

ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI



FAKÜLTATİVE HAVUZLARDA EVSEL ATIK SU ARITIMI

Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK
Müsteşar
(mustafa.ozturk@csb.gov.tr)

GİRİŞ

21 yüzyılın en önemli sorunu su olacaktır. İklim değişikliği su sorununu artıracaktır. Su sorunu etkisini minimize etmek için su kaynaklarımızı verimli şekilde kullanmalıyız. Su kaynaklarımızın önemli kısmı tarımda sulama amacı ile kullanılmaktadır. Toprağımızın tuzlaşmasını ve sularımızın kirlenmesini önlemek amacı ile toprağın yapısına ve bitkinin özelliğine bağlı olarak kullanılması gerekli su miktarı yetkili otoriteler tarafından belirlenmelidir. Ayrıca evlerde, işyerlerinde ve sanayide sular verimli şekilde kullanılmalıdır. Suyu verimli şekilde kullanan teknolojiler kullanılmalıdır. Verimli şekilde su kullanıldığı halde yine de atık su oluşuyorsa evsel ve endüstriyel atık sular çok iyi şekilde yönetilip arıtılmalıdır.

Türkiye’de 3225 belediye bulunmaktadır. Bu belediyelerin bir kısmının nüfusları çok düşüktür. Türkiye’de kanalizasyon şebekesine deşarj edilen 2,77 milyar m³ atıksuyun 1,68 milyar m³ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Arıtılan atıksuyun %58,5’ine biyolojik, %28,3’üne fiziksel ve %13,2’sine ileri arıtma uygulanmaktadır. Ülkemizde Büyükşehir belediyelerinin 13’ünde atıksu arıtma tesisi mevcut olup, 3 tanesi ise inşaat ve/veya ihale aşamasındadır. 65 il belediyesinin 25’inde atıksu arıtma tesisi mevcuttur. Geriye kalan belediyeler atık sularını yakınındaki alıcı su ortamına arıtmadan vermektedir. Bu tür alıcı ortamların bazıları içme suyu ve sulama suyu olarak kullanılmaktadır. İçme ve kullanma su kaynaklarının kirlenmesi su kaynaklarının kısıtlanmasına neden olmaktadır. Su kaynaklarımızı korumak amacı ile atık sularımızın arıtılması gereklidir. Türkiye içme ve kullanma suyu kaynakları bakımından kısıtlı kaynaklara sahiptir. Dolayısıyla evsel atık suların planlı olarak arıtılması gereklidir.

Tablo 1. Arıtma Tesisi Yapmış Belediye Sayısı ve Arıtma Tesisi Özellikleri

Belediyeler	Belediye Sayısı	Atıksu Arıtma Tesisi Sayısı	Fiziksel Arıtma	Biyolojik Arıtma	İleri Arıtma
Büyükşehir Belediyeleri	16	13	1	9	4
İl Belediyeleri	65	25	8	34	-
İlçe-Belde Belediyeleri	3144	128	25	85	-
Toplam	3225	166	34	128	4

Tablo 1’de görüleceği gibi çoğu belediyenin atıksu arıtma tesisi yoktur. Arıtma tesisi olan bazı belediyeler ise atık sularını yeterince arıtamamaktadır. Bunun ana sebeplerinden biri tesislerin işletme maliyetlerinin yüksek, su bedelinin ise düşük olmasıdır. Belediyeler ise su bedelini çok düşük aldıklarında dolayı atık su arıtma tesislerini işletememektedir. Ayrıca belediyelerin teknik elemanları yetersizdir. Yine Türkiye’de enerji bedelinin yüksek olması arıtma tesislerinin işletilmesini güçleştirmektedir. Çoğu ülkede belediyelere ait atık su arıtma tesislerini özel sektör uzun süreli olarak işletmekte ve belediyeler sadece denetim yapmaktadırlar. Belediyeler su bedelini belirlerken içme suyunun arıtılması, taşınması, atık suyun uzaklaştırılması ve arıtılmasını göz önüne alarak su bedelini belirlemelidir.

Türkiye’de diğer önemli konu su kaçaklarıdır. Bazı belediyelerimizde su kaçakları %75’e ulaşmış durumdadır. Bu kadar kaçağın olduğu yerlerde su bedelini doğru olarak tahsil etmek fevkalade zordur. Belediyeler öncelikli olarak suyun çok kıymetli bir madde olduğunu unutmamalıdır. İçme suyu kaynaklarını korumanın yanında, atık suların su kaynaklarını kirletmemesine özen gösterilmelidir. Belediyeler, suyun verimli kullanımı konusunda başta sanayiciler olmak üzere vatandaşları eğitmelidirler. Günümüzde önemli olan su kaynaklarını verimli kullanmaktır. Atık suları arıtmak ikinci kademe önemli bir adımdır.

Ülkede öncelikli olarak hassas alanlardaki belediyeler ve yerleşimlerden atıksu arıtma tesisi kurmaları istenmelidir. Nüfusu 50.000 den düşük belediyeler arıtma tesisi için arazileri yeterli ise, kuruluş ve işletme/bakım maliyeti düşük fakültatif havuz gibi arıtma tesislerini öncelikli olarak değerlendirmelidir. Yeterli arazisi olmayan gelir düzeyi yüksek belediyeler diğer arıtma metotlarını değerlendirebilir.

Evsel atık suların arıtılmasında gelişmiş ülkelerde yoğun olarak kullanılan metotlardan biriside stabilizasyon havuzlarıdır. Çoğu gelişmekte olan ülkelerde stabilizasyon havuzları atıksu arıtımında önemli uygulamalardan biridir. Evsel atıksular hidrolik bekleme süresi birkaç gün süren stabilizasyon havuzlarında biokimyasal olarak arıtılmaktadır. Bu tür tesislerin avantajı basit, düşük maliyetli ve yüksek verimli olmasıdır. Bu metodun en büyük dezavantajı ise ancak geniş arazisi olan alanlarda uygulanabilir olmasıdır.

A.B.D.’de lagün tipi arıtma çok popüler ve pahalı olmayan bir metottur. Bu ülkedeki tesislerin %90 nüfusu 100.000 altında olan yerleşimlerde kurulmuştur.

Yeterli arazi olan fakat ekonomik sebeplerden dolayı evsel atık su arıtma tesisini kurmayan belediyeler için bu metod uygundur. Fakültatif havuz arıtma sistemleri gelişmekte olan ülkeler için uygundur. Kuzey Amerika ve Avrupa’da yüzlerce bu tür arıtma tesisi bulunmaktadır.

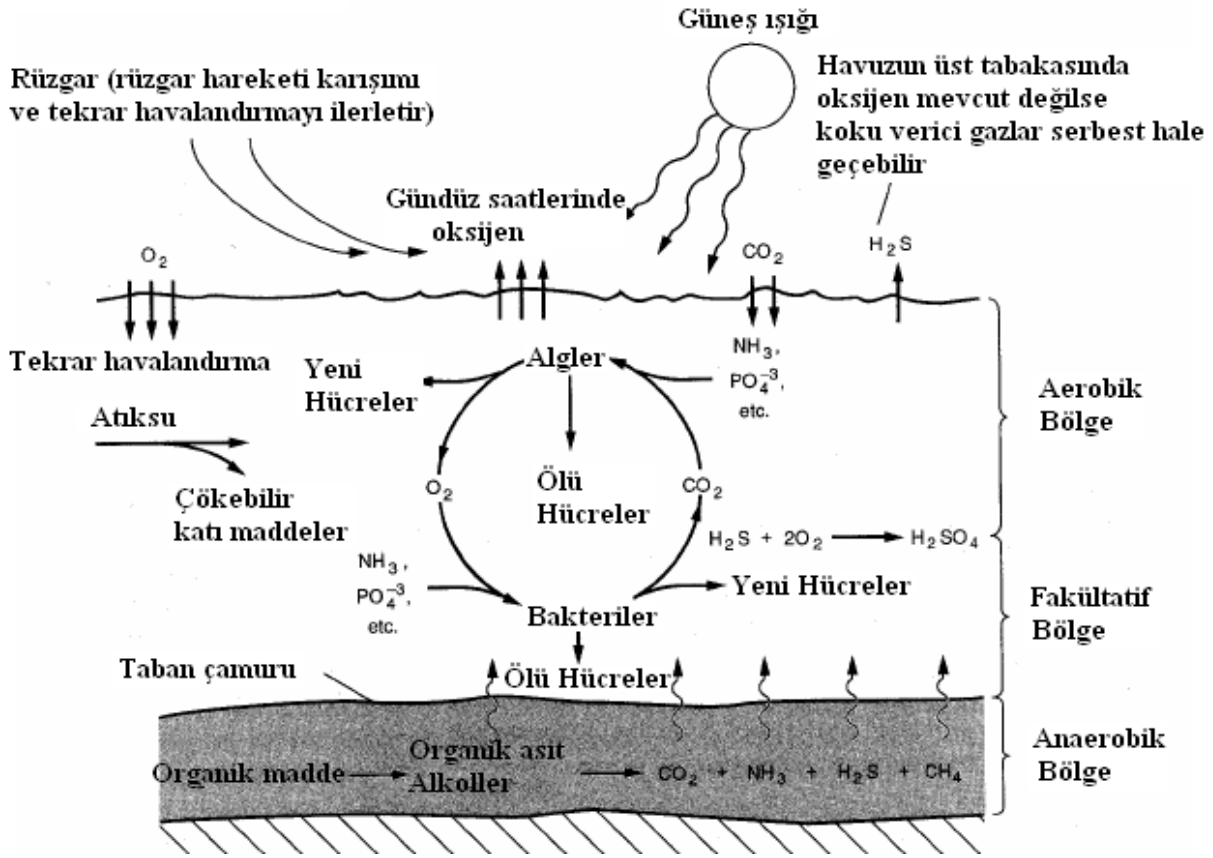
Fakültatif havuzlar küçük yerleşim yerlerinde çamur arıtmak amacı ile de kullanılır.

