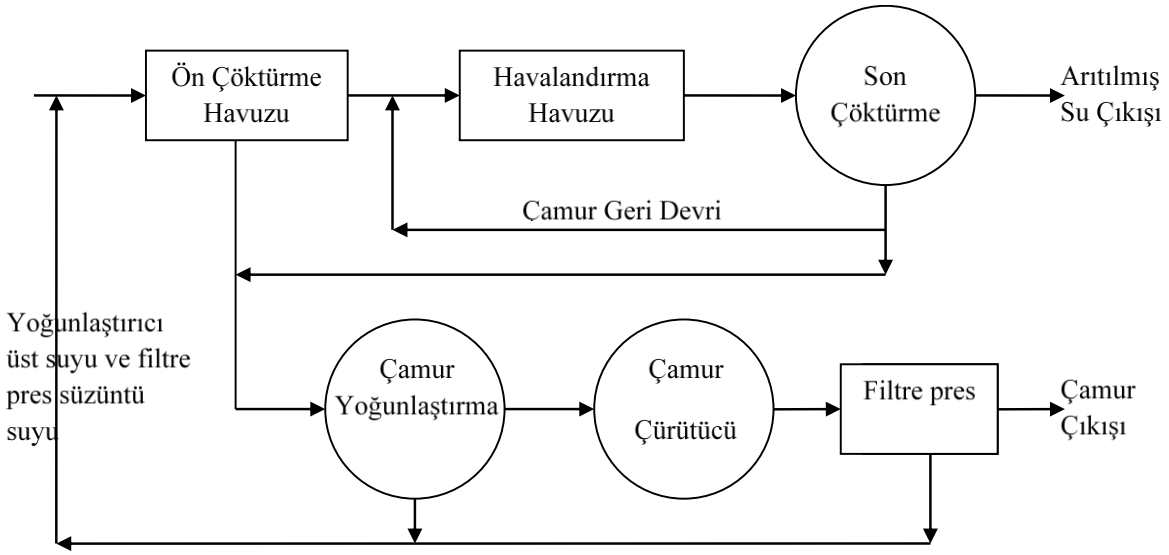
ÇAMUR ÜNİTELERİ

Atıksu arıtma tesislerinde çamurun bertarafı önemli olduğu gibi bir o kadar da zordur ve bu ünitelerin işletme giderleri tesisin tüm giderlerinin %50'sini teşkil edebilir. Bu sebeple arıtma tesislerinde oluşan çamurun hangi yöntemlerle bertaraf edileceği büyük önem taşır. Proje kapsamında çamur üniteleri için uygulanacak olan akım şeması Şekil 1'de, tesis atıksu debileri Tablo 1'de, AKM konsantrasyonları ise Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Proje kapsamında çamur üniteleri için uygulanan akım şeması

Tablo 1. Şanlıurfa ili Harran ilçesinin projelendirme debileri

Debiler	Birinci kademe (2036 yılı)				İkinci kademe (2051 yılı)			
	m^3/gün	m^3/saat	m^3/sn	L/sn	m^3/gün	m^3/saat	m^3/sn	L/sn
$Q_{maksimum}$	**49200**	**2050**	**0,569444**	**570**	**86256**	**3594**	**0,998333**	**1000**
$Q_{ortalama}$	34800	1450	0,402778	403	60960	2540	0,705556	694
Q_{min}	21192	883	0,245278	245	37128	1547	0,429722	430

Tablo 2. Birinci ve ikinci kademe için toplam kirlilik yükleri

Parametre	Birinci kademe (2036 yılı)		İkinci kademe (2051 yılı)	
	kg/gün	mg/L	kg/gün	mg/L
KOİ	18005	770	28050	620
BOİ	10503	430	16363	370
N	2251	100	3506	90
AKM	**12003**	**460**	**18700**	**400**

- Giriş atıksu AKM_{2036} konsantrasyonu = 460 mg/L
- Izgara AKM giderme verimi = %25
- Ön çöktürme ünitesine gelen AKM konsantrasyonu:

$$AKM\ kons. = 460 - \frac{460 * 25}{100} = 345 mg/L$$

- Ön çöktürme AKM giderim verimi = %60
- Ön çöktürme çamuru KM muhtevası = %5 (%2 – 6 arasında)
- Son çöktürme çamuru KM muhtevası = %0,95 (%1 – 1,5 arasında)
- Tüm çamurların yoğunluğu = 1000 kg/m^3

1. Çamur miktar ve özellikleri

1.1.Ön çöktürmede üretilen katı madde miktarı:

$$0{,}345 \frac{kg}{m^3} * 0{,}60 * 49200 \frac{m^3}{g\ddot{u}n} = 10184{,}4 \frac{kg}{g\ddot{u}n}$$

1.2.Ön çöktürme çamur debisi:

$$Q_{\ddot{o}n\ çamur} = \frac{m_{\ddot{o}n\ çamur}}{KM * \rho_{\ddot{o}n\ çamur}} = \frac{10184{,}4 \frac{kg}{g\ddot{u}n}}{0{,}05 * 1000 \frac{kg}{m^3}} = 203{,}7 \cong 204 \frac{m^3}{g\ddot{u}n}$$

1.3.Son çöktürmede üretilen katı madde miktarı:

$$Son\ \ddot{c}\ddot{o}kt\ddot{u}rme\ katı\ madde\ miktarı = 1680 \frac{kg}{g\ddot{u}n} * 3adet = 5040 \frac{kg}{g\ddot{u}n}$$

