

## 14. ENDÜSTRİYEL KİRLENME KONTROLÜ

### 14.1. Endüstriyel Atıksu Kaynak ve Özellikleri

#### 14.1.1. İstenmeyen Atık Özellikleri

Endüstrinin yapısı ve alıcı ortamın planlanan kullanım amacına bağlı olarak atıksudaki bazı maddelerin deşarjdan önce uzaklaştırılması gerekir. Bunlar şöyle özetlenebilir:

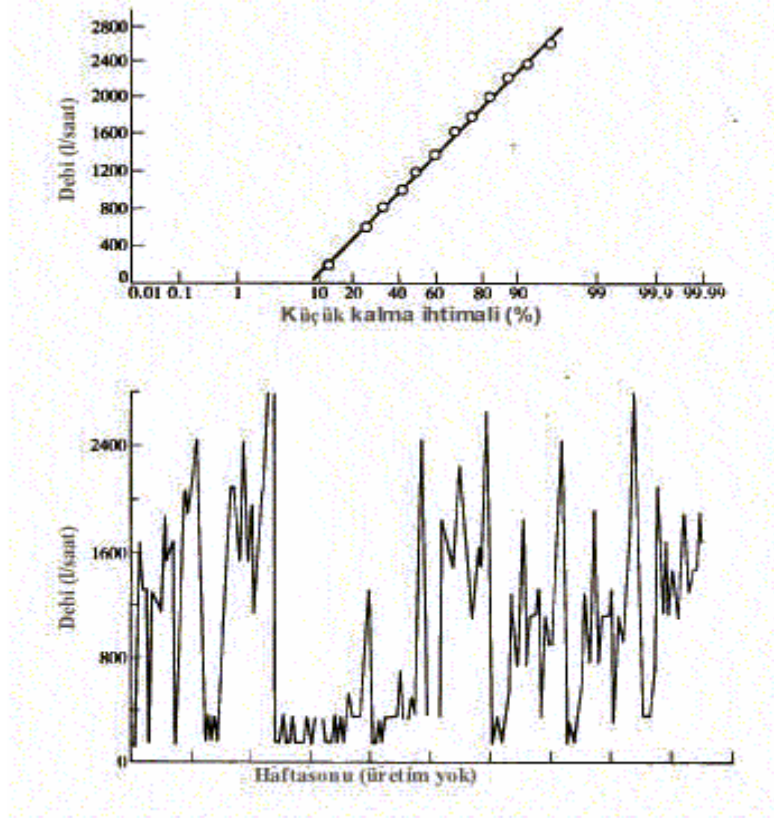
- Çözünmüş oksijenin azalmasına neden olacak çözünmüş organik maddeler: Tüm alıcı sularda minimum çözünmüş oksijen seviyesini sağlamak üzere, alıcı ortamdaki çözünmüş organiklerin miktarları sınırlandırılmıştır.
- Askıda katılar: Hareketsiz bölgelerde katıların çökmesi su canlılarını etkiler. Organik katı içeren çamur örtüleri, bozunma sürecinde, oksijen kullanımına ve kötü kokulu gaz çıkışına neden olur.
- Eser organikler: Alıcı su, içme suyu olarak kullanılacaksa deşarj edilecek endüstriyel atıksuların fenol ve diğer organik maddeleri içermemesi gerekir. Endüstriyel atıksular bu maddeler giderilmeden deşarj edilmişse ilave su arıtımı gerekir.
- Ağır metal, siyanür, ve toksik organikler: Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) özel limit gerektiren toksik organik ve inorganik kimyasalların bir listesini yapmıştır. Öncelikli kirleticiler olarak adlandırılan bu kirleticiler Tablo 14.1 de verilmiştir.
- Renk ve bulanıklık: Değişik amaçlı su kullanımında zararlı olmamakla birlikte estetik problem arz ederler. Kağıt üretimi gibi bazı endüstrilerde renk giderimi için henüz ekonomik bir yöntem geliştirilmemiştir.
- Azot ve fosfor: Atıksu, göl, gölet ve diğer rekreasyonel alanlara deşarj edilecekse azot ve fosfor, ötröfikasyonu hızlandırıp istenmeyen alg büyümesine yol açar.
- Biyolojik ayrışmaya dirençli refrakter maddeler. Belirli bir su kalitesi için bu tür maddeler istenmeyebilir. Deterjanlardan kaynaklanan ABS (alkil benzen sulfonat) biyolojik olarak ayrışmaz ve köpüğe neden olur. Bazı refrakter maddeler de su canlıları için toksiktir.
- Yağ ve yüzen maddeler: Estetiği bozduğundan dolayı yönetmeliklerde kısıtlama getirilmiştir.
- Uçucu maddeler: Hidrojen sülfür ve diğer uçucu organikler hava kirliliği problemlerinden dolayı yönetmeliklerce kısıtlanmışlardır.

Tablo 14.1. EPA öncelikli kirleticiler listesi (1)

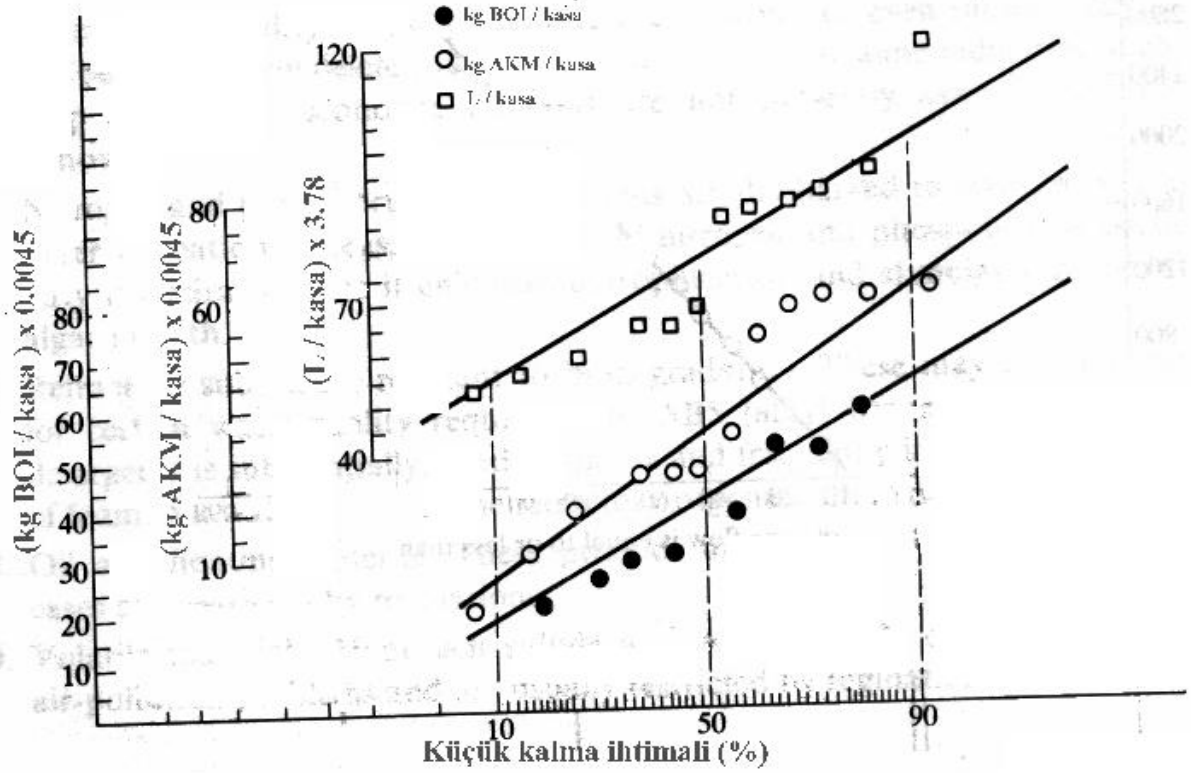
1. Asenaphthen	42. Bis(2-kloroizopropil)eter	79. Benzo(ghi)perilen (1,12-benzoperilen)
2. Akrolein	43. Bis(2-kloroetoksi) metan	80. Floren
3. Akrilonitril	44. Diklorometan	81. Fenantren
4. Benzen	45. Klorometan	82. Dibenzo(a,h)antrasen (1,2,5,6-dibenzantrasen)
5. Benzidin	46. Bromometan	83. Inden(1,2,3-cd) piren (2,3-o-penilenefrin)
6. Carbontetraklorür	47. Tribromometan	84. Piren
7. Klorobenzen	48. Diklorobromometan	85. Tetrakloretilen
8. 1,2,4-Triklorobenzen	49. Trikloroflorometan	86. Toluen
9. Hexaklorobenzen	50. Diklorodiflorometan	87. Trikloroetilen
10. 1,2-Dikloroetan	51. Klorodibromometan	88. Vinil klorür(kloroetilen)
11. 1,1,1-Trikloroetan	52. Heksaklorobütadien	89. Aldrin
12. Hexakloroetan	53. Heksaklorosiklopentadin	90. Dieldrin
13. 1,1-Dikloroetan	54. Izopron	91. Klordan
14. 1,1,2-Trikloroetan	55. Naftalin	92. 4-4'-DDT
15. 1,1,2,2-Tetrakloroetan	56. Nitrobenzen	93. 4,4'-DDE (p,p'-DDX)
16. Kloroetan	57. 2-Nitrofenol	94. 4,4'-DDD(p,p'-TDE)
17. Bis(klorometil)eter	58. 4-Nitrofenol	95. $\alpha$ -Endosulfan-alfa
18. Bis(2-kloroetil)eter	59. 2,4-Dinitrofenol	96. $\beta$ -Endosulfan-beta
19. 2-Kloroetil vinil eter	60. 4,6-Dinitro-o-kresol	97. Endosulfan sülfat
20. 2-Kloronafthalen	61. N-Nitrozodimetilamin	98. Endrin
21. 2,4,6-Triklorofenol	62. N-Nitrozodifenilamin	99. Endrin aldehit
22. para-Kloro-meta-kresol	63. N-Nitrozodi-n-propilamin	100. Heptaklor
23. Kloroform	64. Pentaklorofenol	101. Heptaklor epoksit
24. Klorofenol	65. Fenol	102. $\alpha$ -BHC-alfa
25. 1,2-Diklorobenzen	66. Bis(2-etilheksil)ftalat	103. $\beta$ -BHC-beta
26. 1,3-Diklorobenzen	67. Bütil benzil ftalat	104. $\gamma$ -BHC(lindan)-gama
27. 1,4-Diklorobenzen	68. Di-n-bütil ftalat	105. $\delta$ -BHC-delta
28. 3,3'-Diklorobenzidin	69. Di-n-aktül ftalat	106. PCB-1242(Aroklor 1242)
29. 1,1-Dikloroetilen	70. Dietil ftalat	107. PCB-1254(Aroklor 1254)
30. 1,2-trans-Dikloroetilen	71. Dimetil ftalat	108. PCB-1221(Aroklor 1221)
31. 2,4-Diklorofenol	72. Benzo(a)antrasen (1,2-benzantrasen)	109. PCB-1232(Aroklor 1232)
32. 1,2-Dikloropropan	73. Benzo(a)piren (3,4-benzopiren)	110. PCB-1248(Aroklor 1248)
33. 1,2-Dikloropropilen	74. 3,4-Benzofloranten	111. PCB-1260(Aroklor 1260)
34. 2,4-Dimetilfenol	75. Benzo(k)floroanten (11,12-benzofloranten)	112. PCB-1016(Aroklor 1016)
35. 2,4-Dinitrotoluen	76. Krisen	113. Toksafen
36. 2,6-Dinitrotoluen	77. Asenaftalin	114. 2,3,7,8-Tetraklorodibenzo-p-dioksin (TCDD)
37. 1,2-Diphenilhidrazin	78. Antrasen	

### 14.1.2. Atıksu Kaynak ve Özellikleri

Endüstriyel atıksuların kirliliği ve hacmi, üretim bazında (örn. m<sup>3</sup>/ton kağıt veya kg BOİ/ton kağıt), atıksu karakterindeki değişimler ise istatistiksel dağılım ile verilir. Üretim tesislerinde atıksu akış karakterindeki değişim istatistik yöntemlerle incelenir. Bu değişimin büyüklüğü üretilen ürünün farklılığına, atıksuyun kaynaklandığı proseslere, üretimin kesikli ya da sürekli olmasına bağlıdır. Bu konuda gösterilen özen ve hassasiyet, sıçrama dökülme gibi olayları minimize edeceğinden istatistiksel değişkenleri azaltacaktır. Kesikli proseslerde tipik debi eğrileri Şekil 14.1'de, atıksu debi ve karakterindeki günlük değişimler ise Şekil 14.2'de verilmiştir.



