

EK 1 - ARITMA PROSESLERİ

Tablo 1 - Su Kalitesi Parametrelerinin Arıtılması İçin Uygulanabilecek Prosesler

	Parametre	Proses	Uygulanabilirlik
1	Sertlik	Kireç soda yöntemiyle yumuşatma	Orta dereceden başlayarak aşırı derecedeki sert sulara kadar uygulanabilir. Çamur oluşumu fazladır.
		İyon değiştirme	Küçük tesislerde yaygın olarak kullanılır. İyon değiştirme rejenerasyon çözümlerinin bertaraf edilmesi problem teşkil edebilir.
		Nanofiltrasyon (NF), Ters osmoz (TO)	NF, sıklıkla düşük basınçlı ters osmoz membranlar olarak adlandırılır. Orta dereceden başlayarak aşırı derecede sert sulara kadar uygulanabilir. NF kullanımını sınırlandıran faktör konsantrasyon akımlarının bertaraf edilmesindeki zorluk olabilir.
2	Toplam Çözülmüş Katı Madde (TÇK)	Ters osmoz, iyon değiştirme, damıtma	Deniz suyunu, acı suları ve yeraltı sularını tuzdan arındırma için kullanılır. Buna ek olarak, bir su kaynağında bulunan düzenlenmiş inorganik parametrelerin giderilmesi için kullanılabilir. Ters osmoz, inorganik ve organik bileşenleri değişen giderim oranlarına bağlı olarak ortadan kaldırır. Ters osmoz konsantrasyonunun ve iyon değiştirme rejenerasyon çözeltisinin bertarafı bu arıtma işlemlerinin seçilmesindeki sınırlandırıcı faktör olabilir.
3	Bulanıklık / Partiküller	Basınçlı filtre (Paket filtrasyon hızlı karıştırma ve filtrasyondan oluşur.)	Düşük bulanıklıktaki, düşük renkli sulara iyi sonuç sağlar. Tasarım kriterlerini belirlemek için pilot çalışmalar yapılır.
		Doğrudan filtrasyon (Direkt filtrasyon, hızlı karıştırmanın ardından yavaş karıştırma ve filtrasyondan oluşur.)	Düşük ve orta derecede bulanıklığa sahip ve renkli sulara uygulanabilir. Performans ve tasarım kriterlerini belirlemek için pilot çalışmalar yapılır. Filtreler konvansiyonel arıtmaya kıyasla daha kısa süre çalışır. Esas itibarıyla çökeltme tankı olmayan konvansiyonel bir arıtma proses zinciridir. Bu yöntem <5 NTU şartı ile kullanılır.
		Konvansiyonel arıtma (Konvansiyonel arıtma hızlı karıştırma, yavaş karıştırma, çöktürme ve filtrasyondan oluşur.)	Orta ile yüksek derecede bulanık sulara iyi sonuçlar elde edilir. Doğrudan filtrasyon veya boru içi filtrasyon seçeneklerine kıyasla işletmede daha fazla esneklik sağlar. Çökeltme havuzundaki bekleme süresi, çökeltme süreciyle birlikte doğal organik madde (DOM), tat, koku ve rengin giderilmesini sağlar.
		Membran filtrasyon (mikrofiltrasyon (MF) veya ultrafiltrasyon (UF) membranları)	Bulanıklık, bakteri ve protozoa boyutundaki parçacıkları gidermede etkilidir. Virüsler, bazı ultrafiltrasyon membran türleri aracılığıyla giderilebilir. Bulanıklığın az olduğu sulara veya

	Parametre	Proses	Uygulanabilirlik
			membranları fiziksel hasardan korumak için büyük parçacıkları gideren ön arıtma ile birlikte etkilidir. Doğal olarak oluşan organikler (örneğin, hümik asit ve fulvik asit) membranları kirletebilir veya tıkayabilir. Partikül gidermeyi ve organik kirlenme potansiyelini göstermek için testler uygulanır. Proses adımları kolaylıkla otomatik hale getirilebilir ve işletmedeki alan iltiyacı konvansiyonel tesislerden çok daha küçüktür. Suda Fe ve Mn miktarları yüksek ise MF ve UF prosesleri uygulanabilir değildir.
		Yavaş kum filtrasyonu	Birincil giderme mekanizmaları biyolojik ve fizikseldir. Düşük bulanıklıktaki sularda ve çok düşük filtre yükleme oranları ile iyi çalışır. Granüler Aktif Karbon (GAK) ile birlikte kullanıldığı zaman tat ve koku gidermede etkilidir. Filtre yüzeyi yükleme oranları, hızlı filtreleme işleminden 50 ile 100 kat daha düşük olduğu için, filtre alanları çok büyüktür. Çoğunlukla, küçük nüfuslarda uygulanabilir. Bununla birlikte işletmede olan çok büyük tesisler de mevcuttur.
4	İletkenlik ve Klorür	Ters Osmoz, Nanofiltrasyon	Çözülmüş organikler, renk, kalsiyum, magnezyum ve diğer iyonları sudan ayırabilmektedir. Sodyum klorür giderimi 0 ila %95 aralığındadır. TO'ya göre sodyum klorür giderimi daha düşüktür. NF membranı genellikle tek değerli iyonları geçirirken çok değerli iyonları alıkoymaktadır.
		İyon Değiştiriciler	Sistemin uygulanabilir olması için askıda katı maddenin 1 mg/L'den daha düşük olmalıdır.
5	Alüminyum	Koagülasyon, Filtrasyon, Çöktürme	İçme suyu kaynağında alüminyum konsantrasyonu pH aralıklarında değişkenlik göstermektedir. pH'nın 4,5 altında ve 7,5'in üstünde olduğu durumlarda konsantrasyonu hızlı şekilde artmaktadır. İçme suyu arıtma tesisinde optimum işletme şartlarına bağlı olarak pH'nın ayarlanması ve uygun koagülantların kullanılmasıyla alüminyum giderimi en yüksek seviyede olmaktadır. Su sıcaklığı düşük ve ham su pH 7,5 olduğu zamanlarda koagülant olarak alüm kullanıldığı zaman bakiye alüminyum 0,2 mg/L veya daha fazla çıkabilir.
		Ters Osmoz	Al ³⁺ giderimi yüksektir. Ultrafiltrasyon yöntemi ile daha etkin sonuçlar vermektedir.
6	Arsenik (As)	Koagülasyon / çöktürme, Aktifleştirilmiş alüminyum oksit (aktif)	Demir veya alüminyum tuzları ile konvansiyonel koagülasyon prosesi, 7 veya daha düşük pH değerlerinde (ve başlangıç konsantrasyonları kabaca 0,1 mg/L) arseniğin (V) %90'dan fazlasını

	Parametre	Proses	Uygulanabilirlik
		alümina), iyon değiştirme, ters osmoz	gidermek için etkili olabilir. Florürde olduğu gibi aktif alümina tarafından kuvvetli bir biçimde adsorbe edilir/değiştirilir. Arsenik (III)'ün giderilmesi zordur, ancak serbest klor (Cl_2) oksidasyonu ile hızla arsenik (V)'e dönüştürülür.
7	Civa (Hg)		İçme suyundan civa (inorganik) gideriminde koagülasyon, kireçle yumuşatma, aktif karbon ve membranlar (ters ozmos) kullanılarak %80 ve üzeri giderim sağlanabilir. Bu yöntemlere ilave olarak iyon değişimi ve elektrodializle de civa giderimi mümkündür.
8	Florür (F)	Kireçle yumuşatma, hızlı karıştırma /çöktürme, aktifleştirilmiş alüminyum oksit	Kireçle yumuşatma işlemi, hem çözünmez bir çökelti oluşturarak hem de magnezyum hidroksit $[Mg(OH)_2]$ ile birlikte çöktürerek sudaki florürü giderebilir. Alüminyum sülfatın (alüm) pıhtılaşması florür seviyelerini kabul edilebilir içme suyu standartlarına düşürebilir, ancak bunu gerçekleştirmek için çok büyük miktarlarda alüm gereklidir. Florür içeren suyun aktif alümina ile teması, florürü kabul edilebilir seviyelere kadar düşürebilir.
9	Demir (Fe) / Mangan (Mn)	Oksidasyon, polifosfatlar, iyon değiştirme	Demir veya mangan, düşük seviyede çözünmüş oksijene sahip yeraltı suları veya göl sularında bulunur. Arıtma işlemi yaygın bir şekilde, havalandırma veya kimyasal ilavesiyle (örneğin, potasyum permanganat veya klor) oksidasyon ile çöktürme veya filtreleme işlemleriyle yapılır. Ayrıca, demir ve manganın arıtılması için, içerisinde oksidasyon ve filtreleme süreçlerinin aynı anda gerçekleştirildiği yeşil kum filtreleme de yaygın bir arıtma yöntemidir. Mangan yeşil kum filtre malzemesi, üzerinde parlak, sınırlı kalınlıkta sert bir mangan kaplamanın olduğu glokonitin işlenmesiyle elde edilir. Polifosfat çöktürme yöntemi, demir ve mangan giderilmesi için kullanılabilecek bir başka yöntemdir. Demir mangandan daha kolay oksitlenir.
10	Nikel (Ni)		Konvansiyonel arıtma yöntemlerinden kimyasal koagülasyon, çöktürme ve filtrasyon ile nikelin %35-80 arasında giderimini sağlamak mümkündür. Yüksek pH ve yüksek bulanıklık değerlerinde nikel giderim verimi artar. Yeraltı sularında hareketli olan doğal olarak oluşan nikelin giderimi ise iyon değişimi ya da adsorpsiyon ile gerçekleştirilebilir. Bu yöntemlerin yanı sıra ters ozmos ve kireçle yumuşatma yöntemleri ile de nikel giderimi yapılabilir.

	Parametre	Proses	Uygulanabilirlik
11	Nitrat (NO ₃)	Biyolojik denitrifikasyon, Biyolojik prosesler, ters osmoz, iyon değiştirme	Biyolojik denitrifikasyon nitratı azot gazına indirgeyecek özel mikroorganizmaların kullanılmasını gerektirir. Ters osmoz, içme suyundaki nitrat seviyelerini dūřürecektir, ancak bu işlem öncelikle yüksek Toplam znmř Katılar (TK) değerine sahip suları ve deniz suyunun arıtımı için kullanılmaktadır. Anyon reçineleri kullanan iyon takas yöntemi, iyon değiştirme rejenerasyon zltilerinin (rneęin, "Tuzlu su") bertarafının mevcut ve ekonomik olduğu durumlarda cazip bir arıtma yöntemidir.
12	Selenyum (Se)	Koagülasyon /ktrme, Aktifleştirilmiş alüminyum oksit, iyon değiştirme, ters osmoz	Selenyumun giderilmesi için, alüminyum sülfat (alm) veya demir (III) sülfat koagülasyonu ve kireçle yumuşatmayı kullanan konvansiyonel arıtma teknikleri araştırılmıştır. Selenyum (IV) ve Selenyum (VI)'yı arıtma potansiyeli hususunda aktiveştirilmiş alüminyum oksit araştırılmıştır. Selenyumun arıtılması konusunda kuvvetli bazik anyon değiştirici reçineler tam anlamıyla araştırılmamış olmasına rağmen, başarılı olabilecek gibi görünmektedirler, bununla beraber, bunlar sadece selenyuma ynelmeyecekler, aynı zamanda diğer anyonları da ortadan kaldıracaklardır ve bunun sonucu olarak muhtemelen iyon değiştirme reçinesinin erken tükenmesine ve sıklıkla rejenerasyona yol açacaklardır.
13	Sülfat (SO ₄)	Ters osmoz mmbranları; nanofiltrasyon mmbranları	Sülfatın sulardanuzaklaştırılması için ters osmoz en yaygın yöntemdir. Nanofiltrasyon prosesi de sülfatın sulardanuzaklaştırılması için kullanılabilir.
14	Sülfür (S ²⁻)	Oksidasyon	Yeraltı sularında hidrojen sülfür gazı (H ₂ S) olarak bulunur ve rrmş yumurta benzeri rahatsız edici tat kokulara sebep olur. Arıtma işlemi, en yaygın şekilde havalandırma ve klorlama yoluyla gerçekleştirilir.
15	Dezenfeksiyon Yan rnleri (DY)	İyileştirilmiş koagülasyon; adsorpsiyon; alternatif dezenfektanlar; ters osmoz; nanofiltrasyon	Dezenfeksiyon Yan rnlerinin (DY) kontrolü ile ilgili stratejiler içerisinde, alternatif dezenfektanlar (ozon, klor dioksit, kloraminler ve ultraviyole ışığı) veya iyileştirilmiş koagülasyon veya aktif karbon [granüler aktif karbon (GAK) ya da Toz Aktif Karbon (TAK)] ile adsorpsiyon yoluyla Doğal Organik Madde (DOM) gibi DY öncüllerinin arıtılması işlemi bulunur. GAK, bromür içeren suyun ozonlanmasından oluşan istenmeyen bir DY olan bromatı arıtmak için kullanılabilir. Ters osmoz, DOM gibi DY ncl maddesinin giderilmesinde çok etkili olabilir,

Parametre	Proses	Uygulanabilirlik
		ancak, genel olarak diğer arıtma yöntemlerine göre daha pahalıdır.
16 Doğal Organik Madde (DOM)	İyileştirilmiş koagülasyon; adsorpsiyon; iyon değiştirme; ters osmoz; nanofiltrasyon	İyileştirilmiş koagülasyon; (düşük pH'da koagülasyon), Toplam Organik Karbon (TOK) konsantrasyonları ile ölçülen önemli miktarda DOM'un arıtılması için kullanılabilir ve DOM giderilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Filtrasyon sonrasında GAK adsorpsiyonu da DOM'un giderilmesinde çok etkilidir. İyon değiştirme, yüksek miktardaki TÇK içeren rejenerasyon çözeltilerinin (örneğin "tuzlu su") bertaraf edilmesinin zorluğu dolayısıyla kullanımı kısıtlıdır. Ters osmozun nispeten yüksek maliyeti ve buna bağlı oluşan konsantratin bertarafı problemi, bu yöntemin DOM için kullanımını sınırlar.
17 Uçucu Organik Karbon (UOK)/Toplam Pestisitler	Havayla sıyırma, iyileştirilmiş koagülasyon, adsorpsiyon, ileri oksidasyon prosesleri (IOP)	Uçucu organik kimyasalların giderilmesi için havayla sıyırma işlemi etkili olmaktadır. Uçucu organik bileşikler veya kimyasalların (UOK) gaz halinde giderilmesi işleminin, genellikle hava kirliliği kalitesi ile ilgili sınırlandırmalara veya düzenleyici yönetmeliklere uygun olması gerekir.
18 Radyum (Ra)	Koagülasyon, kireçle yumuşatma, iyon değiştirme, ters osmoz	Seçilen proses, arıtılması gereken kirlilik seviyesine bağlıdır. Arıtma artıkları (arıtma yan ürünleri), düşük seviyeli bir radyoaktif atık bertaraf etme problemi oluşturabilir.
19 Radon (Rn)	Havalandırma, karıştırma ve bekletme zamanı	Çok yüksek seviyelerdeki radonu arıtmak için dolgulu havalandırma kuleleri kullanılabilir, bununla beraber, kule çıkış havasının, radon konsantrasyonuna bağlı olarak ve yerel hava kirliliği, hava kalitesi sınırlarına göre GAK ile arıtılması gerekebilir. Düşük radon içerikli su ile karıştırma ve bekletme süresi ile düşük seviyeli bir radon kirliliği elde edilerek denetim altında tutulabilir.
	Adsorpsiyon	Radon adsorpsiyonu için kullanılan aktif karbon, düşük seviyeli bir radyoaktif bertaraf sorununa sebep olabilir.
20 Uranyum (U)	Kireçle yumuşatma, iyon değiştirme, ters osmoz	Seçilen proses kirlilik seviyesine bağlıdır. Radonla doyurulmuş aktif karbon gibi arıtma artıkları (arıtma yan ürünleri), düşük seviyeli bir radyoaktif atık bertaraf etme problemi oluşturabilir.
21 Su Yosunları (Algler)	Bakır sülfat, konvansiyonel arıtma, çözünmüş havayla yüzdürme, mikro eleme	Alg çoğalmasını kontrol etmek için ham su depolama alanlarında (ör., rezervuarlar, göletler ve göller) bakır sülfat uygulaması yapılmaktadır. Alglerin, mevsimsel olarak ılımlıdan şiddetli seviyeye kadar çoğalması, konvansiyonel proseslerin (çökeltme ve filtreleme), titiz şekilde

	Parametre	Proses	Uygulanabilirlik
			kontrolü ile halledilebilir. Doğrudan filtrasyon ve boru içi filtrasyonda, su yosunları devreye girdiğinde filtre malzemesini tıkar ve dolayısıyla filtre çalışma sürelerini kısaltır. Dirençli su yosunu problemleri için çözülmüş havayla yüzdürme prosesleri veya temaslı durultma cihazları düşünülür. Mikro eleme filamentli su yosunlarının arıtılması için arıtma tesisinin başlangıcında kullanılabilir.
22	Bakteriler	Konvansiyonel arıtma; membran filtrasyon; ters osmoz; dezenfeksiyon	Bakteriler, çökeltme ve filtreleme de dahil olmak üzere konvansiyonel proseslerle arıtılabilir. Membran proseslerinin çoğu bakteri için pozitif bir engel oluşturur. Yaygın kullanılan tüm dezenfektanlar (klor, klor dioksit, kloraminler, UV, ozon) yeterli doz ve temas süresi sağlandığında bakterileri etkisiz hale getirebilirler.
23	Protozoa kistleri	Konvansiyonel arıtma; granül maddeyle filtreleme, ters osmoz; düşük-basınçlı membranlar (membran filtrasyon, örneğin MF veya UF membranları); dezenfeksiyon, ultraviyole (UV) ışınlama	Patojenik kistler ve ookistleri (Giardia ve Kriptosporidyum) etkisiz hale getirmek için yüksek dozda dezenfektanlar ve yeterli temas süresi gerekir. Dezenfeksiyon etkinliği, azalan sıraya göre, şu şekilde sıralanabilir: ozon> klor dioksit> klor> kloraminler. Granül madde ile filtrelemenin yanı sıra, konvansiyonel arıtma kistlerin ve ookistlerin ortadan kaldırılmasında etkilidir. Membran prosesler kistler için pozitif bir engel oluşturur. Düşük bulanıklıkta ve yüksek ışık geçirgenliği olan sular için UV ışınlaması, protozoa kistlerin ortadan kaldırılmasında çok etkilidir.
24	Virüsler	Konvansiyonel arıtma, membran filtrasyon, ters osmoz, dezenfeksiyon	Virüsler, çökeltme ve filtreleme de dahil olmak üzere konvansiyonel prosesler aracılığıyla arıtılabilir. Bazı ultrafiltrasyon (UF) membranları gibi düşük molekül ağırlıklı membran prosesler virüsün ortadan kaldırılması için kullanılabilir. Etkili virüs arıtımı (ortadan kaldırılması) ve membran durum takibini doğrulamak için membranlarla deneme çalışmalarının yapılması gereklidir. Kloraminler hariç yaygın kullanılan tüm kimyasal dezenfektanlar, çoğu virüsün ortadan kaldırılmasında etkilidir. Kloraminler etkili virüs dezenfeksiyonu için daha yüksek dozlarda daha uzun temas etme süreleri gerektirir. UV, virüsün ortadan kaldırılmasında kullanılabilir, ancak, bazı virüslerin, özellikle de Adenovirüsün (USEPA yönetmeliklerine göre 4 log (1/10000) arıtma kredisi için 186 mJ/cm ²) uygun şekilde temizlenmesi için nispeten yüksek

	Parametre	Proses	Uygulanabilirlik
			bir UV dozu (mJ/cm^2 olarak ölçülür) gerekecektir.
25	Renk	Koagülasyon / çöktürme	Yüksek koagülasyon dozları ve düşük pH çok yüksek renk seviyelerinde bile etkili olabilir. Proses etkinliğini (renk giderimi) görmek için deneme çalışması veya testi yapılması önerilir.
		GAK veya TAK ile adsorpsiyon	Adsorpsiyon filtre malzemesi olarak granül aktif karbon, düşükten orta seviyeye kadar olan tat ve renk sorunları için etkili olabilir. Yenisiyle değiştirme, 3-5 yılda bir olabilir. Süspansiyon halindeki TAK, ham suya veya tat ve koku kontrolü için koagülasyon prosesine ilave edilebilir. TAK, özellikle temaslı durultucularda etkilidir.
		Oksidasyon (klor, ozon, potasyum permanganat, klor dioksit ile)	Oksidasyonun gücü veya etkinliği azalan glüce göre genel olarak ozon, klor, klor dioksit, KMnO_4 olarak sıralanabilir. pH, verimliliği etkiler ve oksidasyondan sonra bazı renkleri geri gelebilir. DOM'dan kaynaklanan sudaki rengin klor tarafından oksitlenmesi, istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumuna sebep olabilir. Oksidasyon prosesleriyle renk gidermeyi ve istenmeyen yan ürünlerin oluşup oluşmadığını öğrenmek için test ve deneme çalışmaları yapılması tavsiye edilir.
		Ozon ve Biyolojik Aktif Karbon (BGAK)	Ozonla ön oksidasyonun ardından Biyolojik Granüler Aktif Karbonla (BGAK) işleme tabi tutmak, renk giderilmesinde etkin bir yöntemdir.
26	Tat ve Koku	Bakır sülfatlı kaynak kontrolü ve rezervuarlarda su katmanlaşmasının bozulması (yerinde havalandırma)	Birçok tat ve koku problemi, yosun oluşumları ve rezervuardaki su tabakalarının birbirleriyle yer değiştirmesinden kaynaklanır. Kaynaktaki suya uygulanan bakır sülfat, yosun oluşumunun denetim altında tutulmasında etkili olabilir. Nispeten sıkı ham su depolama alanlarında, tabakalaşmış suların mevsimsel olarak alttan üste devrederken tat ve koku bileşiklerini su kaynağına salmasını önlemek için havalandırmanın kullanılması uygun olabilir.
		Oksidasyon (klor, ozon, potasyum permanganat ve klor dioksit ile)	Klor, hidrojen sülfür (H_2S)'nin sebep olduğu tat ve kokuları kontrol etmek için kullanılabilir ancak yosun tadı ve kokularında etkili değildir, hatta bu tür tat ve kokuyu daha da kötü bir hale getirebilir. Fenoller gibi endüstriyel kimyasalların klorlanması hoş olmayan tatları daha da artırır. Ozon, tat ve kokuları azaltmak için en etkili oksitleyicilerden birisi olarak görülür ve dezenfeksiyon için de kullanılabileceği için ek bir avantaja sahiptir.

Parametre	Proses	Uygulanabilirlik
		Permanganat, bazik pH'da bazı yosun tadı ve kokularının giderilmesi için etkili olmakla birlikte, örneğin 2-Metilisoborneol (MIB) ve geosmin gibi en yaygın tat ve koku bileşiklerini gidermede etkili değildir. Ayrıca fazla dozda verilen potasyum permanganat suyun rengini pembeye çevirir ve su dağıtım boru tesisatlarında, evdeki su bataryalarında ve endüstriyel tesisat aksamında siyah birikintilerin oluşmasına sebep olur. Klor dioksit birçok tat ve kokunun denetim altında tutulmasında etkilidir ancak geosmin ve MIB'nin azaltılmasında etkili değildir. En iyi oksidasyon yöntemini belirlemek için deneme çalışmaları veya testleri yapılır.
	GAK ile adsorpsiyon	GAK yatak ömrü, tat ve koku seviyesine ve GAK temas tankındaki boş yatak temas süresine (BYTS, yani, üretilen su miktarına göre GAK hacmi) bağlı olarak kısılabılır.