FAKÜLTATİF HAVUZLARDA BİYOLOJİK FAALİYETLER

Fakültatif havuzlar dünyada uygulanan genel atıksu arıtma metotlarından biridir. Fakültatif havuzlarda genel olarak atıksuda bulunan organik maddelerin giderimi söz konusudur. Fakültatif havuzlara verilen atık su içindeki çökebilir maddeler tabanda anaerobik reaksiyona girerken atık suda çözünür halde bulunan organik maddeler aerobik reaksiyona girmektedir. Yani havuzun yüzey fazında aerobik biyolojik reaksiyon gerçekleşirken tabanda anaerobik reaksiyon gerçekleşmektedir. Fakültatif havuzlarda gerçekleşen reaksiyonlarla ilgili yaklaşım Şekil 1’de verilmiştir.

Şekil 1 incelendiği zaman aerobik biyolojik reaksiyonun gerçekleşmesinde rüzgar, güneş ışığı ve algler oksijen temininde önemli etken olduğu anlaşılmaktadır. Fakültatif havuzda alg popülasyonu güneş ışığından etkilenir. Güneş ışığı evsel atıksularda 500 mm. derinliğe kadar nüfuz edebilmektedir. Atıksu içindeki organik maddeler aerobik şartlarda heterotrofik bakteriler yardımı ile bozunmaktadır. Bu reaksiyonlar algler ile heterotrofik bakteriler arasındaki mutualizme dayanmaktadır. Alg fotosentez

olayında oksijen kaynağıdır. Bu oksijen bakteriler tarafından organik maddelerin oksidasyonunda kullanılır. Fakültatif havuzlarda gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar Şekil 1'de verilmiştir.



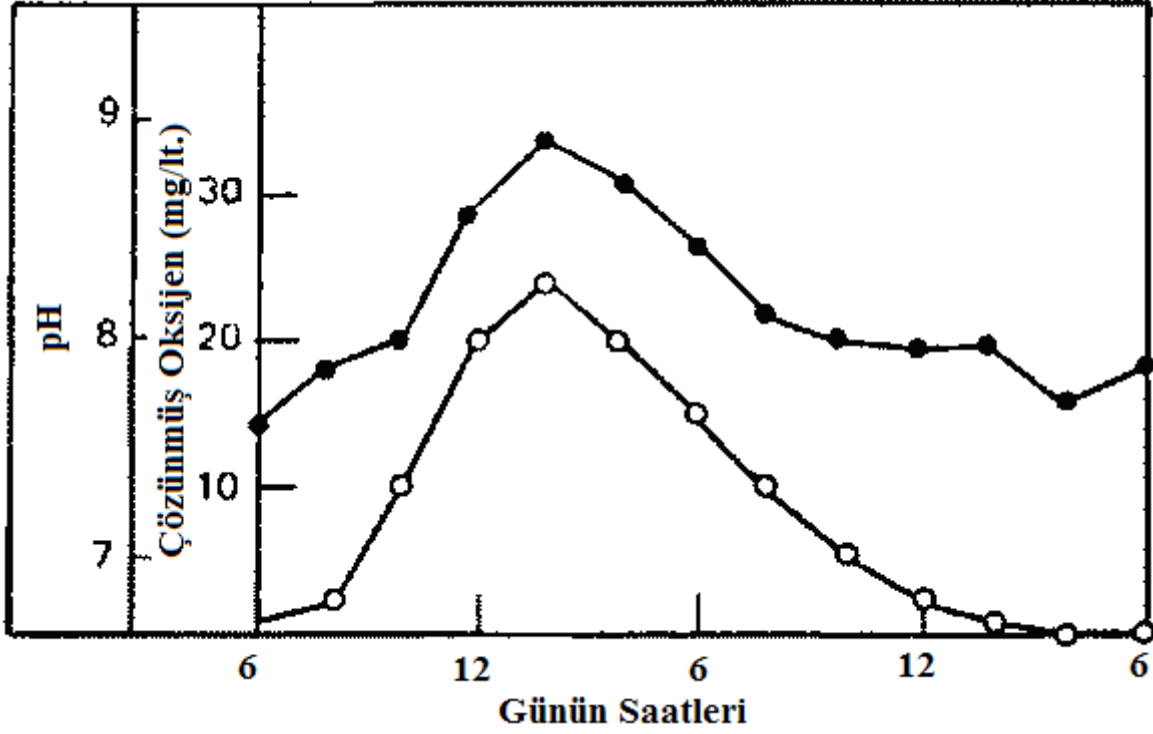
Şekil 1. Fakültatif Havuzlarda Gerçekleşen Reaksiyonlar

Fakültatif havuzlarda algler güneş ışığının nüfuz ettiği yüzeyi işgal ederler ve havuz yüzeyine yeşil renk verirler. Aerobik tabaka kalınlığı yaklaşık olarak 40-50 cm dir. Atıksudaki organik madde konsantrasyonu azaldıkça aerobik alan derinliği artabilir. Fakültatif havuzda aerobik tabaka çok önemlidir. Anaerobik tabakadan gelen gazlar ve diğer maddeler bu tabakada okside olurlar.

AEROBİK VE ANAEROBİK ŞARTLAR

Gece ve yaz aylarında rüzgar hızı ve çözülmüş oksijen konsantrasyonunun düşük, sıcaklık ve organik yükün yüksek olduğu günlerde, fakültatif havuzda anaerobik faaliyet güçlü olarak oluşur. Özellikle gece saatlerinde gündüz saatlerine göre rüzgar hızı genel olarak düşük olmaktadır. Sabah saatlerinde güneş ışığı ve rüzgar ile birlikte fotosentez olayı başlar ve havuz yüzeyinde aerobik faaliyet tekrar etkili olur. Rüzgar su yüzeyini karıştırılarak oksijen temininde ve atık suyun kısa devre yapmasını önlenmesinde etkili olur. Rüzgar termal tabakalaşmayı önleyerek yüzeyde anaerobik faaliyetin ve hataların oluşması önlenir. Fakültatif havuzlar hakim rüzgar yönünde en uzun boyutta olacak şekilde dizayn edilmelidir.

Güneş ışığı şiddeti maksimuma ulaştığı zaman algler tarafından üretilen oksijen konsantrasyon maksimuma ulaşır ve havuz yüzeyinde atık su oksijen bakımından aşırı doymuş hale gelir (Şekil 2).



Şekil 2. Fakültatif Havuzda pH ve Çözünmüş Oksijen değişimi

Sakin hava şartlarında yüzeydeki yoğun alg tabakası alt alanı gölgeler. Havuz yüzeyinde yeterli havalandırma veya karıştırma (oksijen) olmazsa alg tabakasının altında anaerobik faaliyet başlar. Mekanik havuzlarda sadece rüzgar ve termal yardımıyla havalandırma non motile alg sahip tabakalaşmasını yok eder. Soğuk ve orta soğuk iklim şartlarında tüm yıl boyunca alg gelişmeyebilir, oksijen teminine güvenilemez. Fotosentez ve solunum yolu ile gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.

Fotosentez $CO_2 + 2H_2O \rightarrow CH_2O + H_2O + O_2$ Karbon Dioksit + Su \rightarrow Hücreler + Su + Oksijen

Solunum $CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ Hücreler+ Oksijen \rightarrow Karbon Dioksit + Su

Güneş ışığı altında hem fotosentez hem de solunum olayı olur. Solunum olayı fotosentez olayına göre çok düşüktür. Sonuç olarak, havuz yüzeyindeki işlem CO_2 tüketimi O_2 üretimi ile sonuçlanır. Işık yokluğunda ise fotosentez olayı durur solunum işlemi devam eder.

Işığın yüzeye nüfuz etmesi biyolojik reaksiyonu etkiler. Işık şiddeti zaman ve bölgeye göre değişir. Kış aylarında da ışığın su içine nüfuzu ciddi şekilde düşer.

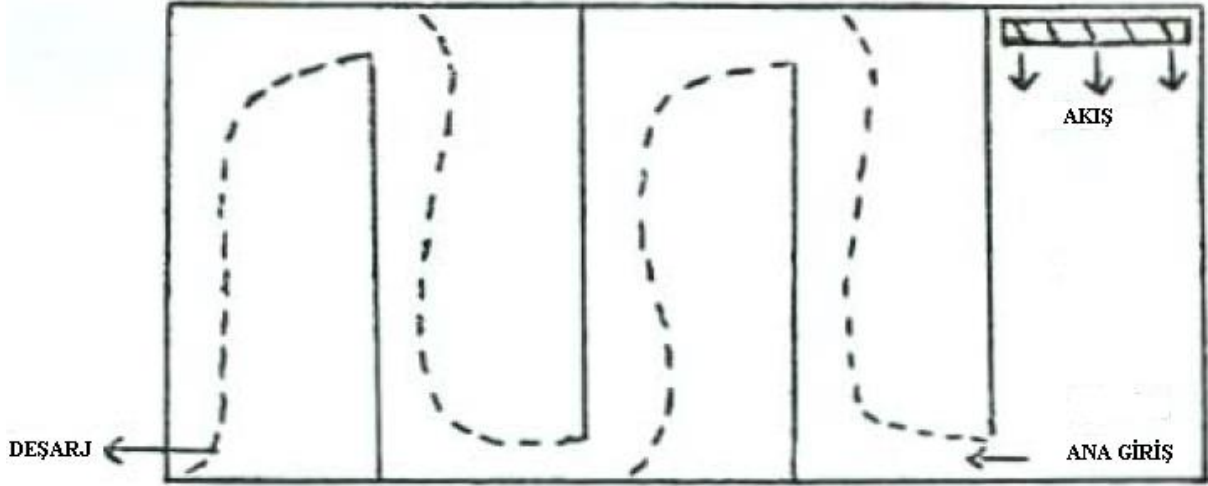
Sıcaklık hücrelerin büyümesinde çok etkilidir. 10 °C sıcaklık artışı mikro organizma büyümesini iki kat artırır.