1.4.Son çöktürme çamur debisi:

$$Q_{son\ çamur} = \frac{m_{son\ çamur}}{KM * \rho_{son\ çamur}} = \frac{5040 \frac{kg}{g\ddot{u}n}}{0{,}0095 * 1000 \frac{kg}{m^3}} = 530{,}5 \cong 531 \frac{m^3}{g\ddot{u}n}$$

- Birleşik çamur katı madde miktarı = 10184,4 kg/gün + 5040 kg/gün = 15224 kg/gün
- Birleşik çamur debisi: 204 m^3/gün + 531 m^3/gün = 735 m^3/gün
- Birleşik çamur katı madde muhtevası:

$$\%KM = \frac{\left(0{,}05 * 204\frac{m^3}{gün}\right) + \left(0{,}0095 * 531\frac{m^3}{gün}\right)}{(204 + 531)} = 0{,}021 = \%2{,}1$$

Tüm bu hesaplar 2051 yılı için de yapılacaktır. Yıllara göre atık çamur miktar ve özellikleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Şanlıurfa – Harran atıksu arıtma tesisi atık çamur miktar ve özellikleri

Atık çamur	Birinci kademe (2036)	İkinci kademe (2051)
Ön çöktürme katı madde miktarı	10184,4 kg/gün	15526 kg/gün
Ön çöktürme atık çamur debisi	204 m^3/gün	311 m^3/gün
Son çöktürme katı madde miktarı	5040 kg/gün	8505 kg/gün
Son çöktürme atık çamur debisi	531 m^3/gün	895 m^3/gün
Birleşik (toplam) çamur katı madde miktarı	**15224 kg/gün**	**24031 kg/gün**
Toplam atık çamur debisi	**735 m^3/gün**	**1206 m^3/gün**
Toplam atık çamur KM yüzdesi	%2,1	%2,0

2. Graviteli Çamur Yoğunlaştırıcı Hesabı:

Arıtma sisteminde, çamur ileten boru hatlarında çap 150 mm'den (hız = 1 – 1,5 m/sn) küçük olmamalıdır. Cazibeli hatlarda hız 1,5-1,8 m/sn'yi aşmadığı sürece boru çapı 200 mm'den büyük olmamalıdır. Çamur geri devir hattının çapı 200 mm'den az olmamalıdır. Pompa bağlantı borularında da çapı 100 mm'den küçük olmamalıdır.

Yoğunlaştırıcıya gelen boruda hız 1,5 m/sn seçilirse, bu durumda ana boru çapı:

$$Q = V * A$$

$$Q = V * A \rightarrow 735\frac{m^3}{gün} = 1{,}5\frac{m}{sn} * \left(\frac{86400sn}{1gün}\right) * \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = 8cm$$

2 adet çamur yoğunlaştırıcı inşa edilecektir. Her iki yoğunlaştırıcıda aktif olacaktır. Her bir yoğunlaştırıcıya gelen boru çapı:

$$Q = V * A \rightarrow \frac{735}{2}\frac{m^3}{gün} = 1\frac{m}{sn} * \left(\frac{86400sn}{1gün}\right) * \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = 7cm$$

Bu yoğunlaştırıcılar katı madde yüküne ve yüzeysel hidrolik yüke göre boyutlandırılır. Yoğunlaşmamış ve yoğunlaşmış çamur konsantrasyonları ve yerçekimli yoğunlaştırıcılar için katı madde yüklerinin bir kısmı Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Yoğunlaşmamış ve yoğunlaşmış çamur konsantrasyonları ve yerçekimli yoğunlaştırıcılar için katı madde yükleri (Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi)

Arıtma çamuru tipi	Katı madde konsantrasyonu		Katı madde yükü
	Yoğunlaşmamış	Yoğunlaşmış	kg/m^2.gün
Birleşik (karışık)			
Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre humusu	2 – 6	5 – 9	60 – 100
Ön çökeltim çamuru + döner biyolojik temas tankı çamuru	2 – 6	5 – 8	50 – 90
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	**0,5 – 1,5**	**4 – 6**	**25 – 70**
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	**2,5 – 4**	**4 – 7**	**40 – 80**
Atık aktif çamur + damlatmalı filtre humusu	0,5 – 2,5	2 – 4	20 – 40

- Yüzeysel katı madde yükü = 25 – 80 kg/m^2.gün (70 kg/m^2.gün seçildi)
- Yüzey yükü = 6 – 12 m^3/m^2.gün
- Yükseklik (H) = 3 – 4 m
- Çap (D) ≤ 25 m
- KM = %2,1 (belirlendi)

Bir yoğunlaştırıcıya gelen katı madde miktarı:

$$Bir\ yoğunlaştırıcıya\ gelen\ katı\ madde\ miktarı = \frac{15224 kg/gün}{2} = 7612 kg/gün$$

$$Bir\ yoğunlaştırıcıya\ gelen\ çamur\ debisi = \frac{735 m^3/gün}{2} = 368 m^3/gün$$

2.1.Yoğunlaştırıcı yüzey alanı:

$$A = \frac{7612 \frac{kg}{gün}}{70 \frac{kg}{m^2.gün}} = 109 m^2$$

Bu durumda yoğunlaştırıcı çapı:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{109 * 4}{3{,}14}} = 11{,}78 \cong 12\ m$$