Tablo 2 - Su Arıtma Prosesleri ve Uygulama Yerleri

	Proses	Proses Açıklaması	İçme Suyu Arıtmada Uygulaması
1	Adsorpsiyon	İki faz arasındaki ara yüzeyde bir maddenin birikmesi.	Granüler Aktif Karbon (GAK) veya Toz Aktif karbon (TAK) kullanarak çözünmüş organik maddelerin sudan arıtılması.
2	İleri oksidasyon	Kimyasal bileşikler oksitlemek amacıyla kısa ömürlü ve yüksek derecede reaktif hidroksil radikali (OH ⁻) üreten kimyasal reaksiyonların kullanılması; bu serbest radikalleri üreten reaksiyonlar, en yaygın olandan en az yaygın olanlara kadar listelenmiştir: O ₃ , Perokson (H ₂ O ₂ ve O ₃), O ₃ ve ultraviyole (UV) radyasyon ve H ₂ O ₂ ve UV radyasyonu.	Yerüstü sularında ve kirletilmiş yeraltı sularında bulunan bazı hümkik bileşikler, böcek öldürücüler ve klorlu organik maddeler ile metilizoborneol (MIB) ve geosmin gibi bazı tat ve koku bileşiklerinin oksitlenmesi.
3	Havalandırma	Bir gazı bir fazdan diğer bir faza geçirmek için bir sıvıyı hava ile temas ettirme işlemi: gaz fazından sıvı fazına (gaz emilimi) ya da sıvı fazdan gaz fazına (gaz sıyırma).	Yeraltı sularından gazların giderilmesi (örneğin hidrojen sülfür (H ₂ S), Uçucu Organik Karbon (UOK), karbondioksit (CO ₂) ve radon), demir ve manganın oksitlenmesini teşvik etmek için suya oksijen verilmesi (CO ₂).
4	Biyofiltrasyon veya Biyolojik Aktif Filtrasyon (BAF)	Parçacıkların giderilmesi ve biyolojik oksitlenme aracılığıyla biyolojik olarak bozunabilir organik maddelerin giderilmesi için çalıştırılan hızlı granüler filtre.	Ozonlama sonrasında biyolojik olarak bozunabilir organik maddelerin ortadan kaldırılması.
5	Kimyasal dezenfeksiyon	Sudaki hastalık yapıcı (patojen) organizmaları ortadan kaldırmak için oksitleyici kimyasal maddelerin ilave edilmesi.	Suyun klor, klor bileşikler veya ozon ile dezenfeksiyonu.
6	Kimyasal nötralizasyon	Kimyasal maddelerin ilavesiyle çözeltinin nötr hale getirilmesi.	pH kontrolü; diğer arıtma işlemleri için çalışma aralığını en uygun hale getirme.
7	Kimyasal oksidasyon	Bileşimin veya bileşik grubunun kimyasal bileşiminde değişiklik meydana getirmek için oksitleyici maddenin ilave edilmesi.	Diğer işlemlerle gerçekleştirilecek bir sonraki arıtma için demir ve manganın oksitlenmesi, kokuların kontrolü, amonyakın giderilmesi.
8	Kimyasal çöktürme	Katı fazda çöktürme yoluyla belirli bileşenlerin giderilmesi için kimyasalların eklenmesi	Ağır metallerin, fosforun uzaklaştırılması.

	Proses	Proses Açıklaması	İçme Suyu Arıtmada Uygulaması
9	Koagülasyon	Flokülasyon esnasında parçacık büyümesinin oluşabilmesi için kolloidal parçacıkların kararsız hale getirme işlemi.	Suda bulunan parçacıkları kararsız hale getirmek için demir klorür, alüm ve polimerler gibi kimyasalların eklenmesi.
10	Denitrifikasyon	Nitratin (NO_3^-) biyolojik olarak azot gazına (N_2) dönüştürülmesi.	Bazı yüzey atıklarında bulunan nitratin azot gazı haline dönüştürülmesi.
11	Dezenfeksiyon	Klor, kloraminler, klor dioksit, ozon veya UV ışığının ilave edilmesinin ardından belirli bir temas süresinin sağlanması.	Virüsler, bakteriler ve protozoalar gibi hastalık yapıcı organizmaların ortadan kaldırılması.
12	Damıtma	Buharlaştırma ve yoğunlaştırma yoluyla sıvıdaki çözünmüş bileşenleri sıvıdan ayırma.	İçme suyu temini için deniz suyunun tuzdan arındırılması veya endüstriyel prosesler.
13	Filtrasyon	Granüler bir malzeme yatağından su geçirerek parçacıkların filtrede tutularak giderilmesi.	Koagülasyon, flokülasyon, yer çekimiyle çökeltme veya yüzdürmeden sonra katı maddelerin uzaklaştırılması.
14	Membran filtrasyonu	Suyu, gözenekli bir membran malzemesi içinden geçirerek parçacıkların ayrılması; parçacıklar, gözeneklerden daha büyük oldukları için, süzme yöntemiyle uzaklaştırılır.	Bulanıklığı, virüsleri, bakteri ve Giardia ve Kriptosporidyum gibi protozoaları temizlemek için kullanılır.
15	Flokülasyon	Koagülasyon yoluyla kimyasal olarak kararsız hale getirilen parçacıkların topaklaşması.	Yer çekimiyle çökeltme veya filtreleme gibi diğer işlemler tarafından daha kolay ayrılabilen daha büyük parçacıklar oluşturmak için kullanılır.
16	Çözünmüş hava flotasyonu	Özgül ağırlıkları sudan az veya çok yavaş çökeltme hızları olan ince taneciklerin ve topaklaşmış parçacıkların giderilmesi.	Bulanıklık, renk ve/veya TOK oranı düşük veya alg patlaması yaşayan yüksek kalitedeki ham sularda, koagülasyon ve flokülasyon sonrasında oluşan parçacıkların arıtılması.
17	Akış dengeleme	Proses zincirinde, akış debisini sabit tutmak ve su kalitesindeki oynamaları en aza indirmek için suyun biriktirildiği depolama tankı.	Sabit bir geri dönüş debisi sağlamak üzere arıtma tesisinin baş tarafına takviye edilen filtre atık yıkama suyu depolamak için kullanılan büyük depolama tanklarıdır.

	Proses	Proses Açıklaması	İçme Suyu Arıtmada Uygulaması
18	Yer çekimiyle hızlandırılmış çöktürme	Koagülasyon, flokülasyon ve çökeltmenin bir havuzda gerçekleştiği ve yer çekimiyle çöktürmenin hızlandırılmış bir akış alanında gerçekleştirildiği katı madde temaslı durultucular ve çamur battaniyeli durultucular.	Arazi alanı sınırlı olduğunda, yüzey yükleme oranları genelde 2,4 m ³ /sa ve daha yüksektir; Kireç-soda ile yumuşatma.
19	İyon değiştirme	Belirli türdeki iyonların, çözelti içerisindeki farklı iyonlar tarafından, çözünmez takas malzemesinden çekilip çıkarılmasını (yer değiştirilmesini) sağlayan proses.	Sertlik, nitrat, doğal olarak oluşan organik madde ve bromürün giderilmesi; ayrıca tam olarak mineralden arındırma.
20	Karıştırma	İki veya daha fazla çözeltinin enerji kullanarak karıştırılması ve harmanlanması	Kimyasalları karıştırmak ve harmanlamak için kullanılır.
21	Nitrifikasyon	Amonyakın (NH ₃) biyolojik olarak nitrate (NO ₃ ⁻) dönüştürülmesi	Bazı yüzey atıklarında bulunan amonyakın daha sonra denitrifikasyonla uzaklaştırılmak üzere nitrat haline dönüştürülmesi.
22	Ters osmoz veya nanofiltrasyon	Ters osmoz veya nanofiltrasyon membranları kullanılarak çözünmüş maddelerin difüzyon ve çözünürlük farklarına göre ayrılması.	Okyanus, deniz veya acı sudan içilebilir su temini; suyu yumuşatma; böcek öldürücüler gibi özel çözünmüş kirleticilerin giderilmesi ve DYÜ oluşumunu denetim altında tutmak için DOM'un giderilmesi.
23	Kaba eleme	Arıtılmamış suyun 20 ila 150 mm ve daha büyük parçacıkları ayırmak için kaba elekten geçirilmesi.	Dal parçaları, kumaş artıkları ve diğer büyük çöpleri işlenmemiş sudan ızgara ile süzerek ayırmak için kullanılır.
24	Mikro eleme	Arıtılmamış suyun paslanmaz çelik ya da polyester malzeme elekten geçirilerek 0,025 – 1,5 mm'ye kadar olan küçük parçacıkların sudan uzaklaştırılması.	Filamentli su yosunlarının arıtılması için ve membran filtrasyon modüllerinden önce ön arıtma olarak kullanılır.
25	Çökelme	Yer çekimiyle çökelebilen katı maddelerin ayrılması.	Koagülasyon ve flokülasyonu takiben 0,5 mm'den büyük parçacıkları ayırmak için kullanılır.
26	Kimyasal Stabilizasyon	Arıtılmış suyu, kalsiyum karbonat taşı oluşumuna karşı nötr hale getirmek için kimyasal ilavesi.	Arıtılmış suyun dağıtım sistemine girmeden önce dengelenmesi.
27	Ultraviyole (UV) ışıkla oksidasyon	Kompleks organik molekülleri ve bileşikler oksitlemek için UV ışığının kullanılması.	N-nitrosodimetilamin (NDMA) oksidasyonu için kullanılır.

EK 2 - KONVANSİYONEL İÇME SUYU ARITMA TESİSLERİ İÇİN TASARIM KRİTERLERİ VE NORMLAR

HAVALANDIRMA: Kaskat havalandırma ünitesi boyutlandırma kriterleri Tablo 3'de verilmiştir. Şekil 1'de görülen kaskat havalandırma ünitesinin tasarımı için öncelikle Tablo 5'deki formüllerde görüldüğü üzere çözünmüş oksijen doygunluk değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çözünmüş oksijen doygunluk değerinin sıcaklık ve klorür konsantrasyonuna göre değişimi Tablo 5'de görülmektedir. Tablo 4'de verilen formüllere ilave olarak havalandırma verimi sabitinin (K) hesaplanmasında Tablo 2'den faydalanılır. Kaskat havalandırma ünitesi tasarım adımları Tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3 - Kaskat Havalandırma Ünitesi Boyutlandırma Kriterleri

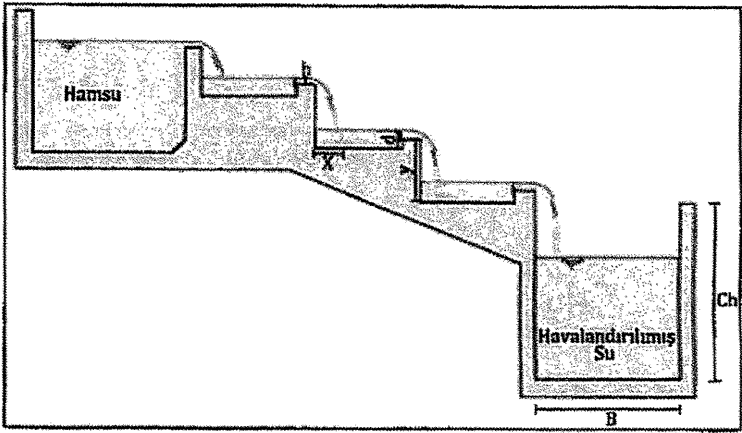
Parametre	Değer	Tavsiye edilen değer
Toplam düşü yüksekliği	1 – 3 m	2 m
Basamak yüksekliği	0,2 – 0,6 m	0,5 m
Savak yükü	0,015 – 0,105 m ³ /m.sn	0,035 m ³ /m.sn
Savak derinliği	1/3-2/3 x düşü yüksekliği	0,2 - 0,3 m
Savak genişliği	>2 x sıçrama boyu	0,6 m
Giriş – çıkış borularında hız	0,8 – 2 m/sn	1 m/sn

Tablo 4 - Kaskat Havalandırma Tasarımı İçin Gerekli Parametrelerin Hesaplanmasında Kullanılan Formüller

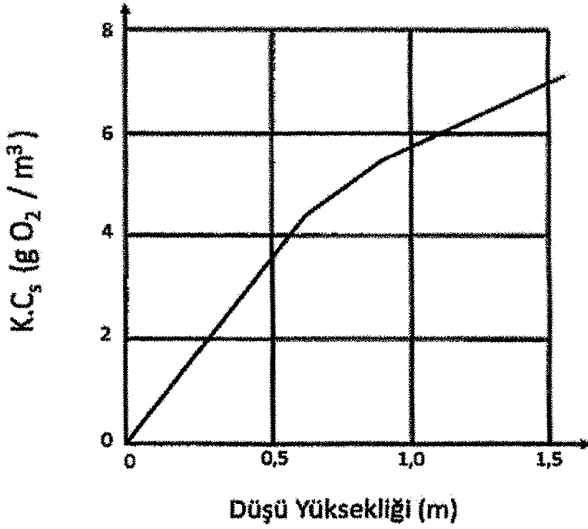
Parametre	Formül	Açıklama
Oksijen konsantrasyonu (C)	$K = \frac{C - C_0}{C_s - C_0}$ $C_n = C_s - (C_s - C_0) (1 - K)^n$	K: Verim sabiti C: Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mg/L C ₀ = Başlangıç çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mg/L C _s = Çözünmüş oksijen doygunluğu, mg/L K _n : n. kademedeki veri sabiti n: Kademe sayısı
Savak boyu (L)	$L = \frac{Q}{q}$	Q: Debi, m ³ /sn q: Savak yükü, m ³ /m.sn
Savak üzerindeki su yüksekliği (h)	$h = \left(\frac{Q}{1,80 * (L - 0,2 * h)} \right)^{2/3}$	Q: Debi, m ³ /sn L: Toplam savak uzunluğu, m
Sıçrama boyu (x)	$x = \sqrt{4 * C^2 * h * y}$	C: Savak katsayısı, 0,62 h: Savak üzeri su yüksekliği, m y: Düşü yüksekliği, m x: Sıçrama boyu, m
Savak derinliği (d)	$d = (1/3 - 2/3) * y$	y: Düşü yüksekliği, m

Tablo 5 - Sıcaklık ve klorür konsantrasyonuna göre çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu

Sıcaklık °C	Klorür konsantrasyonu, mg/L				
	0	5000	10000	15000	20000
0	14,62	13,79	12,97	12,14	11,32
1	14,23	13,41	12,61	11,82	11,03
2	13,84	13,05	12,28	11,52	10,76
3	13,48	12,72	11,98	11,24	10,5
4	13,13	12,41	11,69	10,97	10,25
5	12,8	12,09	11,39	10,7	10,01
6	12,48	11,79	11,12	10,45	9,78
7	12,17	11,51	10,85	10,21	9,57
8	11,87	11,24	10,61	9,98	9,36
9	11,59	10,97	10,36	9,76	9,17
10	11,33	10,73	10,13	9,55	8,98
11	11,08	10,49	9,92	9,35	8,8
12	10,83	10,28	9,72	9,17	8,62
13	10,6	10,05	9,52	8,98	8,46
14	10,37	9,85	9,32	8,8	8,3
15	10,15	9,65	9,14	8,63	8,14
16	9,95	9,46	8,96	8,47	7,99
17	9,74	9,26	8,78	8,3	7,84
18	9,54	9,07	8,62	8,15	7,7
19	9,35	8,89	8,45	8	7,56
20	9,17	8,73	8,3	7,86	7,42
21	8,99	8,57	8,14	7,71	7,28
22	8,83	8,42	7,99	7,57	7,14
23	8,68	8,27	7,85	7,43	7
24	8,53	8,12	7,71	7,3	6,87
25	8,38	7,96	7,56	7,15	6,74
26	8,22	7,81	7,42	7,02	6,61
27	8,07	7,67	7,28	6,88	6,49
28	7,92	7,53	7,14	6,75	6,37
29	7,77	7,39	7	6,62	6,25
30	7,63	7,25	6,86	6,49	6,13



Şekil 1 - Havalandırma ünitesi



Şekil 2 - Düşü yüksekliği ile K.Cs değişimi

Sıcaklık değerine göre Tablo 5'den çözünmüş oksijen doygunluk değerini belirleyiniz.

Maksimum düşü yüksekliğini Tablo 3 - 'e göre 1-3 m aralığında seçiniz. Basamak sayısını belirlemek için Tablo 4'deki oksijen konsantrasyonu formülleriyle K ve Cn değerlerini hesaplayınız.

Her bir basamakda düşü yüksekliği sabit olabileceği gibi değişken yüksekliklerde de olabilir.

1, 2, 3, 4, 5, 6 ve daha fazla basamaklı kaskat olması halini dikkate alarak her bir basamak için ayrı ayrı çözünmüş oksijen konsantrasyonunu hesaplayınız. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun maksimum olduğu basamağı dikkate alarak basamak sayısını ve toplam düşü yüksekliğini belirleyiniz.

Tablo 3 - 'de belirtilen aralıkta savak yükünü seçiniz.

Tablo 4'deki savak boyu (L) formülü ile savak boyunu hesaplayınız.

Savak boyunun uzun olması halinde havalandırma haznesinin 2, 3 veya 4 yönünde de savak olabilir ve her yöndeki savakların uzunluğu eşit olmalıdır. Bu durumda toplam savak uzunluğu hesaplanırken her yöndeki savağın uzunluğu hesaba katılır.

Tablo 4'deki savak üzerindeki su yüksekliği (h) formülü ile savak üzerindeki su yüksekliğini hesaplayınız.

C katsayısını 0,62 olarak kabul ederek Tablo 4'deki yatayda sıçrama boyu (x) formülü ile yatayda sıçrama boyunu hesaplayınız.

Sıçrama boyunun 2-3 katı aralığında savak genişliğini belirleyiniz.

Tablo 3 - 'de belirtilen savak derinliği aralığını seçiniz.

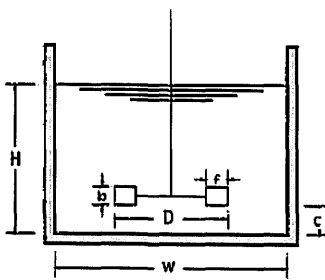
Tablo 4'deki savak derinliği (d) formülü ile savak derinliğini hesaplayınız.

Tablo 4'deki havalandırma toplama kanalı genişliği (B) formül ile havalandırma toplama kanalı genişliğini belirleyiniz.

Tablo 4'deki havalandırma toplama kanalı yüksekliği (Ch) formülü ile havalandırma toplama kanalı yüksekliğini belirleyiniz. Havalandırma payını 10 cm ile 50 cm arasında bırakınız.

Şekil 3- Kaskat Havalandırma Ünitesi Tasarım Adımları

HIZLI KARIŞTIRMA (KOAGÜLASYON): Türbin tipteki karıştırıcılar, havuzun merkezine yerleştirilmiş mekanik bir sisteme bağlı bir şaft sistemi ve kanatlardan oluşmaktadır. Sistemin doğru bir şekilde işletilebilmesi ve vibrasyonların engellenmesi için karıştırıcı çevirme şaftının uzunluğunun 3 m'den fazla olmaması gerekmektedir. Türbin tipi karıştırıcının çapı genellikle tank çapının/genişliğinin %30-50'si boyutta ve tank tabanından türbin çapı kadar yükseğe yerleştirilmektedir.



w : Tank genişliği, m

H : Su yüksekliği, m

D : Türbin çapı, m

b : Pedal genişliği, m

f : Pedal boyu, m

C : Türbinin tank tabanından yüksekliği, m

$$H = w \times (1,1 - 1,6)$$

$$D = w \times (0,3 - 0,5)$$

$$C = D$$

Şekil 4 - Hızlı karıştırma odalarıyla ilgili tasarım ölçütleri

Tablo 6 - Hızlı karıştırma odalarıyla ilgili tasarım ölçütleri

Parametre	Değer	Tavsiye edilen değer
Hız gradyanı (G), s ⁻¹	600-1000	700
Tank hacmi (VT), m ³	< 8,0	5,7 (veya 6,0)
Su derinliği (H)/tank genişliği (w) oranı	1,1-1,6	1,5
Türbin tipi karıştırıcı çapı (D)/tank genişliği (w) oranı	0,3-0,5	0,4
Temas süresi (t), s	30-300	60
Reynolds sayısı (NRe)		
Türbülanslı akım	>10000	>10000
Laminer akım	≤20	≤20
Şaşırtma perdesi kalınlığı (m)	Tank genişliğinin % 10'u	Her kısımda 0,095 (veya 0,10)

Tablo 7 - Karıştırma için tank ve karıştırıcı geometrisi

Geometrik oran	Oran
D/T (radyal)	0,14-0,5
D/T (eksenel)	0,17-0,4
H/D (her ikisi)	2-4
H/T (eksenel)	0,34-1,6
H/T (radyal)	0,28-2
B/D (her ikisi)	0,7-1,6

D:Karıştırıcı çapı; T:Eşdeğer tank çapı= $\left(\frac{4A}{\pi}\right)^{1/2}$; A : Plan alanı; H:Su derinliği; B:Karıştırıcı altında kalan su derinliği

Tablo 8 - Yaygın kullanılan karıştırıcı çapları

Karıştırıcı Tipi	Karıştırıcı Çapları, (m)		
Radyal	0.3	0.4	0.6
Eksenel	0.8	1.4	2.0

Tablo 9 - Hızlı karıştırma tasarımı için gerekli parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller

Parametre	Formül	Açıklama
Hacim (V)	$V = Q \cdot t$	Q: Debi, m ³ /sn t: Temas süresi, sn
Güç hesabı (P veya N)	$P = G^2 \cdot \mu \cdot V$	P veya N: Güç, watt veya N.m/sn= joule/sn G: Hız gradyanı, sn ⁻¹ μ : Dinamik viskozite, kg/m.sn V: Hacim, m ³
Karıştırıcı devir sayısı (n) (Türlülsanlı akımlar için)	$n = \left(\frac{P}{K_T \cdot D^5 \cdot \rho} \right)^{1/3}$	P: Güç, watt veya N.m/sn= joule/sn n: Devir sayısı, devir/sn K _T : Karıştırıcı sabiti D: Pedal çapı, m ρ : Suyun yoğunluğu, (1000 kg/m ³)
Karıştırıcı devir sayısı (n) (Laminer akımlar için)	$n = \left(\frac{P}{K_L \cdot D^3 \cdot \mu} \right)^{1/2}$	P: Güç, watt veya N.m/sn= joule/sn n: Devir sayısı, devir/sn K _L : Karıştırıcı sabiti D: Pedal çapı, m μ : Dinamik viskozite, kg/m.s
Reynolds sayısı (NRe)	$N_{Re} = \left(\frac{n \cdot D^2 \cdot \rho}{\mu} \right)$	NRe: Reynolds Sayısı n: Devir sayısı, devir/sn D: Pedal çapı, m ρ : Suyun yoğunluğu, (1000 kg/m ³) μ : Dinamik viskozite, kg/m.

