EKLER:

EK 1

Yerinde Arıtma Sistemleri

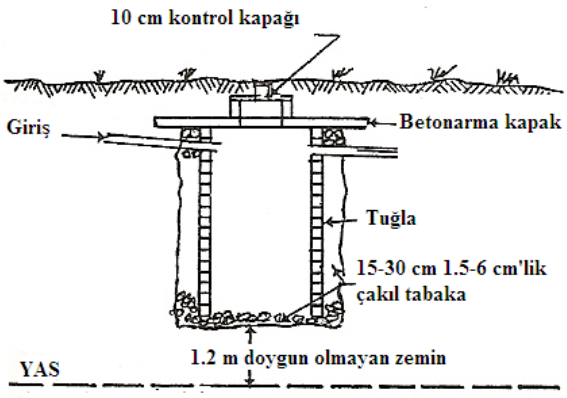
Zemin Türüne Bağlı Olarak Arıtma Teknolojisinin Seçimi

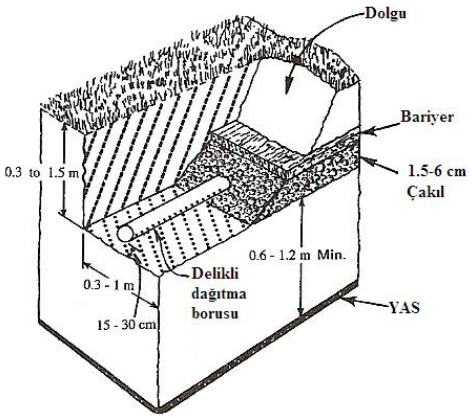
Normal zeminlerde, septik tank sonrası sızdırma çukuru ve sızdırma yatakları ile ilgili akım şemaları, Şekil Ek1.1'de ve sızdırma yataklarının beş değişik tasarımı, Şekil E1.2'de verilmiştir. Septik tank sonrası, yerçekimi ile atıksuyun sızdırma yatağına dağıtılması, Şekil E1.2a'da verilmiştir. Şekil E1.2b ve E1.2c'de, sızdırma yataklarının dinlendirmeli olarak çalıştırılması, Şekil E1.2ç'de, atıksuyun septik tanktan sonra pompa veya sifonlama ile sızdırma yatağına verilmesi ve Şekil E1.2d'de septik tank sonrası pompa ile sızdırma yatağına tabandan üzeri özel bir sızdırma tabakası ile kaplı küçük çaplı bir boru ile verilen ve sızan suyun uç kısımdan toplandığı sızdırma yatağının şematik şekli verilmiştir.

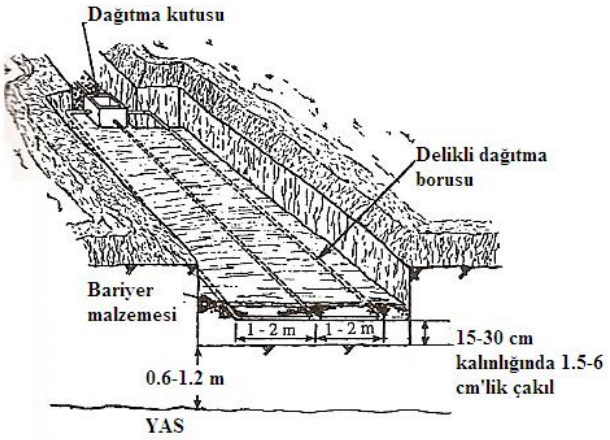
Alüvyonlu zeminlerde septik tank çıkışının havalı arıtma veya kesikli kum filtresi ile arıtılması ve nihai uzaklaştırması, Şekil E1.3'de ve özel sızdırma yataklarına ait şematik şekiller, Şekil E1.4'de verilmiştir. Şekil E1.4a'da, sığ kum yataklarından basınç altında sızdırma, Şekil E1.4b'de, dolgu kum yataklarından sızdırma, Şekil E1.4c'de, kum yataklarından sızdırma ve üzerindeki bitkilerin sızdırılan su ile beslenmesi, sonra buharlaşma ile atmosfere salınması ve Şekil E1.4ç'de, iki kademeli septik tanktan geçen suyun yapay sulakalanlarda arıtımının şematik şekli gösterilmiştir.

Geçirimsiz zeminlerde, zemine sızdırmak pratik olarak mümkün değildir. Geçirimliliğin çok düşük, yeraltısu seviyesinin yüksek, zemin eğiminin yüksek, taşkınların meydana geldiği ve atıksuyun, su kaynaklarının yakınlarında oluştuğu durumlarda zemine sızdırma düşünülmemelidir. Geçirimsiz zeminlerin olduğu yerlerde atıksular, daha kompleks arıtma sistemleri ile arıtılmalı ve uzaklaştırılmalıdır. Uygulanabilecek nihai deşarj alternatifleri, su sızdırmayan bekletme tankı (Şekil E1.5a), iki kademeli septik tank sonrası buharlaştırma (Şekil E1.5b), iki kademeli septik tank sonrası yapay sulakalanlar ve arazide arıtma (Şekil E1.5c), atıksuların toplandıktan sonra septik tank çıkışının vakumlu membran biyoreaktör ile arıtımı (Şekil E1.5ç) olabilir. Geçirimsiz zeminler için önerilen bu nihai uzaklaştırma sistemleri, normal ve alüvyonlu zeminler için de kullanılabilir.

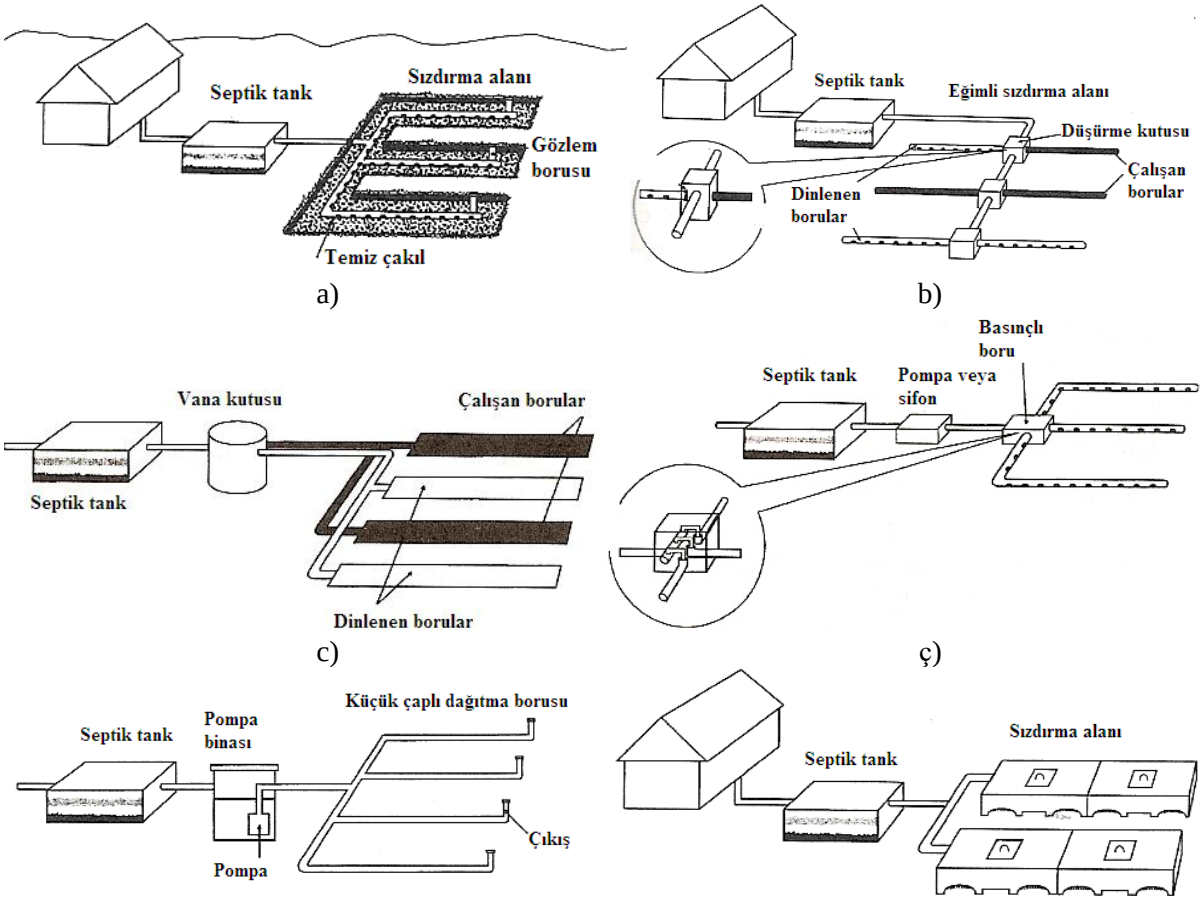
Yerinde arıtma teknolojileri olarak sunulan bu akım şemalarında bulunan her bir sistemin bileşenleri, daha detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır.



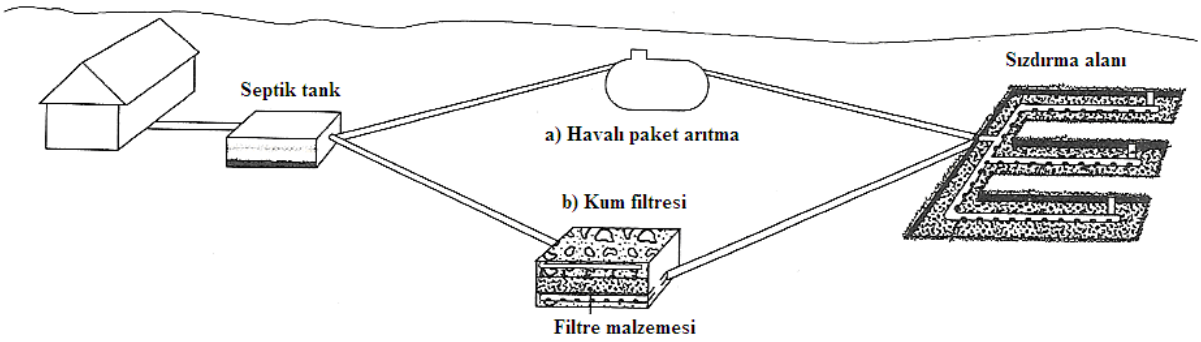




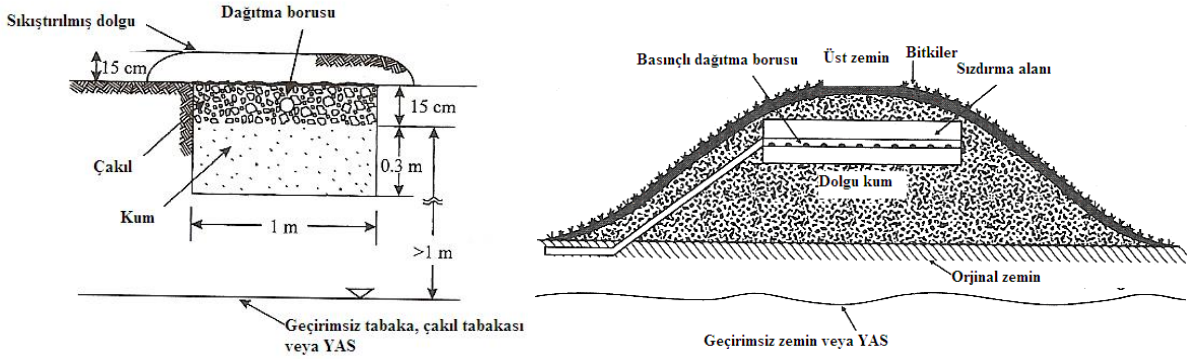
Şekil E1.1 Normal zeminlerde septik tank sonrası sızdırma çukuru ve sızdırma yatakları.



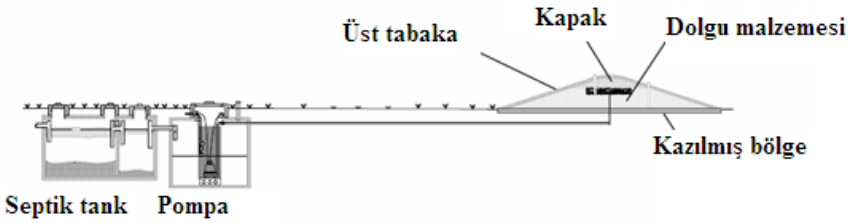
Şekil E1.2 Normal zeminlerde sızdırma yataklarının beş değişik tasarımı



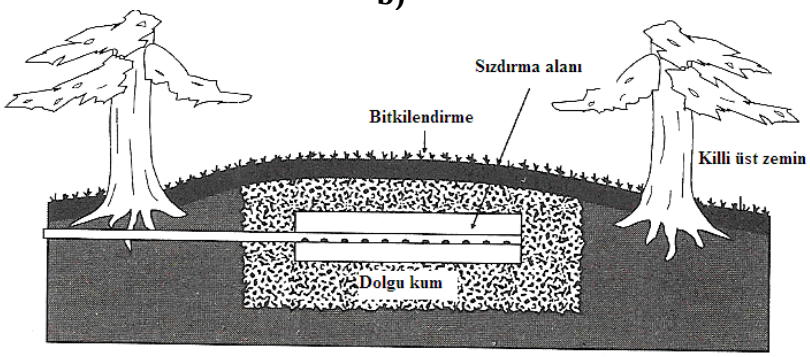
Şekil E1.3 Alüvyonlu zeminlerde septik tank çıkışının havalı arıtma veya kesikli kum filtresi ile arıtılması ve nihai uzaklaştırması.



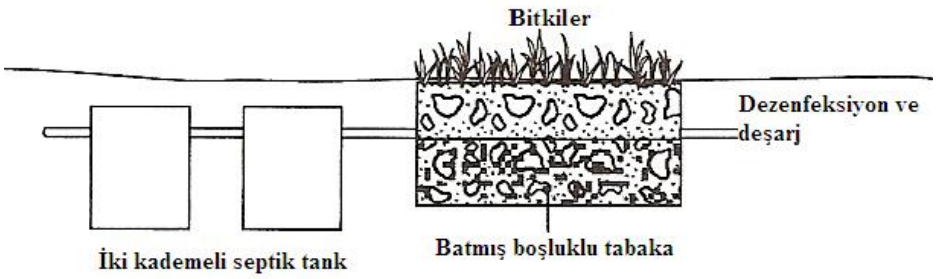
a)



b)

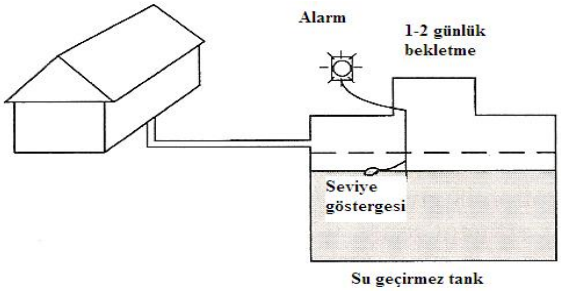


c)

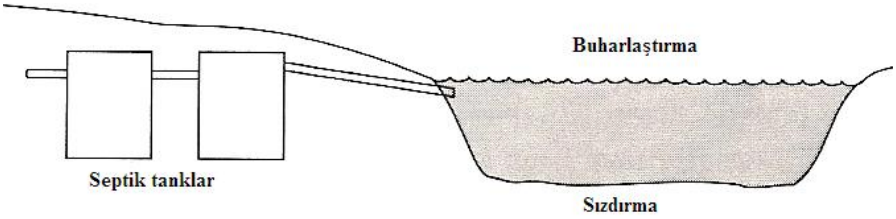


ç)

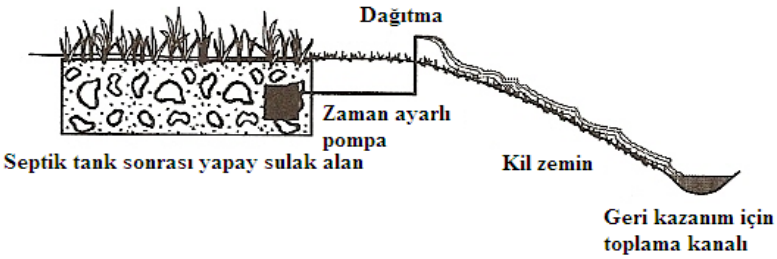
Şekil E1.4 Alüvyonlu zeminlerde nihai uzaklaştırma alternatifleri.



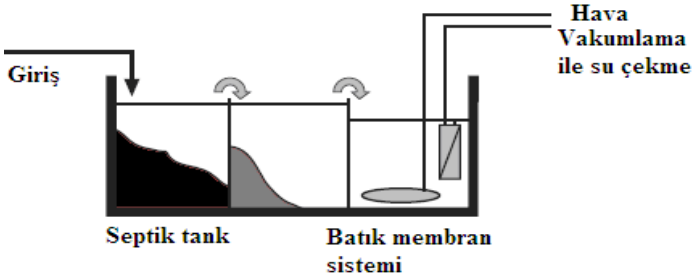
a)



b)



c)



ç)

Şekil E1.5 Geçirimsiz zeminlerde nihai uklaştırma alternatifleri

a) Kuru (susuz) Çukurlar

Üstü örtülü bir çukurdur. Tabanı, geçirimli veya geçirimsiz olabilir. Yeraltı suyunun kirlenmemesi gereken yerlerde tabanı sızdırmaz yapılır. Buralarda biriken atıksular, belli sürelerle boşaltılırlar. Sızdırmalı olanlarda ise sulu kısım yeraltına sızar, kalan kuru kısım ise çukurda toplanır.

Su sızdırmayan geçirimsiz kuyular, ayda insan başına 70 litre veya altı aylık boşaltma evresi için insan başına 400 L'lik hacim düşünülerek boyutlandırılır. Geçirimli çukurlara 90 cm veya daha büyük çap verilir ve giriş borusu altındaki seviyede derzler açık olarak teşkil edilir. En üst derz tabii zeminden 60-90 cm aşağıda bulunmalıdır. Zeminin boşlukları tıkanıp çukur dolduktan sonra bir T çıkışı ve bir dolu savak borusu üstteki sıvıyı sızdırmalı bir çukura iletir.

Bu çukurlar, kuyuların yeraltı suyu akımına göre alt (mansap) taraflarında ve bakteriyel kirlenmeyi önlemek için 15 m ve kimyasal kirlenmeyi önlemek için ise 50 m den daha uzakta bulunmalıdır. Bu tür çukurlar bina temelinden en az 6 m uzakta açılmalıdır. Merkezi bir içme suyu sistemini besleyen su kuyuları yakının da bu tür çukurlar asla yer almamalıdır.

b) Kompostlaştırma Tuvaletleri

Organik atıkların, havalı olarak kompostlaştırıldığı tuvaletlerdir. Hava ihtiyacı, havalandırma borusu ile 12 Volt'luk bir havalandırma fanı ile sağlanabilir. Üç şekilde uygulanabilmektedir. Birincisi kesikli uygulamadır. Atık, 12 ay boyunca kompostlaştırmaya tabii tutulur. İkincisinde kompost belli sürelerle alınır. Üçüncü uygulamada ise kompostlaştırma yer seviyesinin üstünde yapılır. Oluşan sızıntı suyu, yapay sulakalanlara veya araziye direkt olarak uygulanabilir (Şekil E1.6a).

c) Sulu Tuvaletler

Burada, tuvaletin hemen altına yeralan sifon içindeki su dolayısıyla, boru devamlı suretle kapalı olacağı için koku ve böcek problemi yaşanmaz. Her kullanım sonrası 2-3 L'lik su ile tuvalet sürekli olarak yıkanır (Şekil E1.6b).

ç) Çok Gözlü Septik Tanklar

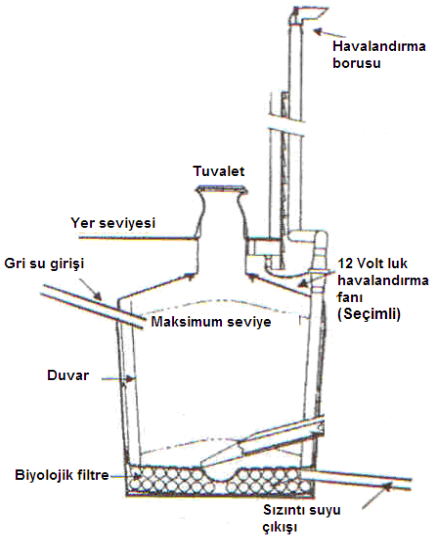
Çürütme çukurları olarak da adlandırılırlar. Kanal şebekesi olmayan kırsal yerleşim alanlarındaki münferit bina veya küçük yerleşim gruplarının atıksularının bertarafı için uygulanabilecek kullanışlı bir sistemdir. Üstü kapalı çöktürme çukurlarından ibarettir. Bunlar genellikle, iki, üç veya dört gözlü olabilir (Şekil E1.6c). Çamurun büyük bir kısmı ilk gözde toplanır. Faydalı hacim, 200 L/N'e göre hesaplanır. Bir biyolojik faaliyetin de olması isteniyor ise 1000 L/N'ye göre bir boyutlandırma yapılması gerekmektedir. Bekletme süresi 2 gün civarındadır. Su yüksekliği, 1.2-2 m aralığında alınabilir. En küçük hacim 3 m^3 olup, dipteki çamur yılda 2 defa boşaltılmalıdır. İki gözlülerde, ilk göz toplam hacmin 2/3'ü kadardır. Üç gözlülerde ise, ilk göz toplam hacmin yarısı, diğer iki göz eşit hacimlidir. Septik tank çıkışında AKM kaçışını önlemek üzere, çıkış borusu üzerine elek de yerleştirilebilir.

d) İki Katlı Septik Çukurlar (İmhoff Tankı)

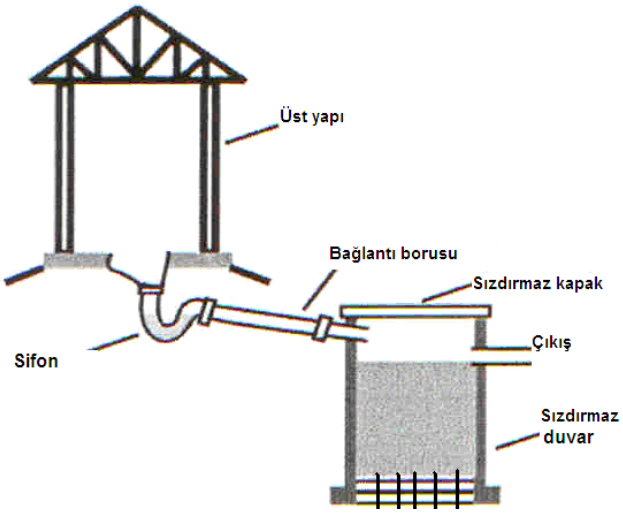
İki katlı çukurlarda, üst kat çöktürme, alt kat ise çürütme için kullanılır (Şekil E1.6ç). Verimi, mekanik arıtmadaki kadardır. Üstteki çöktürme havuzu 30 L/N, alttaki çamur çürütme kısmı ise 60 L/N esasına göre hesaplanmaktadır.

e) Yavaş Kum Filtreleri

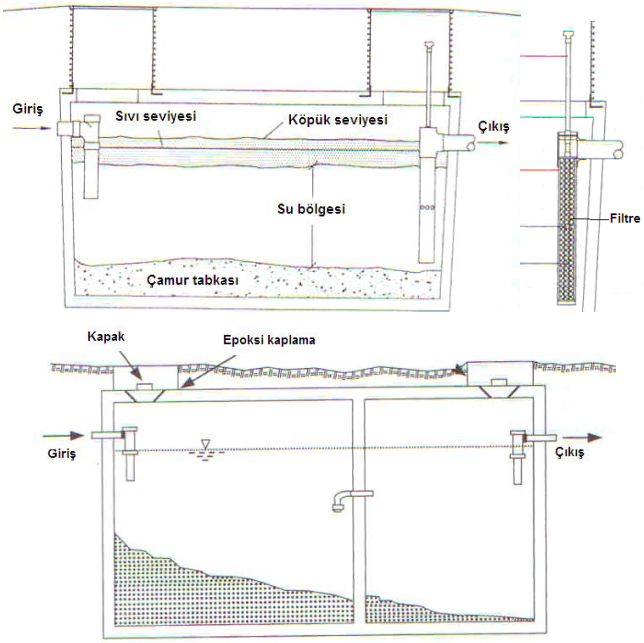
Septik tank çıkışı, yavaş kum filtreleri ile kontrollü bir şekilde arıtılıp, dezenfekte edildikten sonra alıcı ortama verilebilir. Filtre kalınlığı, 60-90 cm olabilir. Üç değişik şekilde uygulanmaktadır. Bunlar, kum filtre hendekleri, (gömülmüş) kesikli ve geri devirli çalışan filtrelerdir (Şekil E1.6d). Basit olarak işletilmeleri, en önemli üstünlükleridir. Ancak, büyük alan gerektirirler. Alan ihtiyacı, stabilizasyon havuzları kadar büyük değildir.



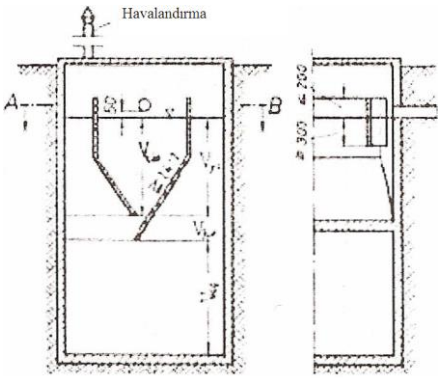
a) Kompostlaştırma tuvaleti



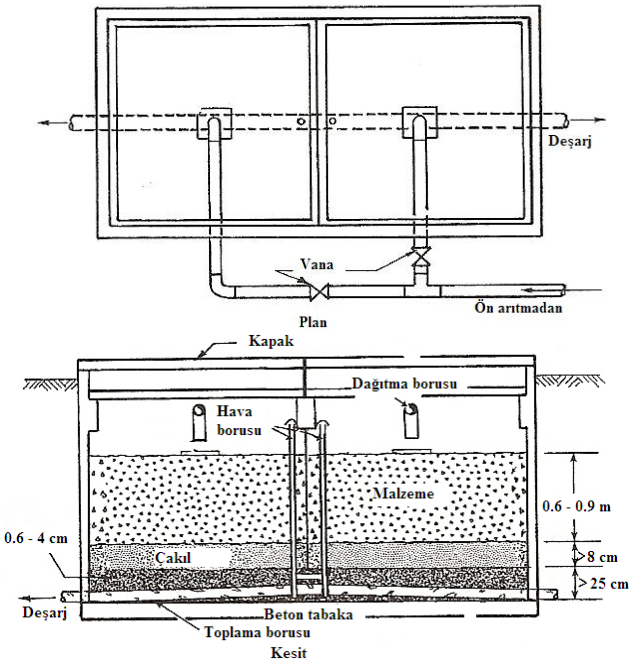
b) Sulu tuvalet



c) Tek ve çift gözlü septik tanklar



ç) İki katlı çukurlar



d) Yavaş kum filtreleri

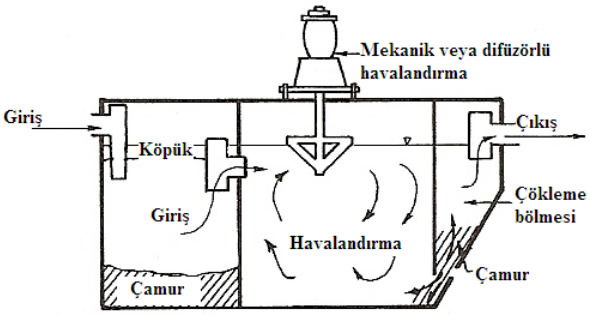
Şekil E1.6 Yerinde arıtma teknolojileri

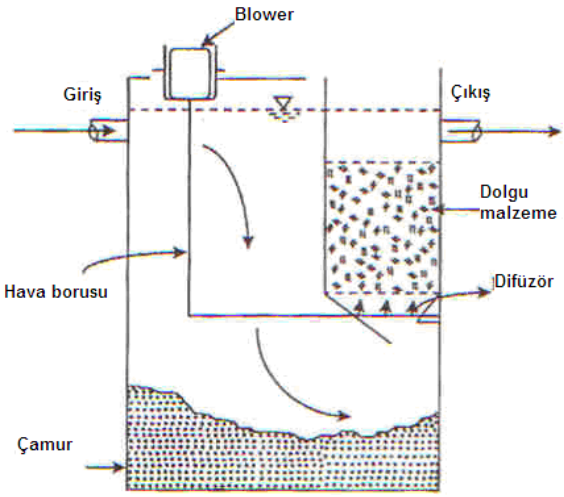
f) Uzun Havalandırmalı Paket Arıtma Sistemleri

Septik tank çıkışı, havalandırma bölmesine verilir (Şekil E1.7a). Gerektiğinde yüzeyde büyümeyi sağlamak üzere, dolgu malzemesi kullanılabilir (Şekil E1.7b). Havalandırma bölmesi yüksek çamur yaşlarında çalıştırılır. (Şekil E1.7c). Döner biyolojik diskler de, septik tank çıkışını arıtmak üzere kullanılabilirler. Bu sistemlere ait boyutlandırma kriterleri Tablo E1.1'de verilmiştir.

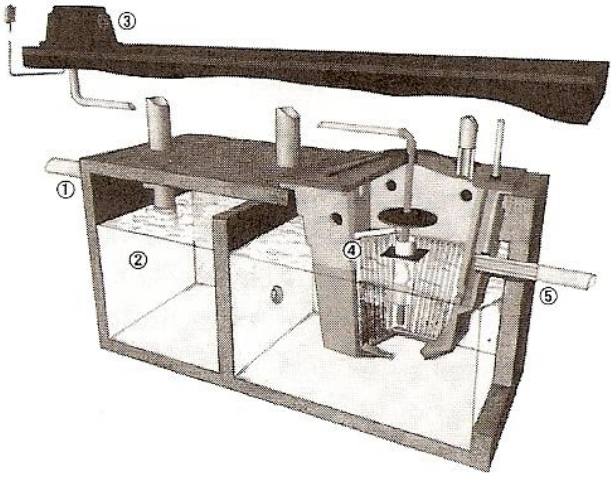
Tablo E1.1 Yerinde uzun havalandırma paket aktif çamur sistemleri için boyutlandırma kriterleri

Parametre	Aralık	Maksimum
MLSS, mg/L	2000-6000	8000
F/M, g BOİ/g MLVSS.gün	0.05-0.1	-
Çamur yaşı, gün	20-100	-
Hidrolik bekletme süresi, gün	2-5	-
Çözünmüş oksijen, mg/L	> 2	-
Karıştırma, kW/m^3	0.01-0.03	-
Çöktürme yüzey yükü, m^3/m^2.gün	8-16	33
Çamur temizleme aralığı, ay	3-6	8-12

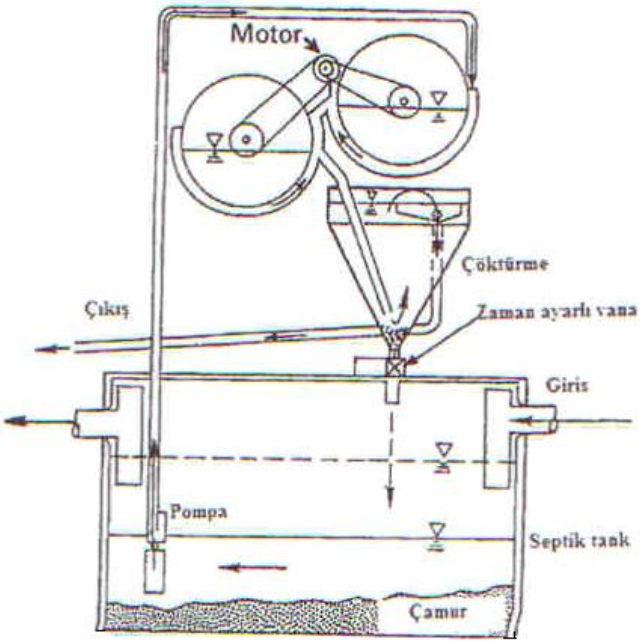




a)



b)



c)

Şekil E1.7 Yerinde arıtma olarak kullanılabilecek paket arıtma sistemleri

g) Küçük Membran Biyoreaktör Sistemleri

Hayat standardı yüksek yerleşim yerleri için uygulanabilecek bir yöntemdir. Septik çıkışı, ayrı bir havuz içerisine daldırılmış membran ile vakum altında çekilmektedir. Vakum sırasında, havanın da verilmesi gerekmektedir. Membrandan süzerek elde edilen su, sulama suyu olarak geri kullanılabilecek kalitededir.

ğ) Sızdırma Sistemleri

1) Sızdırma Kuyuları (Çukurları);

Bunlar derin kuyulardır. Su seviyesi derinlerde olmalıdır. Çukurlar, 2-4 m genişliğinde ve 3-6 m derinliğinde olabilir. Genellikle, yan duvarlardan sızma olur. Hidrolik yük, 8-16 L/m^2.gün'dür.

2) Sızdırma Boruları;

Sızdırma boruları, bir ön arıtmadan geçen atıksuların, yeraltına döşenmiş bir boru şebekesi ile zemine sızdırılmasıdır. Sızdırma borusu şebekesinin uzunluğu, kişi başına L=10-20 m olacak şekilde belirlenir. Burada, tabi zemin yapısının da önemi vardır. Boru hattı uzunluğu, kişi başına kum ve çakıllı zeminlerde 10 m, killi kumda 15 m ve kumlu kilde 20 m alınabilir. Ön arıtma olarak genellikle, çok gözlü septik tanklar kullanılır. Sızdırma borusu çapı 100 mm olup, takriben 60-90 cm derinliğe döşenir. Boruların eğimi, 1/400-1/500 arasında olmalıdır. Dik arazilerde, düşüler yapılabilir. Sızdırma borularının sonuna havalandırma bacaları yapılır. Boru hendeği öncelikle 100 mm yükseklikte ve hendek genişliğinde çakıl ile doldurulur. Bunun üzerine sızdırma borusu döşenerek, borunun üst kısmı en az 5 cm kalınlığında tabana döşenen malzeme ile kaplanır. Sızdırma borularının bağlantı yerlerinin üst kısımları karton ile kaplanır ve bunun üzeri kazı malzemesi ile doldurulur. Sızdırma borularının son kısımlarının boru hattına dikey olarak birbirleriyle bağlanması iyi bir işletim sağlar.

3) Kum Dolgulardan Sızdırma;

Arıtma işlemi, düzenli olarak dolgu malzemesi yerleştirilmiş bir yatak boyunca suyun aşağıya doğru hareketinden oluşmaktadır. İki ana giderme mekanizması vardır. Bunlar, filtreleme ve oksidasyondur. Yüzeysel filtrelemede, askıda katı maddeler (SS) filtre yatağının yüzeyinde organik maddelerin (partiküler KOİ) bir kısmı ile birlikte giderilir. Yatak içine yerleştirilmiş malzeme ise mikroorganizmaların büyümesi için bir destek tabakası oluşturur ve yüzeyde tutunma ile büyüme meydana gelir. Mikroorganizmaların büyümesi için gerekli oksijen, yüzeyden aşağıya doğru suyun hareketi neticesinde oksijenin yatağın taban kısmına kadar difüze olması ile elde edilir. Bu şekilde azot ve çözünmüş KOİ giderimi sağlanabilir. Kum taneleri veya toprak tabakası bakterilerin yaşaması için uygun ortam oluşturur. Havalı bakteri, destekleyici yatağa (kum) tutunarak gelişimini sürdürür. Yatakta doğal silis kumu veya yıkanmış kum kullanılabilir. Kumun tane çapı, 0.25 mm ve 0.4 mm olabilir. Bu sistemde dikkat edilecek en önemli husus, atıksuyun yatak üzerine homojen bir şekilde dağıtılmasıdır. Zemin bir miktar kazılabilir. Zemin geçirimsiz ise tabana membran tabakası sermeye gerek yoktur. Geçirimli zeminlerde tabana membran tabakası serilir ve üzerine drenaj boruları yerleştirilir. Drenaj borularının üzerine ise kum tabakası serilir ve atıksu yüzeyden özel dağıtma boruları ile dağıtılır.

Bu tür bir tesiste başlıca, aşağıdaki birimlerin bulunması gereklidir: ön arıtma, çöktürme sistemi (septik tank), depolama tankı, dağıtım sistemi, filtre yatağı ve drenaj (toplama) sistemi. Gerekli yüzey alanı, kişi başına 1.5 m^2 alınabilir. Patojen mikroorganizma giderimi amaçlanmaz. 80 cm'lik bir filtre yatağı kalınlığı yeterlidir. Bu sistem ile çıkışta, 25 mg/L'nin altında BOI_5**,** 90 mg/L'nin altında KOI ve 30 mg/L'nin altında AKM elde edilebilir.

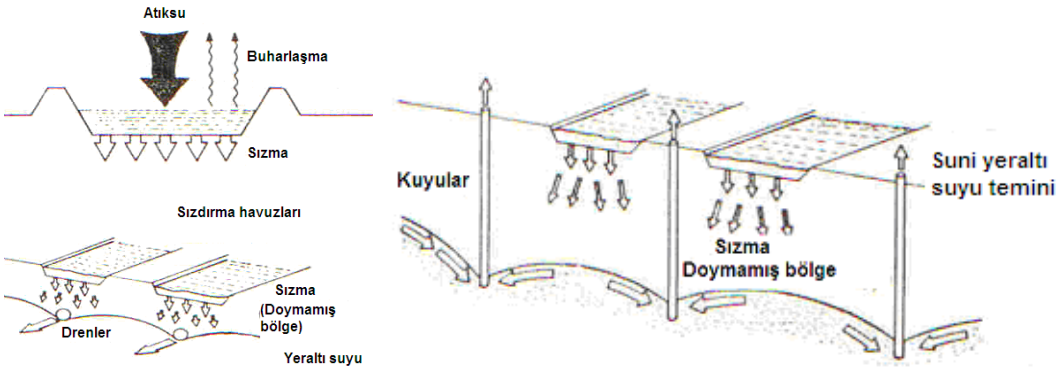
4) Dolgu Kum Malzemesi İçerisinden Yeraltına Sızdırma (Yığma Sistem);

Yeraltına sızdırma, septik tank çıkışının zemin üzerinde teşkil edilen bir dolgu malzemesi yığını içerisine yerleştirilmiş özel bir dağıtıcı boru ile önce dolgu malzemesi içerisine sonrasında ise zemine sızdırılmasıdır. Bu sistemde zaman zaman tıkanan dolgu malzemesinin değiştirilmesi mümkündür. Atıksu, ilk etapta dolgu malzemesi ile karşılaştığı için, doğrudan zemine sızdırmaya göre daha iyi verim sağlanır.

5) Hızlı İnfiltrasyon;

Kum gibi geçirimli zeminlerden, atıksuların yeraltına sızdırılması prensibine dayanır. Sızan sular, kuyu ve galerilerle alınabileceği gibi yeraltı sularının beslenmesi amacı ile de kullanılırlar (Şekil E1.8). Sızma hızı, 10-61 cm/gün veya daha fazla olan zeminler tercih edilir. Yeraltı su tabakası hakkında bilgi sahibi olmadan bu işlem uygulanmamalıdır. Ön arıtma olarak, ön çöktürme (septik

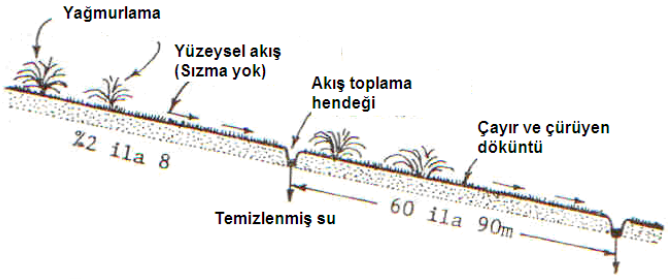
tank) işlemi uygulanabilir. Hidrolik yük, normal hızlı sistemlerde 0.1-1.5 m/hafta ve yüksek hızlı sistemlerde ise 1.5-2.1 m/hafta arasında değişir.



Şekil E1.8 Hızlı infiltrasyon

6) Arazi Üzerinde Akıtma;

Bu metod ile eğimli bir arazinin üst tarafından akıtılan atıksular, bitki örtüsü arasından akıtılarak, aşağıdaki toplama hendeklerine ulaşır (Şekil E1.9). Aşağıya doğru akma esnasında, arıtma gerçekleşir. Arazi eğimi, % 2 ile 8 arasında, yeraltı su seviyesi 0.6 m'den daha derinde olmalıdır. Soğuk havalarda verim düşer. Bir ön arıtmadan geçen atıksular için hidrolik yük, 0.8-1.8 cm/gün'dür. Eğer bir biyolojik arıtma çıkışı veriliyor ise hidrolik yük 2.1-5.7 cm/gün olabilir. Yüksek konsantrasyonlu atıksular için organik yük, 44.8-112 kg/ha/gün'dür. Bu sistemlerin çalışması, 6-8 saat besleme, geri kalan 16-18 saat dinlenmeye bırakmak şeklindedir .



Şekil E1.9 Arazi üzerinde akıtma sistemleri

EK 2

Arıtma Teknolojileri

Birinci Kademe Arıtma Birimleri

Birinci kademe arıtma birimleri, kaba ve ince ızgara, döner elek, kum tutucu ve ön çöktürmeden oluşmaktadır.

a) Izgaralar

Izgaralar, kaba ızgara ve ince ızgara olmak üzere iki çeşittir. Kaba ızgaralar, arıtma tesisinin en başında ve 40 mm'den iri maddelerin mevcut mekanik ekipmanlara zarar vermemesi ve boru hatlarında tıkanıklık oluşturmaması (çöp, naylon, ahşap malzeme v.b) için tutulması ve uzaklaştırılması için kullanılırlar. Üç değişik tipte inşaa edilirler. Bunlar, sabit çubuk ızgaralar, hareketli bant ızgaralar ve öğütücülerdir. Çubuk ızgaralar, terfi merkezleri girişine yerleştirilirler. Elle veya mekanik temizlemeli olabilirler. Büyük arıtma tesislerinde mekanik, küçük arıtma tesislerinde elle temizlemeli olanlar kullanılabilir.

İnce ızgaraların çubuk aralığı, 5-15 mm mertebesindedir. Bu tip ızgaralar mekanik temizleme mekanizmalarına sahip olup, ızgarada tutulan katı maddeler zaman zaman otomatik olarak temizlenerek katı madde konteynerlerinde depolanır ve daha sonra uygun alanlara dökülür. Döner elek tipi (mikroelekler), çubuk ızgaraya göre çok daha küçük (<1 mm) parçacıkların uzaklaştırılmasında kullanılır. Düz, sepet, kafes ve disk tiplileri vardır. Izgaralar kanaldan çıkartılarak temizlenip yerine takılırlar. Tasarımları ince ızgaralara benzemektedir. Uzaklaştırılacak maddelerin boyutuna bağlı olarak çubuk aralıkları, 3-20 mm arasında olabilir. Öğütücüler, kaba eleklerle birlikte kullanılırlar ve ızgaralarda tutulan katı maddeleri öğütürler. Dönen veya titreşen bir merdane üzerinde kesme dişleri veya doğrama kısımları vardır. Öğütücüler tamamen batmış konumdadır.

İnce ızgaralar, hareketli ve hareketsiz elekler şeklinde olabilir. Hareketsiz veya statik elekler dik, eğik veya yatay olarak monte edilirler. Hareketli elekler, çalışma sırasında sürekli olarak temizlenirler. Her iki tip ince elekte de, % 20-25 oranında askıda katı madde ve BOI_5 giderimi sağlanır. Ayrıca bu sistemlerde, yağ giderimi ve çözünmüş oksijen değerlerinde yükselme sağlanır. Hareketli eleklerde, hareketsiz eleklere kıyasla yük kaybı daha düşük, fakat enerji gereksinimi daha yüksektir. Mekanik düzeneklere sahip ince eleklerde ortaya çıkabilecek arızalara karşı, sistemde elle temizlemeli ızgara da düşünülmelidir. Elle temizlenenler, 1.7 m boyundaki bir adamın boyuna göre, tırmığı rahat çekmesi göz önünde tutularak, yatayla 35 ile 45° açı yapacak şekilde tasarlanabilirler. Mekanik ızgaralar ise 60 ile 80° açı ile düzenlenmektedir. İnce ızgaralarda tırmık sıyırma hızı, 0.10-0.15 m/s alınabilir. Tırmığın bir tur yapması (çalışma devresi), ızgara boyuna bağlı olarak 2 ile 5 dakika arasında değişmektedir. Mekanik temizlemeli ızgaralar genelde üç ana hareket mekanizmasından oluşmaktadır. Bunlar, tırmığı yukarı-aşağı çalıştıran mekanizma, aşağı giderken tırmığı ızgaradan uzaklaştıran mekanizma ve tırmık yukarı çıktığında üstündeki çöpleri konteyner veya banta doğru sıyıran mekanizmadır.

Izgara çubukları arasındaki ortalama su hızı 0.75 m/s, maksimum su hızı 1.25 m/s olmalıdır. Daha büyük hızlar, çöpleri sürükleyeceği için istenmemektedir. Yaklaşım kanalındaki hız ise maksimum debide 1 m/s değerini geçmemesi ve çökelmeye meydan vermeyecek şekilde minimum debide 0.3 m/s değerinden küçük olmaması gerekir. Büyük tesislerde bir tek ızgara kanalı yerine daha fazla ızgara kanalı planlanmalıdır. Izgara kanalının minimum genişliği, 60 cm olmalıdır.

Izgaraların giriş-çıkış su seviyeleri arasındaki fark belirli bir değere (mesela 15-25 cm) ulaştığı zaman temizlenmelidir. Ancak seviye farkı bu değere ulaşıncaya kadar uzun bir süre geçerse, ızgara üzerindeki çöpler kuruyarak otomatik temizleme düzeneğinde soruna yol açabilir. Bu yüzden, ızgaraların temizleyicileri hem seviye farkına hem de zaman aralığına göre devreye girmelidir. Izgaradan geçen her 1000 m^3 evsel atıksu için genelde 0.015 m^3 civarında atık oluşmaktadır. Bir ızgara yapısını projelendirebilmek için, ızgaradan geçeçek pik ve ortalama debiler ile ızgara yapısına giriş yapan atıksu kanalı akar kotunun bilinmesi gerekmektedir.

b) Terfi Merkezi

Terfi merkezleri her ne kadar mekanik arıtma birimi olmasa da, genellikle ızgaralardan sonra uygulandığı için bu bölümde ele alınmıştır. Atıksu terfi merkezi, atıksu, çamur ve arıtılmış suların bir bölgeden başka bir bölgeye pompalar ile nakledilmesi ve yükseltilmesi için inşaa edilmektedir. Bir terfi merkezi, emme haznesi, pompa odası, basma hattı ve kontrol odasından meydana gelmektedir.

Pompalar çalışma prensipleri açısından, kinetik enerjili pompalar ve pozitif yer değiştirmeli pompalar olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Su ve atıksu mühendisliği alanında en çok kullanılan pompalar santrifüj pompalar olup, kinetik enerji pompaları sınıfına girerler. Bu pompaların üç tipi vardır: radyal, karışık ve eksenel akışlı pompalar. Genellikle radyal ve eksen akışlı tipler yaygın olarak kullanılırlar.