2.2.Yoğunlaştırıcı yüksekliği:

Yoğunlaştırıcılar üst bölgeden alt bölgeye doğru sırasıyla üç bölgeden oluşmaktadır (Şekil 2). Bu üç kısmın yüksekliği bulunarak yoğunlaştırıcının toplam yüksekliği bulunabilir. Bunlar sırasıyla:

- Üst su bölgesi (duru su bölgesi)
- Sıkışma bölgesi
- Çamur toplama bölgesi

2.2.1. Duru su bölgesi = Yüksekliği 1 m olarak kabul edilir.

2.2.2. Sıkışma bölgesi = katı madde muhtevası = %75*çamur %KM

Sıkışma bölgesinin yüksekliğini bulmak için, bu bölgedeki katı madde muhtevası belirlenmelidir. Bu bölgede katı madde muhtevası yoğunlaştırılmış çamurunun %75'i kadarıdır.

$$Sıkışma\ bölgesi\ katı\ madde\ muhtevası = 0{,}75 * \%6 = \%4{,}5$$

Bu bölgede çamurun bekleme süresi 24 saat (24 -36 saat) seçilmiştir. Dolayısıyla sıkışma bölgesi yüksekliği:

$$\theta = \frac{V}{Q} \rightarrow V = \theta * Q$$

$$V = A * h = \theta * Q \rightarrow h = \frac{\theta * Q}{A} = \frac{1gün * \dfrac{7612\ \frac{kg}{gün}}{0{,}045 * 1000\ \frac{kg}{m^3}}}{105m^2} = 1{,}6m$$

2.2.3. Çamur toplama bölgesi (eğim = 1/4–1/5; h = 0,5 – 1m; D = 1,5 m)

Eğim 1/5 seçildi. Yoğunlaştırıcıların orta kısmında 1,5 m çapında çamur toplama çukuru ve bu çukurun ortasında 0,5 m çapında köprünün kolonu olacaktır. Dolayısıyla yoğunlaştırıcının tabanında eğimli olan kısmın x eksenindeki uzunluğu:

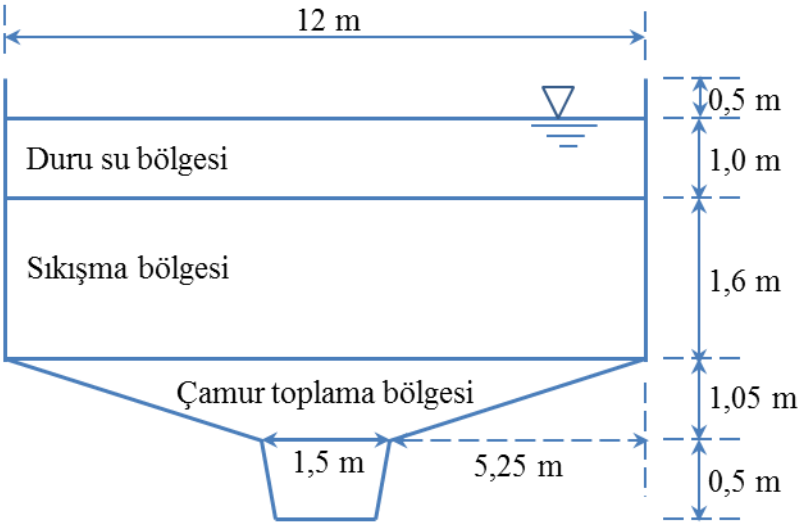
$$\frac{12m - 1{,}5m}{2} = 5{,}25m$$

Dolayısıyla çamur toplama bölgesinin yüksekliği:

$$5{,}25m * \frac{1}{5} = 1{,}05m$$

Dip kısımda 50 cm'lik bir çamur toplama çukuru ve üstte 0,5 m hava payı yapılacaktır. Bu durumda yoğunlaştırıcıların toplam yüksekliği:

$$h_{toplam} = 1m + 1{,}6m + 1{,}05 + 0{,}5\ hava\ payı = 4{,}15m$$



Şekil 2. Yoğunlaştırıcı yükseklik bölgeleri

2.3.Yoğunlaşan çamur miktarı:

$$\frac{15224kg/gün}{0{,}06 * 1000kg/m^3} = 254m^3/gün$$

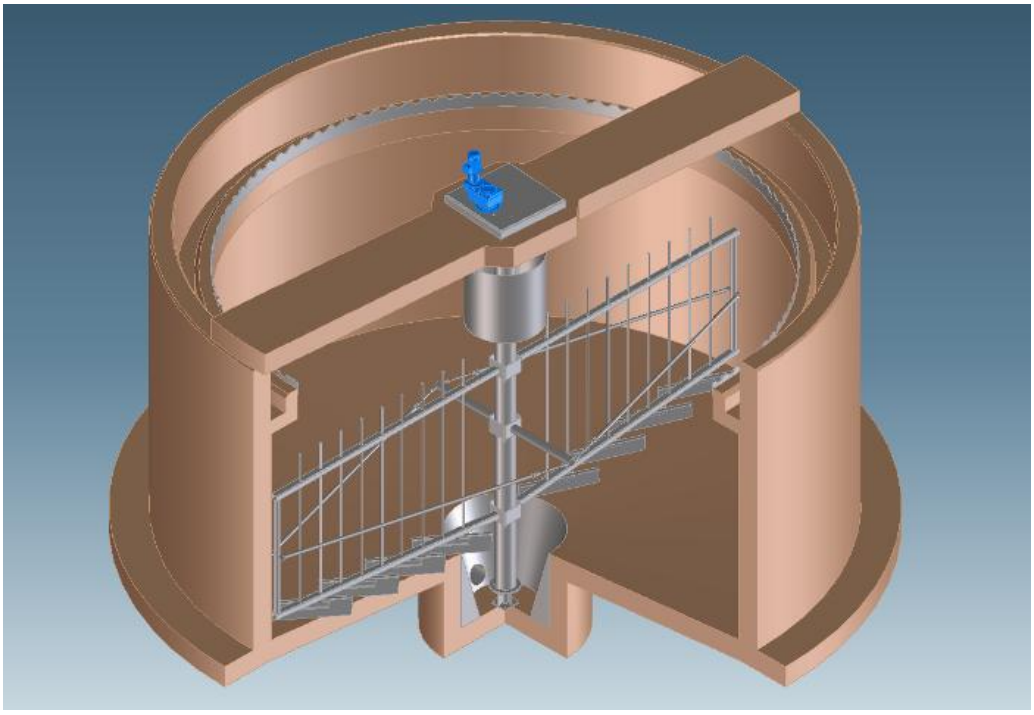
Ön çöktürme havuzunun başına geri devredilen çamur yoğunlaştırıcı üst suyu miktarı ise:

$$Geri\ devredilen\ süzüntü = 735m^3/gün - 254m^3/gün = 481m^3/gün$$

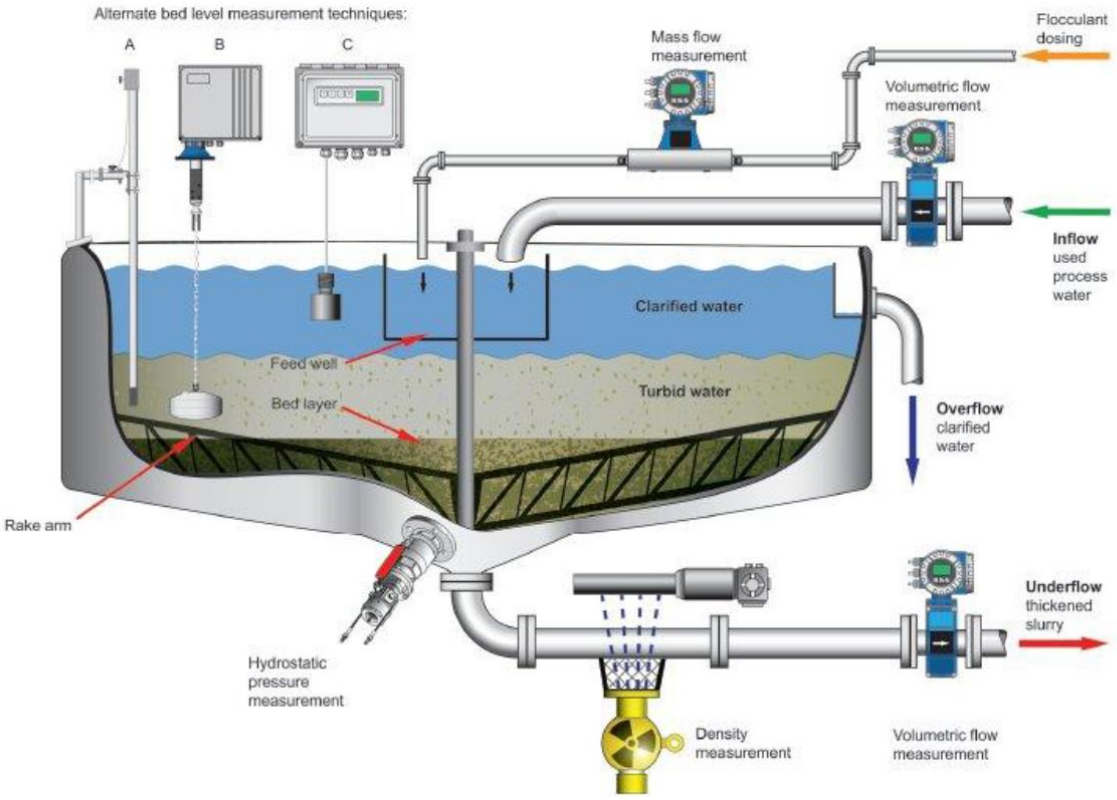
Yoğunlaştırma giriş çıkış değerleri Tablo 5'te, yoğunlaştırıcı genel görünümü Şekil 3'te, pompa ve boru ekipmanları ise Şekil 4'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Yoğunlaştırıcıların giriş ve çıkış parametreleri

	Birinci kademe (2036)	İkinci kademe (2051)
Giriş çamurun katı madde oranı (%)	2,1	2
Çıkış çamurunun katı madde oranı (%)	6	6
Çamur hacmi (m^3/gün)	735	1206
Çıkış çamurunun hacmi (m^3/gün)	254	401
Yoğunlaştırıcı sayısı (adet)	2	3