Tablo 10 - KL ve KT katsayıları

Karıştırıcı Tipi	KL	KT
Pervane, 1 perde, 3 bıçak	41,0	0,32
Pervane, 2 perde, 3 bıçak	43,5	1,00
Türbin, 4 düz bıçak, çarklı disk	71,0	6,30
Türbin, 6 düz bıçak, çarklı disk	71,0	6,30
Türbin, 6 kavistli bıçak	70,0	4,80
Fan türbin, 45 0, 6 bıçak	70,0	1,65
Örtülü türbin, 6 kavistli bıçak	97,5	1,08
Örtülü türbin, statör, şaşırtma perdesi yok	172,5	1,12
Düz pedallar, 2 bıçak (tek pedal), D _t /W _t = 4	43,0	2,25
Düz pedallar, 2 bıçak, D _t /W _t = 6	36,5	1,60
Düz pedallar, 2 bıçak, D _t /W _t = 8	33,0	1,15
Düz pedallar, 4 bıçak, D _t /W _t = 6	49,0	2,75
Düz pedallar, 6 bıçak, D _t /W _t = 6	71,0	3,82

Türbin Tipi Karıştırıcı seçilmesi halinde tasarım adımları:

Tablo 6'da belirtilen aralıkta temas süresini seçiniz.

Tablo 9'da belirtilen hacim formülü ile hızlı karıştırma tank hacmini hesaplayınız. Hesaplanan tank hacminin Tablo 6'da belirtilen hacim aralığında olduğunu kontrol ediniz. Hacim, Tablo 6'da belirtilen değerden fazla ise hızlı karıştırıcı tank sayısını artırınız. Toplam hızlı karıştırma tankı hacmini tank sayısına bölünüz ve her bir tank hacminin Tablo 6'da belirtilen değeri sağladığını kontrol ediniz.

Tablo 6'da belirtilen aralıkta Su derinliği/tank genişliği oranı (H/w) seçiniz.

Hızlı karıştırıcı tankının kare tabanlı veya dairesel olarak yapılacağına dair seçim yapınız.

Tank kare olarak yapılacak ise Tablo 6'da belirtilen Su derinliği (H)/Tank genişliği (w) oranını seçerek su derinliğini (H), tank genişliğini (w) ve tank uzunluğunu (L) hesaplayınız.

Tank dairesel olarak yapılacak ise Tablo 6'da belirtilen Su derinliği (H)/Tank genişliği (w) oranını seçerek su derinliğini (H) ve tank çapını (T) hesaplayınız.

Türbin tipi karıştırıcılar için Tablo 4'de belirtilen tasarım ölçütlerinde bulunan türbin çapını $D = w \times (0,3-0,5)$ formülü ile hesaplayınız. Türbinin altındaki su yüksekliği (C) türbinin çapına (D) eşit olmalıdır.

Hesaplanan su yüksekliği üzerine 30-50 cm kadar hava payı bırakınız.

Radyal veya Eksenel Tip Karıştırıcı seçilmesi halinde tasarım adımları:

Tablo 6'da belirtilen aralıkta temas süresini seçiniz.

Tablo 9'da belirtilen hacim formülü ile hızlı karıştırma tank hacmini hesaplayınız. Hesaplanan tank hacminin Tablo 6'da belirtilen hacim aralığında olduğunu kontrol ediniz. Hacim, Tablo 6'da belirtilen değerden fazla ise hızlı karıştırıcı tank sayısını artırınız. Toplam hızlı karıştırma tankı hacmini tank sayısına bölünüz ve her bir tank hacminin Tablo 6'da belirtilen değeri sağladığını kontrol ediniz.

Su derinliğinin tank çapına (H/T) oranını Tablo 7'de belirtilen aralıkta seçiniz ve su yüksekliği ile tank çapını hesaplayınız.

Tablo 8'de belirtilen veya kataloglardan piyasada mevcut olan karıştırıcı çaplarını seçiniz.

Seçilen karıştırıcı çapının tank çapına (D/T) oranını hesaplayınız ve Tablo 7'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Hesaplanan su derinliğinin seçilen karıştırıcı çapına (H/D) oranını hesaplayınız ve Tablo 7'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 7'de belirtilen aralıkta B/D oranını seçiniz ve seçilen oranı dikkate alarak karıştırıcı altındaki su yüksekliğini (B) hesaplayınız.

Hesaplanan su yüksekliği üzerinde 30-50 cm kadar hava payını dikkate alınız.

Tablo 6'da belirtilen aralıkta hız gradyanını seçiniz.

Tablo 9'daki formül ile hesaplanan tank hacmini veya çok sayıda tank var ise sadece 1 tank hacmini dikkate alınız.

Minimum su sıcaklığında dinamik viskozite değerini, tank hacmini ve seçilen hız gradyanını dikkate alarak Tablo 9'da belirtilen güç (P) formülü ile karıştırıcının döndürülebilmesi için gerekli gücü hesaplayınız.

Karıştırıcı sabiti (KT) değerini Tablo 10'dan seçiniz.

Pedal veya türbin çapını, gerekli gücü ve suyun yoğunluğunu dikkate alarak Tablo 9'da belirtilen devir sayısı (n) formülü ile karıştırıcının devir sayısını hesaplayınız.

Karıştırıcının devir sayısını ve çapını, suyun yoğunluğu ile minimum sıcaklık değerindeki dinamik viskozitesini dikkate alarak Tablo 9'da belirtilen Reynolds sayısı (NRe) formülü ile Reynolds sayısını hesaplayınız.

Hızlı karıştırma tanklarında $NRe > 10000$ olmalıdır. Bu oran sağlanmıyor ise hız gradyanı veya karıştırıcı çapını değiştirerek türbülanslı akımı oluşturunuz.

Şekil 5 – Mekanik Hızlı Karıştırma Sistemleri Tasarım Esasları

YAVAŞ KARIŞTIRICILAR (FLOKÜLASYON): Yavaş karıştırma ünitesi boyutlandırma kriterleri Tablo 11'de, farklı su kaliteleri için G.t değerleri Tablo 3 - 12'de verilmektedir. G.t değeri su kalitesine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Yumaklaştırma havuzunu bölmelere ayırmak için perde duvarlar kullanılmaktadır. Perdelerden su geçişi orifisler ile sağlanıyor ise perdenin üstü 1-2 cm su seviyesinin altında kalır ve alt kısımda çamur giderimi ve drenaj için tabandan 2-3 cm yüksek olmalıdır. Tablo 13'de yavaş karıştırma tasarımı için gerekli parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller verilmektedir.

Tablo 11 - Yavaş karıştırma ünitesi boyutlandırma kriterleri

Parametre	Değer	Tavsiye edilen değer
Temas süresi	15 – 45 dakika (sertlik giderimi için 45-60 dakika)	30 dakika
Bölme sayısı	≥ 2 adet	3 adet
Hız gradyanı	100-10 s ⁻¹	74-20 s ⁻¹ (2 bölme için) 90-50-20 s ⁻¹ (3 bölme için)
Yatay su hızı	0,15 m/s ≤ v ≤ 0,45 m/s	0, 30 m/s
Pedal alanı (Yavaş karıştırıcının en kesit alanına oranı)	%10-%25	%15
Pedalların çevresel hızı	0,1 m/s ≤ v ≤ 0,75 m/s	0,3-0,5 m/s
Havuz duvarları ve tabanı ile pedal ucu arasındaki açıklık	15-50 cm	50 cm
Yatay milli pedal Ünite uzunluk (L)/genişlik (W) oranı	4:1	4:1
Yatay milli pedal Su derinliği	3 m	3 m
Düşey milli pedal Ünite uzunluk (L)/genişlik (W) oranı	1:1	1:1
Düşey milli pedal Su derinliği Pedal tipi karıştırıcı için	4-5 m	5
Düşey milli pedal Su derinliği Türbin tipi karıştırıcı için	4-7 m	7
Düşey milli pedal Pedal yüksekliği/Su derinliği oranı	2/3	2/3
Hız gradyanı (G). Zaman (t)	104-2.105	104-2.105
Yavaş karıştırma çıkışı durultucu veya çöktürme tankı giriş borusu su hızı	≤ 0,1 m/sn	≤ 0,1 m/sn

Tablo 12 - Farklı su kaliteleri için G.t değerleri

Tip	G, sn ⁻¹	G.t
Düşük bulanıklık, renk giderimi koagülasyonu	20-70	60,000-200,000
Yüksek bulanıklık, katı giderimi koagülasyonu	30-80	36,000-96,000
Yumuşatma, katı içeriği %10	130-200	200,000-250,000
Yumuşatma, katı içeriği %39	150-300	390,000-400,000

Tablo 13 - Yavaş karıştırma tasarımı için gerekli parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller

Parametre	Formül	Açıklama								
Hacim (V)	$V = Q \cdot t$	Q: Debi, m ³ /s t: Temas süresi, s								
Güç hesabı (P)	$P = G^2 \cdot \mu \cdot V$	P: Güç, watt veya N.m/s= joule/s G: Hız gradyanı, sn ⁻¹ μ : Dinamik viskozite, kg/m.s V: Hacim, m ³								
Yatay su hızı (v)	$v = \frac{Q}{B \cdot H}$	v: Yatay su hızı, m/s B: Tankın genişliği, m H: Su yüksekliği, m								
Karıştırıcı devir sayısı (n) (Türbülanslı akımlar için)	$n = \left(\frac{P}{K_T \cdot D^5 \cdot \rho} \right)^{1/3}$	P:Güç, watt veya N.m/sn= joule/sn n: Devir sayısı, devir/sn KT: Karıştırıcı sabiti D: Pedal çapı, m ρ : Suyun yoğunluğu, (1000 kg/m ³)								
Karıştırıcı devir sayısı (n) (Laminer akımlar için)	$n = \left(\frac{P}{K_L \cdot D^3 \cdot \mu} \right)^{1/2}$	P:Güç, watt veya N.m/sn= joule/sn n: Devir sayısı, devir/sn KT: Karıştırıcı sabiti D: Pedal çapı, m μ : Dinamik viskozite, kg/m.s								
Reynolds sayısı (NRe)	$N_{Re} = \left(\frac{n \cdot D^2 \cdot \rho}{\mu} \right)$	NRe:Reynolds Sayısı n: Devir sayısı, devir/sn D: Pedal çapı, m ρ : Suyun yoğunluğu, (1000 kg/m ³) μ : Dinamik viskozite, kg/m.								
Pedal alanı (A)	$A = \frac{2 \cdot P}{C_D \cdot \rho \cdot V_r}$	P:Güç, watt veya N.m/sn= joule/sn CD: Pedalın sürtünme katsayısı A: Pedal alanı, m ² Vr: Pedalların suya nazaran izafi hızları, m/sn								
Pedalın sürtünme katsayısı (CD)	<table><tr><td>L/W</td><td>5</td><td>20</td><td>α</td></tr><tr><td>C/D</td><td>1,2</td><td>1,5</td><td>1,9</td></tr></table>	L/W	5	20	α	C/D	1,2	1,5	1,9	CD: Pedalın sürtünme katsayısı L: Pedalın boyu, m W: Pedalın eni, m
L/W	5	20	α							
C/D	1,2	1,5	1,9							
Pedalların suya nazaran izafi hızları (Vr)	$V_r = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot r \cdot n$	Vr: Pedalların suya nazaran izafi hızları, m/sn k: Sabit=0,75 r: Pedalın yarıçapı, m n: Devir sayısı, devir/sn								

Tablo 11'de belirtilen aralıkta temas süresini seçiniz.

Tablo 12'de belirtilen hacim formülü ile yavaş karıştırma tank hacmini hesaplayınız.

Yavaş karıştırma tankı Tablo 11'de belirtildiği üzere en az 2 bölmeli olmalıdır. Hesaplanan tank hacmini bölme sayısına bölerek her bir bölmenin hacmini hesaplayınız

Tablo 11'de belirtilen aralıkta hız gradyanını her bir bölme için seçiniz.

Hız gradyanı ilk bölmede yüksek ilerleyen bölmelerde kademeli olarak azaltılarak seçilmelidir.

Tablo 12'de belirtilen güç (P) formülü ile yavaş karıştırma tankının her bir bölümünde bulunan karıştırıcıların dönderilebilmesi için gerekli gücü hesaplayınız.

Her bir bölme için hız gradyanı ile temas süresinin çarpımını (Gxt) hesaplayınız. Bölmelerdeki Gxt değerlerini toplayınız ve toplamının Tablo 12'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Karıştırıcı olarak yatay milli pedal seçilmesi halinde Tablo 11'de belirtildiği üzere yavaş karıştırma tankının 1 bölümünün uzunluk/genişlik oranını 4/1 ve su derinliğini 3 m alarak tankın ebatlarını belirleyiniz.

Tablo 13'de verilen yatay su hızı formülü ile yatay su hızını hesaplayınız ve Tablo 11'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 11'de belirtildiği üzere pedal yüksekliği/su derinliği oranı 2/3 olarak seçiniz.

Havuz duvarları ve tabanı ile pedal ucu arasındaki açıklık mesafesini Tablo 11'de belirtilen aralıkta seçiniz ve pedalın boyunu ve çapını belirleyiniz.

Karıştırıcı sabiti (KT) değerini Tablo 10'dan seçiniz.

Tablo 12'de belirtilen devir sayısı (n) formül ile pedal devir sayısını hesaplayınız.

Tablo 12'de belirtilen pedalların suya nazaran izafi hızları (vr) formül ile pedalların suya nazaran izafi hızını hesaplayınız. Tablo 12'de belirtilen pedal uzunluğu/pedal genişliği oranına (L/W) göre CD katsayısını belirleyiniz.

Karıştırıcı olarak düşey milli pedal seçilmesi halinde Tablo 11'de belirtildiği üzere yavaş karıştırma tankının 1 bölümünün uzunluk/genişlik oranını 1/1 yani kare taban olarak belirleyiniz.

Su derinliğini, pedal veya türbin tipi karıştırıcılar için Tablo 11'de belirtilen aralıktan seçiniz.

Tablo 13'de verilen yatay su hızı formülü ile yatay su hızını hesaplayınız ve Tablo 11'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 11'de belirtildiği üzere pedal yüksekliği/su derinliği oranı 2/3 olarak seçiniz.

Havuz duvarları ve tabanı ile pedal ucu arasındaki açıklık mesafesini Tablo 11'de belirtilen aralıkta seçiniz ve pedalın boyunu ve çapını belirleyiniz.

Karıştırıcı sabiti (KT) değerini Tablo 10'dan seçiniz.

Tablo 12'de belirtilen devir sayısı (n) formül ile pedal devir sayısını hesaplayınız.

Tablo 12'de belirtilen pedalların suya nazaran izafi hızları (vr) formül ile pedalların suya nazaran izafi hızını hesaplayınız.

Tablo 12'de belirtilen pedal uzunluğu/pedal genişliği oranına (L/W) göre CD katsayısını belirleyiniz.

Tablo 12'de belirtilen pedal alanı formülü ile her bir bölme için gerekli pedal alanını hesaplayınız.

Hesaplanan pedal alanının bir bölmenin kesit alanına ($\frac{A}{BH}$) oranını hesaplayınız ve Tablo 11'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Şekil 6 - Mekanik Yavaş Karıştırma Sistemleri Tasarım Esasları

DURULTUCULAR (ÇÖKTÜRME):

1) Dikdörtgen çöktürme tanklarının tasarımı: Dikdörtgen çöktürme tanklarında dört bölme bulunmaktadır. Dikdörtgen çöktürme tanklarının boyutlandırma kriterleri Tablo 14'de, tasarımı kullanılan formüller Tablo 15'de özetlenmiştir.

Tablo 14 - Dikdörtgen çöktürme tanklarının boyutlandırma kriterleri

Parametre	Değer
Giriş Bölmesi	
Difüzör duvarına mesafe	2 m
Difüzör delik çapı	0,1-0,2 m
Çökme bölgesi	
Yüzey yükü	20-70 m ³ /m ² .gün
Kenar su derinliği	3-5 m
Uzunluk	30 m (Rüzgar sınırlaması) 60 m (Zincir ve paletli sınırlaması) ≥80-90 m (Gezici köprülül)
Genişlik	6 m-24 m (Zincirli ve paletli) 30 m (Gezici köprülül)
Uzunluk/Genişlik (L:W)	4:1-6:1 (≥6:1'de olabilir)
Uzunluk/Çöktürme bölgesi derinliği (L:D)	15:1
Yatay su hızı	0,005-0,018 m/sn
Temas süresi	2-8 saat
Froude sayısı	≥10-5
Reynolds sayısı	<20000
Çıkış bölgesi	
Savak uzunluğu	Tank uzunluğunun 1/3-1/2'si
Savak yükü	140-320 m ³ /m.gün
Çamur bölgesi	
Derinlik	0,6-1 m
Eğim	1:600 (mekanik temizleme) 1:100-1:200
Çamur sıyırıcı hızı	0,3-0,9 m/dk

Tablo 15 - Dikdörtgen çöktürme tankı tasarımı için gerekli parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller

Parametre	Formül	Açıklama
Froude sayısı (Fr)	$Fr = \frac{v^2}{g.R}$	Fr: Froude sayısı, boyutsuz g: Yerçekimi ivmesi, m/sn ² v: Yatay akış hızı, m/sn R: Hidrolik yarıçap, m (Islak alan/ıslak çevre)
Reynolds sayısı (NRe)	$NRe = \frac{v.R}{\nu}$	NRe: Reynolds sayısı, boyutsuz v: Yatay akış hızı, m/sn ν: Kinematik viskozite, m ² /sn (μ/ρ) μ: Dinamik viskozite, kg/m.sn ρ: Suyun yoğunluğu, 1000 kg/m ³
Yüzey yükü (S)	$S = \frac{Q}{A}$	S: Yüzey yükü, m ³ /m ² .gün Q: Debi, m ³ /gün A: Yüzey alanı, m ²
Yatay akış hızı (v)	$v = \frac{Q}{B.H}$	v: Yatay akış hızı, m/sn Q: Debi, m ³ /sn

	B: Tankın eni, m H: Tanktaki su yüksekliği,
--	--

Su giriş yapısı ile çöktürme bölgesine suyu dağıtacak olan difüzör duvarı arasındaki mesafe Tablo 14'de belirtildiği üzere 2 m olarak seçilir.

Difüzör duvarı üzerindeki orifislerin çapları 0,1 m ile 0,2 m aralığında seçilir.

Tablo 14'de belirtilen aralıkta çöktürme bölgesi yüzey yükünü seçiniz.

Tablo 15'deki yüzey yükü (s) formülünü kullanarak çöktürme tankı yüzey alanını hesaplayınız.

Uzunluk/genişlik (L/W) oranını Tablo 14'de belirtilen aralıkta seçiniz.

Seçilen L/W oranını dikkate alarak tankın uzunluk ve genişliğini hesaplayınız.

Hesaplanan L ve W değerlerinin Tablo 14'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz. Tablo 14'de belirtilen aralıktan daha büyük L ve W değerleri var ise çöktürme tankı sayısını artırınız. L ve W değerlerinin Tablo 14'de belirtilen aralıkta olana kadar tank sayısını artırınız.

Tablo 14'de belirtildiği üzere çamur bölgesi yüksekliğini 0,6 m - 1 m aralığında seçiniz.

Tablo 14'de belirtilen aralıkta L/D oranını seçiniz. L/D oranını dikkate alarak çöktürme bölgesi yüksekliğini hesaplayınız. Çamur ve çöktürme bölgesi yüksekliklerinin toplamının Tablo 14'de belirtilen kenar su derinliği aralığında olduğunu kontrol ediniz.

Kenar su derinliği üzerinde 0,6 m hava payı bırakınız.

Belirlenen tank ebatları ile çöktürme tankı hacmini hesaplayınız. Çöktürme hacmini debiye bölerek temas süresini ($t = \frac{V}{Q}$) hesaplayınız. Temas süresinin Tablo 14'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz. Su sıcaklığının ≤ 10 °C olması durumunda temas süresinin 6-8 saat aralığında olması tavsiye edilmektedir.

Tablo 15'deki yatay akış hızı (v) formülünü kullanarak yatay akış hızını hesaplayınız ve Tablo 14'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 15'deki Froude sayısı (Fr) formülünü kullanarak Froude sayısını hesaplayınız ve Tablo 14'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 15'deki Reynolds sayısı (NRe) formülünü kullanarak Reynolds sayısını hesaplayınız ve Tablo 14'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 14'de belirtilen aralıkta savak uzunluğunun tank uzunluğuna oranını seçiniz ve savak uzunluğunu hesaplayınız. Savak uzunluğunu tank genişliğine bölerek savak sayısını belirleyiniz.

Debiyi savak uzunluğuna bölerek savak yükünü hesaplayınız ve Tablo 14'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 14'de belirtilen aralıkta çamur bölgesi eğimini ve çamur sıyrıcı hızını seçiniz.

Şekil 7 - Dikdörtgen Çöktürme (Durultucu) Ünitesi Tasarım Esasları

2) Çamur yataklı çöktürme tanklarının tasarımı:

Tablo 16 - Çamur yataklı durultucu tanklarının boyutlandırma kriterleri

Parametre	Değer
Yumaklaşma süresi	20 dakika
Çökme süresi	1-2 saat
Yüzey yükü	48-72 m ³ /m ² .gün
Savak yükü	175,2-360 m ³ /m.saatt
Yukarı akış hızı	<10 mm/dk
Çamur sirkülasyon hızı	Hamsu giriş hızının 3-5 katı
Kenar su derinliği	4,5-5 m
Çamur seviyesi	Normal su seviyesinin 1,25-2 m altında
Koni altındaki yükseklik	0,6-1 m
Çamur yatağı yüksekliği	2,15-2,25 m
Koni üstündeki su yüksekliği	1,25-2,25 m (optimum 1,75 m)

Trident yapısı ile su tabana çarptırılarak tanka verilmektedir.

Tablo 16'da belirtilen aralıkta temas süresini seçiniz ve $V = Q \cdot t$ formülü ile tank hacmini hesaplayınız.

Tablo 16'da belirtilen aralıkta çöktürme bölgesi yüzey yükünü seçiniz.

Tablo 15'deki yüzey yükü (s) formülünü kullanarak çöktürme tankı yüzey alanını hesaplayınız.

Tank hacmini yüzey alanına bölerek kenar su derinliğini hesaplayınız ($H = \frac{Q}{LW}$) ve derinliğin Tablo 16'da belirtilen kenar su derinliği aralığında olduğunu kontrol ediniz. Derinliğin istenilen aralıkta olmaması halinde yüzey yükünü yeniden seçerek derinliğin Tablo 16'da belirtilen aralıkta olmasını sağlayınız.

Suyun yukarı akış hızını, kenar su yüksekliğinin temas süresine bölünmesi ile hesaplayınız ($v = \frac{H}{t}$) ve Tablo 16'da belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Çamur konisi altındaki yüksekliği, Tablo 16'da belirtildiği üzere 0,6 m -1 m aralığında seçiniz.

Çamur yatak yüksekliğini, Tablo 16'da belirtildiği üzere 2,15-2,25 m aralığında seçiniz.