FAKÜLTATİF HAVUZ DİZAYNI

Fakültatif havuzlarda, birincil ve ikincil arıtma yapılır. Fakültatif havuzlar BOI giderimi için kullanılır. Atık su, ızgara ve kum tutucudan geçtikten sonra birincil havuza verilir. ızgarada atık su içinde bulunan kaba maddeler tutulur. İnorganik esaslı katılar ise kum tutucuda alıkonarak fakültatif havuzda çamur tabanında artma önlenir. Atıksu birinci havuza girdiğinde çökebilen maddelerin tamamı, askıda katı maddelerin ise bir kısmı çöker. Birincil fakültatif havuzların giriş kısmı daha fazla çamur depolayabilmek amacı ile derin yapılır. Çamurların çöktüğü tabanda anaerobik faaliyet başlar. Havuz yüzeyinde ise yeterli çözülmüş oksijen olmak kaydı ile heterotrofik bakteriler tarafından organik maddeler aerobik olarak bozunurlar. Aerobik tabakada atık suda çözülmüş halde bulunan organik madde karbon dioksit, su ve yeni hücrelere dönüşür. Birincil havuzda genel olarak mikro-algler, fakültatif bakteriler ve anaerobik bakteriler bulunmaktadır. Algler foto sentez yolu ile havuz yüzeyindeki suya oksijen sağlarlar. Fakültatif havuz yüzeyinde çözülmüş oksijen hem algler hem de rüzgar yardımı sağlanır. Rüzgar fakültatif havuz yüzeyinde davranışta önemli etkiye sahiptir. Yüzejde iyi bir karışım organik maddelerin üniform dağılmasını, üretilen oksijenin bakteriler tarafından atık su içindeki organik maddeleri okside etmek amacı ile kullanılır.

Anaerobik reaksiyonlar daha yavaş yürüdüğü için yeterli süreye ve yere ihtiyaç vardır. BOI değeri yüksek endüstriyel atık suların anaerobik şartlarda arıtılmasında hidrolik bekleme süresi bir günden az alınmamaktadır.

Fakültatif havuzlar genel olarak dikdörtgendir. Güneş ışığının nüfuz edebilmesi için havuz derinliği 1-2.5 m. olarak yapılmaktadır. Birinci havuzun giriş kısmı ekstra çamur depolanacağından dolayı daha derin olabilir. Havuz tabanında bitkileşmenin önlenmesi için havuz derinliği 1 metreden az olmamalıdır. Çamur birikmesi sonucu derinlik yine 1 metreden az olmamalıdır. Atık su giriş kısmında aşırı çamur birikmesini önlemek ve iyi bir dağılım sağlamak amacı ile uzunluğun genişliğe oranı 2-3/1 olmalıdır. Havuz içinde iyi bir dağılım için atık suyun çoklu girişi sağlanmalıdır. Kısa devreleri önlemek amacı ile uzunluğun genişliğe oranı 10:1 de olabilir. Fakültatif havuzlarda kısa devreleri önlemek için en az üç veya daha fazla hücre yapılır ve bu hücreler paralel olarak bağlanabilir. Üç hücreli havuzlarda toplam hacmin yarısı birinci hücre, geriye kalan hacim ise diğer hücrelere eşit olarak dağıtılır. Dört hücreli havuzlarda ise ilk hücre 2/5 ni geriye kalan kısım ise diğer hücrelerde eşit olarak dağıtılır. Kısa devreleri önlemek için bariyer kullanılabilir. Fakültatif havuzlarda yüzey ile taban arasında iyi bir denge kurmak gerekir. Havuz yüzeyindeki alglerin kaçmasını önlemek için arıtılmış su ortalama 50 cm. derinlikten alınmalıdır.



Şekil 3. Fakültatif Havuzlarda Kısa Devreleri Önlemek İçin Bariyer Kullanımı

Tablo 1. Fakültatif Havuzlarda Su Derinliği, Çamur Derinliği ve Toplam Derinlik

Havuz	Su Derinliği (m.)	Çamur Derinliği (m.)	Toplam Derinlik (m.)
Birincil	0.6-1.8	0.6	1.2-2.4
İkincil	2.4-3.0	0.3	2.7-3.3

Fakültatif havuzlarda hidrolik bekleme süresi bölgenin sıcaklığına bağlı olarak 7-15 gün arasında alınabilir.

Fakültatif havuzlar mevsimsel deşarj olanaklarına göre dizayn edilmelidir. Kış aylarında en soğuk olan ayın günlük ortalaması değerlerinden aylık ortalama değerler hesaplanır ve arıtma tesisine verilecek BOI yükü Tablo 2' de verilen değerlere göre tespit edilir. Tablo 2'de görüldüğü gibi soğuk iklim bölgelerinde daha fazla arıtma tesisi için araziye ihtiyaç vardır.

Tablo 2. Sıcaklığa Bağlı Olarak Sisteme Yüklenmesi Gerekli BOI Yüğü

Ortalama Kış Sıcaklığı (En soğuk ayın aylık ortalaması °C)	Toplam Sistem BOI yükleme oranı (kg/ha/gün)	Birincil hücre BOI yükleme oranı (kg/ha/gün)
>15	45-90	100
0-15	22-45	60
<0	11-22	40

Fakültatif havuzlar genel olarak seri halde kurulur. Atık su ilk havuza anaerobik faaliyetin başladığı yer olan tabandan verilir. Birinci havuzun yüzeyinden alınan atık su ikinci havuza verilir. Fakültatif lagünlerde deşarj kısmı 600 mm. derinlikte olmalıdır. Böylece hem alglerin kaçması hem de anaerobik tabakanın zarar görmesi önlenir. İkinci havuzda atık suda çözülmüş halde bulunan organik maddelerin daha fazla bozunması gerçekleşir. İkinci havuzun yüzeyinden alınan atık su üçüncü havuza verilir. Üçüncü havuzda önemli ölçüde koli form sayısında düşme olur. Elde edilen arıtılmış su özellikle yaz aylarında sulama amacı ile kullanılabilir.

Aerobik tabaka kalınlığı genel olarak 40-50 cm.dir. Fakat düşük organik yük oluşturmak amacı ile daha da derin olabilir.

İkincil havuzda daha az çamur birikmesi söz konusudur. İkincil havuzda çökebilir madde ve anaerobik faaliyet yoktur. İkinci havuzda özellikle aerobik faaliyet gerçekleşmektedir.

Özellikle sıcak iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde, fakültatif havuzlarda mikro organizmaların üremesi idealdir.

Fakültatif havuzlarda algler ortalama 22-23 gram O_2 /m²/gün oksijen üretirler. Fakültatif havuzlara iki saat içinde 5 mm/h yağmurun düşmesi hektar başına 30 kg oksijenin girmesine yardımcı olur.

Fransa'da son yıllarda yapılan çalışmaya göre fakültatif havuzların boyutlandırılmasında 5m²/kişi yerine 6m²/kişi alınmasının daha uygun olacağı belirlenmiştir.

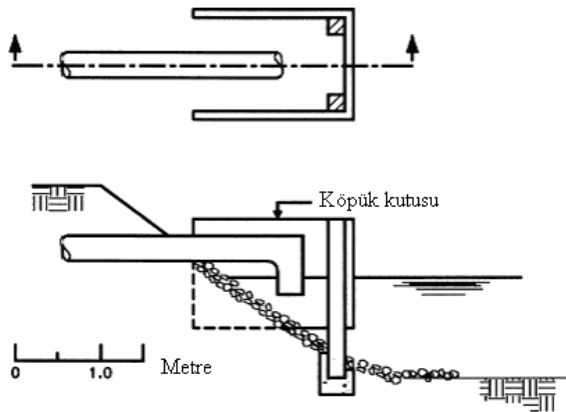
Havuzlar sızdırmaz olmalıdır. Sızdıran topraksa sızdırmaz yapılmalıdır.

Havuzlar, bakteriler için uygun meyilde olmalıdır. Tabanı düz olan havuzlar bitkilerin büyümesine ve gelişmesine yardımcı olur.

Fakültatif havuzlarda ölü bölge ve kısa devre oluşan bölgelerin oluşumu önlenmelidir. Çökelmiş çamurun işgal ettiği hacim ölü bölgedir. Bu tür ölü bölgeler havuzun etkili alanını azaltır, arıtma verimini düşürür. Ölü bölgeler genel olarak kenarlarda oluşur. Ölü bölgeler etkili arıtma hacmini ve toplam arıtma verimini azaltır.

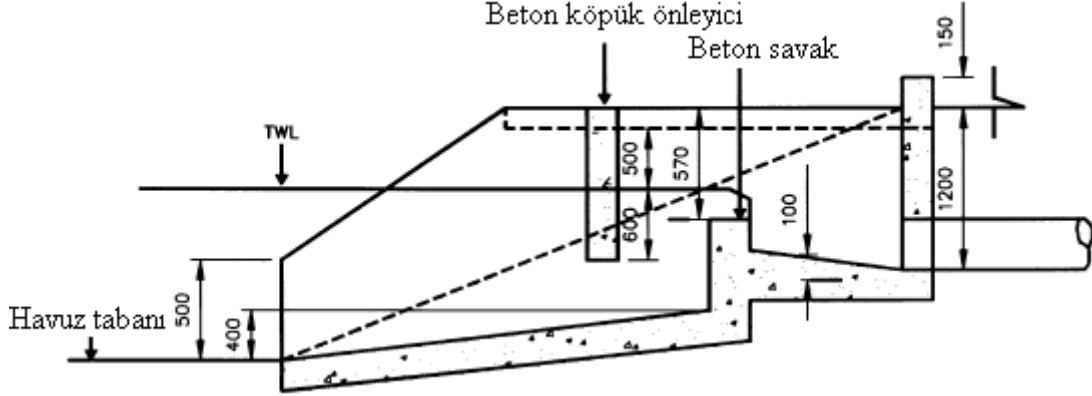
Atıksu havuza girdiği zaman havuz içinde üniform olarak dağılmıyorsa hidrolik kısa devre oluşur. Atık su havuza girdiği zaman ölü noktalarda uzun süre kalırsa bu şekilde kısa devre oluşur. Bazı atık sular teorik hidrolik bekleme süresinden daha kısa sürede havuzu terk ederler.

