

**SU ARITMA TEKNOLOJİSİNDE YER ALAN YUMAKLAŞTIRMA  
İŞLEMİNİN TEKNOLOJİK ESASLARI****THE TECHNOLOGICAL FUNDAMENTALS OF  
FLOCCULATION MANAGEMENT IN THE WATER  
TECHNOLOGY**Sami ŞAHİN<sup>1\*</sup><sup>1</sup> *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Maslak 34469, İstanbul***Geliş Tarihi:** 16 Şubat 2010**Kabul Tarihi:** 16 Mart 2010**ÖZET**

Kolloidal büyüklük için kesin sınır yoktur. Buna rağmen, kolloidler optik mikroskopta görülebilir büyüklük ile moleküler büyüklük arasında yer alan taneciklerdir. Kolloidal tanecikler yaklaşık 10 Å ile 1000 Å arasındadır. Su arıtmada önemli bir rol oynayan yumaklaştırma, kolloid kararlılığı ve kararsızlığının elverişli kontrolü için anlaşılması gereken iki teori ile açıklanabilir. Yumaklaştırma, katı sıvı ayırma işlemlerinin önemli bir kısmı olarak belediye su arıtma tesislerinin büyük bir kısmında uygulanmaktadır. Bu çalışmada, yumaklaştırma işlemine ait teknolojik esaslar detaylı olarak açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yumaklaşma, Su, Arıtma, Kolloid, Alüminyum, Demir, Hidroliz

**ABSTRACT**

Colloidal size has no fixed limits. However, particles between molecular size and a size great enough to be seen in the optical microscope are said to be colloidal. This include particles with diameters ranging from approximately 10 to 1000 Angstroms. Flocculation, which plays such an important role in water treatment, can be explained by two theories, both of which must be understood for effective control of colloid stability and instability. Flocculation is practiced in the majority of municipal water treatment plants as an essential part of the solids-liquids separation process. In this study, technological principles belonging to the flocculation process are explained in detail.

**Keywords:** Flocculation, Water, Treatment, Colloid, Aluminum, Iron, Hydrolysis

---

\* Sorumlu Yazar: [sahinsam@itu.edu.tr](mailto:sahinsam@itu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Su, canlı varlıkların hayatlarını sürdürebilmeleri için en temel elemanlardan birisidir. Susuz hayat mümkün değildir. Su ortamı ise bütün su kaynaklarını içine alır. Her şeyden önce toplumların ihtiyacı olan sağlıklı, en azından sağlığa zarar vermeyecek içme ve kullanma suyunun temin edilmesi gerekir.

Günümüzdeki tüketim seviyesine göre önümüzdeki asırda dünyada su sıkıntısına düşülmesi kuvvetle ihtimaldir. Su kaynaklarının yetersizliğine, suların özelliklerinin kirletilme dolayısıyla bozulması da etkindir. Suların kirletilmesi suyun içme, sanayi, tarımsal, su ürünleri, estetik görünüş ve sportif gayeler için kullanılması bakımından birbirinden farklı sakıncalar doğurmaktadır.

İçme ve kullanım suları, özellikleri yönünden insan için büyük önem taşır. Hastalık yapan mikropların yaşama ortamı haline gelmiş bir su patojenlerin etkisiyle hepatit, dizanteri, kolera, tifo gibi salgın hastalıkların yayılmasına neden olur. Son yıllarda su arıtma teknolojisi sayesinde bakteriyolojik yönden kirli olan bir sudan içme ve kullanmaya elverişli su elde edilmektedir.

Suyun tadı, kokusu, rengi, tuzluluğu, bulanıklığı, organik karbon, azot bileşikleri, oksijen miktarı ve diğer kimyasal karakteristikler, suyun özelliklerini belirtmede kullanılan parametrelerdir. Sanayi atıkları, deterjanlar ve ilaçlardan ileri gelen mikrokimyasal kirleticilerin saptanmasında hassas yöntemler geliştirilmiştir. Sanayi atıklarının döküldüğü sularda değişik kimyasal maddeler vardır. Benzin, fenol, keton, aldehid, asetofenon, difenil eter, piridin, azotlu bileşikler, nitritler, asitler, tetralin, naftalin, hidrokarbonlar, deterjanlar, aldrin sulara dökülen önemli kimyasal bileşiklerdir.