Çamur seviyesinin üzerinde duru su yüksekliğini Tablo 16'da belirtildiği üzere 1,25-2 m aralığında seçiniz.

Çamur konisi altındaki yükseklik, çamur yatak yüksekliği ve çamur seviyesinin üzerindeki duru su yüksekliği toplamı kenar su yüksekliği ile eşit olmalıdır. Eşit değil ise yükseklik seçimlerini Tablo 16'da belirtilen aralıklarda yeniden seçiniz.

Kenar su derinliği üzerinde 0,6 m hava payı bırakınız.

Duru su toplama savak yükünü, Tablo 16'da belirtilen aralıkta seçiniz ve savak uzunluğunu debinin savak yüküne bölünmesi ile hesaplayınız.

Şekil 8 - Çamur Yataklı Çöktürme (Durultucu) Ünitesi Tasarım Esasları

3) Lamelli (Plakalı) çöktürme tanklarının tasarımı:

Tablo 17 - Lamelli durultucu tanklarının boyutlandırma kriterleri

Parametre	Değer
<i>Giriş Bölmesi</i>	
Düfüzör duvarına mesafe	≤ 2 m
Düfüzör delik çapı	0,1-0,2 m
<i>Çökme bölümü</i>	
Yüzey yükü	60-180 m ³ /m ² .gün
<i>Kenar su derinliği</i>	
Uzunluk	≤ 60 m
Genişlik	6-24 m
Derinlik	4,5-5,5 m
Temas süresi	≤ 60 dakika
Lamel yüksekliği	0,5-2 m
Lamel hacmi/tank hacmi	$< 0,75$
Levha açısı	$\geq 55^\circ$
Tüp açısı	$\geq 60^\circ$
Tüpün hidrolik çapı	0,05-0,08 m
Tüpteki su hızı	0,0025-0,0033 m/s
Yaklaşım hızı	0,010 m/s
Tüplerin altındaki derinlik	2 m
Reynolds sayısı	< 50
Froude sayısı	$\geq 10^{-5}$
Oluk uzunluğu	Tank uzunluğuna eşit
Olukların aralıkları	1,5 m
Olukların konulduğu irtifa	Tüp veya levhaların 0,6-1 m yukarısında
Oluk yükü	< 300 m ³ /m.gün
Derinlik	0,6-1 m
Eğim	1:600 (mekanik temizleme) 1:100-1:200
Çamur sıyrıcı hızı	0,3-0,9 m/dk

Su giriş yapısı ile çöktürme bölgesine suyu dağıtacak olan difüzör duvarı arasındaki mesafe Tablo 17'de belirtildiği üzere ≤ 2 m olarak seçilir.

Difüzör duvarı üzerindeki orifislerin çapları 0,1 m ile 0,2 m aralığında seçilir.

Tablo 17'de belirtilen aralıkta çöktürme bölgesi yüzey yükünü seçiniz.

Tablo 15'deki yüzey yükü (s) formülünü kullanarak çöktürme tankı yüzey alanını hesaplayınız.

Hesaplanan tank yüzey alanını sağlayacak olan uzunluk ve genişlik değerlerini Tablo 17'de belirtilen aralıklarda seçiniz. Uzunluk ve genişlik değerlerinin Tablo 17'de belirtilen aralıklardan büyük olması halinde tank sayısını artırınız. L ve W değerleri, Tablo 14'de belirtilen aralıkta olana kadar tank sayısını artırınız.

Tanktaki temas süresini Tablo 17'de belirtilen aralıklarda seçiniz ve tank hacmini $V=Q.t$ formülü ile hesaplayınız.

Tank hacmini yüzey alanına bölerek kenar su derinliğini hesaplayınız ($H = \frac{Q}{L.W}$) ve derinliğin Tablo 17'de belirtilen kenar su derinliği aralığında olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 17 belirtilen aralıklarda lamel yüksekliği, lamel hacmi/tank hacmi, levha açısı ve tüp açısını seçiniz.

Tüpün hidrolik çapını hesaplayınız ve Tablo 17'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tüpteki su hızını hesaplayınız ve Tablo 17'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Yaklaşım hızını hesaplayınız ve Tablo 17'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tüplerin altındaki derinlik değerini, Tablo 17'de belirtilen 2 m değerinde seçiniz.

Su sıcaklığının ≤ 10 °C olması durumunda temas süresi 90-120 dakika aralığında seçilebilir ve düşük bulanıklık değerlerinde çamur geri devri yapılabilir.

Tablo 15'deki Froude sayısı (Fr) formülünü kullanarak Froude sayısını hesaplayınız ve Tablo 17'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 15'deki Reynolds sayısı (NRe) formülünü kullanarak Reynolds sayısını hesaplayınız ve Tablo 17'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tüp veya levhaların 0,6 m-1 m yukarısına, su toplama olukları yerleştiriniz.

Tablo 17'de belirtilen aralıkta oluk uzunluğunu seçiniz. Oluk uzunluğunu tank genişliğine veya uzunluğuna bölerek oluk sayısını belirleyiniz. Oluklar arasındaki mesafe 1,5 m civarında olması önerilmektedir.

Debiyi oluk uzunluğuna bölerek oluk yükünü hesaplayınız ve oluk yükünün Tablo 17'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 17'de belirtilen aralıkta çamur bölgesi derinliğini, eğimini ve çamur sıyrıcı hızını seçiniz.

Şekil 9 - Lamelli Çöktürme (Durultucu) Ünitesi Tasarım Esasları

FİLTASYON (HIZLI KUM FİLTRELERİ): Küçük tesisler için ($<8,000 \text{ m}^3/\text{gün}$), minimum filtre sayısı ikidir. $8,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve daha büyük kapasiteli tesisler için, minimum filtre sayısı dördür. Dört (4) adet filtre tasarlanması halinde azalan debili veya sabit seviyeli filtre olarak sistemin işletilmesi önerilmektedir. Geri yıkama haznesi en az 2 adet filtreyi yıkayacak şekilde tasarlanmalıdır. Filtre temizleme işleminde hava, hava+ su ve su ile yapılmalıdır. Hava+su aşamasında 1 pompa ve hava kesildikten sonra da 1 pompa daha devreye alınarak geri yıkama yapılmalıdır. Geri yıkama blower ve pompalarının en az 1 adet yedeği olmalıdır. Hava blower ve geri yıkama pompaları devreye kademeli olarak girmelidir. Böylece, nozul ve taban sisteminin zarar görmesi engellenebilir.

Filtre tabanında $25-75 \text{ adet/m}^2$ nozul kullanılabilir. Yıkama oluğun derinliği $0,15-0,3 \text{ m}$ emniyet payı ilave edilerek tahmin edilebilmektedir. Hava hattı kırmızı, çıkış borusu (geri yıkama / temiz su) koyu mavi, temiz su bağlantı hattı koyu mavi, temiz su kollektör mavi, geri yıkama iletim hattı açık mavi, kirli su hattı kahverengi ve tahliye hattı yeşil renkli olarak gösterilmesi hatların görsel olarak tanımlanması için uygun bir alternatiftir.

Filtre yatak yüksekliği (L) ile filtre mazemesinin efektif çapı (d) arasındaki orana göre filtre malzemesi ve yatak yüksekliğinin belirlenmesi son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır.

Filtre yapısının derinliği, alt drenaj sistemi, filtre malzeme ortamı ve yük kaybına olanak sağlamak için 4 ila 8 m aralığındadır. İnşaa maliyetleri sebebiyle, filtre tasarımları nadiren filtre yatağı boyunca mevcut yük kaybının 2 ila 3 m'den daha çok olmasına olanak sağlar. Deneyimler göstermiştir ki net yük kaybı iyi koşullardaki yumak ve iki tabakalı (ortamlı) filtreler için 1,8 m'nin ve kötü koşullardaki yumaklar için 0,8 m'nin üzerinde olursa çıkış bulanıklık değeri artmaya başlar.

Tablo 18 - Farklı işletme modları için ön arıtma koşulları

İşletme Modu	Ön Arıtma Koşulları
Konvansiyonel filtrasyon	Alüm veya demir klorür ve polimerle koagülasyonu takiben flokülasyon ve çöktürme. 1000 NTU'ya kadar olan bulanıklıkları giderebilir.
Doğrudan filtrasyon	Alüm veya demir klorür ve polimerle koagülasyonu takiben flokülasyon (çöktürme olmadan) 15 NTU'dan daha az bulanıklığı olan ham sularla sınırlıdır.
Boru içi filtrasyon	Alüm veya demir klorür ve polimerle koagülasyon. Flokülasyon rastgele olabilir. 10 NTU'dan daha az bulanıklıklarla sınırlıdır.

Tablo 19 – Yer çekimiyle çalışan hızlı kum filtreleri için tavsiye edilen boyutlar

Parametre	Değer	Yorum
Filtre alanı	$25 - 100 \text{ m}^2$	Çok büyük tesislerde en fazla 200 m^2
Hücre genişliği	$\leq 6 \text{ m}$	"kullanıma hazır" oluklar için
L:W oranı	$2:1 - 4:1$	
Derinlik	$4-8 \text{ m}$	Taban drenajı için boşluk bırakılmalı
Su derinliği	$\geq 1,8 \text{ m}$	
Su kanalı		
-Genişlik	$0,4-2 \text{ m}$	
-Derinlik	Malzemenin üst noktası ile drenaj tabanı arasında değişim gösterir.	Yıkama kanalı tabanından ölçülür.

Tablo 20 - Tek malzemeli filtrelerin tasarım kriterleri

Parametre	Değer
<i>Sadece kum</i>	
Etkili Çap	0.35– 0.7 mm
Üniformluk katsayısı	1.3–1.8
Şekil faktörü (ϕ)	0.7– 0.95
Porozite	0.4– 0.47
Spesifik gravite	2.65 g/cm ³
Malzeme derinliği	0.6– 0.75 m
Filtrasyon hızı	5–12 m/sa
Geri yıkama hızı	30–60 m/sa
Geri yıkama süresia	10–20 dk
Hava ile yıkama	Kademeli veya özel kademeli
<i>Sadece antrasit kömür</i>	
Etkili Çap	0.70– 0.75 mm
Üniformluk katsayısı	1.3–1.8
Şekil faktörü (ϕ)	0.46–0.73
Spesifik gravite	1.45–1.75 g/cm ³
Porozite	0.53–0.60
Malzeme derinliği	0.6–0.75 m
Filtrasyon hızı	5–12 m/sa
Geri yıkama hızı	37– 45 m/sa
Geri yıkama süresia	10–20 dk
<i>Drenaj sistemi</i>	
-Yatay borular	Evet
-Blok	Evet
-Hava ile yıkama	Hayır
Hava ile yıkama	Kademeli veya özel kademeli

Tablo 21 - İki malzemeli filtrelerin tasarım kriterleri

Parametre	Değer
<i>Üstte antrasit kömür</i>	
Etkili Çap	0.9–1.4 mm
Üniformluk katsayısı	1.3–1.8
Şekil faktörü (ϕ)	0.46–0.73
Porozite	0.53–0.60
Spesifik gravite	1.45–1.75 g/cm ³
Malzeme derinliği	0.4–0.6 m
<i>Tabanda kum</i>	
Etkili Çap	0.35–0.7 mm
Üniformluk katsayısı	1.3–1.8
Şekil faktörü (ϕ)	0.7–0.95
Porozite	0.4–0.47
Spesifik gravite	2.65 g/cm ³
Malzeme derinliği	0.3–0.75 m
Filtrasyon hızı	7–20 m/sa
Geri yıkama hızı	30–60 m/sa
Geri yıkama süresi	10–20 dk
<i>Drenaj sistemi</i>	
-Yatay borular	Evet
-Blok	Evet

Parametre	Değer
-Hava ile yıkama	Hayır – Eğer toplam malzeme derinliği $\leq 0,75$ m
Hava ile yıkama	$0.6-1.5 \text{ m}^3/\text{dk.m}^2$ – Eğer toplam malzeme derinliği > 1 m

Tablo 22 - Üç malzemeli filtrelerin tasarım kriterleri

Parametre	Değer
<i>Üstte antrasit kömür</i>	
Etkili Çap	0.9–1.4 mm
Üniformluk katsayısı	1.4–1.75
Şekil faktörü (σ)	0.46–0.73
Porozite	0.53–0.60
Spesifik gravite	$1.45-1.75 \text{ g/cm}^3$
Malzeme derinliği	0.4–0.5 m
<i>Ortada kum</i>	
Etkili Çap	0.45–0.55 mm
Üniformluk katsayısı	1.4–1.65
Şekil faktörü (σ)	0.7–0.95
Porozite	0.4–0.47
Spesifik gravite	2.65 g/cm^3
Malzeme derinliği	0.15–0.3 m
<i>Tabanda garnet</i>	
Etkili Çap	0.20–0.35 mm
Üniformluk katsayısı	1.2–2.0
Şekil faktörü (σ)	0.6
Spesifik gravite	$3.6-4.2 \text{ g/cm}^3$
Malzeme derinliği	0.075–0.15 m
Filtrasyon hızı	10–25 m/sa
Geri yıkama hızı	37–45 m/sa
Geri yıkama süresi	10–20 dk
<i>Drenaj sistemi</i>	
-Yatay borular	Evet
-Blok	Evet
-Hava ile yıkama	Hayır – (toplam malzeme derinliği ≤ 0.75 m ise)
Hava ile yıkama	$0.6-1.5 \text{ m}^3/\text{dk.m}^2$ (toplam malzeme derinliği > 1 m ise)

Tablo 23 - Tek malzemeli derin yataklı filtrelerin tasarım kriterleri

Parametre	Değer
<i>Antrasit kömür</i>	
Etkili Çap	0.9–1.0 mm
Üniformluk katsayısı	1.4–1.7
Şekil faktörü (σ)	0.46–0.73
Spesifik gravite	$1.45-1.75 \text{ g/cm}^3$
Porozite	0.53–0.60
Malzeme derinliği	0.9–1.8 m
Filtrasyon hızı	10–25 m/sa
Geri yıkama hızı	37–45 m/sa
Geri yıkama süresia	15 dk
<i>Drenaj sistemi</i>	
-Yatay borular	Hayır

Parametre	Değer
-Blok	Evet
-Hava ile yıkama	Evet
Hava ile yıkama	0.6-1.5 m ³ /dk.m ²

Tablo 24 - Yıkama kanalı tasarım kriterleri

Parametre	Değer
Uzunluk	≤ 6 m
Aralık	Partikül taşıma mesafesi ≤ 1 m
Savak kenar yüksekliği	
-Kum filtre	Genişleme + Kanal derinliği + (0,15 ile 0,30 cm)
-Antrasit	1,1 m – 1,2 m
Hava payı	5 cm
Kurulum	Savak seviyesi

Tablo 25 - Boru ve filtre kanalları için yaklaşık akış hızları

Kanal veya boru tipi	Hız (m/sn)
Floklu su taşıyan giriş kanalı	0.3 – 0.6
Filtre edilmiş su taşıyan çıkış kanalı	0.9 – 1.8
Temiz yıkama suyu taşıyan geri yıkama suyu kanalı	2.4 – 3.5
Kullanılmış yıkama suyu taşıyan geri yıkama suyu kanalı	1.2 – 2.4
Filtre atık bağlantıları	3.6 – 4.6

Tablo 26 - Filtre malzemelerinin tipik özellikleri

Özellik	Antrasit kömürü	Granüler aktif karbon	Lal taşı	İlmenit	Kum
Etkin boyut (mm)	0.45–0.55 ^a 0.8–1.2 ^b	0.8–1.0	0.2–0.4	0.2–0.4	0.3–0.6
Üniformluk katsayısı	≤1.65 ^a ≤1.85 ^b	1.3–2.4	1.3–1.7	1.3–1.7	1.3–1.8
Sertlik (Moh)	2–3	Çok düşük	6.5–7.5	5–6	7
Porozite	0.5–0.6	0.50	0.45–58	UD*	0.40–0.47
Özkütle	1.5–1.75	1.3–1.7	3.6–4.2	4.2–5.0	2.55–2.65
Küresellik	0.46–0.60	0.75	0.60	UD	0.7–0.8

a tek başına kullanıldığında

b çift yataklı filtrelerde üst katmanda kullanıldığında

* Uygulanabilir değil

Tablo 27 - Etkili ebatların bir fonksiyonu olarak önerilen malzeme derinlikleri

Malzeme derinliği (L) Etkili ebat (d) veya L/d	Uygulamalar
1,000	Sıradan tek tabakalı kum ve çift tabakalı yataklar
1,250	Tipik üç tabakalı yataklar (kömür, kum ve garnet)
1,250-1,500	Kaba, derin, tek ortamlı (tabakalı) yataklar (E= 1.2 ila 1.4 mm)
1,500-2,000	Çok kaba, tek ortamlı (tabakalı) yataklar (E= 1.5 ila 2.0 mm)

Örnek olarak 1 mm efektif dane çapına sahip 0,60 m yüksekliğinde antrasit ile 0,5 mm efektif dane çapına sahip 0,30 m yüksekliğinde kumdan oluşan çift tabakalı filtre için L/d oranı $(600/1)+(300/0,5)=1200$ 'dür. Bu değer >1000 olduğu için uygundur.

Tablo 28 - Hızlı kum filtresi tasarımı için gerekli parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller

Parametre	Formül	Açıklama
Filtre sayısı (N)	$N = 0,0195 \cdot Q^{1/2}$	N: Filtrelerin sayısı, adet Q: Maksimum tasarım debisi, m ³ /gün
Filtre Yatak alanı (A)	$A = \frac{Q}{N \cdot q}$	A: Filtre yatak alanı, m ² Q: Maksimum günlük debi, m ³ /gün N: Filtre sayısı, adet q: Filtrasyon hızı, m ³ /gün.m ²
Hidrolik yarıçap (R)	$R = \frac{B \cdot H}{2H + B}$	R: Hidrolik yarıçap, m B: Kanal genişliği, m H: Kanaldaki su yüksekliği, m
Hidrolik yarıçapın boru çapına dönüşümü	$D = 4 \cdot R$	R: Hidrolik yarıçap, m D: Boru çapı, m
Kanaldaki su hızı (vk)	$v_k = \frac{Q}{\pi \cdot 4 \cdot R^2}$	vk: Kanalda su hızı, m/s Q: Debi, m ³ /s R: Hidrolik yarıçap, m
Porozite (ε)	$\varepsilon = \frac{V_v}{V_T} = \frac{V_T - V_{Ml}}{V_T}$	ε: Porozite birimsiz Vv: Yatak içindeki boşluk hacmi, m ³ , VT: Toplam yatak hacmi, m ³ , VM: Yatağın boşluksuz yani malzeme hacmi, m ³ .
Temiz filtre yatağı yük kaybı (h)	$\frac{h}{L} = \frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)^2}{\rho \cdot g \cdot \varepsilon^3} \cdot \frac{v_a}{(\phi \cdot d)^2} + 1,75 \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{v_a^2}{\phi \cdot d \cdot g}$	d: Dane çapı, m g: Yerçekimi ivmesi, 9.81 m/sn ² h = yük kaybı (m) L: Filtre yatağının derinliği, m ε = Porozite μ Viskozite (kg/m.sn) ρ = Suyun yoğunluğu, 1000 kg/m ³ g: Yerçekimi ivmesi, 9.81 m/sn ²

Parametre	Formül	Açıklama
		ϕ = Parçacık şekil faktörü (küresel parçacıklar için 1.0; yuvarlak kum için 0.82; ortalama kum için 0.75; kırılmış kömür ve kum için 0.73) va: Filtre hızı, m/sn
Geri yıkama genleşme oranı (ϵ_e)	$\epsilon_e = \left(\frac{v_b}{v_s}\right)^{0.2247 \cdot N_{Re}^{0.1}}$	ϵ_e : Geri yıkama genleşme oranı vb: Geri yıkama hızı, m/sn NRe: Reynolds sayısı, boyutsuz vs: Daneciğin çökelme hızı, m/sn
Reynolds	$N_{Re} = \frac{v_s \cdot d_{60}}{\nu}$	NRe: Reynolds sayısı, boyutsuz vs: Daneciğin çökelme hızı, m/sn ν : Kinematik viskozite, m ² /sn d: Danelerin %60'ının geçtiği elek çapı, m
İki tabakalı filtrelerde filtre malzeme çapları oranları(d1/d2)	$\frac{d_1}{d_2} = \left[\frac{\rho_2 - \rho}{\rho_1 - \rho} \right]$	d1: Hafif malzemenin çapı, m d2: Yoğun malzemenin çapı, m ρ_1 : d1 çaplı malzemenin yoğunluğu, kg/m ³ ρ_2 : d2 çaplı malzemenin yoğunluğu, kg/m ³ ρ : Suyun yoğunluğu, 1000 kg/m ³
Geri yıkama süresince oluşan yük kaybı (hL)	$h_L = \frac{L \cdot (1 - \epsilon) \cdot (\rho_g - \rho)}{\rho}$	hL: Geri yıkama süresince oluşan yük kaybı, m L: Filtre yatak yüksekliği, m ϵ : Porozite, % ρ_g : Filtre malzemesinin yoğunluğu, kg/m ³ ρ : Suyun yoğunluğu, 1000 kg/m ³
Filtre malzemesi çökelme hızı (vs)	$v_s = \left[\frac{4g \cdot d \cdot (\rho_g - \rho)}{3 \cdot C_D \cdot \rho} \right]^{1/2}$	vs: Filtre malzemesinin çökelme hızı, m/sn ρ_g : Filtre malzemesinin yoğunluğu, kg/m ³ ρ : Suyun yoğunluğu, 1000 kg/m ³ g: Yerçekimi ivmesi, m/sn ² CD: Sürtünme katsayısı d: Filtre malzemesinin efektif çapı, m

Filtrasyon türünü Tablo 18'de belirtilen bulanıklık değerlerini dikkate alınarak konvansiyonel, direkt veya boru içi filtrasyon olarak belirleyiniz.

Filtre yatak (tabaka) türünü aşağıdaki tavsiyelere göre seçiniz.

Flokların çökmesinin güç olduğu sularda ve kısa sürede hızlı değişikliklere sebep olan mevsimsel taşkınların olduğu nehir sularında üç tabakalı (üç farklı malzemeli) filtreler tavsiye edilmektedir.

Ham su kaynağı büyük göl veya baraj olan su kaynaklarında çift ya da çoklu tabakalı filtreler önerilmektedir.

Su kaynağının özellikleri zamanla oldukça yavaş değişiyorsa ve kimyasal ile şartlandırma değişimlerine uyum gösterebiliyorsa tek tabakalı filtereler tercih edilir.

Tablo 28'de belirtilen filtre sayısı (N) formülü ile filtre sayısını belirleyiniz.

Filtre sayısı ≤ 4 adet ise sabit seviyeli filtre işletimi yapılabilir.

Filtre sayısı ≥ 4 adet ise sabit seviyeli veya azalan debili filtre işletimi yapılabilir.

Filtre malzemesi türünü dikkate alarak Tablo 20 veya Tablo 21 veya Tablo veya Tablo 23'de belirtilen aralıklarda filtre hızını seçiniz.

Tablo 28'de belirtilen filtre yatak alanı (A) formülünü kullanarak filtre yatak alanını hesaplayınız.