Pompa istasyonları ise ıslak ortamlı ve kuru hazneli olmak üzere iki grupta sınıflandırılır. Islak hazneli pompalar, düşey milli ve dalgıç pompalardır. Islak hazneli düşey milli pompalarda, motor ıslak hazne sıvı seviyesinin üstünde monte edilir, fakat pompa batmış olarak kalmaktadır. Dalgıç pompalar sıvı içinde çalışmaya uygun, özel izolasyonlu entegre motorludur. Kuru hazneli terfi merkezleri, kuru tip veya kendinden emişli santrifüj pompalardır. Pozitif emmenin mümkün olabilmesi için pompa ekseni ıslak taraftaki suyun alt seviyesi hizasında olmalıdır. Diğer bir alternatif de pompanın bir kademe teşkili sonucu ıslak bölümün içinde olmasıdır.

Pompalar için en önemli kavramlar, kapasite (debi), manometrik yükseklik (basma yüksekliği), verim, güç ve kavitasyondur.

Bir pompanın kapasitesi (debi), birim zamanda pompaladığı suyun hacmidir. Manometrik yükseklik, bir referans düzlemine göre suyun kazandığı yükseklik veya birim ağırlıktaki sıvının pompa girişi ile çıkışı arasında kazandığı enerjidir. Bir pompanın manometrik yüksekliği (H_m), statik emme ve basma yükseklikleri, sürekli yük (sürtünme) kayıpları, yersel yük kayıpları ve hız yükseklikleri toplamına eşittir. Statik emme yüksekliği, sıvı emme seviyesi ile pompa çarkının merkezi arasındaki seviye farkıdır. Statik basma (deşarj) yüksekliği, sıvının boşaldığı depodaki su seviyesi ile pompa çarkı ekseni arasındaki yükseklik farkıdır. Statik yükseklik, statik basınç yüksekliği ile statik emme yüksekliği arasındaki yükseklik farkıdır. Boru sistemleri boyunca sıvının sürtünme sonucu kaybettiği enerjiye sürtünme kayıpları adı verilir. Hız yüksekliği, pompalanan (terfi edilen) sıvının herhangi bir noktasındaki kinetik enerjisidir. Yersel yük kaybı, bağlantı elemanları ve vanalardaki yük kaybını karşılamak için gerekli basınç yüksekliğidir.

Pompalarda enerji (güç) gereksinimi, Q, gerekli pompa debisi (m^3/s), η, pompa verimi (%), ρ, pompalanacak sıvının yoğunluğu (kg/m^3), H_m, toplam terfi yüksekliği ve g, yerçekimi ivmesi (m/s^2) ne bağlıdır.

Bir pompanın, verilen bir basma yüksekliği ve verimde çalışabildiği kapasitesi, pompanın performansı olarak belirtilmektedir. Pompanın kapasitesi, dizaynının bir fonksiyonu olup bununla ilgili bilgiler, belirli bir pompa için pompa üreticileri tarafından verilmektedir. Pompa verimi (η_p), pompanın faydalı çıkış gücünün, pompaya giren güce oranı olarak tarif edilmektedir.

Santrifüj pompaların verimi genellikle 0.60 – 0.85 arasında değişmektedir. Bir pompadaki enerji kayıpları, hacimsel, mekanik ve hidrolik olarak sınıflandırılmaktadır. Hacimsel kayıplar, pompa gövdesi ile dönen çark arasındaki gerekli aralıklardan sızmalar sebebiyle olmaktadır. Mekanik kayıplar, yataklardaki sürtünmeler, iç disk sürtünmesi ve akışkanın kayma gerilmeleri sebebiyle meydana gelmektedir. Hidrolik kayıplar ise akış yollarındaki sürtünme ve çevrinti kayıpları olarak göz önüne alınabilmektedir.

Pompaların kullanılmasında karşılaşılan en önemli problemlerden birisi kavitasyondur. Sıvı akımındaki basınç, buhar basıncı değerinin altına düştüğü ve buhar ceplerinin oluşmaya başladığı zaman kavitasyon meydana gelmektedir. Bunun sonucu verim ve kapasite düşmekte, pompa aşırı derecede titreşim yapmakta ve zarar görmektedir.

Sürtünme ve yersel yük kayıpları toplamı, sistemin toplam yük kaybı olarak adlandırılmaktadır. Bu değer, iletilen debinin (Q) bir fonksiyonudur. Sistem yükü ile debi arasındaki münasebeti gösteren eğriye, boru hattı karakteristik eğrisi adı verilmektedir. Sabit devir sayısında çalışan bir santrifüj pompanın ürettiği yük (h_p) ile debi (Q) arasındaki münasebet pompa karakteristik eğrisi veya kısaca pompa eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Bu iki eğrinin kesim noktası gerçek işletme noktasını göstermektedir.

Pompa grupları farklı debi ve basma yüksekliklerinde çalıştırılabilirler. Belirli bir verim değerinde çalıştırılmak üzere pompaların paralel ya da seri olarak bağlanması gerekmektedir. Ayrıca, pompa motorları kademeli veya değişken hızlı motorlar olarak da çalıştırılabilmektedir.

Pompa emme haznesi, pompanın çalışma ve durma seviyeleri arasındaki su hacmidir. Bu hacim, pompanın çalışma peryodu T'ye (ve çalışma sıklığı (şalt sayısı), i'ye, i=1/T), pompanın kapasitesine (Q) bağlıdır. Gerekli hazne hacmi, debinin 4i'ye oranı şeklinde ifade edilmektedir. Şalt sayısı, i, büyük tesislerde 6-8, orta büyüklükteki tesislerde (fabrika, kasaba vb) 8-15 ve küçük tesislerde 15-30 arası alınabilir.

Terfi merkezlerinde dikkat edilmesi gereken önemli hususlar aşağıda belirtilmiştir:

1) Elektrik kesintileri ve pompaların arızalı olduğu zamanlarda emme haznesi dolmakta ve atıksu geri tepebilmektedir. Bu durumlarda atıksuyun geri tepmesini önlemek üzere, uygun kottan bir tahliye (dolu savak) yapılmalıdır. Mümkün mertebe, yedek enerji imkanları sağlanmalıdır.
2) Terfi merkezi projelendirilirken, gelecekte konulması muhtemel pompalar içinde yer ayrılmalıdır.
3) Çalışanların emniyeti için pompa istasyonlarında uygun havalandırma sağlanmalıdır. Emme haznesinde de mutlaka hava bacası bulunmalıdır.

c) Dengeleme Havuzu

Arıtma arıtma tesislerinde dengelemenin amacı, atıksu karakteristiklerindeki değişiklikleri minimize ederek, arıtma kademelerinde optimum şartları sağlamaktır. Dengeleme ünitesinin boyutu ve tipi, atıksuyun miktarı ve değişimi ile ilgilidir. Dengeleme tankı, atıksu debisindeki farklılıkları ve üretimden dolayı zaman zaman atılan veya istemeyerek dökülen bazı konsantre atıksu akımlarını biriktirebilecek boyutta tasarlanmalıdır. Dengeleme ünitesinde, konsantrasyonun dengelenmesi ve çökelmenin önlenmesi amacıyla karıştırma uygulanır. Buna ilaveten karıştırma ve havalandırma ile yükseltgenebilen maddelerin ve BOI'nin kısmi oksidasyonu da gerçekleşmektedir. Dengeleme havuzlarında atıksu bileşiminin homojen hale getirilmesi ve katı maddelerin çökelmesinin engellenmesi için karıştırma işlemi uygulanabilir. Dengeleme tanklarında karıştırma, giriş akımının dağıtımı ve perdeleme, türbinlerle karıştırma, difüzörle havalandırma ve mekanik havalandırıcılarla havalandırma gibi tekniklerle yapılmaktadır. Atıksu debisi gözönüne alındığında, dengeleme havuzlarının hacimlerine günlük maksimum ve minimum atıksu debilerini dengeleyecek şekilde karar verilir. Bunun dışında dengeleme havuzları özellikle Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) gibi kesikli çalışan sistemlerin uygun işletilmesinde de kullanılabilir.

Debi dengelenmesinde gerekli hacim, toplam akış hacminin zamana karşı çizilmesi ile hesaplanır. Aynı diyagrama ortalama günlük debide (orijin ile son noktanın birleştirildiği düz çizgi) çizilir. Kütle akış eğrisine teğet, ortalama günlük debi eğrisine paralel bir doğru çizilir. Gerekli dengeleme hacmi, teğet çizilen noktanın ortalama günlük debi doğrusuna dik doğrultudaki uzaklığıdır. Eğer debi grafiği, ortalama akış hızı doğrusunun üstüne çıkıyorsa gerekli dengeleme hacmi, iki teğet doğru arasındaki dik uzaklıktır. Uygulamada dengeleme tankı hacmi teorik olarak hesaplanan değerden daha büyük tutulur. Genellikle, bekletme süresi 4 ile 8 saat arasında olacak şekilde bir bekletme süresi seçilir. Bu süre bazı durumlarda 12 saat, hatta daha fazla olabilir.

Dengeleme tankının kum tutucudan sonra, biyolojik arıtmadan önce bir yerde olması uygundur. Dengeleme, çamur ve köpük problemlerini azaltmaktadır. İlk çöktürmeden ve biyolojik arıtmadan önce yapılacak dengeleme ünitelerinde, katı maddelerin çökmesini ve konsantrasyon dalgalanmalarını önlemek için yeterli karışım, koku problemine karşı da yeterli havalandırma

sağlanmalıdır. Karıştırma, tank içeriğinin karışmasını sağlamak ve tankta katıların çökmesini önleyecek düzeyde olmalıdır. 220 mg/L askıda katı madde içeren orta kuvvette bir evsel atıksu için karıştırma gereksinimi, 4-8 W/m^3 dür. Havalı şartları korumak için de 0.01-0.015 m^3/m^3.dk debide hava verilmelidir. Ön çöktürme sonrası ve kısa kalma süreli (iki saatten daha az) dengelemede havalandırma gerekmeyebilir. Girişte terfi merkezi bulunması durumunda ise emme haznesi dengeleme havuzu olarak teşkil edilebilmektedir.

Dengeleme tankı inşasında dikkate alınacak hususlar, inşaatın yapıldığı malzeme, tank şekli ve teçhizattır. Mevcut bir havuz kullanılacaksa gerekli değişiklikler yapılır. Genellikle borulama ve yapısal değişiklikler gerekmektedir. Dengeleme havuzları toprak, beton veya çelikten inşa edilebilir. Toprak havuzların maliyeti daha düşüktür. Yerel şartlara bağlı olarak şev eğimi 3:1 ve 2:1 olmalıdır. Yeraltı suyu kirliliğini önlemek için havuz geçirimsiz bir malzeme ile kaplanabilir. Havasız şartların oluşmasını önlemek için ise difüzörler veya yüzer havalandırıcılar ile havalandırma yapılabilir.

ç) Kum Tutucu

Kum tutucular, kum, çakıl gibi inorganik maddeleri atıksudan ayırmak, arıtma tesislerindeki pompa ve benzeri teçhizatın aşınmasına ve çöktürme havuzlarında tıkanma tehlikesine engel olabilmek, hareketli mekanik ekipmanın aşınmasını önlemek, boru ve kanallarda birikintileri engellemek ve kum birikiminden dolayı çamur çürütücünün temizlenme periyodunu azaltmak amaçları için kullanılır. Bu çeşit maddeler genellikle, yağmur suları ile sürüklenerek kanalizasyon sistemlerine karışmaktadır. Kum tutucularda sadece, inorganik malzemelerin çökelmesi istenir. Çökelmesi halinde koku problemine sebep olabilecek organik maddelerin çökelmesi istenmez. Özellikle, yoğunluğu 2650 kg/m^3 ve tane çapları 0.1-0.2 mm'den daha büyük olan inorganik maddelerin tam olarak tutulmasını sağlamak için kullanılır. Kum tutucular genellikle kaba ızgaradan sonra ilk çöktürmeden önce teşkil edilirler.

Kum tutucuların, istenen büyüklükteki katı maddeler tutulacak, arzu edilmediği halde tabana çökelen daha küçük çaplı katı maddeler ve organik maddelerin tekrar suya karışımı sağlanacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir. Bunun için yatay akış hızı belli bir değerin altına düşürülmemelidir. Yatay akış hızı 0.25-0.4 m/s (ortalama 0.3 m/s) olup, kum tutucuların boyutlandırılmasında kullanılan en önemli parametredir. Bu akış hızı organik maddelerin çökelmeden kum tutuculardan dışarıya atılmasını temin etmektedir. Kum tutucuların boyutlandırılmasında kullanılan ikinci önemli parametre, yüzey yüküdür. 0.1 mm ve daha büyük çaptaki daneciklerin çöktürülmesi için yüzey yükü, 24 m/sa değerinin altında olmalıdır.

Kum tutucular, yatay akışlı dikdörtgen planlı, havalandırmalı, daire planlı ve düşey akımlı olarak sınıflandırılmışlardır. Yatay akışlı kum tutucular uzun havuzlardan ibarettir. Küçük tesislerde kum temizleme el ile mümkündür. Bu durumlarda temizlenecek olan havuz devre dışı kalacağı için en az iki gözlü olarak boyutlandırılması gerekmektedir. Büyük tesislerde mekanik temizleme ekipmanının teçhiz edilmesi gerekmektedir. Yatay akışlı kum tutucular için projelendirme kriterleri Tablo E2.1'de verilmiştir.

Tablo E2.1 Yatay akışlı kum tutucuların tasarım kriterleri

Parametre	Değer	
	Aralık	Ortalama
Hidrolik bekletme süresi, sn	45-90	60
Yatay hız, m/s	0.24-0.40	0.30
Çökelme hızı:		
65 no.lu elekten geçen madde, m/dk	0.98-1.28	1.16
100 no.lu elekten geçen madde, m/dk	0.61-0.91	0.76

Havalandırmalı kum tutucularda, havalandırma basınçlı havalandırma ile yapılmaktadır. Saatlik pik debilerde, 0.2 mm boyutundaki partikülleri, 2-5 dakikalık kalma süresinde gidermek üzere tasarlanırlar. Havalandırma difüzörleri, kum tutucu havuz tabanının 0.45-0.60 m yukarısına yerleştirilir. Endüstriyel atıksuların da karıştırıldığı kentsel atıksuların, havalandırmalı kum

tutuculardа arıtımında, havalandırmadan dolayı UOK (Uçucu Organik Karbon) oluşumu dikkate alınmalıdır. UOK oluşumu, arıtma tesisi işletmecileri açısından sağlık riski taşımaktadır. Eğer, UOK oluşumu önemli miktarlarda ise kum tutucu üzeri kapatılmalı veya havalandırmasız kum tutucular tercih edilmelidir. Havalandırmalı kum tutucular spiral akışlı havalandırma tankından oluşur. Spiral hız, tank boyu ve verilen hava miktarı ile kontrol edilir. Havalandırmalı kum tutucular için projelendirme kriterleri, Tablo E2.2'de verilmiştir.

Tablo E2.2. Havalandırmalı kum tutucularda tasarım kriterleri

Parametre	**Değer**	
	Aralık	**Ortalama**
Pik debide hidrolik bekletme süresi, dk	2-5	3
Boyutlar:		
Derinlik, m	2-4	3
Uzunluk, m	7.5-40	20
Genişlik, m	2.5-7	5
Genişlik-derinlik oranı	1:1-5:1	1.5:1
Uzunluk-genişlik oranı	3:1-5:1	4:1
Verilecek hava, m^3/dk.m uzunluk	0.19-0.46	
Tutulan kum miktarı, $m^3/10^3.m^3$	0.004-0.2	0.015

Daire planlı kum tutucular, giriş ve çıkışı ayarlamak sureti ile akıma dairesel bir yörüngenin verildiği kum tutuculardır. Kumlar, merkezkaç kuvvetinin etkisi ile merkezdeki kum bölmesinde birikirler. Atıksu teğetsel olarak giriş yaparak girdap oluşturur. Santrifüj ve yerçekimi kuvvetleri kumun çökmesine neden olur. Dairesel kum tutucunun boyutlandırılması, yüzey yükünün seçilmesi sureti ile gerçekleştirilir. Yüzey yükü olarak, 24 m^3/m^2.sa alınması tavsiye edilmektedir. Pik debide hidrolik bekletme süresi 30 s alınabilir. Çapı, 1.5 ile 7 m aralığında, yüksekliği ise 3 ile 4.5 m aralığında seçilebilir.

Kum tutucularda tutulan kum miktarı, kanalizasyon sistemine, yolların buzlanmaya karşı ne sıklıkta kumlandığına, endüstriyel atıksu türüne, mutfak öğütücüsü kullanım oranına, yöredeki kumlu toprak miktarı gibi faktörlere bağlı olarak, 0.004-0.21 $m^3/10^3$ m^3 aralığında değişmektedir. Kişi başına ise günlük, 5 ile 15 g arasında kumun oluştuğu belirtilmektedir. Kum tutucularda toplanan kum, kireçle stabilize edilip düzenli çöp depolama alanlarında bertaraf edilebilir. Kum tutucu tabanında biriken maddeler az da olsa bir miktar organik madde ve patojen mikroorganizma ihtiva ettiğinden bunların gelişigüzel atılmaları sakıncalıdır. Bunlar da ızgara atıklarında olduğu gibi evsel katı atıklarla beraber bertaraf edilebilirler. Kum tutucularda toplanan kum ve çakıl, büyük tesislerde basınçlı hava ile çalışan pompalar veya bantlı, kovalı ve helezonlu mekanizmalar ile sürekli olarak, küçük tesislerde ise el ile zaman zaman temizlenirler.

Kum tutucularda hızı kontrol etmek için debi kontrol birimleri teşkil edilmelidir. Bunlar, parshal savakları, dikdörtgen savak veya orantılı akım savağı olabilir.

d) Yağ ve Gres Tutucu

Atıksuda bulunan ve yoğunluğu sudan küçük olan yağ, gres, solvent ve benzeri yüzer maddeleri sudan ayırmak için yağ tutucular kullanılır. Evsel atıksu arıtma tesislerinde yağlar, ön çöktürme havuzu yüzeyindeki yağ sıyırıcılar ile uzaklaştırılırlar. Bu nedenle ön çöktürme havuzlarında, köpük ve yağ toplama tertibatı teşkil edilebilir. Ön çöktürme havuzunun olmaması veya bu gibi maddelerin oranının çok yüksek olması halinde, gerek bu maddeleri geri kazanmak, gerekse arıtma verimini yükseltmek amacıyla yağ tutucular yapılmalıdır.

Yağ tutucuda serbest yağ tankın yüzeyine toplanır ve daha sonra sıyırma ile ortamdan uzaklaştırılır. Yağ tutucu tasarımı, yoğunlukları 0.80 g/cm^3 ve çapı 0.015 cm'den büyük serbest yağ taneciklerinin giderilmesi esasına dayanmaktadır.

Yağ tutucu verimini artırmak için havuz içerisine plakalar da yerleştirilebilir. Plakalı yağ tutucu, paralel ve oluklu levhalardan oluşur ve 0.006 cm'den büyük yağ damlacıklarını ayırmak için tasarlanırlar. Burada problem, yüksek yağ yüklemelerinde, yağ taneciğinin kesme kuvvetinden dolayı arıtma veriminin düşmesidir. Bu durumda atıksu girişi, plakanın tersi yönünde yapılmalıdır. Böylece ayrılan yağ tanecikleri akışa ters yönde hareket ederek yükselir (burada levhalar 45° açılı ve 10 cm aralıklı yerleştirilir). Hidrolik yük, sıcaklık ve yağın özgül ağırlığı ile değişmektedir. Yağ, 20 °C sıcaklık ve 0.9 g/cm^3 özgül ağırlığında en düşük debiye sahiptir. 0.5 m^3/m^2.sa'lik hidrolik yüklemelerde, 0.006 cm boyutundaki yağ damlacıkları tutulabilmektedir. Tasarımda belirlenen büyüklük, % 50 emniyet faktörü ile büyütülmelidir.

Emülsifiye yağ, ortamda kolloidal halde bulunan yağdır. Emülsifiye yağın uzaklaştırılması için serbest forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Yağın serbest forma dönüşmesi için ise asit ilavesi yapılmakta veya emülsiyon kırıcı polimerler kullanılmaktadır. Daha sonra serbest yağ, yüzdürme ile yüzeyden alınmaktadır. Emülsiyon halindeki yağı ayırmak için ise kabarcıklı ya da çözünmüş hava ile yüzdürme üniteleri kullanılır. Yüzebilenler dışındaki diğer katı maddelerin tabana çökelmeleri söz konusu olduğunda yağ tutucular, çamur depolama hazneli olarak yapılırlar ve çökelen çamur ile yüzen maddelerin kolayca alınabilecekleri bir düzende inşa edilirler. Kentsel atıksu arıtma tesisleri için en uygun çözüm (özellikle ön çöktürme havuzunun olmadığı hallerde), kum tutucu ile yağ tutucunun aynı havuz içerisinde yapılmasıdır. Yüzeyden alınan yağlar, yakma ve geri kazanma tesislerine iletilebilirler.

e) Ön Çöktürme Havuzu

Ön çöktürme, çökelebilme özelliğine sahip organik ve inorganik yapıda askıda katı maddelerin yerçekimi etkisiyle sudan ayrılması işlemidir. Ön çöktürme havuzları, ızgara ve kum tutuculardan sonra inşaa edilir. Ön çöktürme işlemini takip eden diğer arıtma ünitelerinin organik madde ve katı madde yükleri azaltılmış olmaktadır. Ham atıksuyun içindeki çökelebilen maddeler, yüksek yoğunlukta ön çöktürme çamuru olarak uzaklaştırılır. Önçöktürme havuzunda askıda katı madde giderme verimi bekletme süresi ve yüzey yükünün bir fonksiyonudur.

Atıksuda organik madde, etkin bir biyolojik azot ve fosfor giderimi için istenmektedir. Özellikle biyolojik nütrient giderimi için tasarlanan aktif çamur sistemlerinde ön çöktürme tanklarının projelendirilmesi aşamasında organik madde gideriminin tesisin çıkıştaki azot ve fosfor standardının sağlanmasındaki olası olumsuz etkileri de tahkik edilmelidir. Ön çöktürme çamurları organik madde içeriği zengin olduğundan yoğunlaştırma aşamasından sonra çamur stabilizasyon işlemine (havasız, havalı vb.) tabi tutulması gerekmektedir. Özellikle eşdeğer nüfusu büyük olan yerleşimler için ön çöktürme çamurunun havasız stabilizasyonundan elde edilen biyogaz ile enerji geri kazanımı ekonomik bir çözüm olabilmektedir.

Ön çöktürme havuzlarında ham atıksu kalitesi ve debisi dengelenmektedir. Ön çöktürme havuzunun yapılıp yapılmayacağı, KOİ/TKN oranına bağlıdır. KOİ/TKN oranı 7'nin üzerinde ise genellikle ön çöktürme havuzu yapılmakta, 7'den düşük ise gerekmemektedir. Bir diğer kriter debidir. Ön çöktürme tankları genellikle büyük kapasiteli (>3800 m^3/gün) atıksu arıtma tesislerinde kurulur. Daha küçük tesislerde, ikinci kademe arıtma ünitesi tüm yükü kaldırabilecekse ve köpük, yağ ve yüzen katılar işletme problemi yaratmayacaksa (kum tutucuda giderilebilecekse) ön çöktürme ünitesi kurulmaz. Damlatmalı filtre, döner biyolojik disk ve batmış biyolojik reaktör gibi ikinci kademe arıtma üniteleri mevcutsa, ekipmanın zarar görmemesi için mutlaka sistemin önüne ön çöktürme havuzu konulmalıdır.

Ön çöktürme havuzunda, AKM giderimi % 50-65'ler, BOİ giderimi ise % 25-40 seviyelerinde olmaktadır. Böylece biyolojik arıtma ünitesinde arıtılacak organik yük azaltılmış olmaktadır. Organik yükteki azalma, biyolojik arıtma ünitesinde sisteme verilmesi gereken oksijen miktarının azalmasına, dolayısı ile enerji gereksiniminin ve oluşan fazla aktif çamur miktarının azalmasına neden olmaktadır. Ham atıksudaki köpüğün giderilmesi ile havalandırma ve çöktürme havuzlarında köpük oluşumu azalmaktadır. Ön çöktürme tankına kimyasal ilavesi yapılırsa arıtım oranları yükselmektedir. Çöktürme tankında hidrolik kısa devreler, atıksu debisindeki aşırı değişiklikler, çok yüksek ya da

düşük atıksu sıcaklıkları ile yüksek geri devir oranları, BOI_5 ve askıda katı madde giderimlerinin tipik değerlerin altına düşmesine neden olmaktadır.

Ön çöktürme tanklarının tipleri, yatay akışlı, katı madde temaslı veya eğri yüzeyli olabilmektedir. Yatay akışlı havuzların üstünlüğü, daha az yer kaplaması, birden fazla ünite halinde olabilmesi suretiyle üniteler arasında aynı duvar kullanılarak ekonomi sağlanması, koku kontrolünün daha kolay olması, daha uzun çökelme zamanı, giriş-çıkış yapılarındaki kayıpların az olması ve çamur toplama için daha az enerji harcanmasıdır. Mahzurları ise ölü bölgelerin oluşabilmesi, debi değişimlerine hassas olması, çamur toplama ekipmanı için genişliğin kısıtlayıcı faktör olması, savak yükünü azaltmak için birden fazla savak yapılması ve yüksek bakım masraflarıdır. Yatay akışlı havuzlar dairesel veya dikdörtgen planlı yapılabilmektedir.

Dairesel ön çöktürme tanklarında besleme merkezden yapılmaktadır. Atıksu merkezden çevreye doğru hareket etmekte ve dış çevre boyunca uzanan savaktan çıkış yapmaktadır. Çöken çamur, sıyırıcılarla merkeze doğru itilmektedir. Üstte toplanan yüzer maddeler ise döner sıyırıcı ile toplanarak bir haznede biriktirilmektedir. Dikdörtgen planlı ön çöktürme tanklarında atıksu beslemesi bir uçtan yapılmakta, atıksu uzun kenar boyunca hareket ederek diğer uçtan tankı terk etmektedir. Dikdörtgen ve dairesel ön çöktürme havuzlarının projelendirme kriterleri Tablo E2.3'de verilmiştir.

Tablo E2.3 Dikdörtgen ve dairesel planlı ön çöktürme havuzları projelendirme kriterleri

	Aralık	Ortalama
Dikdörtgen		
Derinlik, m	3-4.5	3.7
Uzunluk, m	15-90	24-40
Genişlik, m	3-24	5-10
Sıyırıcı hızı, m/dk	0.6-1.2	0.9
Dairesel		
Derinlik, m	3-4.5	3.7
Çap, m	3-60	12-45
Taban eğimi, mm/m	62-167	83
Sıyırıcı devir sayısı, dev/dk	0.02-0.05	0.03

Katı madde temaslı ön çöktürme havuzlarında, katı maddeler yükselerek çamur örtüsü oluştururlar ve gelen katı maddeler burada birleşerek tutunurlar. Sıvı faz ise yükselerek savaklara doğru ilerler. Aynı giderme verimindeki yataş akışlı ön çöktürme tanklarına göre daha iyi hidrolik performans gösterirler. Dairesel ya da dikdörtgen planlı olarak tasarlanırlar. Septik koşullar oluşturduğundan biyolojik çamurlar için kullanılması uygun değildir.

Plakalı (lamelli) ön çöktürme havuzlarında, plaka yüzeyleri çok daha kısa çökelme zamanı sağladığı için verimlidir. Yaygın olarak aşırı yüklü ilk ve son çöktürme tanklarının yenilenmesi/geliştirilmesi için kullanılırlar. Lameller, tüp şeklindeki yapı veya plakalar ile sağlanabilmektedir. Böylelikle tank hacmi küçülmektedir. Bu şekilde daha az rüzgar etkisi olmakta ve laminer akım oluşmaktadır. Lamelli çöktürmenin dezavantajı ise septik koşulların oluşabilmesi ve tüplerin ya da kanalların tıkanması riskidir.

Ön çöktürme havuzlarının hesabı, yüzey yükü, bekletme süresi ve derinliğe bağlıdır. Boyutlandırılmalarında kullanılan en önemli parametre yüzey yüküdür. Ayrıca, iyi bir performans elde etmek için tank derinliği, bekletme süresi, çamur sıyırıcı taşıma kapasitesi gibi parametrelerin de dikkate alınması gerekmektedir. Yüzey yükü ortalama debide, 33 ile 49 m^3/m^2.gün ve pik debide ise 81 ile 122 m^3/m^2.gün aralığında tutulur. Savak yükü ise 124 ile 496 m^3/m/gün aralığında alınır. Savak yükünün ön çöktürme tankı performansına etkisi çok azdır. Aşırı su hızını önlemek üzere uygun tank derinliği ve çıkış suyu olukları arasında yeterli mesafenin temini önerilmektedir. Böylece dipte toplanan çamurun hareketlenip çıkış suyu ile savaktan sürüklenmesi önlenmiş olmaktadır. Ortalama tasarım debisinde bekleme süresi 2.5 saati geçmemelidir. Uzun kalma sürelerinde septik şartlar oluşmakta, bu da çöktürme tankı performansının düşmesine (havasız çürüme şartlarında oluşan gazlar

çamurun çökmesini engellemekte) ve koku oluşmasına sebep olmaktadır (havasız çürüme sırasında çıkan gazlar). Çamurun uzun süre bekletilmesi de çöken organik katıların çözünmesine neden olmakta, bu da takip eden arıtma üniteleri için daha yüksek organik yüklemeye sebep olmaktadır. Düzgün tasarlanmış çamur toplama üniteleri, toplanan çamurun uygun sürede nakli ile tankın dibinde çamur birikimini önleyebilmektedir. Çamur kalınlığı, septik şartların oluşumunu ve uzun çamur bekleme süresini önlemek üzere minimize edilmelidir.

Çöktürme işlemlerinde çöken çamurun akışkan tarafından sürüklenmemesi için yatay hız büyük önem taşımaktadır. Yatay hızın belirli bir değerden büyük olması durumunda çöktürme tankı tabanında birikmiş çamurun sürüklenme riski vardır. Ön çöktürme havuzları dikdörtgen ve dairesel planlı olarak projelendirilir. Suyun üniform dağıtımını ve akımını sağlayacak şekilde giriş-çıkış savak yapıları ile donatılmaları gerekmektedir. Yüzeydeki köpük ve tabandaki çamur birikintilerinin uzaklaştırılması için uygun bir yüzey ve taban sıyırma tertibatı bulunmalıdır. Çamur haznesinin büyüklüğü, çamurun özelliklerine ve çamur boşaltma aralıklarına uygun olmalıdır.

Biyoloijk Arıtma Birimleri

Biyolojik arıtma, atıksuda bulunan organik kirleticilerin, mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılmak suretiyle atıksudan uzaklaştırılmaları esasına dayanmaktadır. Biyokimyasal süreçlerin sonunda, ayrışabilen organik madde elektron verip yükseltgenerek (oksitlenme) kararlı son ürün olan CO_2 ve H_2O'ya dönüşmektedir. Dolayısı ile ayrışabilen organik maddelerin bir kısmı biyokütleye, diğer kısmı ise enerjiye çevrilmektedir.

Biyolojik arıtmada kullanılan en yaygın yöntem aktif çamur sistemleridir. Bu sistem organik kirliliğin, askıda tutulan mikroorganizmalar (heterotrofik bakteriler) yardımıyla giderildiği bir arıtma metodudur.

Deşarj standartlarına bağlı olarak aktif çamur sistemleri karbonlu organik madde giderimi ve nitrifikasyon, denitrifikasyon; aşırı biyolojik fosfor giderimi için uygun reaktör konfigürasyonları ile etkin olarak çalıştırılabilir ve proses şartlarına bağlı olarak aktif çamur reaktörü havalı, anoksik ve havasız şartlarda olabilir. Son çöktürme tankında çökelen çamur aktif çamur havuzuna geri devrettirilmek sureti ile uygun biyokütle konsantrasyonu sağlanmış olur. Öngörülen biyokütle miktarından fazlası ise fazla çamur olarak sistemden atılır.

Havalı prosesler oksijenli ortamda organik madde giderimi ve/veya nitrifikasyon prosesleri için kullanılmaktadır. Nitrifikasyon prosesinde ototrof bakteriler amonyum azotunu oksijenli ortamda nitrata kadar yükseltgemektedir. Bu prosesler, mikroorganizmaların konumuna göre askıda çoğalma, yüzeyde çoğalma ve ikisinin birlikte uygulandığı kombine sistemler olarak sınıflandırılır. Birden fazla prosesin ardarda kullanıldığı ardışık sistemler de mevcuttur.

Askıda, yüzeyde ve her ikisininde gerçekleştiği büyüme olmak üzere üç değişik şekilde olmaktadır.

a) Askıda Büyüyen Sistemler

Askıda büyüyen sistemler, Aktif çamur havuzu içindeki biyokütlenin havalandırma ya da mekanik karıştırma ile askıda tutulması ve atıksu ile homojen karıştırılarak uygun koşullarda istenilen reaksiyonların oluşturulması esasına dayanmaktadır. Bu amaçla, genellikle difüzörler veya yüzeysel havalandırıcıların kullanımı oksijen transferi ve tam karışımın sağlanması açısından yeterli olmaktadır. Havalandırma havuzuna oksijen transferi günlük ve mevsimlik ihtiyacı karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.

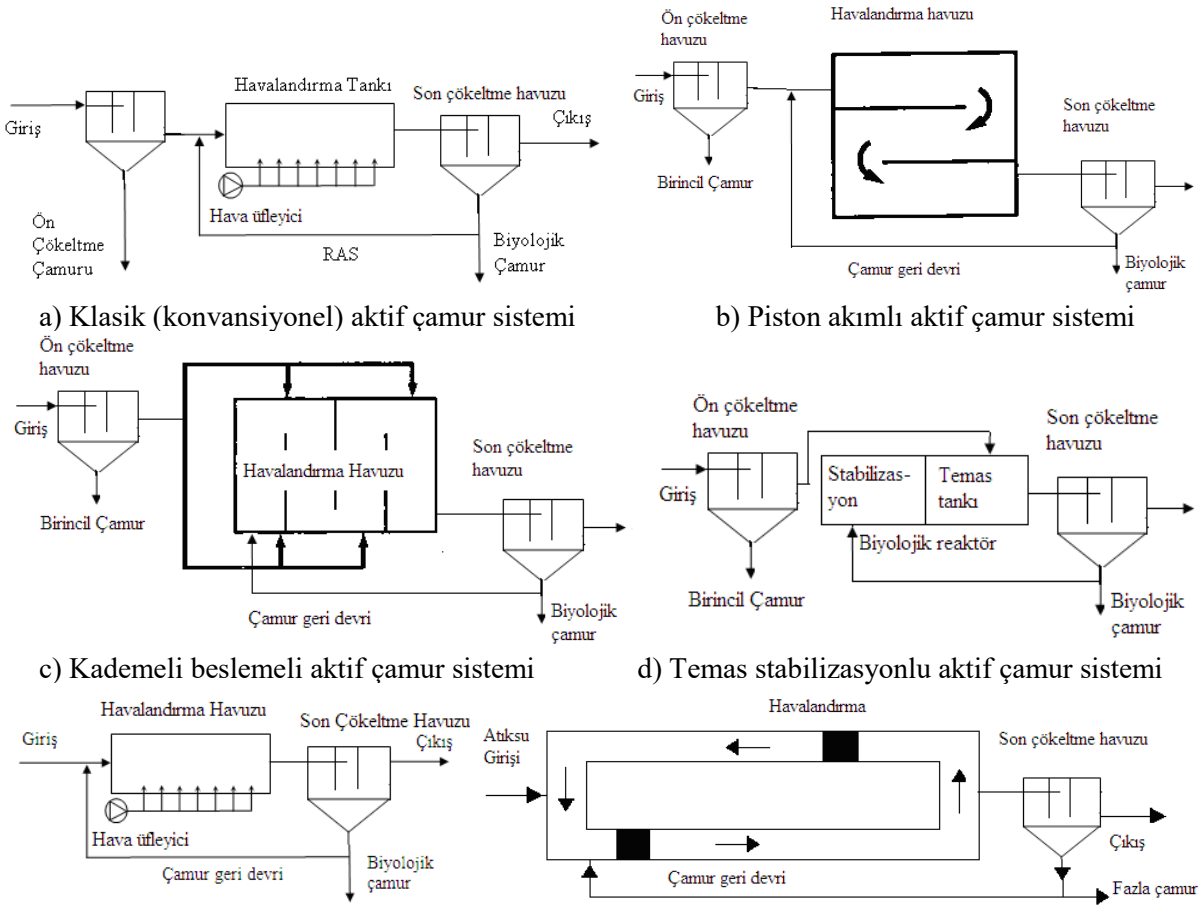
Tam karışımlı veya piston akımlı reaktör olarak projelendirilebilen aktif çamur havuzlarında atıksu, havalandırma havuzundan sonra son çöktürme havuzuna yönlendirilir. Son çöktürme tanklarında yerçekimi etkisi ile arıtılmış su biyokütleden ayrılarak sonraki arıtma ünitelerine (dezenfeksiyon, filtrasyon vb.) iletilir veya deşarj edilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, havalı aktif çamur tanklarında sadece organik madde ve amonyum azotu gideriminin (nitrat azotuna

çevrilmesi) sağlanmasıdır.

Askıda çoğalan aktif çamur sistemleri organik madde giderimi ve nitrifikasyon prosesi, sistemin (havalı) çamur yaşına bağlıdır. Organik madde giderimi yapan heterotrofik bakteriler, nitrifikasyonu sağlayan ototrofik bakterilere göre daha az hassastır. Dolayısı ile normal şartlarda, nitrifikasyonun sağlandığı koşullarda organik madde giderimi de sağlanmaktadır. Öncelikle, nitrifikasyon prosesi için gerekli olan (havalı) çamur yaşı soğuk hava şartları gözönüne alınarak hesaplanmalı ve reaktör hacmi buna göre hesaplanmalıdır. Pratikte nitrifikasyon karbonlu organik maddenin giderilmesi için kullanılan reaktörde gerçekleştirilebileceği gibi, ayrı bir reaktörde de sağlanabilmektedir. Nitrifikasyon prosesinde 1 gram amonyum azotunun (NH_4-N) oksitlenmesi sonucu 7.14 gram $CaCO_3$ alkalinitesi tüketilmektedir. Dolayısı ile nitrifikasyon prosesi için atıksudaki alkalinitenin kontrol edilmesi gerekmektedir. Çamur yaşının belirli seviyede seçilmesi ile ($\theta_c \leq$ 10 gün) sadece organik karbon giderimi de sağlanabilir.

Biyolojik çamurun stabilizasyonu, reaktörün içinde yani yüksek çamur yaşlarında uzun havalandırma yöntemine göre işletilmesi veya oluşan fazla çamurun reaktör dışında seçilen bir çamur stabilizasyon prosesi ile sağlanmaktadır. Arıtma tesisi tasarımı aşamasında tesisinin tümünün ele alınarak ilgili tasarım parametreleri açısından kütle dengesinin oluşturulması gerekmektedir.

Aktif çamur sistemlerinin çeşitli konfigürasyonları Şekil E2.1'de verilmiştir. Tablo E2.4'de, karbon giderimi yapan aktif çamur prosesleri için tasarım parametreleri verilmiştir.



a) Klasik (konvansiyonel) aktif çamur sistemi

b) Piston akımlı aktif çamur sistemi

c) Kademeli beslemeli aktif çamur sistemi

d) Temas stabilizasyonlu aktif çamur sistemi

d) Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi

e) Oksidasyon Hendeği

Şekil E2.1 Aktif çamur sistemlerinin çeşitli konfigürasyonları

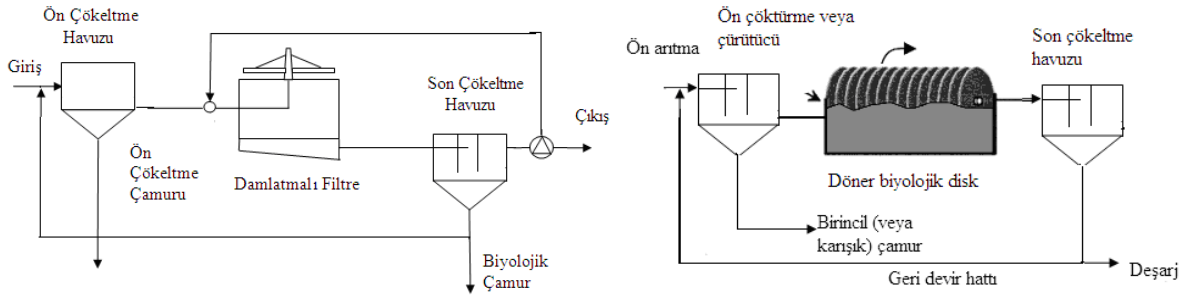
Tablo E2.4 Aktif çamur prosesleri için tasarım parametreleri

Proses çeşitleri	θ_c, gün	F/M, kg BOI/kgTAKM.g	kg BOI_5/ m^3.g	TAKM, mg/L	t=V/Q, saat	Q_r/Q
Klasik	5-15	0.2-0.4	0.32-0.64	1500-3000	4-8	0.25-0.75
Tam karışımlı	5-15	0.2-0.6	0.8-1.92	2500-4000	3-5	0.25-1
Kademeli besleme	5-15	0.2-0.4	0.64-0.96	2000-3500	3-5	0.25-0.75
Değiştirilmiş havalandırmalı	0.2-0.5	1.5-5.0	1.2-2.4	200-1000	1.5-3	0.05-0.25
Temas stabilizasyonu	5-15	0.2-0.6	0.96-1.2	(1000-3000)[a] (4000-10000)[b]	(0.5-1)[a] (3-6)[b]	0.5-1.5
Uzun havalandırmalı	20-30	0.05-0.15	0.16-0.4	3000-6000	18-36	0.5-1.5
Yüksek-hızlı havalandırma	5-10	0.4-1.5	1.6-16	4000-10000	2-4	1-5
Kraus prosesi	5-15	0.3-0.8	0.64-1.6	2000-3000	4-8	0.5-1
Saf oksijenli	3-10	0.25-1.0	1.6-3.2	2000-5000	1-3	0.25-0.5
Oksidasyon hendeği	10-30	0.05-0.3	0.08-0.48	3000-6000	8-36	0.75-1.5
AKR	[c]	0.05-0.3	0.08-0.24	(1500-5000)	12-50	[c]
Tek kademeli nitrifikasyon	8-20	0.1-0.25	0.08-0.32	2000-3500	6-15	0.5-1.5
İki kademeli nitrifikasyon	15-100	0.05-0.2	0.05-0.144	2000-3500	3-6	0.5-2.0

[a] *Temas birimde* [b] *Temas stabilizasyon birimi* [c] *Uygulanamaz*

b) Yüzeyde Büyüyen Sistemler

Yüzeyde büyüyen sistemler, damlatmalı filtreler, döner biyolojik disk ve dolgulu reaktörler sistemleri şeklindedir (Şekil E2.2).



a) Damlatmalı filtre b) Döner biyolojik disk

Şekil E2.2 Mikroorganizmaların yüzeyde tutunduğu damlatmalı filtreler ve döner biyolojik disk sistemlerinin şematik gösterimi

1) Damlatmalı Filtreler;

Atıksuların, değişik dolgu malzemeleri üzerinde dağıtılarak aşağıya doğru akıtılmaları prensibi ile çalışmaktadır. Dolgu malzemesi üzerinde biyofilm tabakası oluşmakta ve mikroorganizma, oksijen ihtiyacını havadan almaktadır. Damlatmalı filtrelerde taş veya plastik dolgu malzemesi kullanılabilir. Filtre malzemesi derinliği, taş dolgu filtrelerde 1.8-2.4 m, plastik dolgu için 3.0-12.2 m aralığında alınabilir. Atıksu bu filtre yatağından geçerken, dolgu malzemesi üzerinde bakteriler bir biyofilm tabakası oluşturur. Kullanılan dolgu malzemesinin arasında boşluklar bulunur. Böylece, mikroorganizmaların dolgu malzemesi üzerinde bir tabaka halinde yaşamaları, organik maddelerle beslenmeleri ve hava geçişi ile oksijen transferi sağlamaları mümkün olur. Mikroorganizmalar belirli bir kalınlığa ulaştıktan sonra, dolgulardan koparlar ve çıkış suyundaki bu biyofilm parçacıkları son çöktürme havuzlarında çökeltilerek sudan ayrılırlar. Damlatmalı filtrelerin boyutlandırılması yüzeysel hidrolik yük (m^3/m^2/gün), hacimsel organik yükleme (kg $BOİ_5/m^3$/gün) ve geri devir oranı esas alınarak yapılır. Filtrenin yıkanmasını sağlamak ve minimum debilerde gerekli

akışı sağlamak üzere geri devir düzenekleri teşkil edilmelidir. Damlatmalı filtreler, yüzeysel hidrolik yük; hacimsel ve organik yükün büyüklüğüne göre düşük, orta ve yüksek hızlı olmak üzere üç tipte olabilmektedir. Uygulanan organik madde ve azot (TKN) yükleme hızlarına bağlı olarak karbonlu organik madde giderimi ve nitrifikasyon sağlanabilir. Yaz ve kış koşullarında optimum oksidasyonu sağlayacak havalandırma sistemi (havalandırma delikleri ve kanalları) teşkil edilmelidir.

2) Döner Biyolojik Disk;

Döner biyolojik disk (biyodisk) sistemleri, mikroorganizmaların üzerinde üremesi için uygun bir yüzeyi sağlayacak şekilde yapılmış, gelen atıksuyun muhtemel korozif özelliğinden etkilenmeyecek, plastik malzemelerin diskler halinde, döner bir şaft (mil) üzerine yerleştirildiği veya içi dolgu malzemesi ile dolu delikli tambur şeklindeki silindirik bir yapıdan oluşmaktadır. Oksijen ihtiyacı, dönme sırasında havadan sağlamaktadır. Disklerin yüzeylerinde mikroorganizmalar biyolojik film oluşturur. Diskler kısmen batırıldıkları için yüzeyde kalan (hava ile temas eden) döngüleri biyofilmlerin oksijen ihtiyacını karşılamaktadır. Biyodisklerde genelde uygulanabilir çaplar 1.5-3.0 m'dir. Şaftın her 1 metresine 2 cm aralıklarla 20-30 adet disk yerleştirilebilir ve uzunluk 6 m'ye kadar çıkabilir. Dolgulu tambur tiplerinde ise istenen toplam dolgu malzemesi yüzeyi sağlanacak şekilde boyutlandırma yapılmaktadır. Döner disk veya tambur şaftlarının her biri ayrı bir silindir haznesine (kanala), % 45'i su içinde batık olacak şekilde monte edilir.

3) Dolgu Yataklı Reaktörler;

Dolgu yataklı reaktörler, mikroorganizmaların tutunması için bir dolgu maddesi içeren biyofilm sistemleridir. Tipik bir dolgu yataklı reaktörde hava, alt kısmından havalandırıcılar yardımıyla verilir.

c) Askıda ve Yüzeyde Çoğalan Aktif Çamur Ardışık Sistemler

Yukarıda bahsedilen arıtma metotlarının kombinasyonlarını yapmak suretiyle çok sayıda arıtma akım şeması oluşturmak mümkündür. Özellikle mevcut arıtma tesislerinin genişletilmesi (geliştirilmesi) ile biyolojik azot ve fosfor giderimi sağlayan tesisler haline dönüştürülmesi mümkündür. Böylece tek başına yeterli arıtmayı sağlayamayan aktif çamur ya da damlatmalı filtre sistemlerinde yeni konfigürasyonlar bir arada kullanılarak uygun arıtılmış su kalitesini sağlamak mümkün olabilmektedir.