Şekil 14.1. Kesikli bir üretimde debi değişimleri



Şekil 14.2. Bir domates işleme tesisinde debi ve atıksu karakterindeki günlük değişimler

Aynı üretimi yapan tesislerin atıksu debi ve karakterinde de değişimler olabilir. Bunun nedeni de üretim prosesindeki farklılıklar, geri kazanım uygulamaları ve bakımdır. Bu yüzden de her fabrika için atıksu yükü ve değişimini saptamak üzere karakterizasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

### **Endüstriyel Atık Araştırması**

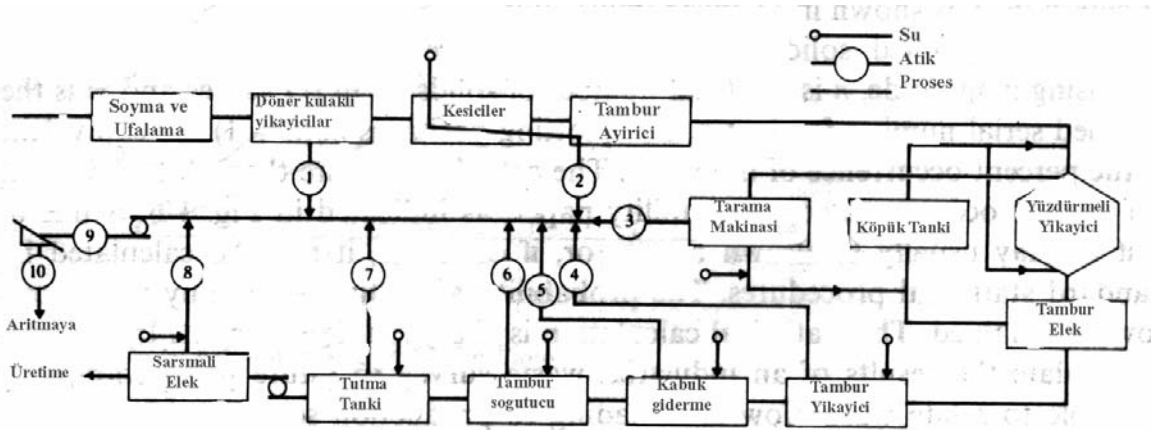
Endüstriyel atık araştırması, su kullanan ve atık üreten tüm proseslerin kütle dengesini ve belirli proseslerde ve tüm tesiste atık karakteristiklerindeki değişimleri içeren bir prosedürdür. Bunun sonunda suyun korunması ve tekrar kullanımı olasılıkları ile arıtma tesisine gidecek atıksuyun debi ve kirliliğindeki değişimler belirlenir. Gerekli bilgileri minimum emek ile gerçekleştirmek için takip edilecek genel prosedür dört adımda özetlenebilir:

1. Fabrikadaki bir mühendisin yardımı ile proses bazında kanal sisteminin haritası hazırlanır. Bu harita, örnekleme istasyonları ve beklenen atıksu debilerini içermelidir.
2. Örnekleme ve analiz çizelgesi hazırlanır. Debiyle orantılı, sürekli örnek alınması en iyi yöntemdir ancak bu tarz örnek alma, yerine göre uygun olmayabilir. Kompozit örneğin periyodu ve örnekleme sıklığı o prosese göre belirlenir. Bazı sürekli proseslerde 8, 12 veya 24 saat boyunca saatlik örnekleme yapılır. Çok dalgalanma gösteren proseslerde ise 1 veya 2 saatlik kompozit alınıp analiz edilmesi gerekebilir. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde belli kapasitede dengeleme ve depolama kapasitesi olduğundan daha sık örnekleme nadiren gerekir. Kesikli prosesler ise kesikli deşarj sırasında kompozitlenmelidir.

Örneklerde yapılacak analizler analizin karakterine ve amacına bağlıdır. Örneğin, pH anlık örneklerde ölçülmelidir. Çünkü bazı durumlarda kompozitleme ile çok asidik veya bazik sular nötrale olarak tasarımda yanlış bilgiye neden olabilir. Kısa kalış süreli biyolojik arıtma tesisi tasarımı söz konusu olduğunda BOİ yüklerindeki değişimler, 8 saatten daha kısa kompozit örnek alımını gerektirebilir. Havalandırılmalı lagünlerde ise 24 saatlik kompozit yeterli olmaktadır. Azot ve fosfor, gerekli besin elementi ihtiyacını belirlemek amacıyla ölçülüyorsa, biyolojik sistemin belirli derecede tampon kapasitesi olduğundan 24 saatlik kompozitte ölçülmesi yeterlidir. Biyolojik sistem için toksik deşarjlar istisnadır. Bazı toksik maddelerin tek dozu biyolojik prosesi bozacağından bu tür maddelerin sürekli ölçülmesi gerekir. Toksik maddelerin mevcut olması durumunda arıtma tesisinde ayrıca dikkate alınmaları gerekir.

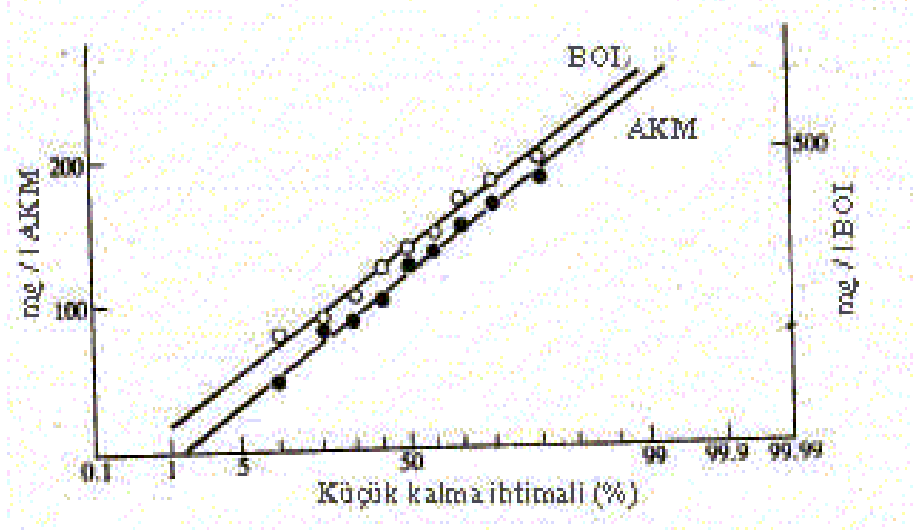
Debi ölçüm ve hesabı Bölüm 1 ve Bölüm 2' de ayrıntılı olarak verilmiştir.

3. Atıksu debi dengesi çizelgesi hazırlanır. Datalar toplanıp analizler yapıldıktan sonra tüm önemli atıksu kaynaklarının dikkate alındığı su denge diyagramı hazırlanır. Bir mısır işleme prosesi su denge diyagramı Şekil 14.3 de verilmiştir.



Şekil 14.3. Mısır işleme tesisi akış-madde denge diyagramı

4. Önemli atık karakterlerindeki istatistiksel değişimler oluşturulur. Bazı atık karakteristiklerindeki değişimler atıksu arıtma tesisi tasarımında çok önemlidir. Bu tür verilerin eklenik olasılık dağılımlarını gösteren özel grafikler hazırlanmalıdır. Bu şekilde hazırlanmış bir grafik Şekil 14.4' de verilmiştir.



Şekil 14.4. Ham atıksuda BOİ ve AKM'nin eklenik olasılık dağılımı

### 14.1.3. Su Tekrar Kullanımı ve Kaynakta Atık Kontrolü

Endüstriyel proseslerde, ürün kalite kontrolü ile tekrar kullanım için üst limit belirlenir. Örneğin kağıt endüstrisi kapalı sistem su devresinde çözülmüş organik maddeler, her bir çevrimde bir miktar daha artarak birikir. Bu da kabuk kontrol maliyetini yükseltir, kağıt makinelerinin kapalı kalma sürelerini arttırır, bazı durumlarda da kağıt stoklarında renk bozulmalarına neden olur. Maksimum geri kazanım bu problemler ortaya çıkmadan önce gerçekleştirilmelidir.

Tekrar kullanım söz konusu olduğunda suyun kullanılacağı amaca göre arıtma seviyeleri de farklı olur. Kağıt makineleri duş sularında püskürtme uçlarında tıkanmaya neden olmamak için tekrar kullanılacak sudaki katıların giderilmesi gerekir. Domates işleme tesislerinde domates yıkama suyunun saf olması gerekmez, ancak mikrobiyolojik kirlenmeye yol açmamak üzere dezenfeksiyon gerekir.

Yan ürün geri kazanımı genellikle su tekrar kullanımı ile birlikte olur. Kağıt üretiminde elyaf geri kazanımı arıtılmış suyun tekrar kullanımına olanak verir. Kaplama tesislerinde yıkama sularının iyon değiştirmeye tabi tutulması ile tekrar kullanılabilir kromik asit elde edilir. Endüstride buna benzer birçok durum vardır.

Bira üretiminde su tasarrufu, 3. yıkamanın kaynatmada ve sonraki yıkamanın fiçi temizlemede kullanımı ve soğutma suyunun temizleme amacıyla kullanımı ile sağlanır. Toplam atık yükü, atık taneciklerin yarı kuru vaziyette ayrılması, mayanın fermentörlerden filtrasyon ve kurutma için uzaklaştırılması ve soğuk depolama tanklarında çökeltinin çamur halinde uzaklaştırılması ile azaltılabilir. Birçok durumda bu operasyonlar sonucu ticari değeri olan yan ürünler elde edilir.

Rafinerilerde kullanılmış kostik çözeltisi yüksek konsantrasyonda sülfür, merkaptan ve fenolat içerir. Bu atığın arıtma tesisine verilmeksizin bağımsız olarak arıtımı, arıtma tesisi maliyetini önemli ölçüde düşürerek ticari değeri olan ürün oluşumunu sağlayabilir.

Bir çok kimyasalın üretildiği bir organik kimya endüstrisinde detaylı bir atık yükü azaltma çalışması sonucu kaynakta atık kontrolü ile 42,000 m<sup>3</sup>/gün debi ve 25,300 kg BOİ/gün'lük BOİ yükü 31,400 m<sup>3</sup>/gün debiye ve 16,800 kg BOİ/gün'e indirilmiştir (1). Bu sonuca ulaşmak için yapılmış çalışmalar Tablo 14.2'de verilmiştir.

Tablo 14.2. Atık yükü azaltmak için proses içi değişiklikler (1)

Değişiklik	Açıklama	Toplam azalan atık yükü, %
Ekipman revizyonu ve ilavesi		25
Ünitenin kapatılması	Eski ünite veya üründen dolayı ünitenin kapatılması. Bu kapatmalar kirliliğin sonucu değildir ancak kirlilikten dolayı hızlandırılmıştır.	10
Sıyırıcının değiştirilmesi	Çıkış gazlarının yakılması sırasında amin çıkışına neden olan sıyırıcının değiştirilmesi	3
Ayırma, toplama ve yakma	Belirli konsantre atıksu akımları	35
Ham maddeyi değiştirme		3
Tekrar proses etme	Belirli proseslerdeki yan akımları daha çok ürün geri kazanma ve atıksu akımını konsantre etmek üzere toplama ve ilave işleme tabi tutma	
Diğer bazı projeler	Tek tek büyük çapta atık azalmasına neden olmayacak çeşitli değişiklikler	21

Proses düzenlemeleri ile bazı atıksu akımları azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir. Buna en çarpıcı örnek boyama hatlarında tasarruflu ve sprey yıkamalı tankların kullanımınıdır. Bu sayede atıksu debi ve konsantrasyonunda belirgin bir düşme sağlanır. Süt endüstrisinde sızıntıları toplayacak şekilde ekipman değişiklikleri, atıksu kanalına gidecek BOİ yükünün azalmasına neden olur. Tekstil üretiminde haşılama maddesinin değiştirilmesi arıtma girecek net kirlilik yükünün düşmesini sağlar.

Bunların dışında çeşitli endüstrilerle ilgili bir çok örnek mevcuttur. Su tekrar kullanımı ve yan ürün geri kazanımı olanakları ile ilgili olarak atıksu arıtma gereksinimleri geliştirilmeden önce kirlilik profili analizi yapılmalıdır.

Arıtma tesisi tasarım kriterleri geliştirilmeden önce bazı atıkların ayrılması dikkate alınmalıdır. Bazı eski tesislerde bu ekonomik veya mümkün değildir. Bazı atıkların birleştirilmesinin tehlike arz edeceği durumlarda ayırma gerekebilir. Örneğin kaplama endüstrisinde asidik metal banyosu atıklarının siyanürlü sularla karışması sonucunda toksik HCN oluşur.

Endüstrilerde, atıksu akımının bir bölümünün askıda katı yükünün büyük bir bölümünü oluşturması gibi durumlarda sadece atıksuyun bu bölümünde AKM giderimi yapılması gerekir.

Soğutma suları gibi kirlenmemiş sular ayrılarak alıcı ortama doğrudan deşarj edilirler.

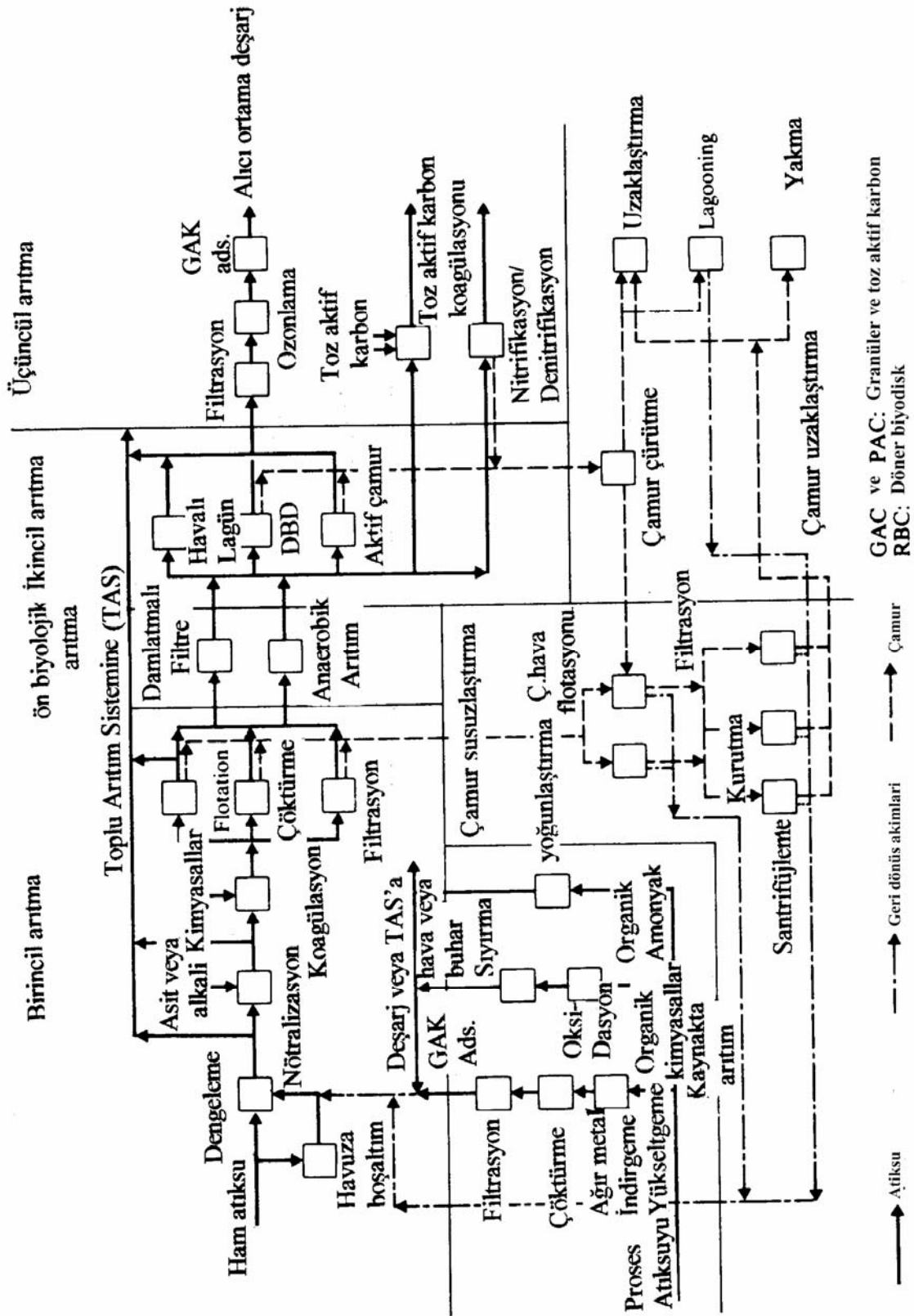
Atıksu tekrar kullanımı, yan ürün geri kazanımı ve atık ayrılması, atık arıtımı proses tasarımı için temel teşkil edecek revize kütle dengesi-akış diyagramının oluşmasını sağlayacaktır.