Hesaplanan filtre yatak alanının Tablo 19'da verilen aralıkta olup olmadığını kontrol ediniz.

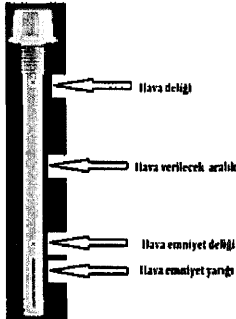
Tablo 19'da tavsiye edilen filtre yatak alanının uzunluk ve genişlik oranları dikkate alarak uzunluk ve genişlik değerlerini belirleyiniz.

Filtre yatağı üzerindeki su yüksekliğini $\geq 1,8$ m olarak seçiniz.

Filtre drenaj tabakası ile filtre tabanı arasındaki boşluk mesafesini 45 cm - 90 cm aralığında seçiniz.

Filtre taban sisteminde kullanılacak nozul sayısını nozul özellikleri dikkate alınarak 25 -75 adet arasında belirleyiniz.

Filtre geri yıkama oluğunu Tablo 24'de belirtilen yıkama kanalı tasarım kriterlerini dikkate alarak tasarlayınız.



Filtreye hava, filtre nozul plakasının hemen altından verilir. Nozul üzerinde bulunan en üstteki orifis ile bir alttaki orifis aralığında hava yastığı oluşturulur Hava yastığı oluştuğunda öncelikle nozulun üst kısmındaki orifisten hava nozula giriş yapmaktadır. Hava yastığının artması ile bir altta yer alan orifisten de hava girişi başlamaktadır. Hava yastığının daha fazla oluşması ile nozul üzerinde bulunan hava emniyet yarıklarından da hava girişi olmaya başlayacaktır.

1

Su kaynağı özelliklerine bağlı olarak seçilen filtre yatak türü (tek tabakalı, çift tabakalı, üç tabakalı veya derin filtrasyon) için tavsiye edilen filtre malzemesi çapı, yatak derinliği, şekil faktörü, uniformluk katsayısı, geri yıkama süresi, hava ile aşındırma hızı vb. tasarım parametrelerini uygun tablodan (Tablo 20, Tablo 21, Tablo 26) seçiniz. Örnek: Konvansiyonel filtrasyon ve iki tabakalı filtre için Tablo 21 ve Tablo 26'da belirtilen veriler dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır.

İki tabakalı filtrelerde Tablo 28'deki filtre malzeme çapları oranları (d_1/d_2) formülü ile filtre malzeme çaplarını hesaplayınız. İki tabakadan fazla tabakalı filtrelerde de ardışıl yerleştirilen filtre malzemelerinin çapları arasındaki oran aynı formül ile hesaplanabilir.

Hesaplanan malzeme çaplarının Tablo 20, Tablo 21, Tablo 23 ve Tablo 26'da belirtilen aralıklarda olduğunu kontrol ediniz.

Filtre yatak yüksekliği ile filtre malzemesi çapı arasındaki oranı (L/d) hesaplayınız ve Tablo 27'de belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Tablo 28'deki porozite (ε) formülü ile poroziteyi hesaplayınız ve porozite değerinin filtre tabaka türüne göre uygun tabloda (Tablo 20, Tablo 21, Tablo 23 ve Tablo 26) belirtilen aralıkta olduğunu kontrol ediniz.

Filtre malzemesinin çökme hızını (v_s) deneysel olarak veya Tablo 28'deki filtre malzemesi çökme hızı formülü ile hesaplayınız.

Geri yıkamada filtre genişleme oranını seçerek (%15-%75 ve ortalama %30) filtre geri yıkama hızını (v_b) Tablo 28'deki geri yıkama genişleme oranı formülü ile hesaplayınız.

Hesaplanan filtre geri yıkama hızının filtre tabaka türüne göre uygun tabloda (Tablo 20 veya 21)

Filtrelere su taşıyan kanalın genişliğini Tablo 19'da tavsiye edilen aralıkta seçiniz. Tablo 28'de belirtilen kanaldaki su hızı (v_k) formülü ile su hızını hesaplayınız ve su hızının uygunluğunu Tablo 25'i dikkate alarak kontrol ediniz.

Filtrelere geri yıkama suyunu taşıyan kanalın genişliğini Tablo 19'da tavsiye edilen aralıkta seçiniz. Tablo 28'de belirtilen kanaldaki su hızı (v_k) formülü ile su hızını hesaplayınız ve su hızının uygunluğunu Tablo 25'i dikkate alarak kontrol ediniz.

Tablo 28'deki temiz filtre yük kaybı (h) formülü ile yük kaybını hesaplayınız.

Toplam filtre yüksekliği 4 - 8 m aralığında olmalıdır. Filtre yüksekliğini dikkate alarak filtrede kirlenme sonucu müsaade edilecek maksimum yük kaybını filtre tabaka türüne göre 1,5 m ile 3,0 m aralığında seçiniz. Seçilen yük kaybı değerinden temiz filtre yük kaybını çıkarınız. Böylece, maksimum kirlenme yük kaybını belirleyiniz.

Filtre performansını belirleyebilmek için filtre yatağı boyunca farklı seviyelerde yük kaybı değişimlerini online olarak analiz ediniz.

Filtre performansının belirlenmesi için filtre giriş ve çıkışında bulanıklık ile partikül ebat analizörü kullanınız.

Şekil 10 - Filtrasyon Ünitesi Tasarım Adımları

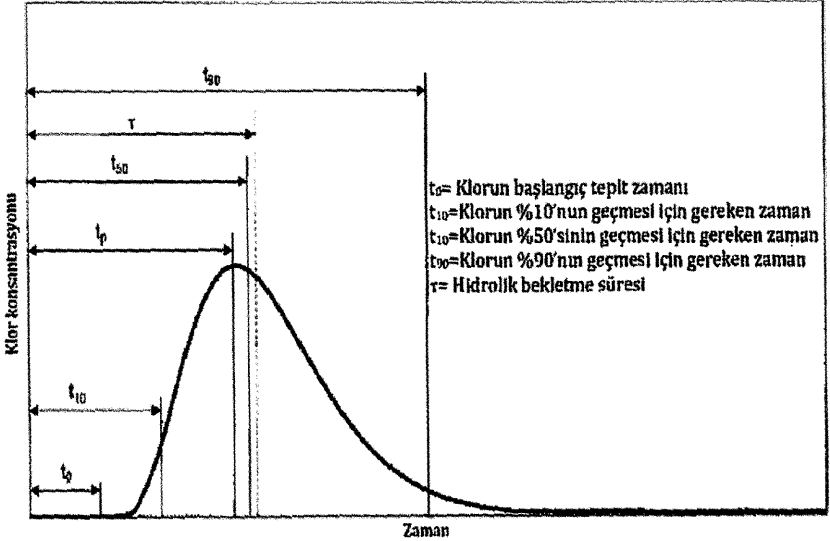
Tablo 29 - Geri yıkama sistemlerinin tasarım kriterleri

Parametre	Geri Yıkama Suyu	Döner-Kollu Yüzey Yıkama	Havayla Temizlik
Filtre Birim Yüzey Alanı Başına Akış Hızı (Hız)	(12 – 24 gpm/ft ²) 30 – 60 m/sa	(0,5 – 0,7 gpm/ft ²) 1,2 – 1,8 m/sa	(14 – 28 gpm/ft ²) 36 – 72 m ³ /m ² h
Basma Yüksekliği veya Basınç	8 – 10 m (26 – 33 ft)	5 – 7 bar (73 – 100 psi)	0,3 – 0,5 bar (4,3 – 7,3 psi)
Geri Yıkama Süresi	10 – 15 dak	4 – 8 dak	4 – 8 dak

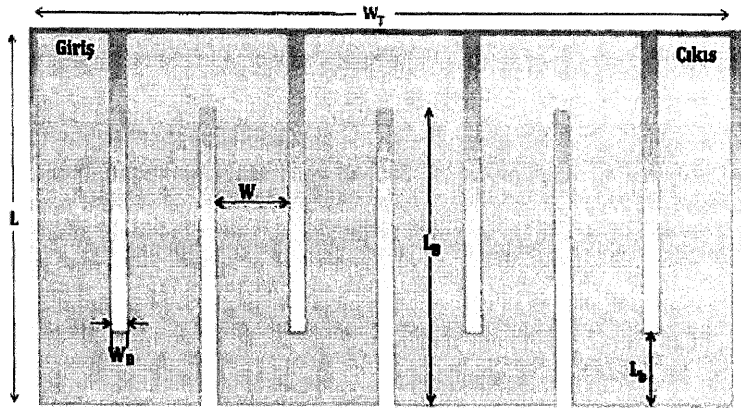
DEZENFEKSİYON

Tablo 30 - Farklı temas tankı tasarımlarında ara bölme durumuna göre dezenfektanın etkinliği

Perde (bölme) durumu	T10/T	Perde (bölme) açıklaması
Perde yok	0.1	Tank içerisinde herhangi bir bölme perdesi yok, uzunluğun genişliğe oranı çok düşük, yüksek giriş ve çıkış hızları
Kötü	0.3	Tek veya çok perdesiz giriş, tank içerisinde herhangi bir bölme perdesi yok.
Orta	0.5	Tank içerisinde birkaç bölme perdesi var, tankın giriş ve çıkışında bölme perdesi var.
İyi	0.7	Delikli giriş perdesi, serpantin veya delikli ara bölmeli iç perdeler ve çıkış savakları veya olukları tankta mevcuttur.
Mükemmel (piston akım)	1.0	Genişliğe göre oldukça fazla uzunluk, delikli giriş, çıkış ve çok sayıda ara bölmeli perdeleri içeren bir tank, temas süresi teorik bekleme süresine eşittir.



Şekil 11 - Klorun temas tankından geçmesi



Şekil 12 - Şaşırtma perdeli klor temas tankı

Tablo 31- Şaşırtmalı temas tankı boyutlandırma kriterleri

Parametre	Değer	Tavsiye edilen değer
Temas süresi	30-120 dakika	60 dakika
Temas tankı toplam akış uzunluğunun (LT) tankın genişliğine (W) oranı	≥ 40	40
Temas tankı yüksekliğinin (h) tankın genişliğe (W) oranı	1-3	2
Temas tankı perde açıklığının (Lb) temas tankı uzunluğuna (L) oranı	≤ 0.5	≤ 0.5
Temas tankı perde açıklığının (Lb) tankın genişliğine (W) oranı	0.9-1	≈ 1
Giriş – çıkış borularında hız	0,6 – 2 m/sn	1 m/sn

Tablo 32 - Temas tankı tasarımı için gerekli parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller

Parametre	Formül	Açıklama
Temas tankı hacmi (V)	$V = Q \cdot t$	V: Temas tankı hacmi, m^3 Q: Debi, m^3/sn t: Temas süresi, sn
Temas tankı yüksekliğinin (h) tankın genişliğine (W) oranı	$\frac{h}{W} = 1 - 3$	h: Temas tankı yüksekliği, m W: Temas tankı genişliği, m
Temas tankı toplam akış uzunluğunun (LT) tankın genişliğine (W) oranı	$\frac{L_t}{W} \geq \frac{40}{1}$	LT: Temas tankı toplam akış uzunluğunun, m W: Temas tankı genişliği, m
Temas tankı genişliği hesabı (W)	$V = h \cdot W \cdot L_T$	h: Temas tankı yüksekliği, m W: Temas tankı genişliği, m LT: Temas tankı toplam akış uzunluğunun, m

Parametre	Formül	Açıklama
	$W = \frac{V}{h.L}$ $= \frac{V}{(1 \text{ veya } 3)W.40W}$ $W^3 = \frac{V}{(1 \text{ veya } 3).40}$	

Tablo 31'de belirtilen aralıkta temas süresini seçiniz.

Tablo 32'de verilen hacim formülü ile klor temas tankı hacmini hesaplayınız.

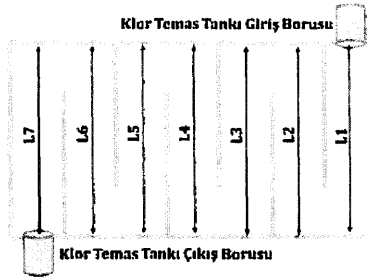
Klor temas tankı su yüksekliği/genişliği (h/W) oranını Tablo 32'de verilen aralıkta seçiniz.

Klor temas tankı uzunluğu/genişliği (LT/W) oranını Tablo 31'de belirtilen kritere uygun olacak şekilde seçiniz (Genellikle $\frac{LT}{W} = \frac{40}{1}$ olarak seçilmektedir)

Tablo 32'deki temas tankı genişliği hesabı (W) formülü ile klor temas tankı genişliğini hesaplayınız.

Hesaplanan genişlik değerini daha önceden oranları seçilen h/W ve LT/W formüllerinde yerine koyarak klor temas tankındaki su yüksekliğini ve tank uzunluğunu hesaplayınız.

Klor temas tankı alanı dikkate alınarak, aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere perdeler vasıtasıyla gerekli uzunluk daha kısa bir mesafede sağlanabilir. Aşağıdaki örnekte uzunluğun sağlanması için 6 adet perde kullanılmıştır. Sonuçta toplam uzunluk, 7 kanalının uzunluğunun ($LT=L1+L2+L3+L4+L5+L6+L7$) toplamı kadardır. Perdeler arasındaki mesafe klor temas tankı genişliği (W) kadardır. Perde sayısı, bir kanalın uzunluğuna bağlı olarak aşağıdaki örnek çizimden fazla veya az olabilir.



Tablo 31'de verilen aralıkta Lb/W oranını seçerek perde açıklığını hesaplayınız.

Hesaplanan perde açıklığı değerini bir kanalın uzunluğundan (L1) çıkararak perde uzunluğunu hesaplayınız.

Şekil 13 - Dezenfeksiyon Ünitesi Tasarım Adımları

Tablo 33 - En yaygın kullanılan beş dezenfektanın karakteristik özellikleri

Dezenfeksiyon etkinliği	Dezenfektan				
	Serbest klor	Bağlı klor	Klor dioksit	Ozon	Ultraviyole ışık
Bakteriler	Mükemmel	İyi	Mükemmel	Mükemmel	İyi
Virüsler	Mükemmel	Uygun	Mükemmel	Mükemmel	Uygun
Protozoa	Uygun - zayıf arası	Zayıf	İyi	İyi	Mükemmel
Endosporlar	İyi - zayıf arası	Zayıf	Uygun	Mükemmel	Uygun
Kalıntılarla ilgili müsaade edilen değerler	4 mg/L	4 mg/L	0,8 mg/L	—	—
<i>Kimyasal yan ürün oluşması</i>					
Yan ürünler	4 THM(a) ve 5 HAA(b) oluşturur	Eser miktarda THM ve HAA, Siyanojen halojenürler, NDMA	Klorür Klorat	Bromat, Biyolojik-bozunan organik karbon	Yok
Uygulama dozu, mg/L (kg/ml)	1 – 6	2 – 6	0,2 – 1,5	1 – 5	20 – 100 mJ/cm ²
Uygulama dozu, lb/MG	8–50	17–50	2–13	8–42	—
Kimyasal Kaynak	Teslimat: vagon tankerler içinde sıvı olarak, 1 ton ve 68 kg (150 lb) silindirler halinde veya sıvı ağartıcı olarak. Kullanıldığı işletmede tuz ve sudan elektroliz yoluyla üretim. Kalsiyum hipoklorit tozu çok küçük ölçekli uygulamalar için kullanılır.	Aynı klor kaynakları. Amonyak, sudaki amonyak çözeltisi, tüpler içinde sıvı gaz veya katı amonyum sülfat olarak teslim edilir. Arıtma prosesinde klor ve amonyak karıştırılır.	ClO ₂ , işletmede klor ve kloritten bir jeneratör aracılığıyla üretilmektedir. Klor için aynı kaynaklar. Klorür toz veya istikrarlı bir sıvı çözelti olarak.	Bir elektrik alandan saf oksijen veya kuru hava geçirerek işletmede yerinde imal edilir. Oksijen genellikle sıvı olarak verilir. İşletmede oksijen de üretilebilir.	Kontaktör kendi içinde düşük basınçlı veya düşük basınçlı-yüksek yoğunluklu UV (254-nm) veya orta basınçlı UV lambaları (birkaç dalga boyu) kullanır.
(a) THMler = Trihalometanlar (b) HAAlar = Haloasetik asitler					

Tablo 34 - Ozonun Gücündeki Azalmaya pH'nın Tesiri

		Bakiye Ozon, %		
pH \ Dakika	7.6	8.5	8.2	
3	98	90	65	
6	92	70	40	
18	78	30	5	

Tablo 35 - Üç tip UV lambasının karakteristik özellikleri

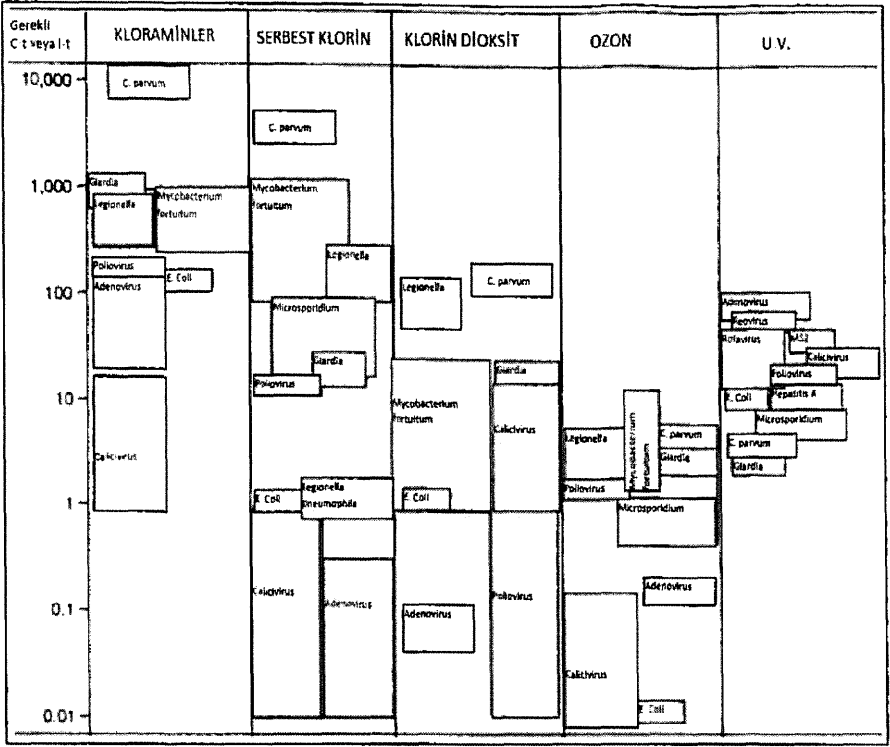
Parametre	Birim	Lamba tipi		
		Düşük basınç- düşük yoğunluk	Düşük basınç – yüksek yoğunluk	Orta basınç
Güç tüketimi	W	40 – 100	200 – 500(a)	1000 – 10000
Lamba akımı	ma	350 – 550	Değişken	Değişken
Lamba gerilimi	V	220	Değişken	Değişken
Mikrop öldürücü çıkışı/girdisi	%	30 – 40	25 – 35	10 – 15(b)
254 nm'de lamba çıkışı	W	25 – 27	60 – 400	
Lamba çalışma sıcaklığı	°C	35 – 45	60 – 100	600 – 900
Hg buharı kısmi basıncı	kPa	0,00093	0,0018 – 0.10	40 – 4000
Lamba uzunluğu	m	0,75 – 1,5	Değişken	Değişken
Lamba çapı	mm	15 – 20	Değişken	Değişken
Tecrit kovanı ömrü	yıl	4 – 6	4 – 6	1 – 3
Akım düzenleyici ömrü	yıl	10 – 15	10 – 15	1 – 3
Tahmini lamba ömrü	sa	8000 – 10000	8000 – 12000	4000 – 8000
Tahmini lamba ömründe lamba çıkışındaki azalma	%	20 – 25	25 – 30	20 – 25
Çok yüksek çıktıli lambada 1200 W'a kadar. En etkin mikrop öldürücü aralığındaki çıktı (~255 - 265 µm). (~255 – 265 µm).				

Tablo 36 - Çeşitli sular için absorbans ve geçirgenlik değerleri

Kaynak suyunun türü	UV254 absorbans, (a.u./cm(a))	Geçirgenlik, (UVT254, %)
Yeraltı suyu	0,0706 – 0,0088	85 – 98
Yüzey suyu, arıtılmamış	0,3010 – 0,0269	50 – 94
Yüzey suları, koagülasyon, flokülasyon ve çökeltme sonrası	0,0969 – 0,0132	80 – 97
Yüzey suları, koagülasyon, flokülasyon, çökeltme ve filtreleme sonrası	0,0706 – 0,0088	85 – 98
Yüzey suları, mikrofiltrasyon sonrası	0,0706 – 0,0088	85 – 98
Yüzey suları, ters osmoz sonrası	0,0458 – 0,0044	90 – 99
(a) a.u. = absorbans birimi		

Tablo 37 - Kriptosporidyum, Giardia ve virüsün etkisiz hale getirilmesi için gerekli UV dozu

Log Etkisizleştirme* Kredi	UV Dozu (mJ/cm ²)		
	Kriptosporidyum	Giardia	Virüs(a)
0,5	1,6	1,5	39
1,00	2,5	2,1	58
1,5	3,9	3,0	79
2,0	5,8	5,2	100
2,5	8,5	7,7	121
3,0	12	11	143
3,5	15	15	163
4,0	22	22	186
Adenovirüs kökenli virüs için UV dozu.			



Şekil 14 - Yüzde 99 etkisizleştirme için gerekli dezenfeksiyon şartları

Tablo 38 - Klorlama binasının nötralizasyonu ve atık ozon bertarafı metotları

Ünite	İşlem	Açıklama
Klorlama binası	Nötralizasyon	Klorlama binasında olabilecek klor kaçağı çeşitli kimyasal bileşikler kullanılarak nötralize edilebilir. Bunlar; sülfür dioksit, askorbik asit, sodyum tiyosülfat, sodyum bisülfid, sodyum sülfid.
Ozonlama Tankı	Atık Ozon Bertarafı	Ozon temas tankı tasarımında yüzer parçacıklar ve köpüğün atık gaz sistemine kaçmaması için temas tankındaki su yüzeyi ile tank tavanı arasında yeterli boşluk bırakılır. Temas tankı yüzeyindeki köpüğün giderilmesi için köpük spreyi ve nem alıcılar kullanılabilir. Blowerlar ile bertaraf ünitesine gönderilen atık gaz; termal yakma, arıtma prosesine geri döndürme ve katalitik yöntemlerinden biri ile bertaraf edilir.

FİLTRE GERİ YIKAMA SUYUNUN DURULTULMASI: Harcanan filtre geri yıkama suyunu, tesis giriş suyu (besleme suyu) akımına geri göndermeyi (geri kazanmayı) planlayan herhangi bir proje, su arıtma tesisinden güvenilir içme suyu sağlayacak olan dönüş (geri kazanım) akımı ile ilgili gereken arıtma prosesini tespit etmek için Giardia ve Kriptosporidyum da dahil olmak üzere bir mikrobik risk değerlendirmesi gerçekleştirir.