Anoksik Prosesler

Heterotrofik (fakültatif) bakteriler oksijensiz ortamda ayrışabilen organik maddeyi ve bağlı oksijeni (nitrat, nitrit vb.) kullanarak organik madde oksidasyonunu gerçekleştirmektedir. Denitrifikasyon prosesi yardımıyla anoksik koşullarda nitratın azot gazına dönüştürülmesi sonucu azot giderimi gerçekleştirilmektedir. Anoksik koşullar askıda ya da yüzeyde çoğalan sistemler ile sağlanabilir. Ancak, denitrifikasyon veriminin yüksek olması, proses stabilitesi ve kontrolünün kolaylığı açısından anoksik koşullar askıda çoğalan sistemlerde kolaylıkla sağlanmaktadır. Denitrifikasyon prosesinin verimi anoksik reaktöre giren organik madde miktarı, havalı ünitelerden geri devrettirilen nitrat miktarı ve ortamdaki çözünmüş oksijen konsantrasyonuna bağlıdır.

a) Askıda çoğalan sistemlerde denitrifikasyon

Askıda çoğalan sistemlerde denitrifikasyon, aktif çamur sistemlerinde oksijenin olmadığı havalı tanklardan geri devredilen nitrat yardımıyla anoksik havuzlarda gerçekleştirilir. Nitratın yanında bakteriler için gerekli organik karbon kaynağı sağlanmalıdır. Gerekli organik madde ham atıksudaki organik maddeden veya dışsal karbon kaynağından sağlanır. Biyolojik azot giderimi için tasarlanan aktif çamur sistemlerinde ön çöktürme tanklarının verimi, organik maddenin denitrifikasyon prosesi için yeterliliği açısından kontrol edilmelidir. Denitrifikasyon hacminden önce nitrifikasyonun sağlandığı havalı reaktör hacmi belirlenmeli daha sonra arıtılmış suda deşarj edilen toplam azot konsantrasyonunu sağlayacak anoksik hacim oranına göre denitrifikasyon hacmi (V_D) seçilmelidir. Anoksik reaktörlerin boyutlandırılmasında anoksik hacim oranının, V_D/V (anoksik reaktör hacminin toplam reaktör hacmine oranı) %50 değerini aşması istenmemektedir. Nitrifikasyon prosesinde kaybedilen alkalinite denitrifikasyon ile geri kazanılmaktadır. 1.0 gram nitrat azotunun (NO_3-N) azot gazına çevrilmesinde 3.56 gram $CaCO_3$ alkalinitesi oluşmaktadır.

b) Yüzeyde çoğalan sistemlerde denitrifikasyon

Yüzeyde çoğalan sistemlerde denitrifikasyon, içerisinde taş veya plastik dolgu malzemesi bulunan bir ortamda gerçekleştirilir. Dolgulu yatakta tıkanmaların engellenebilmesi için periyodik olarak geri yıkama gerekebilir. Askıda büyüme denitrifikasyonunda olduğu gibi, bu işlemde de dış karbon kaynağı genellikle gereklidir. Günümüzde özellikle büyük sistemler için yüzeyde çoğalan sistemlerde etkin denitrifikasyon sağlamak oldukça zordur.

Azot ve Fosfor Giderim Yöntemleri

Biyolojik azot ve fosfor giderimi yapan aktif çamur sistemleri kısa ve/veya uzun süreli değişken çevresel koşullara ve kirlilik yüklerine maruz kaldığından en uygun giderim veriminin sürdürülebilirliğinin sağlanması için bu sistemlerin uygun ve yerinde ölçüm cihazları, proses kontrol ekipmanları ve otomasyon sistemleri ile donatılması gerekmektedir.

Biyolojik azot ve fosfor giderimi için;

- Tasarıma öncelikle nitrifikasyon prosesinden başlanmalı ve sistemin olumsuz çevresel koşullar altında verimli çalışması için gerekli önlemler alınmalıdır.
- İkinci adımda denitrifikasyon prosesi için gerekli olan hacimler belirlenmelidir.
- Son olarak biyolojik fosfor giderimi için gerekli tasarım kriterleri oluşturularak tank hacimleri hesaplanmalıdır.

Biyolojik nütrient giderimi için tasarlanan aktif çamur sistemi seçimi atıksu karakterizasyonuna ve çevresel koşullara bağlıdır. Bunun yanında endüstriyel katılımların yüksek olduğu atıksular evsel atıksu karakterizasyonundan çok büyük farklılık gösterebileceğinden, yukarıda bahsedilen tasarım kriterlerinin uygulanması açısından sıkıntı olabilir. Özellikle endüstriyel atıksu oranı yüksek kentsel atıksularda ayrışabilen organik madde miktarı, türleri ve ayrışma hızlarının yanında azot ve fosfor parametreleri de farklılık gösterebileceğinden, biyolojik azot-fosfor giderimi açısından prosesin uygunluğunun detaylı olarak araştırılması gerekmektedir.

Biyolojik fosfor giderimi verimi atıksudaki uçucu yağ asidi (UYA) konsantrasyonuna bağlıdır. Yüksek konsantrasyonlarda UYA, biyolojik fosfor giderimi için biyolojik azot gideriminden önce konulacak havasız reaktörlerin daha küçük hacim oranlarında (havasız reaktör hacminin toplam biyolojik reaktör hacmine oranı) projelendirilmesini sağlayacaktır. Örneğin, UYA içeriği yüksek olan atıksular için %5 civarında bir hacim oranı yeterli olacaktır. Öte yandan, UYA içeriği düşük atıksular için fermentasyon prosesinin verimli olmasını sağlayacak yüksek havasız hacim oranlarına (%15-%25) ihtiyaç duyulacaktır. Dolayısıyla havasız reaktörün hidrolik bekletme süresi 90 dakika mertebesine ulaşabilecektir.

Atıksuda nispeten düşük KOİ/TKN, KOİ/ΔP seviyelerinde biyolojik fosfor giderimi için UCT, VIP tipi aktif çamur sistemleri tercih edilmelidir. Bunun sebebi havasız tanka geri devir ile (içsel geri devir ve çamur geri devri) giren nitrat ve oksijen yükünün azaltılmasını sağlamaktır. Evsel atıksular için KOİ/TP değerinin düşük olması durumunda UCT, VIP tipi aktif çamur sistemleri biyolojik fosfor giderimi açısından A^2O sistemine göre daha avantajlı olmaktadır. Ancak, UCT ve VIP sistemlerinde daha yüksek havasız hacim oranlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı evsel atıksu karakterizasyonları için önerilen biyolojik nütrient gideren aktif çamur sistemleri Tablo 3.1'de özetlenmiştir. Tabloda ΔP, atıksu arıtma tesisi girişindeki toplam fosfor ile çıkışındaki çözünmüş fosfor arasındaki farkı ifade etmektedir.

Tablo 3.1 Farklı $BOİ_5$/ΔP ve KOİ/ΔP seviyeleri için önerilen sistemler

Proses	$BOİ_5$/ΔP mg $BOİ_5$/mg P	KOİ/ΔP mg KOİ/mg P
VIP*, UCT**	15-20	26-34
A^2O*** AO****	20-25	34-43
Bardenpho	>25	>43

* Virginia Initiative plant
* University of Cape Town
** Anaerobik-Anoksik-Aerobik
*** Anoksik-Aerobik

Atıksu içinde yavaş ayrışan organik madde konsantrasyonu yüksek ise biyolojik arıtma ünitesinden önce çamur yaşı 3-5 gün olan ön fermentasyon tankları eklenebilir. Bunun yanısıra ön çökeltme tanklarında çamur örtüsü belirli bir seviyede tutularak ön fermentasyon işlemi için kullanılabilir. Çamur yaşının 4-5 günden fazla olması metanojenik aktivitenin artmasına ve biyolojik nütrient giderimi için gerekli UYA potansiyelinin kaybolmasına yol açmaktadır.

Heterotrofik bakteriler çoğalma sırasında nütrient ihtiyacı olarak fosforu bünyelerine almaktadır. Bu durumda fosfor giderimi %10-30 mertebesinde olmaktadır. Ancak, biyolojik aşırı fosfor gideriminde, fosfor depolayan mikroorganizmalar fosfatı nütrient ihtiyacından daha fazla miktarda depolamakta olup sistemin fosfor giderimi % 85-95 mertebesine kadar ulaşmaktadır. Fosfor depolayan heterotrofik mikroorganizmalar nitrat ve çözünmüş oksijenin bulunmadığı havasız koşullarda, atıksudaki uçucu yağ asitlerini depolayarak bünyesinde tuttuğu fosforu hücre dışına salmaktadır. Bunu takibeden anoksik ve/veya havalı koşullarda ise depolama ürünlerini hücre sentezinde kullanarak saldığı fosfordan daha fazlasını bünyesinde depolamaktadır. Biyolojik aşırı fosfor giderimi için biyolojik denitrifikasyonun yapıldığı anoksik reaktörlerin önüne havasız reaktörler de eklenmelidir. Diğer aktif çamur ünitelerinden geri devir akımları (içsel geri devir ve çamur geri devri) ile havasız reaktörlere dönen nitrat ve oksijen konsantrasyonları minimum seviyede tutulmalıdır.

Biyolojik aşırı fosfor giderimi için giriş suyundaki kolay ayrışabilen organik madde miktarı (fermente olabilen maddeler, uçucu yağ asitleri vb.) büyük önem taşımaktadır. Özellikle düşük konsantrasyonda kolay ayrışabilen organik madde miktarı içeren atıksular için uygun proses konfigürasyonu seçilmesi gerekmektedir. Biyolojik çamur stabilizasyonunun biyoreaktör içinde gerçekleştirildiği uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri yalnız biyolojik aşırı fosfor giderimi için uygulanmamalıdır. Fosfor içeriği yüksek biyolojik çamura stabilizasyon (havalı, havasız) işlemi uygulandığında çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitelerinden arıtma tesisine geri dönen tüm geri devir akımlarındaki nütrient yükleri açısından kütle dengesi hesaplanması gereklidir. Gerekli görüldüğünde arıtma tesisine dönen çamur geri devir akımlarında uygun ilave arıtma işlemleri (kimyasal çöktürme vb.) de uygulanmalıdır.

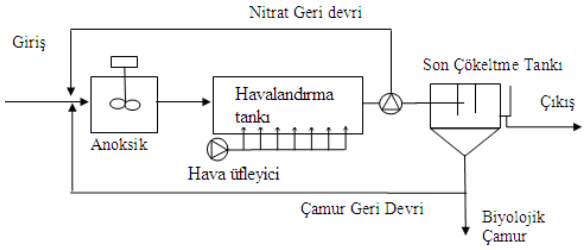
Evsel atıksularda biyolojik azot giderim verimi biyolojik arıtmaya giriş atıksuyundaki KOİ/TKN oranına bağlıdır.

- KOİ/TKN<10 olması durumunda ön denitrifikasyon sistemleri etkin olarak kullanılabilir.
- Oranın (KOİ/TKN) 10'dan büyük olması durumunda ise sonda denitrifikasyon sistemleri avantajlıdır. Bu durumda birden fazla anoksik reaktöre sahip; önde ve sonda denitrifikasyon sistemlerinin avantajlarının birleştiği Bardenpho tipi aktif çamur sistemi kullanılabilir.

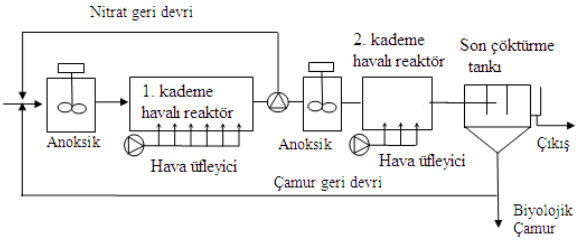
Girişteki organik maddenin yüksek olması çıkışta düşük nitrat konsantrasyonunun elde edilmesini sağlar. Ayrıca, birlikte eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon sistemleri de alternatif çözüm olarak kullanılabilir.

Evsel atıksulardan biyolojik azot giderimi, havalı ve anoksik koşulların mevcut olduğu aktif çamur sistemi konfigürasyonları ile sağlanmaktadır. Öncelikle havalı şartlarda amonyum azotu nitrata dönüştürülmektedir. Oluşan nitratı denitrifiye etmek için anoksik reaktöre geri devrettirmek (Nitrat geri devri) ve atıksudaki organik madde ile tam karışmasını sağlanmak gerekmektedir. Şekil E2.3a'da verilen sistem ön denitrifikasyon prosesidir. Bu proseste denitrifikasyon havalı tankın öncesine yerleştirilen anoksik reaktörde sağlanmaktadır. Proses sırasında çözünmüş oksijenin geri devir akımı ile birlikte anoksik reaktöre girişi minimize edilmelidir. Şekil E2.3b'de ise iki anoksik reaktörün kullanıldığı Bardenpho tipi iki kademeli aktif çamur sistemi gösterilmektedir. Birinci kademede olan havalı tankı takibeden ikinci kademe anoksik reaktörde daha çok bakteriyel içsel solunum prosesi kullanılarak azot giderimini sağlanmaktadır. Biyolojik azot giderimi eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi ile de gerçekleştirilebilir . Bu proseste uygun çamur yaşı ile hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon prosesleri birlikte yürütülmektedir. Bunun için çözünmüş oksijen seviyesinin

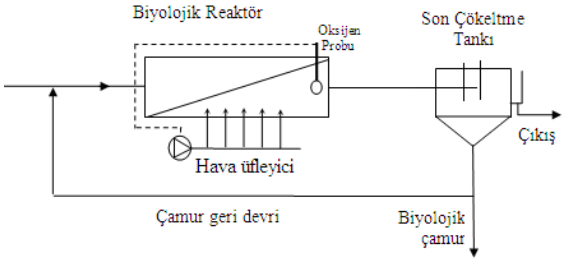
reaktör içinde etkin olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Biyolojik azot giderimi aynı reaktör içinde sağlanmaktadır. Eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi aynı reaktör içindeki farklı bölgelerde anoksik ve havalı koşulların oluşturulması (oksidasyon havuzları vb.) ve/veya aynı reaktör içinde oksijenin düşük seviyelerde kontrolü ile de sağlanabilmektedir (Şekil E2.3c).



a) Önde denitrifilasyonlu aktif çamur sistemi



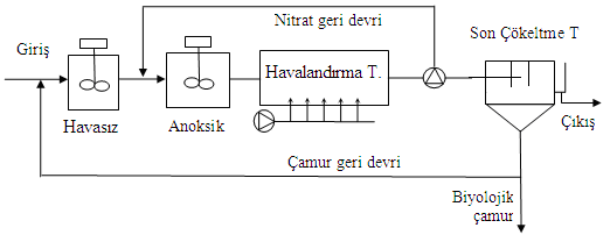
b) Bardenpho tipi aktif çamur sistemi



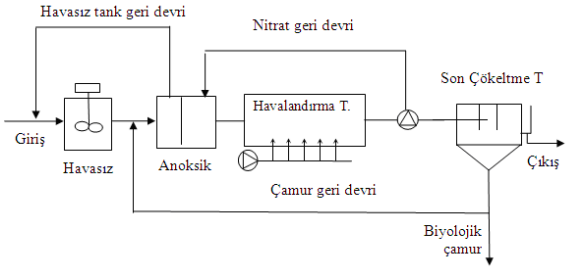
c) Simültane Nitrifikasyon Denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemi

Şekil E2.3 Biyolojik karbon ve azot giderimi yöntemleri

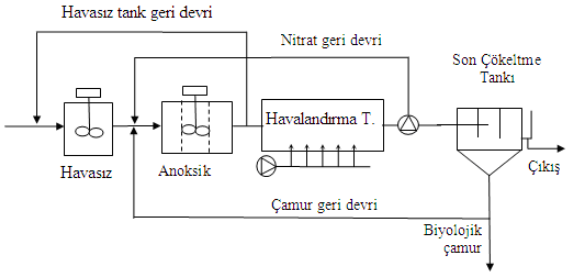
Atıksulardan biyolojik azot giderimi ile birlikte fosfor giderimi için; havasız, anoksik ve havalı koşulların sağlandığı aktif çamur sistemi konfigürasyonları gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen biyolojik azot giderimi prosesine ek olarak fosfor depolayan bakteriler için havasız şartların da sağlanması gerekmektedir. Şekil E2.4a'da verilen A^2O (Havasız (**A**naerobik)-**A**noksik-**O**ksik) prosesi ön denitrifikasyon prosesi önüne bir havasız reaktörünün eklenmesi ile elde edilmiştir. Burada nitrat geri devri anoksik reaktöre, çamur geri devri son çöktürme tankından havasız reaktöre yapılmaktadır. Havasız koşulların sağlanması için geri devir akımlarındaki nitrat ve oksijenin minimize edilmesi gerekmektedir. Şekil E2.4b'de görüldüğü gibi, havasız reaktöre nitrat geri devrinin azaltılabilmesi için havasız tank geri devri anoksik reaktörden yapılmaktadır. Nitrat geri devri ise havalı tanktan anoksik tanka, çamur geri devri ise son çöktürme tankından anoksik tanka yapılmaktadır. Şekil E2.4c'de verilen VIP prosesinde ise havasız reaktöre nitrat geri devrini en az seviyede tutabilmek için anoksik reaktör bölümlere ayrılmaktadır. Aynı şekilde havasız tank geri devri anoksik reaktörün sonundan yapılmaktadır. Nitrat geri devri ise havalı tanktan anoksik tankın başına yapılmaktadır. Çamur geri devri de son çöktürme tankından anoksik tanka yapılmaktadır. Havasız tanka yapılan nitrat geri devri seyreltik olduğundan havasız reaktörün bekletme süresinin uzun seçilmesi daha uygundur. Şekil E2.4d'te biyolojik azot ve fosfor gideren 5 Kademeli Bardenpho prosesi gösterilmiştir. Bu sistemde, biyolojik azot giderimi yapan 4 Kademeli Bardenpho prosesinin başına havasız reaktörün eklenmesi ve çökeltilmiş çamurun bu reaktöre geri devrettirilmesi ile biyolojik fosfor giderimi sağlanmaktadır. Eş zamanlı (birlikte) nitrifikasyon/denitrifikasyon prosesine havasız reaktörün eklenmesi ile azot giderimine ek olarak biyolojik fosfor giderimi de sağlanabilir. Bu prosese ait aktif çamur sistemi konfigürasyonu Şekil E2.4e'de verilmiştir. Azot ve fosfor giderimli MBR sistemleri de, kullanılabilecek arıtma alternatifleri arasındadır.



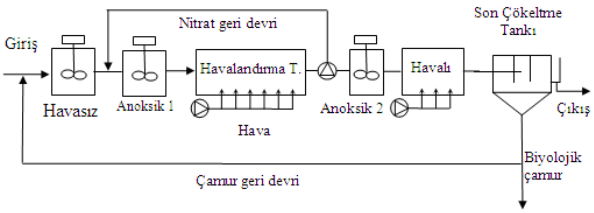
a) A^2O tipi aktif çamur sistemi



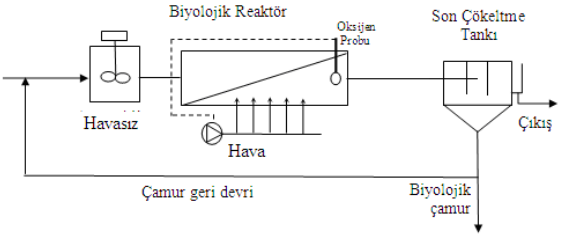
b) UCT (University of Capetown) tipi aktif çamur sistemi



c) VIP (Virginia Initiative plant) tipi aktif çamur sistemi



d) Modifiye Bardenpho tipi aktif çamur sistemi



e) Biyolojik fosfor gideren Simültane Nitrifikasyon Denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemi

Şekil E2.4 Biyolojik karbon, azot ve fosfor giderimi yöntemleri

Yukarıda bahsedilen proseslerden alıcı ortamların hassasiyeti, çevresel koşullar, ülke şartları ve ekonomi de gözönünde tutularak en uygun alternatifin seçilmesi gerekmektedir. Tablo E2.5'de biyolojik azot ve fosfor giderimi için önerilen temel tasarım parametreleri ve Ek.3'de ise karbon, azot ve fosfor gideren ileri arıtma tesisinin boyutlandırılması adımları verilmiştir.

Tablo E2.5 Biyolojik azot ve fosfor giderimi için önerilen temel tasarım parametreleri

Aki	**θ_X[a]**	**MLSS[b]**	**θ_H[c] (saat)**				**Çamur Geri Devri**	**İçsel Geri Devir**
Proses	gün	g/L	Toplam	Havasız Reaktör	Anoksik Reaktör	Havalı Reaktör	% · $Q_{Giriş}$	% · $Q_{Giriş}$
				Azot Giderimi				
Ön denitrifikasyon	7-20	3-4	5-15		1-3	4-12	50-100	100-200
Ardışık Kesikli Reaktör	10-30	3-5	20-30		Değişken	Değişken	-	-
Bardenpho (4-kademeli)	10-20	3-4	8-20		1-3	4-12	50-100	200-400
					(1. tank) 2-4 (3. tank)	(2. tank) 0.5-1 (4. tank)		
Oksidasyon Havuzu	20-30	2-4	18-30		Değişken	Değişken	50-100	

Biodenitro™	20-40	3-4	20-30	Değişken	Değişken	50-100	
Orbal	10-30	2-4	10-20	6-10	3-6 (1. tank) 2-3 (2. tank)	50-100	İsteğe bağlı
Biyolojik Fosfor Giderimi							
A/O	2-5	3-4	0.5-1.5	-	1-3	25-100	
A^2/O	5-25	3-4	0.5-1.5	0.5-1	4-8	25-100	100-400
UCT	10-25	3-4	1-2	2-4	4-12	80-100	200-400 (anoksik) 100-300 (havalı)
VIP	5-10	2-4	1-2	1-2	4-6	80-100	100-200 (anoksik) 100-300 (havalı)
Bardenpho (5-kademeli)	10-20	3-4	0.5-1.5	1-3 (1. tank) 2-4 (2. tank)	4-12 (1. tank) 0.5-1 (2. tank)	50-100	200-400
AKR	20-40	3-4	1.5-3.0	1-3	2-4		

[a] *Çamur yaşı* [b] *Reaktördeki askıda katı madde konsantrasyonu* [c] *Hidrolik bekletme süresi*

Kimyasal Yöntemler

Fosforun kimyasal olarak arıtılmasında alüminyum ve demir tuzları ya da kireç kullanılabilir. Kimyasal çöktürmede, fosfat metal-fosfat tuzları halinde çöktürülerek uzaklaştırılmaktadır. Fosfor giderimi için eklenen kimyasal maddeler arıtma tesisi ön ve son çöktürme tankları öncesinde uygulanabileceği gibi arıtılmış suda da uygulanabilmektedir. Ancak kimyasal madde eklenmesinden sonra mutlaka bir çöktürme işlemi gerekmektedir. Kimyasal madde eklenmesi durumunda arıtma tesisinin alkalinite dengesinin de kontrol edilmesi gerekmektedir.

Aktif Çamur Sisteminin Modifikasyonları

a) Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemleri

Klasik aktif çamur sistemlerinin değiştirilmiş bir şeklidir. Bu sistemde, çamur yükü çok düşük tutulduğundan mikroorganizmalar, çoğalma eğrisinde ölme fazında faaliyet gösterirler. Uzun süreli bir havalandırma uygulandığı için çamur yaşı yüksek olup daha stabil bir çamur elde edilmektedir. Sistemde oluşan fazla çamur, doğrudan çamur kurutma yataklarına veya mekanik su alma tesislerine verilebilir. Küçük (paket) arıtma sistemleri ve oksidasyon havuzları, uzun havalandırmalı aktif çamur tarzında çalışmaktadır. Boyutlandırma kriterleri aşağıdaki gibi alınabilir:

-F/M : 0.05 - 0.15 kg $BOİ_5$/kg UAKM .gün
-Hacimsel yükleme : <0.35 kg $BOİ_5/m^3$.gün
-Çamur konsantrasyonu : 3-6 g UAKM/L;
-Bekleme süresi: yaklaşık olarak 24 saat (uzun havalandırma)
-Çamur yaşı: 20-30 gün
-O_2 gereksinimi: yaklaşık olarak 1.8 O_2/kg giderilen BOI_5
-Karıştırıcı gücü:

- 30 ile 40W/m³ türbin tipi yüzey havalandırıcıları için
- 3 ile 10 W/m³ karıştırıcılar için
- 10-20 W/m³ ince kabarcıklı havalandırma sistemleri için

b) Oksidasyon Hendeği

Oksidasyon hendekleri dairesel ya da oval şekilli hendekler olup mekanik yöntemlerle (rotor ya da yüzey havalandırıcı) havalandırılırlar. Izgaradan geçirilerek veya çökeltilerek katılardan arındırılmış atıksu, hendek içinde 0.3-0.4 m/s yatay hızla hareket ederken havalandırılmaktadır. Oksidasyon hendekleri, genellikle uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi özelliğindedir. Hendek çıkışında diğer biyolojik sistemlerde olduğu gibi, çöktürme tankı ile katıların (çamurun) çökelmesi sağlanmaktadır. Düşük atıksu debileri (küçük ve orta nüfuslu yerleşimler) için uygun olup, diğer sistemlere kıyasla daha az teknoloji gerektiren ve fazla işletme becerisi gerektirmeyen sistemlerdir. Boyutlandırma kriterleri aşağıdaki gibi alınabilir:

-Bekleme süresi: yaklaşık olarak 24 saat
-Çamur yaşı: 20 gün
-Çamur konsantrasyonu : 2-5 g UAKM/L;
-Yatay Akış hızı: 0.3-0.4 m/s

c) Ardışık Kesikli Reaktörler

Ardışık kesikli reaktörler (AKR), özellikle küçük ve orta nüfuslu yerleşim yerlerinde yaygın olarak kullanılan aktif çamur sistemleridir. Atıksu miktarına bağlı olarak ardışık kesikli reaktörler de tek ya da birden çok reaktör paralel olarak kullanılabilir. Ardışık kesikli reaktörler, 1) doldurma, 2) havalandırma/karıştırma, 3) çöktürme, 4) boşaltma ve 5) dinlendirme fazlarından oluşmaktadır. Bu fazların sürelerinin toplamı çevrim süresini vermektedir. Fazların süreleri ayarlanarak organik karbon, biyolojik azot ve fosfor giderimi sağlanabilir. Doldurma/karıştırma ve havalandırma fazlarının (sürelerinin) farklı şekillerde uygulanması ile etkin organik karbon ve biyolojik nütrient giderimi sağlanabilmektedir. Örneğin organik karbon kaynağı sağlamak için doldurma süresi havalandırma/karıştırma fazı boyunca sürdürülebilir. Fazlardan boş faz, paralel çalıştırılan AKR sistemlerinin faz sürelerinin ayarlanmasında ve fazla çamur atılması işlemleri için kullanılmaktadır.

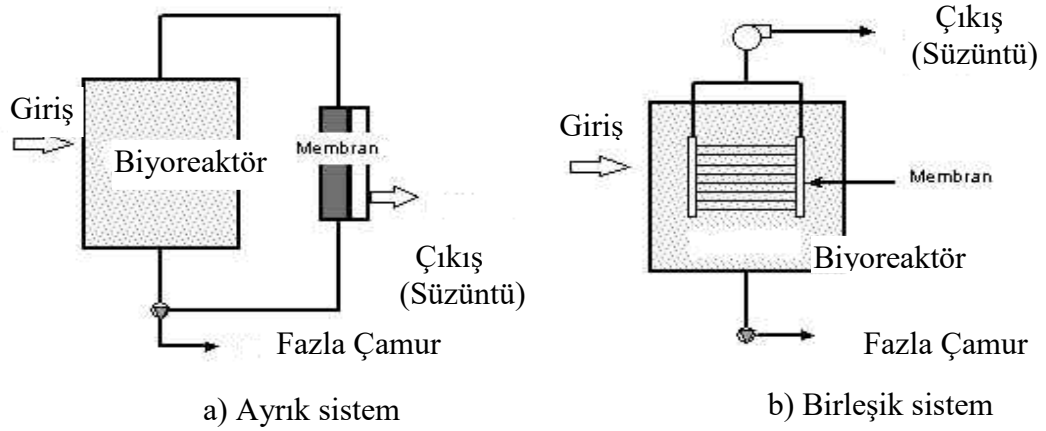
AKR sistemlerinde reaktörün başlangıç ve doldurma hacmi arasındaki oran ayarlanarak nitrat geri devri yapılmış olur. Reaktördeki havasız koşulların oluşabilmesi için nitratın olmaması gerekmektedir. Biyolojik fosfor giderimine yönelik olarak havasız koşulları sağlayacak işletme düzenine (nitrat geri devrinin azaltılması, atıksudaki uçucu yağ asiti (VFA) potansiyelinin kullanılması, uygun karıştırma süreleri vb) ihtiyaç duyulmaktadır.

ç) Membran Biyoreaktörler

Membran biyoreaktörler (MBR), klasik aktif çamur sistemlerinin geliştirilmiş şekli olup, biyolojik reaktörler ile membran teknolojisinin birleştirilmiş halidir. Biyolojik arıtmadan sonra, çöktürme havuzu yerine ultrafiltrasyon (UF) veya mikrofiltrasyon (MF) membranları kullanılarak, katı/sıvı ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Membran biyoreaktörlerde elde edilen süzüntü suyu, askıdaki maddeler, bakteri ve virüslerden arındırılmış, geri kullanılabilecek mertebede temiz sulardır. Membran biyoreaktörlerin iki değişik tertip tarzı vardır. Bunlardan birincisinde, ayrışma ve ayırma işlemi aynı tankda, ikincisinde ise ayrı tanklarda gerçekleşmektedir. Şekil E2.5a'da görüldüğü üzere, iki işlemin aynı tankda gerçekleştiği birleşik sistemde, plaka ve çerçeve veya boşluklu elyaf membranlar kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, süzüntü akımı vakum ile çekilmektedir. Ayrık sistemde, tübular, spiral sargılı veya boşluklu elyaf membranlar kullanılmaktadır. Biyolojik sistemden çıkan atıksu bir pompa ile membranlara gönderilmektedir. Membranda akım ikiye ayrılmakta, süzüntü kısım uzaklaştırılmakta, konsantre akımı ise biyolojik reaktöre geri devir ettirilmektedir (Şekil E2.5b). Evsel atıksuların arıtımında son yıllarda, birleşik sistem MBR sistemleri yaygın hale gelmiştir. Ayrık sistem ise daha çok endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılabilmektedir.

MBR'ler özellikle debisi az olan, otel ve tatil köyü gibi yerleşim yerleri için çok uygun bir sistemdir. Evsel atıksuların geri kazanılmasında yaygın kullanımı söz konusu olduğu gibi endüstriyel atıksuların arıtılmasında da bir çok alanda kullanılmaktadır. Son zamanlarda büyük kapasiteli tesislerde de kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil E2.5 Membran biyoreaktörlerde uygulanan değişik tertip tarzları

Membran biyoreaktörlerin en önemli özelliği, yüksek organik yükleri karşılayabilmesidir (10 kg KOİ/ m^3. gün'e kadar). Membranın tipine bağlı olarak, havalandırma havuzunda biyokütle miktarı, 40000 mg/L mertebesine çıkabilmektedir. Bundan dolayı, havalandırma havuzunun hacmi ile oluşan çamur miktarı çok azalır. Biyokütleye dönüşüm oranı, klasik aktif çamur sistemlerinde, 0.5 kg AKM/kg $KOİ_{giderilen}$ mertebesinde iken, membran biyoreaktörlerde bu değer, 0.05-0.2 kg AKM/kg $KOİ_{giderilen}$ civarındadır.

MBR prosesinin optimum tasarımı oldukça komplekstir. Zira membran performansı ve maliyeti, enerji tüketimi ve çamur arıtımı gibi birçok faktör göz önünde tutulmalıdır. Ayrıca, bunların çoğunluğu birbiri ile alakalı olup yatırım ve işletme masraflarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. MBR'nin avantajı, yüksek biyokütle konsantrasyonunda sistemi kullanabilme imkanıdır. Bu nedenle, hacimsel yükü arttırmak da mümkündür. Yüksek biyokütle konsantrasyonu ise oksijen transferi ve çamur viskozitesini, dolayısıyla enerji masraflarını etkilemektedir.

Membran seçimini etkileyen en önemli faktör, membranın akısıdır. Diğer önemli bir faktör de, membranın maliyetidir. Atıksuyun türüne bağlı olarak, membran seçimi değişebilir. Arıtılacak atıksu geri kazanılacaksa, daha iyi kalitede su üreten membranlar seçilebilir. Ayrıca, membranların tıkanma eğilimi az olmalı (hidrofilik) ve kolay temizlenebilmelidirler.

MBR sistemlerinin boyutlandırılmasında kullanılan en önemli parametre akıdır. Boyutlandırmada, boşluklu elyaf membranlar için akı değeri olarak 10-25 L/m^2.sa (ortalama 13 L/m^2.sa), levha halindeki membranlar için ise 10-30 L/m^2.sa (ortalama 17 L/m^2.sa) değerleri alınabilmektedir. Oksijen transfer katsayısı, biyokütle konsantrasyonu arttıkça azalmakta, enerji ihtiyacı ise artmaktadır. Enerji ihtiyacı olarak boşluklu elyaf membranlar için 0.7-1.0 kWsa/m^3, levha halindeki membranlar için ise 0.7-0.8 kWsa/m^3 değerleri alınabilmektedir. Enerji ihtiyacı, 15000 mg/L biyokütle konsantrasyonuna kadar sabit kalmakta, 15000 mg/L'nin üzerindeki biyokütle konsantrasyonlarında ise artmaktadır. MBR sistemlerinde gerekli membran alanını bulmak için akı değeri seçilmekte ve debi, seçilen bu akı değerine bölünmektedir.

MBR sistemlerinde, azot giderimi de yapılabilmektedir. Havalı reaktör öncesinde, anoksik bölme ilave edilebilmektedir. Anoksik bölme olmadan bile, havalı reaktördeki yüksek biyokütle konsantrasyonlarından dolayı, havalı reaktör içerisinde yer yer anoksik bölmeler oluşabilmekte ve klasik aktif çamur sistemlerine göre daha yüksek azot giderimleri meydana gelebilmektedir.

Son Çöktürme Havuzları

Son çöktürme havuzları biyolojik arıtmadan sonra arıtılmış atıksuyu biyokütleden yerçekimi etkisi ile fiziksel olarak ayıran dairesel ya da dikdörtgen planlı havuzlardır. Dairesel havuzlarda biyokütle atıksu karışımı besleme şekli olarak merkezden ya da çevreden yapılmakta, arıtılan su radyal

doğrultuda hareket etmektedir. Dikdörtgen planlı havuzlarda ise yatay hareket ederek çöktürme tankından çıkmaktadır. Giriş yapısı ve çamur toplama sisteminin tasarımı çöktürme tankındaki laminer akım koşullarını ve çamurun çökelme özelliğini bozmayacak şekilde yapılmalıdır. Ayrıca, giriş yapısı ve köprünün hızı, karışımın enerjisini kırıcı düzenekler ile donatılmalı ve gerekli hız tahkikleri yapılmalıdır.

Çökeltilmiş su, son çöktürme havuzlarından savaklar yardımı ile toplanmaktadır. Birim savak yükleri hesaplanarak, toplam savak uzunluğu ve savak sayısına karar verilmektedir. Gerekli görüldüğü takdirde tek ve çift taraflı savaklar teşkil edilmektedir. Savaklar genellikle, dikdörtgen veya üçgen tipli olarak seçilmektedir. Savak yapıları minimum ve maksimum yükleri geçirecek şekilde planlanmalıdır.

Yüzeydeki köpük ve tabandaki biyolojik çamur birikintilerinin uzaklaştırılması için uygun bir yüzey ve taban sıyırma tertibatı bulunmalıdır. Tabandan çamur toplama işlemi köprüye bağlı sıyırıcı ya da pompa ile emme tipli olarak projelendirilir. Çamur haznesinin büyüklüğü çamurun özelliklerine ve çamur boşaltma aralıklarına uygun olmalıdır. Köprüye bağlı sıyırıcı olan sistemlerde havuz tabanı uygun teşkil edilmelidir. Emme tipli sıyırma tertibatında son çöktürme tankının tabanı düz olmalıdır. Son çöktürme tankındaki kenar su derinliğinin en az 3 m civarında olması öngörülmektedir.

Özellikle biyolojik nütrient (azot ve fosfor) giderimi yapan sistemlerde son çöktürme tankının tasarımı, sistemin verimi açısından büyük önem taşımaktadır. Son çöktürme tankında bekletme süresi ve besleme şekli, denitrifikasyondan dolayı serbest azot gazının ortaya çıkmasına izin vermeyecek şekilde seçilmelidir. Aksi halde serbest azot gazı biyolojik çamurun yüzmesine neden olabilir. Ayrıca çamurun son çöktürme tankında çok beklemesi sonucu havasız koşulların oluşması fosfor depolayan bakterilerin bünyesine aldığı fosforu tekrar salmasına neden olmakta ve çıkış suyu kalitesini bozmaktadır. Dolayısı ile projelendirmede bu hususlar gözönüne alınmalıdır.

Son çöktürme havuzları için ana tasarım parametreleri, bekletme süresi (t), katı madde yükü (q_M), yüzeysel hidrolik yük (q_H) ve kenar su derinliğidir (H_S). Bu parametrelerden katı madde yükü havalandırma havuzundan son çöktürme tankına gelen (atıksu ve çamur geri devir debileri ile birlikte) toplam katı madde yükünün havuzun etkin yüzey alanına bölünmesi ile bulunmaktadır. Yüzeysel hidrolik yük ise havuzun yüzeyinden savaklanan arıtılmış su debisinin havuzun yüzey alanına bölünmesi ile bulunmaktadır. Son çöktürme tankının tasarım kriterlerinin maksimum debi koşullarında da kontrol edilmesi gereklidir. Biyolojik fazla çamur, geri devir akımından (ya da biyolojik reaktörden) düzenli olarak atılmalı ve çamur işleme ünitelerine hemen ulaştırılmalıdır. Son çöktürme havuzu boyutlandırma kriterleri aşağıda özetlenmiştir:

Yüzey yükü: < 0.6-0.7 m^3/m^2.sa
Bekletme süresi: 2-4 sa
Derinlik: 2.5-5 m
Katı madde yükü: < 3-6 kg AKM/m^2.sa

Havasız Arıtma Sistemleri

Havasız arıtma, organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik süreçlerle ayrıştırılarak metan (CH_4) ve karbondioksite (CO_2) dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. Çoğunlukla arıtma çamurları ve yüksek konsantrasyonda organik madde içeren endüstriyel atıksular için uygulanan bu arıtma sistemi son yıllarda kentsel atıksuların arıtılmasında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Oluşan biyolojik çamur miktarının düşük olması, havalı sistemlere göre daha az alan kaplaması, biyoenerji eldesine imkan vermesi, mekanik-ekipman maliyetinin düşük olması ve reaktörlerin beslenmediği durumlarda mikrobiyal aktivitenin uzun süre koruyanabilmesi havasız arıtma sistemlerinin üstün taraflarıdır. Ancak bu arıtma sistemleri ile alıcı ortama deşarj kriterlerinin sağlanması mümkün değildir. Bu nedenle havasız ve havalı arıtmanın birlikte uygulanması daha uygundur.

Havasız arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizma topluluğunun kapasitesinden yüksek oranda yararlanabilmek için reaktörde uygun çevre şartlarının sağlanması gereklidir. Bu çevre faktörlerinden en önemlisi sıcaklıktır. Evsel atıksuların arıtımı sırasında sıcaklık dışında diğer parametreler çok etkili

değildirler. Havasız sistemler üç farklı sıcaklık sınıfına göre işletilebilir. Bunlar sakrofilik (<20°C), mezofilik (25-40°C) ve termofilik (>45°C)'tir. Evsel atıksuların KOİ konsantrasyonu nisbeten düşük olduğu için bu sistemlerden elde edilen gaz miktarları küçük tesislerde ekonomik olarak değerlendirilemeyecek miktarlardadır. Bu nedenle reaktör işletme sıcaklığı seçilirken ısıtma için dışarıdan enerji kaynağına ihtiyaç duyulacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Enerji gereksinimini azaltmak için, havasız arıtma hava sıcaklığının yüksek ve gece ile gündüz arasındaki sıcaklık değişiminin düşük olduğu yerleşim yerlerinde tercih edilmelidir. Havasız arıtma özellikle mevsimlik arıtmanın söz konusu olduğu turistik bölgelerde büyük bir potansiyele sahiptir.

Reaktörler genellikle silindirik veya yumurta kesitli olarak tasarlanırlar. Reaktör tipi havasız sistemlerde, atıksu reaktör tabanından beslenerek yukarı doğru akış sağlanır. Mikroorganizmalar reaktör tipine bağlı olarak askıda veya yüzeyde çoğalırlar. Kentsel atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan havasız arıtma tipleri havasız filtre, havasız çamur yatağı ve havasız lagün'dür.

a) Havasız Filtre

Dolgu malzemesi boşluklarında ve yüzeyinde tutunan mikroorganizma ile atıksuyun etkin temasının sağlandığı bir arıtma sistemidir. Dolgu malzemesi biyokütleyi sistemde tutan en iyi bileşendir. Reaktördeki biyokütle belli oranda filtre dolgu malzemesi üzerinde ince bir biyofilm tabakası halinde tutunur, ancak sistemdeki toplam biyokütlenin büyük bir kısmı malzeme içinde ve arasındaki boşluklarda biriken granüler ve floküler çamur halindedir. Havasız filtrelerin işleyişi, damlatmalı filtrelerin mekanizmasına benzer, ancak havasız filtrelerde giriş suyu tabandan verilir. Sistemin sakıncaları ise sistemde oluşan arıtma çamurları, giriş akımındaki askıda katı madde ve çökelen mineraller nedeniyle tıkanma ihtimalidir. Bu nedenle çözünmüş organik maddelerin arıtılması için uygun bir sistemdir. Diğer klasik arıtma işlemlerinde olduğu gibi, bu sistemde de ham atıksu önce ızgaralardan ve kum tutucudan geçirilir. Havasız filtreler diğer havasız işlemlere göre daha düşük sıcaklıklarda çalışırlar.

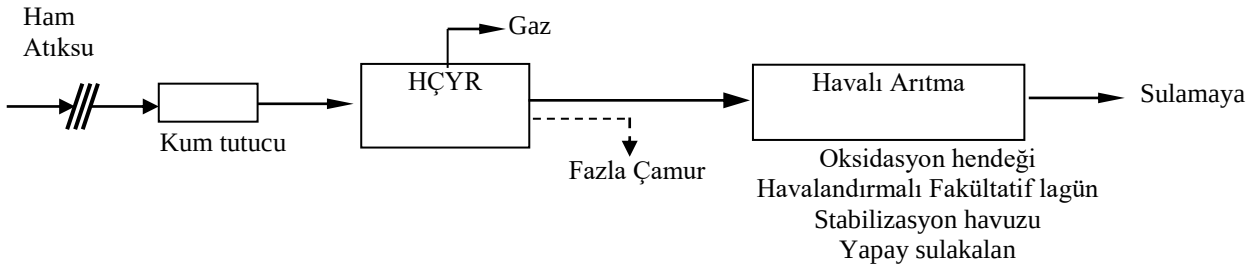
Hidrolik bekletme süresi 4-36 sa arasında değişir. Evsel atıksuların yüksek verimlerde havasız olarak arıtılabilmeleri ve reaktör içerisinde iyi bir karışımın sağlanabilmesi için sistemin yüksek hidrolik yüklerle beslenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, düşük kirlilik yüklerine sahip atıksuların havasız arıtımları sırasında gerekli reaktör hacimleri, genellikle hidrolik bekleme süresi ile belirlenmelidir. Bu sistemlerde kentsel atıksu için hacimsel yükleme 0.1 ile 1.2 kg KOİ/m^3.gün arasındadır. KOİ giderme verimi %50-70 civarındadır. Havasız filtreler daire veya dikdörtgen enkesitli, çapı veya genişliği 6-26 m, yüksekliği ise 3-13 m arasında değişen reaktörlerdir. Dolgu malzemesi özgül yüzeyi, sentetik malzeme tipinden bağımsız olarak ortalama 100 m^2/m^3 alınabilir.

Aynı zamanda alt kısmında dolgu malzemesi bulunmayan hibrid filtrelerin kullanımı da yaygındır. Bu tip reaktörlerde alt kısım granüler çamurlu havasız çamur yatağı; dolgu malzemeli üst kısım ise yüzeyde çoğalan biyokütlenin hakim olduğu ve daha ziyade lamelli çökeltici işlevi görmektedir. Havasız filtre reaktör yüksekliğinin üst 2/3 lük kısmını kaplamalı ve dolgu yüksekliği asgari 2 m olmalıdır.

b) Havasız Çamur Yatağı

İyi çökelen floklardan oluşan çamur yatağı, kendine has özellikleri nedeniyle biyokütlenin sistemde kolaylıkla tutulduğu yukarı akışlı bir sistemdir. Sistemin akışkanlık özelliği atıksu ile biyokütlenin temas yüzeyini artırdığından yüksek KOİ giderim verimleri elde edilmektedir. Diğer klasik arıtma tesislerinde olduğu gibi, ızgara ve kum tutucudan geçirilen atıksu dağıtım yapısında bulunan çok sayıdaki düşey borularla taşınarak havasız çamur yatağı reaktörüne alınmaktadır (Şekil E2.6). Bu reaktör tipinde çapı 1-5 mm olan granüler biyokütle ile birlikte flok yapıdaki biyokütle de gözlenmektedir. Granüller yüksek yoğunluğa sahip olup yüksek çökelme hızına ve yüksek metanojenik aktiviteye sahiptirler. Biyokütlenin granüler ya da flok yapıda olması sistemin verimini etkilememektedir. Reaktördeki biyokütleyi muhafaza etmek için yukarı akış hızı ortalama debide 0.5 m/sa'i ve pik debide ise 1.2 m/sa'i geçmemelidir.

Bu tip arıtma sistemleri genellikle 20°C ve üstü sıcaklıklara sahip iklim koşullarında tercih edilmektedir. Reaktördeki ortalama biyokütle konsantrasyonu ~70 kg/m^3 olarak ve hidrolik bekleme süresi de ortalama debide $\theta_h \geq 8$~10 gün alınabilir. Kentsel atıksuların arıtıldığı havasız çamur yataklı reaktörlerde (HÇYR) toplam derinlik 4.5-5.0 m olup çamur örtüsü kalınlığı 2.0-2.5 m'dir. Üst kısımdaki çökelme bölgesi yüksekliği 2.0-2.5 m alınabilir. Yeterli seviyede çamur çökelmesi için maksimum yüzeysel hidrolik yükleme 1~1.2 m/sa sınırlarını aşmamalıdır. Organik yükleme 0.3-1.0 kg KOİ/kg UKM.gün, hacimsel yükleme ise 1-3 kg KOİ/m^3.gün olarak alınmalıdır. Floklu tip çamur ihtiva eden sistemin enkesit tayininde de yüzeysel hidrolik yükün 1-1.5 m/sa'i aşmaması tavsiye edilmektedir.