Metallerin ve metal bileşiklerinin insan sağlığına verdikleri zararlar hakkında kesin bilgileri elde etmek zordur. Bazı metaller düşük konsantrasyonlarda hayat için gerekli olduğu halde yüksek konsantrasyonlarda zararlıdır. Saf metal halinde değil de, her biri ayrı bir etkiye sahip olan anorganik ve organik metal bileşikleri halinde çevreye verildiğinde durum daha karışık bir hal alır. Verilen

herhangi bir maddenin etkileri de fertlere ve türlere göre değişmekte ve etki ettiği süreye ve vücutta tutulduğu zamana bağlı bulunmaktadır. Örneğin nikel ve berilyum ciğerlere, kadmiyum böbreklere ve antimon kalbe etki eder. Kurşun ve civa ise merkezi sinir sistemine etkir. Besin zincirinde konsantrasyonları biyolojik olarak büyüeyebilen maddeler ise özel tehlikelere neden olurlar. Hayvanlar üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarının insanlara emniyetle ne şekilde uygulanacağı konusunda kesin bir bilgi yoktur. Örneğin farelerde kanser yapan bir maddenin aynı zamanda insanda da kanser yapıp yapmayacağı bilinmemektedir.

Sentetik ilaçlar, böcekleri, istenilmeyen bitkileri ve yabancı otları, mantarları, fareleri, balıkları, çok ufak kurtları ve diğer zararlıları öldürmek için üretilen kimyasal maddelerdir. Her ilaç zararlılardan birini öldürmek amacıyla üretilmiştir. Faydalarına karşılık, haşerat ilaçlarının arzu edilmeyen ve zararlı birçok yan etkileri de mevcuttur. Bu ilaçlar, haşerelerin direncini arttırarak daha etkili ve tehlikeli kimyasal maddelerin kullanılmasını gerektirmektedir ve haşerelerin düşmanları olan ve onlarla beslenen organizmaları da öldürmektedir. Etkisi daha az kalıcı fakat yüksek derecede öldürücü organik fosfatların, klorlanmış hidrokarbonlar yerine gittikçe artan oranlarda kullanılması nedeniyle zehirlenmeler artmaktadır. Etkisi kalıcı bazı haşere ilaçlarının çok yüksek hareket kabiliyeti dolayısıyla kirlenme bütün dünyaya yayılmaktadır. Sentetik ilaçlar nedeniyle bazı türlerin üreme kabiliyeti azalmaktadır. Haşere ilaçları ile sayısı yarım milyonu bulan sentetik kimyasal maddeler arasındaki sinerjik etkileri gittikçe artan şekilde tehlikeli olmaktadır. Kalıcı etkiye sahip haşere ilaçlarının insanı öldürmeyen dozlarının uzun sürede insan üzerindeki genetik ve sıhhi sağlık üzerindeki etkileri düşündürücü boyuttadır. Mikrokimyasal kirleticilerden pek çoğu akarsularda yüzlerce kilometre taşınarak nehir ağızlarına, haliçlere kadar sürüklenir ve orada denizde yaşayan canlılara zehirleyici etki yaparlar. (Arceivala, 1981; AWWA, 1969; Axt, 1967; Fair, Geyer, 1966; Hammer, 1977; Kee and Wolf, 1963; Sowyer, 1994; Şahin, 1989; Şahin, 1991).

### 1.1. Kimyasal Arıtma

Su arıtımında temel amaç, suyun kirlilik derecesinin kullanım yerine göre istenilen düzeye indirilmesidir. Bu amaca yönelik olarak uygulanan başlıca üç çeşit arıtım yöntemi vardır: a. Mekanik yöntemler, b. Biyolojik yöntemler, c. Kimyasal yöntemlerdir.