Tablo 39 - Doldurma, çökeltme ve çekme haznelerinin tutma veya dengeleme tank ölçüleri

No	Filtre geri yıkama Suyu Durultulması: Tutma veya Dengeleme Tankı Boyutlandırma
1	Geri yıkama işleminin tamamlanma süresi genel olarak 60 dakikadır.
2	Geri yıkama hacminin çökeltme zamanı genelde 2 saattir.
3	Çökeltme prosesinin sonunda çamur toplayıcılarını çalıştırmak için gereken ilave zaman, genellikle 1 saat ek süre olarak düşünülür.
4	Ana prosesi, hidrolik bir darbeden korumak için geri yıkama hacmini tahliye (drenaj) etme işlemi yaklaşık 90 dakika sürer.
5	Doldurma, çökeltme ve çekme işlemlerinin düzgün ve verimli bir şekilde çalışması için minimum hazne sayısı 3 ile 4 olan tesislerde bu işlem 6 ile 7 saattir.

Tablo 40 - Filtre geri yıkama sistemi: tanklar, hazneler durultucular genel tasarım kriterleri

Parametre	Değer
Ünitelerin Sayısı	İki adet dairesel akışlı durultucu; veya iki dikdörtgen yatay akışlı çökeltme haznesi; ya da iki adet doldurma-çökeltme-çekme ıslah hazneleri.
Durultucular/Çökeltme Hazneleri İçin Yüzey Yükleme Hızı (Taşma Hızı)	0,5 – 0,6 gpm/ft ² (1,2 – 1,4 m/sa) (ortalama); 1,1 gpm/ft ² (2,7 m/sa) (maksimum)
Durultucular/Çökeltme hazneleri için bekletme zamanı	2 ile 2,5 sa
Doldurma-Çökeltme-Çekme hazneleri için Çevrim Süresi	7 sa

Tablo 41 - Arıtım şekline göre filtre geri yıkama bulanıklığının ve parçacıklarının logaritmik giderilmesi

Durultma Prosesi¹	Logaritmik Bulanıklık Giderimi	Logaritmik Parçacık Giderimi	Göreceli Maliyet Sıralaması²
Polimersiz çökeltme ³	0,1 – 0,8	0,2 – 0,9	1
Polimer içermeyen çözünmüş hava flotasyonu	0,7 – 1,4	0,8 – 1,7	-----
Polimer ile çökeltme ³	1,4 – 2,3	1,9 – 3,3	2
Polimerli çözünmüş hava flotasyonu	1,7 – 2,7	1,9 – 3,5	3
Koagülasyon, Flokülasyon ve çökeltme ³	0,5 – 1,7	0,4 – 2,1	-----
Ön arıtmalı granül filtrasyon ⁴	2,2 – 3,0	2,4 – 4,4	4
Membran mikrofiltrasyon	2,6 – 3,9	1,6 – 3,5	5

(1) Durultma prosesleri yedi farklı yerde yürütülmüş ve pilot ölçekli ve tam ölçekli araştırmalardan oluşmuştur.

(2) Göreceli masraflar, 1 en düşük maliyetli durultma prosesi ve 5 en yüksek maliyetli durultma prosesi olarak sunulmaktadır. Polimersiz çözünmüş hava flotasyonu ve koagülasyon/flokülasyon akabinde çökeltme prosesleri ile ilgili maliyetler mevcut değildir.

(3) Çökeltme ya boru tipi çökeltici ya da plaka tipi çökelticilerden oluşmaktadır.

(4) Ön arıtmada ya polimerli çökeltme ya da polimerli çözünmüş hava flotasyonu bulunmaktadır.

BASINÇLI FİLTRELER: Basınç filtreler, yer çekimi ile işletilen hızlı kum filtreleri ile genellikle benzer özelliklere sahiptir. Hızlı kum filtreleri atmosfer basıncı altında işletilmektedir. Basınçlı kum filtrelerine su basınçla iletilmektedir ve filtre malzemesi arasından sular basınç altında süzülür. Basınçlı filtre tankları kapalıdır. Basınç, filtre malzemesi arasından süzülen suyun kalitesi üzerinde etkilidir.

Tablo 22 - Basınçlı filtrelerin genel tasarım kriterleri

Parametre	Değer
Tank çapı (maksimum)	4,5 m
Tank yüksekliği (maksimum)	12 m
Filtreleme hızı (önerilen aralık)	$5 \text{ (m}^3\text{)} / \text{(m}^2\text{.sa)} - 15 \text{ (m}^3\text{)} / \text{(m}^2\text{.sa)}$
Filtreleme hızı (maksimum)	$25 \text{ (m}^3\text{)} / \text{(m}^2\text{.sa)}$
Filtre malzemesi	Karbon çelik / Paslanmaz çelik / Cam elyafı takviyeli plastik

- Basınçlı kum filtreleri yeraltı sularında bulunan demir ve manganın oksidasyon sonrasında giderimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yağış ve akışlarla bulanıklık gibi su kalite parametrelerinde önemli değişimler görülen yerüstü su kaynaklarında basınçlı kum filtrelerinin kullanılması tercih edilmez.
- Dikkat edilmesi gereken diğer hususlar:
- Basınçlı kum filtresi tasarımında dikkate alınması gereken diğer hususlar aşağıda belirtilmiştir;
- Her filtre tankının giriş ve çıkış borularında basınç veya yük kaybı göstergeleri bulunur.
- Her filtre tankında kolayca okunabilen debimetre bulunur.
- Filtreler arasındaki boru hatları mümkün olduğunca basit yapılı ve borular üzerinde akış yönünü belirtir işaretler bulunur.
- Her bir filtre tankının en yüksek noktasına hava tahliye vanası yerleştirilir.
- Tank çapı 91,44 cm (36 inç) veya daha fazla olan filtreler için muayene ve onarımı kolaylaştırmak için yeterli büyüklükte erişilebilir bir menhol konulur. Menholler en az 60,96 cm (24 inç) boyutunda seçilir.
- Çapı 91,44 cm'den (36 inç) küçük tankların kenarlarında tutulup hareket ettirilmelerini sağlayan kulplar bulunur.
- Filtre tankları 1-4 bar aralığında basınç altında işletilebilir.
- Boru hatları üzerinde geri yıkama hatları ile akış yönleri işaretler ile belirtilir.
- Geri yıkama hatları üzerinde kolayca okunabilen debimetre bulunur.
- Geri yıkama suyunun bulanıklık değeri ölçülür.
- Geri yıkama işlemi filtre süzüntü suyu ile yapılır. Dolayısı ile süzüntü suyunun biriktirilmesi gereken depolama ünitesi bulundurulur.

Tablo 43 - Filtre geri yıkama ile ilgili dikkat edilmesi gereken hususlar

Parametre	Değer
Geri yıkama oluğu yüksekliği (minimum)	45,7 cm
Geri yıkama için gerekli tank taban tasarımında dikkate alınacak yükleme değeri (minimum)	$37 \text{ (m}^3\text{)} / \text{(m}^2\text{.sa)}$

EK-3 MİKROKİRLETİCİLER ve ARITIMI

Tablo 44 - Mikrokirleticilerin Fizikokimyasal Özellikleri

	Mikrokirletici (MK) Adı	MK Kategorisi	CAS Numarası	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm³)	log Kow	Sudaki Çözünürlüğü (mg/L) (20-25 °C)	Öncelikli Madde/Belirli Kirletici	YO-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	MAK-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı/Geçiş suları (µg/L)	MAK-ÇKS Kıyı/Geçiş Suları (µg/L)
1	1,1-Dikloroetan	Klorlu Organik Bileşik	75-34-3	C ₂ H ₄ Cl ₂	98954	57.3	1.17	1.79	5500	Belirli kirletici	1000	10000	1000	10000
2	PCBler	Yarı Uçucu Organik Bileşikler (S-VOC)	1336-36-3	C ₁₂ H ₁₀₋₄ Cl ₄	-	-	-	-	-	Belirli kirletici	0.31	0.37	0.07	0.14
3	PCB 153	Yarı Uçucu Organik Bileşikler (S-VOCs)	35065-27-1	C ₁₂ H ₄ Cl ₆	360.878	-	-	-	-	Belirli kirletici	0.01	0.02	0.01	0.02
4	Klorotalonil	Pestisit	1897-45-6	C ₈ Cl ₄ N ₂	265.9	350	2.8	3.05	0.81	Belirli kirletici	0.3	4.2	0.3	2
5	4-Kloroanilin	Pestisitler, ilaçlar ve boya maddelerinin üretiminde kullanılan yapı taşı	106-47-8	C ₆ H ₄ NH ₂	127.571	232	1.43	1.83	3900	Belirli kirletici	0.005	85	0.26	85

	Mikrokirletici (MK) Adı	MK Kategorisi	CAS Numarası	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm³)	log Kow	Sudaki Çözünürlüğü (mg/L) (20-25 °C)	Öncelikli Madde/Belirli Kirletici	YO-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	MAK-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı/Geçiş suları (µg/L)	MAK-ÇKS Kıyı/Geçiş Suları (µg/L)
6	Fentiyon	Pestisit	55-38-9	C ₁₀ H ₁₅ O ₃ P S ₂	278.33	87	1.25	4.8	54	Belirli kirletici	0.05	1.1	0.05	1.1
7	Aldrin	Pestisit	309-00-2	C ₁₂ H ₈ Cl ₆	364.9	145	1.6	6.5	0.027	Belirli kirletici	0.01	-	0.01	-
8	4,4'-DDT	Pestisit	50-29-3	C ₁₄ H ₉ Cl ₅	354.48	260	0.99	6.91	0.025	Belirli kirletici	0.01	0.65	0.01	0.1
9	Dieldrin	Pestisit	60-57-1	C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O	380.91	385	1.62	5.4	0.195	Belirli kirletici	0.02	0.93	0.02	0.93
10	Linuron	Pestisit	330-55-2	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O ₂	249.09	180	1.49	3	81.00	Belirli kirletici	3	7	3	7
11	Triklosan	Kişisel Bakım Ürünü	3380-34-5	C ₁₂ H ₇ Cl ₃ O ₂	289.53	120	1.49	4.76	10.00	Belirli kirletici	0.12	1.1	0.12	1.1
12	Asetoklor	Pestisit	34256-82-1	C ₁₄ H ₂₀ ClN O ₂	269.78	162	1.1	4.14	233	Belirli kirletici	0.3	10.1	0.3	10.1

	Mikrokirletici (MK) Adı	MK Kategorisi	CAS Numarası	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm³)	log Kow	Sudaki Çözünürlüğü (mg/L) (20-25 °C)	Öncelikli Madde/Belirli Kirletici	YO-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	MAK-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı/Geçiş suları (µg/L)	MAK-ÇKS Kıyı/Geçiş Suları (µg/L)
13	Permetrin	Pestisit	52645-53-1	$C_{12}H_{10}Cl_2O$	391.3	220	1.19	2.85-6.5	0.006	Belirli kirletici	0.12	0.12	0.12	0.12
14	Etilentiyoüre (ETU)	Etilenbis (ditiyokarbamat) (EBDC) fungusitlerini n metabolit ve ayrışma ürünü	96-45-7	$C_3H_6N_2S$	102.16	347	1.42	-0.66	20000	Belirli kirletici	248	2000	248	2000
15	Berilyum	Metal	7440-41-7	Be	9	2468	1.85	-	-	Belirli kirletici	2.5	3.9	2.5	3.9
16	Vanadyum	Metal	7440-62-2	V	23	3407	6	-	-	Belirli kirletici	1.6	97	1.6	16
17	Bromür	İnorganik Bileşik	24959-67-9	Br ⁻	79.9	-	-	-	-	Belirli kirletici	31	46	31	46

	Mikrokirletici (MK) Adı	MK Kategorisi	CAS Numarası	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm³)	log Kow	Sudaki Çözünürlüğü (mg/L) (20-25 °C)	Öncelikli Madde/Belirli Kirletici	YO-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	MAK-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı/Geçiş suları (µg/L)	MAK-ÇKS Kıyı/Geçiş Suları (µg/L)
18	Kloroasetik asit	Klorlu Organik Bileşikler	79-11-8	C ₂ H ₃ ClO ₂	94.494	189.3	1.58	0.22	8.58x10 ⁵	Belirli kirletici	0.5	5	0.5	5
19	2,4-d isooktil ester	Pestisit	25168-26-7	C ₁₆ H ₂₂ Cl ₂ O ₂	333.249	317	1.14	-	0.0324	Belirli kirletici	0.2	26	2.8	26
20	Karbendazim	Pestisit/ Benomil (fungisit) metaboliti	10605-21-7	C ₉ H ₉ N ₃ O ₂	191.19	409	1.421	1.51	8.00	Belirli kirletici	2.7	77	2.7	77
21	Metolaklor	Pestisit	51218-45-2	C ₁₅ H ₂₂ ClN ₂ O ₂	283.8	100	1.12	3.13	530	Belirli kirletici	3.3	88	3.3	88
22	Pendimetalin	Pestisit	40487-42-1	C ₁₅ H ₁₉ N ₃ O ₄	281.312	330	1.17	5.2	0.28	Belirli kirletici	0.5	8	0.5	8
23	Tribenuron-metil	Pestisit	101200-48-0	C ₁₅ H ₁₇ N ₃ O ₆ S	395.39	-	1.59	0.78	2040	Belirli kirletici	0.04	0.08	0.04	0.08
24	Klordan	Pestisit	57-74-9	C ₁₀ H ₆ Cl ₄	409.77	175	1.6	6.16	0.06	Belirli kirletici	42	42	42	42

	Mikrokirletici (MK) Adı	MK Kategorisi	CAS Numarası	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm³)	log Kow	Sudaki Çözünürlüğü (mg/L) (20-25 °C)	Öncelikli Madde/Belirli Kirletici	YO-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	MAK-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı/Geçiş suları (µg/L)	MAK-ÇKS Kıyı/Geçiş Suları (µg/L)
25	4,4'-DDE	DDT'nin birincil metaboliti	72-55-9	C ₁₄ H ₈ Cl ₄	318.02	-	-	6.51	0.04	Belirli kirletici	0.02	0.2	0.02	0.2
26	Bromoksinil	Pestisit	1689-84-5	C ₇ H ₅ Br ₂ N O	276.91	318.2	2.24	2.7	130	Belirli kirletici	36	262	0.8	262
27	Kaptan	Pestisit	133-06-2	C ₉ H ₈ Cl ₃ N O ₂ S	300.59	-	1.74	2.8	5.10	Belirli kirletici	1.6	8.5	1.6	8.5
28	Diklobenil	Pestisit	1194-65-6	C ₇ H ₇ Cl ₂ N	172.008	279	1.62	2.74	14.60	Belirli kirletici	0.6	187	74	187
29	Alaklor	Pestisit	15972-60-8	C ₁₄ H ₂₀ ClN O ₂	269.767	135	1.12	2.6-3.5	240	Öncelikli Madde	0.3	0.7	0.3	0.7
30	Klorpirifos (Klorpirifos-etil)	Pestisit	2921-88-2	C ₈ H ₁₁ Cl ₃ N O ₅ PS	350.59	160	1.398	4.96	1.40	Öncelikli Madde	0.03	0.1	0.03	0.1
31	Diuron	Pestisit	330-54-1	C ₆ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	233.1	180	1.48	2.68	42	Öncelikli Madde	0.2	1.8	0.2	1.8

	Mikrokirletici (MK) Adı	MK Kategorisi	CAS Numarası	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynam a Noktası (°C)	Yoğunlu k (g/cm³)	log Kow	Sudaki Çözünürlü ğü (mg/L) (20-25 °C)	Öncelikli Madde/Belir li Kirletici	YO-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	MAK- ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı/Geç iş suları (µg/L)	MAK- ÇKS Kıyı/Geçiş Suları (µg/L)
32	Terbütirin	Pestisit	886-50-0	C ₁₀ H ₁₉ N ₃ S	241.357	154	1.115	3.74	25	Öncelikli Madde	0.065	0.34	0.0065	0.034
33	Benzen	Petrol Hidrokarbonl arı (PHC)	71-43-2	C ₆ H ₆	78.11	80.1	0.8765	2.13	1800	Öncelikli Madde	10	50	8	50
34	Diklorometan	Solvent	75-09-2	CH ₂ Cl ₂	84.93	39.6	1.3266	1.25	13200	Öncelikli Madde	20	-	20	-
35	Triklorometan (kloroform)	Klorlu Uçucu Organik Bileşikler (C- VOC)	67-66-3	CHCl ₃	119.369	61.15	1.4888	1.97	7950	Öncelikli Madde	2.5	-	2.5	-
36	Oktabromodifenil eter	Polybromina ted diphenyl ethers	32536-52-0	C ₁₂ H ₂ Br ₈ O	801.38	-	2.9	6.29	Çok zayıf	Belirtilmemi ş	-	-	-	-
37	Hezazklorobenzen	Pestisit	118-74-1	C ₆ Cl ₆	284.8	323	2.04	5.73	0.005	Öncelikli Madde	-	0.05	-	0.05
38	Hezazklorosiklohe kzan (HCH)	Pestisit	608-73-1	C ₆ H ₆ Cl ₆	290.814	323.4	1.59	-	-	Öncelikli Madde	0.02	0.04	0.002	0.02

	Mikrokirletici (MK) Adı	MK Kategorisi	CAS Numarası	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm³)	log Kow	Sudaki Çözünürlüğü (mg/L) (20-25 °C)	Öncelikli Madde/Belirli Kirletici	YO-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	MAK-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı/Geçiş suları (µg/L)	MAK-ÇKS Kıyı/Geçiş Suları (µg/L)
39	Heptaklor	Pestisit	76-44-8	C ₁₀ H ₅ Cl ₇	373.32	135	1.58	6.1	0.05	Öncelikli Madde	2x10 ⁻⁷	3x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁵
40	Heptaklor epoksit	Heptaklorun degradasyon ürünü (Heptaklor pestisitidir)	1024-57-3	C ₁₀ H ₅ Cl ₇ O	389.299	-	-	5.4	0.35	Öncelikli Madde	2x10 ⁻⁷	3x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁵
41	Di (2-ethylhekzil) ftalat (DEHP)	Solvent	117-81-7	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	390.56	385	0.99	4.88-7.5	0.27	Öncelikli Madde	1.3	-	1.3	-
42	Naftalin	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)	91-20-3	C ₁₀ H ₈	128.17	217.97	1.162	3.3	31.80	Öncelikli Madde	2	130	2	130
43	Pentaklorobenzen	Klorlu Aromatik Hidrokarbon	608-93-5	C ₆ HCl ₅	250.32	275	1.8	5.18	1.33	Öncelikli Madde	0.007	-	0.0007	-
44	Pentaklorofenol	Pestisit/Dezenfektan	87-86-5	C ₆ HCl ₅ O	266.34	309-310	1.978	3.32-5.12	14	Öncelikli Madde	0.4	1	0.4	1
45	Benzo (a) piren	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)	50-32-8	C ₂₀ H ₁₂	252.32	495	1.24	6.13	0.0016	Öncelikli Madde	1.7x10 ⁻⁴	0.27	1.7x10 ⁻⁴	0.027

	Mikrokirletici (MK) Adı	MK Kategorisi	CAS Numarası	Kimyasal Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynam a Noktası (°C)	Yoğunlu k (g/cm³)	log Kow	Sudaki Çözünürlü ğü (mg/L) (20-25 °C)	Öncelikli Madde/Belir li Kirletici	YO-ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	MAK- ÇKS Nehir/Göl (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı/Geç iş suları (µg/L)	MAK- ÇKS Kıyı/Geçiş Suları (µg/L)
46	Trifluralin	Pestisit	1582-09-8	$C_{13}H_{16}F_3N_3O_4$	335.28	140	1.315	4.69	0.20	Öncelikli Madde	0.03	-	0.03	-
47	Dikofol	Pestisit	115-32-2	$C_{14}H_6Cl_5O$	370.475	180	1.45	4.28	0.80	Öncelikli Madde	1.3×10^{-3}	-	3.2×10^{-5}	-
48	Sipermetrin (toplam)	Pestisit	52315-07-8	$C_{22}H_{19}Cl_2N_3O_3$	416.298	-	1.25	4.4-6.3	0.009	Öncelikli Madde	8×10^{-5}	6×10^{-4}	8×10^{-6}	6×10^{-5}
49	Diklorvos	Pestisit	62-73-7	$C_4H_7Cl_2O_4P$	220.97	140	1.415	1.16	1600	Öncelikli Madde	6×10^{-4}	7×10^{-4}	6×10^{-5}	7×10^{-5}

[illegible]

EK 4 SİYANOBAKTERİ VE SİYANOKTOKSİN GİDERİMİ

Siyanobakteriler: Göl, deniz, haliç, içme suyu rezervuarı gibi su ortamlarında bulunan mikroorganizmalardır. Sucul ekosistemlerin planktonunda veya kıyı bölgesinde taşlara ve diğer materyallere tutunmuş olarak bulunabilirler. Siyanobakteriler, ekolojik rekabete dayalı ortamlarda dağılım gösterdiklerinden, çeşitli adaptasyon mekanizmaları geliştirmişlerdir. Bu adaptasyonların en önemlisi aşırı derecede biyoaktif özellikte ve diğer canlılar için toksik (siyanotoksinler) olan veya tat koku bozucu özellikteki ikincil metabolitleri (Geosmin ve MİB) üretmeleridir.

Siyanotoksinler: Aşırı siyanobakteri artışı görsel kirliliğin yanında su kalitesini olumsuz yönde etkilemekte, içme suyu arıtma tesislerinde filtreleri tıkamakta, tat ve koku bozuklukları gibi birçok çevresel, sosyal ve ekonomik soruna da neden olmaktadır. Bunun yanı sıra aşırı artış gösteren siyanobakteri türlerinden birçoğunun toksin üretme yeteneğinde oldukları görülmüştür. Yüzey sularında bulunabilen siyanotoksin türleri ve bunlara ait özellikler Tablo 46'da gösterilmiştir.

Tablo 46 - Siyanotoksinlerin özellikleri

Toksin	Moleküler ağırlığı, Dalton	Su tutma eğilimi	Net yükü
Anatoksin	165 – 179	Hidrofilik	+1
Mikrosistin	900-1100	Hidrofobik	0 – (-2)
Nodularin	824	Hidrofobik	
Saksitoksin	299	Hidrofilik	0 – (+2)
Silindropermopsin	415	Hidrofilik	0

Dünyada ve ülkemizde en yaygın olarak bulunan toksin mikrosistin (MC)'dir. Mikrosistin 100 civarında varyantı vardır. Halkasal peptit olan mikrosistine farklı aminoasitlerin bağlanması ve bu aminoasitlerin demetilasyonu toksin varyantlarının ortaya çıkmasını sağlar. Analitik yöntemlerin gelişmesi sürecinde Mikrosistin-LR en fazla çalışılan ve en fazla tespit edilen toksin varyantı olmuştur. Bu nedenle, bir alanda tespit edilen Mikrosistin varyantları genellikle tek tek verilmez ve Mikrosistin-LR eşdeğeri olarak Toplam Mikrosistin miktarı belirtilir.