Şekil E2.6 Havasız çamur yatağı sistemi akış şeması

c) Havasız Lagünler

Havalı ortamı sağlayacak çözünmüş oksijenin olmadığı derin havuzlardan oluşan sistemdir. Geçirimsiz kil tabakasından oluşturulmuş bu havuzlar genellikle kentsel atıksuların ön arıtımında kullanılmaktadır. Endüstriyel atıksulardan dolayı artacak organik yüke de cevap vermesi açısından ideal bir ön arıtma sistemi olarak düşünülebilir. Bu ön arıtmada, çökelebilen katı maddelerin tabanda birikmesi, çürümesi ve sıvı fazdaki organik maddelerin ayrışması sağlanmaktadır. Havasız lagün çıkış suyu alıcı ortama deşarj için uygun değildir. Deşarj standartlarını yakalamak için gerekli arıtma genellikle havalı veya fakültatif lagünler kullanılarak yapılır. Arazinin çok ve maliyetinin düşük olduğu küçük ve kırsal yerleşim yerlerinde uygulanan bir sistemdir. Düşük ilk yatırım ve işletme maliyetlerinden dolayı havasız lagünler diğer arıtma sistemlerine göre daha caziptir. Havasız arıtma sistemlerinde sıralanan üstünlüklerin yanısıra en önem özelliklerinde biri değişken organik yüklemelere hızlı ve etkili bir şekilde cevap verebilmesidir. Havasız lagünlerde herhangi bir havalandırma, ısıtma veya karıştırma yapılmaz. Bu nedenle enerji gereksinimi de yoktur. Buna karşın geniş arazi ihtiyacı, istenmeyen kokuların oluşması ve uzun bekletme süreleri gibi mahzurları bulunmaktadır.

Havasız lagünlerin girişine genellikle çubuk ızgara ve sonrasında debi ölçümü için Parshall savağı yerleştirilebilir. Lagünlerin üzeri, üretilen metan gazının toplanması ve kullanımı için kapatılabilir. Ancak bu uygulama pratik değildir. Havasız ortamın oluşturulması ve yüzeyde oluşacak oksijen difüzyonunu azaltmak için lagün derinliğinin en az 2-4 m olması gerekmektedir. Uygulamada genellikle 6 m seçilmektedir. Derinliğin artması ile lagünün yüzey alanı azalmakta ve lagündeki ısı korunmuş olmaktadır. Tipik kabul edilebilir organik yükleme hızı sıcaklığa bağlı olarak 0.04 ile 0.3 kg BOİ$_5$ /m^3.gün arasında değişmektedir. Hidrolik bekletme süresi 1-50 gün aralığında olabilir. Yüzey alanı 0.2-0.8 ha seçilebilir. Tabanda biriken katı maddelerin miktarı yılık ölçümler yapılarak belirlenmelidir. Genellikle 5-10 yılda bir biriken katı maddelerin lagünden çekilmesi gerekmektedir.

Basit (Doğal) Arıtma Sistemleri

a) Havalandırmalı Lagünler

Havalandırmalı lagünler, 2.5-5 metre derinliğinde toprak yapılardır. Havalandırma, dubalar veya sabit kolonlar üzerine yerleştirilen mekanik havalandırıcılar vasıtasıyla yapılır. Bu havuzlar, stabilizasyon havuzlarına göre daha kısa bekletme sürelerinde işletilmekte ve daha derin tasarlanmaktadır. Bu nedenle, stabilizasyon havuzları ile kıyaslandığında önemli oranda daha küçük hacimlere sahiptirler. Mekanik ekipman olarak, yüzeysel havalandırıcılara ihtiyaç vardır.

İnşaatları, stabilizasyon havuzlarının inşaatına benzemektedir. Bu havuzların tasarımında büyük esneklikler mevcuttur. Bu tip lagünler bir taraftan basit fakültatif tipte, diğer taraftan da çamur geri devrinin yapıldığı daha verimli ve kompleks üniteler olarak projelendirilebilirler. Her iki durumda da havalandırmalı lagünlerin inşaatı ve işletilmeleri çok kolaydır. Bu nedenle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yaygın kullanım alanına sahiptirler. Havalandırmalı lagünlerin tasarımında gözönüne alınan faktörler, BOİ giderimi, çıkış suyu özellikleri, oksijen ihtiyacı, sıcaklık etkisi, karıştırma için gerekli enerji ve katı ayırma sistemidir. Lagün çıkış atıksuyunda önemli parametreler BOİ ve AKM konsantrasyonudur. Çıkış suyundaki BOİ ve AKM konsantrasyonları bazen küçük miktarda alg'i de kapsamaktadır. Oksijen ihtiyacı aktif çamur tasarımında kullanılan yöntemlere göre belirlenmektedir. İhtiyaç duyulan oksijen miktarı, giderilen BOİ'nin 0.7 ile 1.4 katı olarak alınmaktadır. Havalandırmalı lagünler, geniş iklim şartları ve sıcaklık değişimlerinde kurulup ve işletilecekleri düşünülerek tasarlanırlar. Burada, sıcaklığın önemli etkileri, biyolojik aktiviteyi azaltması, arıtım verimini düşürmesi ve buz oluşturmasıdır.

Havalandırmalı lagünler, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında başarı ile kullanılmaktadırlar. Başlıca üç tipe ayrılabilirler: Fakültatif, havalı ve havalı çamur geri devirli. Her üç tip havalandırmalı lagünde de biyolojik arıtma prensipleri aynıdır. Tasarım kriterleri Tablo E2.6'da verilmiştir.

Fakültatif havalandırmalı lagünlerde, birim hacim başına düşen enerji yoğunluğu, gerekli oksijen miktarının sıvıya verilmesi için yeterlidir. Fakat bu enerji girdisi, bütün katıları askıda tutmak için yeterli değildir. Bunun sonucunda, lagüne giren askıda katı maddelerin bir kısmı ve substrat giderimi sonucunda oluşan katı maddeler, tabana çökmeye başlarlar ve tabanda havasız bozunma meydana getirirler. Bu lagünlerdeki aktivite kısmen havalı, kısmen de havasız olduğundan bu tip lagünlere "fakültatif" denir.

Havalı lagünlere verilecek enerji, sadece istenilen miktarlardaki oksijeni sıvı içerisine verecek seviyede değil, aynı zamanda aktif çamur havalandırma tanklarında olduğu gibi bütün katı maddeleri askıda tutacak seviyede olmalıdır. Bu nedenle, bu tip lagünlerde fazla askıda katı çökelmesi gözlenmez (Şekil E2.7a). Arıtım verimi fazla yüksek değildir. Çıkış suyunda çok miktarda askıda katı madde bulunduğundan verim yaklaşık olarak % 50-60 seviyesindedir. Daha iyi BOİ ve katı madde giderim istenirse çöktürme gerekmektedir.

Çamur geri devirli havalı lagünler, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerine benzer. Enerji girdisi hem oksijen ihtiyacını karşılayacak hem de bütün katıları askıda tutacak seviyede olmalıdır. Bu lagünlerdeki çamur geri devrinden dolayı katı madde konsantrasyonu da oldukça yüksektir. İşletmeyi kolaylaştırmak için lagün içerisinde bir çöktürme bölgesi oluşturulabilir veya alternatif kullanım amacıyla sistem iki gözlü yapılabilir. BOİ giderimi yüksek olup %95-98 aralığındadır. Sistemde aynı zamanda nitrifikasyon da gerçekleşmektedir.

Bu havuzların boyutlandırılmasında, uygun bekletme süresi seçilerek hacim hesaplanır. Seçilen mekanik havalandırıcı için uygun su derinliği seçilerek boyutlar ve bu boyutlara göre dispersiyon katsayısı belirlenir. Dispersiyon sayısı için dispersiyon katsayısı bilinmelidir. Havuz şekline ve akıma göre dikdörtgen havuzlar için dispersiyon sayısı D, (16.7-33).B arasında alınabilir. Havuz sıcaklığı hesaplanır ve bu sıcaklıktaki K_L değeri bulunarak, Wehner-Wilhelm denkleminden veya bu denklemin kullanılmasıyla elde edilen tablo veya grafikten çıkış konsantrasyonu belirlenir. Havalandırmalı lagünlerde havalandırıcı gücü, fakültatif olanlarda havuz hacmi başına 1.0-1.2 W/m^3 ve havalı olanlarda ise 2.75 W/m^3 den büyük alınarak hesap yapılır. Giderilen $BOİ_5$ başına havalandırıcı gücü ise 1.8-2 kW'dir. Kişi başına gerekli yüzey alanı, 1.5 ile 3 m² alınabilir ve iki kademeden oluşabilir. Birincisi, havalandırma, ikincisi ise çöktürme havuzudur. Birinci havuzdaki hacim ihtiyacı, kişi başına 3 m^3 ve havuz derinliği, 2.5-3 m olabilir. Çöktürme havuzunda ise hacim ihtiyacı, kişi başına 0.3-0.5 m^3 aralığındadır.

Tablo E2.6 Evsel atıksuları arıtan farklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri

Özellik	Fakültatif	Havalı sürekli akışlı	Havalı geri devirli
Katı madde kontrolü	Yoktur (bir kısmı çöker, diğer kısmı arıtılmış su ile çıkar)	Kısmen (katılar çökmez, arıtılmış su ile çıkar)	Tam kontrol (fazla çamur kontrollü olarak sistemden çekilir)
Lagündeki AKM konsantrasyonu, mg/L	50-150	100-350	3000-5000
UAKM/AKM (%)	50-80	70-80	70-80
Çamur yaşı θ_c, gün	Yüksek	Genellikle 5	Sıcak iklim: 10-20 Ilık iklim: 20-30 Soğuk iklim: >30
BOI giderim hızı (20°C'de günlük, filtrelenmiş), kg/m^3/gün	0.6-0.8	1-1.5	20-30
Sıcaklık katsayısı, θ	1.035	1.035	1.01-1.05
Hidrolik kalış süresi, gün	3-12	Genellikle 5	0.5-2
BOI giderim verimi (%)	70-90	50-60	95-98
Nitrifikasyon	Yok	Uygunsuz şartlar	Az
Koliform giderimi (%)	60-99	60-90	60-90
Lagün derinliği, m	2.5-5	2.5-5	2.5-5
Arazi ihtiyacı,(m^2/kişi) Sıcak iklim Ilık iklim	 0.3-0.4 0.45-0.9	 0.3-0.4 0.35-0.7	 0.15-0.25 0.25-0.55
Güç ihtiyacı, kW/kişi-yıl hp/1000	 12-15[6] 2-2.5[6]	 12-14 2-2.5	 18-24 3-5
Min.güç (kW/10^{3}m^{3}lagün hacmi)	0.75-1 (eşit O_2 yaymak)	2.75-5 (bütün katıları askıda tutmak)	15-18 (bütün katıları askıda tutmak için)
Çamur	Birikir ve birkaç yıl sonra uzaklaştırılır	Birikim olmaz. Katı maddeler arıtılmış su ile çıkar	Fazla çamur günlük uzaklaştırılır
Çıkış yapısı	savakla dışarı verilir	Kısmi veya tam boru kullanılır	Savak veya boru kullanılır

b) Stabilizasyon Havuzları

Stabilizasyon havuzları, en basit ve işletilmesi kolay arıtma sistemleridir. Bu havuzlarda, enerji ve mekanik teçhizata ihtiyaç yoktur. Ayrıca yetişmiş işletme elemanına da ihtiyaç duyulmaz. Bu sistemde atıksular sığ havuzlarda uzun süre bekletilmekte ve organik maddelerin ayrışması sağlanmaktadır. Ancak yukarıda belirtilen çok büyük üstünlüklerinin yanında, geniş araziye ihtiyaç göstermeleri bir mahzur olarak alınabilir. Dolayısıyla, stabilizasyon havuzları ancak arazinin ucuz ve iklim şartlarının müsait olduğu sıcak ve ılıman bölgeler için uygun arıtma sistemi olarak düşünülebilir. Stabilizasyon havuzları, reaksiyon kinetikleri ve akım şekilleri yönünden reaktörlere benzemektedir. Arıtım verimi, BOİ giderimi ile birlikte mikroorganizma ve besi maddeleri (N ve P) arıtımında da istenilen şartları sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Stabilizasyon havuzlarını üç sınıfta toplamak mümkündür. Bunlar, havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzlarıdır. Bunlara ait boyutlandırma kriterleri Tablo E2.7'de verilmiştir.

Havalı stabilizasyon havuzlarında derinlik, ışık geçirimini ve fotosentezle alg oluşumunu en yüksek seviyede tutmak için oldukça sığdır. Derinlikleri, 0.5 m civarındadır. Havasız stabilizasyon havuzları ise daha derin inşaa edilirler. Havasız ve fakültatif mikroorganizmalar, nitratlar ve sülfatlardaki oksijeni kullanırlar. Bu tip havuzlar yüksek organik yükleri kabul edebilirler ve alg fotosentezi olmadan çalışabilirler. Işığın geçirimi bu havuzlarda önemli olmadığından, 3-5 m derinlikler kullanılır. Ancak günümüzde bu havuzlar yerine daha verimli oldukları için havasız çamur yataklı reaktörler (HÇYR) veya havasız perdeli reaktör (HPR) sistemleri kullanılabilir.

Tablo E2.7 Havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzları için tasarım parametreleri

Parametre	Havalı	Fakültatif	Havasız
Hidrolik bekletme süresi, gün	5-20	10-30	20-50
Su derinliği, m	03-1	1-2	2.5-5
$BOİ_5$ yükü, kg/ha.gün	40-120	15-120	200-500
Çözünmüş $BOİ_5$ giderimi, %	90-97	85-95	80-95
Toplam $BOİ_5$ giderimi, %	40-80	70-90	60-90
Alg konsantrasyonu, mg/L	100-120	20-80	0-5
Çıkış AKM, mg/L	100-250	40-100	70-120

Fakültatif stabilizasyon havuzları, ne tam havalı ne de tam havasızdır. Bu havuzların derinlikleri 1 - 2 m arasındadır. Fakültatif stabilizasyon havuzlarında iki tabaka mevcut olup, yüzeye yakın kısımlarda alglerin faaliyeti sonucu oksijen bulunur. Bu yüzden üst tabaka havalı olup, organik maddelerin çökeldiği alt tabaka havasızdır. Bu tip havuzlar kısmen havalı, kısmen de havasız olarak çalışmaktadır. Bu nedenle hem alg hem de fakültatif mikroorganizma gelişimi olmaktadır (Şekil E2.7b). Gündüz güneş ışığında havuz ağırlıklı olarak havalı karakterde iken, gece havuz tabanındaki su havasız karakterdedir. Dünyadaki mevcut havuzların çoğu fakültatif tiptedir. Bekletme süreleri iklim durumuna göre 20 - 40 gün, hatta daha fazla alınabilir. BOİ giderme verimi, iklime, bekletme süresi ve karışım şekline bağlı olarak % 70 ile 90 arasında ve koliform giderme verimi % 60 ile 99.9 arasında değişmektedir.

Stabilizasyon havuzlarının boyutlandırılması şu kademelerden oluşmaktadır: Oksijen üretimi hesaplanır. 20 °C için birinci mertebe karbonlu organik madde giderim hızı sabiti, K_p tahmin edilir, havuz sıcaklığı seçilir ve K_p'de sıcaklık düzeltmesi yapılır. Dispersiyon sayısı, D seçilir. Gerekli verim veya S/S_0 değerlerinden $K_p.t$ hesaplanır ve bekletme süresi t, bulunur. Daha sonra havuz hacmi hesaplanır ve boyutlar belirlenir.

Fakültatif stabilizasyon havuzları için BOİ yüklemeleri, Akdeniz Bölgesinde 150 kg BOİ/ha.gün, Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde 100 kg BOİ/ha.gün, İç Anadolu Bölgesinde, 80 kg BOİ/ha.gün ve Doğu Anadolu Bölgesinde 50 kg BOİ/ha.gün alınabilir. Fakültatif stabilizasyon havuzlarının boyutlandırılmasında iklim (sıcaklık, güneş ışığı, bulutluluk, rüzgar vb) ve arıtılacak atıksuyun özelliklerinin tesiri olduğu dikkate alınmalıdır.

Çamur birikimi 0.03-0.05 m^3/çamur/kişi.yıl'dır. Bu durum gözönünde tutularak çamur birikimi için fazladan bir hacim dikkate alınmalıdır. Hacim hesabında, çamurlann 5-10 yılda bir defa temizleneceği kabul edilmelidir.

Stabilizasyon havuzları, tabii zeminde inşa edilirler. Havuz tabanının su sızdırmaması, dolayısıyla yeraltı sularını kirletmemesi için havuz tabanı geçirimsiz yapılmalıdır. Zemin sıkıştırılıp, killi toprak serilmesi gerekebilir. Havuz yan yüzleri, 2-2.5 yatay ve 1 düşey olacak şekilde şevli inşa edilir. Yan yüzler, beton veya taş ile kaplanacaksa, eğim 1-1.5 yatay ve 1 düşey alınabilir.

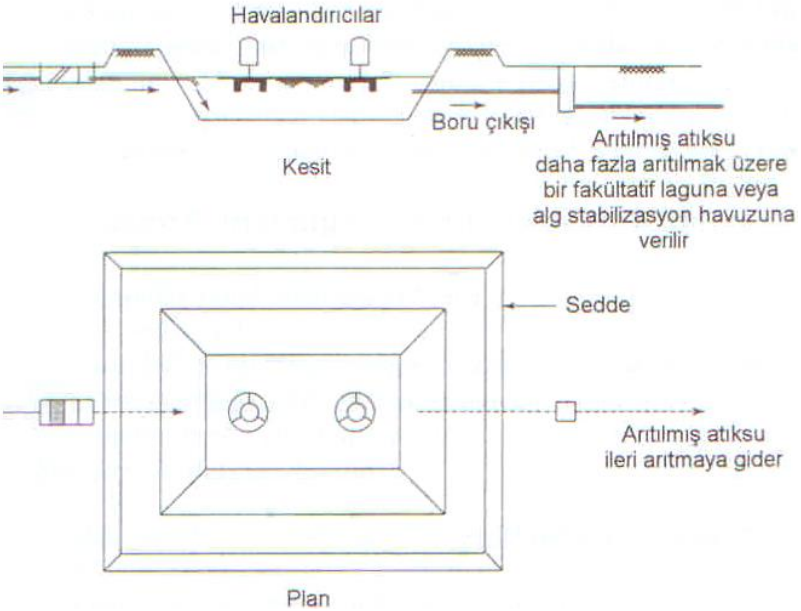
Stabilizasyon havuzları, birden fazla sayıda ve/veya seri halde (üç gözlü) yapılabilir. Kişi başına yüzey alanı, 10-15 m^2 olabilir. Birinci havuzun yüzey alanı kişi başına 6 m^2, ikinci ve üçüncü havuzların toplam yüzey alanı kişi başına 5 m^2 olabilir. Havuz tabanı kesinlikle çatlak ve karstik yapıda olmamalı ve gerekli geçirimsizlik sağlanmalıdır.

Hiçbir arıtmadan geçmemiş atıksuları kabul eden havuzlara ham veya birinci kademe stabilizasyon havuzları denir. Ön çöktürmeden geçmiş veya biyolojik olarak arıtılmış atıksuların geldiği havuzlara ise ikinci kademe stabilizasyon havuzları adı verilir. İkinci kademe stabilizasyon havuzlarına örnek olarak olgunlaştırma havuzları sayılabilir. Stabilizasyon havuzlarında veya diğer klasik arıtma tesislerinde arıtılan atıksular daha iyi hale getirilmek üzere (özellikle, bakteri sayısı azaltılmak üzere), belli bir süre (yaklaşık 5-7 gün) olgunlaştırma havuzlarında ilave arıtmaya tabi tutulurlar. Olgunlaştırma havuzları, organik yük yönünden oldukça hafif yüklenirler. Sıcak iklimlerde olgunlaştırma havuzları, klorla dezenfeksiyona ekonomik yönden fizibil bir alternatif olmaktadır.

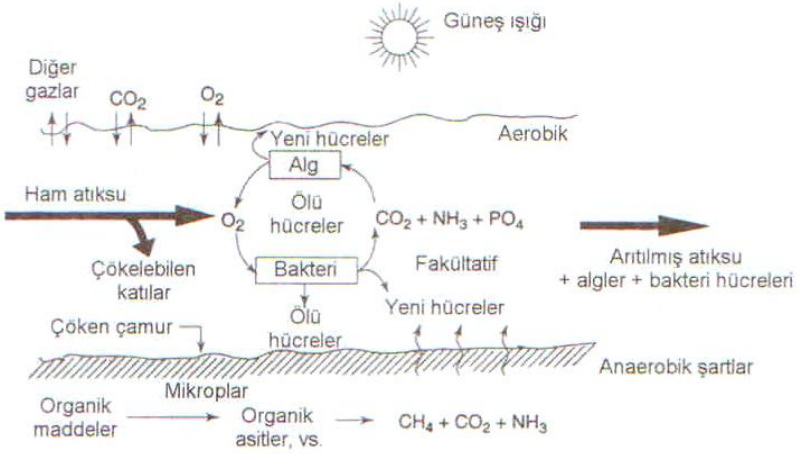
Havalandırmalı lagün ve stabilizasyon havuzu sistemi çıkış suları genelde sulama amaçlı kullanılabilir. Hassas su alanlarına deşarj için ilave N, P giderimi yapılmalıdır.

c) Olgunlaştırma Havuzları

Olgunlaştırma havuzları, havalandırmalı lagün veya fakültatif stabilizasyon havuzu çıkış suyu kalitesinin özellikle patojenler açısından iyileştirilmesi amacıyla kullanılan havuzlardır. Olgunlaştırma havuzlarının BOİ giderim verimi çok az olsa da azot ve fosfor giderimine katkıları büyüktür. Olgunlaştırma havuzlarında dikey biyolojik ve fizikokimyasal tabakalaşma gözlenmemektedir. Olgunlaştırma havuzunun yer aldığı tipik bir akım şeması Şekil E2.8'de verilmektedir.

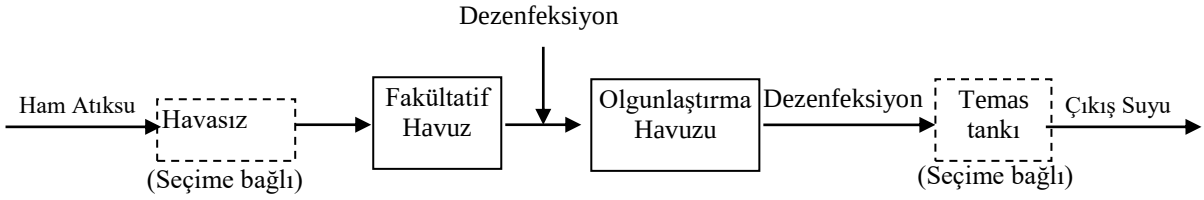


a) Havalandırmalı lagünler



b) Stabilizasyon havuzları

Şekil E2.7 Havalandırmalı lagünler ve stabilizasyon havuzları



Şekil E2.8 Olgunlaştırma havuzunun yer aldığı tipik bir akım şeması

Olgunlaşma havuzlarındaki alg popülasyonu fakültatif havuzlardakine oranla çeşitlidir. Fakültatif havuzlarda kısmen fekal bakteri giderimi gerçekleşirken olgunlaştırma havuzlarının sayısı ve boyutları çıkış suyundaki fekal bakteri miktarını belirler. Fakültatif stabilizasyon havuzu ve olgunlaştırma havuzlarında fekal bakteri giderimi için başlıca faktörler, hidrolik bekletme süresi ve sıcaklık, yüksek pH (> 9) ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile birlikte yüksek ışık yoğunluğudur.

Bekletme süresi ve sıcaklık, olgunlaştırma havuzlarının tasarımında kullanılan iki ana parametredir. Alglerin hızlı fotosentezi nedeniyle karbondioksit tükenmesi ve bakterial solunumun gerçekleşmesi sonucu karbonat ve bikarbonat iyonlarının ayrılması ile olgunlaştırma havuzunda yüksek pH değerleri oluşur. 425-700 nm arasındaki ışık dalga boylarında fekal bakteri giderilebilmektedir.

Olgunlaştırma havuzunun da yer aldığı bir stabilizasyon havuzu sisteminde (havasız lagün + fakültatif stabilizasyon havuzu + olgunlaştırma havuzu) olgunlaştırma havuzu sayısına bağlı olarak, azot giderimi %80'e ulaşırken, amonyak giderimi % 90'ın üzerinde olmaktadır. Ayrıca, bu tür bir sistemde %50 oranında fosfor giderimi de elde edilebilir.

Olgunlaştırma havuzları fakültatif havuzlardan sığ olup, 1-1.5 m derinlikte tasarlanabilirler. Olgunlaştırma havuzlarına düşük organik yüklemeler uygulanması nedeniyle derinlik boyunca iyi oksijenlenme sağlanır. Olgunlaştırma havuzlarının bekletme süresi 18-20 gün aralığında değişmekte olup, organik kirlilik yükü, 15 kg $BOİ_5$/ha.gün'den küçük olmalıdır.

Olgunlaştırma havuzu veya lagünlerinde çeşitli su bitkilerinin yetiştirilmesi ve/veya balık üretimi ile bu sistemlerdeki arıtma verimlerinin arttırılmasının yanında, üretilen bitkisel veya hayvansal proteinin ekonomik olarak değerlendirilmesi imkanı da mevcuttur.

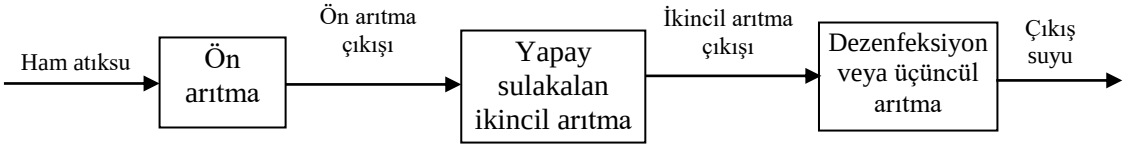
ç) Yapay Sulakalan Sistemleri

Yapay sulakalan uygulamaları son zamanlarda oldukça önem kazanmıştır. Yapay sulakalanlar, doğal sulakalanlarda gerçekleşen sürecin kontrollü bir sistem içerisinde gerçekleştirilmesi nedeniyle önemli bir üstünlük taşımaktadır. Bu tür sulakalanlar atıksuyun doğal koşullarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerle genellikle derinliği 1 m'den daha az olan havuz, yatak veya kanallarda, sucul bitkilerin büyütülmesi ile arıtılması esasına dayanmaktadır. Yapay sulakalanlar geçirimsiz kil tabakası veya sentetik tabakalar ile izole edilen hacimlerin içine taş, çakıl ve kum gibi gözenekli maddelerin yerleştirilmesi ile oluşturulan, atıksu akışının, bekletme süresinin ve atıksu seviyesinin kontrol edildiği yapılardır.

Uygulanabilecek nüfus büyüklüğü, mevcut arazi durumu, hidroloji, iklim ve zemin şartları, toprak geçirgenliği, taşkın riski, çevresel ve düzenleyici şartlar gibi faktörlere bağlıdır. Buna rağmen kuzey Avrupa ülkeleri gibi soğuk iklime sahip ülkelerde de kullanılmaktadır. Bu tesisler, nüfus yoğunluğunun düşük olduğu ve düşük debilerin ileri arıtmaya ihtiyaç duyduğu yerlerde kullanılmaktadır. Genellikle yatak akımlı tiptedirler.

Yapay sulakalanlar, arazinin ucuz olduğu ve yetişkin personelin mevcut olmadığı yerleşimler için uygun bir teknolojidir. Hedeflenen arıtma ihtiyacı doğrultusunda çeşitli arıtma alternatifleri ile beraber uygulanabilir. Yapay sulakalanların ham atıksu için kullanılması tavsiye edilmemektedir. Arıtma veriminin iyileştirilmesi için uygun bir ön arıtmanın ardından ikincil arıtma alternatifi olarak

kullanılması yapay sulakalanın verimini artırmaktadır. Yapay sulakalan arıtma alternatifinin yer aldığı tipik bir akım şeması Şekil E2.9'da görülmektedir.



Şekil E2.9 Yapay sulakalanlar için tipik akım şeması

Ön arıtma seçenekleri olarak, yüzen kaba partiküllerin giderilmesi için ızgara ünitesinin ardından, askıda partiküllerin giderilmesi ve organik yüklemenin azaltılması için imhoff tankı veya septik tanklar, stabilizasyon havuzları veya ön çöktürme havuzu uygulanabilir. Atıksu arıtıldıktan sonra uygulanacak nihai uzaklaştırmaya bağlı olarak yapay sulakalan sistemlerinden önce veya sonra diğer arıtma sistemleri eklenerek başarılı bir arıtma sağlanabilir. Yapay sulakalanlar özellikle evsel yerleşimlerde yer alan septik tanklardan gelen atıksular ile havalandırmalı lagünler veya aktif çamur sistemlerinden çıkan atıksuların 3. kademe arıtılmaları için kullanılabilir.

Sulakalanların başlıca bileşenleri, arıtma hücresine yakın setler, en uygun arıtma için giriş atıksuyunu dağıtan ve düzenleyen giriş yapısı, açık su alanları ile bütünüyle bitki büyümesinin gözlendiği alanların kombinasyonu ve giriş yapısı tarafından sağlanan dağılımı tamamlayıcı ve arıtma hücresindeki su seviyesini düzenleyici çıkış yapısıdır.

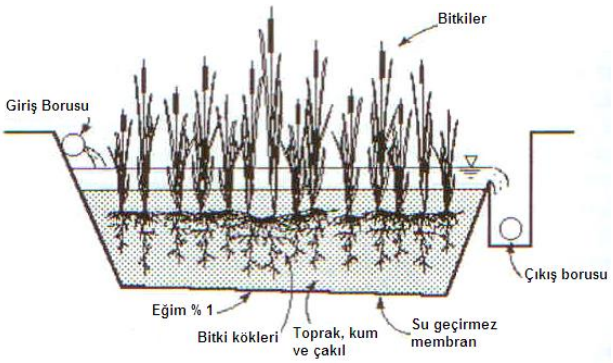
Yüzey akışlı ve yüzey altı akışlı olmak üzere iki tip yapay sulakalan sistemi mevcuttur. Yüzey akışlı yapay sulakalanlarda atıksu akışı, toprak tabakasının altına doğru kök salmış su bitkilerinin gövdesi ve yaprakları arasından geçerek, yüzey altı yapay sulakalanlarda ise akış, taş, çakıl ve kum gibi malzemelerin içerisinde yetiştirilmiş bitkilerin gövdesi ve kökleri ile atıksu temas ettirilerek sağlanmaktadır. Elverişli bir ön arıtma ve yüzey akışlı sulakalan ile aylık ortalama bazda BOİ ve AKM çıkış konsantrasyonları 10 mg/L'den daha az elde edilebilmektedir. Yüzey altı akışlı sulakalanların çıkışında ise BOİ ve AKM konsantrasyonları, 30 mg/L'nin altında elde edilmektedir.

1) Yüzey Akışlı Sulakalanlar;

Yüzey akışlı sulakalanlarda su derinliği için genellikle, 0.15-0.6 m arasında değişen tipik değerler kullanılmakla beraber, yetişen bitkilerin yoğunluğuna bağlı olarak 0.1-2 m'ye kadar da seçilebilmektedir (Şekil E2.10). Yüzey akışlı sulakalanlarda yüzey alanı, bekletme süresi ve derinliğe bağlıdır. Toplam yüzey alanı, iyi bir hidrolik kontrol ve işletme kolaylığı sağlamak amacıyla banketler ile ayrılarak en az iki paralel havuza bölünmelidir.

Yüzey akışlı sulakalanlarda bitkiler, çökelmiş katılar, diğer katı maddeler ve su kolonunun uzunluğu kullanılabilir su alanını azaltabilir. Bitkilerin yoğun bulunduğu bölgeler için sulakalanın gözenekliliği 0.65-0.75 arasında kabul edilebilirken, bitki yoğunluğunun artması ile orantılı olarak daha düşük değerler de kullanılabilir. Açık su alanına sahip sulakalanlar için sulakalanın gözenekliliği, 1.0 kabul edilebilir.

Yüzey akışlı sulakalanlarda su kolonuna oksijen sağlanması bitki yoğunluğuna bağlı olarak azalmakta olup, organik yükleme oranı 18-116 kg BOİ/ha.gün arasında değişmekte ve %70-95 arasında bir giderme verimi elde edilebilmektedir.



Şekil E2.10 Yüzey akışlı yapay sulakalan

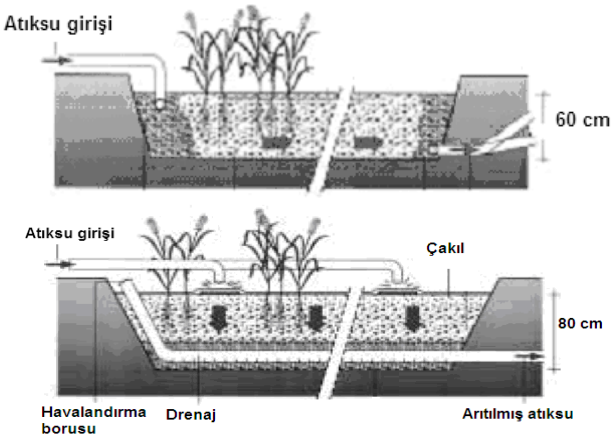
2) Yüzey Altı Akışlı Sulakalanlar;

Yüzey altı akışlı sulakalanlarda bitkiler suya gövde/kök sistemi ile oksijen sağladığı için tasarım derinliği, bitki gövdelerine ve köklerine nüfuz etme derinliği ile kontrol edilmektedir. Su derinliği, maksimum 0.4 m kabul edilmeli, girişteki atıksu seviyesi ile tanımlanan ortam derinliği ise su derinliğinden en az 0.1 m fazla olmalıdır. Yüzey altı akışlı sulakalanların kesit alanı hedeflenen hidrolik kapasiteye ve akış hızına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Akış hızı en fazla, 6.8 m/gün olmalıdır.

Başlangıçta sulakalanın gözenekliliği için tipik değerler 0.18-0.35 arasında kabul edilebilirken, sistemin bitki gövdelerinin büyümesi ve olgunlaşması sonucu gözeneklilik değeri değişmektedir.

Yüzey altı akışlı sulakalanların organik yükleme miktarı en fazla 110 kg/ha.gün olabilir. Sistemin giriş yapısında BOİ yoğun halde bulunacağı için, tasarım organik yükleme oranının oksijen transfer hızının bir buçuk katından fazla olmaması tavsiye edilmektedir.

Yüzey altı akışlı yapay sulakalanlar, yatay ve düşey akışlı olmak üzere iki şekildedirler (Şekil E2.11). Yatay akışlı yapay sulakalanlarda, filtreler suya doymuş durumdadır. Atıksu, filtre girişinden verilmekte ve daha sonra malzeme boyunca yatay yönde akmaktadır. Su seviyesi, yüzeyin 5 cm altında olmalıdır. Yatak derinliği 60 cm olabilir. Derinlik, maksimum bitki kökü penetrasyon değerine eşit olmalıdır. Bitki yoğunluğu ise 4 bitki/m² olarak alınabilir.

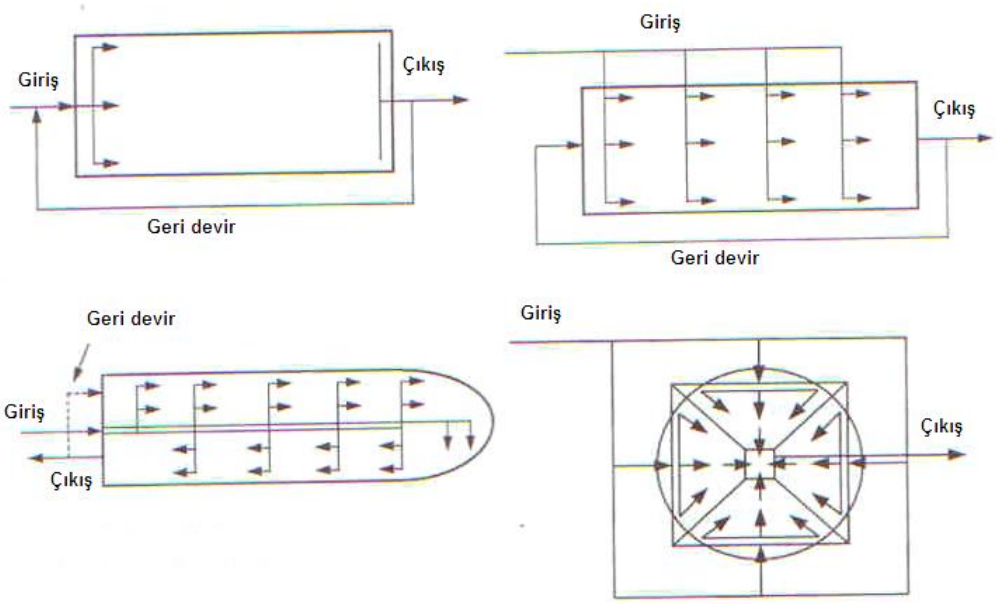


a) Yatay akışlı yapay sulakalan b) Dikey akışlı yapay sulakalan

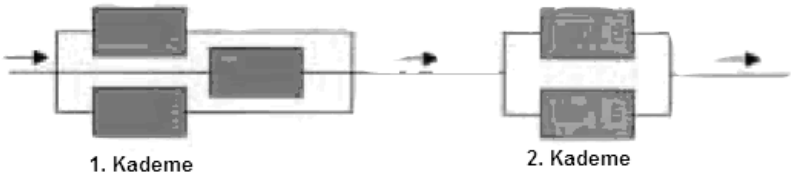
Şekil E2.11 Yüzey altı akışlı yapay sulakalanlar

Dikey akışlı yapay sulakalanlar, arıtılacak atıksu özelliğine göre değişen oranda kum ya da çakıl katmanı içeren ve tabanı tamamen sızdırmaz yapıda olan sistemlerdir. Filtre tabakası içerisine uygun yöresel bitkiler ekilebilir. Atıksu belirli noktalardan yüzeyden beslenmektedir (Şekil E2.12). Başta bir çubuk ızgara kullanılabilir.

Dikey akışlı yapay sulakalanlar, iki kademeli seri bağlı reaktörler halinde de kullanılabilir (Şekil E2.13). İlk kademenin kişi başına yüzey alan 1.2 m^2, organik yükleme ise 40 g $BOİ_5/m^2$.gün alınabilir. Birinci kademe, toplam yüzey alanının % 60'ını kaplayabilir. İkinci kademenin yüzey alanı kişi başına 0.8 m^2 olabilir. Bitki türü olarak en çok kamış kullanılmaktadır. Bitki yoğunluğu 4 bitki/m^2 dir. İşletiminin kolay ve maliyetinin düşük olması bu tür sistemlerin en önemli üstünlükleridir. Topografya uygun ise hiç enerji tüketimi gerektirmez.



Şekil E2.12 Yapay sulakalanlarda giriş ve çıkış akımları



Şekil E2.13 Seri haldeki dikey akışlı yapay sulakalanlar

EK 3

KARBON, AZOT VE FOSFOR GİDEREN BİR ARITMA TESİSİ TASARIM KILAVUZU

Aşağıda, karbon, azot ve fosfor gideren bir tesis için, biyolojik ünitelerin ve çöktürme havuzunun tasarımını içeren iki ayrı tasarım klavuzu oluşturulmuştur. Bu yöntemlerden birincisi klasik yöntem olup, bu yöntemde mevcut literatürdeki kaynaklar baz alınmıştır İkinci yöntemde ise ATV-DVWK-A 131E, 2000 Kriterleri kullanılmıştır.

ATV-DVWK-A 131E yöntemine göre biyolojik proses (karbon, azot, fosfor giderimi) hesabı

Biyolojik proses hesabında azot-fosfor giderimi gerçekleştirecek bir A^2O prosesinin tasarımı için ATV-DVWK-A 131E yöntemi kullanılarak bir tasarım klavuzu oluşturulmuştur. İlk olarakTablo E3.1'de, bu yöntem için kullanılan sembol listesi ve birimleri verilmiştir.

Tablo E3.1 ATV-DVWK-A 131E yönteminde kullanılan sembol listesi

Sembol	Açıklama	Birim
$S_{NO3, D}$	Günlük denitrifiye edilecek ortalama nitrat konsantrasyonu	mg/L
$C_{N, IAT}$	Giriş TKN konsantrasyonu	mg/L
$S_{orgN, EST}$	Çıkış organik azot konsantrasyonu	mg/L
$S_{NH4, EST}$	Çıkış amonyum konsantrasyonu	mg/L
$S_{NO3,EST}$	Çıkış nitrat konsantrasyonu	mg/L
$X_{orgN, BM}$	Hücre içine alınan azot konsantrasyonu	mg/L
$C_{COD, IAT}$	Arıtma tesisi girişinde toplam KOİ konsantrasyonu	mg/L
$C_{BOD, IAT}$	Arıtma tesisi girişinde BOİ konsantrasyonu	mg/L
V_D	Anoksik bölme hacmi	m^3
V_{AT}	Toplam reaktör hacmi (Anoksik + Aerobik)	m^3
$t_{SS, dim}$	Toplam çamur yaşı	gün
SF	Güvenlik faktörü	-
$X_{P, Prec}$	Çöktürülmesi gereken fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$C_{P, IAT}$	Giriş fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$C_{P, EST}$	Çıkış suyunda beklenen fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$X_{P, BM}$	Heterotrofların çoğalmak amacıyla kullandıkları fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$X_{P, BioP}$	Biyolojik olarak giderilecek fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$SP_{d, C}$	Karbon giderimi sonucu oluşan çamur miktarı	kg/gün
Q_d	Ortalama kuru hava debisi	m^3/gün
$X_{COD, SP}$	Karbon giderimi sonucu üretilen çamurun KOİ eşdeğeri	mg/L
$X_{inorgSS,IAT}$	Arıtma tesisi girişinde inorganik askıda katı madde konsantrasyonu	mg/L
$X_{COD, INERT, IAT}$	İnert partiküler giriş KOİ konsantrasyonu	mg/L
$X_{COD, BM}$	Oluşan biyokütlenin KOİ eşdeğeri	mg/L
$X_{COD, INERT, BM}$	İçsel solunum sonucu oluşan inert partiküler KOİ konsantrasyonu	mg/L
$S_{COD, IAT}$	Arıtma tesisi girişinde çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu	mg/L
$X_{COD, IAT}$	Arıtma tesisi girişinde partiküler inert KOİ konsantrasyonu	mg/L
$C_{COD,deg,IAT}$	Arıtma tesisi girişinde biyolojik olarak ayrışabilir KOİ konsantrasyonu	mg/L
$X_{SS, IAT}$	Arıtma tesisi girişinde partiküler KOİ konsantrasyonu	mg/L
t_{ss}	Toplam çamur yaşı	gün
b	15 ºC'de mikroorganizmalar için ölüm katsayısı	gün
Y	Mikroorganizma dönüşüm oranı	g KOİ/ g $KOİ_{biyolojik\ ayrışabilir}$
F_T	Sıcaklık düzeltme faktörü	-

T	Sıcaklık	^0C
B	AKM'nin inert kısmı	-
$SP_{d,P}$	Fosfor giderimi sonucu oluşan çamur miktarı	kg/gün
$X_{P, BioP}$	Biyolojik olarak giderilen fosfor konsantrasyonu	mg/L
$X_{P, Prec, Fe}$	Demir kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu	mg/L
$X_{P, Prec, Al}$	Alüminyum kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu	mg/L
SP_d	Toplam günlük çamur miktarı	kg/gün
$M_{SS, AT}$	Biyolojik reaktör içinde gerekli olan AKM kütlesi	kg
SS_{BS}	Son çöktürme havuzu dip çamurunda AKM konsantrasyonu	kg/m^3
SVI	Çamur hacim indeksi	L/kg
t_{Th}	Son çöktürme havuzunda çamur yoğunlaştırma süresi	saat
SS_{RS}	Geri devir çamurundaki AKM konsantrasyonu	kg/m^3
Q_{RS}	Geri devir çamur debisi	m^3/gün
RC	Toplam geri devir oranı	-
$S_{NH4, N}$	Nitrifiye edilecek amonyum konsantrasyonu	mg/L
$S_{NO3, EST}$	Çıkıştaki nitrat konsantrasyonu	mg/L
IR	İçsel geri devir oranı	-
RS	Aktif çamur geri devri	-
SS_{AT}	Reaktör içi biyokütle konsantrasyonu	kg/m^3
θ_h	Hidrolik bekletme süresi	saat
Q_d	Ortalama kuru hava debisi	m^3/gün
$OU_{d, C}$	Karbon giderimi sonucu tüketilen oksijen miktarı	kg O_2/gün
$S_{COD, inert, EST}$	Çıkış çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu	mg/L
$OU_{d, N}$	Nitrifikasyon sonucu tüketilen oksijen miktarı	kg O_2/gün
$S_{NO3, D}$	Denitrifiye edilecek nitrat konsantrasyonu	mg/L
$S_{NO3, IAT}$	Giriş nitrat konsantrasyonu	mg/L
$S_{NO3, EST}$	Çıkış nitrat konsantrasyonu	mg/L
$OU_{d, D}$	Denitrifikasyon sonucu açığa çıkan oksijen miktarı	kg O_2/gün
OU_h	Saatlik oksijen ihtiyacı	kg O_2/sa
f_C	Karbon için pik faktör	-
f_N	Azot için pik faktör	-
q_A	Yüzeysel yükleme hızı	m/sa
q_{SV}	Çamur hacim yükleme hızı	m/sa
DSV	Seyreltilmiş çamur hacim indeksi	L/m^3
SS_{EAT}	Son çöktürme havuzu girişinde AKM konsantrasyonu	kg/m^3
A_{ST}	Son çöktürme havuzu alanı	m^2
Q_{wwh}	Saatlik yağışlı hava debisi	m^3/sa
h_1	Temiz su bölgesi	m
h_2	Ayırma bölgesi/ geri devir bölgesi	m
h_3	Yoğun akış ve çamur depolama bölgesi	m
h_4	Yoğunlaştırma ve çamur ayırma bölgesi	m
h_{tot}	Toplam havuz derinliği	m

1. Adım: Denitrifikasyon kapasitesinin belirlenmesi

$$S_{NO3, D} = C_{N, IAT} - S_{orgN, EST} - S_{NH4, EST} - S_{NO3,EST} - X_{orgN, BM}$$

$S_{NO3, D}$: Günlük denitrifiye edilecek ortalama nitrat konsantrasyonu (mg/L)

$C_{N, IAT}$: Giriş TKN konsantrasyonu

$S_{orgN, EST}$: Çıkış organik azot konsantrasyonu

- Eğer aktif çamur sisteminin dışında atık çamura başka bir işlem yapılmıyorsa 2 mg/L seçilir.

$S_{NH4, EST}$: Çıkış amonyum konsantrasyonu

- Güvenli tarafta kalmak için kural olarak 0 mg/L seçilir.

$S_{NO3,EST}$: Çıkış nitrat konsantrasyonu

- Azot için çıkış standardının 0.6 – 0.8'i arasında seçilir.

$X_{orgN, BM}$: Hücre içine alınan azot konsantrasyonu

- Giriş KOİ konsantrasyonunun 0.02 – 0.025'i arasında kabul edilir.

Gerekli denitrifikasyon kapasitesi: $S_{NO3,\,D}/C_{COD,\,IAT}$ oranına göre bulunur.

$S_{NO3,\,D}/C_{COD,\,IAT} = 0{,}5.(S_{NO3,\,D}/C_{BOD,\,IAT})$
$C_{COD,\,IAT}$: Arıtma tesisi girişinde toplam KOİ konsantrasyonu, mg/L
$C_{BOD,\,IAT}$: Arıtma tesisi girişinde BOİ konsantrasyonu, mg/L
olarak kabul edilir. Bu oran sisteme giren KOİ başına ne kadar nitratın denitrifiye edileceğini gösteren bir orandır. Buna göre Tablo E3.2'den gerekli V_D/V_{AT} (anoksik hacim/toplam hacim) oranı seçilir.