Fakültatif havuza yüzebilir katı maddelerin girmesini ve sisteme zarar vermesini önlemek amacı ile giriş yapısında düzenleme yapılır. Fakültatif havuzlar için giriş yapısı uygulaması Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 4. Fakültatif Havuzlar için Giriş Yapısı Uygulaması

Fakültatif havuz yüzeyindeki alglerin kaçmasını önlemek için havuz çıkış yapısı ile ilgili detay Şekil 5'de verilmiştir. Çıkış yapısı üçgen veya dikdörtgen şeklinde basit bir yapıdan oluşmaktadır. Deşarj kısmı giriş kısmı ile uyumlu olmalıdır.



Şekil 5. Arıtılmış Su Çıkış Yapısı

ÇEŞİTLİ ÜLKELERDE UYGULAMALAR

Belçika'da 1994 yılı verilerine göre 49 adet stabilizasyon havuzu vardır. Bunlardan 20 adeti çalışmamaktadır. Sisteme uygulan yük 50 kg/saat*gündür. Stabilizasyon havuzu için gerekli alan 5-10 m²/kişidir. BOI ve askıda katı madde için sınır değerleri 25 mg/l ve 35 mg/l dir.

Almanya'da 1000 adet tesis bulunmaktadır. Bunların hepsi, nüfusu 1000 kişinin altında olan kırsal bölgededir. Almanya'nın güney bölgesinde anaerobik havuz için gerekli hacim 0.5-1.0 m³/kişidir. Takip eden eşit boyuttaki iki havuz için gerekli alan 2.5-5 m²/kişidir. Toplam yüzey alanı 10-15 m²/kişidir. Birinci havuz için spesifik alan 5 m²/kişi yani 100-167 kg/kişi*gündür (Bir kişinin günde 50 gram BOI oluşturduğu kabul edildiğinde).

Yeni Zelanda'da stabilizasyon havuzları çok yaygındır. Nüfuzu 1000 üzerinde olan %63 bölgede stabilizasyon havuz metodu uygulanmaktadır. İlk havuzda maksimum yük 84 kg/kişi-gün ve ikinci havuzda hidrolik bekleme süresi en az 24 gündür. İki havuzun olması şarttır. 1995 yılından itibaren besi maddelerinin ve patojenlerin giderimi için en az 4 havuz olmak zorundadır.

Danimarka'da nüfusu 50- 3000 arasında olan kırsal bölgelerde 66 adet tesis vardır. Anaerobik havuz için gerekli hacim kişi başına 0.9 m³dür. İkinci ve üçüncü havuzlar için gerekli alan 8-10 m²/kişidir. 1986 yılında yapılan yönetmeliğe göre bu havuzlar sınır değerlerini sağlayamadığı için ek tesisler kurulmuştur. Bunlar kimyasal ve biyolojik arıtmalardır.

FAKÜLTATİF HAVUZLARDA ÇAMUR BİRİKMESİ

Fakültatif havuzlardaki bakiye çamur, havuz tabanında çamurun anaerobik bozunması sonucu geriye kalan katı maddelerden, alglerden ve bakterilerden ileri gelir. Fakültatif havuzlarda çamur birikme hızı, atık su karakterine, bölgenin iklim şartlarına (sıcaklık ve güneş ışığı gibi), işletme şartlarına, havuzun derinliğine ve geometrisine ve uygulanan organik yüke bağlı olarak değişir. Havuz tabanına çökelen çamur zamanla anaerobik olarak bozunur ve çamur hacmi azalır. Ayrıca çamur hacmi sıkışma ile de azalır.

Anaerobik bozunma sıcaklık artıktır. Yani sıcaklıktaki 5 derecelik bir artış anaerobik bozunmayı 7 kat artırır. Sıcak iklim bölgelerinde çamur birikmesi ile bozunma dengelendiği zaman çamur bertarafına gerek kalmaz. Soğuk iklim bölgelerinde ise sadece yaz aylarında anaerobik faaliyet etkili olduğundan çamur birikmesi söz konusudur.

Fakültatif birincil havuzların tabanında biriken çamur miktarı 0.03-0.08 m³/kişi-yıldır ve çamur, birkaç yılda bir alınabilir. Kurutulan çamur tarımda kullanılabilir.

Soğuk iklimlerde çamur bozunması daha yavaş gerçekleşmektedir. Dolayısıyla daha fazla çamur birikmesi söz konusudur. Sıcak iklimlerde ise çamur bozunması daha hızlı gerçekleşmektedir. Sıcak iklimlerde daha az çamur oluşur. Projelendirme esnasında bölgenin iklim durumu değerlendirmeye alınmalıdır.

Fransa' da yapılan bir çalışmaya göre 6-7 yıl içinde birincil havuzda biriken çamur, havuzun %30 nu kaplamaktadır. Yine Fransa'da yapılan çalışmaya göre çamur hacmi her yıl 2.8 cm yükselmektedir. Yani kişi başına her yıl 0.13 m³ çamur oluşmaktadır. Başka bir çalışmaya göre 34 yılda yükselen çamur miktarı 30 cm olmuştur.

Kanada Alaska'daki havuzlarda çamur yükselmesi 0.073-0.146 m³/kişi/yıl olmuştur.

Çamur tabakasında oluşan gazların kompozisyonu yaklaşık olarak %75 metan, %12 CO₂ ve %7 N₂ dir. Metan oluşumu ile çamur içinde %30 oranında BOI bertaraf edilmiş olur.

İlman iklim bölgelerinde metan oluşumu yaz aylarında kış aylarına göre on kat daha yüksektir. Metan oluşumu arttıkça çamur daha hareketli hale geçer ve havuz yüzeyinde askıda katı madde artması olabilir. Arıtma tesisinde gerekli önlemler alınmazsa arıtılmış suda daha fazla askıda katı madde olması kuvvetle muhtemeldir.

Çamur 10 ila 20 yıl aralıklarla alınır. İngiltere'de yapılan bir çalışmaya göre çamur alınması toplam işletme maliyetinin %25 oluşturmaktadır.

Havuzlarda su derinliği sürekli kontrol edilmelidir. Mümkünse tüm noktalarda su derinliği aynı olmalıdır. Derinliklerde bir değişiklik varsa kaydedilmelidir. Tabandaki çamur miktarı ölçümü aylık olarak yapılmalıdır. Çamur üzerinde en az 1 metre derinlik muhafaza edilmelidir. Eğer çamur seviyesi daha yüksekse tabandan çamur örselenmeden alınmalıdır. Aksi durumda etkili havuz hacmi azalır. Bu da

arıtma verimliliğinin düşmesine neden olur. Fakültatif havuzlarda koku probleminin ve tabandan askıda katı madde oluşumunun kaynağıdır. Katı madenin oksijen ihtiyacı önemli olabilir.

Fakültatif havuzlarda tabanda biriken çamurları stabilize etmek için gerekli hacim, toplam hacmin yaklaşık olarak %40 olmalıdır.

Alg çamurları ağırlıkça %5-7 oranında azot içerir.

Fakültatif havuzda çamur depolama hacmi;

$$V_s = X_v Q (0.63 + 2.2 t_s)$$

Denklemleri ile hesaplanabilir. Burada;

V_s , Çamur depolama hacmi (m^3)

X_v , Atık su içindeki askıda katı madde kons. (mg/lt)

Q , Debi hızı, (Mlt/gün)

t_s , Havuzdan çamur alma süresi (yıl)

Çamur ve çakıllar fakültatif havuzun tabanında birikir. Herhangi bir andaki çamur miktarı;

$$M_s = \frac{R_{SSO}}{K_s} (1 - e^{-K_s t})$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada;

K_s : Birinci dereceden organik çamur çürüme oranı (1/gün) $\approx 0,002 \times 1,33^{T-20}$

M_s : Birincil hücrelerdeki organik çamurların kütlesi (kg)

R_{SSO} : Atıksu içindeki çökelebilen katı madde (kg/gün)

t : Son temizlemeden sonra çamurun yaşı (gün)

FAKÜLTATİF HAVUZ ÇEVRESİ

Fakültatif havuz çevresine yüksek boyutlu bitkilendirme yapılmamalıdır. Çünkü yüksek boyutlu bitkiler havuz yüzeyinde hem rüzgarı hem de havalandırmayı olumsuz etkiler. Havuz çevresindeki bitkilerin boyutu 15 cm. den büyük olmamalıdır.

Çimler 7.5 cm. ye ulaştığında kesilmeli, havuz çevresinin yakınında yüksek bitki olmasını önlenmelidir. Bu hava hareketini ve güneş ışığını engelleyebilir. Bitkiler havuz yüzeyinde gölge oluşturmamalıdır. Lagün çevresinde aşırı köklü bitki oluşumu da önlenmelidir. Bu durumda tabanda çamur oluşumu önlenmiş olur. Dolayısıyla tabanda anaerobik faaliyet durur. Lagün üzerinde yüzen bitkiler önlenmelidir. Bu tür bitkiler hem oksijen transferini hem de güneş ışığının nüfuz etmesini önler. Yüzeyde bitki oluşumu herbisitlerle önlenir. Herbisitlerden dolayı ölen bitkiler ilave organik yük, artan çamur ve koku artışı demektir. Bununda mutlaka önlenmesi gereklidir.

Havuz banketi uygun şekilde meyilli olmalıdır. Düz banket yüzeylerde bitkilenmeye yardımcı olur. Meyil çok dik olursa sistemi çalıştırmak mümkün olmaz. Banketler aşırı yüklerden önlenmeli ve dalgalı hareketler zarar vermemelidir.