Siyanobakteriler ve Koku Oluşumu: Sularda en yaygın görülen biyolojik kaynaklı tat ve koku bozucu bileşikler geosmin ve MİB (2-metilizoborneol)'dir. Çeşitli bakteri ve mantar türleri tarafından da sentezlenebilen bu iki maddenin sulardaki birincil kaynağı siyanobakterilerdir. Hücre içinde sentezlenen geosmin ve MİB metabolitleri, özellikle aşırı artışları takip eden zamanlarda, canlılığını

yitiren siyanobakteri hücrelerinin parçalanmasıyla birlikte suya karışmaktadır. İçme sularında tat ve koku oluşturan bazı kimyasallar Tablo 47'de verilmiştir.

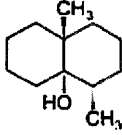
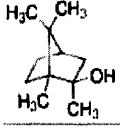
Tablo 47 - İçme sularında tat ve koku oluşturan bazı kimyasallar

Kimyasal	Tat/Koku	Kaynak
Geosmin	Toprağımsı veya otsu kokular	Aktinomiset, mavi-yeşil alg (siyanobakteri) ve yeşil algler tarafından üretilir.
2-Metilizoborneol (MİB)	Küf kokusu	Aktinomiset ve mavi-yeşil alg (siyanobakteri) tarafından üretilir.
2t, 4c, 7c-decatrienal	Balık kokusu	Mavi-yeşil alg (siyanobakteri) tarafından üretilir.
Klor	Ağartma, klor veya tıbbi tat ve koku	Dezenfektan olarak klor kullanılması ile oluşur.
Kloraminler	Yüzme havuzu, ağartma veya sardunya (tır) çiçeği kokusu	Dezenfektan olarak kloramin kullanıldığında oluşur.
Demir	Paslı veya metalik tat	Toprakta bulunan mineraldir.
Mangan	Paslı veya metalik tat	Toprakta bulunan mineraldir.
Hidrojen sülfür	Çürümüş yumurta kokusu	Yerüstü sularında anaerobik mikroorganizmalar veya topraktaki sülfatlar ile üretilmektedir.

Geosmin veya MİB ürettiği bilinen siyanobakteri cinsleri: Anabaena, Aphanizomenon, Calothrix, Coelosphaerium, Cylindrospermum, Dolichospermum, Fischerella, Geitlerinema, Gloeotrichia, Heteroleibleinia, Hyella, Kamptonema, Leibleinia, Leptolyngbya, Lyngbya, Microcoleus, Nostoc, Oscillatoria, Phormidium, Planktothricoides, Planktothrix, Pletonema, Pseudanabaena, Spirulina, Symploca, Symplocastum, Synechococcus, Trichormus, Tychonema'dır. Su kullanıcıları çok düşük miktardaki (geosmin için 1 ng/L, MİB için 4 ng/L) kokuları algılayabilmektedir. Bu nedenle sudaki tat ve koku sorunu sağlıklı doğrudan ilişkili olmaksızın su kullanımını olumsuz etkileyebilmektedir.

Siyanobakterilerin yanı sıra içme sularında geosmin ve MİB'in önemli üreticilerinden biri de aktinomiset bakterileridir. Aktinomisetler, toprak mantarlarında çubuk şeklinde ve filamentli (ipliksi) bakteriler olarak karasal çevre ve tatlı su ortamında bulunmaktadır. Aktinomisetlerin bazı türleri sporlar oluşturabilirler ve bunlar rüzgarlar ile veya su bazı sedimentler ile taşınabilir. Aktinomisetlerin yaygın cinsleri Actinoplanes, Micromonospora, Rhodococcus, Streptomyces ve Thermoactinomyces'dir. Geosmin ve MİB, moleküler ağırlıklarının düşük olması sebebiyle klasik arıtma işlemleri ile giderilememektedir. Geosmin ve MİB'in özellikleri ve giderme üniteleri Tablo 48 ve Tablo 49'da gösterilmiştir.

Tablo 48 - Geosmin ve MİB özellikleri

Bileşikler	Geosmin	2-Metilizoborneol (MİB)
Moleküler formülü	$C_{12}H_{22}O$	$C_{11}H_{20}O$
Moleküler ağırlığı	182,3025 g/mol	168,2759 g/mol
Molar hacmi (20 °C)	184,9 cm ³ /mol	173,7 cm ³ /mol
Alevlenme noktası	103,89 °C	83,33 °C
Suda çözünürlüğü (25 °C)	157-295 mg/L	305-345 mg/L
Yapısı		

Tablo 49 - Geosmin ve MİB giderme üniteleri

Ünite	Vasıta
Adsorpsiyon	Toz aktif karbon (TAK) Granüler aktif karbon (GAK) Biyolojik granüler aktif karbon (BGAK)
İleri oksidasyon	Ozon Ozon/Hidrojen peroksit Ozon/UV Hidrojen peroksit/UV UV/TiO ₂
İleri oksidasyon/Adsorpsiyon	Ozon/BGAK
Membran prosesler	Ultrafiltrasyon Nanofiltrasyon Ters osmoz

Siyanobakteri ve Siyanotoksin Giderim Yöntemleri

1) Siyanobakteri Giderimi: Siyanobakteri ve siyanotoksin oluşmaması için gerekli yönetim stratejileri uygulanır. Bu stratejilere rağmen siyanobakteri ve siyanotoksin oluşuyor ise bu durumda sudan siyanobakteri hücrelerinin veya siyanotoksinlerin uzaklaştırılmasının hedeflendiği giderim yöntemleri devreye girmektedir.

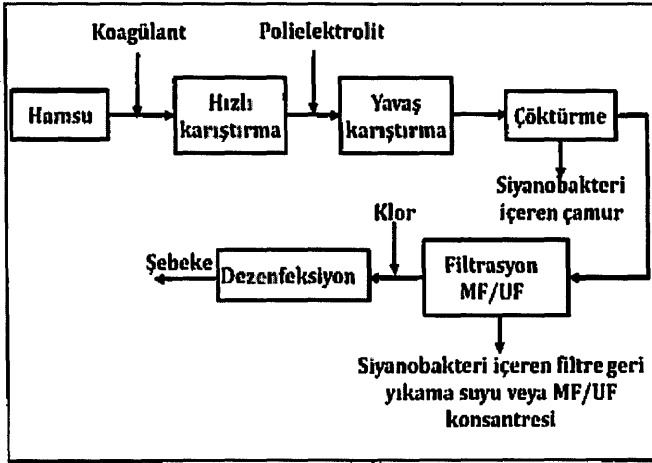
Siyanobakterilerin aşırı artması durumunda, arıtma tesisine en az siyanobakteri ulaşacak şekilde su alınır. Su alımında en iyi derinliğin belirlenmesi için suyun derinlik profilindeki siyanobakteri miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Baraj ve göl gibi su biriktirme yapılarında siyanobakteri varlığı derinlik boyunca izlenir. Siyanobakteri varlığının tespit edildiği derinlikten mümkün ise su alınmaz.

Suda çözünen toksinlerin ve tat koku bozucu maddelerin gideriminde çoğunlukla klasik yöntemler yeterli olmamakta ve ileri arıtım teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple siyanobakteri gideriminde ilk hedef, siyanobakteri hücrelerini parçalamadan içindeki istenmeyen toksinler ve diğer metabolitlerle birlikte ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Potansiyel olarak toksik siyanobakteri varlığı durumunda ön oksidasyon yöntemi önerilmemektedir. Ön oksidasyon işleminin alg hücrelerinin koagülasyonunu arttırdığı yönünde bilgiler bulunsa da hücrelerin parçalanması ve hücre içi toksinlerin suya geçme riski yüksektir. Siyanobakteri hücrelerinin ortamda bulunduğu durumda ön oksidasyon uygulaması gerekliyse oksidant miktarı, hücreler ve siyanotoksin varlığı durumunda da bu toksinleri parçalamaya yetecek oranda tutulur. Yeterli dozda oksidant uygulaması yapılmaz ise arıtma sürecinin sonraki basamaklarına toksin geçme riski vardır. Potasyum permanganat gibi bir oksidant kullanılacaksa uygulama miktarı jar test çalışmaları ile belirlenir. Çünkü permanganat miktarının ihtiyaçtan fazla olması halinde suda pembe renk oluşabilir. Oksidant olarak ≤ 1 mg/L gibi düşük dozlarda ozonun kullanılması halinde hücre parçalanması daha az olmaktadır. Bu bilgilere göre eğer ozon (≤ 1 mg/L gibi düşük dozlarda kullanılması halinde) veya permanganat ile ön oksidasyon yapılırsa siyanobakteri hücrelerinin büyük çoğunluğu koagülasyon ve çöktürme ünitelerine girmiş olur. Tablo 50'de siyanobakteri giderim yöntemleri verilmiştir.

Tablo 50 - Siyanobakteri giderim yöntemleri

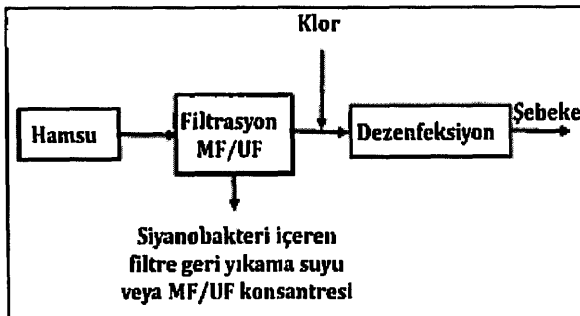
Arıtma Ünitesi	Arıtma Etkisi
Hızlı karıştırma/yavaş karıştırma/çöktürme	Hücre içi toksinlerin giderilmesinde etkilidir. Hücre içi toksinlerin çamur içinde birikmesi ve uzaklaştırılması söz konusudur.
Hızlı kum filtrasyonu	Hücre içi toksinlerin giderilmesinde etkilidir. Filtre içerisinde uzun süre kalmasına müsaade edilmez.
Yavaş kum filtrasyonu	Hızlı kum filtrasyonuna ilaveten çözünmüş siyanotoksinlerin biyolojik olarak parçalanması da mümkün olabilir.
Hızlı karıştırma/yavaş karıştırma/çöktürme/filtrasyon	Hücre içi toksinlerin giderilmesinde oldukça etkilidir. Hücrelerin filtre içerisinde uzun süre kalmasına müsaade edilmez.
Membran üniteler	Hücre içi toksinlerin giderilmesinde oldukça etkilidir. Hücrelerin membran içerisinde uzun süre kalmasına müsaade edilmez.
Çözünmüş hava ile yüzdürme	Etkisi Hızlı karıştırma/yavaş karıştırma/ çöktürme ünitelerine benzerdir.

Arıtma tesisi girişine siyanobakteri hücresi ulaşması halinde ön dezenfeksiyon amacıyla dezenfektan olarak klor ve benzeri kimyasallar kullanılmaz. Bu kimyasalların kullanımı ile hücre içerisindeki toksinler veya koku oluşturan kimyasallar suya karışmaktadır. Siyanobakteri hücreleri 2-40 µm aralığındadır. Bazı siyanobakteriler çöktürme ünitelerinde kendiliğinden çökerken bazıları ise koagülant ilavesi ile çöker. Koagülant ilavesi ile siyanobakteri hücrelerinin çapları artırılarak çöktürme ünitesinde çamur ile uzaklaştırılır. Ayrıca, çöktürme ünitesinde çökelmeyen siyanobakteri hücrelerinin giderilmesi için tek, iki veya çok tabakalı filtreler, mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) kullanılır (Şekil 15). Böylece, çöktürme ve filtrasyon veya MF/UF üniteleri ile siyanobakteriler etkili bir şekilde ayrılır.



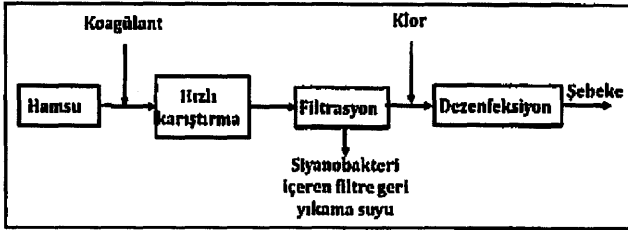
Şekil 15 - Siyanobakteri hücrelerinin çöktürme ünitesini müteakip filtrasyon veya MF/UF ile uzaklaştırılması

Siyanobakteri hücre sayısı <100 adet/ml olması halinde doğrudan filtrasyon veya MF/UF ile de siyanobakteri hücreleri sudan ayrılabilir (Şekil 16).



Şekil 16 - Siyanobakteri hücrelerinin doğrudan filtrasyon veya MF/UF ile uzaklaştırılması

Siyanobakteri hücrelerinin çapları $<5 \mu\text{m}$ ise filtrasyon öncesinde hızlı karıştırma ünitesi ilave edilebilir (Şekil 17). Sistemde havalandırma ünitesi bulunmamaktadır. Uzun mesafeli boru hattı ile taşıma veya göl/baraj gibi su kaynaklarında su alma yapısı üzerindeki su yüksekliğinin $>10 \text{ m}$ olması veya ham su kalitesinin iyileştirilmesi için gerek görülmesi halinde tesislerde havalandırma ünitesi de kullanılabilir. Hızlı karıştırma ünitesinde ilave edilen koagülantlar siyanobakterilerin filtrede tutunmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 17 - Siyanobakteri hücrelerinin hızlı karıştırma ünitesini müteakip filtrasyon ile uzaklaştırılması

Arıtma tesisi girişinde siyanobakteri tespit edilmesi halinde çöktürme çamuru susuzlaştırma ünitesi ile geri yıkama suyu tutma tankı duru suları tesiste yeniden kullanılmaz. Çamur içerisinde tutulmuş olan siyanobakterilerin hücrelerindeki toksinleri veya koku oluşturan kimyasalları hücre dışına salmaları söz konusu olabilir. Siyanobakteri olması halinde çöktürme çamurlarının rutinden daha sık çekilmesi ve filtrelerinde daha sık geri yıkanması önerilmektedir. Böylece, siyanobakteri hücresi içerisindeki toksin veya koku oluşturan kimyasalların hücre dışına salınma ihtimalleri de minimuma indirgenebilir.

Siyanotoksin Giderimi: Konvansiyonel arıtma tesislerinde siyanobakteri hücreleri genellikle giderilmektedir ancak toksinler giderilememektedir. Toksinlerin moleküler ağırlıkları genellikle 1100 daltondan daha küçüktür. Bu sebeple, toksinleri gidermek için kullanılacak yöntemlerde moleküler ağırlıklar dikkate alınır. Ayrıca, hidrofilik özellikte bulunan toksinlerin etrafında bir su zarı bulunacaktır ve koagülantların etkisini gösterebilmesi için öncelikle su zarının aşılması gerekmektedir. Tatlı sularda siyanobakteriler tarafından üretilen toksin türlerinden en yaygını olan Mikrosistin-LR'nin en hızlı yarılanma ömrü ozon ile gerçekleşmektedir. Kloramin ile 14 saat ve üzerinde bir yarılanma ömrü oluşurken hipoklorit ile yaklaşık 25 dakikadır. Bu durumda yaygın kullanıma sahip olan klor ile reaksiyon için en az 60 dakikalık bir süre ön görülür.

Ön-oksidasyon ile Siyanotoksin Giderimi

Mikrosistin, nodularin ve benzeri toksinler siyanobakteri hücrelerinde bulunmaktadır. Siyanotoksinlerin hücre dışına salınmadan hücre ile birlikte giderilmesi hedeflenir.

Klor: pH<8 ve 30 dakika boyunca 0,5 mg/L bakiye klor varlığında Mikrosistinlerin giderilebilmektedir. Oksitlenebilecek kirleticilerin klor ihtiyacı da dikkate alınarak klor dozu ayarlanır.

Ozon: Ozon ile Mikrosistin ve Nodularin'in tamamı giderilebilmektedir. Siylindrospermopsin gideriminde de oldukça etkilidir. Ozon dozu, suda oksitlenebilecek kirletici ihtiyacı dikkate alınarak ayarlanır. Böylece, toksinlerin etkisiz hale getirilmesinde daha verimli olarak kullanılabilir. Mikrosistinlerin okside edildiğinden emin olunması için ozonlamadan sonra bakiye ozonun bir dakika daha muhafaza edilmesi tavsiye edilmektedir.

Ozon ile oksidasyon sonrası hem siyanobakteri hücresi ve hem de siyanotoksinler etkisiz hale getirilmektedir. Muhtemel okside olmayan siyanotoksinlerin giderilmesi amacı ile GAK ozonlama sonrasında kullanılmaktadır. Ozonlama sonrasında yüksek moleküler ağırlıklı organik maddelerin de düşük moleküler ağırlıklı organik maddelere dönüşmesi de söz konusudur. Böylece, ozon ünitesi sonrasında GAK kullanılması ile hem siyanotoksinler ve hem de düşük moleküler ağırlıklı organik maddelerin sudan uzaklaştırılması mümkündür.

Ozon, ön dezenfeksiyon veya oksidasyon amacıyla konvansiyonel içme suyu arıtma tesisinde kullanılıyor ise GAK ünitesi genellikle kum filtrasyonu sonrasında kullanılır. Bazen ilave bir GAK ünitesi yerine GAK+kum'dan oluşan tabakalı filtre olarak çöktürme tankı sonrasında kullanılır. Böylece, aktif karbonların rejenerasyon süresi uzatılabilir.

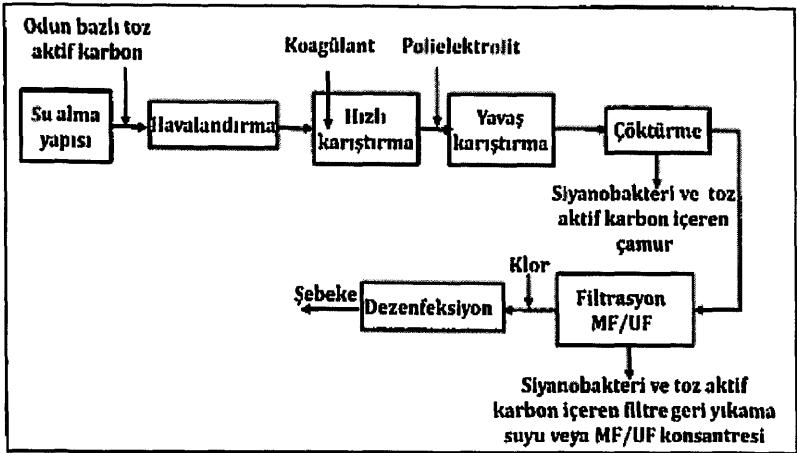
Titanyum dioksit fotokataliz: Yarı iletken fotokatalizle organik kirleticilerin oksidasyonu, su arıtımında etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Kirleticiler karbondioksit, inorganik tuzlara ve suya indirgenmektedir. Mikrosistinler, TiO_2 ve UV birlikte kullanılarak etkisiz hale getirilebilmektedir. TiO_2 ile reaksiyon sonrası Mikrosistinlerin küçük bir miktarı CO_2 'ye ve kalanının ise büyük kısmı organik ürünlere dönüşmektedir. Bu yöntem içme sularından siyanobakteri toksinlerinin ve diğer organik kirleticilerin gideriminde etkili ve ekonomik bir yöntem olabilir.

Tablo 51 - Siyanotoksinlerin giderilmesinde bazı ünitelerin etkinliği

Hücre dışı siyanotoksinler		
Arıtma Ünitesi	Siyanotoksin	Arıtma Verimliliği
Toz aktif karbon	Mikrosistinler (Mikrosistin-LA hariç)	Odun bazlı, kimyasal olarak aktif edilmiş oldukça etkilidir ve 60 dakika temas süresi önerilmektedir.
	Mikrosistin-LA	Yüksek doz önerilmektedir.

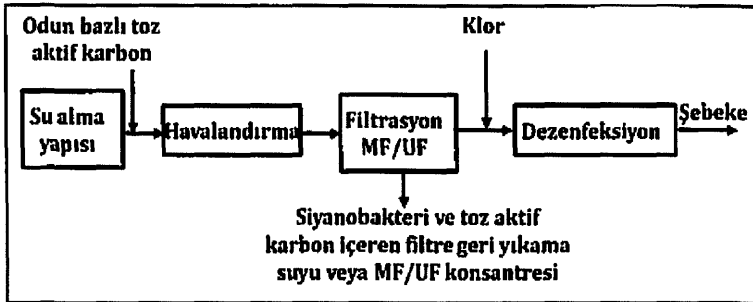
Hücre dışı siyanotoksinler		
Arıtma Ünitesi	Siyanotoksin	Arıtma Verimliliği
	Silindrospermopsin	Odun bazlı, kimyasal olarak aktif edilmiş olduğunda etkilidir ve 60 dakika temas süresi önerilmektedir.
	Saksitoksin	Mikro gözenekli kokonat veya kömür bazlı veya buharla aktif edilmiş odun bazlı etkilidir ve en az 60 dakika temas süresi önerilmektedir.
Daneli aktif karbon (GAK)	Tüm siyanotoksinler	Tüm siyanotoksin türleri için ömürleri kısadır ve 2 ay ile 1 yıl arasında değiştirilmesi gerekmektedir.
Biyolojik filtrasyon	Tüm siyanotoksinler	Bu ünite çoğu siyanotoksinlerin gideriminde etkilidir. Bununla birlikte, biyofilm kütlesi ve kompozisyonu, aşılama periyodu, sıcaklık ve su kalitesi gibi performansı etkileyen parametrelerin kontrol edilmesi kolay değildir.
Membran üniteler	Tüm siyanotoksinler	Membranın gözenek çapına bağlı olarak kullanılabilir ve etkilidir.

Odun bazlı toz aktif karbon tarafından siyanotoksinlerin adsorplanabilmesi için önerilen temas süresi >60 dakikadır. Su alma yapısı ile arıtma tesisi arasındaki su akış süresinin 60 dakika ve üzerinde olması halinde odun bazlı toz aktif karbon su alma yapısı veya boru hattına uygulanabilir. Böylece, hızlı karıştırma ve çöktürme ünitesine müteakiben filtrasyon veya MF/UF ile hem siyanobakteriler ve hem de siyanotoksinlerin adsorplandığı toz aktif karbonlar sudan (Şekil 18) uzaklaştırılır. Hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinler birlikte giderilir. Siyanobakteriler sudan ayrılana kadar su alma yapısı, boru hattı ve ünitelerde klor ve benzeri oksidantlar kullanılmaz. Filtrasyon dahil olan ünitelerde klor ve benzeri oksidantlar kullanılmamaktadır. Bu oksidantlar siyanobakteri hücrelerini parçalayarak hücre içerisinde bulunabilecek toksin veya koku oluşturan kimyasalların salınmasına sebep olabilir. Bu sebeple, siyanobakteri hücreleri giderildikten sonra ilgili oksidantlar kullanılır. Ayrıca, klor ve benzeri oksidantlar toz aktif karbon tarafından adsorplanabilmektedir. Toz aktif karbon, klor gibi oksidantlar ile doymun hale gelir ise siyanotoksinler ve koku oluşturan kimyasallar adsorplanamaz.