Tablo E3.2. 10 ºC -12 ºC kuru hava sıcaklığı için denitrifikasyon hacim oranınının belirlenmesinde kullanılacak değerler (giriş kg BOİ$_5$ başına denitrifiye edilecek kg nitrat azotu), (ATV-A131E)

V_D/V_{AT}	$S_{NO3,D}/C_{BOD,IAT}$	
	Önde denitrifikasyonu yapan sistemler ve benzer prosesler	Eşzamanlı ve kesikli denitrifikasyon yapan sistemler
0.2	0.11	0.06
0.3	0.13	0.09
0.4	0.14	0.12
0.5	0.15	0.15

- *12 ºC'den yüksek sıcaklıklar için denitrifikasyon kapasitesi 1 ºC başına %1 şeklinde artırılabilir.*
- *V_D/V_{AT} = 0.2'den küçük ve V_D/V_{AT} = 0.5'ten büyük denitrifikasyon hacimleri boyutlandırma için tavsiye edilmez.*

Hesaplanan $S_{NO3,\,D}/C_{BOD,\,IAT}$ değerine göre V_D/V_{AT} oranı tablodan seçilir.

2. Adım: Toplam çamur yaşının belirlenmesi
Nitrifikasyon ve denitrifikasyon için gerekli olan çamur yaşı aşağıdaki formülle belirlenir.

$$t_{SS,\dim} = SF \cdot 3.4 \cdot 1.103^{(15-T)} \cdot \frac{1}{1-(V_D/V_{AT})}$$

$t_{SS,\,dim}$: Toplam çamur yaşı, gün
- Aerobik çamur stabilizasyonun reaktörde yapılması durumunda çamur yaşı $t_{SS,\,dim} \geq 25$ gün olmalıdır.

SF: Güvenlik faktörü
- Güvenlik faktörü (SF) seçiminde; maksimum büyüme hızında değişimlere yol açabilecek atıksudaki substratlar, kısa dönemli sıcaklık değişimleri ve pH' taki değişimler, ortalama çıkış amonyum konsantrasyonu ve girişteki nitrojen yükündeki değişimlerin çıkış amonyak konsantrasyonu üzerine etkileri gibi faktörler dikkate alınır. Daha önceki deneyimlere dayanarak KOİ yükünün 12000 kg/gün olduğu durumlarda güvenlik faktörünün 1,45 alınması tavsiye edilir. Böylece ortalama çıkış amonyum konsantrasyonu, maksimum büyüme hızını negatif olarak etkileyen bir faktör bulunmadıkça 1,0 mg/L civarında tutulabilir. KOİ yükünün 2400 kg/gün'den küçük olması durumunda SF değeri 1.8 alınır.
-

3. Adım: Biyolojik fosfor giderimi
$X_{P,\,Prec} = C_{P,\,IAT} - C_{P,\,EST} - X_{P,\,BM} - X_{P,\,BioP}$
- $X_{P,\,Prec}$: Çöktürülmesi gereken fosfor konsantrasyonunu, mg/L
  $C_{P,\,IAT}$: Giriş fosfor konsantrasyonunu, mg/L
  $C_{P,\,EST}$: Çıkış suyunda beklenen fosfor konsantrasyonunu, mg/L
  $X_{P,\,BM}$: Heterotrofların gelişim amaçlı kullandıkları fosfor konsantrasyonunu, mg/L
  $X_{P,\,BioP}$: Biyolojik olarak giderilecek fosfor konsantrasyonunu, mg/L

$C_{P,\,EST}$: Fosfor çıkış standardının 0.6-0.7'si arasında alınır.
$X_{P,\,BM}$: Giriş KOİ konsantrasyonunun 0.005'i kabul edilir.

$X_{P,\ BioP}$: Giriş KOİ konsantrasyonunun 0.005-0.007'si arasında alınır.

Bu sonuca göre (sadece biyolojik fosfor giderimi halinde) fosfor için deşarj standardı değeri sağlanamaz ise, arıtma tesisinde fosfor giderimi için ilave kimyasal arıtma uygulanması gerekmektedir. Fosfor gideriminin gerekli olmadığı ve arıtılmış suyun sulama amaçlı kullanılacak olması durumunda kimyasal fosfor giderimi yapılmasına gerek olmayabilir. Fakat özellikle hassas alanlara deşarj yapan arıtma tesislerinde biyolojik fosfor gideriminin yetmediği durumlar için kimyasal fosfor giderimi yapılması gereklidir. Bu durumda oluşacak kimyasal çamur son işlemlerde (çamur susuzlaştırma ve çürütme) dikkate alınmalıdır.

4. Adım: Günlük oluşan çamur miktarı (SP_d)

Karbon giderimi sonucu oluşan çamur hesabı:

$$SP_{d,C} = Q_d \cdot \left(\left(\frac{X_{COD,SP}}{0{,}8 \cdot 1{,}45} \right) + X_{inorgSS,IAT} \right) / 1000$$

- $SP_{d,\ C}$: Karbon giderimi sonucu oluşan çamur miktarı, kg/gün
  Q_d: Ortalama kuru hava debisi, m^3/gün
  $X_{COD,\ SP}$: Üretilen çamurun KOİ eşdeğeri, mg/L
  $X_{inorgSS,IAT}$: Arıtma tesisi girişinde inorganik askıda katı madde konsantrasyonu, mg/L

$X_{COD,\ SP} = X_{COD,\ INERT,\ IAT} + X_{COD,\ BM} + X_{COD,\ INERT,\ BM}$

- $X_{COD,\ INERT,\ IAT}$: İnert partiküler giriş KOİ konsantrasyonu, mg/L
  $X_{COD,\ BM}$: Oluşan biyokütlenin KOİ eşdeğeri, mg/L
  $X_{COD,\ INERT,\ BM}$: İçsel solunum sonucu oluşan inert partiküler KOİ konsantrasyonu, mg/L

Atıksudaki KOİ bileşenlerinin analizler sonucu belirlenmesi gereklidir. Farklı bölgelerdeki evsel atıksular için ve/veya kanalizasyona endüstriyel atıksu girişinin yoğun olduğu bölgeler için mutlaka atıksuya özgü KOİ bileşenlerinin analiz edilerek belirlenmesi gerekmektedir.

$$X_{COD,BM} = C_{COD,\deg,IAT} \cdot Y \cdot \left(\frac{1}{1 + b \cdot t_{SS} \cdot F_T} \right)$$

- $C_{COD,deg,IAT}$: Arıtma tesisi girişinde biyolojik olarak ayrışabilir KOİ konsantrasyonu, mg/L
  $t_{SS,\ dim} = t_{SS}$

$F_T = 1.072^{(T-15)}$

- b: 15 ^oC'de mikroorganizmalar için ölüm katsayısı (gün^{-1})
  Y: Mikroorganizma dönüşüm oranı (g KOİ/ g $KOİ_{biyolojik\ ayrışabilir}$)
  F_T: Sıcaklık düzeltme faktörü
  T: Sıcaklık, ^0C

$$X_{COD,inert,BM} = 0.2 \cdot X_{COD,BM} \cdot t_{SS} \cdot b \cdot F_T$$

$X_{inorgSS,IAT} = B.\ X_{SS,IAT}$

- B: AKM'nin inert kısmı: B değeri 0.2 ila 0.3 (%70 ila %80 organik) arasında alınabilir. Eğer bu değer için hiçbir çalışma mevcut değilse ham atıksu için B = 0.3 ve birincil çöktürme tankından çıkış için B = 0.2 alınması tavsiye edilmektedir.
  $X_{SS,\ IAT}$: Arıtma tesisi girişinde partiküler KOİ konsantrasyonu, mg/L

Fosfor giderimi sonucu oluşan çamur:

$SP_{d,P} = Q_d.(3.X_{p,BioP} + 6.8.X_{P,Prec,Fe} + 5.3.X_{P,Prec,Al}) /1000$

- $SP_{d,P}$: Fosfor giderimi sonucu oluşan çamur miktarı, kg/gün
  $X_{P,\ BioP}$: Biyolojik olarak giderilen fosfor konsantrasyonu, mg/L
  $X_{P,\ Prec,\ Fe}$: Demir kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu, mg/L
  $X_{P,\ Prec,\ Al}$: Alüminyum kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu, mg/L

Biyolojik fosfor giderimi için biyolojik giderilen fosforun miligramı başına 3 mg AKM hesaba katılabilir. Kimyasal fosfor gideriminde ise; kimyasal olarak demir bileşikleri kullanılması durumunda mg giderilen fosfor başına 6.8 mg AKM ve kimyasal olarak alüminyum bileşikleri kullanılması durumunda mg giderilen fosfor başına 5.3 mg AKM oluşmaktadır.

Günlük oluşan toplam çamur miktarı (SP_d, kg AKM/gün):
$SP_d = SP_{d,C} + SP_{d,P}$

5. Adım: Biyolojik reaktör içinde gerekli olan AKM kütlesi ($M_{SS,AT}$):
$M_{SS,AT} = t_{SS.dim}.SP_d$

6. Adım: Son çöktürme havuzu dip çamurunda AKM konsantrasyonu (SS_{BS}):

$$SS_{BS} = \frac{1000}{SVI} \cdot \sqrt[3]{t_{Th}}$$

SVI: Çamur hacim indeksi, L/kg
t_{Th}: Son çöktürme havuzunda çamur yoğunlaştırma süresi, saat

- SVI ve t_{Th} değerleri için Tablo E3.3 ve Tablo E3.4'den yararlanılabilir.

Tablo E3.3 Çamur hacim indeksi için standart değerler

Arıtma hedefi	SVI (L/kg)	
	Uygun	Uygun
Nitrifikasyonsuz	100-150	120-180
Nitrifikasyon + denitrifikasyon	100-150	120-180
Çamur stabilizasyonu	75-120	100-150

Tablo E3.4: Atıksu arıtma derecesine bağlı olarak tavsiye edilen yoğunlaştırma süresi

Atıksu Arıtma Tipi	Yoğunlaştırma süresi t_{TH} (saat)
Nitrifikasyonsuz aktif çamur tesisleri	1.5 – 2.0
Nitrifikasyonlu aktif çamur tesisleri	1.0 – 1.5
Denitrifikasyonlu aktif çamur tesisleri	2.0 – (2.5)

- *Yoğunlaştırma süresinin 2 saati aşması biyolojik reaktörde çok ileri bir denitrifikasyon gerektirir. Bu yoğunlaştırma süreleri sadece düşük çamur hacim indeks değerleri ve küçük çamur geri devir oranına uygun olarak sağlanır.*

7. Adım: Geri Devir Hesabı:
Geri devir çamurundaki AKM konsantrasyonu (SS_{RS}) hesabı:

Çöktürme havuzlarının tabanından çamur çekilirken oluşan kısa devre akımları sebebiyle havuz tabanındaki AKM konsantrasyonu geri devir çamuru içerisinde seyrelir. Çöktürme havuzlarında çamur toplama yöntemine göre SS_{RS} hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

sıyırıcı üniteleriyle $SS_{RS} \sim 0{,}7.SS_{BS}$
emme üniteleriyle $SS_{RS} \sim 0{,}5 - 0{,}7.SS_{BS}$

Geri devir oranı (RS) hesabı:

$RS = Q_{RS}/Q$

- Q_{RS}: Geri devir çamur debisi

İçsel geri devir oranı:

$$RC = \frac{S_{NH4,N}}{S_{NO3,EST}} - 1$$

RC: Toplam geri devir oranı
$S_{NH4,\,N}$: Nitrifiye edilecek amonyum konsantrasyonu = $C_{N,\,IAT}$, mg/L
$S_{NO3,\,EST}$: Çıkıştaki nitrat konsantrasyonu, mg/L

$$RC = IR + RS$$

IR: İçsel geri devir oranı
RS: Aktif çamur geri devri

8. Adım: Reaktör içi biyokütle konsantrasyonu (SS_{AT}):

$$SS_{AT} = \frac{RS \cdot SS_{RS}}{1 + RS}$$

9. Adım: Biyolojik reaktör hacmi (V_{AT}):

$$V_{AT} = \frac{SP_d}{SS_{AT}}$$

Buradan V_D/V oranı kullanılarak aerobik ve anoksik tank hacimleri hesaplanabilir.
Anaerobik reaktör hacmi hidrolik bekletme süresi (θ_h) seçilerek boyutlandırılmıştır.

$$\text{Anaerobik Hacim} = \frac{Q_d + Q_{RS}}{\theta_h}$$

10. Adım: Oksijen İhtiyacı:

Karbon giderimi sonucu tüketilen oksijen:

$$OU_{d,C} = Q_d \cdot (C_{COD,IAT} - S_{COD,inert,EST} - X_{COD,SP})/1000$$

$OU_{d,\,C}$: Karbon giderimi sonucu tüketilen oksijen miktarı, kg O_2/gün
$C_{COD,\,IAT}$: Giriş KOİ konsantrasyonu, mg/L
$S_{COD,\,inert,\,EST}$: Çıkış çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu = $S_{COD,\,inert,\,IAT}$, mg/L
$X_{COD,\,SP}$: Karbon giderimi sonucu oluşan çamurun KOİ eşdeğeri, mg/L

Nitrifikasyon sonucu tüketilen oksijen:

$$OU_{d,N} = Q_d \cdot 4{,}3 \cdot (S_{NO3,D} - S_{NO3,IAT} - S_{NO3,EST})/1000$$

$OU_{d,\,N}$: Nitrifikasyon sonucu tüketilen oksijen miktarı, kg O_2/gün
$S_{NO3,\,D}$: Denitrifiye edilecek nitrat konsantrasyonu, mg/L
$S_{NO3,\,IAT}$: Giriş nitrat konsantrasyonu, mg/L
$S_{NO3,\,EST}$: Çıkış nitrat konsantrasyonu, mg/L

Denitrifikasyon sonucu açığa çıkan oksijen:

$$OU_{d,D} = Q_d \cdot 2.9 \cdot S_{NO3,D}/1000$$

$OU_{d,\,D}$: Denitrifikasyon sonucu açığa çıkan oksijen miktarı, kg O_2/gün

Saatlik oksijen ihtiyacı (OU_h):

$$OU_h = \frac{f_C \cdot (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N \cdot OU_{d,N}}{24}$$

Oksijen ihtiyacının belirlenmesinde azot ve karbon yüklerindeki günlük salınımlar dikkate alınmalıdır. Bu amaçla karbon için f_C, azot için f_N pik faktörleri kullanılır. f_C ve f_N değerleri Tablo 13'e

göre seçilir. Bu değerlerin belirlenmesi şu şekilde yapılabilir: İlk olarak, f_C değeri 1 kabul edilerek tasarıma esas çamur yaşına göre Tablo E.3.5'den f_N değeri seçilir ve bu değerler kullanılarak OU_h hesaplanır. Bu adımdan sonra, f_N değeri 1 kabul edilerek tasarıma esas çamur yaşına göre Tablo E3.5'ten f_C değeri seçilir ve bu değerler kullanılarak OU_h hesaplanır. Büyük olan OU_h sonucu saatlik hava debisi olarak kabul edilir.

Tablo E3.5 Oksijen ihtiyacı hesabında kullanılan pik faktörler

f_C ve f_N değerleri	Çamur yaşı (gün)					
	4	6	8	10	15	25
f_C	1.3	1.25	1.2	1.2	1.15	1.1
$BOD_{d,BOD,I\ için}$ $f_N \leq 1200$ kg/gün	-	-	-	2.5	2.0	1.5
$BOD_{d,BOD,I\ için}$ $f_N > 6000$ kg/gün			2.0	1.8	1.5	-

<u>11. Adım: Son çöktürme havuzu:</u>
<u>Yüzeysel yükleme hızı</u>

$$q_A = \frac{q_{SV}}{DSV} = \frac{q_{SV}}{SS_{EAT} \cdot SVI}$$

- q_A: Yüzeysel yükleme hızı, m/sa
  q_{SV}: Çamur hacim yükleme hızı, m/sa
  DSV: Seyreltilmiş çamur hacim indeksi, L/m^3
  SS_{EAT}: Son çöktürme havuzu girişinde AKM konsantrasyonu, kg/m^3

Yatay akışlı çöktürme havuzlarında çıkış AKM konsantrasyonunun 20 mg/L'den düşük olabilmesi için $q_{SV} \leq 500$ L/m^2.sa olmalıdır.

Son çöktürme tankı yüzey alanı hesabı:

$$A_{ST} = \frac{Q_{wwh}}{q_A}$$

- A_{ST}: Son çöktürme havuzu alanı, m^2
  Q_{wwh}: Saatlik yağışlı hava debisi, m^3/sa

Bu yöntemde son çöktürme tankı derinliği 4 kısma ayrılmıştır.
h_1: Temiz su bölgesi, m

- min 0.5 m olmalıdır.

h_2: Ayırma bölgesi/ geri devir bölgesi, m

- $h_2 = \dfrac{0.5 \cdot q_A \cdot (1 + RS)}{1 - DSV/1000}$

h_3:Yoğun akış ve depolama bölgesi, m

- $h_3 = \dfrac{1.5 \cdot 0.3 \cdot q_{SV}(1 + RS)}{500}$

h_4: Yoğunlaştırma (thickening) ve çamur ayırma bölgesi, m

- $h_4 = \dfrac{SS_{EAT} \cdot q_A (1 + RS) \cdot t_{Th}}{SS_{BS}}$

Toplam havuz derinliği = $h_{tot} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$

Bu derinlik çöktürme havuzunun merkezinden 2/3 yarıçap uzağındaki derinliktir ve en az 3 m olması istenir. Dairesel çöktürme havuzlarında kenar su derinliği 2.5 m'den büyük olmalıdır.

Klasik yönteme göre biyolojik proses (karbon, azot, fosfor giderimi) hesabı

Biyolojik proses hesabında azot-fosfor giderimi gerçekleştirecek bir A^2O prosesinin tasarımı için klasik yöntem kullanılarak bir tasarım klavuzu oluşturulmuştur. Tablo E3.6'da bu yöntem için kullanılan semboller ve birimleri verilmiştir.

Tablo E3.6 Klasik yönteme göre hesaplamalarda kullanılan sembol listesi

Sembol	Açıklama	Birim
$maxQ_{evsel}$	Maksimum evsel atıksu debisi	m^3/gün
N	Nüfus	Kişi
$ortQ_{evsel}$	Ortalama evsel atıksu debisi	m^3/gün
Q	Günlük maksimum su kullanım	L/N.gün
Q_{baca}	Yağışlı havalarda kanalizasyon bacalarından sisteme giren debi	m^3/gün
Q_{24}	Ortalama atıksu debisi	m^3/gün
Q_h	Hesap debisi	m^3/gün
$Q_{max,12}$	Maksimum atıksu debisi	m^3/gün
$Q_{min,37}$	Minumum atıksu debisi	m^3/gün
$Q_{sızma}$	Sızma debisi	m^3/gün
n_1, n_2, n_3 ve n_4	Sabit değerler	-
PF	Pik faktörü	-
V_d	Dolu kesitte atıksu akış hızı	m/s
Q_d	Dolu kesitte atıksu debisi	m^3/s
J	Taban eğimi	-
N	Boru tipine bağlı katsayı	-
D	Çap	m
H	Yükseklik	m
T	Izgara çubuk kalınlığı	m
E	Izgara çubukları arası mesafe	m
A	Alan	m^2
S_0	Yüzey yükü	m^3/m^2.saat
S_I	Çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu	mg/L
X_I	Partiküler inert KOİ konsantrasyonu	mg/L
S_S	Kolay ayrışabilir KOİ konsantrasyonu	mg/L
X_S	Partiküler KOİ konsantrasyonu	mg/L
C_S	Biyolojik olarak ayrışabilir KOİ konsantrasyonu	mg/L
M_m	Heterotrof bakteriler için maksimum spesifik çoğalma hızı	g UAKM/gUAKM.gün
M_{mn}	Ototrof bakteriler için maksimum spesifik çoğalma hızı	g UAKM/g UAKM.gün
Y_H	Heterotrof bakteriler için substrat dönüşüm oranı	g UAKM/g KOİ
Y_A	Ototrof bakteriler için substrat dönüşüm oranı	g UAKM/g NH_4-N
K_d	Heterotrof bakteriler için mikroorganizma ölüm hızı	g UAKM/g UAKM.gün
K_{dn}	Ototrof bakteriler için mikroorganizma ölüm hızı	g UAKM/g UAKM.gün
K_S	Heterotrof bakteriler için substrat yarı doygunluk sabiti	g bKOİ/ m^3
K_N	Ototrof bakteriler için amonyak yarı doygunluk sabiti	g NH_4-N/m^3
K_O	Ototrof bakteriler için oksijen yarı doygunluk sabiti	g/m^3
bKOİ	Biyolojik olarak ayrışabilir KOİ	mg/L
θ_{XA}	Aerobik çamur yaşı	gün
θ_{XA},min	Minumum aerobik çamur yaşı	gün
S_{NH}	Arıtma tesisi çıkışında amonyum azotu konsantrasyonu	mg/L
V_D	Denitrifikasyon bölmesinin hacmi	m^3
V	Nitrifikasyon ve denitrifikasyon bölmelerinin toplam hacmi	m^3
θ_X	Toplam çamur yaşı	gün
NO_x	Nitrata dönüşen amonyak azotu miktarı	mg/L
f_d	Ölen biyokütlenin inert partiküler KOİ'ye dönüşüm oranı	
S	Çözünmüş KOİ	mg/L
$(NH_4\text{-}N)_e$	Arıtma tesisi çıkışında amonyum azotu konsantrasyonu	mg/L

Y_N	Biyokütle net dönüşüm oranı	g KOİ/g KOİ
η_g	Anoksik şartlarda heterotrofik mikroorganizmaların hız yavaşlama katsayısı	-
N_{DP}	Denitrifikaston potansiyeli	mg/L
S_{NO}	Arıtma tesisi çıkışında nitrat azotu konsantrasyonu	mg/L
P_{XBio}	Günlük oluşan biyolojik çamur miktarı	kg/gün
P_{XT}	Günlük oluşan toplam çamur miktarı	kg/gün
bp KOİ	Biyolojik olarak ayrışabilen partiküler KOİ	mg/L
p KOİ	Toplam partiküler KOİ	mg/L
P_{XI}	Günlük oluşan inert çamur	mg/L
P_{Xf}	Atıksudaki sabit katı maddelerden oluşan çamur	mg/L
X_T	Reaktör içi AKM konsantrasyonu	mg/L
Oİİ	Oksijen ihtiyacı	kg O_2/sa
SOİİ	Standart şartlarda (20 ^{0}C, 1 atm basınç, 0 oksijen konsantrasyonu) oksijen ihtiyacı	kg O_2/sa
C_{20}	20 ^{0}C'de oksijen doygunluk konsantrasyonu	mg/L
C_T	İşletme sıcaklığında oksijen doygunluk konsantrasyonu	mg/L
C_L	Reaktör içinde minimum oksijen konsantrasyonu	mg/L
A	Atıksu için oksijen transfer verimi düzeltme katsayısı	-
B	Atıksu için oksijen doygunluk konsantrasyonu düzeltme katsayısı	-
F	Tıkanma katsayısı	-
R	Toplam geri devir oranı	-
IR	İçsel geri devir oranı	-
RAS	Aktif çamur geri devir oranı	-
θ_h	Hidrolik kalış (bekletme) süresi	saat
X_R	Geri devir çamurunda AKM konsantrasyonu	mg/L
TN_e	Arıtma tesisi çıkışında toplam azot konsantrasyonu	mg/L

Bu yöntemde, atıksudaki KOİ bileşenleri yapılacak analizler sonucu belirlenmelidir. Farklı bölgelerdeki evsel atıksular için ve/veya kanalizasyona endüstriyel atıksu girişinin yoğun olduğu bölgeler için mutlaka atıksuya özgü KOİ bileşenlerinin analiz edilerek belirlenmesi gerekmektedir.

Atıksudaki KOİ bileşenleri:

S_I : Çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu, mg/L
X_I: Partiküler inert KOİ konsantrasyonu, mg/L
S_S: Kolay ayrışabilir KOİ konsantrasyonu, mg/L
X_S: Partiküler KOİ konsantrasyonu, mg/L
C_S: Biyolojik olarak ayrışabilir KOİ konsantrasyonu, mg/L

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemlerinde çamur yaşı, nitrifikasyon yapan mikroorganizmaların özgül çoğalma hızına göre belirlenir (Tablo E3.7). 20 ^{0}C'deki standart değerlerin tasarıma esas işletme sıcaklığına göre, Arhenius denklemi kullanılarak düzeltilmesi gerekmektedir. Havalandırma havuzunda ortalama oksijen konsantrasyonu genellikle 2 mg/L kabul edilebilir.

Tablo E3.7 Nitrifikasyon-Denitrifikasyon yapan mikroorganizmalar için kinetik sabitler

Parametre	**Birim**	**Değer (20 ^{0}C)**	**θ**
Heterotrof bakteriler için maksimum spesifik çoğalma hızı, μ_m	g UAKM/g UAKM.gün	6	1.07
Ototrof bakteriler için maksimum spesifik çoğalma hızı, μ_{mn}	g UAKM/g UAKM.gün	0.75	1.07
Heterotrof bakteriler için substrat dönüşüm oranı, Y_H	g UAKM/g bKOİ	0.4	-
Ototrof bakteriler için substrat dönüşüm oranı, Y_A	g UAKM/g NH_4-N	0.12	-

Heterotrof bakteriler için mikroorganizma ölüm hızı, k_d	g UAKM/g UAKM.gün	0.12	1.04
Ototrof bakteriler için mikroorganizma ölüm hızı, k_{dn}	g UAKM/g UAKM.gün	0.08	1.04
Heterotrof bakteriler için substrat yarı doygunluk sabiti, K_S	g bKOİ/ m^3	20	1.00
Ototrof bakteriler için amonyak yarı doygunluk sabiti, K_N	g NH_4-N/m^3	0.74	1.053
Ototrof bakteriler için oksijen yarı doygunluk sabiti, K_O	g/m^3	0.5	-

bKOİ: Biyolojik olarak ayrışabilir KOİ

$k(T) = k_{\max} \cdot \theta^{T-20}$ *: Arrhenius sıcaklık düzeltmesi denklemi*

Biyolojik azot-fosfor giderimi yapan aktif çamur sistemlerinde çamur yaşı nitrifikasyon yapan ototrofik mikroorganizmalara göre seçilir. Bu mikroorganizmaların maksimum çoğalma hızı heterotrofik biyokütleye göre çok düşüktür. Bu mikroorganizmaların sistemden yıkanmaması için çamur yaşı nitrifikasyon yapan biyokütleye göre seçilir.

1. Adım: Minumum çamur yaşı hesabı:

$$\frac{1}{\theta_{XA\min}} = \mu_{mn} \frac{N}{K_n + N} \frac{DO}{K_O + DO} - k_{dn}$$

Bulunan minumum çamur yaşı gün içerisinde tesise gelen pik TKN konsantrasyonun ortalama TKN konsantrasyonuna bölünmesiyle elde edilen pik faktörü (PF) ile çarpılarak aerobik çamur yaşı bulunur.

$$\theta_{XA} = PF \cdot \theta_{XAmin}$$

Hesaplanan aerobik çamur yaşına göre çıkışta NH_4-N konsantrasyonun standart değerin altında kaldığı aşağıdaki formüle göre kontrol edilir. Uygun değer elde edilemezse θ_{XA} yeniden hesaplanır.

$$S_{NH} = \frac{K_n \cdot (1 + k_{dn} \cdot \theta_{XA})}{\mu_{mn} \cdot \theta_{XA} - (1 + k_{dn} \cdot \theta_{XA})}$$

Denitrifikasyon bölgesi hacminin hesaplanabilmesi için ilk olarak V_D/V oranı seçilir.

$\frac{V_D}{V}$ (0,1 – 0,5 arası seçilebilir)

V_D: Denitrifikasyon bölmesinin hacmi, m^3

V: Nitrifikasyon ve denitrifikasyon bölmelerinin toplam hacmi, m^3

Tüm sistemin çamur yaşı aşağıdaki formülle belirlenir.

$$\theta_X = \frac{\theta_{XA}}{1 - \frac{V_D}{V}}$$

Buna göre çıkışta biyolojik olarak ayrışabilen çözünmüş KOİ konsantrasyonu

$$S = \frac{K_S \cdot (1 + k_d \cdot \theta_X)}{\mu_m \cdot \theta_X - (1 + k_d \cdot \theta_X)}$$

formülüyle hesaplanır.

Bu adımda azot kütle dengesi kurulur. Bu amaçla ilk olarak arıtma tesisine gelen TKN konsantrasyonunun belirli bir kısmının nitrifikasyon prosesiyle nitrat azotuna dönüştüğü kabul ve nitrata dönüşen amonyak azotu (NO_x) miktarı belirlenir.

2. Adım: Günlük oluşan biyolojik çamur miktarı (P_{XBio})

$$P_{XBio} = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_0 - S)}{1 + k_d \cdot \theta_X} + \frac{f_d \cdot k_d \cdot Y \cdot Q \cdot (S_0 - S) \cdot \theta_X}{1 + k_d \cdot \theta_X} + \frac{Q \cdot Y_A \cdot (NO_x)}{1 + k_{dn} \cdot \theta_X}$$

f_d: Ölen biyokütlenin inert partiküler KOİ'ye dönüşüm oranı

3. Adım: Oksitlenmesi gereken amonyak azotu miktarı:

$$NO_x = TKN - (NH_4 - N)_e - 0.12 \frac{P_{XBio}}{Q} \cdot 10^3$$

Bu adımda bulunan sonucun başlangıçta kabul edilen nitrata dönüşen amonyak azotu (NO_x) miktarına yaklaşık eşit olması gerekmektedir.

4. Adım: Denitrifikasyon potansiyelinin (N_{DP}) belirlenmesi:

$$Y_N = \frac{Y}{1 + k_d \cdot \theta_X}$$

Y_N: Biyokütle net dönüşüm oranı, g KOİ/g KOİ

$$N_{DP} = \eta_g \frac{V_D}{V} \frac{(1 - Y_N) \cdot C_S}{2.86}$$

η_g : Anoksik şartlarda heterotrofik mikroorganizmaların hızı için yavaşlama katsayısı

5. Adım: Çıkış nitrat azotu konsantrasyonunun (S_{NO}) belirlenmesi:

$$S_{NO} = NO_X - N_{DP}$$

6. Adım: Çıkış toplam azot konsantrasyonunun (TN_e) belirlenmesi:

$$TN_e = NH_4 + NO_3$$

Arıtma tesisi çıkışındaki toplam azot konsantrasyonun toplam azot deşarj standardından küçük olması durumunda seçilen anoksik bölme hacmi oranı uygundur. Aksi halde V_D/V oranı yeniden seçilerek hesaplar tekrarlanır.

7. Adım: Günlük oluşan çamur miktarı (P_{XT}):

$$P_{XT} = P_{XBio} + P_{XI} + P_{Xf}$$

P_{XI}: Günlük oluşan inert çamur miktarı, kg/gün
P_{XI} = [(1 – bp KOİ / p KOİ).UAKM].Q/(UAKM/AKM)
bp KOİ: Biyolojik olarak ayrışabilen partiküler KOİ, X_S
p KOİ: Toplam partiküler KOİ, $X_S + X_I$
P_{Xf}: Atıksudaki sabit katı maddelerden oluşan çamur, kg/gün

$$P_{Xf} = (AKM - UAKM) \cdot Q$$

8. Adım: Toplam Reaktör Hacmi (Anoksik + Aerobik) (V_T):

Reaktör içi AKM konsantrasyonu (X_T) seçilir.

$$P_{XT} = \frac{V_T \cdot X_T}{\theta_X}$$

Havuz hacmi hesaplandıktan sonra uygun havuz geometrisi belirlenir.

9. Adım: Oksijen İhtiyacı (Oİ):

$$O\dot{I} = Q \cdot (S_0 - S) - 1.42 \cdot P_{XBio} + 4.33 \cdot Q \cdot NOx - 2.86 \cdot Q \cdot N_{DP}$$

Havalandırma ekipmanının özelliklerine göre standart şartlardaki oksijen ihtiyacı belirlenir. Havalandırmanın difüzörlerle yapılması halinde aşağıdaki formülden yararlanılabilir.

$$SO\dot{I} = O\dot{I} \cdot \left[\frac{C_{20}}{\alpha \cdot F \cdot (\beta \cdot C_T - C_L)} \right] \cdot 1.024^{(20-T)}$$

SOİ : Standart şartlarda (20 ^{0}C, 1 atm basınç, 0 oksijen konsantrasyonu) oksijen ihtiyacı
C_{20} : 20 °C'de oksijen doygunluk konsantrasyonu, (9.08 mg/L)
C_T : İşletme sıcaklığında oksijen doygunluk konsantrasyonu
C_L : Reaktör içinde minimum oksijen konsantrasyonu
α : Atıksu için oksijen transfer verimi düzeltme katsayısı, (0.3 – 1.2)
β : Atıksu için oksijen doygunluk konsantrasyonu düzeltme katsayısı (0.7 – 0.98)
F: Tıkanma katsayısı, (0.9)

$$Gerekli\ havadebisi = \frac{(SO\dot{I}, kg/saat)}{\left[E \cdot (60\,dakika/saat) \cdot (kg\,O_2/m^3 hava)\right]}$$

E: Difüzörler için oksijen transfer verimi

10. Adım: Geri devir oranı (R):

$$R = IR + RAS$$

IR: İçsel geri devir oranı
RAS: Aktif çamur geri devir oranı

$$R = \frac{N_{DP}}{S_{NO}} - 1$$

11. Adım: Biyolojik fosfor giderimi:

Biyolojik fosfor giderimi için planlanan anaerobik reaktörün hidrolik bekletme süresi (θ_h = 0.5-2 saat) arasında seçilir ve hacmi hesaplanır.

$$\theta_h = \frac{V}{Q}$$

Çamur yaşının biyolojik fosfor giderimini de içerecek şekilde hesaplanması:
Toplam biyolojik reaktör hacmi (V_T) = $V_{anaerobik} + V_{anoksik} + V_{aerobik}$
Reaktörde tutulan toplam çamur miktarı = $V_T.X_T$

Toplam çamur yaşı,

$\theta_X = \frac{X_T}{P_{XT}}$, formülü ile bulunur.

12. Adım: Hidrolik bekletme süresinin hesaplanması:

$$\theta_H = \frac{V_T}{Q}$$

13. Adım: İçsel geri devir oranının belirlenmesi:

Aktif çamur havuzu çamur geri devir akımında AKM konsantrasyonu (XR) seçilir.
RAS = $X_T/(X_R - X_T)$

- RAS: Aktif çamur geri devir oranı
- Geri devir çamurunda AKM konsantrasyonu (X_R = 4000 – 12000 mg/L).

IR = R – RAS

14. Adım: Son çöktürme havuzu:

Son çöktürme havuzlarının boyutlandırılmasında dikkat edilmesi gereken hususlar, hidrolik yüzey yükü, katı madde yükleme hızı, hidrolik bekletme süresi ve derinliktir. Bu havuzlarda;

- Hidrolik yüzey yükü: 16 – 48 m^3/m^2.gün
- Katı madde yükleme hızı: 4 – 6 kg/m^2.saat
- Hidrolik bekletme süresi: 1 – 4 saat
- Derinlik: 3.5 – 6 m

Çökeltme havuzu toplam alanı (A_T):

$$A_T = \frac{Q}{Hidrolik\,yükleme\,hızı}$$

Yüzey alanı belirlendikten sonra katı madde yükleme hızının kontrol edilmesi gereklidir.

$$Katı\,madde\,yükü = \frac{(Q + Q_{RAS}) \cdot X_T}{A}$$

Atılan çamur debisi:

$$Q_{çamur} = \frac{P_{XT}}{1000 \cdot \rho_{çamur} \cdot \%Katı\,Madde}$$

EK 4

Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyonla, hücre duvarının parçalanması, hücre geçirgenliğinin bozulması, hücre protoplazmasının kolloid yapısının bozulması ve enzim aktivitesinin inhibisyonu yoluyla mikroorganizmalar inaktif hale getirilmektedir. Dezenfeksiyona etki eden faktörler, temas süresi, dezenfektan konsantrasyonu, su içerisinde bulunan diğer bileşiklerin miktarı ve tipi, sıcaklık, mikroorganizma tipi ve suyun diğer özellikleridir. Sıcaklık arttıkça dezenfeksiyon hızı artmakta ve aynı dezenfeksiyon verimini almak için gerekli temas süresi azalmaktadır.

Klorlamada temas süresi olarak ortalama debilerde 30–120 dakika, pik debilerde 20-60 dakika alınmalıdır. En az 2 adet klor tankı yapılmalıdır. Klor temas tankında katı maddelerin çökelmesinin önlenebilmesi için yatay akış hızı 2–4.5 m/dk olmalıdır. Reaktör içerisine şaşırtma duvarları ve perdeler ilave edilmesi durumunda perdeler üzerindeki açıklıkların toplam alanı, akımın geçtiği kesit alanının % 6-10'u arasında değişmelidir.

Ozon, arıtma tesisinde ozon jeneratörleri ile üretilir ve temas tankları vasıtasıyla atıksuya karıştırılır. Ozon reaktöre boru hattı üzerine döşenen statik karıştırıcılarla transfer edilir. Doğru tasarlanmış bir difüzörde ozon transfer verimi % 90'dır.

Elektromanyetik enerji, UV lambasından hücrelerin protein ve nükleik asitlerine (RNA-DNA) transfer edilir. UV ışını, organizma tarafından adsorbe edilir. Organizmaya adsorbe olan UV ışını, yansıma ile ölçülür. UV ışınının en önemli hedefi, DNA molekülüdür. DNA tarafından emilen ışığın hasar derecesi, UV ışınının dalga boyu ile ilgili olup en çok etki, 250-265 nm dalga boylarındadır. Bunun en elverişli değeri 254 nm dalga boyudur. UV lambaları, atıksu ile temas eden ve etmeyen şekilde iki türdedir.

Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, arıtılmış atıksuda bulunan bakteri, protozoa ve virüslere olan etkisi Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablo 4.2'de ise her bir dezenfektanın arıtılmış atıksu dezenfeksiyonundaki üstün ve zayıf yönleri verilmiştir.

Tablo 4.1 Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, bakteri, protozoa ve virüslere olan etkisi

Mikroorganizma tipi	Klorlama	Ozonlama	UV
Bakteri	Çok etkili	Çok etkili	Etkili
Protozoa	Etkisiz-az etkili	Etkili	Çok etkili
Virüs	Çok etkili	Çok etkili	Etkili

Tablo 4.2 Klorlama, Ozonlama ve UV'nin atıksu dezenfeksiyonundaki üstün ve zayıf yönleri

Üstünlükleri	Zayıf yönleri
Klorlama	
-Etkili bir dezenfektandır. -Çok iyi bilinen bir teknolojidir. -Bakiye klor kullanılabilir. -İlk yatırımı ucuzdur. -Klor gazından daha emniyetli olan kalsiyum ve sodyum hipoklorit kullanılabilir.	-Tehlikeli bir kimyasaldır. -Diğer dezenfektantlara göre daha uzun temas süresi gerekir. -Dezenfeksiyon yan ürünü oluşur. -Atıksuyun TDS seviyesini bir miktar artırır. -Cryprosporidium üzerinde etkili değildir. -Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir.
Ozonlama	

-Etkili bir dezenfektandır. -Bazı virüs, spor, cysts ve oocysts türleri üzerinde klora göre daha etkilidir. -Klora göre daha kısa temas süresi gerekir. -Daha az alan kaplar. -Çözünmüş oksijeni artırır. -Eser organik maddelerin konsantrasyonunun azaltılması için kullanılabilir	-Bakiye ozonun uzaklaştırılması gerekmektedir. -Bakiye ozon etkisi yoktur. -Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir. -Korozif ve toksiktir. -İlk yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir.
UV	
-Etkili bir dezenfektandır. -Kimyasal madde kullanılmamaktadır. -Bazı virüs, spor, cysts ve oocysts türleri üzerinde klora göre daha etkilidir. -Dezenfeksiyon yan ürün oluşumu yoktur. -TDS seviyesini artırmaz. -Güvenlidir. -Klorlamaya göre daha az alan kaplar. -Eser organik maddelerin konsantrasyonunun azaltılması için kullanılabilir .	-Bakiye etkisi yoktur. -Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir. -Hidrolik tasarım önemlidir. -İlk yatırım maliyeti yüksektir. -UV lambalarının yüzeyi zamanla kapanabilir.

EK 5

Derin Deniz Deşarjı Seyrelme Hesaplamaları

Birinci Seyrelme

Difüzör deliklerinden çıkan atıksu jetleri arasında girişim olmaması için delikler arasındaki mesafe (L), atıksu tarlasının yüzeyde teşekkül etmesi halinde,

$L > \frac{1}{3}h$

Batmış tarla halinde ise,

$L > \frac{1}{3}y_{maks}$

olmalıdır. Bu ifadelerde h, delik ekseni üzerindeki su derinliğini, y_{maks} ise batmış atıksu tarlasının üst sınırının, difüzör deliğinden olan uzaklığını göstermektedir. Difüzör delikleri şaşırtmalı ise bu değerlerin yarısı alınabilir.

Yoğunluk tabakalaşması bulunmayan (üniform) ortama yatay dairesel jet deşarjında, her halükarda atıksu bulutu su yüzeyine çıkmaktadır. Belirli bir derinlikte tutulma söz konusu değildir.

Durgun ve üniform yoğunluklu ortama yatay dairesel jet deşarjında, jetler arası girişim olmaması durumunda jet eksenindeki seyrelmeler (S_m) için aşağıdaki yaklaşık ifadeler verilmiştir. Bu ifadeler yaklaşık olmalarına rağmen, pratikte yaygın şekilde kullanılmaktadır.

y/D < 0.89F için $$S_m = 0.54.F\left(\frac{y}{D.F}\right)^{0.44}$$

y/D > 0.89F için $$S_m = 0.54.F\left(\frac{0.38y}{D.F} + 0.68\right)^{1.67}$$

Burada, F, densimetrik Froude sayısı (boyutsuz), D, difüzör delik çapı (m), y difüzör deliğinden itibaren ölçülen düşey mesafe (m) olarak verilmektedir. Yukarıda bahsedilen eksenel seyrelme denklemlerinde y/D ve F'nin fonksiyonu olarak difüzör deliğinden 6D kadar uzaktaki noktaya göre rölatif seyrelme hesaplanmaktadır. Difüzörün delik kesitine göre rölatif eksenel seyrelmeyi bulmak için Froude sayısı (F) %7 arttırılarak, F'= 1.07F değeri için hesap yapılmaktadır.

Froude sayısı (F),

$$F = \frac{U_0}{\sqrt{g'.D}}$$

formülünden hesaplanabilir. Burada, U_o, jetin difüzör deliğinden çıkış hızını (m/s), g', etkili yerçekimi ivmesini ($= \frac{\Delta\rho}{\rho_a} \cdot g$), $\Delta\rho = \rho_a - \rho_0$, ρ_a, alıcı ortam yoğunluğunu (kg/m^3), ρ_0, atıksu yoğunluğunu (kg/m^3), g, yerçekimi ivmesini (m/s^2), D, difüzör delik çapını (m) göstermektedir.

Difüzör delikleri birbirine çok yakın olduğu durumda, jetler arasında girişim meydana gelmektedir. Bu halde atıksular adeta B kalınlıklı bir çizgisel kaynaktan deşarj ediliyor gibi düşünülmektedir. Bu durumda, $(y/B).F^{-4/3} > 20$ için yatay dairesel jetlerdeki eksenel seyrelme (S_m),

$S_m = 0.38.(y/B).F^{-2/3}$

veya

$S_m = 0.38.g'^{1/3}.q^{-2/3}.y$

ifadelerinden hesaplanabilir. Burada B,

$$B = \left(\frac{\pi D^2}{4L}\right)$$

bağıntısı ile tanımlanmaktadır. q ise birim difüzör başına düşen debidir. Oluşacak ortalama seyrelme de,

$$S_0 = \sqrt{2} S_m$$
ifadesi ile hesaplanabilir.

İlk seyrelme hesaplarında, akıntı yoluyla oluşacak ilk seyrelmenin hesaplanarak diğer ilk seyrelme hesapları ile karşılaştırılması ve daha küçük olduğu durumlarda emniyet için bu seyrelmenin esas alınması faydalı olacaktır. Akıntı yolu ile olan ilk seyrelme (S_0) daha basit olarak, süreklilik denklemi yardımı ile

$Q_0.S_0 = u.b.h^*$

ifadesinden hesaplanabilir. Burada, Q_0, difüzörden deşarj edilen toplam atıksu debisini, h*, atıksu tarlasının kalınlığını, u, akıntı hızını, b, akıntıya dik difüzör boyunu göstermektedir. Atıksu tarlası kalınlığı yüzeyde tarla halinde h*=h/5, batmış tarla sözkonusu olduğunda ise $h^*=y_{maks}/2$ alınabilir. Akıntının difüzör eksenine paralel geldiği özel durumda etkili difüzör boyu, b=h/3 alınabilir.

Yoğunluğu derinlikle lineer olarak artan durgun (akıntısız) ortama yatay dairesel jet deşarjında atıksu jetleri arasında girişim olmaması durumunda, atıksu tarlasının yükselebileceği en yüksek nokta ile difüzör delik ekseni arasındaki mesafe, y_{maks}

$$y_{maks} = 3.98(g' Q_1)^{1/4} \left(-\frac{g}{\rho_1} \cdot \frac{d\rho}{dy} \right)^{-3/8}$$

ifadesi ile hesaplanır.

Burada, ρ_1, delik ekseni hizasındaki deniz suyu yoğunluğunu, ρ_0, atıksu yoğunluğunu, Q_1, ortama deşarj edilen atıksu debisini göstermektedir. Atıksu tarlasının en üst kısmındaki eksenel seyrelme, S_m'de

$S_m = 0.071.g'^{1/3}.y_{maks}^{5/3}.Q_1^{-2/3}$

ifadesi ile verilmektedir. Bu durumda atıksu tarlası üst seviyesindeki ortalama ilk seyrelme,

$S_0 = 1.71\ S_m$

ifadesinden hesaplanabilir.

Yoğunluğu derinlikle lineer olarak artan durgun (akıntısız) ortama yatay dairesel jet deşarjında atıksu jetleri arasında girişim olması durumunda, atıksu tarlasının yükselebileceği en yüksek nokta ile difüzör deliği arasındaki mesafe, y_{maks} ,

$$y_{maks} = 2.5(q.g')^{1/3} \left(-\frac{g}{\rho_1} \cdot \frac{d\rho_a}{dy} \right)^{-1/2}$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada, q, birim difüzör başlına düşen debiyi (m^3/s.m) göstermektedir. Atıksu tarlasının en üst kısmındaki eksenel seyrelme, S_m'de

$S_m = 0.36.g'^{1/3}.y_{maks}.q^{-2/3}$

ifadesi ile verilmektedir. Bu durumda atıksu tarlası üst hizasındaki ortalama ilk seyrelme,

$S_0 = \sqrt{2}\ S_m$

eşitliğinden bulunabilir.

Deşarj ortamında akıntı hızının düşük olduğu durumlarda, yukarıdaki ifadelerden hesaplanan seyrelmeler gerçek değerlerden daha büyük çıkabilir. Bu durumda, atıksu tarlasının su yüzeyine doğru yükselmesi, net seyrelmede bir artış meydana getirmez. Bu yüzden, yoğunluk tabakalaşması olan veya olmayan ortamlar için seyrelme hesabı aşağıdaki yaklaşık hesap metoduna göre tahkik edilmelidir.

$$p = \frac{\sqrt{2}\ Q.S_m}{u.b.y_{maks}}$$

$S_y = S_m(1/(1+p))$

olmak üzere buradaki 1/(1+p) ifadesi atıksu tarlasının batmış vaziyette tutulmasının etkisini yansıtmaktadır. Araştırmalar p=2 olması halinde, atıksu bulutunun, deşarj bölgesinde su yüzeyinden itibaren derinliğin üst 2/3'lük kısmını kapsayacağını, difüzörden yeni ayrılan atıksuların ancak

derinliğin 1/3'lük kısmında etkili olarak seyreltilebileceğini göstermektedir. Bu sebeple, pratikte $p \geq 2$ halinde, bu yaklaşık hesap metodu kullanılmamalıdır. $p<2$ halinde ise akıntı yoluyla ilk seyrelme de,

$S_0 = \sqrt{2}\, S_y$

ifadesinden hesaplanır.