FAKÜLTATİF HAVUZLARIN HATALI ÇALIŞMASI

Fakültatif havuz hatalı çalışırsa arıtma yapamaz hale gelebilir. Yüzeydeki çoğu algler yok olabilir. Bunun sebepleri;

- Organik yükler aşırı olabilir.
- Algler bazı orta ve düşük yüklerde dahi amonyum veya hidrojen sülfürden ve ot oluşmasından dolayı tahrip olabilir.
- Güneş ışınlarını blok eden yüzeyde katı maddeler algleri etkiler. Bunun kaynağı atık su içinde aşırı koloidal katı maddelerin bulunması ve tabandaki çamurdan gelen katı maddeler olarak sıralanabilir.
- Organik yükün artması tabanda anaerobik biyolojik faaliyeti hızlandırır ve tabandaki katı maddelerin yüzeye çıkmasına ve amonyumun üst tabakaya nüfuz etmesine neden olabilir.
- Düşük organik yüklerde dahi daphnia, rotifer ve büyük protozoanlar, gün içinde alg nüfusunu azaltırlar.
- Atık suda bulunan ve havuzda biyolojik işlem esnasında oluşan yüksek konsantrasyonda amonyum ve hidrojen sülfür algler için zehirleyici etki yapabilir.
- Toksikite, pH ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Hidrojen sülfür toksisitesi, pH azaldıkça ve sıcaklık yükseldikçe artar. pH arttıkça amonyum toksisitesi artmaktadır. Amonyum toksisitesi özellikle yüzeyde gerçekleşir.
- Sıcak ve sakin kış aylarında yeterli yüzey havalandırması olmazsa havuzda koku problemi olur.

Yukarıda bahsedilen olumsuzluklar sisteme uygulanan tüm organik yükleri etkiler ve havuzdaki olumsuzluk arıtma verimliliğini kötü yönde etkiler. Çünkü havuz tabanındaki çamur artılmış suya karışır. Havuza verilen çözülmüş haldeki organik maddeler bu olaydan etkilenmez. Çünkü anoksit ve anaerobik ortam önemli oranda işlemine devam eder.

Kütü işletme ve organik yükün fazla olması sonucu oluşan olumsuzluk basit olarak çözülebilir. Fakat yanlış dizaynı çözmek çok zordur.

Fakültatif havuzlar güneş ışığının nüfuz edebilmesi için genel olarak derin değillerdir. Fakat makro phyteslerin ortaya çıkmasını önlemek için derindirler. Bu daha ziyade ikincil havuzlar için tavsiye edilir.

Fakültatif havuz rengi izlenerek biyolojik faaliyetin iyi gidip gitmediği hakkında karar vermek mümkündür. Bu konu ile ilgili kısa bilgi aşağıda verilmiştir.

Havuz Yüzeyi Rengi	Havuzun Durumu	Yorumlar
Çok yeşil	İyi	Şartlar iyi: yüzeyde bol miktarda alg mevcut, çözünmüş oksijen ve pH yüksek
Donuk yeşil veya sarımsıtrak	Çok iyi değil	Alglerin arzu edilmeyen türü (mavi yeşil, fimsantlı algler) hakim oluyor, kötü şartları gösterir, çözünmüş oksijen ve pH optimum değerlerden daha düşüyor.
Taba rengi, kahve rengi	Kusurlu	Ya göl kıyısından erozyonla toprak girmiştir veya kırmızı veya farklı pigmentli alg mevcut.
Gri veya siyah	Çok kötü	Anaerobik veya septik şartlar mevcut, dolayısıyla atık su arıtılamaz, muhtemelen koku mevcut. Fazla çamur olduğunu da söyleyebiliriz.

Fakültatif havuzlarda aşırı organik yükleme olduğu zaman sülfür konsantrasyonu artar. Bu ise kötü kokuya neden olur. Yüksek amonyum konsantrasyonunda da benzer problem olur. Bu olaylar alglerin üzerinde olumsuz etki yapar. Özellikle ortamın pH'ı, 8'in üstüne çıktığı zaman bu olumsuzluk gerçekleşir.

Yeşil alglerden farklı olarak mavi-yeşil algler inceciktirler, yığın haline gelebilir ve güneş ışığını blok edebilirler. Bu ise kısa devreye neden olur. pH düştüğü, protozoa algleri yediği zaman bu olay gerçekleşir. Mavi yeşil algler yaban otu gibi fiziksel olarak bertaraf edilebilir.

Havuz sedimentlerindeki anaerobik bakteriler sülfatı sülfüre dönüştürür. Sülfür konsantrasyonu 6mg/lt üzerinde olduğunda algler üzerinde toksin etki yapar. Bu heterotrofik popülasyon oksijen teminini azaltır. Takriben BOI bertaraf verimliliği düşer ve sıkıntı verici kokular üretir.

Atık su içindeki sülfat konsantrasyonu 500 mg/lt aştığı zaman bu problem genel olarak meydana gelir. Sülfür konsantrasyonu oluşumu aşağıdaki denklemle tahmin edilebilir.

$$S_{S^{-2}} = (0,00011 W_Q + 0,00166T + 0,0553) S_{SO_4^{-2}}$$

Burada;

$S_{S^{-2}}$: Havuzdaki sülfür konsantrasyonu. (mg/lt)

$S_{SO_4^{-2}}$: Giriş atık suyundaki sülfat konsantrasyonu (mg/lt)

W_Q : Nihai BOI gerçek yükü (lb BOI₅/ac/day)

T : Havuzda bekleme süresi (gün)

FAKÜLTATİF HAVUZ BOYUTLANDIRILMASI

Fakültatif havuz dizayn edilirken o bölgenin en soğuk olduğu ayın, günlük sıcaklık ortalaması ile aylık ortalama hava sıcaklığı değeri göz önüne alınır. Havuz yüzeyinde suyun buharlaşması hesaba alınmalıdır. Planlanan arıtma tesisine gelecek atıksu debisi tespit edilmelidir. Mevcut atıksuyun BOI değeri belirlenmelidir.

Fakültatif havuzlar, yüzeysel BOI yükü, λ_s , esas alınarak düzenleme tavsiye edilir (λ_s =kg/ha.d);

$$\lambda_s = 10 \cdot L_i \cdot Q / A_f$$

Burada A_f : Fakültative havuz alanı, m², L_i : Atıksuyun BOI değeri, mg/l (kg/m³),

Q : Debi, m³/gün

λ_s için verilen dizayn değeri, sıcaklıkla (T , °C) ile artar. λ_s ile sıcaklık (°C) arasındaki ilişki ilk olarak, Mc Garry ve Pes Cod tarafından verilmiştir. λ_s değeri fakültatif havuzlara uygulanan maksimum değerdir. Yeterli olmayan bu ilişki;

$$\lambda_s = 60(1.099)^T$$

dır.

Artur bu denklemi düzenleyerek;

$$\lambda_s = 20T - 60$$

denklemini geliştirdi.

Daha uygun global dizayn denklemi, Mara (1987) tarafından geliştirildi.

$$\lambda_s = 350 (1.107 - 0.002T)^{T-25}$$

1

Burada: T , sıcaklıktır (°C), ($T=8-25$ °C içindir).

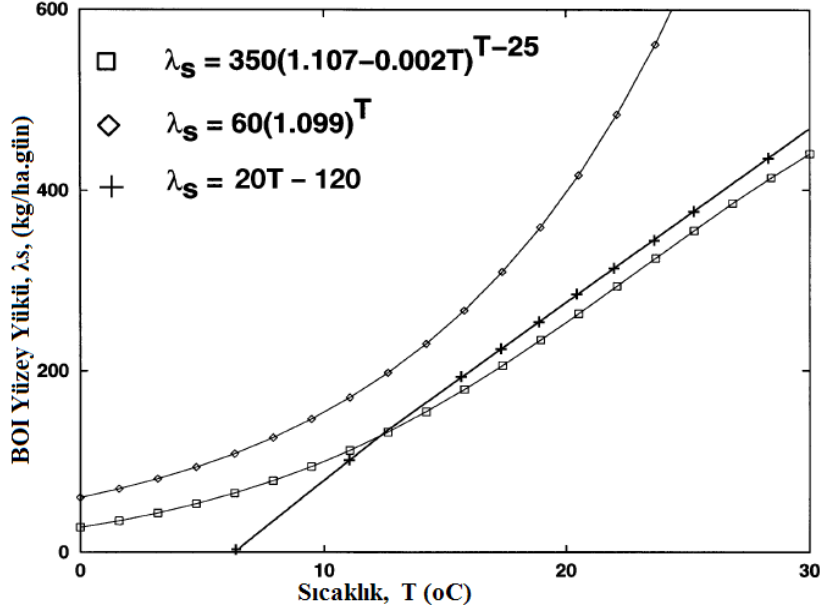
Fransa'da 10°C ve altı için λ_s 'i 100 kg/ha gün alınmaktadır. Fransa kişi başına 5 m² yüzey alanında bu değer Mara ve Pearson (1987) tarafından yorumlandı. Ve λ_s 'i 100 kg/ha gün olarak alındı. Yani bir kişinin bir günde 50 gr BOI üreteceği (50 gr/kişi /5 m²/kişi) kabul edilirse buna göre 100 kg/ha/gün elde edilir. Verilen değer Fransa'daki en soğuk ayın ortalama sıcaklığıdır. Buna göre değer 83 kg/ha gün olmaktadır.

Denklem 1 kullanılarak çeşitli sıcaklıklar için hesaplanan yüzey yükü BOI değeri Tablo 3'da verilmiştir.

Tablo 3. Çeşitli Sıcaklıklarda Fakültatif havuzlarda Müsaade edilen Yüzey BOI Yükü Değerleri (Denklem x yardımı ile hesaplanmıştır)

T (°C)	λ_s (kg/ha.d)	T (°C)	λ_s (kg/ha.d)
8	80	17	199
9	89	18	217
10	100	19	235
11	112	20	253
12	124	21	272
13	137	22	291
14	152	23	311
15	167	25	331
16	183	25	350

Daha önce verilen denklemlere göre Fakültatif havuzlarda yüzeysel BOI yükünde değişim Şekil 6'de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 6. Bölgesel sıcaklığa bağlı olarak yüzeysel BOI yükündeki değişim

Şekil 6'da da görüldüğü gibi bölgede kış aylarına ait sıcaklık yüksek ise yüzeysel BOI yükü oranı 400 kg BOI/ha.gün gibi yüksek değerlerde alınabilir. Bu da bölgede daha az alan demektir.