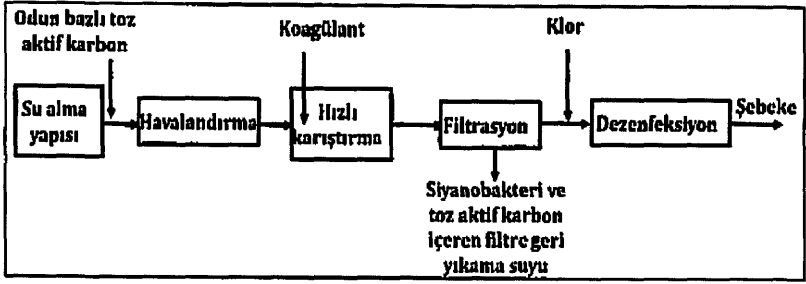
Şekil 18 - Su alma yapısında toz aktif karbon uygulaması ve müteakiben çöktürme ve filtrasyon veya MF/UF ile hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinin uzaklaştırılması

Siyanobakteri hücre sayısı <100 adet/ml ise su alma yapısında odun bazlı toz aktif karbon uygulaması ve sonrasında doğrudan filtrasyon veya MF/UF membranları ile hem siyanobakteri hücreleri ve hem de siyanotoksinlerin adsorplandığı toz aktif karbonlar sudan uzaklaştırılır (Şekil 19).



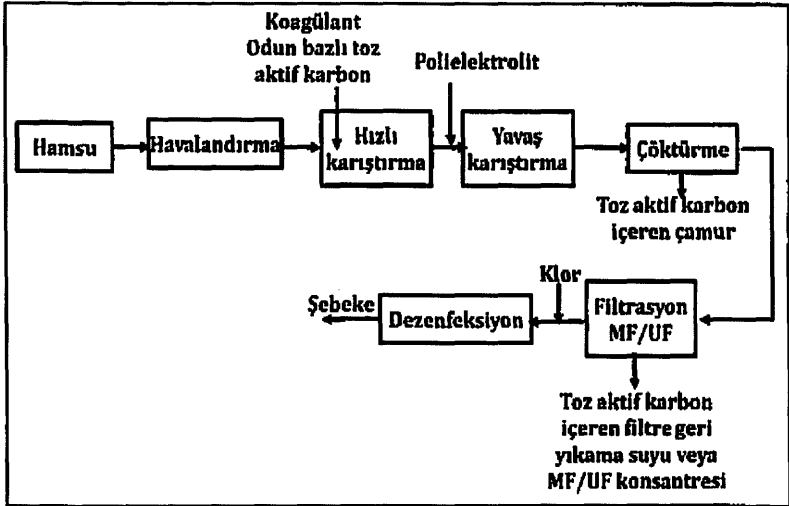
Şekil 19 - Su alma yapısında toz aktif karbon uygulaması ve müteakiben filtrasyon veya MF/UF ile hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinin uzaklaştırılması

Siyanobakteri hücrelerinin çapları $<5 \mu\text{m}$ ise su alma yapısında siyanotoksinlerin adsorplanması için odun bazlı toz aktif karbon uygulanabilir ve filtrasyon öncesinde de hızlı karıştırma ünitesi ilave edilir (Şekil 20). Hızlı karıştırma ünitesine ilave edilen koagülantlar siyanobakterilerin ve toz aktif karbonların filtrede tutunmasına katkı sağlar.

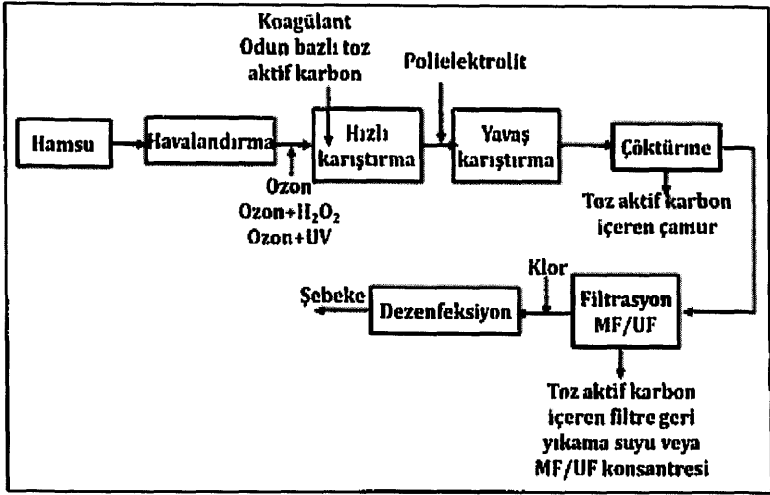


Şekil 20 - Su alma yapısında toz aktif karbon uygulaması ve müteakiben hızlı karıştırma ve filtrasyon ile hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinin uzaklaştırılması

Boru hattında temas süresinin <60 dakika olması veya su alma yapısı ile boru hattına uygulamanın riskli görülmesi halinde arıtma tesisi girişinde klor ve benzeri oksidantlar kullanılmadan odun bazlı toz aktif karbon hızlı karıştırma ünitesine uygulanabilir (Şekil 21a). Ayrıca, hızlı karıştırma girişi öncesinde ozon, ozon+hidrojen peroksit, ozon+hidrojen peroksit+UV veya ozon+UV uygulaması ile siyanotoksinler ile koku oluşturan kimyasalların oksidasyonu sağlanabilir (Şekil 21b).



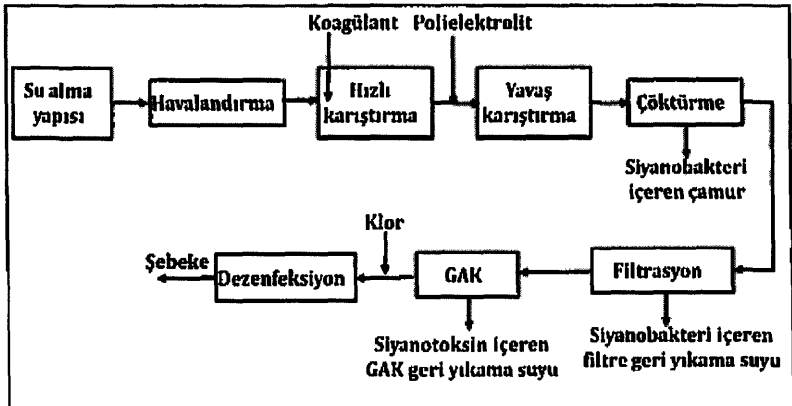
(a)



(b)

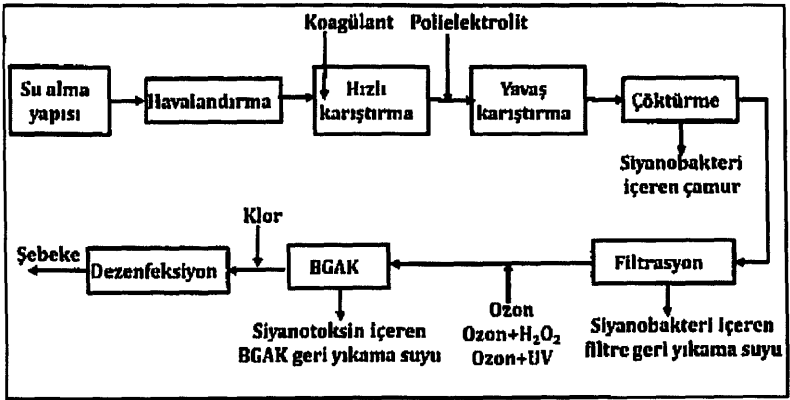
Şekil 21 - Arıtma tesisinde (a) toz aktif karbon ve (b) ozon sonrası toz aktif karbon uygulaması ile hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinin uzaklaştırılması

Granüler (daneli) aktif karbon (GAK) da siyanotoksin giderilmesi amacıyla kullanılabilir. Klor ve benzeri kimyasal oksidantlar GAK performansını olumsuz yönde etkileyebileceği için GAK öncesinde bu oksidantların suda olması istenmemektedir. GAK filtre malzemesinin kısa sürede doyuma ulaşması ve rejenerasyonu gerekebilir. Rejenerasyon süresi birkaç haftadan birkaç aya kadar değişim gösterebilir. Konvansiyonel arıtma üniteleri sonrasında GAK uygulaması tercih edilmektedir (Şekil 22). Böylece, GAK'ın performansını azaltacak bazı kirlenitçiler konvansiyonel üniteler ile giderilerek rejenerasyon süresi uzatılır.



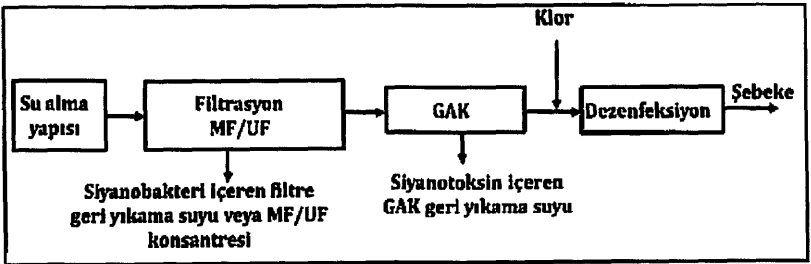
Şekil 22 - Konvansiyonel arıtma ve GAK ile hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinin uzaklaştırılması

Biyolojik granüler aktif karbon (BGAK) ünitesi organik madde ve mikroorganizmalar tarafından bertaraf edilebilecek kirleticilerin giderilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. BGAK öncesinde de konvansiyonel arıtma üniteleri bulunmakta ve bu üniteler BGAK'nin performansını artırmaktadır. Konvansiyonel arıtma üniteleri sonrasında özellikle ozon, ozon+hidrojen peroksit veya ozon+UV gibi uygulamalar ile BGAK'nin verimi artırılır (Şekil 23). BGAK uygulaması öncesinde siyanobakteriler konvansiyonel üniteler ile giderilir. BGAK ünitesi ile organik maddeler, siyanotoksinler ile koku oluşturan MİB ve geosmin gibi kimyasallar giderilebilir. Organik madde miktarının azaltılması, nihai dezenfektan olarak klor kullanılması halinde dezenfeksiyon yan ürün oluşturma potansiyelini de azaltacaktır.

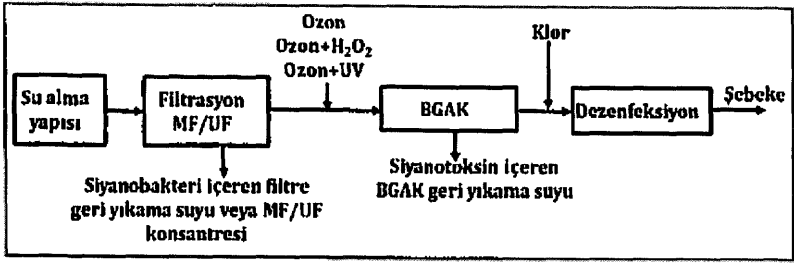


Şekil 23 - Konvansiyonel arıtma, ozon ve BGAK ile hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinin uzaklaştırılması

Siyanobakteri hücre sayısı <100 adet/ml ise doğrudan filtrasyon veya MF/UF membranları sonrasında GAK (Şekil 24a) veya BGAK (Şekil 24b) ile hem siyanobakteri hücreleri ve hem de siyanotoksinler sudan uzaklaştırılır.



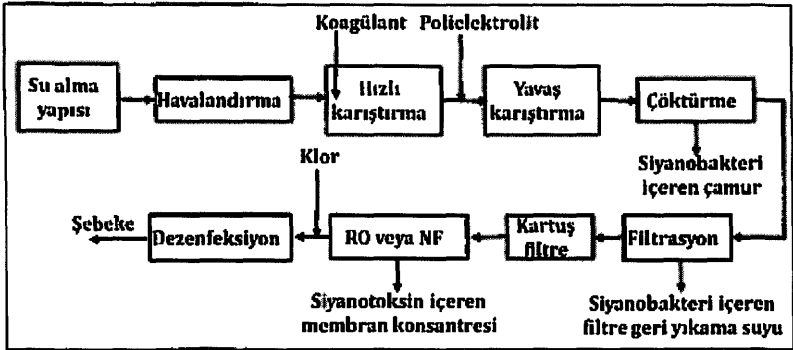
(a)



(b)

Şekil 24 - Filtrasyon veya MF/UF ünitelerini müteakiben (a) GAK ve (b) BGAK ile hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinin uzaklaştırılması

Siyanotoksinler ve koku oluşturan MİB ile geosmin gibi kimyasallar düşük moleküler ağırlığa (<100 Da) sahip olması sebebiyle doğrudan filtrasyon, MF ve UF ile giderilememektedir. Nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO) membranları ile siyanotoksinler ve koku oluşturan kimyasallar sudan uzaklaştırılabilmektedir. Bu membranlardan önce konvansiyonel arıtma, kartuş filtre, MF ve UF gibi ön arıtma ünitelerinden birine veya birkaçına ihtiyaç duyulabilir (Şekil 25). NF ve RO çıkış sularında siyanotoksinler ve koku oluşturan kimyasalların giderimi sağlandıktan sonra siyanotoksin ve koku oluşturan kimyasalların yoğunlaştığı membran konsantresinin çevreye zarar vermeden uzaklaştırılması gerekmektedir. İleri osmoz, membran distilasyonu ve evaporasyon gibi üniteler ile membran konsantresi uzaklaştırılabilir.



Şekil 25 - Konvansiyonel arıtma, kartuş filtre ve NF/RO ile hem siyanobakteri ve hem de siyanotoksinin uzaklaştırılması

Arıtma Ünitelerinin Uygulanmasında Dikkate Alınması Gereken Stratejiler

Ön Arıtma Stratejisi

- Hücrelere zarar verilmeden, parçalanmalarına neden olacak girişimlerde bulunulmaz.
- Suda çözünmüş siyanotoksin varsa toz aktif karbon ile adsorplanabilir.
- Oksidantlar hücrelere zarar verebilir. Oksidant tipi ve miktarının etkisi hakkında yeterli ön çalışma yapılmadan uygulanmaz.

Koagülasyon ve Çöktürme Stratejisi

- Ham sularında siyanobakteri miktarı değişken olan küçük arıtma tesisleri için uygulanabilir bir yöntemdir.
- Düşük pH (<6,3) siyanotoksinlerin salınmasını hızlandırabilir.
- Filtreye verilen suda <100 hücre/ml olur.
- Su yüzeyinde bulunan koloniler hızlı karıştırma ile giderilebilir.
- Siyanobakterilerin sayısı, klorofil, partikül sayısı ve debi gibi değerler dikkate alınarak arıtma işlemi optimizasyonu yapılabilir.

Filtrasyon Stratejisi

- Kum, antrasit ve çoklu tabakalı filtrasyon siyanobakteri hücrelerinin giderilmesinde etkilidir.
- Yavaş kum filtrasyonunda biyolojik aktivite hücre dışı toksinlerin giderimini sağlayabilir.
- Yavaş kum filtrasyonunda gelen ham suda yüksek miktarda alg bulunması durumunda filtre tıkanabilir ve kum üstünde alg artışları gözlemlenebilir. Bunu engellemek için mikroelek gibi ön-arıtma yöntemleri kullanılabilir.
- GAK biyolojik olarak aktif olabilir; filtre malzemesi haftalar içinde rejenere edilir.
- Mümkün ise filtre geri yıkama suları, çamur susuzlaştırma duru suları siyanobakteri suda tespit edildiği dönemlerde yeniden kullanılmaz.

Oksidasyon Stratejisi

- Ozon, hücre dışında bulunan mikrosistin, anatoksin-a ve silindrospermopsin oksidasyonunda oldukça etkilidir.
- Klor dioksit, içme suyunda sıklıkla kullanılan dozlarda etkili değildir.
- Klor, hücre dışında bulunan mikrosistin ve silindrospermopsin oksidasyonunda etkilidir, bununla birlikte etkisi pH ve sıcaklığa bağlıdır.
- UV radyasyonu, dezenfeksiyon amacıyla kullanılan dozlarda etkili değildir.
- Siyanobakteri ve siyanotoksinlerin giderilmesinde kullanılan yöntemler Tablo 52’de özetlenmiştir.

Tablo 52 - Siyanobakteri ve toksin giderilmesinde arıtma üniteleri

	Arıtma Üniteleri	Giderme Etkisi					
		Siyanobakteri Hüeresi	Mikrosistin	Nodularin	Anatoksin-a	Silindrospermopsin	Sakstoksin
Fiziksel/biyolojik üniteler	Koagülasyon/çöktürme	E	ÖEY	ÖEY	ÖEY	ÖEY	ÖEY
	Yüzdürme	E	ÖEY	ÖEY	ÖEY	ÖEY	ÖEY
	Filtrasyon						
	Hızlı kum filtrasyonu	E	ÖEY	ÖEY	ÖEY	ÖEY	ÖEY
	Biyolojik aktif kum filtrasyon	E	E	O		O	
	Yavaş kum filtrasyonu	E	E				
	Ultrafiltrasyon	E					
	Nanofiltrasyon	E	E		E		
	Ters osmoz	E	E	E			
	Adsorpsiyon						
	Toz aktif karbon	ÖEY	E		O	E	E
	Daneli aktif karbon	E	E				O
	Biyolojik aktif karbon	E	E				ÖX
Kimyasal oksidasyon	Oksidasyon						
	Ozon	ÖX	E	O	E	E	ÖX
	Klor dioksit	ÖX	ÖX		ÖX	ÖX	
	Permanganat	ÖX	E	O	E	ÖX	
	Klor	ÖX	E	E		E	E
	Kloramin	ÖX	ÖX		ÖX	ÖX	
	İleri oksidasyon						
	Ozon+ H ₂ O ₂	ÖX	E		E		ÖX
	UV + H ₂ O ₂	ÖX	E				
	Titanyum fotokataliz	ÖX	E	O		O	
	Fenton reaksiyonu	ÖX	E		E		

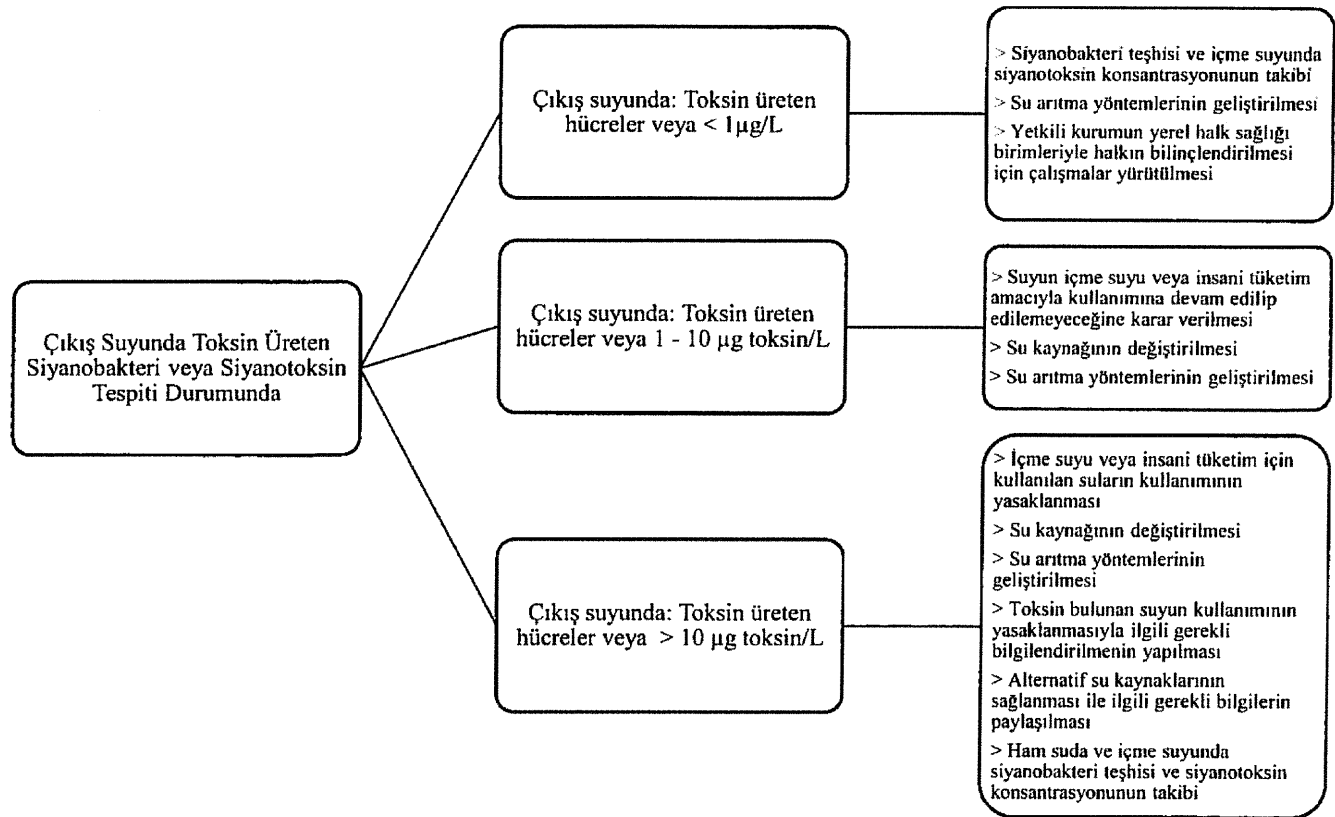
E: Etkili, O: Olabilir, ÖEY: Önemli bir etkisi yoktur, ÖX: Önerilmemektedir.

İçme Suyu Olarak Kullanılan Alanlarda Siyanobakteri İçin Risk Yönetimi

İçme suyu olarak kullanılan alanlarda öncelikle ham suda siyanobakteri varlığının izlenmesi elzemdir. Eğer siyanobakteri tespit edilirse izleme çalışmalarının sıklaştırılması ve siyanotoksin analizi yapılarak risk olup olmadığının gözlenmesi gerekir. Ham suda 1 µg/L'nin üzerinde siyanotoksin tespit edilmesi durumunda işlenmiş suda da analizin yapılması ve çıkan sonuca göre arıtma sisteminin siyanotoksin giderimini sağlayacak şekilde revize edilmesi gerekir. Arıtım sistemi siyanotoksin giderimini sağlayamıyorsa başka bir su kaynağının devreye alınması ve sorun giderilinceye kadar siyanotoksin içeren ham sudan su alımının durdurulması gerekmektedir. Aşağıda verilen şemalarda (Tablo 53; Şekil 26) gereken adımlar örneklenmiştir.

Tablo 53 - Ülkemizde içme suları için önerilen siyanobakteri ve siyanotoksin risk yönetim şeması

	Sınır Değerler	Uygulamalar
İzleme	Ham suda >500 hücre/mL siyanobakteri veya >0,1 mg/L biyokütle	Ham suda izleme sıklığını artırma Haftalık örnekleme
Alarm Seviyesi 1	Ham suda >5,000 hücre/mL siyanobakteri veya >1 mg/L biyokütle	Toksin üreten siyanobakteri tespit edilmesi durumunda hamsuda toksin konsantrasyonunun belirlenmesi
Alarm Seviyesi 2	Ham suda >20,000 hücre/mL siyanobakteri veya >5 mg/L biyokütle <1 µg/L siyanotoksin	Suyun alım noktasının, derinliğinin veya kaynağının değiştirilmesi
Alarm Seviyesi 3	Ham suda >100,000 hücre/mL siyanobakteri veya >20 mg/L biyokütle >1 µg/L siyanotoksin	Çıkış suyunda siyanobakteri tespisi ve toksin konsantrasyonunun belirlenmesi, Uygun su arıtım yöntemlerinin seçimi ve uygulanması



Şekil 26 - İçme suyu arıtma tesisi çıkış suyunda siyanobakteri ve siyanotoksin risk yönetim şeması