Lineer olmayan yoğunluk profiline sahip deniz ortamında ilk seyrelme hesaplarında 2 farklı yaklaşım uygulanabilmektedir.

a) Derinlik boyunca yoğunluk profilini her biri Δy kalınlıklı n adet üniform yoğunluklu parçaya ayırarak üniform yoğunluklu ortamlar için verilmiş bulunan ifadelerle nümerik çözüm

Bu durumda yoğunluk profili yaklaşık olarak basamak şeklinde kesikli bir profile dönüştürülerek her dilimde üniform ortam için verilen ifadelerle hesap yapılmaktadır. Bu halde, i. dilimin ortalama oşinografik yoğunluğu,

$$\bar{\sigma} = 0.5\,(\sigma_{i-1} + \sigma_i)$$

ifadesinden hesaplanır. Yoğunluk tabakalaşması Froude sayısı ve seyrelme miktarını etkileyeceği için dilim sayıları eşit alınarak i. dilimdeki Froude sayısı,

$$F_i = U_0((i\,\rho_0)^{0.5}\left[gD\sum_{j=1}^{i}\left(\bar{\rho}_{a,j}\,\rho_0\right)\right]^{-0.5}$$

şeklini almaktadır. Denizsuyu ile seyreltilmiş atıksuyun yoğunluğu, deniz suyu yoğunluğuna eşit olduğunda, atıksu jetinin yükselmesi durmaktadır. Atıksu jeti içerisinde konsantrasyon ve yoğunluk değişimi söz konusudur. Konsantrasyonun maksimum olduğu jet ekseninde yoğunluk minimum olup, jet merkezindeki atıksular batmış tarlanın en üst seviyelerini teşkil etmektedir. Bu seviyede üst (MAXI) ile gösterilir. Üst seviye, jet merkezindeki yoğunluğunun ($\sigma_{m,i}$), (i. dilimin üst yüzündeki) deniz suyu yoğunluğuna eşit veya daha büyük olduğu ilk dilimin üst yüzeyi olarak belirlenir. Jetin ortalama yoğunluğunun $\bar{\sigma}_i$, deniz suyu yoğunluğuna ($\sigma_{a,i}$) eşit olduğu ilk dilimin üst yüzeyi ise orta (MİDİ) seviye olarak tanımlanır. Üst seviye, jetin eksenel yoğunluğunun ($\sigma_{m,i}$) adım adım hesaplanıp deniz suyu yoğunluğu($\sigma_{a,i}$) ile karşılaştırılması ile bulunur. $\sigma_{m,i}$ eksenel yoğunluğu,

$$\sigma_{m,i} = \frac{\sigma_{m,i-1} + (S_{m,i} \cdot S_{m,i-1}^{-1} - 1)\sigma_{a,i}}{S_{m,i} \cdot S_{m,i-1}^{-1}}$$

bağıntısından hesaplanır. Ortalama oşinografik yoğunluk ise

$$\sigma_{ma,i} = \frac{\sigma_{ma,i-1} + (S_{ma,i} \cdot S_{ma,i-1}^{-1} - 1)\sigma_{a,i}}{S_{ma,i} \cdot S_{ma,i-1}^{-1}}$$

ifadesinden, ortalama seyrelme ise

$$S_{ma,i} = 2S_{m,i}$$

ifadesinden hesaplanabilir.

b) Difüzör ekseni ile maksimum bulut yükselme derinliği (y_{maks}) arasında yoğunluğun lineer değiştiği kabul edilerek hesap;

Bulut yükselme mesafesi için çizgisel kaynak (jetler arası girişim olması) halinde, y_{maks},

$$y_{maks} = 6.25\,(g'q)^{2/3}\left(\frac{\rho_1}{g\Delta\rho_a}\right)$$

bağıntısından bulunur. Burada g' ve q bilindiği için, y'nin fonksiyonu olan $\Delta\rho_a$ ya çeşitli değerler verilerek y-$\Delta\rho_a$ grafiği çizilir. Bu şekilde yukarıdaki ifade ile verilen hiperbolün yoğunluk derinlik eğrisini kestiği nokta yardımı ile y_{maks} bulunur. Daha sonra, y_{maks} belli olduğu için yatay dairesel jetlerde girişim olması durumunda eksenel seyrelme,

$S_m=0.36\ \dfrac{g'^{1/3}\ y_{maks}}{q^{2/3}}$

ifadesinden hesaplanabilir. Jetler arasında girişim olmaması halinde, yatay dairesel delikler için yukarıdaki ifade yerine,

$y_{maks}= 9.1\ (Q.g')^{2/5} \left(\dfrac{\rho_1}{g\Delta\rho_a}\right)^{3/5}$

ve

$S_m= 2.8 \left(\dfrac{\Delta\rho_d}{\Delta\rho_a}\right)$

ifadeleri kullanılır. Burada,

$\Delta\rho_d = \rho_a - \rho_0$

olarak tanımlanmaktadır.

İkinci Seyrelme

İkinici seyrelme, aşağıdaki hesap tekniği yardımı ile hesaplanabilir.

$\varepsilon = \varepsilon_0 (L/b)^{4/3}$ için $L/b=(1+2/3\,\beta\dfrac{x}{b})^{3/2}$

Burada, ε_0, x=0 noktasındaki türbülans difüzyonu katsayısını, L, x'in belli bir değeri için atıksu tarlası genişliğini, b, x=0 noktasındaki atıksu tarlası genişliğini, $\beta = \dfrac{12\varepsilon_0}{u_x b}$ ile hesaplanan boyutsuz sabiti göstermektedir.

Başlangıçtaki türbülans difüzyonu katsayısının

$\varepsilon_0 = \eta b^{4/3}$

denklemi ile ifade edilebileceği ve Eddy difüzyonu katsayısı (η)'nin de ortalama bir değer olarak, η=0.01 alınabileceği gösterilmiştir.

Atıksu tarlasının x ekseni boyunca uğrayacağı ikinci seyrelme için bu çözümler, aşağıdaki denkleme uygulanabilir.

$$S_2 = \frac{1}{erf\left\{1.5/\left[\left(1+\frac{2}{3}\beta\frac{x}{b}\right)^3 - 1\right]\right\}^{0.5}}$$

Burada erf, standart hata fonksiyonunu göstermekte olup, standart hata fonksiyonu tablosu kullanılarak hesaplanmalıdır.

Üçüncü Seyrelme

Üçüncü seyrelme (S_3), atıksudaki kirleticilerin birinci seyrelmenin tamamlandığı bölgeden proje ile korunması hedef alınan bölgeye ulaşmasına kadar geçen süre t olmak üzere,

$S_3=10^{t/T90}$

ifadesinden hesaplanabilir.

Birinci (S_1) ve ikinci seyrelmelerde (S_2), deniz ortamı ve hidrolik şartlar daha karmaşık bir şekilde etkili olduğundan, farklı deniz ortamları için farklı hesaplama yöntemleri de kullanılabilir.

EK 6

Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Geri Kazanımı ve Bertarafı İle İlgili Genel Esaslar ve Uygulanan Metodlar

Çamurların çevreye duyarlı ve uygun bir şekilde işlenmeleri, arıtılmaları ve bertarafı için katı madde kaynaklarının ve miktarlarının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Çamur kaynakları, arıtma tesisinde yer alan arıtma birimlerine göre farklılık gösterir. Çamurların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi özellikle çamurların işlenmesi, arıtılması ve bertarafı sırasında kullanılan proseslerin kontrolü ve bu proseslerin performanslarının izlenmesi açısından çok önemlidir. Farklı atıksu arıtma işlemlerinden ve proseslerinden kaynaklanan çamurların fiziksel özellikleri ve miktarları Tablo E6.1'de verilmiştir. Arıtma sırasında uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler sebebiyle atıksularda bulunan ağır metaller, biyolojik olarak zor ayrışabilen eser organik bileşikler ve potansiyel olarak hastalık yapıcı patojen organizmalar çamur ile birlikte çökelerek konsantre hale geçerler. Diğer taraftan, çamurlar azot ve fosfor gibi besi maddelerince zengindir. Ham çamurların ve çürütülmüş ön çöktürme çamurlarının kimyasal bileşimi, Tablo E6.2'de ve atıksu çamurlarındaki metal içerikleri ise Tablo E6.3'de verilmiştir.

Tablo E6.1 Farklı atıksu arıtma işlemlerinden ve proseslerinden kaynaklanan çamurların fiziksel özellikleri ve miktarları

Arıtma İşlemi veya Prosesi	Katı Maddelerin Yoğunluğu kg/m^3	Çamurun Yoğunluğu kg/m^3	Kuru Katı Maddeler (kg/10^3 m^3) Aralık	Kuru Katı Maddeler (kg/10^3 m^3) Tipik Değer
Ön Çöktürme Tankı	1400	1020	110-170	150
Aktif Çamur	1250	1005	70-100	80
Damlatmalı Filtre	1450	1025	60-100	70
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	1300	1015	80-120	100[a]
Havalandırmalı Lagünler	1300	1010	80-120	100[a]
Filtrasyon	1200	1005	12-24	20
Alg Giderimi	1200	1005	12-24	20
Ön Çöktürme Tankında Kimyasal Fosfor Giderimi				
Düşük Kireç Dozajı (350-500 mg/L)	1900	1040	240-400	300[b]
Yüksek Kireç Dozajı 800-1600 mg/L)	2200	1.05	600-1300	800[b]
Askıda Büyüyen Nitrifikasyon	-	-	-	-[c]
Askıda Büyüyen Denitrifikasyon	1200	1005	12-30	18
Pürüzlü Filtreler	1280	1020	-	-[d]

[a]*Ön arıtma yok kabulü*
[b]*Ön çöktürme ile giderilebilen katı maddelere ilave olarak*
[c]*İhmal edilebilir*
[d]*Biyolojik arıtma proseslerinde üretilen arıtma çamurlarına ilave olarak*

Tablo E6.2 Ham çamurun ve çürütülmüş arıtma çamurlarının kimyasal bileşimi

Parametre	Birim	Ham Ön Çöktürme Çamuru Aralık	Ham Ön Çöktürme Çamuru Ortalama	Çürütülmüş Ön Çöktürme Çamuru Aralık	Çürütülmüş Ön Çöktürme Çamuru Ortalama	Ham Aktif Çamur Aralık
Toplam Kuru Katı	%	5-9	6	2-5	4	0.8-1.2

Madde (TKM)						
Uçucu Katı Madde (TUKM)	% TKM	60-80	65	30-60	40	59-88
Yağ-Gres	% TKM					
Çözünmüş		6-30	-	5-20	18	-
Ekstrakte		7-35	-	-	-	5-12
Protein	% TKM	20-30	25	15-20	18	32-41
Azot (N)	% TKM	1.5-4.0	2.5	1.6-3.0	3.0	2.4-5.0
Fosfor (P_2O_5)	% TKM	0.8-2.8	1.6	1.5-4.0	2.5	2.8-11
Potasyum (K_2O)	% TKM	0-1.0	0.4	0-3.0	1.0	0.5-0.7
Selüloz	% TKM	8-15	10	8-15	10	-
Demir	%KM	2.0-4.0	2.5	3.0-8.0	4.0	-
Silika (SiO_2)	% TKM	15-20	-	10-20	-	-
pH	-	5-8	6	6.5-7.5	7	6.5-8
Alkalinite	mg $CaCO_3$/L	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Organik Asitler	mg HAc/L	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Enerji İçeriği	kJ/kg AKM	23000-29000	25000	9000-14000	12000	19000-23000

Tablo E6.3 Atıksu çamurlarının metal içerikleri

	Kuru Katılar (mg/kg)	
Metal	**Aralık**	**Medyan**
Arsenik	1.1-230	10
Kadmiyum	1-3410	10
Krom	10-99000	500
Kobalt	11.3-2490	30
Bakır	84-17000	800
Demir	1000-154000	17000
Kurşun	13-26000	500
Mangan	32-9870	260
Civa	0.6-56	6
Molibden	0.1-214	4
Nikel	2-5300	80
Selenyum	1.7-17.2	5
Kalay	2.6-329	14
Çinko	101-49000	1700

Atıksu arıtma tesislerine bir günde gelen katı madde miktarı geniş bir aralıkta salınım gösterir. Bu sebeple çamurların işlenmesi, arıtılması ve bertarafı amacıyla kullanılacak sistemlerin bu salınımları karşılayabilecek şekilde tasarımı yapılmalıdır. Tasarım sırasında, ortalama ve maksimum katı madde üretim hızları ile tesis içerisinde arıtma birimlerinin potansiyel depolama kapasiteleri de dikkate alınmalıdır. Sınırlı miktarlardaki katı maddelerin, çökelme ve havalandırma tanklarında geçici olarak depolanmaları mümkündür. Ayrıca değişken seviyelerde inşaa edilen çürütme tankları büyük depolama kapasitelerine sahiptir. Çamur hacmi, esas olarak su içeriğine, çok az da katı madde karakterine bağlıdır. Çamurdaki katı madde, sabit ve uçucu katı olmak üzere ikiye ayrılır. Çamurun katı içeriği biliniyorsa, çamur hacminin katı içeriği ile ters orantılı olarak değiştiği kabul edilerek çamur hacmi yaklaşık olarak hesaplanabilir. Çamur hacimleri sırasıyla V_1 ve V_2 olan iki çamur numunesinin katı madde yüzdeleri sırasıyla P_1 ve P_2 ise, çamur hacmi hesabı;

$V_1.P_1 = V_2. P_2$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Farklı atıksu arıtma işlemlerinden ve proseslerinden beklenen katı madde konsantrasyonları Tablo E6.4'de verilmiştir.

Tablo E6.4 Farklı atıksu arıtma işlemlerinde ve proseslerinde gözlenen katı madde konsantrasyonları

Uygulanan Arıtma İşlemi veya Prosesi	Katı Madde Konsantrasyonu (% KM)	
	Aralık	Ortalama
Ön çöktürme Tankı		
Ön çöktürme çamuru	5-9	6
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	3-8	4
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	4-10	5
Ön çöktürme çamuru + demir tuzları (fosfor için)	0.5-3	2
Ön çöktürme çamuru+düşük kireç dozajı (fosfor için)	2-8	4
Ön çöktürme çamuru+yüksek kireç dozajı (fosfor için)	4-16	10
Köpük	3-10	5
Son Çöktürme Tankı		
Ön çöktürme uygulanmış atık aktif çamur	0.5-1.5	0.8
Ön çöktürme uygulanmamış atık aktif çamur	0.8-2.5	1.3
Ön çöktürme uygulanmış yüksek saflıkta oksijen	1.3-3	2
Ön çöktürme uygulanmamış yüksek saflıkta oksijen	1.4-4	2.5
Damlatmalı filtre humusu	1-3	1.5
Döner biyolojik temas tankı atık çamuru	1-3	1.5
Graviteli Yoğunlaştırıcı		
Ön çöktürme çamuru	5-10	8
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	2-8	4
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	4-9	5
Çözünmüş Hava Yüzdürmeli Yoğunlaştırıcı		
Polimer ilaveli atık aktif çamur	4-6	5
Polimer ilavesiz atık aktif çamur	3-5	4
Santrifüj ile Yoğunlaştırıcı		
Atık aktif çamur	4-8	5
Graviteli-Bant Yoğunlaştırıcı		
Polimer ilaveli atık aktif çamur	4-8	5
Havasız Çürütme		
Ön çöktürme çamuru	2-5	4
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	1.5-4	2.5
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	2-4	3
Havalı Çürütme		
Ön çöktürme çamuru	2.5-7	3.5
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	1.5-4	2.5
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	0.8-2.5	1.3

Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurlar, ön çöktürme tankları, son çöktürme tankları ve ileri arıtma proseslerinden kaynaklanır. Ön çöktürme çamuru, ham atıksudaki çökebilen katıları, son çöktürme çamuru ise biyolojik ve ilave çökebilen katıları içermektedir. İleri arıtma proseslerinden kaynaklanan çamurlar ise biyolojik ve kimyasal özellik gösteren katıları da bünyesinde bulundurmaktadır. Bu sebeple çamurların üniform bir şekilde karıştırılarak bir sonraki arıtma birimine iletilmeleri gerekmektedir. Özellikle susuzlaştırma, ısı ile arıtma ve yakma gibi kısa bekleme sürelerinde işletilen sistemlerde çamurların üniform bir şekilde karıştırılmaları çok önemlidir. Aksi halde arıtma tesisinin performansında belirgin olarak azalma gözlenebilir. Çamurların karıştırılmaları şu şekillerde gerçekleştirilir;

a) Son çöktürme çamuru ve ileri arıtma proseslerinden kaynaklanan çamurlar, ön çöktürme tanklarına geri devrettirilerek karıştırılır ve ön çöktürme çamuru ile birlikte çökeltilirler.

b) Çamurlar boruların içerisinde karıştırılabilirler.

c) Tam karışımlı havalı veya havasız çürütücüler gibi uzun bekleme sürelerinde işletilen stabilizasyon proseslerinde karıştırılabilirler.

ç) Çamurlar ayrı karıştırma tanklarında karıştırılabilirler.

Büyük kapasitelerde işletilecek atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurların karıştırılmadan önce ayrı olarak yoğunlaştırılmaları ve yoğunlaşmış çamurların karıştırılması en elverişli performansın elde edilebilmesi açısından tavsiye edilmektedir. Çamurların depolanması ise besleme akımında karşılaşılacak salınımların dengelenmesi ve proseslerin işletme dışı kaldığı dönemlerde çamurların biriktirilmelerine imkan verilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Özellikle mekanik susuzlaştırma, kireçle stabilizasyon, ısı ile kurutma ve yakma proseslerinden önce çamurların üniform olarak beslenmesi gerekmektedir.

Havasız ve havalı çürütmenin bulunmadığı büyük tesislerde, çamurun birkaç saatten birkaç güne kadar bekletildiği ayrı karıştırma ve depolama tankları inşa edilir. Çamurların 2-3 günden daha fazla bekletildiği depolama tanklarında, çamur bozunarak istenmeyen koku problemlerine sebep olmaktadır. Ayrıca bu çamurların susuzlaştırılmaları daha zordur. Çamurlar, depolanmaları sırasında sık sık havalandırılarak septik şartların oluşumu engellenir. Çamurların depolanmaları ve karıştırılmaları sırasında karşılaşılan septik şartların ve kokunun önlenebilmesi için klor, demir tuzları, potasyum permanganat ve hidrojen peroksit gibi kimyasal maddeler sınırlı miktarlarda da olsa tank içerisine ilave edilebilir. Ayrıca hidrojen sülfür gazından oluşan kokunun kontrolü ve bu gazın çözelti içerisinde tutulabilmesi için sodyum hidroksit ve kireç ile pH değeri artırılabilir. Çamurların depolanmaları kapalı tanklar içerİsinde gerçekleştirilecekse, uygun koku kontrol teknolojileri ile tank içerisi havalandırılmalıdır. Bu teknolojiler arasında kimyasal sıyırıcılar veya biyofiltreler bulunmaktadır. Havalandırma işlemi ayrıca çamurun karıştırılmasına da yardımcı olmaktadır.

Uygulanan Metodlar

a) Çamurların Yoğunlaştırılması

Yoğunlaştırma, çamurun bünyesinde bulunan sıvı kısmın belirli bir miktarının giderilmesi ve çamurun katı içeriğinin arttırılmasıdır. Son çöktürme tanklarından uzaklaştırılan atık aktif çamurun % 0.8 olan katı içeriği, %4 katı içeriğine kadar yoğunlaştırılarak çamur hacminde yaklaşık 5 kat azalma elde edilebilmektedir. Yoğunlaştırma amacıyla uygulanan yöntemler birlikte çöktürmeli, yerçekimi etkisiyle (graviteli), yüzdürmeli, santrifüj (merkezkaç) ve döner tamburlu yoğunlaştırmadır. Yoğunlaştırma işlemi uygulanarak çamurlarda gerçekleştirilen hacim azalmasını takip eden proseslerin tasarımı ve işletilmelerinde çok önemli ekonomik faydalar bulunmaktadır. Yoğunlaştırma için kullanılan tank ve ekipmanların kapasiteleri ve çamurların şartlandırılmaları sırasında kullanılan kimyasal madde miktarları önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca çürütücülerin ısıtılmaları amacıyla gerekli olan ısıtma ihtiyacı ve ısı ile kurutma ve yakma gibi proseslerde kullanılmaları gereken yardımcı yakıt ihtiyacı azalmaktadır. Özellikle büyük kapasitelerde işletilen arıtma tesislerinde üretilen çamurların uzak mesafelere nakliyesini gerektiren durumlarda, hacimdeki azalma, çamurların iletilmeleri için kullanılacak pompa boyutlarında da önemli oranlarda küçülme sağlamaktadır.

Kapasitesi 4000 m^3/gün'den küçük olan tesislerde genellikle ön çöktürme tanklarında, çamur çürütücülerde veya her ikisinde çamurların birlikte yoğunlaştırılma işlemi gerçekleştirilebilir. Ayrı olarak gerçekleştirilen yoğunlaştırma işlemi genellikle büyük arıtma tesislerinde ekonomik olmaktadır. Yoğunlaştırma işleminde kullanılan ekipmanların çoğu mekaniktir ve tasarımları sırasında pik ihtiyaçları karşılayabilecek yeterli kapasitelerin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca yoğunlaştırıcılarda oluşabilecek septik şartların ve koku probleminin önlenmesi için de tasarım sırasında gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

1) Graviteli Yoğunlaştırma;

Yoğunlaştırma amacıyla en yaygın olarak uygulanan yöntem graviteli yoğunlaştırmadır. Bu yoğunlaştırıcıların tasarımları klasik çöktürme tanklarına çok benzemektedir. Yoğunlaştırma işlemi genellikle dairesel tanklarda gerçekleştirilir. Sulu çamur merkezde bulunan bir besleme bölmesinden tankın içerisine beslenmektedir. Beslenen çamur çökeltilerek yoğunlaştırılır ve yoğunlaşmış çamur tankın konik tabanından çekilerek bir sonraki prosese gönderilir. Üst su (duru faz) ise ya arıtma tesisinin başına ya da ön çöktürme tankına geri devrettirilir. Graviteli yoğunlaştırmanın en etkili olduğu çamur tipi işlem görmemiş (ham) ön çöktürme çamurlarıdır. Bu yoğunlaştırıcılar katı madde

yüküne ve yüzeysel hidrolik yüke göre boyutlandırılır. Tavsiye edilen hidrolik yük aralıkları ön-çökelme çamuru için 15.5-31 m^3/m^2.gün, atık aktif çamur için 4-8 m^3/m^2.gün ve karışık (ön çöktürme + atık aktif çamur) için 6-12 m^3/m^2.gün olarak verilmektedir. Hidrolik yük tavsiye edilen aralık değerinden düşük ise tank içersinde septik şartlar ve istenmeyen koku oluşumu meydana gelerek yoğunlaşmış çamurun yüzmesine sebep olur. Hidrolik yük tavsiye edilen aralık değerinden yüksek ise savaklardan katı madde kaçışı gözlenerek çıkış suyu kalitesi azalmaktadır. İşletme sırasında yoğunlaştırıcının tabanında bir çamur örtüsü oluşarak çamurun konsantre hale gelmesi sağlanmaktadır. Çamur yoğunlaştırıcıların tasarımı sırasında göz önüne alınması gereken diğer bir işletme parametresi de çamur-hacim oranıdır. Bu oran, yoğunlaştırıcı içerisinde tutulan çamur örtüsü hacminin, bir günde sistemden uzaklaştırılan yoğunlaşmış çamur hacmine oranı olarak ifade edilmektedir. Bu oran, 0.5-20 gün arasında değişmektedir. Sıcak havalarda bu oran daha da düşebilmektedir. Buna alternatif olarak tank içerisindeki çamur örtüsünün yüksekliği de ölçülmelidir. Bu değer, 0.5-2.5 m arasında değişmekte ve sıcak havalarda daha da düşebilmektedir. Yoğunlaşmış ve yoğunlaşmamış çamur konsantrasyonları ve graviteli yoğunlaştırıcılar için katı madde yükleri Tablo E6.5'de verilmiştir.

Tablo E6.5 Yoğunlaşmış ve yoğunlaşmamış çamur konsantrasyonları ve graviteli yoğunlaştırıcılar için katı madde yükleri

	Katı Madde Konsantrasyonu (%)		Katı Madde Yükü
Arıtma Çamurunun Tipi	**Yoğunlaşmamış**	**Yoğunlaşmış**	**kg/m².gün**
Ayrık			
Ön çöktürme çamuru	2-6	5-10	100-150
Damlatmalı filtre humusu	1-4	3-6	40-50
Döner biyolojik temas tankı atık çamuru	1-3.5	2-5	35-50
Atık aktif çamur	0.5-1.5	2-3	20-40
Uzun havalandırmalı aktif çamur	0.2-1.0	2-3	25-40
Havasız olarak çürütülmüş ön çöktürme çamuru	8	12	120
Köpük			
Birleşik (karışık)			
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	2-6	5-9	60-100
Ön çöktürme + döner biyolojik temas tankı çamuru	2-6	5-8	50-90
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	0.5-1.5	4-6	25-70
Ön çöktürme 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
Kimyasal (ileri) Arıtma Çamuru			
Yüksek kireç	3-4.5	12-15	120-300
Düşük kireç	3-4.5	10-12	50-150
Demir	0.5-1.5	3-4	10-50

2) Yüzdürmeli Yoğunlaştırma;

Yüzdürmeli yoğunlaştırmada yüksek basınçta tutulan hava, çamur içerisine basılmaktadır. Çamur basıncının düşürülmesi, çözünmüş hava küçük kabarcıklar halinde salınarak çamurun tank yüzeyine doğru yüzdürülmesini ve taşınmasını sağlamaktadır. Tank yüzeyinde biriken yoğunlaşmış çamur, buradan sıyrılarak uzaklaştırılır. Yüzdürmeli yoğunlaştırmanın en etkili olduğu çamur tipi askıda büyüyen biyolojik arıtma proseslerinden kaynaklanan atık aktif çamurlardır. Yüzdürmeli yoğunlaştırıcı performansını etkileyen faktörler hava-katı oranı, çamur özellikleri (çamur hacim indeksi vb), katı yükleme hızı ve polimer uygulanmasıdır. Hava-katı oranı, yüzdürme için gerekli mevcut hava ağırlığının besleme akımında bulunan yüzdürülecek katı madde ağırlığına oranıdır ve % 2-4 arasında değişim göstermektedir. Normal polimer dozajlarında daha iyi bir performans izlenmesi

açısından, çamur hacim indeksinin 200'den düşük olması önerilmektedir. Çamur hacim indeksinin 200'den büyük olduğu durumlarda ise yüzeydeki çamur yapısı bozularak daha fazla polimer dozajlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzdürmeli yoğunlaştırıcılarda katı maddeler atıksudan çok daha hızlı bir şekilde ayrılabildikleri için bu tip yoğunlaştırıcılar graviteli yoğunlaştırıcılara kıyasla daha yüksek yüklerde işletilebilmektedir. Fakat yüksek yükler, düşük konsantrasyonlarda yoğunlaşmış çamura sebep olmaktadır. Bu yüzden işletme performansının azalmaması için katı madde yükünün 10 kg/m^2.saat değerini aşmaması gerekmektedir. Yüksek yüklerde yüzeyde yoğunlaşan çamurlar daha sık olarak sıyrılmalıdırlar. Yüzdürmeye yardımcı olması amacıyla eklenen polimer ile yüzen çamurdaki katı geri kazanımı %85'den %98-99'a kadar arttırılabilmektedir. Örnek olarak atık aktif çamurun yüzdürmeli olarak yoğunlaştırılması için gerekli polimer dozajı, 2-5 kg kuru polimer/ton TKM olmaktadır. Çözünmüş hava yüzdürmeli yoğunlaştırıcılar için önerilen katı madde yükleri Tablo E6.6'de verilmiştir.

Tablo E6.6 Çözünmüş hava yüzdürmeli yoğunlaştırıcılar için önerilen katı madde yükleri

Arıtma Çamurunun Tipi	Katı Madde Yükü (kg/m^2.sa)	
	Kimyasal Madde İlavesiz	**Kimyasal Madde İlaveli**
Aktif çamur		
Tam karışım halinde	1.2-3	10'a kadar
Çökelmiş	2.4-4	10'a kadar
Damlatmalı filtre humusu çamuru	3-4	10'a kadar
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	4-6	10'a kadar
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	3-6	10'a kadar
Ön çöktürme çamuru	4-6	12.5'a kadar

3) Santrifüj İle Yoğunlaştırma;

Santrifüjler çamurun yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Santrifüjlerin kullanımı genellikle atık aktif çamur ile sınırlandırılmıştır. Santrifüj ile yoğunlaştırma, çamurun içersindeki partiküllerin santrifüj (merkezkaç) kuvvetlerinin etkisi altında çökeltilmesi prensibine dayanmaktadır. Santrifüj ile yoğunlaştırma genellikle, 0.2 m^3/s'den büyük kapasitelerde işletilen tesislerde ve alan kısıtlaması olan yerlerde tercih edilmektedir. Atık aktif çamurun yoğunlaştırılması için 0-4 kg kuru polimer/ton TKM dozajları kullanılmaktadır. Santrifüjlerin performansları yoğunlaştırılmış çamurun katı içeriği ve askıda katı madde geri kazanımı (katı tutma oranı olarak da ifade edilir) ile değerlendirilmektedir. Sabit çamur beslenmesi altında, süzüntü suyundaki katı madde konsantrasyonu arttıkça katı tutma oranı da artmaktadır. Katı tutma oranlarının yüksek olması, arıtma tesisi başına geri devrettirilen süzüntü suyunun içersindeki biyolojik olarak ayrışabilen katı madde konsantrasyonunun daha düşük olması demektir. Atıksu arıtma tesisleri için kütle dengesi kurulurken, yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırma proseslerinden geri devir ettirilen debilerin (aynı zamanda yan akım debileri olarak adlandırılırlar) mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Santrifüj ile yoğunlaştırmada başlıca işletme değişkenleri, beslenen çamurun özellikleri (çamurun su içeriği ve çamur hacim indeksi), santrifüjün dönme hızı, hidrolik yükleme hızı ve şartlandırma amacıyla ilave edilen polimer dozajıdır.

b)Çamurların Stabilizasyonu

Stabilizasyon, arıtma çamurlarının içeriklerindeki patojen organizmaların azaltılması, istenmeyen kokuların engellenmesi, çürüme, bozulma ve kokuşma gibi problemlerin ortadan kaldırılması amaçlarıyla uygulanmaktadır. Stabilizasyon prosesinde en önemli özellik arıtma çamurlarının uçucu veya organik içerikleridir. Patojen organizmaların yaşayabilmeleri, koku oluşumu, kokuşma, bozulma ve çürüme gibi süreçlerin gerçekleşmesi, ancak mikroorganizmaların çamurların organik kısmında gelişmeleri ile gerçekleşmektedir. Bu sebeple istenmeyen bu problemlerin engellenebilmesi için çamurun uçucu içeriğinin biyolojik olarak giderilmesi ve mikroorganizmaların yaşayabilmeleri için uygun olan koşulların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Çamura ilave edilecek uygun kimyasal maddeler ile mikroorganizmaların yaşabilmeleri için elverişli olmayan ortamlar oluşturulabilir. Stabilizasyon prosesi, yukarıda belirtilen sağlık ve estetik kaygılar dışında, ayrıca hacim azaltılması, faydalı biyogaz (metan) üretimi ve çamurların susuzlaştırılmalarını iyileştirmek

amaçlarıyla uygulanmaktadır. Başlıca stabilizasyon yöntemleri, kireç ilavesi ile gerçekleştirilen alkali stabilizasyon, havasız çürütme, havalı çürütme, ototermal havalı çürütme ve kompostlaştırmadır. Ayrıca stabilizasyon amacıyla ısı ile arıtma ve oksitleyici kimyasal ilavesi ile stabilizasyon gibi yöntemler de bulunmaktadır. Bir stabilizasyon prosesinin tasarımı yapılırken stabilize edilecek çamur miktarının tayini çok önemlidir. Ayrıca çamurların nihai bertarafı için hangi yöntemin seçileceği de stabilizasyon uygulanması açısından önem taşımaktadır. Örneğin çamur bertarafında arazi uygulaması seçilecek ise stabilizasyon ile gerekli düzeyde patojen giderimi mutlaka sağlanmalıdır.

1) Alkali Stabilizasyonu;

Çamura ilave edilecek alkali maddeler ile mikroorganizmaların yaşayabilmeleri için elverişli olmayan ortamlar oluşturulabilir. Kireç ilavesi ile stabilizasyon prosesinde, yeterli miktarda kireç eklenerek çamurun pH'sı 12'den yüksek değerlere kadar arttırılabilir. Böylece yüksek pH değerlerinde mikrobiyal reaksiyonların yavaşlaması ve/veya tamamen durması sağlanarak, istenmeyen kokuların oluşumu engellenerek kemirgen, kuş, haşere vb. (bu canlılara vektör denilmektedir) potansiyel hastalık taşıyıcı canlıların ilgisini çekecek ortamlar ortadan kaldırılmaktadır. Çamurun pH'sı bu seviyelerde tutulabildiği sürece kokuşma, bozulma, çürüme, koku oluşumu ve sağlığa zararlı etkenler oluşmayacaktır. Alkali ile stabilizasyon prosesi ile ayrıca virüs, bakteri ve diğer mikroorganizmaların aktiviteleri de durdurulmaktadır. Sönmemiş kireç çamura ilave edilir edilmez, çamur bünyesindeki su ile reaksiyona girerek sönmüş kireç oluşmaktadır. Bu reaksiyon ekzotermik (ısı veren) bir reaksiyondur ve yaklaşık 64 kJ/g.mol değerinde bir ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Sönmemiş kireç ile karbondioksit arasında gerçekleşen reaksiyon da ekzotermik bir reaksiyondur ve yaklaşık 180 kJ/g.mol değerinde bir ısı enerjisi oluşmaktadır. Alkali stabilizasyonunda kireç, susuzlaştırma öncesinde (kireç ile ön arıtma) veya sonrasında (kireç ile son arıtma) ilave edilebilir. Her iki yaklaşımda da çamur ile kirecin homojen bir şekilde karışımı çok önemlidir. Çamur stabilizasyonu ile ön arıtma için önerilen kireç dozajları, Tablo E6.7'de verilmiştir.

Tablo E6.7 Çamur stabilizasyonu ile ön-arıtma için önerilen kireç dozajları

	Katı Madde Konsantrasyonu (%)		Kireç Dozajı[a] g $Ca(OH)_2$/kg kuru katı	
Çamur Tipi	**Aralık**	**Ortalama**	**Aralık**	**Ortalama**
Ön çöktürme çamuru	3-6	4.3	60-170	120
Atık aktif çamur	1.0-1.5	1.3	210-430	300
Havasız olarak çürütülmüş karışık çamur	6-7	5.5	140-250	190

[a]30 dakika süre ile pH = 12 değerinin sağlanabilmesi için gerekli sönmüş kireç [$Ca(OH)_2$] miktarı

c) Havasız Çürütme

Arıtma çamurlarının stabilizasyonunda uygulanan en yaygın ve eski prosesdir. Havasız çürütmede, organik ve inorganik (sülfat gibi) maddeler moleküler oksijenin bulunmadığı şartlar altında parçanmaktadır. Evsel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların havasız çürütülmeleri sırasında üretilen biyogaz, bu tesislerin birçoğunun işletilmeleri sırasında gerekli enerji ihtiyacının hemen hepsini karşılamaya yeterli olabilmektedir. Havasız çürütme sırasında üç tip kimyasal ve biyokimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Bunlar, hidroliz, asit üretimi (fermentasyon) ve metan üretimidir. Fermentasyonda çözünmüş organik bileşikler ve kısa zincirli yağ asitleri oluşurken metan üretimi safhasında organik asitlerin metan ve karbondioksite kadar bakteriyel çevrimi gerçekleşmektedir. Havasız çürütmedeki en önemli çevresel faktörler, katı madde bekleme süresi, hidrolik bekleme süresi, sıcaklık, alkalinite, pH, inhibitörlerin ve zehirli maddelerin varlığı, nutrientlerin ve eser elementlerin varlığı olarak sıralanmaktadır.

Bu faktörlerin başında yer alan katı madde bekleme süresi (çamur yaşı) ile hidrolik bekleme süresi, geri devirsiz çürütücülerde birbirine eşittir. Katı madde bekleme süresi, katı maddelerin çürütücü içersindeki ortalama bekleme (tutulma) zamanını, hidrolik bekleme süresi ise sıvının çürütücü içerisindeki ortalama bekleme (tutulma) zamanını ifade etmektedir. Çözünmüş substrat için katı madde bekleme süresi, reaktördeki katı madde miktarının reaktörden bir günde uzaklaştırılan katı

madde miktarına oranıdır. Hidrolik bekleme süresi de reaktördeki sıvı hacmin bir günde beslenen çamur hacmine oranıdır. Çürütme sırasında meydana gelen üç reaksiyonun gerçekleşebilmesi tamamen bu iki bekleme süresi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Her reaksiyon için minimum bir katı madde bekleme süresi vardır ve bu sürenin altındaki bekleme sürelerinde bakterilerin hızlı bir şekilde gelişimi gözlenmemekte ve nihayetinde çürütme prosesi tamamen durmaktadır. Pratik uygulamalarda, yüksek-hızlı havasız çürütücülerin tasarımında 12-20 gün aralığında katı madde bekleme süreleri seçilirse mikroorganizmaların yıkanma tehlikesinin bulunmadığı gözlenmiştir. Katı madde bekleme sürelerinin seçiminde pik hidrolik yüklemeler de dikkate alınmalıdır. Tam karışımlı havasız çürütücülerin tasarımı sırasında önerilen katı madde bekleme süreleri Tablo E6.8'de verilmiştir.

Tablo E6.8 Tam karışımlı havasız çürütücülerin tasarımı sırasında önerilen katı madde bekleme süreleri

İşletme Sıcaklığı (°C)	Katı Madde Bekleme Süresi (minimum)	Katı Madde Bekleme Süresi (tasarım)
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Diğer bir önemli parametre ise sıcaklıktır. Sıcaklık sadece mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini değil aynı zamanda biyolojik katıların çökelme özelliklerini ve gaz transfer hızını da etkilemektedir. Özellikle hidroliz ve metan üretim hızlarının belirlenmesinde sıcaklık parametresi çok önemlidir. İstenilen uçucu katı madde gideriminin sağlanabilmesi için gerekli minimum katı madde bekleme sürelerinin belirlenmesi sıcaklık parametresi göz önüne alınarak yapılmaktadır. Genellikle havasız çürütücüler mezofilik sıcaklık (30–38°C) aralığında tasarlanmaktadır. Termofilik (50–57°C) ve farklı kademelerde her iki sıcaklık aralığının kullanıldığı birleşik çürütücüler de bulunmaktadır. Termofilik çürütmenin mezofilik çürütmeye göre üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlükler daha yüksek katı madde ve patojen organizma giderimi şeklindedir. Fakat yüksek sıcaklıklarda işletildikleri için daha yüksek enerji ihtiyaçları, yüksek çözünmüş katı madde içeren düşük kaliteli üst faz, daha fazla koku oluşumu ve daha düşük proses stabilitesi termofilik çürütmenin en önemli mahzurlarını oluşturmaktadır. Özellikle metan üreten bakteriler başta olmak üzere çürütme prosesinde yer alan bakteriler, sıcaklık değişikliklerine (salınımlarına) karşı çok hassastırlar. Bu sebeple sıcaklık değerinin çürütücüler içerisinde sabit tutulması çok önemlidir. Çürütücü tanklarının duvarlarından, kapaklarından, tabanlarından ve ısıtma kaynağı ile tank arasında yer alan boru tesisatında meydana gelecek ısı kayıplarının ise tasarım sırasında hesaplanarak önlem alınması gerekmektedir. Bu sebeple havasız bir çürütücünün tasarımı yapılırken gerekli ısı ihtiyacının çok dikkatli bir şekilde hesaplanması gerekmektedir.

İyi bir şekilde işletilen havasız bir çürütücüde alkalinite konsantrasyonunun 2000-5000 mg/L $CaCO_3$ arasında olması öngörülmektedir. Çürütücüler içersinde bulunan kalsiyum, magnezyum ve amonyum bikarbonatlar tamponlama özelliğine sahip elementlerdir. Amonyum bikarbonat zaten çürütme prosesi sırasında ham çamurun içersindeki proteinlerin parçalanmasıyla oluşmaktadır. Diğer tamponlayıcı maddeler ise beslenen çamurun içerisinde bulunmaktadır. Bir çürütücü içerisindeki başlıca alkalinite tüketicisi karbondioksittir. Ayrıca uçucu yağ asitleri de alkaliniteyi tüketmektedirler. Karbondioksit, fermentasyon ve metan üretimi adımlarında oluşmaktadır. Çürütücüde bulunan gazların kısmi basınçlarından dolayı, karbondioksit çözünmekte ve karbonik asite dönüşmektedir. Karbonik asit ise ortamda bulunan alkaliniteyi tüketmektedir. Bu sebeple çürütücülerin alkalinite ihtiyaçlarının izlenmesi açısından, üretilen gazın karbondioksit içeriğine bakılmaktadır. Kostik, sodyum bikarbonat, sodyum karbonat veya kireç gibi alkalinite kaynakları eklenerek, çürütücülerde olması gereken alkalinite miktarı sağlanabilmektedir.

1) Tek Kademeli Mezofilik Havasız Çürütme;

Tek-kademeli mezofilik havasız çürütme prosesi ısıtma, karıştırma, üniform çamur beslenmesi ve beslenen çamurun yoğunlaştırılmış olması ile karakterize edilmektedir. Çürütücülerde çamur karışımı, üretilen gazın geri devri ve/veya yardımcı mekanik karıştırıcılar ile sağlanabilmektedir. Bu tip çürütücülerde oluşan köpük tabakasının ve duru fazın ayrılması gerçekleştirilememektedir. Optimum çürüme hızlarına ulaşabilmek açısından çürütücü içerisindeki çamur ısıtılmaktadır. Çamurun üniform bir şekilde beslenmesi çok önemlidir. Bu sebeple çamurun sürekli veya 0.5-2.0 saat aralıkları ile beslenmesine dikkat edilmelidir. Bu çürütme prosesinde uçucu katı madde giderimleri % 45-50 arasında değişmektedir. Çürütücülerin kapakları sabit veya yüzer tipli olabilir. Yüzer tipte tasarlanan kapakların çoğunda gaz depolama özelliği de bulunmaktadır. Böylece daha fazla miktarlarda gazın depolanması mümkün olabilmektedir. Alternatif olarak gaz, düşük basınçlı ayrı bir gaz toplayıcıda veya basınç altında sıkıştırılarak depolanabilir. Havasız çürütme sırasında üretilen gaz, hacimce yaklaşık %65-70 arasında metan içermektedir. Geri kalan %30-35'lik kısmın büyük miktarı karbondioksit içermekte ve düşük miktarlarda N_2, H_2, H_2S, su buharı ve diğer gazlar gözlenmektedir. Çürütücü gazının özgül ağırlığı havaya oranla yaklaşık 0.86'dır. Havasız bir çürütücünün düzgün bir şekilde işletildiğinin en önemli göstergesi gaz üretimidir. Üretilen biyogaz yakıt olarak kullanılabilmektedir. Birim uçucu katı madde giderimi başına üretilen gaz hacmi 0.75-1.12 m^3/kg UKM olarak kabul edilebilmektedir. Fakat beslenen çamurda gözlenen değişken uçucu katı madde konsantrasyonları ve çürütücüdeki biyolojik aktiviteye bağlı olarak gaz üretimi, çok geniş bir aralıkta salınım gösterebilmektedir. Gaz üretimi ayrıca bir günde kişi başına üretilen gaz hacmi cinsinden de tahmin edilebilmektedir. Örneğin evsel atıksuların biyolojik arıtma ile arıtıldığı bir arıtma tesisinde gaz üretimi yaklaşık 28 $m^3/10^3$ kişi.gün olmaktadır. Metan gazının standart şartlar altında (20°C ve 1 atm basınçta) 35800 kJ/ m^3 ısıl değeri vardır. Çürütücülerde üretilen toplam gazın yaklaşık % 65'inin metan içerikli olduğu kabul edilerek, çürütücü gazının ısıl değeri 22400 kJ/ m^3 olarak alınabilmektedir. Üretilen biyogaz içerisinde H_2S, N_2, partikül madde ve su buharı bulunduğundan, çürütücü gazının kuru veya ıslak yıkayıcılardan geçirilerek temizlenmesi ve daha sonra içten yanmalı motorlarda kullanılması tavsiye edilmektedir. Hidrojen sülfürün hacimsel olarak 100 ppm değerini geçmesi durumunda ise bu gazın giderilmesi için ayrı bir tesisat kurulmalıdır.

Stabilizasyonun derecesi ayrıca uçucu katı maddelerdeki giderim yüzdesi ile ölçülmektedir. Alkalinite ve uçucu asit içeriği de günlük olarak takip edilmelidir. Çürütücülerin boyutlandırılmasında en fazla başvurulan yaklaşım, yükleme faktörü seçilerek çürütücü hacminin hesaplanmasıdır. Bunun için birim çürütücü hacmi başına bir günde yüklenen uçucu katı madde miktarı kullanılmaktadır. Katı madde yükleme hızı için uygun aralık 1.6-4.8 kg UKM/m^3.gün olarak verilmektedir. Yüksek uçucu katı madde yüklemelerinde başta amonyak olmak üzere reaktör içerisinde zehirli madde birikimi veya metan üreten mikroorganizmaların (arkelerin) sistemden yıkanması gözlenmektedir. Seyreltik çamur ile çürücülerin beslenmelerinde, işletme sırasında gözlenebilecek olumsuzluklar şu şekilde sıralanabilir; düşük hidrolik bekleme süreleri, düşük uçucu katı madde giderimleri, düşük metan üretimleri, yetersiz alkalinite miktarı, yüksek ısıtma ihtiyacı ve nispeten sulu olan çamurun bir sonraki sisteme taşınması için daha yüksek maliyet ihtiyacı. Çürütücülerin boyutlandırılmasında göz önüne alınan diğer bir yaklaşım ise kişi başına düşen reaktör hacmi seçimidir. Bu değer farklı atıksu çamurları için farklı aralıklarda olmaktadır. Örneğin ön çöktürme çamuru için bu aralık 0.03-0.06 m^3/kişi olarak verilirken, karışık (ön çöktürme + atık aktif çamur) çamurlar için bu aralık 0.07-0.11 m^3/kişi olmaktadır. Tam karışımlı mezofilik yüksek hızlı havasız bir çamur çürütücüde tahmin edilen uçucu katı madde giderimleri 30, 20 ve 15 günlük çürütme zamanlarına göre sırasıyla % 65.5, 60 ve 55 şeklinde olabilmektedir.