Ağır metal kirliliği içeren sular biyolojik oksijen ihtiyacı düşük genellikle asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirli kendi kendine temizlenme veya arıtılmada etken mikroorganizmaları öldürücü nitelikte anorganik karakterli sulardır. Kirliliğe sebep olan arsenik, civa, kurşun, krom, kadmiyum, nikel, demir, bakır ve çinko gibi ağır metal iyonları ile radyoaktif elementlerdir. Maden sanayi, metal sanayi, otomotiv fabrikaları, elektrik, elektronik, mutfak ve ev eşyaları üreten sanayi tesisleri, boru, tüfek, makine ve boya sanayileri, ağır metal kirliliği içeren başlıca sanayilerdir.

Ağır metal içeren suların arıtımı genelde işletmenin kapasitesine, su debisine, karakteristiklerine, prosese, arıtma tesisine, kullanılan kimyasallara bağlıdır. Bir kimyasal arıtma, atık denilen kimyasal bir maddenin doğada zararsız hale dönüştürülmesi ilkesine dayanılarak yapılan arıtmadır. Günümüzde çeşitli arıtma yöntemleri geliştirilerek ve modern teknolojiler kullanılarak kimyasal arıtma yapılmaktadır. Kimyasal arıtmanın en önemli amacı mekanik arıtma ile ortamdan uzaklaştırılmayan maddelerin, kimyasal maddelerle reaksiyona sokularak ya katı oluşturulup bunların çöktürülerek dekantasyonunun sağlanması veya uçucu bileşikler oluşturularak uzaklaştırılmasıdır. Sularda çözünmüş halde bulunan, ortamın iyon dengesini bozan maddelere atık adı verilir. Atıklar, kimyasal maddelerle reaksiyona sokularak oluşan reaksiyon ürünü ya sularda zararsız yapıda olmalı ya da ortamdan fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılabilir yapıda olmalıdır.

Son yıllarda erozyon, minerallerin çözünmesi, bitki örtüsünün parçalanması sonucu nehirlere ve içme suyu kaynaklarına karışan doğal kirleticilerle, sanayi tesislerinden çıkan yapay kirleticilerin uzaklaştırılmasında kimyasal arıtma yöntemlerinin önemi oldukça artmıştır.

Doğal veya yapay olarak kirlenmiş olan su, çözülmüş anorganik ve organik bileşikler, bakteri ve plankton gibi biyolojik kirleticilerle süspansiyon halindeki anorganik bileşikleri içerir. Kaba ve büyük olan kirletici tanecikler, basit çöktürme yöntemi ile giderilebilirken küçük tanecikler yumaklaştırılarak, daha büyük taneciklere dönüştürülüp giderilebilir. Suyu renk veren koloidal dağılmış anorganik ve organik bileşiklerin ortamdan uzaklaştırılması pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemleriyle sağlanır.

Su arıtma teknolojisinde yumaklaştırma işleminin gayesi, suda süspansiyon halinde bulunan kirleticilerin miktarını en aza indirerek iyi kalitede su elde etmektir. Şayet yumaklaştırma işlemi uygulanmazsa filtreler çok kirlenir ve dezenfeksiyon işlemi içinde çok fazla kimyasal madde kullanılır.

Kullanılmış sularda bulunan süspansiyon halindeki kirleticiler biyolojik yöntemlerle giderilebilir. Biyolojik yöntemler daha ziyade çözünebilen organik kirleticilere uygulanır. Ekonomik yönden diğer yöntemlere göre daha iyi olan yumaklaştırma işlemi, tekstil, et, konserve, rafineri, deri gibi sanayi kollarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sanayide kullanılan suların arıtılmasında en uygun yöntem yumaklaştırmadır. Yüzeysel sular ve sanayiden çıkan kullanılan sularda bulunan koloidal taneciklerin ortamdan uzaklaştırılması, taneciklerin yumaklaştırma havuzlarında yumaklar haline dönüştürülüp çöktürülmesi suretiyle sağlanır. Su içinde bulunan kirletici taneciklerin çok çeşitli ve fazla sayıda bulunması nedeniyle yumaklaştırma şartları deneysel olarak tespit edilmelidir (AWWA, 1969; Aceivala, 1981; Eckenfelder, 1966, 1980; Hammer, 1977; Kirk and Othmer, 2007; Mc Cabe, Smith and Harnot, 1993; Şahin, 1993; Schroder, 1977).