Şekil 3. Yoğunlaştırıcı genel görünümü



Şekil 4. Graviteli yoğunlaştırıcı pompa ve boru ekipmanları gösterimi

3. *Anaerobik Çürütücü Hesabı:*

- Çürütücü olarak tek kademeli yüksek hızlı anaerobik çürütücü seçilmiştir.
- Çürütücüye gelen çamur yükü = 15224 kg/gün
- Çamur %KM = %6 = 60000 g/m^3 = 60 kg/m^3
- Çürütücüye giden çamur debisi = 254 m^3/gün
- Bu çürütücülerde ısıtma ve karıştırma işlemi uygulanır. Dolayısıyla bu ünitede herhangi bir yoğunlaştırma söz konusu değildir.
- İki adet paralel çürütücü kurulup normal işletme periyodunda her ikisi de çalıştırılacaktır (35°C).
- Bu ısıtma reaktör duvarına serpantin tasarımla çevrilen borulardan sıcak su geçirilmesi ile elde edilecektir. Ceket suyunu ısıtmak için gerekli enerji, çürütücüden çıkan metanın yakılması neticesinde elde edilecektir. Reaktörün ısısını muhafaza etmek maksadıyla duvarlar izolasyonlu olacaktır.
- Çürütücü tasarımında esas alınan hacimsel çamur yükleri, diğer boyutlandırma kriterleri ile birlikte Tablo 6'da verilmiştir. Çürütücü hacmi, bağlı (eşdeğer) nüfus

başına 120 gKM/gün alınarak da belirlenebilir. Havasız çürüme esnasında organik katıların hacmi azalır ve belli miktar çürümüş su arıtma tesisi başına verilir.

Tablo 6. Çamur çürütücüler için tasarım kriterleri

Parametre	Düşük hızlı	Yüksek hızlı
Çamur yaşı (gün)	30 – 60	**15 – 20**
Çamur yükü (kg UKM/m^3.gün)	0,64 – 1,60	**1,6 – 4,8**
Hacim kriteri:		
Ön çökeltim çamuru (m^3/N)	0,03 – 0,04	0,02 – 0,03
Ön çökeltim çamuru + aktif çamur (m^3/N)	0,06 – 0,08	**0,02 – 0,04**
Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre çamuru (m^3/N)	0,08 – 0,14	0,02 – 0,04
Beslenen ön çökeltim çamuru + aktif çamur (%KM)	2 – 4	4 – 6
Çürütülmüş ön çökeltim çamuru + aktif çamur (%KM)	4 – 6	4 – 6

- D < 38 m
- H > 6 m
- Taban eğimi = 1/4
- t_{DT} (bekletme süresi) = 16 gün (seçildi)

3.1.Çürütücü hacim hesabı:

$$\theta = \frac{V}{Q} \rightarrow V = \theta * Q = 15 g\ddot{u}n * 254 \left(\frac{m^3}{g\ddot{u}n}\right) = 3810 m^3$$

Seçilen çürütme tankı hacmi: V_{DT} = 4000 m^3

Bu durumda gerçek bekletme süresi:

$$t_{DT} = \frac{4000 m^3}{254 \frac{m^3}{g\ddot{u}n}} = 15{,}75 g\ddot{u}n$$

- Tasarım verileri:

Çürütme tankı sayısı = 2 ünite

Bir tankın hacmi = 2000 m^3

Bir tanka gelen debi = 123 m^3/gün

Bir tanka gelen katı madde yükü = 7612 kg/gün

Yükseklik/çap oranı çok değişik oranlarında olmaktadır. Bu tesis için 1/1 oranı seçilirse çürütücü çapı:

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * H = 2000 m^3 \rightarrow D \cong 13\ m$$

Buradan 2000 m^3 hacmi sağlayan yükseklik = 15 m bulunmuş olur.

3.2.Fazla çamurdan biyogaz üretimi:

Fazla çamur yükü = 15224 kg/gün

Fazla çamurdaki organik kısım = %55 – 60 (%56 seçildi)

Fazla çamurdaki organik yük:

$$15224\frac{kg}{g\ddot{u}n} * 0{,}56 = 8525\frac{kg}{g\ddot{u}n}$$

Beklenen organik çürüme oranı = %50

Organik çürüme yükü:

$$8525\frac{kg}{g\ddot{u}n} * 0{,}50 = 4263\frac{kg}{g\ddot{u}n}$$

Organik çürüme oranı için spesifik gaz üretim miktarları: 0,5 – 0,75 m^3/kg UKM

0,75 – 1,12 m^3/kg $UKM_{giderilen}$

0,03 – 0,04 m^3/kişi.gün

Organik çürüme oranı için gaz üretim miktarı 0,75 m^3/kg $UKM_{giderilen}$ olarak seçildi.