Havasız çürütücülerin tasarımında kullanılan silindirik betonarme tankların yanında son yıllarda uygulamaları hızla artan konvansiyonel betonarme ve yumurta kesitli çelik tanklar da bulunmaktadır. Bu tanklar özellikle karıştırma veriminin artması, ısı yalıtımının daha iyi bir şekilde gerçekleşmesi ve tabanda biriken kum vb. inorganik katı maddelerin daha etkili bir şekilde sistemden uzaklaştırılması amacıyla tasarlanmıştır. Dairesel betonarme tankların çapları 6-38 m arasında seçilebilmektedir. Tank tabanı genellikle konik yapıda ve merkeze doğru eğimlidir. Çamurlar tankın tabanından çekileceği için minimum eğim 1 dikey-6 yatay olacak şekilde yapılmalıdır. Tam karışımlı

mezofilik yüksek hızlı havasız çamur çürütücülerin boyutlandırılmaları sırasında kullanılan tasarım kriterleri Tablo E6.9'de verilmiştir.

Tablo E6.9 Tam karışımlı mezofilik yüksek-hızlı havasız çamur çürütücülerin boyutlandırılmaları sırasında kullanılan tasarım kriterleri

Parametre	Birim	Değer
Hacim esaslı	m^3/kişi	
Ön çöktürme çamuru		0.03-0.06
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur		0.07-0.11
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu		0.07-0.09
Katı madde yükü	kg UAKM/m^3.gün	1.6-4.8
Katı madde bekleme süresi	gün	15-20

ç) Havalı Çürütme

Havalı çürütme prosesi, atık aktif çamura, karışık (ön çöktürme + atık aktif çamur veya ön çöktürme + damlatmalı filtre çamuru) çamurlara veya uzun havalandırmalı aktif çamur proseslerinde ortaya çıkan çamurlara uygulanmaktadır. Bu yöntem, kapasitesi 2 m^3/s'ye kadar olan tesislerde başarıyla uygulanmaktadır. Uçucu katı madde giderimleri havasız çürütme prosesi ile yaklaşık aynı oranda gerçekleşmektedir. Duru fazda ise havasız çürütme prosesine kıyasla daha düşük BOİ konsantrasyonları bulunmaktadır. Havalı çürütme uygulaması ile kokusuz, humus benzeri, biyolojik olarak kararlı nihai ürünler elde edilebilmekte ve çamurun bünyesindeki temel gübre değerleri geri kazanılabilmektedir. İşletilmeleri nispeten kolaydır ve ilk yatırım maliyetleri düşüktür. Çamurların ayrı olarak çürütülmeleri sırasında, biyolojik çamurun havalı olarak çürütülmesi daha cazip bir seçenektir. Fakat bu stabilizasyon yönteminin en belirgin mahzurlarından birisi havalandırma için gerekli oksijenin sağlanabilmesi sırasında yüksek enerji masraflarına gerek duyulmasıdır. Ayrıca bu çamurların susuzlaştırılma özellikleri zayıftır. Havalı sistemler ortam sıcaklığından, tank geometrisinden, beslenen çamur konsantrasyonundan, karıştırma/havalandırma ekipmanlarının tipinden ve tankın yapıldığı malzemeden önemli ölçüde etkilenmektedir. Faydalı yan ürün olan metan üretimi ve enerji geri kazanımının gözlenmemesi ise prosesin diğer mahzurlarıdır.

İyi bir patojen gideriminin sağlanabilmesi için 20°C'de katı madde bekleme süresinin en az 40 gün, 15°C'de ise en az 60 gün olması gerekmektedir. 40 günün altında işletilen havalı çürütücülerde, iyi verimde patojen giderimi istenirse, ilave depolama kapasitesinin veya yoğunlaştırıcının bulunması gerekmektedir. Yukarıda önerilen çamur bekleme sürelerinde işletilmeyen havalı çürütücülerde, patojen içeriklerinin, uçucu katı madde giderimlerinin ve vektör canlılar için cazip olmayan ortamların oluşup oluşmadığı sürekli kontrol edilmeli ve izlenmelidir.

Havalı çürütme prosesi, aktif çamur prosesine benzemektedir. Ortamda mevcut besin tükenince, mikroorganizmalar kendi protoplazmalarını tüketmeye başlayarak hücre onarım reaksiyonları için gerekli enerjiyi temin etmektedirler. Enerjinin hücre dokusundan temin edilmeye başlandığı süre boyunca mikroorganizmalar içsel solunum fazda bulunurlar. Hücre dokusu oksijenin varlığında karbondioksit, su ve amonyağa oksitlenmektedir. Gerçekte hücre dokusunun yaklaşık %75-80'i okside olmakta ve geri kalan %20-25'i inert maddelerden ve biyolojik olarak giderilemeyen organik bileşiklerden meydana gelmektedir. Çürüme devam ettiği sürece, amonyak sonuçta nitrata okside olmaktadır. Biyolojik olarak giderilemeyen uçucu katı maddeler havalı çürümenin nihai ürünlerini oluşturmaktadır. Organik azotun nitrata oksitlenmesi sırasında ortamda hidrojen iyonları artmakta ve çamurda yeterli tamponlama kapasitesi yoksa pH değerinde azalmaya sebep olmaktadır. 1 kg amonyağın oksitlenmesi sırasında yaklaşık 7 kg $CaCO_3$ alkalinitesi tüketilmektedir. Nitrifikasyon ile tüketilen alkalinitenin teorik olarak yaklaşık yarısı (%50'si) denitrifikasyon ile geri kazanılabilmektedir. Çürütücü içerisindeki çözünmüş oksijen değeri çok düşük seviyelerde tutulursa (<1 mg/L), nitrifikasyon gerçekleşemeyecektir. Havalı çürütücülerin havalandırma ve karıştırma arasında işletilmeleri sırasında pH kontrolü de sağlanırsa yüksek hızlarda denitrifikasyon gerçekleşmektedir. Reaktör içerisindeki pH'nın 5.5 değerinin üzerinde kalabilmesi için yeterli tamponlama kapasitesi yoksa mutlaka tesis içerisinde alkalinite besleme sistemi kurulması

gerekmektedir. Sistemin tamponlama kapasitesi hava ile sıyırma sebebiyle de azalmaktadır. Ayrıca nitrat iyonlarının artmasıyla pH değerinde düşme gözlenmekte ve düşük pH değerleri filamentli mikroorganizmaların reaktör içerisinde artmasına yol açabilmektedir.

Havalı çürütücüler kesikli veya sürekli sistemler olarak işletilmektedir. Konvansiyonel havalandırmalı çürütme prosesinin tasarımı sırasında, sıcaklık, katı madde giderimi, beslenen çamurun katı madde konsantrasyonu, tank hacmi, oksijen ihtiyacı ve prosesin işletilmesi dikkate alınmalıdır.

Havalı tankların çoğu açık tanklar olarak inşa edilmektedir. Bu sebeple çürütücüler içerisindeki ısı, hava koşullarına bağlı olarak değişmekte ve geniş bir aralıkta salınım gösterebilmektedir. Diğer tüm biyolojik sistemlerde olduğu gibi düşük sıcaklık değerleri prosesin yavaşlamasına, yüksek sıcaklıklar ise prosesin hızlanmasına sebep olmaktadır. Sıcaklık kayıplarının da mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Tankın yer üzerinde kalan kısımları yalıtım malzemesi ile kaplanması, yüzeysel havalandırma yerine tankın içersine batmış şekilde yerleştirilen havalandırma ekipmanı kullanılması, çok soğuk iklimlerde kapalı tankların kullanımı veya çamurun ısıtılması yoluna gidilebilmektedir. Kısaca beklenen en düşük işletme sıcaklığında gerekli çamur stabilizasyonu gerçekleşebilmeli ve beklenen en yüksek işletme sıcaklığında ise en yüksek oksijen ihtiyacı sağlanabilmelidir. Havalı çürütmenin diğer bir amacı da uzaklaştırılacak katı madde kütlesinin azaltılmasıdır. Katı madde gideriminin sadece çamurun biyolojik olarak giderilebilen kısmı ile gerçekleştiği düşünülse de organik olmayan maddelerin de bir miktar parçalanması mümkün olabilmektedir. Havalı çürütme ile uçucu katı madde giderimleri % 35-50 arasında gözlenmektedir. Sıcaklığın dışında bu giderim verimini etkileyen diğer parametre ise çamur yaşıdır. Havalı çürütmenin tam karışımlı ve kademeli (iki veya üç kademeli) konfigürasyonunda, toplam çamur yaşı eşit bir şekilde kademeler arasında bölünmelidir. Havalı çürütme proseslerinin verimlerinde önemli etkisi olan çamur yaşının, tasarım ve işletme sırasında mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin çürütücü önünde yoğunlaştırma işlemi uygulanacak ise çürütücüye beslenecek çamurun katı madde konsantrasyonu ve böylece çürütücünün hacmi başına verilmesi gerekli oksijen miktarı da artacaktır. Besleme akımındaki yüksek katı madde konsantrasyonları daha uzun çamur yaşlarına ve daha küçük çürütücü hacimlerine ihtiyaç göstermektedir. Ayrıca özellikle kesikli beslenen sistemlerde duru faz oluşumu daha az olacaktır ve bu durum proses kontrolünde kolaylık sağlayacaktır. Yoğunlaşmayı takip eden çürütücülerde ise daha yüksek uçucu katı madde giderimleri gözlenmektedir. Fakat katı içerikleri %3.5-4'den yüksek olan durumlarda, karıştırma ve havalandırma işlemleri zorlaşmaktadır. Bu sebeple %4'den yüksek katı madde içeriklerinde, çürütücülerde yeterli karıştırma ve havalandırmanın sağlanabildiğinden emin olunması gerekmektedir. Yoğunlaştırma sırasında polimer kullanımı ile bu çamurların çürütülmeleri sırasında karıştırılmaları için daha yüksek miktarlarda enerji ihtiyacı gerekecektir. Havalı çürütme sırasında hücre dokusunun tamamıyla oksidasyonu (nitrifikasyon dahil) sırasında gerekli oksijen ihtiyacı 7 mol/mol hücre veya yaklaşık 2.3 kg/kg hücre'dir. Karışık çamurun içerisindeki ön çöktürme çamurundaki BOİ'nin tamamıyla oksidasyonu için ise giderilen BOİ'nin 1 kilogramı başına 1.6-1.9 kg oksijen ihtiyacı gözlenmektedir. Bütün işletme şartlarında, sistemde kalan oksijen miktarı 1 mg/L'den yüksek olmalıdır. Çürütücü önünde yoğunlaştırma uygulanmamışsa, çürütücüden çıkan arıtma çamurları bir sonraki işleme verilmeden önce üst sularının ayrılıp daha yoğun çamur içeriği elde edilmelidir. Havalı çamur çürütücülerin boyutlandırılmaları sırasında kullanılan tasarım kriterleri Tablo E6.10'da verilmiştir.

Tablo E6.10 Havalı çamur çürütücüler için tasarım kriterleri

Parametre	Birim	Değer
Katı Madde Bekleme Süresi	gün	
20°C'de		40
15°C'de		60
Uçucu Katı Madde Yüklemesi	$kg.m^3/gün$	1.6-4.8
Oksijen İhtiyacı		
Hücre dokusu	kg O_2/kg UAKM	~2.3
Ön çöktürme çamurundaki BOİ	tüketilen	1.6-1.9
Karıştırma İçin Enerji İhtiyacı		
Mekanik karıştırıcılar	$kW/10^3.m^3$	20-40

Difüzörlü karıştırıcılar	$m^3/m^3.dk$	0.02-0.04
Havuzdaki Çözünmüş Oksijen	mg/L	1-2
Uçucu Katı Madde Giderimi	%	38-50

Havalı çürütmenin birinci kademesi termofilik, ikinci kademesi mezofilik sıcaklıklarda işletilen iki kademeli çürütme tipi, konvansiyonel ve yüksek saflıkta oksijen ile gerçekleşen ototermal termofilik çürütme tipi ve yüksek saflıkta oksijenli çürütme tipi de bulunmaktadır. Bu tipteki havalı çürütme prosesleri son yıllarda atıksu çamurlarının stabilizasyonu amacıyla sıkça uygulanmaktadır.

d) Çamurların Şartlandırılması

Şartlandırma, arıtma çamurunun susuzlaştırılma özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Günümüzde en yaygın ve ekonomik şartlandırma yöntemi kimyasal ilavesi ile şartlandırmadır. Kimyasal şartlandırma uygulaması ile giriş akımında %90-99 olan su muhtevası %65-85 değerine kadar azaltılabilmektedir. Kimyasal şartlandırma ile katı maddeler pıhtılaşarak bünyelerinde absorbe ettikleri suyu salmaktadırlar. Şartlandırma uygulamaları özellikle santrifüj, bant filtre ve filtre pres gibi mekanik susuzlaştırma sistemlerinin gelişimlerinden sonra artmıştır. Demir klorür, kireç, alum ve organik polimerler gibi kimyasal maddeler şartlandırma amacıyla kullanılmaktadır. Demir tuzları ve kireç, çamurun kuru katı kısmını %20-30 oranında arttırırken, polimerlerin kuru katı oranına bir etkisi yoktur. Kireç ile yapılan şartlandırmada pH'nın çok yüksek değerlere çıkması, kuvvetli amonyak kokusuna ve kireç ile taşlaşma problemine sebep olmaktadır. Filtre pres ile susuzlaştırma öncesinde polimer kullanımı önerilmemektedir. Kimyasal şartlandırıcılar genellikle sıvı formda daha kolay uygulanabilmektedir. Bu sebeple toz (kuru) halde olan kimyasalların çözülebilmeleri için tesis içerisinde ayrı tankların inşa edilmesi gerekmektedir. Bu tankların en az 1 günlük kimyasal madde temin edilecek hacimlere sahip olmaları gerekmektedir. Ayrıca bu tanklar ve ekipmanlar korozyona karşı dayanıklı malzemelerden yapılmalıdır.

Laboratuvar ve pilot ölçekli testler yapılarak en uygun şartlandırıcı dozajı ve tipi belirlenmelidir. En yaygın olarak kullanılan laboratuvar testleri Buchner hunisi testi, kapiler emme süresi testi ve standart jar test deneyidir. Kimyasal şartlandırıcı tipini ve dozajını etkileyen faktörler, katı madde özellikleri ve kullanılan karıştırıcı tipidir. Ayrıca şartlandırmayı takiben uygulanacak susuzlaştırma yöntemi de önemlidir. En önemli katı madde özellikleri ise katı maddenin kaynağı, konsantrasyonu, yaşı, pH ve alkalinitesidir. Katı madde konsantrasyonu, eklenecek şartlandırıcının dozajını ve bu şartlandırıcının çamur içerisindeki eğilimini etkilemektedir. Zor susuzlaşan çamurların şartlandırılmalarında yüksek dozajlarda kimyasal maddeye ihtiyaç duyulmakta ve genelde kuru kek oluşumu gözlenmemektedir. Ayrıca bu çamurların süzüntü suyu kalitesi de düşüktür. En kolaydan en zora doğru susuzlaşabilen çamur tipleri şu şekilde sıralanmaktadır;

- Ham ön çöktürme çamuru
- Ham karışık (ön çöktürme + damlatmalı filtre) çamur
- Ham karışık (ön çöktürme + atık aktif) çamur
- Havasız olarak çürütülmüş ön çöktürme çamuru
- Havasız olarak çürütülmüş karışık (ön çöktürme + atık aktif) çamur
- Ham atık aktif çamur
- Havalı olarak çürütülmüş çamurlar

Polimer dozajları aynı zamanda molekül ağırlığı, iyonik kuvvet ve kullanılan polimerin aktivite seviyesine göre de değişmektedir. Kullanılacak polimer dozajları ile ilgili olarak üretici firmaya danışılması gerekmektedir.

Eklenen şartlandırıcının verimli bir şekilde çalışması için karıştırmanın önemli etkisi bulunmaktadır. Çamur ile pıhtılaştırıcı madde homojen bir şekilde karışabilmelidir. Ancak karıştırma hızı oluşan flokların parçalanmaması için uygun aralıkta seçilmelidir. Ayrıca çamurlar şartlandırıldıktan sonra en kısa zamanda susuzlaştırma birimine gönderilmelidir. Şartlandırıcı kimyasallar susuzlaştırma öncesinde ayrı bir tankta karıştırılacağı gibi, susuzlaştırma ünitesinin beseleme akımında da çamura doğrudan eklenebilir.

Kimyasal ilavesi ile şartlandırmanın haricinde ısı ile arıtma, çamurların ön ısıtılmaları ve donma-çözülme gibi yöntemler de arıtma çamurlarının şartlandırılmaları amacıyla uygulanmaktadır.

e) Çamurların Susuzlaştırılması

Susuzlaştırma, arıtma çamurunun nem içeriklerinin azaltılması amacıyla uygulanan fiziksel bir işlemdir. Susuzlaştırma aşağıdaki sebeplerden biri veya birden fazlası amacıyla uygulanmaktadır:

- Çamur hacminde belirgin bir azalma sağlamak suretiyle arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırma alanına nakliye masraflarını düşürmek
- Susuzlaştırılmış çamur keklerinin çok daha kolay bir şekilde kürek ve benzeri aletlerle taşınabilmelerini sağlamak
- Yakma uygulaması için çamurun kalorifik değerini arttırmak
- Kompostlaştırma uygulaması için ilave edilmesi gereken yardımcı maddelerin miktarlarını azaltmak
- Arıtma çamurlarındaki fazla nemin giderilerek kokusuz ve kokuşmaya elverişsiz kek oluşumunu sağlamak
- Nihai uzaklaştırmada düzenli depolama tercih edilirse bu sahalarda meydana gelecek sızıntı suyu üretimini azaltmak

Susuzlaştırma amacıyla uygulanan doğal yöntemler sırasında buharlaşma ve süzülme işlemleri gerçekleşmektedir. Mekanik olarak gerçekleştirilen susuzlaştırma yöntemlerinde ise, çamurların susuzlaştırılmaları mekanik sistemler kullanılarak fiziksel olarak çok daha hızlı gerçekleşebilmektedir. Mekanik yöntemler arasında filtrasyon, sıkma, kapiler hareket, santrifüj (merkezkaç kuvveti) ile ayırma ve sıkıştırma yer almaktadır. Susuzlaştırma yönteminin seçiminde göz önüne alınması gereken en önemli etkenler çamurun tipi, susuzlaştırmadan sonra oluşacak ürünün (kek) özelliği ve alan ihtiyacıdır. Yer temini problemi yoksa kurutma yatakları veya lagünler tercih edilebilir. Ancak dar alanlarda inşaa edilen arıtma tesislerinde genellikle mekanik susuzlaştırma yöntemleri uygulanmaktadır. Havasız olarak çürütülmüş çamurlar başta olmak üzere bütün çamur tiplerinin susuzlaştırılmaları sırasında meydana gelebilecek istenmeyen koku oluşumu kontrol altına alınmalıdır. Ayrıca havalı olarak çürütülmüş çamurların mekanik yöntemlerle susuzlaştırılmaları tavsiye edilmemektedir. Çünkü çürütme prosesi sırasında katı maddeler çözünmüş hale geçerek partikül boyutlarında azalma meydana gelmekte ve bu husus mekanik olarak susuzlaştırma işlemini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple havalı çürütme uygulanmış çamurlara mekanik susuzlaştırma yöntemlerinin yerine doğal (kum yatakları vb) susuzlaştırma yöntemleri önerilmektedir. En yaygın olarak uygulanan mekanik ve doğal çamur susuzlaştırma yöntemleri santrifüj ile susuzlaştırma, bant filtre, filtre presler, kurutma yatakları ve lagünlerdir. Ayrıca çamur yatağının tabanı geçirimsiz bir malzeme ile kaplanmış, sazlık ve benzeri bitki örtüsüyle kaplanmış çamur kurutma yatakları da uygulanmaktadır. Vakum filtreler ise çok uzun yıllardan beri uygulanmış fakat son yıllarda daha verimli seçeneklerin ortaya çıkması ile birlikte uygulamaları önemli oranda azalmıştır.

f) Mekanik Susuzlaştırma Yöntemleri

1) Santrifüj ile Susuzlaştırma;

Santrifüj ile susuzlaştırma işlemi çamur suyunun santrifüj kuvvetlerinin etkisi altında ayrılarak daha yoğun çamur keki haline getirilmesidir. İnce ve düşük yoğunluklu katı maddeler içeren süzüntü suyu tesis başına geri verilmektedir. Çamurun tipine bağlı olarak oluşacak kekte %10-30 arasında değişen TKM içeriklerine ulaşılabilmektedir. Yakma ve düzenli depolama gibi nihai uzaklaştırma yöntemlerinde çamur kekinin konsantrasyonunun % 25'den büyük olması öngörülmektedir. Şartlandırma amacıyla ilave edilen polimer dozajı ise 1.0-7.5 kg/10^3 kg TKM aralığındadır. Santrifüj ile susuzlaştırma işlemi aynı zamanda çamurların yoğunlaştırılması amacıyla da uygulanmaktadır. Ön çöktürme çamurlarının santrifüj ile susuzlaştırılmasından sonra çamur kekinde % 25-35 arasında katı madde içeriğine ulaşılabilmektedir. Bu çamurlarda katı madde tutma oranları ise kimyasal ilaveli ve kimyasal ilavesiz uygulamalar için sırasıyla % 75-90 ve % 95'den büyük olmaktadır.

2) Bant Filtre ile Susuzlaştırma;

Bant filtre ile susuzlaştırma işleminde çamur sürekli olarak beslenmektedir. Bu yöntemin üç temel prensibi kimyasal şartlandırma, yerçekiminin etkisiyle drenaj işlemi ve susuzlaştırılma amacıyla

mekanik basınç uygulamasıdır. Bant filtrelerin birçok uygulamasında, şartlandırılmış çamur yerçekimi etkisi ile drenaj kısmına verilerek burada yoğunlaşmaya bırakılmaktadır. Bu bölmede serbest suyun büyük bir kısmı yerçekiminin etkisiyle çamurdan ayrılarak giderilmektedir. Bu bölmeyi takiben düşük basınç uygulanan kısım yer almaktadır. Burada uygulanan düşük basınç altında, şartlandırılmış çamur karşılıklı geçirimli bez bantların arasında ezilmektedir (sıkıştırılmaktadır). Bu sıkma ve kesme kuvvetleri daha fazla suyun çamurdan salınmasına yardımcı olmaktadır. Susuzlaştırma sonucunda oluşan çamur keki, bantlardan sıyırıcı bıçaklar yardımıyla sıyrılarak uzaklaştırılmaktadır. Mevcut bant genişlikleri 0.5-3.5 m arasındadır. Evsel atıksu çamurları için en yaygın olarak kullanılan bant genişliği 2 m'dir. Susuzlaştırılan çamur tipine ve konsantrasyonuna bağlı olarak, çamur yükleme hızları 90-680 kg/m.sa, hidrolik yüklemeler ise kayış genişliğine bağlı olarak 1.6-6.3 L/m.s arasında değişmektedir. Susuzlaştırma yapılarında hidrojen sülfür (H_2S) ve diğer gazların giderimi için yeterli havalandırmanın sağlanabilmesi için tasarım sırasında gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bant filtre ve santrifüjle çamur susuzlaştırmada kullanılan polimer dozajları ve bant filtrelerin farklı arıtma çamuru tipleri için susuzlaştırma performansları sırasıyla Tablo E6.11 ve Tablo E6.12'de verilmiştir.

Tablo E6.11 Bant-filtre ve santrifüjle çamur susuzlaştırmada kullanılan polimer dozajları

Çamur Tipi	kg/ton TKM	
	Bant filtre	Santrifüj
Ön çöktürme çamuru	1-4	1-2.5
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	2-8	2-5
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	2-8	-
Atık aktif çamur	4-10	5-8
Havasız olarak çürütülmüş ön çöktürme çamuru	2-5	3-5
Havasız olarak çürütülmüş ön çöktürme + atık aktif çamur	1.5-8.5	2-5
Havalı olarak çürütülmüş ön çöktürme + atık aktif çamur	2-8	-

Tablo E6.12 Bant-filtrelerin farklı arıtma çamur tipleri için susuzlaştırma performansları

Çamur Tipi	Kuru katı madde beslemesi (%)	Bir metre bant uzunluğu başına yükleme hızı		Kuru polimer (g/kg TKM)	Kekteki katı madde (%)	
		L/s	kg/sa		Değer	Aralık
Ön çöktürme çamuru	3-7	1.8-3.2	360-550	1-4	28	26-32
Atık aktif çamur	1-4	0.7-2.5	45-180	3-10	15	12-20
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur (50:50)[a]	3-6	1.3-3.2	180-320	2-8	23	20-28
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur (40:60)[a]	3-6	1.3-3.2	180-320	2-10	20	18-25
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	3-6	1.3-3.2	180-320	2-8	25	23-30
Havasız olarak çürütülmüş						
Ön çöktürme çamuru	3-7	1.3-3.2	360-550	2-5	28	24-30
Atık aktif çamur	3-4	0.7-2.5	45-135	4-10	15	12-20
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	3-6	1.3-3.2	180-320	3-8	22	20-25
Havalı olarak çürütülmüş						
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur (yoğunlaşmamış)	1-3	0.7-3.2	135-225	2-8	16	12-20
Ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur (50:50)[a] (yoğunlaşmış)	4-8	0.7-3.2	135-225	2-8	18	12-25

[a]Ön çöktürme ve atık aktif çamurdaki kuru katı miktarlarına göre oranlanmıştır.

3) Filtre Pres ile Susuzlaştırma;

Mekanik susuzlaştırma yöntemlerinden bir diğeri ise filtre preslerdir. Bunların sabit ve değişken hacimli olmak üzere iki farklı tipi bulunmaktadır. Bant filtrelerden en önemli farkı çamurların suyunu verebilmelerinin arttırılması amacıyla daha yüksek basınçlar uygulanmasıdır. Bu susuzlaştırma yönteminin avantajları yüksek konsantrasyonlarda katı madde içeren kek oluşumu, yüksek süzüntü suyu kalitesi ve yüksek katı tutma kapasitesidir. Fakat mekanik teçhizat daha karmaşık yapıdadır, daha yüksek kimyasal madde ilavesine ve insan gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca filtre bezinin ömrü daha kısadır. Filtre presler, sabit ve değişken hacimli yerleştirilmiş plakalı olmak üzere iki tipte bulunmaktadır. Her iki tipteki filtre preslerin tasarımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken faktörler şunlardır:

a) susuzlaştırılmanın gerçekleştirildiği odada yeterli havalandırma olmalıdır,

b) yüksek basınca sahip yıkama ünitesi bulunmalıdır,

c) kireç kullanıldığı durumda oluşan kalsiyum taşlaşmasının giderilmesi için bir asit yıkama sirkülasyon sistemi bulunmalıdır,

ç) şartlandırıcı tankının önünde bir çamur öğütücü bulunmalıdır,

d) filtre-presi takiben bir kek parçalayıcısı bulunmalıdır (özellikle susuzlaştırılmış çamur yakılacak ise) ve

e) plakaların bakımı ve uzaklaştırılması sırasında kullanılacak yedek ekipman bulunmalıdır.

g)Doğal Susuzlaştırma Yöntemleri

1) Çamur Kurutma Yatakları;

Çamur kurutma yatakları özellikle çürütülmüş arıtma çamurlarının ve yoğunlaştırma uygulanmamış uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinden üretilen çamurların susuzlaştırılması amacıyla yaygın olarak uygulanan doğal bir çamur susuzlaştırma yöntemidir. Bu yataklarda kurutulma işleminden sonra oluşan katılar düzenli depolama alanlarında uzaklaştırılabilirler veya toprak iyileştirici olarak kullanılabilirler. Başlıca üstünlükleri, düşük maliyetleri, işletme ve bakım ihtiyaçları ile kurutulmuş üründeki yüksek katı içerikleri sayılabilir. Fakat geniş alanlara ihtiyaç göstermeleri, iklim değişikliğinin kuruma özellikleri üzerindeki önemli etkisi, çamur kekinin uzaklaştırılması sırasında insan gücüne ihtiyaç duyulması, haşere ve potansiyel koku oluşumunun gözlenmesi en önemli mahzurlarını oluşturmaktadır.

2)Klasik kum dolgulu çamur kurutma yatakları;

Klasik kum dolgulu çamur kurutma yatakları genellikle küçük ve orta ölçekli yerleşim yerlerinde uygulanmaktır. Nüfusu 20000'den büyük olan yerleşim yerlerinde uygulanmaları tavsiye edilmez. Çünkü bu yatakların ilk yatırım maliyetleri, oluşan çamur keklerinin yataktan kaldırılması ve uzaklaştırılması için gerekli maliyetler, yatak içerisindeki kumun geri yerleştirilmesi ve büyük alanlara ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları, nüfusu büyük olan yerlerde kullanımlarını kısıtlamaktadır. Tipik bir kurutma yatağında, arıtma çamuru yatağa 200-300 mm kalınlığında serilerek kurumaya bırakılmaktadır. Çamurun ihtiva ettiği su, çamur yatağı ve destekleyici kum içerisinde süzülerek drenaj ile ayrılmaktadır. Ayrıca yatak yüzeyinin hava ile temas eden kısımlarında meydana gelen buharlaşma çamurun su muhtevasını azaltmaktadır. Fakat çamur suyunun büyük bir kısmı çamurdan drenaj ile giderildiği için yatağın tabanında yeterli drenaj sisteminin tasarlanması gerekmektedir. Bu amaçla kurutma yatağı drenaj hattı (delikli plastik veya seramik borular) ile teçhizatlandırılmaktadır. Drenaj boruları minimum % 1 eğim ile döşenerek üzeri kaba çakıl veya kırma taşlar ile kapatılarak desteklenmektedir. Kum tabakasının kalınlığı 230-300 mm aralığında olmalıdır ve yatağın temizliği sırasında bir miktar kum kaybının dikkate alınması gerekmektedir. Daha kalın kum tabakası drenajı engelleyebilmektedir. Kurutma yataklarına serilen kumun üniformluk katsayısı 4'den küçük ve kum daneciklerinin etkili boyutu 0.3-0.75 mm arasında değişmelidir. Kurutma alanı farklı yataklara bölünmekte ve bu yataklar 6 m genişlikte ve 6-30 m uzunlukta olmak üzere tasarlanmaktadır. Çamur kurutma yataklarına gelen borular içerisindeki en düşük hız 0.75 m/s olmalıdır. Arıtma çamurları tamamen drene olduktan ve kuruduktan sonra kurutma yataklarından uzaklaştırılmaktadır. Kurumuş çamurun iri ve çatlamış görünümde yüzeyi bulunmakta ve genellikle siyah veya koyu kahverengi renkte olmaktadır. Uygun şartlar altında işletilmiş kurutma yataklarında kurutulan çamurların nem oranları 10-15 günlük kurutma süresi sonrasında yaklaşık % 60 olmaktadır. Kurutulmuş çamur kekleri insan gücü yardımıyla el arabalarına veya kamyonlara küreklerle yüklenmektedir. Fakat çamur kekleri

özel mekanik ekipmanlar yardımıyla da uzaklaştırılabilmektedir. Açık kurutma yataklarında istenmeyen koku oluşumu gözlenebilmektedir. Bu sebeple tasarım sırasında oluşabilecek kokuya karşı önlem alınması gerekmektedir. Bu yataklar yerleşim yerlerinden en az 100 m uzaklıkta inşa edilmelidir. Çamur kurutma yataklarının yükleme kriterleri kişi başına gerekli kurutma yatağı alanı (m^2/kişi) veya bir yılda birim yatak alanına yüklenebilecek TKM miktarı (kg/m^2.yıl) olarak düşünülmektedir. Kapalı kurutma yatakları, yağmur, kar gibi olumsuz hava şartlarından etkilenmeyecekleri için daha fazla arıtma çamuru yüklemelerine izin verebilmektedir. Farklı arıtma çamuru tipleri için açık kurutma yataklarında susuzlaştırmada gerekli alan ihtiyaçları Tablo E6.13'da verilmiştir.

Tablo E6.13 Farklı arıtma çamuru tipleri için açık kurutma yataklarında susuzlaştırma sırasında gerekli alan ihtiyaçları

Çamur Tipi	Alan (m^2/kişi)	Çamur Yükleme Hızı (kg TKM/m^2.yıl)
Çürütülmüş ön çöktürme çamuru	0.1	120-150
Çürütülmüş ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre humusu	0.12-0.16	90-120
Çürütülmüş ön çöktürme çamuru + atık aktif çamur	0.16-0.23	60-100
Çürütülmüş ön çöktürme çamuru + kimyasal çamur	0.19-0.23	100-160

3) Çamur kurutma lagünleri;

Çamur kurutma lagünleri özellikle çürütülmüş çamurların kurutulmaları amacıyla uygulanmaktadır. Bu lagünler ham çamurların, kireç ihtiva eden çamurların veya duru fazında yüksek kirlilik içeren çamurların kurutulmaları sırasında istenmeyen koku oluşumlarından dolayı uygun değildir. Çamur kurutma yataklarında olduğu gibi çamur kurutma lagünlerinin verimleri de hava şartlarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Yağmur, kar ve benzeri yağışlar ve düşük sıcaklıklar susuzlaştırma prosesini engellemektedir. Bu sebeple buharlaşma hızının yüksek olduğu bölgelerde uygulanmaları tavsiye edilmektedir. Özellikle yeraltı sularının korunması ile ilgili yönetmelikler, yüzey altı drenajı yoluyla susuzlaştırma prosesinin uygulamalarını kısıtlamaktadır. İçme suyu amaçlı kullanılan bir yeraltı su kaynağına yakın olan kurutma lagünlerinin tabanı geçirimsiz hale getirilmelidir. Aksi takdirde süzülme ile gerçekleştirilen susuzlaştırma önemli oranda sınırlandırılmalıdır. Şartlandırılmamış çürütülmüş arıtma çamurları genellikle 0.75-1.25 m derinlikte olacak şekilde kurutma lagünlerine eşit olarak dağıtılarak serilmelidir. Susuzlaştırmanın esas mekanizması buharlaşmadır. Duru faz ayrılarak arıtma tesisinin başına geri verilmektedir. Katı içeriği %25-30 arasında olan kurutulmuş çamurlar mekanik olarak lagünlerden uzaklaştırılmaktadır. Lagünlerin birkaç aydan birkaç yıla kadar değişebilen aralıklarda yükleme döngüleri bulunmaktadır. Tipik olarak, arıtma çamurları lagünlere 18 ay boyunca pompalamakta ve daha sonra lagünler 6 ay boyunca dinlenmeye bırakılmaktadır. Katı (TKM) yükleme hızları 36-39 kg/m^3.yıl lagün kapasitesindedir. Temizleme, bakım, onarım veya acil durumlar için lagünler en az iki gözlü olarak tasarlanmalıdır.

ğ)Isıl Kurutma

Isı ile kurutma arıtma çamurlarının ihtiva ettikleri suyun buharlaştırılması ve klasik susuzlaştırma yöntemleri ile elde edilebilen nem içeriklerinden daha düşük nem içeriklerinin elde edilebilmesi amacıyla ısı uygulanmasıdır. Ayrıca, çamurların stabilizasyonu da gerçekleştirilmiş olmaktadır. Bu yöntemle elde edilen kurutulmuş arıtma çamurlarının uzaklaştırılması amacıyla gerekli nakliye masrafları çok daha düşük olmaktadır. Ayrıca ilave patojen giderimleri gerçekleşmekte ve bu ürünlerin depolanabilirlikleri ve pazarlanabilirlikleri iyileşmektedir. Bu yöntemle ıslak katılara ısı transferi gerçekleştirilmektedir. Isı transfer yöntemleri konveksiyon (dolaylı), kondüksiyon (dolaysız), radyasyon (kızılötesi) veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir. Konveksiyon sistemlerinde ıslak çamur ısı transfer mekanizması (genellikle sıcak gazlar) ile doğrudan temas halindedir. Kondüksiyon sistemlerinde ise ıslak çamur ile ısı transfer mekanizması (genellikle buhar veya diğer sıcak sıvılar) arasında birbirlerinin temasını önleyecek bir duvar bulunmaktadır. Radyasyon ile kurutma sistemlerinde, kızılötesi lambalar, elektrikli rezistanslar ve benzeri radyasyon yayan ısı kaynakları kullanılarak ıslak çamurun suyu buharlaştırılmaktadır. Isı kaynakları olarak kömür, yağ, gaz, kızılötesi radyasyon veya kurutulmuş çamur kullanılmaktadır.

En yaygın kullanılan konveksiyon ile kurutma sistemi akışkan yataklı kurutma yöntemidir. Bu yöntemde buhar kazanı ve akışkan yatak ile teçhizatlandırılmış bir kurutma sistemi bulunmaktadır.

Buharlaşma için gerekli ısı, yatak içerisindeki ısı eşanjörü ile oluşturulan buhar yardımıyla sağlanmaktadır. Yatak içerisindeki ısı yaklaşık 120°C civarında sabit tutulmaktadır. Yüksek ısı altında akışkan hale getirilmiş kum yatağı ile ıslak çamur doğrudan temas halindedir. Oluşan kurutulmuş ürün yardımcı yakıt amaçlı olarak veya düzenli depolama alanlarında günlük örtü için kullanılabilmektedir. Ürünün kokusu çok az ve rahatsız etmeyecek düzeydedir. Sistem otomatik olarak işletilebilmekte ve az yere ihtiyaç göstermektedir. Kurutucudan çıkan ürün, depolanmadan veya yüklenmeden önce yaklaşık 50°C'ye kadar mutlaka soğutulmalıdır.

En yaygın kullanılan kondüksiyon ile kurutma sistemi ise yatay veya dikey kurutma fırınlarıdır. Bu kurutma fırınlarında beslenen çamur ısı kaynağı ile temas halinde değildir. Yaklaşık %20 katı içeriğine sahip susuzlaştırılmış çamurlar, geri devir ettirilen kurutulmuş ürün ile karıştırılarak kurutma fırınlarına beslenmektedir. Fırından çıkan ürünün nem içeriği %5-8'dir. Ayrıca bu ürünlerin partikül boyutları 2-4 mm arasında olup pazarlamada tercih edilmektedir. Pazarlanabilmeleri açısından en uygun tanecik boyutu olan 3-5 mm aralığından daha küçük ve daha büyük partiküller elekten geçirilerek giriş çamur akımı ile karıştırılmak üzere başa geri döndürülmektedir. Böylece kurutma fırınlarına beslenen çamur akımının nem muhtevası değişmeden katı madde miktarı arttırılmaktadır. Çamur kurutmada, işletme sırasında karşılaşılan en büyük tehlike ise kurutuculardan çıkan ürünün yüksek kurulukta ve yüksek miktarda ince toz içermesidir. Bu ürünün taşınması ve depolanması sırasında havada askıda bulunan organik toz, çok kolay ve hızlı bir şekilde tutuşarak patlayabilmekte ve yangın çıkarabilmektedir. Bu sebeple tasarım sırasında bu ürünlerin depolanacakları mekânlarda, tutuşmaya sebep olacak ateş kaynağının bulunmaması gerekmektedir. Ayrıca depolama alanı içerisinde çalışan kişilerin de sigara ve benzeri ateş kaynakları ile bu alanlarda çalışmalarının önlenmesi gerekmektedir. Isı ile kurutma yöntemleri ile kurutma sırasında iki önemli parametrenin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunlardan biri oluşan külün toplanması, diğeri ise koku kontrolüdür.

h) Çamur Kompostlaştırma

Çamur kompostlaştırma, ham veya çürütülmüş arıtma çamurlarının ağaç parçası, talaş, saman veya evsel çöp gibi katkı maddeleriyle karıştırılıp, gözenekli ve daha az sulu hale getirilerek havalı şartlarda mikroorganizmalar vasıtasıyla faydalı bir ürüne dönüştürülmesi işlemidir. Arıtma çamuru kompostlaştırılmasında önemli miktarda (hacim olarak 2/1-3/1 katkı maddesi/çamur oranı) katkı maddesi gerekmektedir. Bununla birlikte katkı maddesinin büyük bir kısmının proses sonunda elenip tekrar kullanımı mümkündür.

Kompostlaştırma sistemleri genellikle karıştırmalı yığın, havalandırmalı statik yığın ve reaktörde kompostlaştırma olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. Karıştırmalı yığın metodu en eski ve basit metot olup, arıtma çamuru/katkı maddesi karışımından yığınlar oluşturulmakta ve biyolojik faaliyet için gerekli hava, karıştırma vasıtasıyla (başlangıçta haftada iki defa, sonra haftada bir) temin edilmektedir. Havalandırmalı statik yığında, karıştırmalı yığın metoduna benzer şekilde yığınlar oluşturulmakta, ancak yığınların havalandırılması hava üfleyicilerle gerçekleştirilmekte ve karıştırma yapılmamaktadır. Reaktörde kompostlaştırma sistemleri, özellikle son yıllarda daha iyi bir proses ve koku kontrolü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu amaçla yatay ve düşey reaktörler kullanılabilmektedir.

Karıştırmalı yığın ve havalandırmalı statik yığınlarda 30 gün aktif kompostlaştırma ve takiben 30 gün olgunlaştırma işlemi yapılmaktadır. Reaktörde kompotlaştırmada ise aktif kompostlaştırma 3-7 gün sürmekte ve daha sonra 30 gün olgunlaştırma yapılmaktadır. Karıştırmalı yığınlarda ortalama yükseklik 1.5-2.0 m, havalandırılmalı statik yığınlarda ise 2.0–2.5 m olup, her iki sistemde genişlik 1.5-3.0 m civarındadır.

Arıtma çamuru kompostlaştırma tesisleri, arıtma çamurları ile katkı maddelerinin kabul ve depolama sahaları, aktif kompostlaştırma sahası, olgunlaştırma sahası, eleme sahası ve ürün depolama

sahasını içerecek şekilde tasarlanmalıdır. Kompostlaştırma prosesini etkileyen faktörler pH, su muhtevası, C/N oranı, havalandırma ve sıcaklıktır. Proses süresince biyolojik faaliyetin devam etmesi için pH nın 6-9, su muhtevasının % 40-65 ve oksijen konsantrasyonunun % 5-15 aralığında kalması sağlanmalıdır. Kompostlaştırma için başlangıç C/N oranının optimum 20-25 civarında olması tavsiye edilmekle birlikte, arıtma çamuru kompostlaştırılmasında arıtma çamurunun düşük C/N oranından dolayı nispeten düşük başlangıç C/N oranları elde edilmektedir. Katkı maddesi ilavesi C/N oranının artmasını sağlamaktadır. Kompostlaştırma sırasında, organik maddelerin mikrobiyal parçalanması sonucunda ısı ortaya çıkmakta ve kompostlaştırma prosesinde optimum sıcaklığın 55-60 ^{o}C aralığında kalması tavsiye edilmektedir. Proses süresince elde edilen yüksek sıcaklıklar arıtma çamuru içindeki patojenlerin ve diğer birçok kirleticinin giderilmesini sağlamaktadır.

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması sonucu elde edilen kompost faydalı bir ürün olup farklı amaçlar için kullanılabilmektedir.

ı) Yakma

Arıtma çamurlarının yakılması sırasında çamur içerisindeki organik katılar, tamamen okside olarak nihai son ürünlere çevrilmektedir. Bu nihai ürünler önemli oranda karbondioksit, su ve küldür. En önemli üstünlükleri; çamurların hacimlerinin yüksek oranlarda azaltılması ve bu sayede uzaklaştırılmaları için gerekli masrafların azalması, zehirli maddelerin ve patojen mikroorganizmaların giderilmesi ve enerji geri kazanım potansiyeline sahip olmasıdır. Ancak yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri, kalifiye işçi ihtiyacı ve hava kirletici emisyonları bu yöntemin en önemli mahzurlarını oluşturmaktadır. Yakma genellikle sınırlı uzaklaştırma alanına sahip orta ve büyük ölçekli arıtma tesislerinde uygulanmalıdır. Genellikle susuzlaştırılmış ve ham çamurların yakılması önerilmektedir. Fakat çamurun nem içeriğinin düşürülmesi ile yardımcı yakıt (genellikle yağ, doğal gaz veya fazla miktardaki çürütücü gazı) ihtiyacı önemli oranda azalmaktadır. Çürütülmüş çamurların yakılması kesinlikle önerilmektedir. Çünkü, bu tür çamurların ihtiva ettikleri düşük uçucu katı madde miktarlarının yakılması için yüksek oranda yardımcı yakıta ihtiyaç duyulmaktadır. Arıtma çamurları ayrı olarak veya evsel katı atıklar ile birlikte yakılabilmektedir. Katı atıklar ile birlikte yanmanın en önemli faydası, beslenen çamurun yakıt değerinin arttırılarak yardımcı yakıt ihtiyacının azaltılmasıdır. Isı geri kazanımının gerçekleştirilmeyeceği sistemlerin işletilmeleri sırasında, 1 kg kuru atıksu çamuru başına yaklaşık 5 kg evsel katı atık karışımı uygun olmaktadır. Isı geri kazanımının gerçekleştirileceği işletmelerde ise 1 kg kuru atıksu çamuru başına 7 kg evsel katı atık karışımı uygun olmaktadır.

Yanma, yakıt içerisindeki yanabilen maddelerin hızlı ekzotermik oksidasyonudur. Yakma işlemi ile tamamen yanma gerçekleştirilmektedir. Çamurun uçucu maddesi içerisinde bulunan karbonhidrat, yağ ve proteinlerin başlıca elemanları karbon, oksijen, hidrojen ve azottur. Çamurun yakıt değeri çamur tipine göre değişmektedir. Özellikle yüksek yağ içeren ön çöktürme çamurlarının yakıt değeri en yüksek iken, çürütülmüş çamurların yakıt değeri neredeyse yarı yarıya daha düşüktür. Farklı çamur tipleri için yakıt değerleri bir kilogram toplam katı madde miktarı başına, ham ön çöktürme çamuru için 25000 kJ, aktif çamur için 21000 kJ, havasız olarak çürütülmüş ön çöktürme çamuru için 12000 kJ, kimyasal olarak çökeltilmiş ham ön çöktürme çamuru için 16000 kJ ve biyolojik filtre çamuru için ise 20000 kJ olmaktadır.

Yakma tesislerinin tasarımları sırasında, detaylı bir ısı dengesinin kurulması ve bu dengenin kurulması sırasında, yakma fırını duvarlarından, bacadan atılan baca gazlarından ve külden kaynaklanacak her türlü ısı kayıplarının hesaplanması gerekmektedir. Çamurun içerisindeki 1 kg suyun buharlaşabilmesi için gerekli ısı enerjisi yaklaşık, 4-5 MJ (4000-55000 Btu)'dur.

En yaygın kullanılan yakma fırını çok katlı yakma fırını tipidir. Bu yöntemde susuzlaştırılmış çamur keki tamamen inert bir küle dönüşmektedir. En yüksek sıcaklığın ve tamamen yanmanın gerçekleştiği kısım ortadaki ocak kısmıdır. Etkili bir yanmanın gerçekleşebilmesi için beslenen çamurun katı madde içeriği en az % 15 olmalıdır. Islak çamurun ortalama yükleme hızları, etkili ocak alanı başına yaklaşık 40 kg/m^2.sa'dir. Bu değer 25-75 kg/m^2.sa arasında değişmektedir. Ayrıca oluşan küllerin uzaklaştırılması amacıyla da yardımcı prosesler tasarlanmaktadır. Hava kirliliğinin önlenebilmesi açısından ise oluşan egzoz gazları ıslak veya kuru yıkayıcılar ile arıtılmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan diğer bir yakma fırını ise akışkan yataklı fırınlardır. Bu fırınlar dikey, silindirik, çelikten bir reaktör içerisinde bulunan yüksek ısılı kum yatağının akışkan hale getirilmesiyle askıda yanmanın gerçekleştirildiği yakma fırınlarıdır. Bu fırınların çapları 2.7-7.6 m arasında değişmektedir. Hareketsiz haldeki kum yatağının derinliği yaklaşık 0.8 m'dir. Bu kum yatağının askıda hale getirilmesi amacıyla yatak içersine 20-35 kN/m^2 basınçta hava enjekte edilmektedir. Çamur beslenmesi yapılmadan önce kum yatağınında olması beklenen minimum sıcaklık yaklaşık 700°C'dir. Bu sebeple kum yatağında kontrol altında tutulması gereken sıcaklık aralığı 760-820°C'dir. Bu sıcaklık aralığında çamurun su içeriğinin buharlaşması ve katı maddelerinin yanması hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Oluşan yanma gazları ve kül, fırının tepesinden atılarak uzaklaştırılmaktadır. Yanma gazları ve küller normalde venturi yıkayıcılar ile yıkanarak giderilmektedir.