## 14.2. Atıksu Arıtma Prosesleri

Şekil 14.5, çeşitli karakterde atıksuları arıtabilecek kapasiteye sahip entegre bir sistemin şematik diyagramını göstermektedir. Şekilde merkezde klasik birincil ve ikincil arıtma prosesleri bulunmaktadır. Üçüncül arıtım ve bazı atıksuları arıtan özel arıtma sistemleri de şemada yer almaktadır.

Toksik olmayan atıklar birincil ve ikincil arıtma sistemlerinde arıtılabilmekte, diğer atıksular ise ancak ön arıtmadan geçirildikten sonra bu sistemlere verilmektedir. Birincil arıtmada atıksu biyolojik arıtıma uygun özelliğe getirilir. Büyük katı parçacıklar tutulur ve kum ayrılır. Dengeleme, atıksuyun debi ve konsantrasyonundaki zamana bağlı değişimleri dengeler. Gerekğinde dengeleme tankından sonra atıksuyun pH'ı nötralize edilir. Yağ, gres ve askıda katılar, yüzdürme, çöktürme ve filtrasyon ile giderilir. İkincil arıtma, BOİ olarak 50-1000 mg/l aralığındaki çözülmüş organik bileşiklerin biyolojik parçalanmasıdır. Bu işlem aerobik proses olup genellikle açık ve havalandırılan havuz veya lagünlerde yapılır. Bazı durumlarda (kuvvetli organik atıksularda) atıksu, anaerobik reaktörlerde ön arıtmadan geçirilebilir. Biyolojik arıtmadan sonra mikroorganizma ve diğer askıda katıdan oluşan çamur çöktürülür. Bu çamurun bir kısmı prosese geri döndürülür, fazla çamur ise sistemden uzaklaştırılır.





Şekil 14.5. Endüstriyel atıksu arıtımı için alternatif teknolojiler

Birçok arıtma sistemi, birincil ve ikincil arıtmayı içermekte olup aynı zamanda mikroorganizma için toksik olan maddeleri de giderebilmekteydi. Ancak günümüzde alıcı ortam canlıları üzerinde toksik etkisi olan öncelikli kirletici ve kalıntıları arıtabilmek önem kazandığından bunun için ya yeni sistemler tasarlanmalı veya eski kurulu sistemlere uygun yeni üniteler eklenerek mevcut sistemin kapasitesi artırılmalıdır.

Üçüncül arıtma prosesleri, bazı özel bileşenlerin giderilmesi için biyolojik arıtmadan sonra sisteme eklenir. Örneğin filtrasyon, askıda ve kolloidal katıların gideriminde; granüler aktif karbon organiklerin adsorpsiyonunda; kimyasal oksidasyon da gene organiklerin gideriminde kullanılırlar. Üçüncül arıtma sistemleri büyük hacimlerdeki atıksuları arıtmak durumunda olduklarından dolayı oldukça pahalıdırlar. Kirleticiye özel olmadıkları için bazı durumlarda verimsiz de olabilmektedirler. Örneğin; diklorofenol, ozonlama veya granüle aktif karbon ile giderilebilir, ancak bu prosesler aynı zamanda diğer birçok organikleri de giderecektir.

Biyolojik arıtımı engelleyen ağır metal, pestisit gibi maddeler bakımından zengin atıksular için kaynakta arıtım gerekmektedir. Biyolojik olarak parçalanmayan özel maddeleri içeren daha düşük hacimli atıksuları arıtmak seyrelmiş ancak büyük hacimli atıksuları arıtmaktan hem daha kolay, hem de daha ekonomiktir. Kaynakta arıtım için kullanılan prosesler çöktürme, aktif karbon adsorpsiyonu, kimyasal oksidasyon, hava veya buharlı sıyırma, iyon değiştirme, ters osmoz, elektro diyaliz ve ıslak hava oksidasyonudur.

Mevcut arıtma sistemlerinin kapasitelerini arttırmak ve verimlerini yükseltmek için proste bazı değişikliklerin yapılması, pratikte sık uygulanan bir durumdur. Bunun bir örneği mikroorganizmaların parçalayamayacağı organikleri adsorbe etmek için biyolojik arıtma sistemine toz aktif karbon ilave edilmesidir. Diğer bir örnek ise, biyolojik arıtmadan sonra atıksudaki fosfor ve kalıntı askıda katıların koagülasyonla giderimidir.

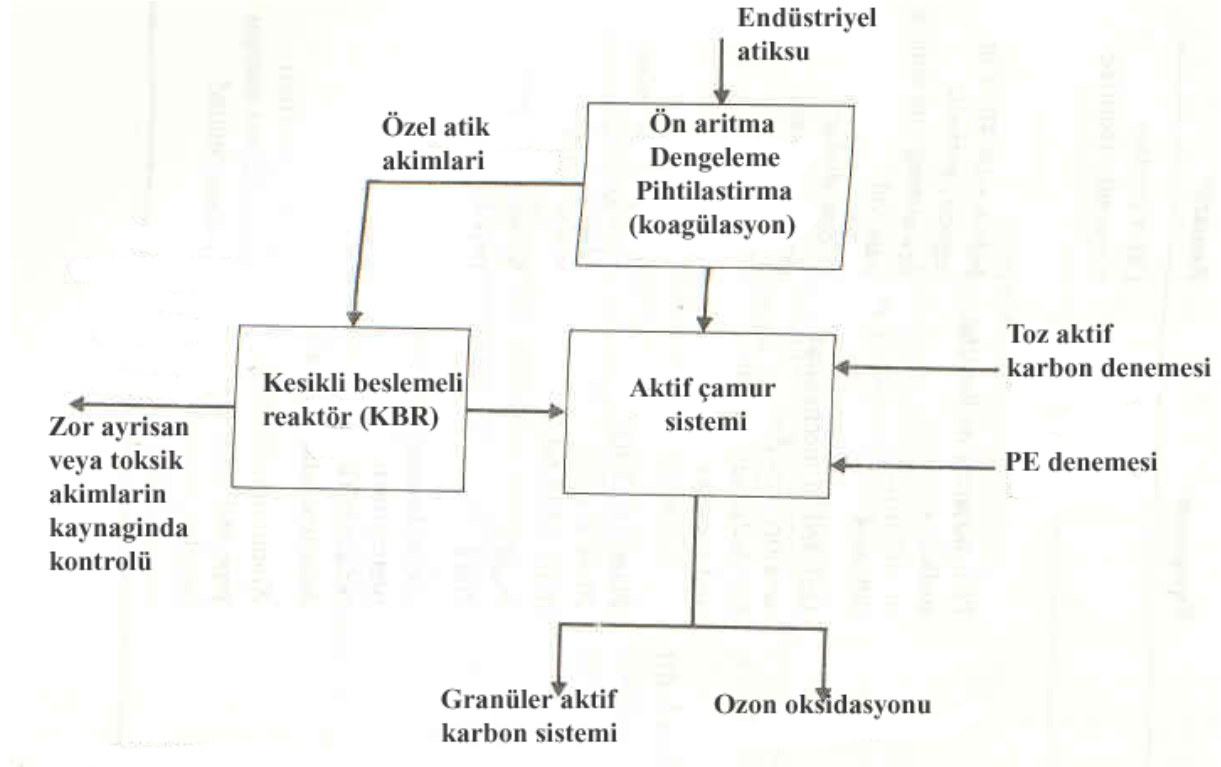
Atıksu arıtma proseslerinin veya proses kombinasyonlarının seçimi aşağıdaki kriterlere bağlıdır;

- Atıksu karakteri: Bu, kirleticinin askıda, kolloidal veya çözünmüş, biyolojik parçalanabilen gibi hangi formda olduğunu ve toksisitesini kapsamalıdır.
- Çıkış suyu kalitesi: Çıkış suyunun zehirlilik (bioassay) deney sonuçları gibi ileriye yönelik istenebilecek deşarj kısıtlamalarına da planlamada yer verilmelidir.
- Herhangi atıksu arıtma problemi için mevcut yer ve maliyet: İstenen arıtma verimine çoğu zaman bir veya daha fazla arıtım kombinasyonu ile ulaşılabilir. Ancak bu seçeneklerden yalnızca bir tanesi en ekonomiktir. Bu nedenle proses tasarımına geçmeden önce detaylı bir fizibilite analizi yapılmalıdır.

Birçok durumda atıksuyun özellikleri saptandıktan sonra ya belirlenen tasarım parametreleri kullanılarak ya da laboratuvar veya pilot ölçekli deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak proses tasarım kriterleri belirlenir. Buna örnek olarak, bir tekstil fabrikası atıksuyunun arıtma sistemi tasarımı için yapılan laboratuvar çalışmaları verilebilir. Kimyasal arıtmada en uygun kimyasalı bulmak ve ulaşılacak optimum verimi saptamak önemlidir. Bu nedenle çeşitli kimyasalların denenmesi sonucunda alum ve kirecin birlikte kullanımında %42 KOİ giderimine ulaşılmıştır (2). Benzer deney diğer sektörlerin atıksuları için de uygulanabilir. İkinci bir örnek de yüksek konsantrasyonlu alkaloid fabrikası atıksuyunun kimyasal arıtılmasıdır. Ancak bu durumda alum, toplam organik karbonun (TOK) %10'unu giderebilmiştir (3). Bu atıksu için mevcut biyolojik arıtma sisteminin işletme şartları tekrar belirlenerek iyileştirme yapılmış ve 1. ve 2. kademe biyolojik arıtmada sırasıyla %98 ve %96

BOİ arıtım verimlerine ulaşılmıştır. Kimyasal arıtılmış tekstil atıksuyunun biyolojik arıtımında ise laboratuvar sonuçlarına göre %90 KOİ arıtım verimi elde edilmiştir. Bu değerleri sağlayan tasarım kriterleri belirlenerek sistemin tümünün tasarımı yapılabilmektedir.

Toksik ve toksik olmayan organik ve inorganikleri içeren kompleks kimyasal atıksuların arıtılması durumunda uygun arıtma sistemini seçebilmek için daha sıkı eleme yapmak gerekir (Şekil 14.6). Burada not edilmesi gereken önemli bir konu, biyolojik arıtmadan önce ağır metallerin giderilmesi gerektiğidir. Ağır metaller biyolojik proses için toksik olabilir ve çamurda birikebilir. Bu durum çamur uzaklaştırmada da problemlere yol açabilir.



Şekil 14.6. Endüstriyel atıksu arıtım teknolojisi seçiminde yöntem değerlendirme (1).

Kimyasal atıkların arıtım alternatifleri Tablo 14.3'de özetlenmiştir. Biyolojik atıksu arıtımı için alternatifler de Tablo 14.4'de verilmiştir. Klasik atıksu arıtma proseslerinin kullanılması durumunda ulaşılabilecek en düşük arıtılmış çıkış suyu kalitesi verileri de Tablo 14.5'de gösterilmiştir.

Tablo 14.3. Kimyasal arıtma teknolojileri (1).

Arıtma Metodu	Atık tipi	İşletme şekli	Arıtım derecesi	Yorum
İyon değişimi	Kaplama, nükleer	Reçine rejenerasyonlu sürekli filtrasyon	Demineralize su ve ürün geri kazanımı	Rejenerantta nötralizasyon ve katı madde giderimi
İndirgeme ve çöktürme	Kaplama, ağır metal	Kesikli veya sürekli arıtım	Askıda koloidal maddelerin tam giderimi	Kesikli arıtma için 1 günlük kapasite; Sürekli arıtma için 3saat kalma zamanı; Çamur uzaklaştırma veya susuzlaştırma gerekebilir.
Koagülasyon	Karton, rafineri, kauçuk, boya, tekstil	Kesikli veya sürekli arıtım	Askıda koloidal maddelerin tam giderimi	Flokülasyon ve çöktürme tankı veya çamur (blanket) yatağı; pH kontrolü gerekebilir.
Adsorpsiyon	Toksik ve organikler, zor ayrışan bileşikler	Toz karbonlu granüle kolon	Birçok organikte tam arıtım	Toz karbon aktif çamur prosesinde kullanılır
Kimyasal oksidasyon	Toksik ve zor ayrışan bileşikler	Kesikli veya sürekli ozon veya katalizlenmiş hidrojen peroksit	Kısmi veya tam oksidasyon	Organiklerin daha çok biyolojik parçalanabilir olması için kısmi oksidasyon

Tablo 14.4. Biyolojik arıtma teknolojileri (1).

Arıtma metodu	İşletme şekli	Arıtım derecesi	Alan gereksinimi	Ekipmanlar	Yorum
Stabilizasyon havuzları	Aralıklı veya sürekli deşarj; fakültatif veya anaerobik	Aralıklı	Kazılı toprak; 10-60 gün kalma zamanı	-	Sık olarak koku kontrolü
Havalandırılmalı lagünler	Tam karışımli veya fakültatif sürekli havuzlar	Yazın yüksek; kışın düşük verim	Toprak havuz, 2.44-4.88m derinlik; 8.55-17.1 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .gün	Sabit veya yüzen yüzey havalandırıcılar, veya difüzörler	Lagünde katı madde giderimi; periyodik susuzlaştırma ve çamur giderimi
Aktif çamur	Tam karışım veya tampon akışlı; çamur geri devirli	%90 organik giderimi	Toprak veya beton havuz; 3.66-6.1m derinlik; 0.561-2.62 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .gün	Difüzörlü veya mekanik havalandırıcılar; çamur ayırma ve geri devir için çöktürme	Fazla çamur susuzlaştırılır ve atılır
Damlatılmalı filtre	Sürekli uygulama; çıkış geri devri gerekebilir	Yüklemeye bağlı olarak kesikli veya yüksek	5.52-34.4 m <sup>2</sup> /10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> .gün	6.1-12.19m'ye kadar plastik dolgu	Şehir AAT veya aktif çamurdan önce ön arıtım
Döner biyodisk	Çok kademeli sürekli	Aralıklı veya yüksek	-	Plastik diskler	Çamur giderme gerekebilir
Anaerobik reaktörler	Geri devirli tam karışım; yukarı veya aşağı akışlı filtre, akışkan yatak; yukarı akışlı çamur blanket	Aralıklı	-	Gaz toplama, ön arıtım gerekebilir	-
Yağmurlama sulaması	Aralıklı besleme	Tam; yer altı suyuna sızma ve yüzey suyuna karışma	6.24x10 <sup>-7</sup> -4.68x10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /s.m <sup>2</sup>	Alüminyum sulama borusu ve spreyc uçları; hareketli	Çamur ayırma atıksu tuz konsantrasyonu sınırlı

Tablo 14.5. Atıksu arıtma proseslerinde ulaşılabilen en iyi çıkış suyu kalitesi (1).

