frac{5 \times 40}{502} = 28,1 \text{ mg/L}$$

ilave edilen toplam Ca,

$$250 \times \frac{40}{Ca(OH)_2} = 250 \times \frac{40}{74} = 135,1 \text{ mg/L}$$

Çamurdaki Ca = 135,1 – (28,1 + 8) = 99 mg/L

Oluşan CaCO<sub>3</sub> çamuru = 99 ×  $\frac{100}{40}$  = 247,5 mg/L

Toplam çamur;	AKM	: 0,90 x 300 = 247,5 mg/L
	Ca <sub>5</sub> (OH)(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	: 70,5 mg/L
	CaCO <sub>3</sub>	: 247,5 mg/L
	<u>Toplam</u>	: 558 mg/L (gün/m <sup>3</sup> )

## **KAYNAKLAR**

- (1) Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill international Editions.
- (2) Recep İleri, 2000. Çevre Biyoteknolojisi, Değişim yayınları.
- (3) Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw –Hill Publishing company limited.
- (4) Ludovico Spinosa and P.Aarne Vesilind, 2001. Sludge into Biosolids, Processing, Disposal and Utilization, IWA Publishing, UK.
- (5) Syed R.Qasım, 1999. Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation, Technomic publication.
- (6) İzzet Öztürk, 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su vakfı yayınları, İlim Araştırma Serisi: 01.2000