## **1.2. Yumaklaştırma**

Bir asır önce su arıtma yöntemlerinde yumaklaştırma işlemi bilinmiyordu. 1885’de yumaklaştırma işlemi olmadan sadece filtrasyon işlemi ile temiz su elde etmenin mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Toprak tanelerinin ve bakterilerin pek azının sudan ayrılabilirdiği, virüslerin ise hızlı kum filtrelerinde süzülmesi sırasında tutulamadığı tespit edilmiştir. Tablo 1’de su arıtılması ile ilgili materyalin boyutları görülmektedir.

**Tablo: 1** Küresel tanelerin çaplarına göre çökme süreleri

| İsim              | Tane çapı (mm) | Toplam yüzey alanı   | Çökme süresi |
|-------------------|----------------|----------------------|--------------|
| Çakıl             | 10             | 3,1 cm <sup>2</sup>  | 0,3 sn       |
| İri kum           | 1              | 31 cm <sup>2</sup>   | 3 sn         |
| İnce kum          | 0,1            | 0,031 m <sup>2</sup> | 38 sn        |
| Silt              | 0,01           | 0,31 m <sup>2</sup>  | 33 dak       |
| Bakteri           | 0,001          | 3,1 m <sup>2</sup>   | 55 gün       |
| Kolloidal taneler | 0,0001         | 31 m <sup>2</sup>    | 230 gün      |
| Taneler           | 0,00001        | 0,3 ha               | 6,3 yıl      |
| Taneler           | 0,000001       | 3 ha                 | en az 63 yıl |

Önceleri kolloidal karışımlarda bulunan taneciklerin birleşerek büyük taneciklere dönüşmesi, pıhtılaşma genel terimi ile tanımlanmaktadır. Birçok araştırmacı sonradan pıhtılaşma tanımı içinde pıhtılaşma ve yumaklaşma terimlerine yer vermişlerdir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarla kolloidal karışımların özellikleri detaylı olarak incelenmiş buna bağlı olarak pıhtılaşma ve yumaklaşma için daha açık tanımlar yapılmıştır. Çok geniş kapsamlı olmamakla birlikte, Lamer'in verdiği tanımlar dikkate değer bulunmuştur (Axt, 1967; AWWA, 1969; Black, 1960; Gehler, 1963; Sontheimer, 1960).

Lamer'e göre pıhtılaşma, kolloidal taneciklerin tamamını saran elektriksel çift tabakanın sıkıştırılması sonucunda kararlılığın bozulmasıdır. Yumaklaşma ise, kolloidal taneciklerin organik polimerleri tutması ile kararlılığın bozulmasıdır. Yapılan tanımlardan anlaşılacağı üzere, pıhtılaşma ve yumaklaşma terimleri taneciklerin kararlılığının bozulmasında iki ayrı tarzı belirtmektedir. Pıhtılaşma, kolloidal maddenin konsantrasyonuna bağlı olmayıp pıhtılaştırıcı konsantrasyonuna dayanmaktadır. Yumaklaşmada ise en uygun yumaklaştırıcı dozu kolloidal maddenin konsantrasyonuna bağlı değildir (Axt, 1967; AWWA, 1969; Black, 1960; Gehler, 1963; Sontheimer, 1960).

Pıhtılaşma ve yumaklaşma, yumaklaşma genel terimi içinde incelenir. Pıhtılaşma, molekül, iyon ve atomların birbirleri arasındaki

bağları göz önüne almaksızın dağınık veya belirli bir sıraya göre bir araya gelmesinden oluşan tanecik yığılması işlemlerinin tamamını kapsar ve tanecik taşınması ile tanımında yalnız taneciklerin taşınmaları ile ilgili oluşumlar belirtilir. Tablo 2., kolloidal taneciklerin yığılmasını, Tablo 3., ise yumaklaşma çeşitleri ile beraber çökme arasındaki farkları göstermektedir. Yumaklaşmanın içerdiği reaksiyon mekanizmalarına ait bazı kriterler çökme şartlarına da bağlı olduğundan yumaklaşma ve beraber çökme arasındaki farkların detaylı bir şekilde açıklanması gerekir.