Bu durumda biyogaz miktarı:

$$0{,}75\frac{m^3}{kgUKM} * 4263\frac{kg}{g\ddot{u}n} = 3197 m^3/g\ddot{u}n$$

Oluşan bu biyogaz her bir çürütücünün üst kısmından alınacaktır. Bunun için gerekli borunun çapı:

$$D = \sqrt{\frac{3197\frac{m^3}{g\ddot{u}n} * 4}{\frac{86400sn}{1g\ddot{u}n} * \pi * 10\frac{m}{sn} * 2tank}} \cong 5\ cm$$

3.3.Gazın depolanması:

Gaz depolama süresi = 4 saat

Gereken toplam biogaz tankı hacmi ($V_{biyogaz}$):

$$V_{biyogaz} = 3197\frac{m^3}{g\ddot{u}n} * 4saat * \frac{1g\ddot{u}n}{24saat} = 533 m^3$$

Biogaz depolama tanklarının sayısı = 1 ünite

Her biogaz depolama tankının hacmi= 550 m^3

Biogaz depolama tanklarının türü = Balon şeklinde, düşük basınçlı kuru gaz tankı

3.4.Çürütücü sonrası çamurdaki katı madde miktarı:

$$15224\frac{kg}{g\ddot{u}n} - 4263\frac{kg}{g\ddot{u}n} = 10961\frac{kg}{g\ddot{u}n}$$

Çürütücü sonrası çamur debisi çok değişmeyecek ve yine 254 m^3/gün olacaktır (giderilen UKM'nin oluşturduğu hacim ihmal edilecek kadar küçüktür). O halde çürütülmüş çamurun katı madde muhtevası:

$$KM = \frac{10961\frac{kg}{g\ddot{u}n}}{254\frac{m^3}{g\ddot{u}n} * 1000\frac{kg}{m^3}} \cong \%4{,}3$$

4. Çamur depolama tankı:

Çürütmeden sonra, çamur üç tankta depolanacaktır. Çamur susuzlaştırma aşamasına sürekli olarak çamur boşaltılması için bu tanklar gereklidir. Çürütme çamuru, çamur depolama tanklarına gravimetrik olarak akacaktır.

Çamur depolama tanklarına giden çamur miktarı = 10961 kg/gün

Çamur konsantrasyonu ~ 43 kg/m^3

Maksimum sekonder çamur hacmi ~ 254 m^3/gün

Tasarım verileri:

Çamur depolama tankında faydalı bekleme süresi = 1,4 gün

Çamur depolama tanklarının toplam hacmi:

$$V_{SS} = 254\frac{m^3}{g\ddot{u}n} * 1{,}4g\ddot{u}n = 356 \cong 400m^3$$

Seçilen tank sayısı = 1 adet

Her tankın seçilen çapı ~ 10 m

Her tankın seçilen yüksekliği ~ 5 m

Çamur depolama tanklarında bekleme süresi:

$$t = \frac{400m^3}{254\frac{m^3}{g\ddot{u}n}} \cong 1{,}6\ g\ddot{u}n\ UYGUN$$

5. *Filtre Pres Hesabı:*

Çürütücü sonrası oluşan %4,3 katı madde muhtevasına sahip çamur susuzlaştırılmalıdır. Dolayısıyla çamur susuzlaştırma işlemlerinden biri olan filtre pres işlemi uygulanır. Filtre pres firma kataloğundan seçilmiştir. Gerekli polielektrolit tankı ve pompası firma tarafından temin edilmektedir.

Katalog değerine göre %4,3'lük giriş çamur katı madde konsantrasyonunda, %25'lik bir çamur katı madde konsantrasyonuna ulaşılmaktadır. Dolayısıyla filtre pres sonrası çamur debisi:

$$Q = \frac{10961\frac{kg}{g\ddot{u}n}}{0{,}25 * 1000\frac{kg}{m^3}} = 43{,}84 \cong 44m^3/g\ddot{u}n$$

Oluşan süzüntü suyu debisi ise:

$$Q_{s\ddot{u}z\ddot{u}nt\ddot{u}} = 254\frac{m^3}{g\ddot{u}n} - 44\frac{m^3}{g\ddot{u}n} = 210m^3/g\ddot{u}n$$

Bu durumda;

Toplam çamur debisi = 735 m^3/gün

Yoğunlaştırıcıdan geri devir edilen çamur = 481 m^3/gün

Filtre presten geri devir edilen çamur = 210 m^3/gün

Çıkışta çamur debisi = 44 m^3/gün

Çamur hacmindeki toplam azalma:

$$\% = \frac{735 - 44}{735} = \%94$$

6. *Çamur Depolama Yatağı Alanının Tasarımı*

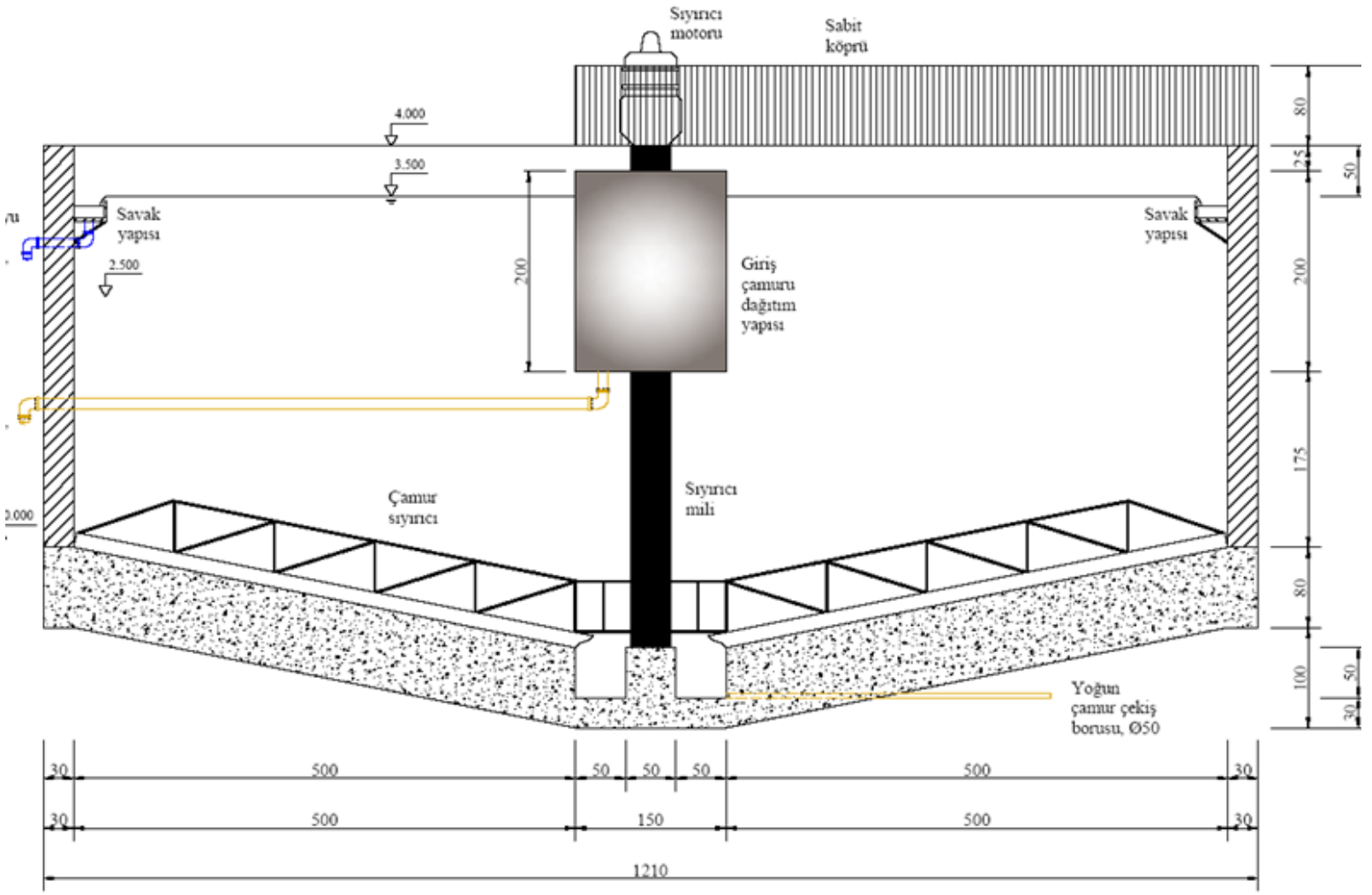
Filtre presten susuzlaştırılmış olarak çıkacak çamur debisi 44 m^3/gün olduğuna göre gerekli hacim:

$$V = 44\frac{m^3}{g\ddot{u}n} * 10g\ddot{u}n = 440m^3$$

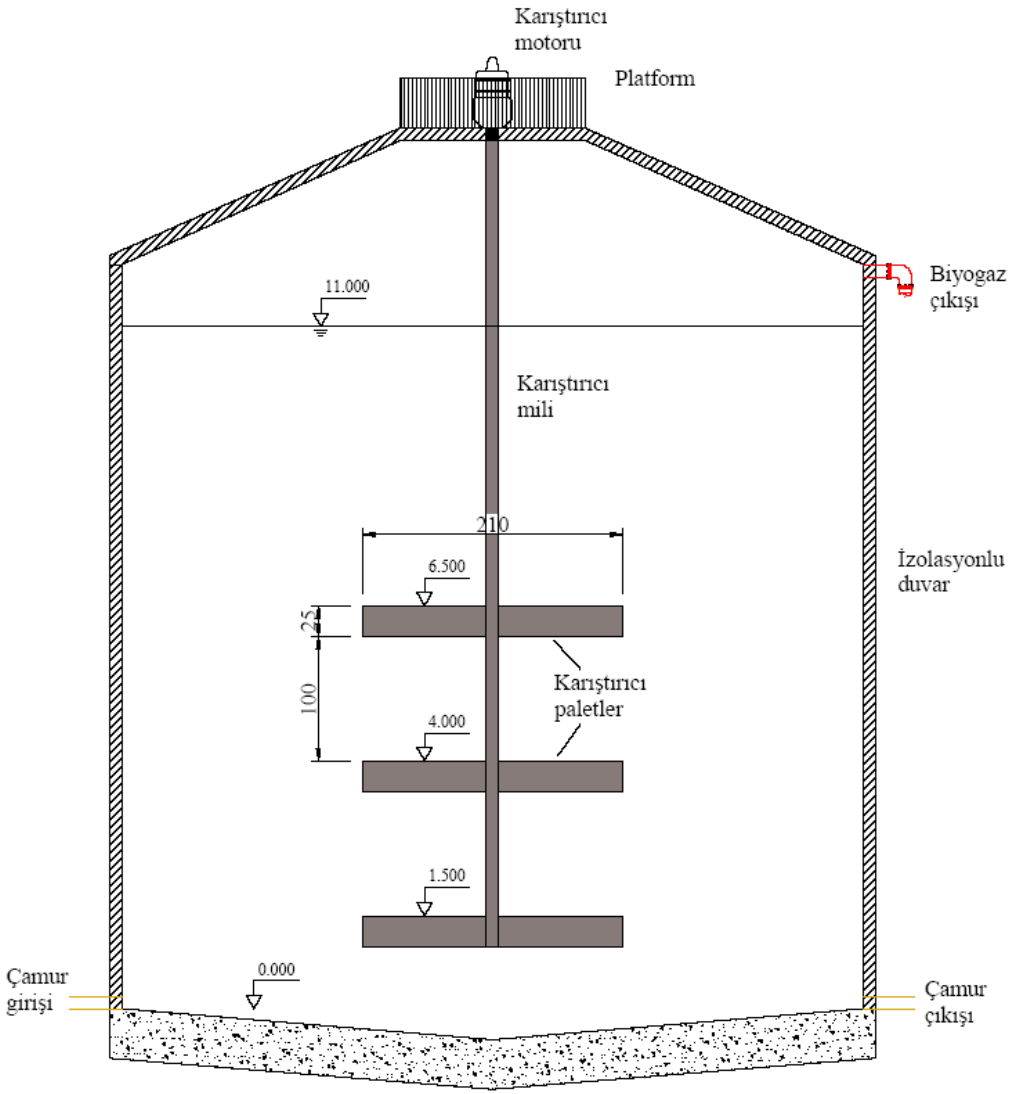
$$A = \frac{440m^3}{0{,}25m} = 1760m^2$$