Proses	BOİ	KOİ	AKM	Azot	Fosfor	TÇK <sup>1</sup>
Çöktürme, %giderim	10-30	-	59-90	-	-	-
Yüzdürme, %giderim <sup>2</sup>	10-50	-	70-95	-	-	-
Aktif çamur, mg/l	<25	<sup>3</sup>	<20	<sup>4</sup>	4	-
Havalandırmalı lagün, mg/l	<50	-	>50	-	-	-
Anaerobik lagün mg/l	>100	-	<100	-	-	-
Derin kuyu A.Ç. Sistemi	Atığın hepsi	-	-	-	-	-
Karbon adsorpsiyonu, mg/l	<2	<10	<1	-	-	-
Denitrifikasyon- nitritifikasyon, mg/l	<10	-	-	<5	-	-
Kimyasal çöktürme, mg/l	-	-	<10	-	<1	-
İyon değişimi, mg/l	-	-	<1	<sup>5</sup>	5	5

<sup>1</sup>TÇK: Toplam çözünmüş katı

<sup>2</sup>Kimyasal kullanılması durumunda daha yüksek giderim elde edilir.

<sup>3</sup> $KOİ_{giriş} - [BOİ_u (giderilen) / 0.9]$

<sup>4</sup> $N_{giriş} \cdot 0.054$  (fazla biyolojik çamur) kg;  $P_{giriş} \cdot 0.0117$  (fazla biyolojik çamur,  $P_x$ ) kg

<sup>5</sup> Kullanılan reçine, moleküler durum ve istenen verime bağlıdır.

### 14.3. Ön ve Birinci Kademe Arıtım

#### 14.3.1. Dengeleme

Dengelemenin amacı, atıksu karakterindeki dalgalanmaları kontrol ederek veya en aza indirerek daha sonraki arıtım prosesleri için optimum şartları sağlamaktır. Atıksu miktarı ve akımındaki değişimler göz önüne alınarak dengeleme havuzunun boyutu ve tipi belirlenir. Endüstriyel arıtmada dengelemenin amacı aşağıdaki gibidir:

1. Organik madde konsantrasyonundaki ani değişimleri dengeleyerek biyolojik arıtma sistemine şok yüklemeyi önlemek.
2. Nötralizasyon için uygun pH kontrolünü sağlamak veya kimyasal gereksinimini en aza indirmek.
3. Fizikokimyasal arıtma sistemine aşırı atıksu girdisini en aza indirmek, kontrollü kimyasal beslemeye uygun ortam hazırlamak.
4. Üretimin olmadığı zamanlarda da biyolojik arıtma sistemine sürekli bir besleme sağlamak.
5. Şehir arıtma sistemine yükü eşit dağıtacak şekilde atık deşarjını kontrollü sağlamak.

6. Toksik maddelerin yüksek konsantrasyonda biyolojik arıtma sistemine girmesini önlemek.

Karıştırma, genellikle dengeleme oluşturmak ve havuzda çökebilene katıların çökmesini önlemek için yapılır. Buna ilave olarak indirgenebilen bileşiklerin oksidasyonu veya BOİ giderimi de dengeleme tankında meydana gelebilir. Karıştırma amacıyla uygulanan metotlar:

1. Perdeli karıştırma ve dağıtma,
2. Türbin karışım,
3. Difüzörle havalandırma,
4. Mekanik havalandırma.

Difüzörle havalandırmada gerekli hava ihtiyacı takriben  $3.74 \text{ m}^3 \text{ hava/m}^3 \text{ atıksu}$  alınabilir. Dengeleme tankı, giren atıksu debisindeki değişkenliği dengelemek için değiştirilebilir hacimde tasarlanır böylece sabit bir çıkış debisi elde edilebilir. Değişken hacimli havuz düşük hacimli atıksuların kimyasal arıtımı için uygulanmaktadır. Bu tip havuzlar, atıksuyun doğrudan kanalizasyona deşarj edilmesi durumunda da kullanılırlar. Normalde şehir arıtma sistemine düşük debide atıksu girdisi olduğu zamanlarda yüksek debide endüstriyel atıksu deşarjı istenebilir. 24 saat süresince sabit organik yük deşarjı, ideal bir işletme sistemidir.

Dengeleme tankı ya atıksu debisi, ya da konsantrasyonunu veya her ikisini de dengelemek üzere tasarlanabilir.

Atıksu arıtma sisteminden müsaade edilen maksimum çıkış suyu konsantrasyonu göz önüne alınarak da dengeleme tankı boyutlandırılabilir. Örneğin, aktif çamur sisteminde müsaade edilen maksimum çıkış suyu konsantrasyonu eğer  $50 \text{ mg/l BOİ}$  ise, dengeleme havuzundan deşarj edilecek maksimum debi hesaplanır ve buna göre hacim bulunur.

Hemen hemen sabit atıksu debisi ve kirlilik dağılımı olan bir atıksu için gerekli olan dengeleme süresi:

$$t = \frac{\Delta t (S_i^2)}{2(S_e^2)} \quad (14.1)$$

Burada:

$\Delta t$  = Kompozit örnekleme aralığı, saat

T = dengeleme süresi, saat

$S_i^2$  = Ham atıksu konsantrasyonu değişimi (standart sapmanın karesi)

$S_e^2$  = Muhtemel çıkış suyu konsantrasyon değişimi, (örneğin %99 güven seviyesinde beklenen değer)

Aktif çamur veya havalandırılmalı lagünler gibi tam karışımli sistemler kısmen hacim dengeleme amacıyla da kullanılabilirler. Örneğin, tam karışımli havalandırma tankında kalma zamanı 8 saat, dengeleme için gereken toplam kalma zamanı da 16 saat ise, bu durumda yalnızca 8 saatlik kalma zamanlı bir dengeleme tankına ihtiyaç olacaktır.

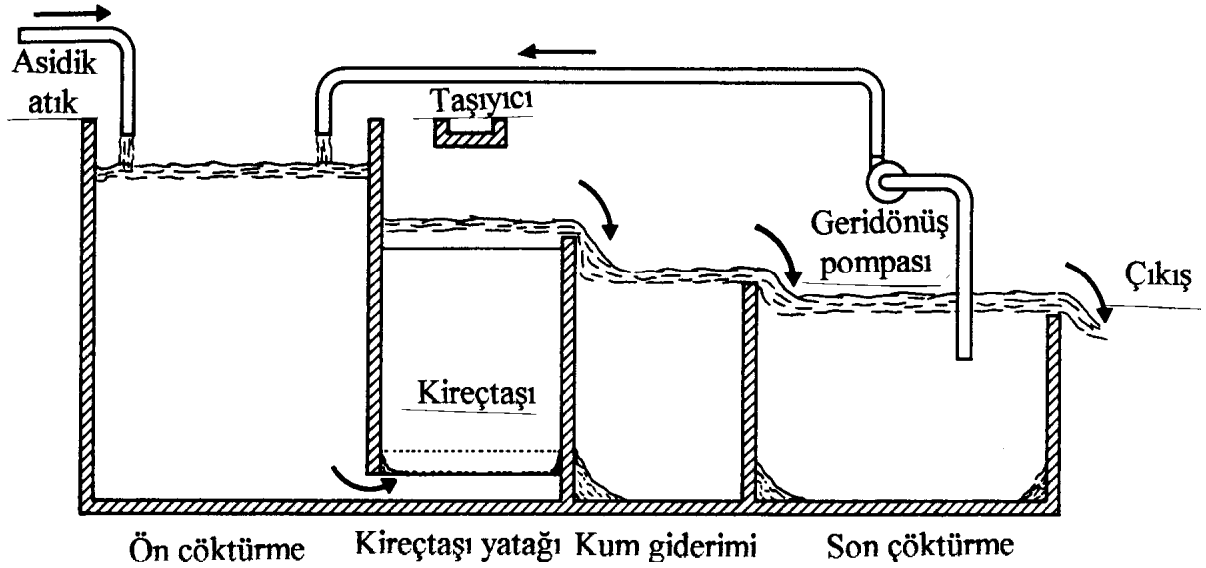
### 14.3.2. Nötralizasyon

Birçok endüstrinin atıksuyu asidik veya bazik olduğundan alıcı ortama veya kimyasal ve/veya biyolojik arıtma sistemine deşarj edilmeden önce nötralize edilmeleri gerekmektedir. Biyolojik arıtma sisteminde, optimum biyolojik aktivite 6.5-8.5 pH aralığında elde edilir. Biyolojik proseste reaksiyon sonucu oluşan CO<sub>2</sub> tampon etkisi gösterir ve nötralizasyon meydana gelir. Bu nedenle, atıksu için gerekli nötralizasyon derecesi biyolojik arıtma sisteminde giderilen BOİ miktarına veya atıksudaki asitliğe bağlıdır.

#### 14.3.2.1. Proses Tipleri

**Asidik ve Alkali Atıksu Akımlarının Karışımı:** Bu tip bir proseste istenilen nötralizasyona ulaşmak için dengelemede yeterli kalma zamanı gerekir.

**Kireçtaşı Yatağında Asidik Atıksu Nötralizasyonu:** Bu, aşağı veya yukarı akışlı sistem olabilir. Aşağı akışlı sistemde yeterli kalma zamanını sağlamak için gerekli maksimum hidrolik yüzey yükü  $4.07 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dk.m}^2$ 'dir. Asit konsantrasyonu, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'ün kabuklanmayı önlemek için kullanılması durumunda en fazla %0.6 olmalıdır. Çok sulandırma veya dolomit kireç taşının kullanılması durumunda etkin nötralizasyon için uzun kalma zamanı gerekir. Yukarı akışlı yataklarda, reaksiyon sonucu oluşan ürünün ortamda çökmeden uzaklaştırılması için hidrolik besleme hızı artırılır. Kireçtaşı-yatak sistemi Şekil 14.7'de verilmektedir.



Şekil 14.7. Basitleştirilmiş kireçtaşı nötralizasyonu akış diyagramı (1).

**Asidik Atıksuyun Kireç ile Karıştırılması:** Bu nötralizasyon kullanılan kirecin cinsine göre değişir. Kirecin yapısındaki magnezyum, kuvvetli asit çözeltisinde çok reaktif olup pH 4.2'nin altında etkindir. Kireç söndürmede reaksiyon ısı ve karıştırma ile hızlandırılır. Reaksiyon 10 dk'da tamamlanır. Bu çözelti, nötralizasyon amacıyla kullanılmadan önce birkaç saat bekletilmelidir. NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> veya NH<sub>4</sub>OH da atıksu nötralizasyonu için kullanılabilir.

**Bazik (Alkali) Atıklar:** Herhangi bir kuvvetli asit, bazik atıksuyu nötr yapmada kullanılabilir. Ancak sülfürik asit veya hidroklorik asit olması durumunda fiyatın yüksekliği kullanımı kısıtlayabilir. Reaksiyon çok hızlıdır.



%14 CO<sub>2</sub> içeren gaz nötralizasyonda kullanılabilir. CO<sub>2</sub>, atıksudan kabarcık halinde geçerken, karbonik aside dönüşür ve reaksiyona girer. Reaksiyon hızı yavaştır ancak, pH 7-8'in altına düşürülmeyecekse CO<sub>2</sub> kullanımı uygun olabilir. Gazın diğer bir kullanım şekli de dolgulu kulelerde atıksu akışının tersi yönünde geçirmektir.

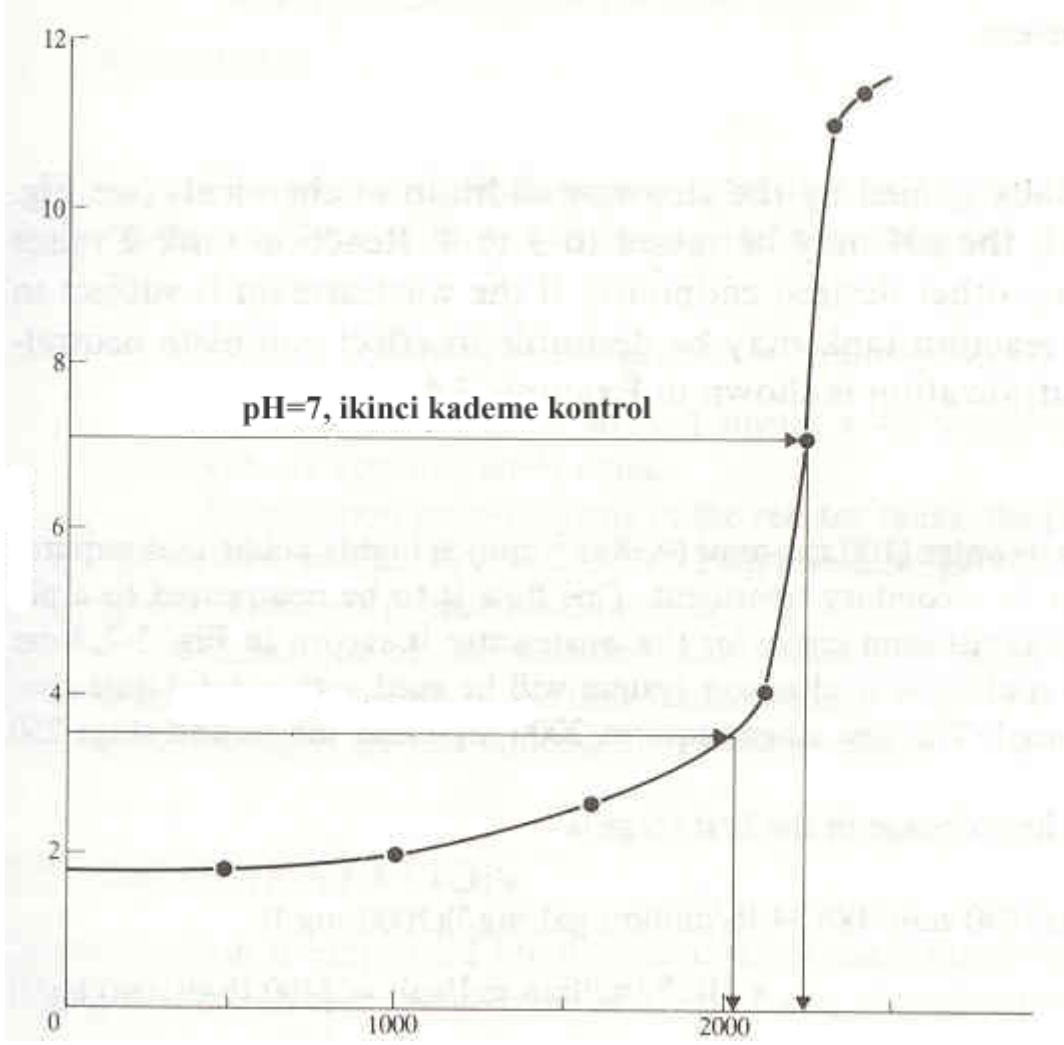
### 14.3.3. Sistem

Kesikli arıtım, atıksu debisinin en fazla 380 m<sup>3</sup>/gün olması durumunda kullanılabilir. Sürekli arıtımda hava, karıştırma amacıyla kullanılır ve pH kontrolü otomatik olarak yapılır. Minimum havalandırma hızı, 2.7 m sıvı derinliği için 0.3-0.9 m<sup>3</sup> hava/dk.m<sup>2</sup> 'dir.