λ_s hesaplandıktan sonra daha sonraki kademe hidrolik bekleme süresinin hesaplanmasıdır. Hidrolik bekleme süresi;

$$\theta_f = A_f D / Q_m$$

den hesaplanabilir.

Burada, D: Havuz derinliği, m. (genel olarak 1,5m alınabilir) Q_m : Ortalama debi, m³/gün

Ortalama debi, ham atık su ile arıtılmış atık suyu debisi (Q_i ve Q_e) ortalamasından buharlaşma ve sızıntı ile su kabı da hesaba katılarak bulunan değerdir. Buna göre yukarıdaki denklem yeniden düzenlenerek,

$$\theta_f = A_f D / [\frac{1}{2} (Q_i + Q_e)]$$

denklemini elde edilir.

Sızıntı suyu miktarı ihmal edilirse,

$$Q_e = Q_i - 0.001 \cdot e \cdot A_f$$

elde edilir.

Burada, e: net buharlanma hızı, mm/gün.

Böylece denklem yeniden düzenlenecek olursa;

$$\theta_f = 2A_f D / (2Q_f - 0.001 \cdot e \cdot A_f)$$

denklemini elde edilir.

Sıcaklık 20°C'nin altında olduğu zaman minimum 5 günlük θ_f değeri, 20°C'nin üzerinde ise 4 gün benimsenmelidir. Bu süre hidrolik kısa devreyi minimize etmek ve alglerin çoğalması için yeterli süreyi sağlamak için gereklidir.

Fakültatif havuzlarda (filtre edilmemiş arıtılmış suda) BOI'nin %70-80 oranında bertaraf edildiği kabul edilir. Eğer arıtılmış su içindeki algler bertaraf edilirse BOI %90 giderilir.

FAKÜLTATİF HAVUZLAR İÇİN YER SEÇİMİ

Fakültatif havuzlar için seçilen yerlerde toprağın geçirimsiz ve yoğun olması istenir. Killi ve siltli araziler idealdir. Tesisin 200 metre (ideali 500 metre) yakınında yerleşim olmaması istenir. Mümkünse bu tesisler yerleşim, karayolları ve diğer, halka ait yerlere, hakim rüzgarla kirleticilerin taşınmayacağı uzaklığa kurulmalıdır.

Zemin stabilizasyonu için toprak uygundur. Arazinin geoteknik araştırması yapılmalıdır. Böylece arazinin yeterli geçirimsizlik ve setler oluşturmak için uygun olup olmadığı belirlenmelidir. Toprak sıkıştırıldıktan sonra geçirimsizliği 10^{-7} m/sn sağlamalıdır. Zemin toprak geçirimi 10^{-6} dan küçükse zeminde plastik membran kullanılması tavsiye edilir.

Toprak setteler iyi dizayn edilmelidir. Böylece atık suyun sızması, zamanla erozyon ve zemin çökmesi önlenmelidir.

Sette meyilleri genel olarak 1m. dikey 3 m. genişlik şeklinde olmalıdır.

Standart toprak mekanik işlemlerine göre eğim stabilizesi araştırılmalıdır.

Harici setteler uygun drenaj sağlanarak sel, taşkın gibi harici su erozyonundan korunmalıdır.

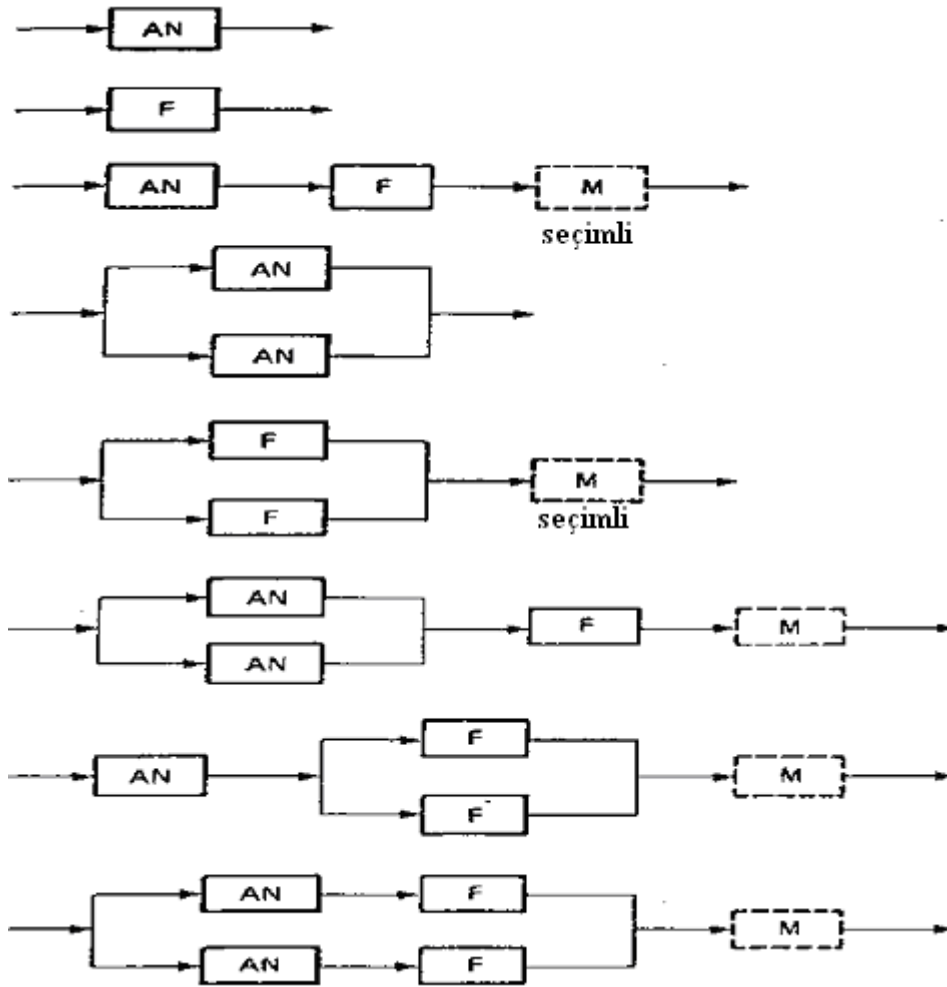
Zemin çalışmasını minimize etmek için bölge düz veya hafif meyilli olmalıdır.

Güneş ışığı ve rüzgardan yeterli ölçüde istifade etmek için fakültatif havuzlar açık araziye kurulmalıdır.

Ek yükten sistemi korumak gereklidir. Fakültatif havuz hava alanından 2 km. uzağa kurulmalıdır.

İsrail'de bu tür arıtmalardan elde edilen arıtılmış sular yıllardan beri sulama amacı ile kullanılmaktadır. Bu yüzden arıtılmış sular kışın depolanmakta yazın ise sulama amacı ile kullanılmaktadır. Depolanan arıtılmış suyun ise bir kısmı buharlaşmakta ve suyun tuzluluğunun artmasına neden olmaktadır.

Stabilizasyon havuzlar, atık suyun kirlilik yüküne ve arıtılmış su ile ilgili sınır değerlere bağlı olarak farklı şekilde dizayn edilmektedir. Stabilizasyon havuz konfigürasyonu Şekil 6'da verilmiştir. BOI değeri düşük (300 mg/lit), hatta orta güçte atık suları (1000 mg/lit kadar) arıtmak için anaerobik arıtma kademesi çoğu ülkede uygulanmamaktadır. Patojenleri öldürmek için maturate (olgunlaşma) havuzları kullanılmaktadır. Stabilizasyon havuzları seri halde üç kademeye kadar dizayn edilir. Fakültatif havuzlar işletme kolaylığı ve bakım amacı ile genel olarak paralel olarak yapılır.



Şekil 7. Stabilizasyon Havuz Konfigürasyonu (AN:anaerobik, F:Fakültatif, M:Maturasyon (olgunlaşma) havuz)

FAKÜLTATİF HAVUZDA AZOT, FOSFOR GİDERİMİ

Her bir havuzda amonyum azotu bertarafı için Pano ve arkadaşları bir denklem sundular. 20 °C altındaki şartlar için bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$C_e = C_i / \{1 + [(A / Q) (0.0038 + 0.000134T) \exp ((1.041 + 0.044T)(\text{pH} - 6.6))]\}$$

20 °C üstündeki şartlar için bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$C_e = C_i / \{1 + [5.035 \times 10^{-3} (A / Q)] [\exp(1.540 \times (\text{pH} - 6.6))]\}$$

Burada;

C_e = Arıtılmış sudaki amonyum azotu konsantrasyonu, mg/lt

C_i = Atık sudaki amonyum azotu konsantrasyonu, mg/lt

A = Havuz alanı. m²

Q = Atıksu debisi, m³ /d

Reed her bir havuzda amonyum azotu bertarafı için aşağıdaki denklemi geliştirdi.

$$C_e = C_i \exp\{-[0.0064 (1.039)^{T-20}] [q + 60.6 (\text{pH} - 6.6)]\}$$

Burada;

C_e = Arıtılmış sudaki amonyum azotu konsantrasyonu, mg/lt

C_i = Atık sudaki amonyum azotu konsantrasyonu, mg/lt

T = Sıcaklık, °C (aralık: 1-28°C)

q = Bekleme süresi, d (aralık 5- 231 gün)

Önceki denklemde kullanılan pH değeri aşağıdaki denklemle tahmin edilebilir.

$$\text{pH} = 7.3 \exp(0.0005 A_i)$$

Burada;

A_i = Atık suyun alkalitesi, mg CaCO₃/l

Bu denklemler yardımı ile arıtılmış sudaki amonyum azotunu tahmin etmek mümkündür.