Yakma yönteminin en önemli mahzuru oluşan hava kirletici emisyonlarıdır. Yakma ile meydana gelen hava kirleticileri iki kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar, koku ve yanma emisyonlarıdır. Koku, genellikle insan psikolojisi üzerinde önemli etkide bulunmaktadır. Yanma emisyonları ise uygulanan termal teknolojiye, kullanılan yardımcı yakıtın cinsine ve beslenen çamuru tipine göre değişmektedir. Özel öneme sahip olan yanma kaynaklı hava kirletici emisyonları, partiküler maddeler, azot oksitler, asit gazları, hidrokarbonlar ve ağır metaller (civa, berilyum, vb) gibi özel tehlikeli bileşiklerdir.

Çamurların Geri Kazanımı ve Nihai Olarak Bertarafı

Arıtma çamurları, uygun işlem ve prosesler ile işlendikten ve geri kazanıldıktan sonra nihai olarak uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılan seçeneklerden birisi, bu çamurların evsel çöpler ile birlikte veya tek başlarına düzenli depolama alanlarında depolanmasıdır. Fakat muhtemel patojen içerikleri, koku ve benzeri problemlerden dolayı, her tip atıksu çamurunun düzenli depolama alanlarında depolanabilmesi uygun değildir. Özellikle düzenli depolama tesisi işletmeciliği bakımından, arıtma çamurlarının yüksek nem içeriklerinden dolayı, depolanmaları sırasında şev stabilitesi kaybolmakta ve sızıntı suyu üretimi artmaktadır. Bu sebeple düzenli depolama alanlarında bertaraf edilecek arıtma çamurları için öngörülen en önemli parametre çamurun nem içeriğidir. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre arıtma çamurlarının nem oranlarının düzenli depolama alanlarında depolanabilmeleri için %65'in altında olması gerekmektedir. Bunun için düzenli depolama alanlarında depolanmalarından önce bu çamurların kurutma işlemi uygulanarak ya da katkı maddesi (toprak, kil, kireç, vb.) ilave edilerek nem oranları azaltılmalıdır.

Arıtma çamurlarının düzenli depolama alanlarında bertarafının zorlukları ve düzenli depolama alanlarının gün geçtikçe kapasitelerinin dolması sebebiyle, alternatif nihai uzaklaştırma yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemler çamurların işlem gördükten sonra araziye serilmesi (arazi uygulaması), kompostlaştırma ve yakmadır. Bunlar arasında son yıllarda en fazla uygulanan yöntem çamurların araziye serilmesidir.

Arazi Uygulaması

Arazi uygulaması, arıtma çamurlarının (biyokatıların) toprak yüzeyinin üstüne veya çok az altına dağıtılması olarak tanımlanır. Arıtma çamurları 1) tarım alanlarına, 2) kullanılamayacak durumdaki bozulmuş alanlara ve 3) bu amaç için tahsis edilmiş depolama alanlarına uygulanabilir. Bu alanların hepsinde, arazi uygulaması arıtma çamurlarının daha fazla arıtımlarının gerçekleşmesi hedeflenerek tasarlanmaktadır. Güneş ışığının, toprakta bulunan mikroorganizmaların ve kurumanın birlikte etkileri yardımıyla patojen mikroorganizmalar ve birçok toksik organik bileşikler yok edilmektedir. İz metaller toprak içerisinde tutulmakta ve nütrientler bitkiler tarafından topraktan alınarak faydalı biyokütleye dönüştürülmektedir. Arıtma çamurlarının veya çamurlardan elde edilen malzemenin tarım alanlarında ve tarım alanları dışında uygulanması için mevzuatta belirtilen şartlar sağlanmalıdır.

Arıtma çamurlarının uygun işlem ve proseslerden geçirildikten sonra tarımsal amaçlarla araziye serilmesi faydalıdır. Çünkü organik madde toprak yapısını, toprağın işlenebilirliğini, su tutma kapasitesini, suyun sızmasını ve toprağın havalandırılmasını iyileştirmekte, makronütrientler (azot, fosfor ve potasyum) ve mikronütrientler (demir, mangan, bakır, krom, selenyum ve çinko) bitkilerin büyümesine yardımcı olmaktadır. Organik madde, ayrıca toprağın potasyum, kalsiyum ve magnezyum tutmasına imkan veren katyon değiştirme kapasitesine de katkıda bulunmaktadır. Organik maddenin varlığı, topraktaki biyolojik çeşitliliği ve nütrientlerin bitkiler tarafından alınmasını artırmaktadır. Arıtma çamurları içerisindeki nütrientler, kısmen de olsa pazarda satılan pahalı kimyasal gübreler yerine geçebilmektedir. Arazi uygulaması ayrıca, toprak alanlarının iyileştirilmesi bakımından da önem taşımaktadır.

a) Saha Değerlendirmesi ve Seçimi

Arıtma çamurlarının uygun işlem ve proseslerden geçirildikten sonra araziye uygulanmasında kritik aşama, uygun bir sahanın bulunmasıdır. Sahanın özellikleri, tasarımı belirlemekte ve arazi uygulamasının genel verimine etki etmektedir. Potansiyel olarak uygun alanlar, düşünülen arazi uygulama seçeneği veya seçeneklerine (tarım alanları, orman alanlarına vb. uygulama gibi) bağlıdır. Yer seçimi süreci, topoğrafya, toprak özellikleri, yeraltı suyunun mesafesi ve kritik alanlara yakınlık gibi kriterleri esas alan bir ön elemeyi içermelidir. Eleme amacıyla, ekonomik seçenek lerin her biri için en azından yaklaşık bir alan büyüklüğü olması gerekmektedir. Arıtma çamurlarının uygun işlem ve proseslerden geçirildikten sonra araziye serilmeleri için ideal sahalar; yeraltı suyu derinliğinin 3 m'den fazla ve eğimi %0-3 arasında olan, ayrıca yakınlarında kuyu, sulakalanlar, dereler ve yerleşimlerin olmadığı yerlerdir.

b) Uygulama Yöntemleri

Arıtma çamurları, sıvı halde doğrudan enjeksiyon ve susuzlaştırılmış halde yüzeye dağıtılma şeklinde araziye uygulanabilir. Uygulama metodunun seçimi, arıtma çamurlarının fiziksel özellikleri (sıvı veya suzuzlaştırılmış), saha topoğrafyası ve mevcut bitki örtüsüne (yıllık ürünler, mevcut ağaçlar vb.) bağlıdır.

c) Araziye Uygulanacak Arıtma Çamuru (Biyokatı) Miktarı ve Arazi İhtiyacının Belirlenmesi

Arazi uygulamasında arıtma çamuru yükleme hızının kirletici yükü esas alınarak hesaplanması için,

$L_s = L_c/(C.F)$

eşitliği kullanılmaktadır. Burada, L_s, yıllık uygulanabilecek maksimum arıtma çamuru miktarını (ton/da.yıl), L_c, yıllık uygulanabilecek maksimum kirletici miktarını (g/da.yıl), C, arıtma çamurundaki kirletici konsantrasyonunu (mg/kg) ve F, dönüşüm faktörünü (1) göstermektedir.

Araziye uygulanabilecek arıtma çamuru miktarı belirlendikten sonra, arazi ihtiyacı,

$A = B/L_s$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, A, gerekli arazi ihtiyacını (da), B, üretilen arıtma çamuru miktarını (ton kuru katı/yıl) ve L_s, tasarım yükleme hızını (yıllık uygulanabilecek maksimum arıtma çamuru miktarı) (ton kuru katı/da.yıl) göstermektedir.

EK 7

Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri

Sulamada Geri Kullanılacak Arıtılmış Atıksularda Aranan Özellikler

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması büyük bir potansiyele sahiptir. Burada, gıda ürünlerinin direkt olarak yenmesine ve yağmurlama sulamasında havadan gelebilecek aeresollara dikkat edilmelidir. Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksulardaki en büyük risk, mikroorganizmalar tarafından bulaştırılabilecek hastalıklardır. Bu mikroorganizmalar, bakteriler, virüsler, helmintler ve protozoa olabilir. Helmintler (otlak hayvanları için mera sulamada dikkat edilmelidir.) ve protozoalar genellikle, bağırsak parazitleri olarak adlandırılır. Arıtılmış atıksuyun mikrobiyolojik kalitesi, suyun kullanılabilirliği hakkında bilgi verir. Bu riskler, arıtma tesisinin ve arıtılmış atıksuyun uygulandığı yerin birlikte kontrol edilmesi ile azaltılabilir.

Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan özellikler, Tablo E7.1'de verilmiştir. Arıtılmış suyun sulamada kullanılması için iki değişik sınıf oluşturulmuş olup, bu kriterler minimum gereksinimleri sağlamakta ve bazı özel uygulamalarda ilave kriterler de uygulanabilmektedir. Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinin ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, hem yenen ürün ile hem de park, bahçe gibi alanlarda insanların bitkileri ile su teması olabileceği için iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir. Sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir. Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri (Meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretim ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde, sulama suyu daha düşük kalitede olabilmektedir.

Tablo E7.1'de verilen sınıflandırmalar genel bir sınıflandırma olup, özel gereksinimler için farklı sınıflandırmalar yapmak mümkündür. Tablo E7.2'de sulama suyu için kimyasal kalite kriterleri verilmiştir. Evsel nitelikli atıksular hariç sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların da bu kimyasal kriterleri sağlaması gerekmektedir. Atıksuların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler şunlardır:

- Su içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
- Bazı şartlarda Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı

Atıksudaki çözünmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yörenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilmekte, bitkiler tarafından alınabilmekte veya suda kalabilmektedir. Bu nedenle, arıtılmış atıksuların arazide kullanılması ve bertarafı söz konusu ise suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özellikleri iklim, bitki türü ve sulama metodu gibi etkenler de dikkate alınmalıdır. Aşağıda sırasıyla geri kazanılmış atıksudaki kalite parametreleri daha detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi[a]	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi[b]
		Sınıf A		
		a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri[l] *b-Kentsel alanların sulanması*		
a)Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü **b)**Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)	-İkincil arıtma[c] -Filtrasyon[d] -Dezenfeksiyon[e]	-pH=6-9 -BOİ5 < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUf -Fekal koliform: 0/100 mL[g,h] -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L[i]	-pH: Haftalık -$BOİ_5$: Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede

Açıklamalar:
-Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir.
-Standarları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir.
-Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır.
-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.
-Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır.
-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.
-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.

		Sınıf B		
		a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri[m] *b-Girişi kısıtlı sulama alanları* *c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler*		
a)Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması **b)**Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler **c)**Otlak hayvanları için mera sulaması	-İkincil arıtma[c] -Dezenfeksiyon[e]	-pH=6-9 -BOİ5 < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL[g,j,k] -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L[i]	-pH: Haftalık -$BOİ_5$: Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. -Yağmurlama sulama yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede

Açıklamalar:
-Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır.
-Püstkürtmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır.
-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.
-Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.

[a]Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir.
[b]Su kaynalarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konuluş bir sınırlamadır.
[c]İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırmalı lagünleri vb içerebilir.
[d]Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir.
[e]Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz.
[f]Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.
[g]7günlük ortalama değerleri karakterize eder.
[h]Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir.
[i]Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri kazakterize etmektedir.
[j]Fekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir.
[k]Stabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir.
[l]İleri arıtma uygulanmalıdır.
[m]Ticari olarak işlenen gıda ürünleri halka satılmadan önce patojen mikroorganzmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimysal bir işlemden geçirilen ürünlerdir.

Tablo E7.2 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo

Parametreler		Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
			Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
Tuzluluk					
İletkenlik		µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam çözünmüş Madde		mg/L	< 500	500-2000	>2000
Geçirgenlik					
SAR_{Tad}	0-3	EC	≥ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3-6		≥ 1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6-12		≥ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20		≥ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40		≥ 5.0	5.0-2.9	< 2.9
Özgül iyon toksisitesi					
Sodyum (Na)					
Yüzey sulaması		mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama		mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)					
Yüzey sulaması		mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlatmalı sulama		mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)		mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

a)Askıda katı madde

Askıda katı madde, sulama sistemini tıkadığı için önemlidir. Klasik atıksu arıtma tesisi çıkışında AKM konsantrasyonu, 5-25 mg/L aralığında değişmektedir. Üçüncül arıtma uygulandığında, 10 mg/L'nin de altına düşmektedir. Bir çok sulama sisteminde, 30 mg/L'nin altındaki AKM konsantrasyonları tolere edilebilir durumdadır. Bununla birlikte, sulama sisteminin tıkanmasında AKM yanında, sıcaklık, güneş ışığı ve debi gibi diğer faktörlerde rol oynamaktadır.

b)Tuzluluk

Tuzluluk, su veya topraktaki tuzların toplu olarak belirtilmesidir. Toplam çözünmüş madde (TÇM) şeklinde ölçülmektedir. Elektriksel iletkenlik (EC), (dS/m veya µS/m olarak ölçülür) TÇM'in bir diğer gösterim tarzıdır. TÇM ve EC arasında,

EC < 5 dS/m ise TÇM ≈ EC x 640

EC > 5 dS/m ise TÇM ≈ EC x 800

şeklinde bir ilişki vardır. Tuzluluk arttıkça, toprağın suyu ile bitki hücresi zarı arasındaki osmotik gradyan azalmaktadır. Bitki, topraktaki tuzlu suyu seyreltmek için kendi hücresindeki suyu toprağa geri bırakmakta ve bu durum bitkinin gelişmesini önlemektedir. TÇM değerinin 500 mg/L'den küçük olduğu durumlarda bitkilerde herhangi bir etki gözlenmemiştir. 500-1000 mg/L aralığında ise hassas bitkiler etkilenebilir. 1000-2000 aralığında ise bir çok bitki bundan etkilenmektedir ve dikkatli bir yönetim gerekmektedir. Genellikle, 2000 mg/L'nin üzerindeki TÇM değerine sahip sulama suları ise tuzluluğa toleranslı bitkiler için geçirgen zeminlerde kullanılabilir. Topraktaki tuzluluk oranı, drenaj suyunun sürekli ve düzenli bir şekilde tabandan çekilmesi halinde kararlı hale gelmektedir. Topraktaki tuzluluk oranının kontrol edilmesinde, drenaj sistemi çok önemlidir. Tablo E7.3'de çeşitli bitkiler ve bunların tuzluluğa olan hassaslıkları verilmiştir.

Tablo E7.3 Bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıkları

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı	Orta toleranslı	Orta hassas	Hassas
	TÇM > 2000 mg/L	TÇM:1500-2000 mg/L	TÇM:1000-1500 mg/L	TÇM: 500-1000 mg/L
		Tarla bitkileri		
Arpa	√			
Fasulye				√
Mısır			√	
Pamuk	√			
Börülce			√	
Keten			√	
Yulaf		√		
Pirinç			√	
Çavdar		√		
Şeker pancarı	√			
Şeker kamışı			√	
Sorgum		√		
Soya fasulyesi		√		
Buğday		√		
		Sebzeler		
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kızmızı pancar		√		
Lahana			√	
Havuç				√
Kereviz			√	
Salatalık			√	
Marul			√	
Soğan				√
Patates			√	
Ispanak			√	
Kabak		√		
Domates			√	
Şalgam			√	
		Çayır bitkileri		
Yonca			√	
Bermuda çimi	√			
Çayır otu (fescue)		√		
Fokstail (çimen)			√	
Harding çimi		√		
Meyve bahçesi			√	
Sesbania (çiçek)			√	
Sudan çimi		√		
Bakla			√	
Buğday çimi		√		
		Meyveli ağaçlar		
Badem				√
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Hurma	√			
Üzüm			√	
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√
Çilek				√

**Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişibilir.*

c) Sodyum adsorpsiyon oranı

Sodyum adsorpsiyon oranı, toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. Sodyum oranı, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) (Konsantrasyonlar, meq/l cinsindendir.) ile gösterilmektedir. SAR, suyun sodyum (veya benzer alkaliler) açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmakta ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$SAR \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

SAR değeri yerine son zamanlarda, revize edilerek tadil edilmiş SAR değeri (SAR_{tad}) olarak önerilmiştir. Burada, Ca^{+2} çözünürlüğünün, sudaki HCO_3 konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenliği dikkate alınarak Ca_x değeri kullanılmaktadır. Ca_x, HCO_3/Ca ve EC'ye bağlı olarak değişmektedir.

$$SAR_{Tad} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}}$$

Bu ifadedeki, Na^+, Mg^{+2} ve Ca_x konsantrasyonları da meq/L cinsindendir. Ancak, pratik olarak SAR ve SAR_{tad} arasında çok önemli bir farklılık yoktur. SAR daha yaygın olarak kullanılmaktadır. SAR yerine, SAR_{tad} değerinin kullanılması, su kalitesi ve topraktaki kimyasal karakteristiklerinin, kalsiyum dengesini bozabileceği durumlarda tavsiye edilmektedir. Yüksek alkaliniteli sular, konsantrasyon dengesini bozabilmekte ve yüksek SAR_{tad} değerleri vermektedir. SAR ve EC'nin topraktaki infiltrasyon üzerindeki etkisi, Şekil E7.1'de gösterilmiştir. SAR ve EC'nin bilinmesi ile topraktaki sızma problemi konusunda bilgi sahibi olunabilmektedir. Topraktaki kalsiyum oranının, mağnezyuma göre daha yüksek olması tavsiye edilmektedir. Topraktaki geçirimliliği düzenlemek üzere, kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) kullanılmaktadır. Kalsiyum sülfat, toprağa direkt olarak veya sulama suyu içerisine karıştırılarak uygulanabilmektedir.

Şekil E7.1 SAR ve EC'nin infiltrasyon üzerindeki etkisi

ç) Özgül iyon toksisitesi

Geri kazanılmış sudaki bir çok iyon, yüksek konsantrasyonlarında bitki üzerinde birikebilmektedir. Sodyum, klorür ve bor bunların başlıcalarıdır. Sodyum toksisitesi, yapraklara zarar

vermektedir. Bu durum, avokado ve bazı meyve ağaçlarında (kayısı, kiraz, şeftali) gözlemlenmiştir. Tablo E7.4'de sulama suyunda bulunan sodyumun değişik bitkiler için toleransı verilmiştir. Klorür de benzer şekilde zarar vermektedir. Klorürün etkisi daha çok kavak gibi ağaçlarda olmaktadır. Sebze ve tarla bitkileri, SAR değeri çok yüksek değilse, sodyum ve klorürden etkilenmemektedir. Tablo E7.5'de, değişik bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları belirtilmiştir.

Tablo E7.4 Değişik bitkilerin sulama suyunda bulunan sodyuma toleransı

Toleransı	SAR değeri	Bitki	Durum
Çok hassas	2-8	Yaprak döken meyve ağaçları, turunçgiller, avokado	Yaprakta yanma
Hassas	8-18	Fasulyeler	Büyümenin engellenmesi, bodur kalma
Orta toleranslı	18-46	Yonca, yulaf, pirinç	Nütrient ve toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma
Toleranslı	46-102	Buğday, kaba yonca, arpa, domates, şeker pancarı, değişik çimen türleri	Zayıf toparak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma

Tablo E7.5 Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları

Hassaslık	Klorür konsantrasyonu, mg/L	Etkilenen bitki
Hassas	< 178	Badem, kayısı, erik
Orta hassas	178-355	Üzüm, biber, patates, domates
Orta toleranslı	355-710	Kaba yonca, arpa, mısır, salatalık
Toleranslı	> 710	Karnabahar, pamuk, susam, sorgum, şeker pancarı, ayçiçeği

Bor, bitki büyümelerinde gerekli dozdan yüksek olduğunda zarar vermekte, yaprak yanması ve sararması gibi etkiler ile kendini göstermektedir.

Ülkemizde bazı yörelerde bor elementinin taşıdığı önem dolayısıyla, Tablo E7.2'de verilen sulama suyu sınıflamalarına ek olarak bitkilerin bora dayanıklılığını göz önünde bulunduran ek bir arıtılmış atıksu sulama suyu sınıflandırmasına gerek duyulmaktadır.

Aslında, bütün bitkilerin normal gelişmeleri için az bir miktar bora ihtiyaçları vardır. Ancak borun bitkilere gerekli miktarı ile zehirlilik seviyesi arasında çok dar bir sınır vardır ve bu sınır bitki türlerine göre değişmektedir. Toprakta veya sulama suyunda kritik sınırların üstünde bor bulunması bitki yapraklarında sararma, yanma ve yarılmalara, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile verimde azalmaya neden olmaktadır. Tablo E7.6'de bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri verilmiştir. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasında bu sınıflandırmanın göz önüne alınması gerekmektedir.

Tablo E7.6 Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı	Orta toleranslı	Orta hassas	Hassas
	Bor: > 4.0 mg/L	Bor: 2.0-4.0 mg/L	Bor: 1.0-2.0 mg/L	Bor: 0.5-1.0 mg/L
		Tarla bitkileri		
Arpa		√		
Fasulye				√
Mısır		√		
Pamuk	√			
Yer fıstığı				√
Yulaf		√		
Sorgum	√			
Şeker pancarı	√			
Buğday				√

Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kızmızı pancar	√			
Lahana		√		
Havuç			√	
Kereviz		√		
Salatalık			√	
Marul		√		
Soğan				√
Patates			√	
Domates	√			
Şalgam		√		
Yem bitkileri				
Kaba yonca	√			
Arpa (at yemi)				√
Börülce				√
Meyveli ağaçlar				
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Üzüm				√
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√

**Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişibilir.*

d) Eser elementler ve nütrientler

Eser elementler, ortamda çok düşük konsantrasyonlarda bulunan elementlerdir. Eser elementlerin bitkiler üzerindeki etkisi, konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Tablo E7.7'de sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları verilmiştir. Bu elementlerden yüksek konsantrasyonlarda alındığında, yaprakların zarar görmesi veya büyümede gerileme gibi etkiler görülebilmektedir. Evsel atıksulardaki eser elementlerin konsantrasyonu, genellikle düşük miktarlardadır. Ancak, evsel atıksulara endüstriyel deşarjlar olduğu durumda, konsatrasyonlar yükselebilmektedir. Geri kazanılmış atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları, Tablo E7.8'de verilmiştir.

Tablo E7.7 Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları

Elementler	**Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha**	**İzin verilen maksimum konsantrasyonlar**	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler mg/1	**pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/1**
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	-[3]	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0

Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li)[1]	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05[2]
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

[1]*Sulanan narenciye için 0.075 mg/l'dir.*
[2]*Yalnız demir içeriği fazla olan asitli killi topraklarda izin verilen konsantrasyondur.*
[3]*Tablo E7.6'da verilmiştir.*

Tablo E7.8 Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/l)

Elementler, mg/L	İkinci arıtma		Üçüncül arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ortalama			Kısa süreli	Uzun süreli
Arsenik (As)	<0.005-0.023	<0.005	<0.001	0.00045	0.10	10.0
Bor (B)	<0.1-2.5	0.7	0.3	0.17	0.75	2.0
Kadmiyum (Cd)	<0.005-0.15	<0.005	<0.0004	0.0001	0.01	0.05
Krom (Cr)	<0.005-1.2	0.02	<0.01	0.0003	0.10	20.0
Bakır (Cu)	<0.005-1.3	0.04	<0.01	0.015	0.20	5.0
Civa (Hg)	<0.002-0.001	0.0005	0.0001	-	-	-
Molibden (Mo)	0.001-0.018	0.007	-	-	0.01	0.05
Nikel (Ni)	0.003-0.6	0.004	<0.02	0.002	0.2	2.0
Kurşun (Pb)	0.003-0.35	0.008	<0.002	0.002	5.0	20.0
Selenyum (Se)	<0.005-0.02	<0.005	<0.001	0.0007	0.02	0.05
Çinko (Zn)	0.004-1.2	0.04	0.05	0.05	2.0	10.0

** EPA' nın tavsiyesi*

Herhangi bir madde toprakta mg/kg olarak C_o konsantrasyonuna sahipse sulanan topraktaki bu maddenin toplam değeri kg/ha olarak ($4.2xC_o$) ifadesi ile belirlenebilmektedir. Tablo E6.7'nin birinci sütununda verilen "Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar", ancak ($4.2xC_o$) ifadesi ile hesaplanan topraktaki mevcut miktarın çıkarılmasından sonra kullanılabilir.

Örnek: Topraktaki bor konsantrasyonu C_o = 80 mg/kg ise ve kabul edilebilir maksimum bor değeri 680 kg/ha olduğuna göre $4.2xC_o$ = 336 kg/ha olur. Buna göre birim alana toplam olarak en çok 680 - 336 = 344 kg/ha borun sulama yoluyla eklenmesine izin verilebilir.

Geri kazanılmış atıksu, sulama için faydalı olan nütrientleri içermektedir. Geri kazanılmış atıksuda bulunan üç ana nütrient, azot, fosfor ve potasyumdur. Azot ve fosfor, arıtılmış atısuda yeterli miktarlarda bulunurken, bitki büyümesini etkilemektedir. Bununla birlikte, potasyum konsatrasyonu düşük olmasına karşın, bitki büyümesini daha az etkilemektedir. Tablo E7.9'da değişik arıtma sistemleri ile geri kazanılmış atıksudaki nütrient seviyeleri verilmiştir.

Tablo E7.9 Geri kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri

Elementler, mg/L	Birim	Ham atıksu	Klasik Aktif çamur	BNR	BNR+filtrasyon+ dezenfeksiyon	MBR	BNR+MF+RO+ dezenfeksiyon
Toplam azot	mg N/L	20-70	15-35	2-12	2-12	7-18	<1
Nitrat azotu	mg N/L	0-az	10-30	1-10	1-10	5-11	<1
Toplam fosfor	mg P/L	4-12	4-10	1-2	<2	0.3-5	<0.05

BNR: Biyolojik nütrient giderimi MBR: Membran biyoreaktör

e) Mikrobiyolojik kalite

Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan mikrobiyolojik özellikler, Tablo E7.1'de verilmiştir. Arıtılmış suyun sulamada kullanılması için iki değişik mikrobiyolojik sınıf oluşturulmuş olup, bu kritler minimum gereksinimleri sağlamaktadır. Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, hem yenen ürün ile su temas ettiği hem de park, bahçe gibi alanlarda insanların çim ve bitkiler ile teması olabileceği için çok iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir. Bu durumda, sulama suyunda fekal koliform bulunmamalıdır ve mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir (Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 ml'yi geçmemelidir). Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri (Meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde, sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi daha düşük kalitede olabilmektedir. Bu durumda fekal koliform değeri, 200 ad/100 ml'den küçük olmalı (30 günlük ortalama değer) ve hiç bir zaman 800 ad/100 ml'yi geçmemelidir.

Atıksu Geri Kazanımı İçin Teknoloji Seçimi

Bir evsel atıksuyun sulama suyu olarak geri kazanılmasında su kalitesi açısından kullanılabilecek en önemli indikatörler, koliform ve patojen mikroorganizma konsantrasyonudur. Tablo E7.10'da atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler, Tablo E7.11'de ise değişik arıtma sistemlerinin logaritmik mikroorganizma giderme verimleri verilmiştir. Uygulanan ileri arıtma sistemleri ile birlikte, arıtılan su kalitesi de yükselmiştir. Atıksu geri kazanım amacı ve uygulanabilecek teknolojiler ise Tablo E7.12'de verilmiştir.

Atıksular, tarımsal sulamada tekrar kullanılırken, dikkat edilecek bazı hususlar vardır. Bunlar, sulanacak bitkide meydana gelebilecek birikme, patojen mikroorganizmaların hala yaşama riski ve kimyasal maddelerin birikme riskidir. Yeşil alanların sulanmasında ise halkın bu bölgeye girmesi ve eser elementlerin birikmesi gibi riskler vardır. Geri kullanım esnasında, bütün bu riskler gözönüne alınır. Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler, Tablo E7.13'de verilmiştir. Dezenfeksiyon, arıtılmış atıksu için çok önemlidir. Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılamayacağı, Tablo E7.14'de verilmiştir.

Tablo E7.10 Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler

Arıtma birimleri	**Askıda katı madde**	**Kolloidal maddeler**	**Partiküler organik madde**	**Çözünmüş organik madde**	**Azot**	**Fosfor**	**Eser maddeler**	**Toplam çözünmüş madde**	**Bakteri**	**Protozoa**	**Virüs**
İkincil arıtma	X			X							
Nütrient giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey filtrasyonu	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X							X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodiyaliz		X						X			
Karbon adsorpsiyonu				X			X				
İyon değiştirme					X		X	X			
İleri oksidasyon			X	X			X		X	X	X
Dezenfeksiyon				X					X	X	X

Tablo E7.11 Değişik arıtma sistemlerinin miroorganizma logaritmik giderme verimleri

	Arıtma sistemleri					
	Birincil arıtma	İkincil arıtma		Üçüncül arıtma		İleri arıtma
	Ön çöktürme	Aktif çamur	Damlatmalı filtre	Filtrasyon	Mikrofiltrasyon	Ters osmoz
Fekal koliform	<0.1-0.1	0-2	0.8-2	0-1	1-4	4-7
Salmonella	<0.1-2	0.5-2	0.8-2	0-1	1-4	4-7
Cyryptosporidium	0.1-1	1		0-3	1-4	4-7
Giardia	<1	2		0-3	2-6	>7
Enterik virus	<0.1	0.6-2	0-0.8	0-1	0-2	4-7

Tablo E7.12 Atıksu geri kazanım maksadı ve uygulabilecek arıtma sistemleri

Atıksu geri kazanım maksadı	Arıtma sistemleri
Tarımsal sulama	Klasik aktif çamur + filtrasyon + klorlama
Golf sahaları sulama	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + kimyasal fosfor giderimi + (filtrasyon) + klorlama
Yeşil alan sulama	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Dinlenme maksatlı kullanılan sulakalanları besleme	Azot ve fosfor giderimini içeren MBR + UV
Dolaylı kullanım suyu (Yeraltı suyuna veya yüzeysel sulara deşarj)	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + ters osmoz + UV/H_2O_2
Endüstriyel soğutma suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Endüstriyel proses suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + filtrasyon + nanofiltrasyon + iyon değiştirme + UV

Tablo E7.13 Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler

Tip	Örnek	Arıtma ihtiyacı
Tarla bitkileri	Arpa, mısır, yulaf	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Lifli ve çekirdekli bitkiler	Pamuk	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ham olarak tüketilen sebzeler	Avokado, lahana, salatalık, çilek	İkinci kademe + filtrasyon + dezenfeksiyon
Belli bir işlemden sonra tüketilen sebzeler	Enginar, şeker pancarı, şeker kamışı	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Meyve bahçesi ve üzüm bağları	Kayısı, portakal, şeftali	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Fidanlık	Çiçek	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ormanlık alanlar	Kavak vb.	İkinci kademe + dezenfeksiyon

Tablo E7.14 Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılamayacağını gösteren tablo

	Tarla		Çayır-Mera		Sebze		Yem Bitkisi		Meyvecilik		Koru Ormanlık
	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	BY	BV	
Biyolojik Arıtma tesisi veya en az 2 saat beklemeli çöktürme havuzu şeklindeki ön arıtma tesisi çıkış suları	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+
Havalı stabilizasyon havuzları veya lagünlerin çıkış suları	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+

(-) Su kullanılamaz
(+) Su kullanılabilir
BV: Bitki varsa
BY: Bitki yoksa

Sulama Sisteminin Seçimi

Sulama sisteminin türü, bitki türü, su kalitesi ve miktarı, yerel özellikler ve maliyeti ile değişebilmektedir. Tablo E7.15'da, sulama metodları ve temel özellikleri ve bu yöntemlerin arıtılmış atıksu için değerlendirilmeleri Tablo E7.16'de verilmiştir.

Tablo E7.15 Sulama metodları ve temel özellikleri

Sulama yöntemi	Seçimi etkileyen faktörler	Arıtılmış atıksu sulaması için özel durumlar
Salma sulama	Düşük maliyet Tam seviyelendirme gerekmemektedir. Düşük sulama verimi Düşük halk sağlığı koruması	Çalışanların korunması gerekmektedir.
Karık usulü sulama	Düşük maliyet Seviyelendirme gerekebilir. Düşük sulama verimi Orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Uygun bitki seçimi yapılmalıdır.
Kenar sulaması	Nisbeten düşük maliyet Seviyelendirme gerekir. Düşük sulama verimi Orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Bitki kısıtlaması yapılmalıdır.
Yağmurlama sulama	Orta-yüksek maliyet Seviyelendirme gerekmemektedir. Orta sulama verimi Düşük halk sağlığı koruması	Su kaynakları, yollar ve evlere uzaklığına dikkat edilmelidir.
Damlatmalı sulama	Yüksek maliyet Seviyelendirme gerekmemektedir. Yüksek sulama verimi Yüksek halk sağlığı koruması	Özel bir koruma gerektirmemektedir. Deliklerin tıkanmaması için su kalitesine dikkat edilmelidir. Yönetimine daha fazla dikkat edilmelidir.

Tablo E7.16 Sulama yöntemlerinin arıtılmış atıksu için değerlendirilmesi

Değerlendirme parametreleri	Karık usulü sulama	Kenar sulaması	Yağmurlama sulama	Damlatmalı sulama
Yaprakların zarar görmesi	Bitki sırtta dikildiğinde yaprakta problem olmamaktadır.	Bazı alt yapraklar zarar görebilir.	Verim kaybına sebep olacak, yaprak hasarı oluşabilir.	Yaprak hasarı oluşmaz.
Kökde tuz birikmesi	Bitkiye zarar veren sırtta tuz birikmesi olabilmektedir.	Tuzlar düşey hareket eder ve birikmez.	Tuz, alt katmanlara doğru hareket eder ve birikme olmaz.	Tuz hareketi radyaldir ve damlama noktaları arasında tuz sıkışması olabilir.
Sulama sonrası toprak su potansiyeli	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir.	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir	Büyüme mevsiminde sulama sonrası toprak su potansiyeli düşer.	Büyüme mevsiminde sulama sonrası yüksek toprak su potansiyeli oluşturur ve tuzluluğun etkisini azaltır.
Verim kaybı olmaksızın tuzlu arıtılmış suyun uygulanabilirliği	Zayıf-Orta	Zayıf-Orta: İyi sulama ve drenaj	Zayıf: Bir çok bitkinin yaprağı zarar görebilir.	Çok iyi: Bir çok bitki çok az verim kaybı ile büyüyebilirler.

Arıtılmış atıksu ile sulamada, sulama seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar, halk sağlığı, sulama verimi ve tıkanma problemidir. Halka sağlığı, sulama türünün seçimini etkileyen en önemli husustur. Yağmurlama sulama gibi yüzeysel sulama uygulamalarında bu risk büyüktür. Bundan dolayı, yağmurlama sulama, ileri arıtmadan sonra uygulanmalıdır. Bazı durumlarda yağmurlama sulama, herhangi bir işlemden geçmeden yenen gıda ürünlerine uygulanamaz. Halk sağlığı açısından en uygun yöntem damlatmalı sulamadır. Sulama sistemleri, maksimum verimi sağlayacak şekilde tasarlanmalıdırlar. Sulama veriminde etkin hususlar, buharlaşma, bitki soğuması, bitki kalite kontrolü ve köklerden tuzun aşağı katmanlara sızmasıdır. Damlatmalı sulamada, verim en yüksek olmaktadır. Askıda katı maddeler, tıkanmayı etkileyen bir diğer parametredir. İkincil ve üçüncül arıtma çıkışındaki askıda katı madde konsantrasyonu, sulama için düşük seviyededir. Tıkanmayı etkileyen bir diğer etken ise suyun hızıdır. Düşük hızlarda, tıkanma artabilmektedir. Tablo E7.17'de damlatmalı sulamada, tıkanmayı etkileyen su kaliteleri verilmiştir. Tıkanmanın önlenmesi açısından, bakiye klor konsantrasyonunun en az 0.5 mg/L olması gerekmektedir.

Arıtılmış atıksuların tarımda kullanımı sırasında hangi sulama türü ve sınıfının seçileceği ile ilgili detaylı değerlendirme, Tablo E7.18'de verilmiştir.

Tablo E7.17 Damlatmalı sulamada tıkanmayı etkileyen su kaliteleri

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok	Az – orta	Tehlikeli
AKM	mg/L	< 50	50-100	> 100
pH		< 7	7-8	> 8
TDS	mg/L	< 500	500-2000	> 2000
Mangan	mg/L	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5
Demir	mg/L	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5
H_2S	mg/L	< 0.5	0.5-2.0	> 2.0
Bakteri sayısı	sayı/l	< 10000	10000-50000	> 50000

Tablo E7.18 Sulama türü ve sınıfının seçimi

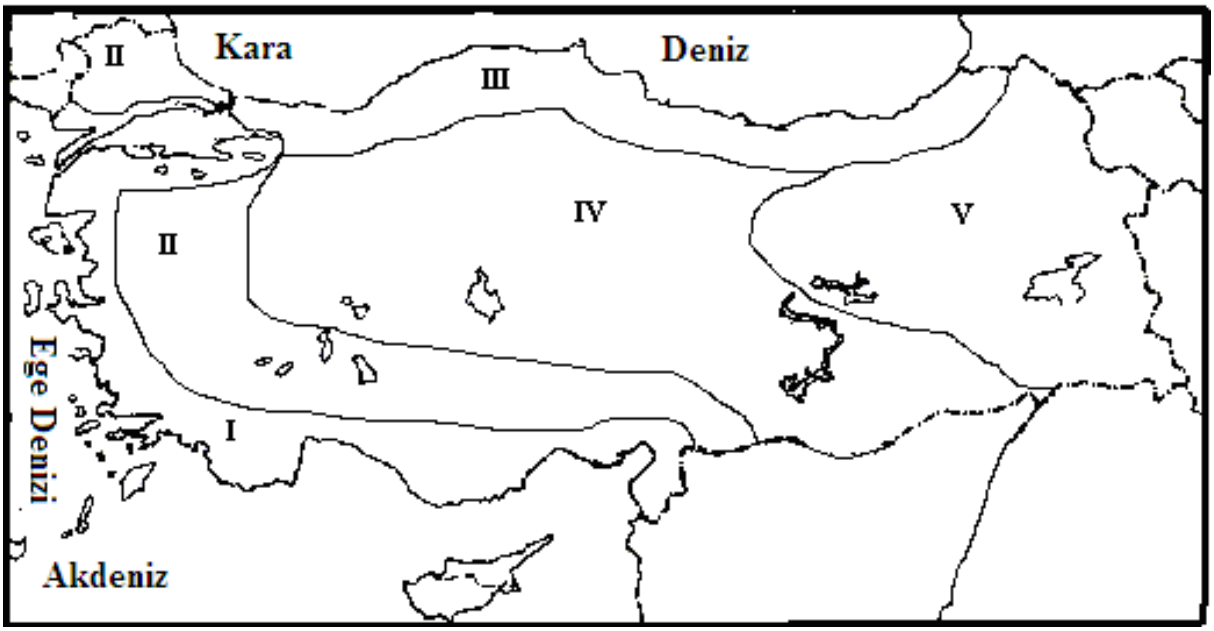
Bitki türü	Sulama türü	Sulama suyu sınıfı
Büyük yapraklı, yüzeyde veya yüzeye yakın büyüyen bitkiler (Brokoli, lahana, karnıbahar, kereviz, marul)	Yağmurlama Damlatmalı	A B
Ham olarak yenen köklü bitkiler (havuç, soğan)	Yağmurlama, Damlatmalı, salma, karık usulü	A
Yer ile teması olmayan bitkiler (domates, fasulyeler, dolmalık biber, turunçgil olmayan meyve ağaçları, şaraplık üzüm dışındaki üzümler)	Yağmurlama Damlatmalı, salma, karık usulü	A B
Yer ile teması olmayan ve yenmeden önce kabuğu soyulan bitkiler (turunçgiller, fındık)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yer ile teması olan ve yenmeden önce kabuğu soyulan bitkiler (kavun, karpuz)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yenmeden önce işleme tabii tutulan bitkiler (patates, pancar)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
Yenmeden önce işleme tabii tutulan yüzeysel bitkiler (Brüksel lahanası, balkabağı, tahıl, şarap yapımı için üzüm)	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B
İnsan tüketimi için olmayan bitkiler, kültür tarımı, mera ve otlaklar	Yağmurlama, salma, damlatmalı, karık usulü	B

EK 8

Türkiye'nin Atıksu Yönetimi Açısından Bölgelere Ayrılması

1) Genel Değerlendirme

Türkiye atıksu yönetimi açısından beş değişik bölgeye ayrılmış ve bu bölgeler Şekil 8.1'de verilmiştir. Birinci bölge Akdeniz ve Ege kıyıları, ikinci bölge Akdeniz ve Ege Bölgelerinin iç kesimleri ile Marmara Bölgesinin Trakya kısmı, üçüncü bölge Karadeniz kıyıları, dördüncü bölge İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri ve beşinci bölge Doğu Anadolu Bölgesidir.



Şekil 8.1 Türkiye'nin atıksu yönetimi açısından bölgelere ayrılması

a) Akdeniz ve Ege Kıyıları İçin Atıksu Arıtma Stratejisi - I. Bölge

Akdeniz ve Ege kıyıları turistik açıdan en gelişmiş bölgelerdir. Yukarıda belirtilen ve turistik yerler için Madde 12'deki hükümler geçerlidir.

b) Akdeniz ve Ege Bölgelerinin İç Kesimleri İle Marmara Bölgesinin Trakya Kısmı - II. Bölge

İklimi Akdeniz ve Ege kıyılarından farklıdır. Havalandırmalı lagünler, stabilizasyon havuzları, aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler ve döner biyolojik diskler tercih edilebilir. Stabilizasyon havuzları, kış mevsiminde havalandırmalı lagün şekinde çalıştırılabilir.

c) Karadeniz Kıyıları - III. Bölge

Karadeniz kıyıları için değişik nüfus aralıklarına göre tavsiye edilen arıtma stratejileri Tablo E8.1'de verilmiştir. Tabloda verilen derin deşarj derinliği belirlenirken tabakalaşma derinliğinin yapılacak olan bilimsel çalışmalarla belirlenmesi gerekmektedir. Deşarj bu derinlik dikkate alınarak sağlanmalıdır.

Tablo E8.1 Nüfus aralıklarına göre arıtma teknolojileri

Nüfus	Arıtma teknolojileri	
	-2015	2015-2030
>300,000	III + DDD	III + DDD
50,000-300,000	II (veya III) + DDD	III + DDD
10,000-50,000	I + DDD	II (veya III) + DDD
<10,000	I + DDD	II + DDD

I- Mekanik arıtma (ızgara-döner elek + havalandırmalı kum ve yağ tutucu)

II- I + kimyasal ilaveli ön çökeltme + kireç ile çamur stabilizasyonu
III- I + biyolojik arıtma (Ardışık kesikli reaktör)+ havasız çamur çürütme
DDD- Derin deniz deşarjı (Minimum derinlik =35 m, Minimum deşarj uzunluğu =1300 m)

d) İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri - IV. Bölge

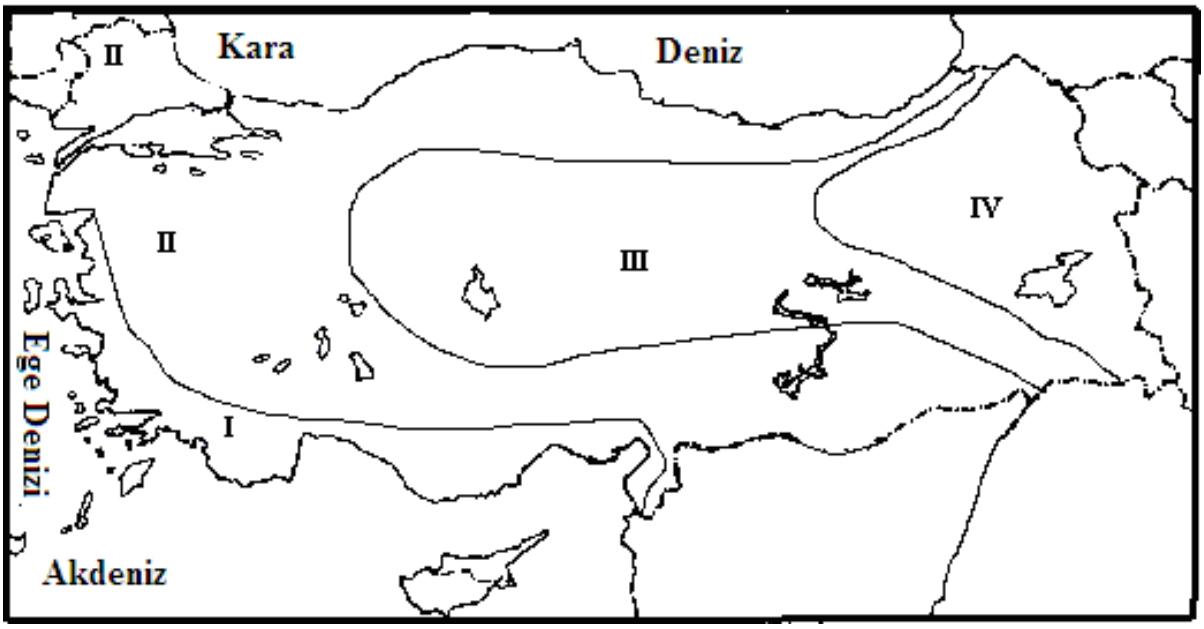
Bu bölgede, stabilizasyon havuzları, havalandırmalı lagünler ve yapay sulakalanların uygulanma potansiyeli yüksektir. Ön arıtma olarak yüksek hızlı havasız arıtma kurulabilir.

e) Doğu Anadolu Bölgesi - V. Bölge

Çok soğuk bir iklimi vardır. Nüfusun 500'ün altında oluduğu yerlerde septik tanklar kurulabilir. Nüfusun 500'ün üstüne çıktığı yerlerde ise havalandırmalı lagünler, oksidasyon hendeği veya uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri kurulabilir. Havalandırmalı lagünler, yazın stabilizasyon havuzu gibi çalıştırılabilir.

2) Stabilizasyon Havuzları ve Havalandırmalı Lagünlerin Projelendirilmesi İçin İklim Bölgeleri

Türkiye, stabilizasyon havuzları ve havalandırmalı lagünlerin projelendirilmesi için dört değişik iklim bölgesine ayrılmış ve bu bölgeler Şekil E8.2'de verilmiştir. Her bir bölgede, projelendirmede kullanılabilecek projelendirme kriterleri Tablo E8.2'de verilmiştir.



Şekil E8.2 Stabilizasyon havuzları ve havalandırmalı lagünlerin projelendirilmesi için iklim bölgeleri.

Tablo E8.2 Stabilizasyon havuzları ve havalandırmalı lagünlerin projelendirilmesi için iklim bölgeleri ve projelendirme kriterleri

Bölgeler	Havuz suyu sıcaklığı, ºC	Kritik güneş radyasyonu, kal/cm^2/gün	Yük/alan/gün, kg BOİ$_5$/ha/gün
I	15	106	150
II	10	61	100
III	5	87	80
IV	Buzla kaplı	-	50