### 14.3.4. Proses Kontrolü

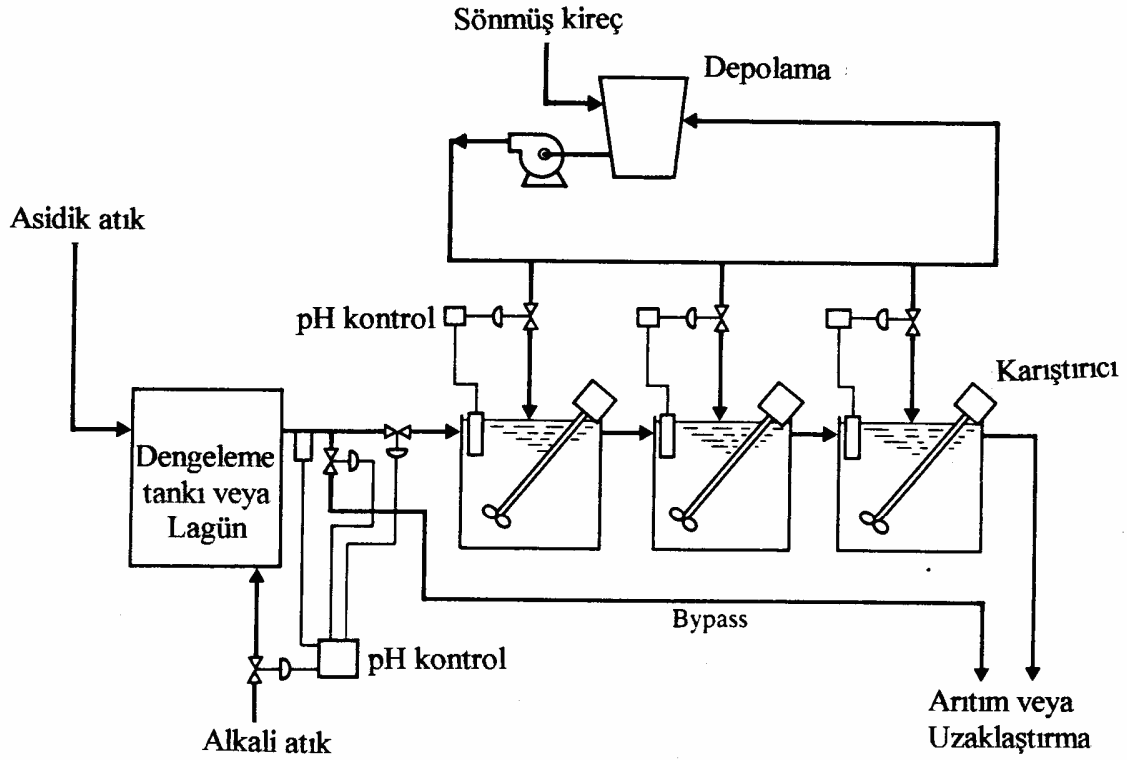
Akış halindeki atıksuda otomatik pH kontrolünün, aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı bazı mahzurları vardır;

1. Kuvvetli asit-kuvvetli baz nötralizasyonunda kullanılan kimyasal madde miktarı ile pH arasındaki ilişki özellikle pH=7 civarında doğrusal değildir. pH kontrolünde titrasyon eğrisi Şekil 14.8'de görüldüğü gibi çok basamaklıdır.
2. Atıksu pH'ının değişim hızı 1 birim pH/ dk'dır.
3. Atıksu debisi birkaç dakikada iki katı olabilir.
4. Atıksuya ilave edilen az miktarlardaki kimyasal madde kısa zamanda ortamda tamamen dağılmalıdır.



Şekil 14.8. Kuvvetli asit için kireç-atıksu titrasyon eğrisi

Kimyasal ilavesinin adım adım yapılması daha iyi sonuçlar verir (Şekil 14.9). 1. reaksiyon tankında, pH önce 3-4'e, 2. reaksiyon tankında da 5-6'ya yükseltilir (veya istenen pH'ya yükseltilir).



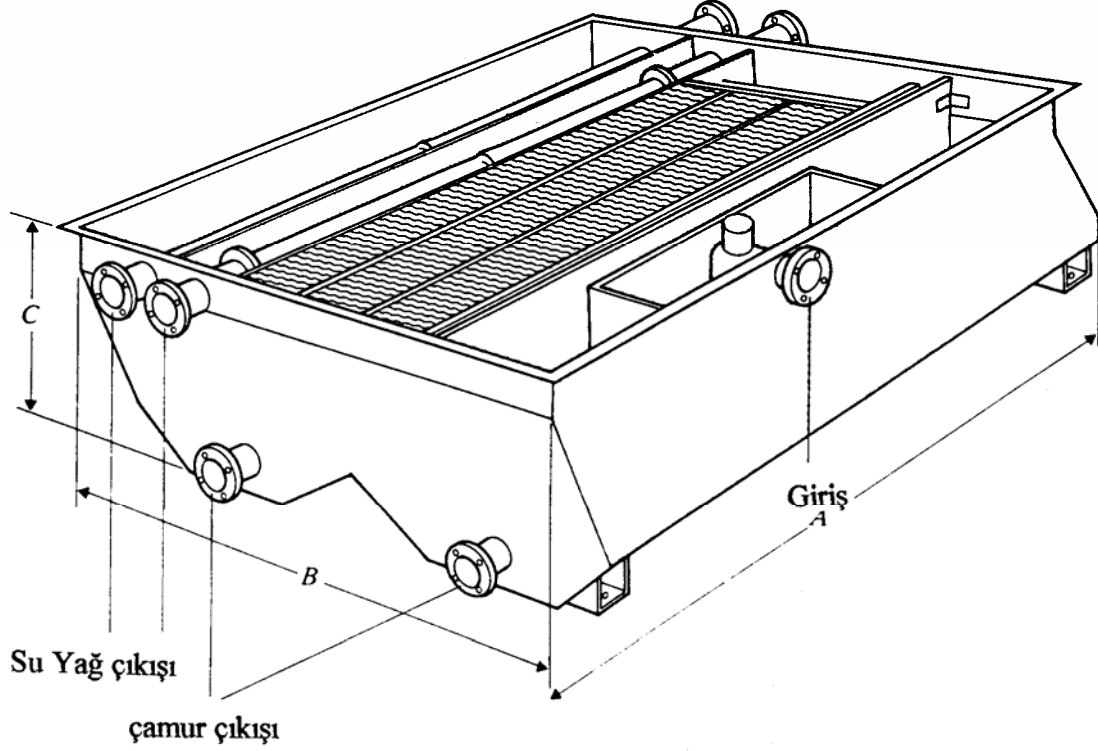
Şekil 14.9. Çok kademeli nötralizasyon prosesi (1).

### 14.3.5. Yağ Tutma

Yağ tutucuda serbest yağ tankın yüzeyine toplanır ve daha sonra sıyırma ile ortamdan uzaklaştırılır. Graviteli yağ tutucu tasarımı, çapı 0.015 cm'den büyük serbest yağ taneciklerinin giderilmesi esasına dayanır. Verimi; arıtılmış atıksuda 50 mg/l yağ konsantrasyonudur.

Levhalı (plakalı) yağ tutucu, paralel ve oluklu levhalardan oluşur. Levhalı yağ tutucu, 0.006 cm'den büyük yağ damlacıklarını ayırmak için tasarlanmıştır. Ham atıksuda %1'den az yağ bulunması durumunda levhalı yağ tutucu çıkışında serbest yağ konsantrasyonu 10 mg/l'ye düşmektedir. Burada problem, yüksek yağ yüklemelerinde, yağ taneciğinin kesme kuvvetinden dolayı arıtım veriminin düşmesidir. Bu durumda atıksu girişi oluklu levhanın zıttı yönünde yapılmalıdır. Böylece ayrılan yağ tanecikleri akışın tersi yönünde hareket ederek yükselir (burada levhalar 45° açılı ve 10 cm aralıklı yerleştirilir). Hidrolik yük, sıcaklık ve yağın özgül ağırlığı ile değişir. Yağ, 20°C sıcaklık ve 0.9 özgül ağırlığında en düşük debiye sahiptir.

0.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.saat'lik hidrolik yüklemelerde 0.006 cm boyutundaki yağ damlacıkları tutulmaktadır. Tasarım çalışmalarında emniyet faktörü genellikle %50 uygulanır. Levhalı yağ tutucu Şekil 14.10'da görülmektedir.



Şekil 14.10. Ters akışlı levhali yağ tutucu (1).

Emülsifiye yağın serbest forma dönüşmesi için emülsiyon özel artımla kırılır ve daha sonra serbest yağ gravite, koagülasyon veya havalı yüzdürme ile tutulur. Emülsiyonun kırılması kompleks bir proses olup pratik uygulamadan önce laboratuvar veya pilot ölçekli deneylerin yapılması gerekir.

Emülsiyon kırmada bir çok teknik kullanılabilir. Örneğin deterjan ile emülsiyon 5-60 dk'da ve %95-98 oranında parçalanabilir. Emülsiyon ortamı asidik yapılarak, alum veya demir tuzları eklenerek veya emülsiyon kırıcı polimerler kullanılarak kırılabilir. Ancak alum veya demir kullanmanın bir sakıncası da çok çamur oluşmasıdır.

#### 14.4. Endüstriyel Atıksu Arıtımı

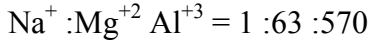
##### 14.4.1. Koagülasyon

Koagülasyon, askıda ve kolloid formdaki atık maddelerin giderilmesinde kullanılır. 1nm ( $10^{-7}$  cm)- 0.1nm ( $10^{-8}$  cm) boyuttaki parçacıklar kolloid olarak tanımlanırlar. Bu partiküller kendiliklerinden çökelmezler ve klasik fiziksel arıtma yöntemleriyle giderilemezler.

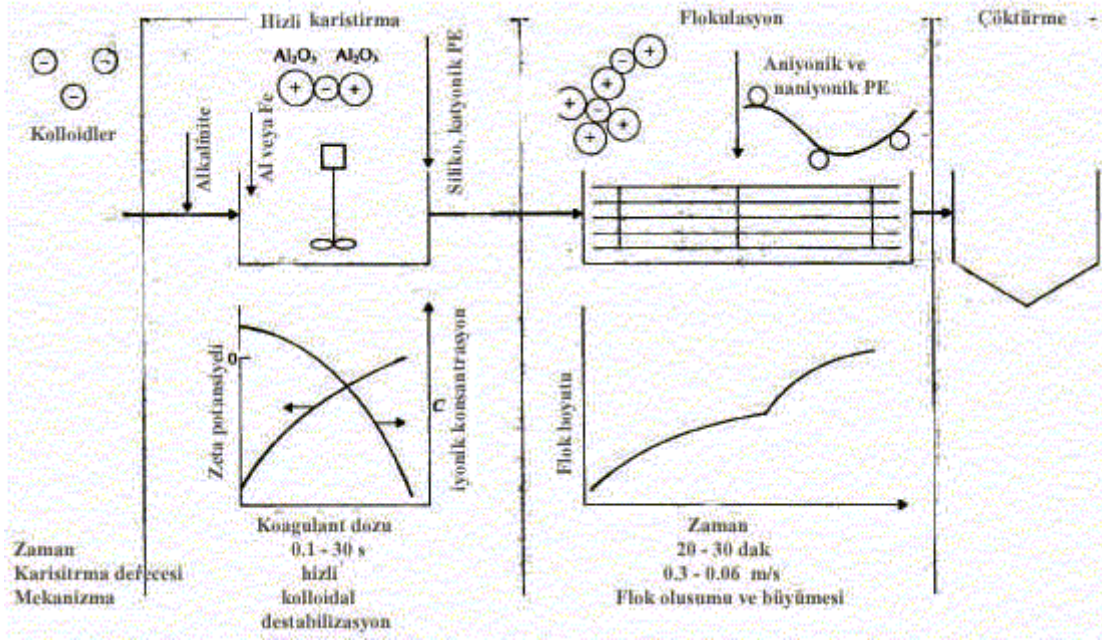
Atıksudaki kolloidler hidrofobik veya hidrofilik olabilirler. Hidrofobik kolloidler (çamur, vs.) sıvı ortama bir yakınlık göstermezler ve elektrolit ortamda kararsızdırlar. Bunlar kolayca koagüle olabilirler. Proteinler gibi hidrofilik kolloidler ise suya yakınlık gösterirler. Absorbe olan su flokülasyonu geciktirir ve bu yüzden etkin bir koagülasyon için özel işlem gerektirir.

Kolloid maddeler elektriksel özelliğe haizdirler. Bu özellikleri itici güç oluşturarak bir araya toplanmayı ve çökmeyi engeller. Kolloid maddelerin kararlılığı itici elektrostatik güçlere, hidrofilik kolloidler durumunda ise koagülasyonu engelleyen su tabakasında çözünmeye bağlıdır.