Fosfor bertarafını tahmin edici bir denklem yoktur. Eğer %90 oranında BOI gideriliyorsa bertaraf edilen toplam fosfor miktarı tahminen %45 dır. Arıtılmış sudaki fosforun üçte ikisi inorganik, üçte biri ise organik esaslıdır.

KISMİ HAVALANDIRMALI FAKÜLTATİF HAVUZLAR

Kısmi havalandırmalı fakültatif havuzlar birçok ülkede yıllardır kullanılmaktadır. Bu tür havuzlarda havalandırma ya mekanik yüzey havalandırıcılarla veya suya daldırılmış difüzör havalandırıcı sistemlerle yapılmaktadır. Suya daldırılmış sistemler, kaplı tüp veya boru içerebilir.

Kısmi havalandırmalı fakültatif havuzlarda havalandırma algler yerine temel olarak mekanik yüzey havalandırıcılarla veya suya daldırılmış difüzör aeratör sistemlerle yapılmaktadır. Kısmi havalandırmalı havuzlarda karışımın miktarı sınırlandırılmıştır. Kısmi havalandırmada yüzeye yakın bölgede yeterli oksijeni temin amacı ile yapılır. Havuz içindeki katı maddeleri hareketlendirmek ve askıda tutmak amacı ile yapılmaz. Kısmi havalandırmalı sistemlerde tam karışımlı sistemlere göre on kat daha az enerji harcanır.

Kısmi havalandırmada yüzeye yakın bölgede bazı katı maddeler askıda kalırlar. Böylece havuz tabanında çökelmiş katı maddelerin anaerobik olarak bozunmasına izin verir. Kısmi havalandırmalı havuzlara fakültatif havalandırmalı havuz ismi verilir ve bölgenin sıcaklığına bağlı olarak en az seri haldeki ilk üç reaktör dizayn edilir. Havuzlar 6 metre derinliğe kadar inşaa edilir. Böylece maksimum oksijen transferi sağlanmış olur. Havuz yüzeyinde homojen olarak havalandırma sağlanamayabilir. En yoğun havalandırma birinci havuzda yapılır. Birinci havuzda toplam havalandırmanın %50 si gerçeleştirilir. Son havuzda mekanik havalandırma ile sağlanan oksijen konsantrasyonu minimumdur veya sıfırdır.

Difüzör aeratör donanımları ile yaklaşık olarak 3.7-4 kg O₂ /kW-saat ve mekanik yüzey havalandırıcılar yardımı ile 1.5-2.1 kg O₂ /kW-saat sahiptir. Sonuç olarak diffüzör aeratörler biraz daha fazla verimli olabilir, fakat daha büyük yapım ve işletme gayreti gerekir

Aeratörlü havuzlar hem BOI hem de askıda katı madde bakımından güvenli deşarj limitleri sağlar. Özellikle yaz aylarında yeterli miktarda ortama oksijen verilirse önemli miktarda nitrifikasyon olayı gerçeleşir. Çözünmüş oksijenin kısa devresinden dolayı yaz aylarında BOI bertarafı için dizayn edilmiş birçok sistem hatalı sonuç verebilir. Bir kg BOI gidermek için gerekli oksijen miktarı 1.5 kg ve bir kg amonyum azotunu nitrata dönüştürmek için teorik olarak 5 kg .oksijen gereklidir.

Kısmi havalandırmalı fakültatif havuzlar, düşük veya orta kirli evsel ve bazı endüstriyel atıksuların arıtılmasında uygulanır. Bu tür arıtmalarda çamur geri devri yapılmaz. Aktif çamur sistemine göre işletme maliyeti oldukça düşüktür. Kış aylarında buzlar havalandırıcılara zarar vereceği için, yüzeyel havalandırıcıların, kış aylarında buzlanmanın olduğu bölgelerde kullanılması istenmez.

Mevcut fakültatif havuzlar kısmi havalandırmalı fakültatif havuzlara dönüştürülebilir.

Kısmi havalandırılmalı havuzların avantajları; havalandırmasız fakültatif havuzlara göre daha az yer gerektirmesi, daha az çamur oluşması, yüzeysel buzlanmanın olmadığı kış aylarında da deşarj yapılabilmesidir.

KISMİ HAVALANDIRILMALI FAKÜLTATİF HAVUZLARIN BOYUTLANDIRILMASI

Kısmi havalandırılmalı fakültatif havuzlarda hidrolik bekleme süresi esas alınarak boyutlandırma yapılır. Seri halde en az üç adet havuz yapılması tavsiye edilir. 10-30 günlük bekleme süresi tavsiye edilir. En çok 20 günlük bekleme süresi uygulanır. Soğuk iklim bölgeleri için daha fazla bekleme süresi gerekebilir. Difüzörlü yüzey havalandırıcılarda sıvı için 3-4 metre derinlik uygundur. Ayrıca en az bir metre fribord sağlanmalıdır.

Kısmi havalandırılmalı fakültatif havuzlar en az iki havuzdan oluşmalıdır. Havuzlar eşit olarak boyutlandırılmalı fakat birinci havuza toplam havanın %70 i verilmelidir. Organik maddelerin oksidasyonu için birinci havuzların daha fazla oksijene ihtiyacı vardır.

Kısmi karışım için takriben 4 watts/m³ enerji yeterlidir. %70-90 oranında bertaraf için 4 günlük hidrolik bekleme süresi yeterlidir.

Kısmi havalandırılmalı fakültatif havuzlar genel olarak dikdörtgen şeklinde dizayn edilir. İyi bir sirkülasyon ve karışım için havuz boyutlandırılması ½ oranında olmalıdır. Yerel toprak şartlarına bağlı olarak eğim açısı 1:1.5 veya 1:2 olmalıdır. İlk havuzun giriş bölümü daha fazla çamur depolamak için daha derin yapılır.

Havuzların seviyesi erozyondan, çevresindeki bitkilerden ve diğer benzeri olaylardan zarar görmemesi için zeminden bir miktar yüksek olmalıdır.

Kısmi havalandırılmalı fakültatif havuzlar için kullanılan uygulamalardan örnekler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Kısmi Havalandırılmalı Fakültatif Havuzlar İçin Temel Kriterler

Veriler	Birim	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Atık su debisi	M ³ /d	75	187.5	375
Filtre edilmemiş su(100%)	M ³ /d	75	187.5	375
Spesifik BOI- Yüğü	g(p.e.*d)	60	60	60
BOI ₅ – Yüğü	g/(m ³ *d)	20	25	25
ÇO/Yüğü	kg O ₂ /kg BOD ₅	>or =1.5	>or =1.5	>or =1.5
Gerekli güğü	W/m ³	1 - 3	1 - 3	1 - 3

Tablo 5. Kısmi Havalandırmalı Fakültatif Havuzların Dizaynı

Veriler	Birim	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Kapasite	Kişi başına (p.e.)	500	1,250	2,500
Spesifik atık su yükü	l/(p.e.*d)	150	150	150
Giriş Yüğü	kg BOD ₅ /d	30	75	150
Toplam Havalandırılacak hacim	m ³	1,500	3,000	6,000
Havuz sayısı	-	1	2	2
Havuz hacmi 1	m ³	1,500	1,800	3,600
Havuz hacmi 2	m ³	-	1,200	2,400
Havuz şekli	-	yuvarlak	Dikdörtgen veya oval	Dikdörtgen veya oval
Su derinliği	m	2.50	2.50	2.50
Meyil	-	1:2	1:2	1:2
Uzunluğun-genişliğe oranı	-	-	e.g. 1.5:1	e.g. 1.5:1

Tablo 6. Kısmi Havalandırmalı Fakültatif Havuzlarda Kullanılan Ekipmanlar

Veriler	Birim	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
O ₂ ihtiyacı	kg O ₂ /d	≥45	≥112.5	≥225
Seçilen Havalandırma ekipmanı	-	1 WBL-2	2 WBL - 2	2 WBL - 4
Havuz 1	-	-	1 WBL - 1S	2 WBL - 2
Havuz 2	-	-	-	-
Güç Yoğunluğu	W/m ³	1.7	2.8 (havuz 1) 1.4 (havuz2)	2.5 (havuz 1) 2.1 (havuz 2)

Tablo 7. Kısmi Havalandırmalı Havuzlarda Motor Güçleri

WBL-1S	Nominal güç	1.7 kW
WBL-2	Nominal güç	2.4 kW
WBL-4	Nominal güç	4.5 kW

BOI bertarafı için sistemin dizaynında birinci mertebeden hidrolik ve tam karışimli denklem kısmi karışimli fakültatif havuzlar içinde kullanılabilir. Bu model;

$$C_e = C_o / [1 + (K_T)(t)/n]^n$$

dır. Burada;

C_e: Artırılmış suyun BOI değeri,

C_o: Atıksuyun BOI değeri, K_T: Sıcaklığa Bağlı hız sabiti

K_{20} : 20 °C deki hız sabiti, K_{20} : 0.276 d-1 (20 °C sıcaklıkta)

T : Suyun sıcaklığı,

t : Sistemde toplam bekleme süresi,

n : Sistemde eşit hücre sayısı

İlk çöktürme havuzunda alg büyümesini kontrol altına almak için hidrolik bekleme süresi 2 günden fazla olmamalıdır.