**Tablo 2.** Kolloidal Taneciklerin Yığılması

| 1. Yumaklaşma | Kararlılığın Bozulması   | Taşınma   |
|---------------|--|---|
| a. Pıhtılaşma | a. Elektriksel çift tabakanın sıkışması (karşı iyonlar: Schultze-Hardy)                                | a. Perikinetik difüzyon $d < 1\mu$<br>ikinci dereceden reaksiyon      |
| b. Yumaklaşma | b. Yüzey yükünün azaltılması (kimyasal reaksiyonlar veya karşı iyonların tutulması)                    |   |
|               | c. Moleküler köprülerin oluşması (makromolekül, poli-iyonlar, polielektrolitler)                       | b. Ortokinetik hız gradyanı $d > 1\mu$<br>birinci dereceden reaksiyon |
| 2. Çöktürme   | Jelimsi büyük hacimli çökeleklerin kolloidal taneciklerin etrafını sarması ve beraberinde sürüklenmesi |   |

Su içinde bulunan küçük taneciklerin karıştırma etkisiyle birleşerek yumak meydana getirme işlemine yumaklaştırma denir. Bu yumak taneleri yumaklaşmadan sonraki çöktürme veya filtrasyon veya hem çöktürme hem de filtrasyon işleminde sudan ayrılabilir durumda olmalıdır. Bu işlem daima çöktürme, katı-sıvı teması ve filtrasyon metotları ile birlikte uygulanabilir.

Su arıtma teknolojisinde kullanılan yumaklaştırma işleminin amacı, suya ilave edilen kimyasal maddelerin yardımıyla, kendiliğinden çökmeyen küçük taneciklerin birleşerek büyük tanecikler oluşturarak çökmelerini sağlamaktır. Sudaki küçük tanecikler birbirleriyle kimyasal madde ilave etmeden de birleştirilebilir. Küçük tanelerin birleşmesiyle oluşan büyük

tanecikler kolay çöker. Yumaklaştırma işlemine çöktürmeyi hızlandıran ve kolaylaştıran işlem olarak bakılabilir.

**Tablo 3.** Farklı yumaklaşma tiplerinin deneysel gözlemlere dayanarak farklılaştırılmasında pratik yönden önemli olan kriterler

|  | <i>Yumaklaşma</i>                     |   |  |   |
|--|---------------------------------------|---|--|---|
|  | <i>Adsorpsiyon</i>                    |   |  |   |
|  | <i>Pıhtılaşma</i>                     | <i>Pıhtılaşma</i>   | <i>Yumaklaşma</i>  | <i>Beraber Çökme</i>                                      |
| 1. Çöktürücünün veya yumaklaştırıcıların aşırı ilavesi                     | Etkisiz                               | Yüklerin işaret değişmesi nedeniyle kararlılığın yeniden oluşması (potansiyel dönüşümü) | Yüzeyin tamamen örtülmesi sonucunda yeniden kararlılık kazanma | Etkisiz   |
| 2. Optimum kararlılığın bozulması için bağlı yüzey doygunluğu ( $\theta$ ) | Adsorpsiyon görülmez                  | $0 < \theta < 1$  | Genellikle $\theta = 0,5$                                      | -   |
| 3. Pıhtılaşma ve kararlılığın yeniden sağlanması için reaktif miktarı      | Kolloidal konsantrasyonundan bağımsız | Kolloidlerin yüzeyine yaklaşık olarak orantılı  | Stokiyometri   | Kolloid konsantrasyonu arttıkça daha az çöktürücü gerekir |