Kolloid maddelerin kararlılığı önemli ölçüde elektrostatik yüke bağlı olduğundan flokülasyon ve koagülasyon sağlamak için bu yükün nötralizasyonu gerekir. Zeta potansiyeli, elektrostatik yükün büyüklüğü dolayısı ile stabilizasyonun derecesi ile ilgilidir. Kolloid bir çözeltide Stabilizasyonun bozulması dolayısı ile çökmenin sağlanması için zeta potansiyelinin düşürülmesi gerekir. Endüstriyel atıksuların çoğunda kolloid maddeler negatif yüklü olduğundan atıksuya yüksek değerlikli katyon ilavesi ile zeta potansiyeli düşürülür. Arsenik oksidin çöktürülmesinde katyon değerliğinin çöktürme gücüne etkisi aşağıdaki durumda gerçekleşir.



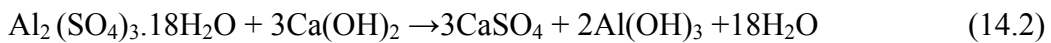
Optimum koagülasyon zeta potansiyeli 0 olduğunda ortaya çıkar, Bu izoelektrik noktası olarak adlandırılır. Etkin bir koagülasyon  $\pm 0.5$  mV zeta potansiyeli aralığının üstünde oluşur. Koagülasyon prosesi mekanizması Şekil 14.11 de verilmiştir.



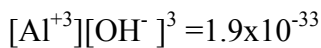
Şekil 14.11. Koagülasyon mekanizması

#### 14.4.1.1 Koagülant Özellikleri

Atık arıtma uygulamalarında en çok kullanılan koagülant alüminyum sülfattır ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ). Alkalinite bulunan bir ortamda suya alum ilave edildiğinde aşağıdaki reaksiyon olur:



Alüminyum hidroksit  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$  kimyasal formunda olup amfoterik yapıdadır. Yani asit ya da baz gibi davranır. Asidik şartlarda:



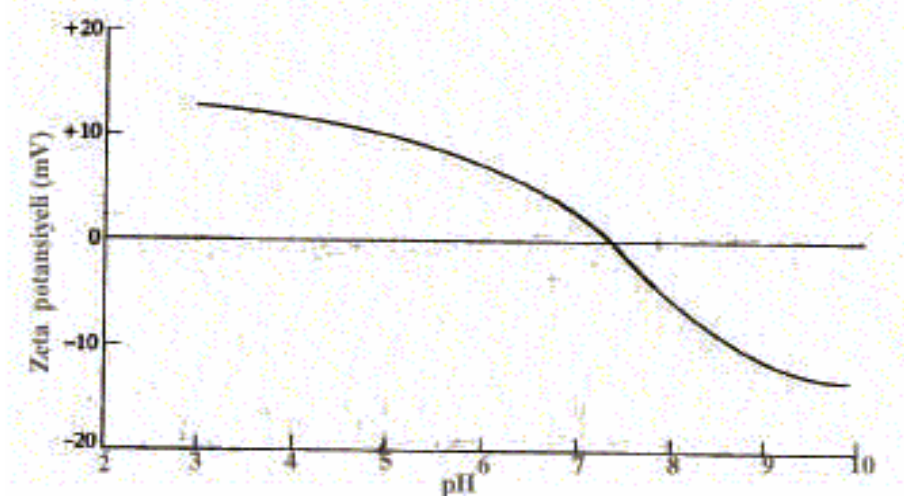
pH 4 de çözültide 51.3 mg/l  $Al^{+3}$  mevcuttur. Alkali şartlarda ise susuz alüminyum oksit çözünür:



$$[AlO_2^-][H^+] = 4 \times 10^{-13}$$

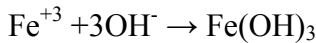
pH 9.0'da çözültide 10.8 mg/l alüminyum vardır.

Alum flokları pH 7.0'de çok az çözünür. pH 7.6'nın altında flok yükü pozitif, pH 8.2'nin üstünde ise negatiftir. Bu limitler arasında flok yükü karışıktır. Bu ilişki zeta potansiyeline bağlı olarak Şekil 14.12'de verilmiştir.



Şekil 14.12. Alüminyum hidroksit için zeta potansiyeli-pH ilişkisi

Demir tuzları da yaygın olarak kullanılan bir koagülanttır. pH 3.0-13.0 aralığında çözünmeyen sulu demir oksit oluşur:



$$[Fe^{+3}][OH^-]^3 = 10^{-36}$$

Asidik pH'da flok yükü pozitif alkali pH'da negatif, pH 6.5-8.0 aralığında ise karışık yüklüdür.

Ortamda anyonların bulunması flokülasyon derecesini etkiler. Sülfat iyonu asit aralığında flokülasyon yükseltir, alkali aralığında ise düşürür. Klorür iyonu hem asit hem bazik pH da biraz yükseltir.

Kireç gerçek bir koagülant değildir ancak bikarbonat alkalitesiyle birleşerek kalsiyum karbonat, ortofosfat ile birleşerek kalsiyum hidroksiapatit oluşturur. Magnezyum hidroksit yüksek pH seviyelerinde çöker. İyi ayırma için ortamda bir miktar jelimsi  $Mg(OH)_2$  olması gerekir, ancak bu durumda oluşan çamurun susuzlaştırılması zorlaşır. Kireç çamuru genellikle sıkıştırılabilir, susuzlaştırılabilir ve tekrar kullanım için kalsiyum karbonatı kirece dönüştürmek üzere kalsinleştirilir.

#### 14.4.1.2. Koagülant Yardımcıları

Bazı kimyasalların ilavesi ile daha büyük hızla çöken flok oluşumu ile koagülasyon hızlanır. Aktifleştirilmiş silika çok ince alüminyum hidrat parçacıklarını birbirine bağlayan kısa zincirli bir polimerdir. Silika yüksek dozlarda, elektronegatif özelliğinden dolayı flok oluşumunu engeller. En uygun doz 5-10 mg/l dir.

Polielektrolitler yüksek molekül ağırlıklı polimerlerdir. İçerdikleri adsorplanabilen gruplardan dolayı partiküller veya yüklü floklar arasında köprü oluştururlar. Alum veya demir klorür ile birlikte düşük dozlarda (1-5mg/l) polielektrolit ilavesi ile büyük floklar (0.3-1mm) oluşur. Polielektrolitler pH'dan etkilenmeksizin koloidin etkin yükünü azaltarak koagülasyonu sağlarlar. Üç tip polielektrolit vardır: kationik polielektrolitler, negatif kolloid veya flokları adsorblar; anyonik polielektrolitler, kolloid parçacıklarda anyonik gruplarla yer değiştirerek kolloid ve polimer arasında hidrojen bağına izin verir; iyonik olmayan (nanyonik) polimerler ise katı yüzeyleri ile polimerdeki polar gruplar arasında hidrojen bağı ile parçacıkları adsorblayarak floklaşmalarını sağlar. Koagülanların genel uygulamaları Tablo 14.6'da verilmiştir.

Tablo 14.6. Kimyasal koagülant uygulamaları (1)

Kimyasal proses	Doz aralığı mg/l	pH	Açıklama
Kireç	150-500	9-11	Kolloid koagülasyonu ve P giderimi. Düşük alkalinite, yüksek ve değişken P. Temel reaksiyonlar: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Ca(HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{MgCO}_3 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 + \text{CaCO}_3$
Alum	75-250	4.5-7	Kolloid koagülasyonu ve P giderimi. Yüksek alkalinite, düşük ve kararlı P. Temel reaksiyonlar: $\text{Al(SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$
$\text{FeCl}_3, \text{FeCl}_2$	35-150	4-7	Kolloid koagülasyonu ve P giderimi.
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	70-200	4-7	Yüksek alkalinite, düşük ve kararlı P. Çıkış suyunda bir miktar demirin olmasına izin veriliyorsa veya kontrol edilebiliyorsa. Ekonomik atık demir kaynağı varsa (çelik end.). Temel reaksiyonlar: $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe(OH)}_3 + 3\text{HCl}$
Kationik polimer	2-5	Fark yok	Kolloid koagülasyonu veya metalle birlikte koagülasyon yardımcı olarak. İnert kimyasal birikimi istenmediğinde
Anyonik ve bazı iyonik olmayan polimerler	0.25-1.0	Fark yok	Flokülasyon ve çöktürme hızını arttırmak için yardımcı olarak ve filtrasyon için flokları güçlendirmek için.
Ağırlaştırıcılar ve kil	3-20	Fark yok	Çok seyreltik koloidal karışımları bağlaştırmak için

Koagülasyonda kompleks reaksiyonlar söz konusu olduğundan optimum pH dozu ve koagülant dozajını tespit etmek için laboratuvar çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmalar 1.Jar-test, 2. Zeta potansiyeli kontrolü ile gerçekleştirilir.

**Koagülasyon Ekipmanı:** Endüstriyel atıkların flokülasyon ve koagülasyonu için iki temel ekipman kullanılır. Konvansiyonel sistemde hızlı karıştırma tankı, bunu takiben yavaş karıştırmanın yapıldığı pedallı flokülasyon tankı bulunur. Floklaşmış karışım konvansiyonel çöktürme tankında çöktürülür. Çökebilen flokların oluşma süresini ve koagülant dozunu azaltmak için çöken çamur geri döndürülür. Böylece kimyasal madde miktarı azalır, ayrıca çamur yatağı filtre görevi görerek çıkış suyunun berraklaşmasını sağlar.

#### 14.4.1.3. Endüstriyel Uygulamalar

Karton üretimi atıksuları düşük alum dozlarında koagüle edilebilir. Silika veya polielektrolit ilavesi ile hızlı çöken çamur oluşur. Karton üretimi atıksularının kimyasal arıtımı değerleri Tablo 14.7’de verilmiştir.

Tablo 14.7. Kağıt ve karton üretimi atıksularının kimyasal arıtımı değerleri (1)

Atık	Giriş		Çıkış				Kalma süresi saat	Çamur %katı	
	BOİ mg/l	AKM mg/l	BOİ mg/l	AKM mg/l	pH	Alum mg/l			Silika mg/l
Karton		350-450		15-60		3	5	1.7	2-4
Karton		260-600		35-85				2.0	2-5
Karton	127	593	68	44	6.7	10-12	10	1.3	1.76
Kağıt Mendil	140	720	36	10-15		2	4		
Kağıt Mendil	208		33		6.6		4		

Emülsiyeye yağ içeren atıklar da koagülasyonla çöktürülebilirler. Emülsiyedeki yağ parçacıkları yaklaşık  $10^{-5}$ cm’dir ve adsorblanan iyonlarla stabilize olurlar. Sabunlar da emülsiyon oluştururlar. Emülsiyon  $\text{CaCl}_2$  gibi bir tuz ilavesi ile veya pH’ı düşürmeyle de kırılabilir. Temizlik sabunu ve deterjan, suda çözünebilir taşlama yağı, kesme yağı, ve fosforik asit temizleyici ve çözücülerini içeren bir atıksuyun koagülasyon sonuçları Tablo 14.8.a’da verilmiştir. Bu çalışmada 800 mg/l alum, 450 mg/l  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ve 45 mg/l polielektrolit kullanılmıştır.



Tablo 14.8. Endüstriyel atıksuların koagülasyonu (1)

(a)	Analiz	
	Giriş	Çıkış
pH	10.3	7.1
Askıda katı,mg/l	544	40
Yağ ve gres,mg/l	302	28
Fe,mg/l	17.9	1.6
PO <sub>4</sub> ,mg/l	222	8.5

Tablo 14.8.(b)

	Giriş,mg/l	Çıkış,mg/l
ABS	63	0.1
BOİ	243	90
KOİ	512	171
PO <sub>4</sub>	267	150
CaCl <sub>2</sub>	480	
Katyonik sürfaktanlar	88	
pH	7.1	7.7

Tablo 14.8.(c)

	Giriş,mg/l	Çıkış,mg/l
KOİ	4340	178
BOİ	1070	90
Toplam katı	2550	446

Atıksudaki anyonik yüzey maddeleri koagülant dozunu arttırır. Endüstriyel çamaşırhane atıksuları H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, kireç ve alum ile muamele edildiğinde KOİ 12,000 mg/l'den 1800 mg/l'ye, AKM 1620 mg/l'den 105 mg/l'ye düşer. Kullanılan kimyasal madde dozları: 1400 mg/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1500 mg/l kireç, ve 300 mg/l alum, çöken çamur hacmi ise %25 dir.

Sentetik deterjan içeren çamaşırhane atıkları anyonik deterjanı nötralize etmek için katyonik sürfaktanlarla koagüle edilir, bunu takiben de flokülasyon için gerekli kalsiyum fosfat çökeltisi oluşturmak üzere kalsiyum tuzu ilave edilir. Elde edilen tipik sonuçlar Tablo 14.8.b'de verilmiştir.

Lateks üretiminden kaynaklanan polimer atıkları 500 mg/l demir klorür ve 200 mg/l kireç ile pH 9.6'da koagüle edildiğinde %75 KOİ, %94 BOİ giderimi sağlandığı belirtilmiştir (başlangıç KOİ=1000 mg/l, BOİ= 120 mg/l). Arıtılan 1 m<sup>3</sup> atıksu için 12 kg, ağırlıkça %1.2 katı içeren çamur oluşmuştur. Lateks temelli boya üretiminden kaynaklanan atıksular 345 mg/l alum ile pH=3.0-4.0 aralığında koagüle edildiğinde arıtılan 1 m<sup>3</sup> atıksu için 2.5 kg ağırlıkça % 2.95 katı içeren çamur oluştuğu belirtilmiştir. Arıtım sonuçları Tablo 14.8.c de verilmiştir. Tekstil endüstrisi atıksularının koagülasyon sonuçları Tablo 14.9'da, Kağıt endüstrisi atıksularında renk giderimi ise Tablo 14.10'da verilmiştir.