Kısmi havalandırılmalı fakültatif havuzlarda havalandırma sistemin konfigürasyonuna, istenen şiddete ve derinliğe bağlı olarak değişir. Sistem için gerekli güç;

$$E = 6598 (HP)^{1.026}$$

denkleminde hesaplanabilir. Burada;

E : Elektrik enerjisi, kWh/yıl

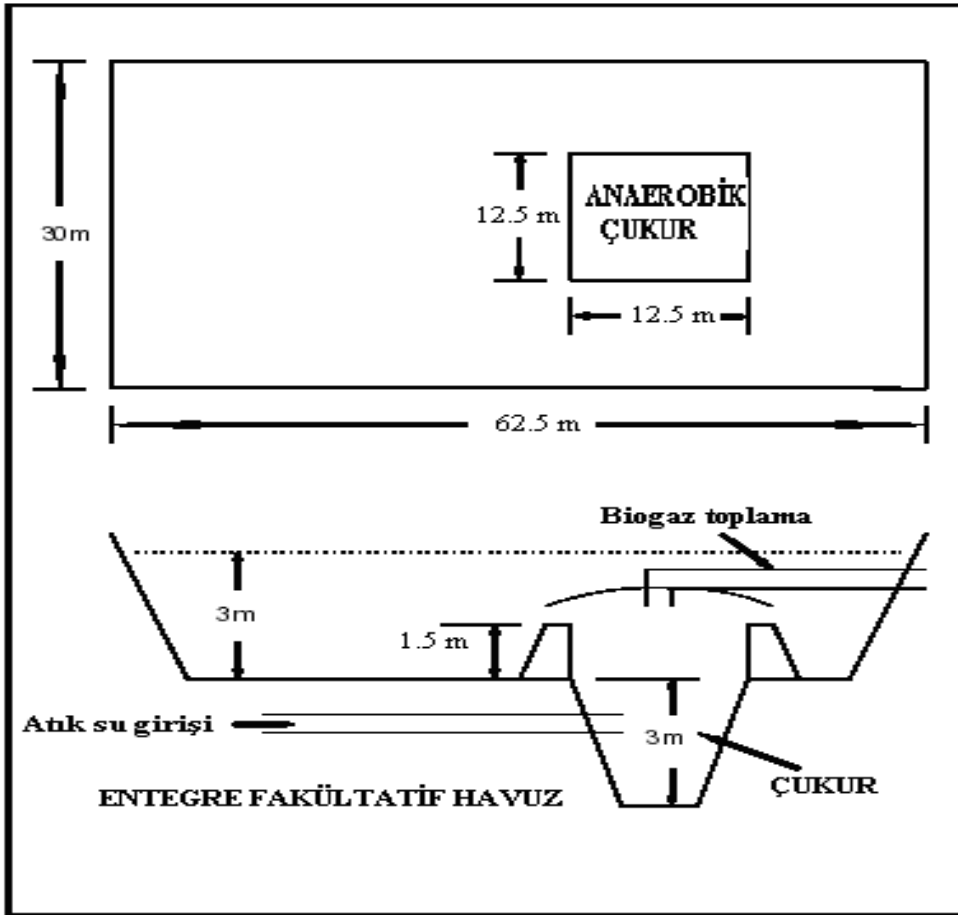
HP : Aeratör için beygir gücü, hp

ENTEĞRE FAKÜLTATİF HAVUZLAR

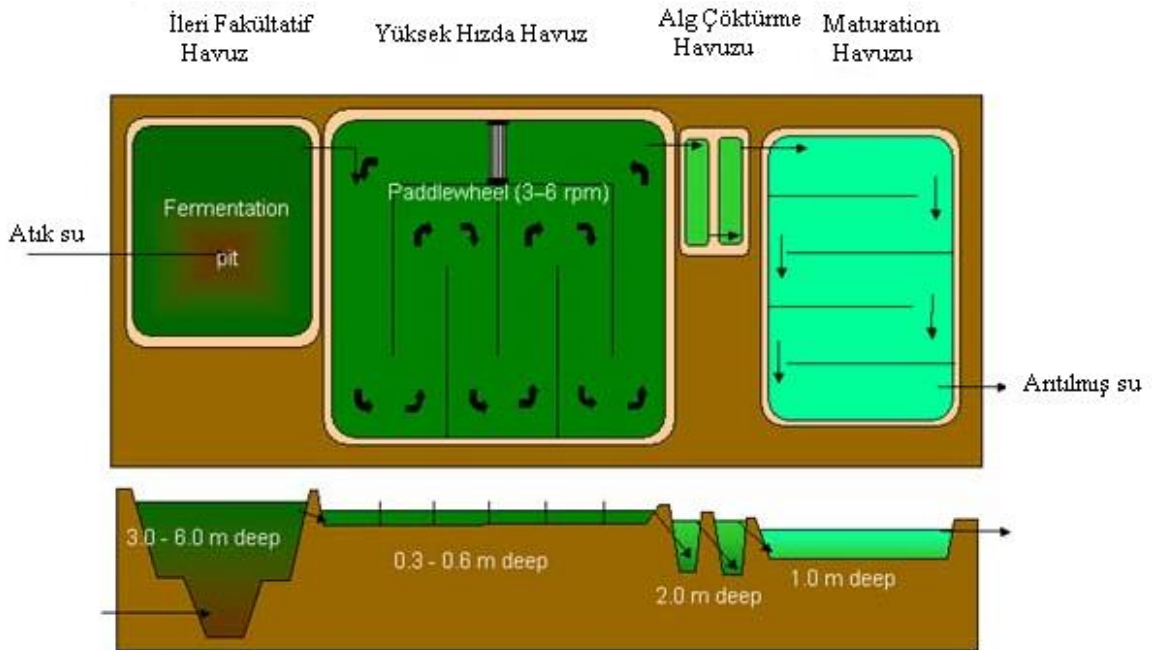
Hem aerobik hem de anaerobik faaliyeti aynı havuzda çözme adına entegre fakültatif havuzlar oldukça avantajlıdır. Tabandan verilen atık su içinde bulunan katı maddeler çöker. Bu tür tesislerin en önemli özelliği hem askıda katı maddeleri hem de BOİ'i daha yüksek verimde gidermesidir. Havuz yüzeyi aerobik kalır. Böylece koku problemi minimize edilmiş olur. Tabandan toplanan biyogaz ise enerji amacı ile kullanılabilir. Entegre fakültatif havuzların birinci fazında anaerobik reaksiyonlar gerçekleşir. Oluşan gazlar bu bölümden toplanır. İkinci kademedede ise gazlar, ya sıcak su veya elektrik enerjisi üretiminde kullanılır. Suda çözünür halde bulunan organik maddelerin ise üst fazda aerobik reaksiyon sonucu bozunmasıdır.

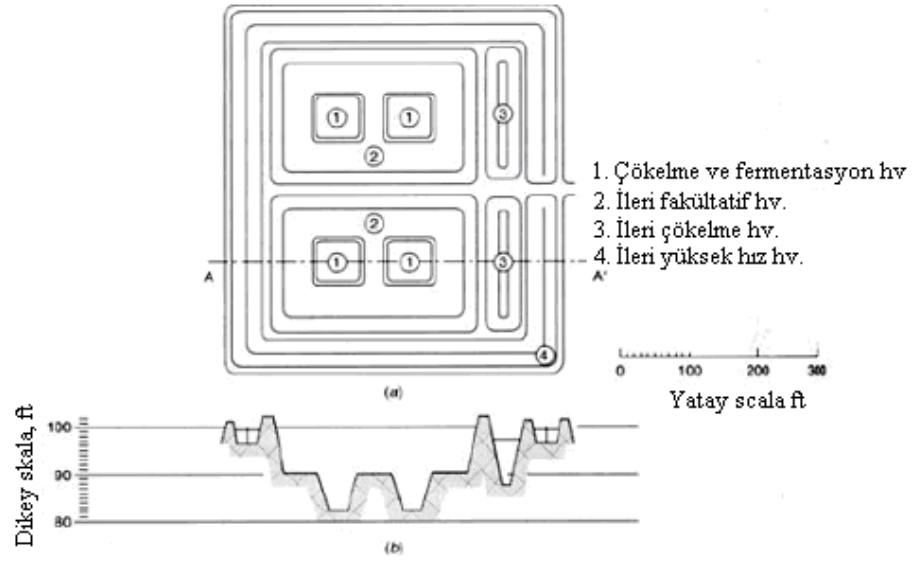
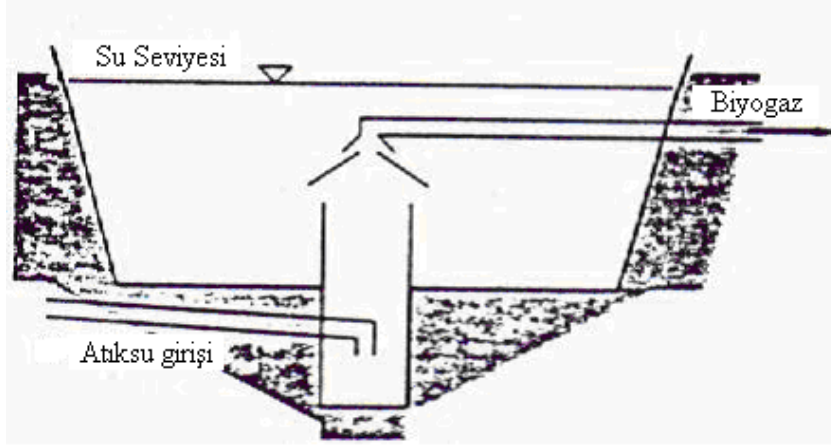
Anaerobik faaliyetin gerçekleştiği fazın derinliği en az 5 metre olmalıdır. Çukur çevresinde gazları toplama için bariyer bulunmaktadır. Anaerobik çukur çevresinde fakültatif havuz derinliği 2-3 metredir. Fakültatif havuz bölümüne anaerobik çukurda bozulan atık su gelir. Çukur çevresinden atıksuyun sızmasını sınırlamak için bariyer oluşturulmuştur. Gaz toplama sistemi bariyerin üzerinde oluşturulur. Oluşan biyogazın alınması için gaz toplama sisteminin düzenlenmesi ile ilgili daha detay çalışma yapılmalıdır.

Bu tür çalışmalar tam olarak geliştirilinceye kadar mevcut klasik tesisler devam edecektir.



Şekil 8. Entegre Fakültatif Havuz.





Şekil 9. Entegre Fakültatif Havuzlara Diğer Örnekler