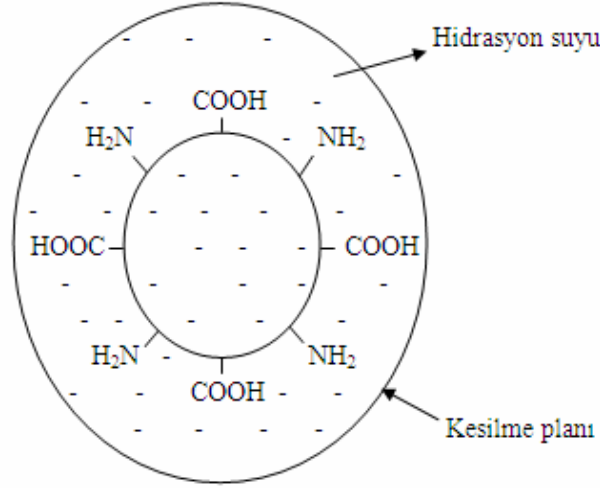
Su arıtma teknolojisi ile uğraşanlar önceleri kimyasal pıhtılaştırma, dispersiyon, yumaklaştırma ve çöktürme işlemlerinin tamamını kapsam üzere pıhtılaştırma kelimesini kullandılar. Bugün, kimyacılar kolloidal taneciklerin kimyasal maddelerin etkisi ile bir araya getirilmesini pıhtılaştırma olarak tanımlıyorlar. İşlem suya pıhtılaştırıcı maddelerin ilavesinden sonra hızlı olarak meydana gelmektedir. Bu nedenle, kimyasal maddelerin uygulandığı noktada karıştırma gerekmektedir. Karıştırma sayesinde kimyasal maddelerin homojen olarak dağıtılması sağlanmaktadır. Su içinde bulunan küçük taneciklerin bile pıhtılaştırma reaksiyonu tamamlanmadan önce pıhtılaştırma maddeleri ile temas etmesi mümkün olmaktadır.



Yumaklaştırma terimi, pıhtılaşmış tanecikleri yumaklar halinde toplamak anlamında kullanılır. Yumaklaştırma, poli-elektrolitlere benzer maddelerin kullanılması suretiyle etkisi arttırılmış kimyasal arıtma mekanizmasının bir parçası olabilir. Fakat pıhtılaştırmaya nazaran karıştırma süresine daha fazla bağlı ve daha yavaş bir işlemdir. Yumaklaştırma işlemi için genellikle kanatlı karıştırıcılar kullanılmaktadır. Katı taneciklerin yumaklaşması, kimyasal çöktürme sisteminden başka biyolojik arıtma tesislerinde de meydana gelmektedir.

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma, tanelerin elektrik yükleri, tane boyut ve konsantrasyonu, iyon değiştirme kapasiteleri, su sıcaklığı, pH ve elektrolit konsantrasyonları gibi fiziksel ve kimyasal kuvvetlere büyük ölçüde bağlıdır. Bunlar ve diğer faktörler bir yerden diğer yere çok fazla değişkendir, bunların etkileri tam olarak anlaşılammaktadır. Bu nedenle planlanması düşünülen bir arıtma tesisinde arıtılacak bir suyun durumu hakkında güvenilir bilgi sahibi olmak zordur. Bu, benzer özellikteki suyu arıtmak için diğer tesislerin kayıtlarının incelenmesi suretiyle ve laboratuarda kavanoz testi tekniğine göre deney yapılması ve suyun laboratuarda filtreden geçirilmesi suretiyle mümkün olabilir.

Hidrofilik tanelerin suya karşı olan ilgileri tanenin üzerindeki - OH, - COOH, - NH<sub>2</sub> gibi polar grupların bulunmasından ileri gelir. Elektrik yükünün bir bölgede toplanması sebebiyle bu polar gruplar bir elektrik dipolüne sahiptirler. Su seven bu gruplar etraflarındaki suyu çekip üzerlerine tutarlar böylece etraflarında sağlam bir su kılıfı meydana getirirler. Taneyi saran bu suya hidrasyon suyu adı verilir (Şekil 1) (AWWA, 1969; Axt, 1967; Black, 1960; Fred, 1965; Krenkel, 1980; Sax, 1974; Schroder, 1977; Sowyer, 1994; Şahin, 1993; Şahin, 2008; Vesilind, 1982; Weber, 1972).