Tablo 14.9. Tekstil endüstrisi atıksularının koagülasyonu (1)

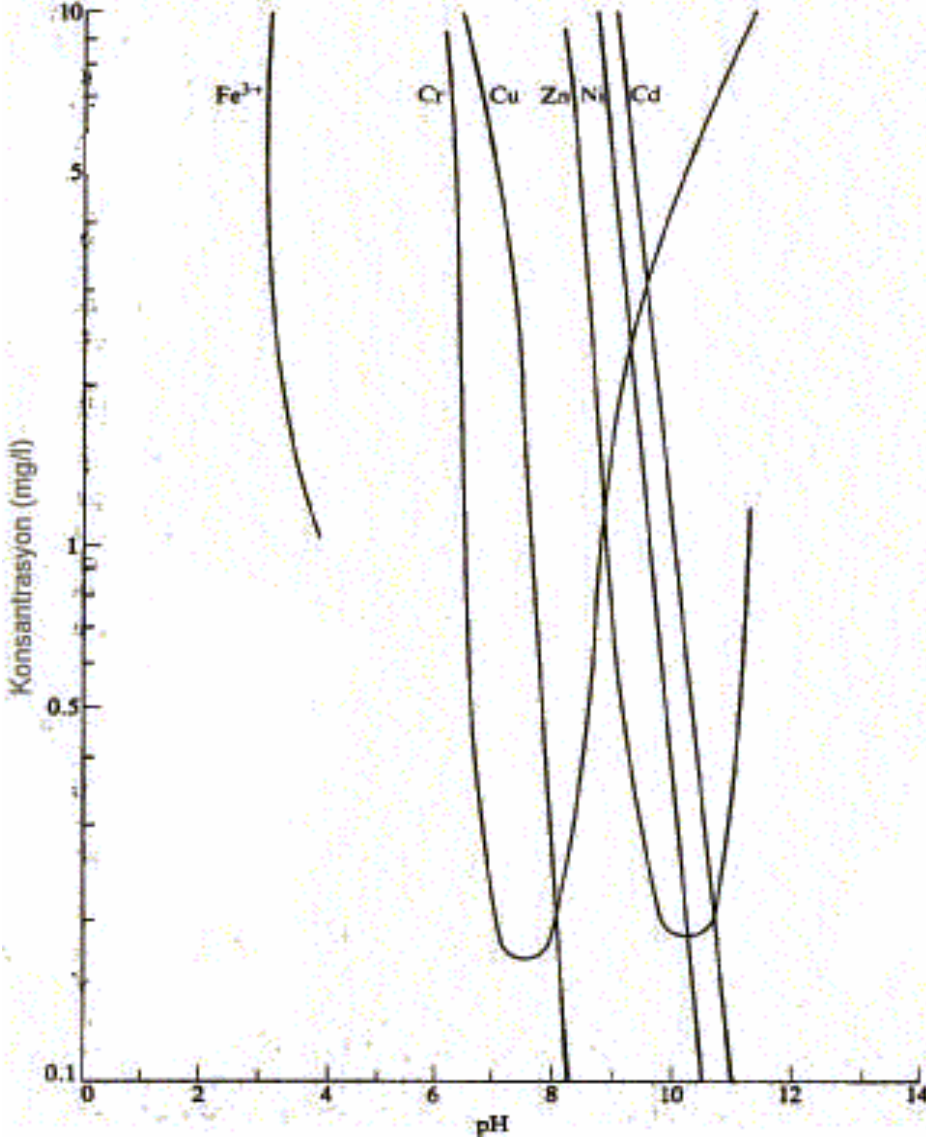
Tesis	Koagülant	Doz	pH	Renk		KOİ	
				Giriş	Giderim,%	Giriş	Giderim,%
1	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	250	7.5-11	0.25	90	584	33
	Alum	300	5.9		86		39
	Kireç	1200			68		30
2	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	500	3-4,9-11	0.74	89	840	49
	Alum	500	8.5-10		89		40
	Kireç	2000			65		40
3	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	250	9.5-11	1.84	95	825	38
	Alum	250	6-9		95		31
	Kireç	600			78		50
4	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1000	9-11	4.60	87	1570	31
	Alum	750	5-6		89		44
	Kireç	2500			87		44

Çamaşırhane atıkları ile pH 6.4-6.6 aralığında, 0.24 kg Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> atıksu dozajında %90 BOİ giderimi sağlanmıştır.

Tablo 14.10. Kağıt endüstrisi atıksularında renk giderimi (1)

Tesis	Koagülant	Doz	pH	Renk		KOİ	
				Giriş	Giderim,%	Giriş	Giderim,%
1	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	500	3.5-4.5	2250	92	776	60
	Alum	400	4.0-5.0		92		53
	Kireç	1500	-		92		38
2	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	275	3.5-4.5	1470	91	480	53
	Alum	250	4.0-5.5		93		48
	Kireç	1000	-		85		45
3	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	250	4.5-5.5	940	85	468	53
	Alum	250	5.0-6.5		91		44
	Kireç	1000	-		85		40

**Ağır Metal Giderimi:** Atıksulardaki ağır metaller, kireç veya kostik ilavesi ile çözünürlüklerinin en düşük olduğu pH'da metal hidroksitleri şeklinde çöktürülürler. Bu maddelerin çoğu amfoterik olup çözünürlükleri çok düşüktür. Çözünürlüğün minimum olduğu pH Şekil 14.13'de görüldüğü gibi metalden metale farklılık gösterir.



Şekil 14.13. Çeşitli pH'larda metallerin çözünürlükleri

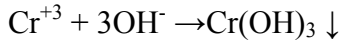
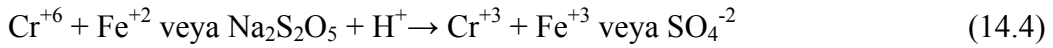
Krom ve çinkonun sırasıyla pH 7.5 ve 10.2'de çözünürlükleri minimumdur. Dolayısı ile bu pH değerinin üstünde çözeltideki miktarları yükselir.

Metal içeren endüstriyel atıksuların arıtımında metallerin çökmesine engel olabilecek maddelerin ön arıtım ile giderilmesi gerekir. Siyanür ve amonyak bir çok metalle kompleks oluşturarak metal giderimini engeller. Siyanür alkali ortamda klorlama ile veya karbon üzerine katalitik oksidasyon prosesi ile giderilebilir. Nikel ve gümüş metal komplekslerinin reaksiyon hızı düşük olduğundan bu metalleri içeren siyanürlü atıkların alkali ortamda klorlanması çok güçtür.  $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}]$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}]$ 'e dönüşür, bu form da daha ileri okside olmaz. Atıksudaki amonyak; amonyak sıyırma, kırılma noktası klorlaması veya diğer uygun yöntemlerle giderildikten sonra metal giderimi uygulanır.

Endüstriyel atıksulardaki ağır metaller kireçle çöktürülerek giderilebilirler. Ağır metaller sülfürleri veya karbonatları şeklinde de çöktürülebilirler.

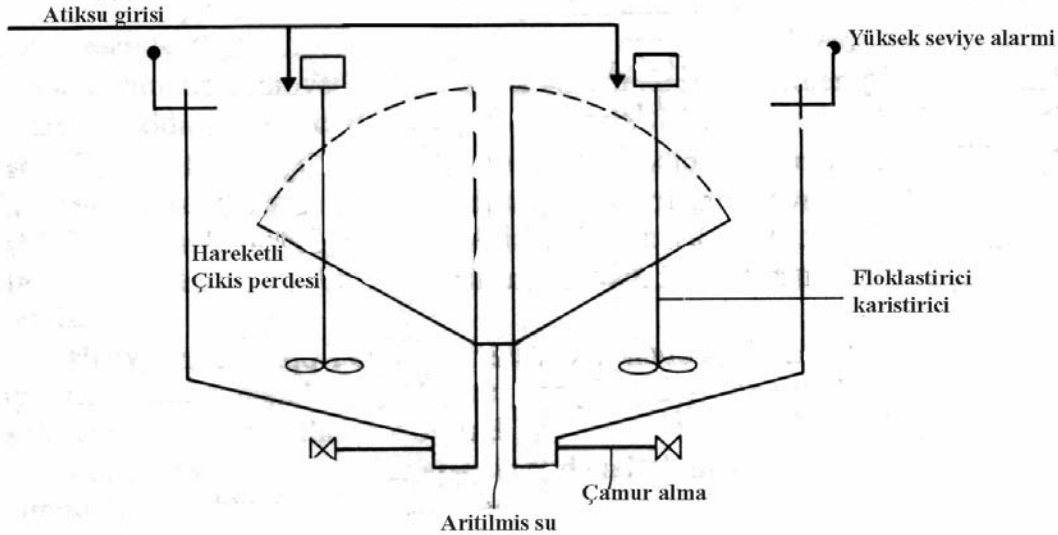
Düşük deşarj limitlerini karşılamak için çöktürme sonrası deşarj edilecek sıvı fazdaki flokları tutmak üzere filtreleme gerekebilir. Sadece çöktürme ve durultma ile çıkış suyunda metal konsantrasyonu 1-2 mg/l olabilir. Filtreleme ile metal konsantrasyonu 0.5 mg/l nin altına düşebilir.

**Krom:** Kromlu atıklarda 6 değerlikli kromun önce  $Cr^{+3}$ 'e indirgenip sonra kireç ile çöktürülmesi önerilir. Bu reaksiyon pH <3'de gerçekleşir. Kromlu atıkların indirgenmesinde demir(II) sülfat, sodyum meta-bisülfid, kükürt dioksit kullanılır. Demir(II) sülfat ve sodyum meta-bisülfid kuru veya çözelti halinde kullanılır. Kükürt dioksit ise sisteme gaz halinde tatbik edilir. Kromun indirgenmesi, asit ortamda daha etkili olduğundan asit karakterli indirgeme maddelerinin kullanımı tercih edilir. İndirgeme maddesi olarak  $FeSO_4$  kullanıldığında  $Fe^{+2}$   $Fe^{+3}$ 'e oksitlenir; meta-bisülfid veya sülfür dioksit kullanıldığında ise  $SO_3^{-2}$ ,  $SO_4^{-2}$ 'a dönüşür. Genel reaksiyonlar:



$Cr^{+6}$  nın  $Cr^{+3}$  e indirgenmesi için,  $FeSO_4$ 'ün o seyreltideki asidik etkisi yeterli olmadığından pH ayarlaması için asit ilave edilmesi gerekir.

Küçük kaplama tesislerinin genellikle günlük atıksu debileri  $100m^3/gün$ 'ün altındadır. Bu tesislerde en ekonomik sistem, her biri bir günlük atıksu kapasitesinde iki tanklı kesikli sistemdir. Tanklardan biri dolarken diğesinde arıtma yapılır. Biriken çamur ya doğrudan uzaklaştırılır ya da kurutma yataklarında susuzlaştırılır. Kurutma yatağında çamur 48 saatte sıyrılabilecek kıvama gelir. Tipik bir kesikli sistem şematik görünümü Şekil 14.14'de verilmiştir.



Şekil 14.14. Kromlu atıksuların kesikli arıtımı

Günlük atıksu debisi  $100-150 m^3/gün$ 'ü geçerse büyük tank gereksiniminden dolayı kesikli arıtım ekonomik olmaz. Sürekli sistem, asitleme-indirgeme tankı, kireç ilavesinin yapıldığı karıştırma tankı ve çöktürme tankı gerektirir. İndirgeme tankında kalma süresi pH'a bağlı

olup, tam indirgenme için gerekli teorik sürenin en az dört katı olmalıdır. Flokülasyon için 20 dakika yeterlidir. Son çöktürme tankı yüzey yükü  $20\text{m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$ 'ün üstünde tasarlanmalıdır.

Yıkama sularında krom miktarı çok değişkense, indirgeme tankı öncesi dengeleme yapılmalıdır, böylece kimyasal madde besleme sisteminde çok oynamalar olmaz.

**Arsenik:** Arsenik ve arsenikli maddeler, metalurji endüstrisi, cam ve seramik üretimi, deri işlemleri, boya, pestisit üretimi, bazı organik ve inorganik kimyasal üretimi, petrol rafinerileri ve nadir-toprak metalleri endüstrileri atıksularında bulunur. Atıksulardan arsenik, kimyasal çöktürme ile giderilir. pH 6-7'de sodyum veya hidrojen sülfür ilavesi ile arsenik, sülfürü şeklinde çöktürülür. Çöktürme sonrası arıtılmış su çıkışında arsenik seviyesi 0.05 mg/l olur. Deşarj limitlerini sağlamak için filtreleme gerekir.

Düşük miktarda arsenik aktif karbonla filtreleme ile de düşürülebilir. Bu yöntemle arseniğin 0.2 mg/l'den 0.06 mg/l'ye düştüğü belirtilmektedir. Arseniğin  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  floklarına bağlanarak da giderimi mümkündür. Bu prosesle 0.005mg/l'nin altında çıkış suyu arsenik miktarlarına ulaşılmıştır.

**Baryum:** Baryum boya ve pigment endüstrisi, metalurji endüstrisi, cam, seramik ve boya üretimi, ve lastik vulkanizasyonu proseslerinden çıkar. Ayrıca patlayıcı üretimi yapan tesislerin atıklarında da bulunur. Baryum atıksudan, baryum sülfat şeklinde çöktürülerek uzaklaştırılır.

Baryum sülfatın çözünürlüğü çok düşüktür. Maksimum teorik çözünürlüğü  $25^\circ\text{C}$  da 1.4 mg/l baryumdur. Sülfat fazlalığında baryumun çözünürlüğü azalır. Baryum tuzlarının, baryumsülfat formunda koagülasyonu ile çıkış suyunda baryum seviyesi 0.5 mg/l'ye düşer. Baryum iyon değişimi ve elektrodiyaliz ile de giderilebilir. Ancak bu yöntemler kimyasal çöktürmeye kıyasla daha pahalıdır.

**Kadmiyum:** Kadmiyum metal alaşımları, seramik, elektrokaplama, fotoğraf, pigment, tekstil boyama, kimya sanayi ve kurşun madeni dren sularında bulunur. Atıksulardan kadmiyum çöktürme veya iyon değiştirme ile uzaklaştırılır. Atıksu konsantrise ise elektrolitik ve buharlaştırma geri kazanım yöntemleri de uygulanabilir. Alkali pH'da kadmiyum çözünmez ve stabil hidroksiti formuna dönüşür. Çözeltideki kadmiyum pH=8'de 1 mg/l, pH=10-11'de ise 0.05 mg/l'dir. Demir hidroksit ile pH=6'da birlikte çöktürme sonucu kadmiyum 0.008 mg/l'ye düşerken, pH=8.5'da demir hidroksit ile 0.05'e düşer. Atıksuda siyanür gibi kompleks oluşturucu iyon mevcutsa kadmiyum çökmez. Bu durumda bu kompleks yapıcı iyonun kadmiyumun çöktürülmesi öncesi atıksudan uzaklaştırılması gerekir. Siyanür durumunda, önce siyanürü oksitleyip arkadan kadmiyum oksit oluşumunu sağlayan, hidrojen peroksitli oksidasyon-çöktürme yöntemi ile kadmiyumun ekonomik olarak geri kazanımı mümkün olmaktadır.