Çamur depolama yatağı için yaklaşık 1800 m^2'lik alan tasarlanmıştır.

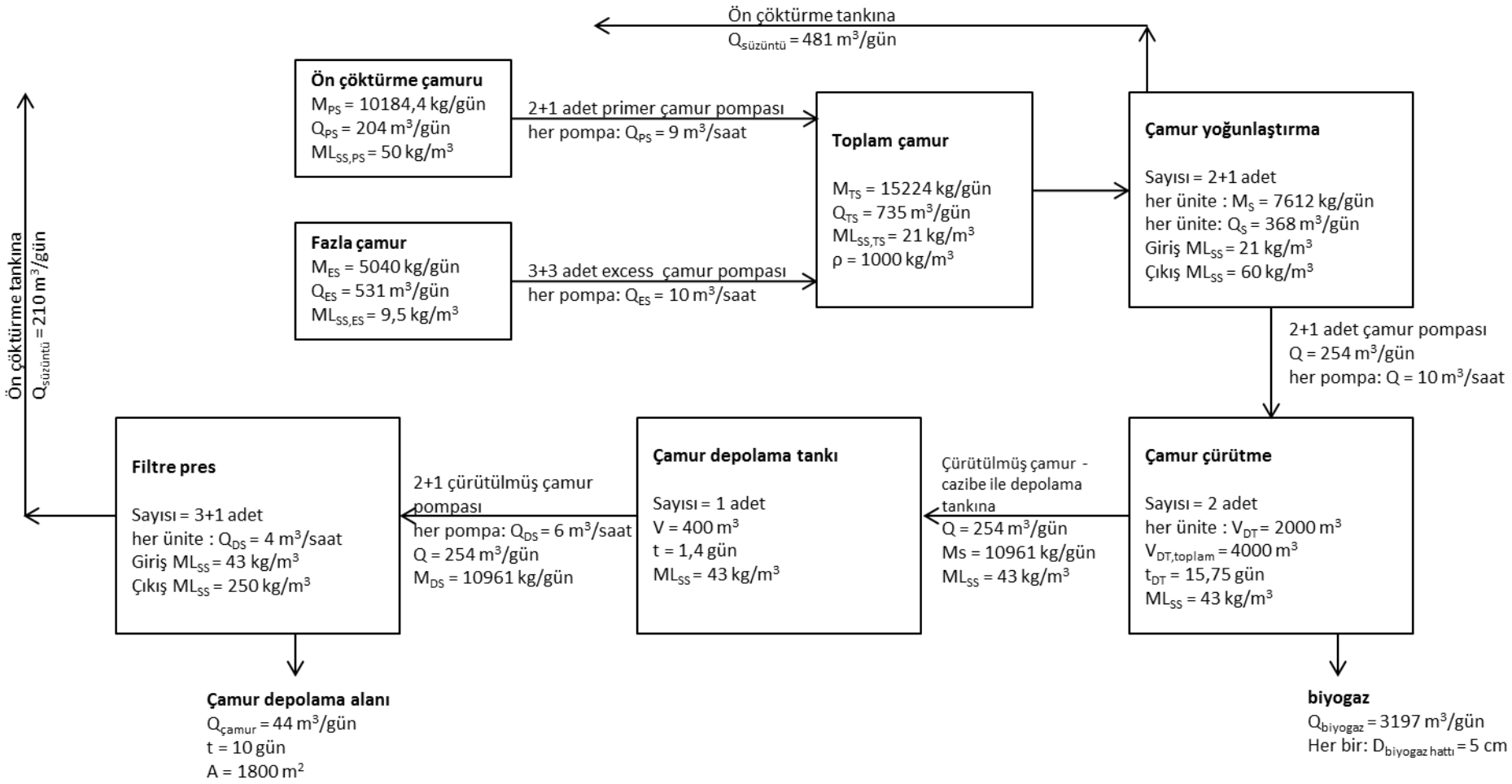
NOT: 1. ve 2. Kademe için tüm kontroller yapılacaktır.



Şekil 5. Yoğunlaştırıcı kesit görünüşü



Şekil 6. Havasız çürütme tankı kesit görünüşü



Şekil 7. Atıksu arıtma tesisi çamur üniteleri akım şeması