**Bakır:** Endüstriyel atıksularda bakır kaynağı metal dekopaj ve kaplama banyolarıdır. Bakır tuzu ve bakır katalizör kullanılan kimya fabrikalarında da atıksular bakır içerebilir. Atıksulardan bakır, çöktürme ve iyon değişimi, buharlaştırma, ve elektrodiyaliz gibi geri kazanım prosesleri ile giderilir. Geri kazanılan bakırın ticari değeri geri kazanım yönteminin çekiciliğini belirler. 200 mg/l nin altında bakır içeren atıksularda iyon değişimi ve aktif karbon yöntemleri daha ekonomik olmaktadır. Alkali pH'da bakır, çözünürlüğü düşük metal hidroksit şeklinde çöker. Ortamda yüksek miktarda sülfat bulunması durumunda oluşan çamurda bakırın geri kazanımı ekonomik olmaz. Bu nedenle saf bir çamur elde etmek için

daha pahalı NaOH kullanımı önerilmektedir. Bakır oksit pH = 9-10.3 aralığında en düşük çözünürlüğe sahiptir (0.01 mg/l). Uygulama göstermiştir ki kimyasal çöktürme ile ekonomik olarak erişilebilen en düşük bakır düzeyi 0.02-0.07 mg/l'dir. pH=8.5'da sülfürle çöktürme sonucu çıkış suyunda 0.01-0.02 mg/l bakır seviyelerine inilebilmektedir. Atıksuda siyanür ve amonyak gibi kompleks oluşturuca iyonların bulunması durumunda arıtılmış suda düşük bakır seviyeleri sağlamak zorlaşır. Yüksek oranda bakır giderimi için bu iyonların ön arıtım ile giderilmesi gerekir. Bakır siyanür aktif karbonla etkin bir şekilde giderilebilir.

**Florür:** Endüstriyel atıksularda florür, cam üretimi, elektrokaplama, çelik ve alüminyum, pestisit ve gübre üretimi atıksularında bulunur. Florür, kireç ile kalsiyum florür şeklinde çöktürme ile giderilir. Arıtılmış sularda 10-20 mg/l bakiye florür'e ulaşmak mümkündür. Atıksuda magnezyum bulunması durumunda daha ileri florür arıtımı sağlandığı belirtilmektedir. Bunun nedeni olarak magnezyum hidroksit floklarının florür iyonlarını adsorplamasıdır. Bu durumda çıkış suyunda 1.0 mg/l'nin altında florüre ulaşmak mümkün olmaktadır. Düşük konsantrasyonda florür iyon değiştirme ile giderilebilir. Endüstriyel atıksular, aktifleştirilmiş alumina yatakta temas ile, kireçle çöktürme sonrası 30 mg/l olan florür konsantrasyonu 2 mg/l ye indirilebilir.

**Demir:** Demir maden işleme, cevher öğütme, kimya endüstrisi atıksuları, boya üretimi, metal işleme, tekstil, petrol rafinerileri de dahil bir çok endüstriyel atıksularda bulunur. Atıksularda demir pH ve çözülmüş oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak +2 veya +3 değerlikli olabilir. Nötr pH ve oksijenli ortamda çözünür  $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$ 'e dönüşür, demirin bu formu kolayca hidrolize olarak çözünmez  $Fe(OH)_3$  oluşturur. Yüksek pH değerlerinde  $Fe(OH)_3$  çözünür formdaki  $Fe(OH)_4$  kompleksine dönüşür. Demirin  $Fe^{+2}$ (Ferro) ve  $Fe^{+3}$  (ferri) formları siyanürlü ortamda çözünür ferrosiyanür ve ferrisiyanür komplekslerini oluşturabilirler. Atıksularda demir giderilmesinde temel yöntem  $Fe^{+2}$ 'nin  $Fe^{+3}$ 'e dönüştürülmesi, ve  $Fe(OH)_2$ 'nin pH=7 civarında (minimum çözünürlükte) çöktürülmesidir.  $Fe^{+2}$ 'nin  $Fe^{+3}$ 'e dönüştürülmesi pH=7.5'da havalandırma ile çok hızlı olarak gerçekleşir. Ortamda çözülmüş organik madde varsa demirin oksitlenme hızı düşer.

**Kurşun:** Kurşun akü üretimi atıksularında bulunur. Atıksulardan genellikle çöktürme ile uzaklaştırılır. Kurşun, karbonat ( $PbCO_3$ ) veya hidroksit ( $Pb(OH)_2$ ) formunda çöktürülür. Kurşun pH=9-9.5'da soda ile karbonatı şeklinde çöktürülür. Bu yöntemle arıtılmış sudaki bakiye kurşun 0.01-0.03 mg/l aralığındadır. pH=11.5'da kireçle çöktürme sonucu bakiye kurşun miktarı 0.019-0.2 mg/l'dir. Bunların dışında sodyum sülfür ile pH=7.5-8.5 da kurşun sülfür formunda çöktürülebilir.

**Mangan:** Mangan ve tuzları çelik alaşımı, kuru pil üretimi, cam ve seramik, boya ve vernik ve mürekkep gibi üretim atıksularında bulunur. Manganın sadece  $Mn^{+2}$  tuzları ve permanganat anyonu çözünürdür. Permanganat kuvvetli bir oksitleyici olup normal şartlarda çözünmez formdaki mangan dioksite ( $MnO_2$ ) indirgenir. Manganın uzaklaştırılması teknolojisi çözünebilen  $Mn^{+2}$  iyonunun çözünmeyen çökeltiye dönüştürülmesidir. Oluşan çözünmez mangan oksit ve hidroksitler daha sonra ortamdaki uzaklaştırılır.  $Mn^{+2}$  iyonunun oksijene karşı reaktivitesi düşük olduğundan pH=9'un altında basit bir havalandırma ile yükseltgenmesi mümkün değildir. Hatta yüksek pH'larda dahi ortamdaki organik madde mangan ile birleşerek oksitlenmesini önler. Çöktürme ile yeterli mangan giderimi sağlamak için pH=9.4'ün üstünde çalışılması gerekmektedir.  $Mn^{+2}$ 'nin çözünmeyen mangan dioksite dönüştürülerek koagülasyon ve filtrasyon ile atıksudan uzaklaştırılması için kimyasal oksitleyiciler kullanılır. Bakır iyonu manganın hava ile oksidasyonunu hızlandırır. Klor dioksit de manganın çabukça çözünmez forma dönüştürülmesini sağlar. Manganın

oksitlenmesinde permanganat da kullanılmaktadır. Kireçle birlikte ozon da mangan gideriminde kullanılmaktadır. İyon değiştirme prosesinin kullanılmasında bir çekince istenmeyen iyonların da tutularak maliyetin artmasıdır.

**Cıva:** Cıvanın en önemli kullanım sahası klor-alkali tesisleridir. Elektrik ve elektronik endüstrisinde, patlayıcı üretiminde, fotoğraf endüstrisinde, pestisit ve koruyucu üretiminde de kullanılır. Cıva, kimya ve petrokimya endüstrisinde katalizör olarak kullanılır. Laboratuvar atıksularında da bulunur. Enerji üretiminde de fosil yakıtların yanması sırasında çıkar. Termal enerji santrallerinde kükürt dioksit giderimi için gaz yıkayıcı varsa aşırı geri devir ile cıva birikimi mümkündür. Cıva atıksulardan çöktürme, iyon değişimi ve adsorpsiyon ile uzaklaştırılabilir. Bakır, çinko ve alüminyum gibi metallerle temas ile de cıva iyonları miktarı azaltılabilir. Çoğu durumda cıva geri kazanımı distilasyon ile gerçekleştirilir. Çöktürme için cıva bileşikleri cıva iyonuna dönüştürülür. Tablo 14. 11’de çeşitli teknolojilerle elde edilen cıva çıkışları verilmiştir.

Tablo 14.11 Arıtılmış su çıkışlarında cıva miktarları (1).

Teknoloji	Çıkış suyu,µg/l
Sülfür çöktürmesi	10-20
Alumla birlikte çöktürme	1-10
Demirle birlikte çöktürme	0.5-5
İyon değişimi	1-5
Karbon adsorpsiyonu	
Giriş	
Yüksek	20
Orta	2
Düşük	0.25

**Nikel:** Atıksularda nikel, metal işleme endüstrisi, çelik dökümhaneleri, motorlu araçlar, uçak endüstrisi, baskı ve kimya endüstrilerinden kaynaklanır. Siyanür gibi kompleks oluşturucu ortamda nikel, çözünmüş kompleks formda olabilir. Nikel, siyanür kompleksi nikel ve siyanür giderimini olumsuz etkiler. Atıksuya kireç ilave edildiğinde pH=10-11’de en düşük çözünürlük değeri 0.12 mg/l’de, çözünmeyen nikel hidroksit oluşur. Nikel geri kazanım sisteminde karbonat veya sülfatı şeklinde de çöktürülebilir. Pratikte pH=11.5’da kireç ilavesi ile çöktürme ve filtrasyon sonucu bakiye nikel 0.15 mg/l ye indirilebilir. Atıksuda nikel konsantrasyonu yüksekse iyon değişimi ve buharlaştırma ile nikel geri kazanımı mümkündür.

**Selenyum:** Selenyum, çeşitli kağıtlarda, kurum (is) ve metalik sülfür cevherlerinde bulunur. Atıksulardan pH=6.6’da sülfürü şeklinde çöktürülerek uzaklaştırılır. Arıtılmış su çıkışında 0.05 mg/l seviyelerindedir.

**Gümüş:** Gümüşün suda çözünür formu, gümüş nitrat, porselen, fotoğraf, elektrokaplama, ve mürekkep üretim atıksularında bulunur. Gümüş değerli bir metal olduğundan uygulanan arıtma teknolojisi geri kazanıma yöneliktir. Başlıca arıtım yöntemleri çöktürme, iyon değişimi ve elektrolitik geri kazanımdır. Atıksulardan gümüş giderimi gümüş klorür şeklinde çöktürülerek uzaklaştırılır. Gümüş klorürün çözünürlüğü oldukça düşük olup 25°C’de arıtılmış sudaki bakiye gümüş miktarı 1.4 mg/l’dir. Klorürün ortamda bir miktar fazla olması bu değeri düşürür. Ancak klorürün çok fazla olması durumunda suda çözünür gümüş klorür kompleksleri oluşarak arıtılmış sudaki bakiye gümüş miktarı artar. Metal karışımı içeren atıksulardan gümüş seçici olarak çöktürülebilir. Arıtma şartları bazik ise diğer metaller

hidroksitleri şeklinde çökerken gümüş klorürü şeklinde çöker. Oluşan çamurun asidik şartlarda yıkanması ile diğer metal iyonları ayrılırken gümüş klorür katı olarak kalır. Kaplama banyosu suları gümüş siyanür içerir, bu da gümüşün gümüş klorür formunda çökmesini engeller. Bu durumda gümüşün gümüş klorür olarak çöktürülmesi öncesi siyanürün giderilmesi gerekir. Siyanür iyonlarının klorla oksidasyonu sonucu klor iyonları suya geçer, ve gümüş iyonları ile birleşerek gümüş klorür oluşturur. Fotoğraf çözeltilerindeki gümüş, gümüş sülfür formunda çöktürülür. Atıksulardaki çözünür formdaki gümüş, iyon değişimi ile uzaklaştırılır. Düşük gümüş seviyelerinde aktif karbon kullanılır. Aktif karbonla gümüş giderim mekanizması karbon yüzeyinde gümüşün indirgenerek elementer gümüşe dönüşümüdür. Gümüşün pH=2.1’de ağırlıkça %9’unun, pH=5.4’de ise %12’sinin aktif karbon yüzeyinde tutulduğu bildirilmektedir.

**Çinko:** Çinko, çelik işleri, rayon ipliği ve elyaf üretimi, öğütülmüş odun hamuru üretimi, katodik işlem yapan sistemlerde soğutma suyunun sirkülasyonu sularında bulunur. Kaplama ve metal işleme endüstrileri atıksularında da çinko bulunur. Çinko, kireç veya kostik kullanılarak hidroksiti şeklinde çöktürülür. Kireçle çöktürmenin bir mahzuru atıksuda sülfat bulunması durumunda kalsiyum sülfatın da birlikte çökmesidir. pH=11’de artılmış su çıkışında 0.1 mg/l’nin altında çinko seviyelerine ulaşılabilir.

Atıksulardan metal giderimi Tablo 14.12’de özetlenmiştir.

Tablo 14.12. Ağır metal gideriminde artılmış su çıkışındaki metal düzeyleri (mg/l) (1).

Metal	Ulaşılabilir	
	çıkış suyu konsantrasyonu	Teknoloji
Arsenik	0.05	Sülfür çöktürme ve filtreleme
	0.06	Karbon adsorpsiyonu
	0.005	Fe(OH) <sub>3</sub> ile birlikte çöktürme
Baryum	0.5	Sülfat çöktürme
Kadmium	0.05	pH=10-11’de hidroksit çöktürme
	0.05	Fe(OH) <sub>3</sub> ile birlikte çöktürme
	0.008	Sülfür çöktürme
Bakır	0.02-0.07	Hidroksit çöktürme
	0.01-0.02	Sülfür çöktürme
Cıva	0.01-0.02	Sülfür çöktürme
	0.001-0.01	Alumla birlikte çöktürme
	0.0005-0.005	Fe(OH) <sub>3</sub> ile birlikte çöktürme
	0.001-0.005	İyon değişimi
Nikel	0.12	pH=10’da hidroksit çöktürme
Selenyum	0.05	Sülfür çöktürme
Çinko	0.1	pH=11’de hidroksit çöktürme



## **KAYNAKLAR**

- (1) W.Wesley Eckenfelder, Jr., 1989. "Industrial Water Pollution Control", Second Edition, McGraw-Hill International Editions.
- (2) U. Altınbaş, S.Dökmeci ve A.Barıştıran, 1995. "Treatability study of wastewater from textile industry", Environmental Technology, Vol: 16, 389-394.
- (3) H.Timur ve U.Altınbaş, 1997. " Treatability studies and determination of kinetic parameters for a high-strength opium production wastewater", Environmental Technology, Vol: 18, 339-344.