**Şekil 1.** Hidrasyon suyu içinde kalmış kolloidal bir protein tanesinin şematik gösterimi

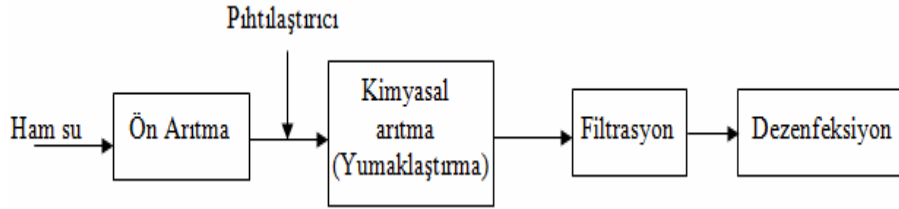
### 1.2.1. Yumaklaştırmanın Önemi

Süspansiyon, çözücüde çözünmüş parçacıkların bir müddet için çözücüde asılı kalmasıdır. Sularda bulunan süspansiyon halindeki taneciklerin çapı  $10^{-4}$  cm'den büyüktür. İki veya daha fazla maddelerin bekletilmekle ayrılmayan yarı homojen ve saydam karışımlarına kolloid adı verilir. Sularda bulunan kolloidal taneciklerin çapı  $10^{-4}$  cm ile  $10^{-7}$  cm arasındadır. Çözelti ise bir faz halinde bulunup bekletilmekle ayrılmayan tamamen homojen bir karışımdır. Sularda bulunan çözünmüş haldeki taneciklerin çapı ise  $10^{-7}$  cm'den küçüktür.

Sularda bulunan süspansiyon halindeki kirleticilerin büyük bir kısmı, arıtma esnasında çöktürme yolu ile giderilir. Çok küçük tanecikler halindeki süspansiyon ve kolloidal maddelerin çöktürme ile giderilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla, bu taneciklerin çöktürme yolu ile giderilmesi için daha büyük tanecikler haline çevrilmesi gerekir. Su arıtma teknolojisinde suda asılı bulunan kirlilik veren taneciklerin uzaklaştırılmasını sağlamak için ilave edilen kimyasal maddelere pıhtılaştırıcı adı verilir. Pıhtılaştırıcıların suya ilave edilmesiyle oluşan mekanik ve kimyasal işlemlerin tamamına da pıhtılaştırma denir. Suyun yavaş olarak uzun bir süre karıştırılması sonucunda küçük taneciklerin büyümesi, birbirleri ile

birleşmesi ve kolayca çökebilecek sağlam yumakların oluşması işlemine de yumaklaşma adı verilir.

Sonuçta yumaklaşmanın su arıtma teknolojisinde çok yaygın olarak kullanılan insan ve çevre sağlığını çok yakından ilgilendiren önemli bir kimyasal arıtma yöntemi olduğu açıkça anlaşılır. Yumaklaştırma işleminin su arıtma teknolojisindeki uygulanma yeri Şekil 2’de görülmektedir (AWWA, 1969; Black, 1960; Fair, Geyer, 1966; Hammer, 1977; Şahin, 1993).

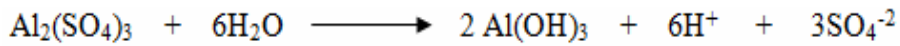


Şekil 2. Yumaklaştırma işleminin su arıtma teknolojisindeki uygulanma yeri

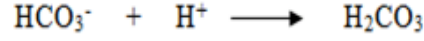
#### 1.4. Kimyasal Mekanizmaların Açıklanması

##### a. Alüminyum Sülfat

Çöktürücülerin suya katılmasının amacı küçük taneciklerin birbirleriyle birleşmesini sağlayarak saatte birkaç yüz mm hızla çökelecek hale getirmektir. Yoksa en büyük taneciğin bile 1 mm çökmesi için gerekli zaman çok fazla olur. Çöktürmeyi istenen çabuklukta yapabilmek ancak çöktürücü kontrolü ile olur. Alüminyum sülfatın katılmasıyla suda H<sup>+</sup> oluşur:



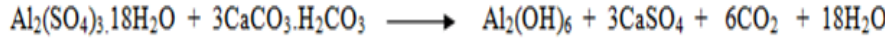
Oluşan H<sup>+</sup> iyonları suyun pH'ını öyle bir dereceye kadar düşürür ki; artık ondan sonra daha fazla alüminyum hidroksit meydana gelmez. Bunu engellemek için fazla hidrojen iyonlarını sudan almak gerekir. Sudaki bikarbonatlar tampon görevi görerek pH düşmesini önlerler.



elde edilir.

Alüminyum sülfatın saf hali on dört mol kristal suyu içerir, ticari formu ise onsekiz mol kristal suyu içerir. Toz halde bulunur. Kristal halde iken reaktif demir, çelik veya beton tanklarda saklanabilir. Çözelti halinde iken PVC, kurşun veya plastik tanklarda depolanabilir. Amerikan su işleri birliğince alüminyum sülfat şartnamesinde alüminyum oksit % 17'den az, demir oksit miktarı % 0,75'den az, suda çözünmeyen maddelerin şapta % 0,5'den az, arıtılmış şapta ise % 10'dan az olması istenmektedir.

Şap doğal alkalilik arasındaki reaksiyon;



Şap soda arasındaki reaksiyon;



Şap kireç arasındaki reaksiyon;



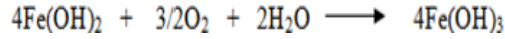
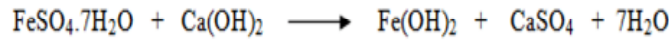
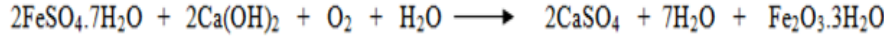
Meydana gelen karbon dioksit korozif etkisinden dolayı zararlı olabilir. Bu nedenle karbon dioksit sudan ayrılır. Fazla miktarda sodyum ve potasyum varsa çöktürmenin etkili olabilmesi için suya biraz daha şap katmak yerinde olur. Alüminyum sülfat asidik tuzdur. 100 kısım suda 0°C'da 86,9 kısım çözünür. Asidik tuz olduğu için birçok maddeye korozif etkisi vardır. Alüminyum sülfatın suda pıhtı teşkil edebilmesi için suyun alkalik olması gerekir.

**b. Demir Sülfat**

Tüm katı şekilleri hepta hidrat halinde bulunur. Katı halde depolanacak ise uygun malzeme demir, çelik ve betondur. Çözelti halinde kurşun, lastik ve paslanmaz çelik tanklarda saklanmalıdır. Asidik tuzdur. Güvenilir bir çöktürme için sudaki bikarbonat sertliği fazla ise önce;



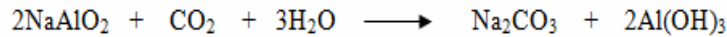
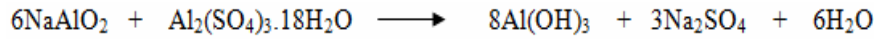
reaksiyonu gerçekleşir. Sudaki fazla oksijen ile kalsiyum hidroksitin etkisiyle,



Renkli sular da kullanılmaz. Demir ve mangan arıtımında da etkilidir. 1 ppm demir sülfat 0,73 ppm kirece ihtiyaç gösterir. İlave edilecek kireç verilen demir sülfat ile sudaki nötralize edilecek karbondioksit miktarına bağlıdır. Kirecin 1-5 ppm kadar fazlası pıhtılaşma verimini artırır.

**c. Sodyum Alüminat**

Alkali bir maddedir. Sodyum alüminat toz halinde satılır ve demir, çelik, seramik, lastik, plastik, tanklarda depolanabilir.

**d. Klorlu Demir Sülfat**

### e. Demir - III - Klorür

Demirli pıhtılaştırma maddelerinin en pahalısıdır ve oldukça koroziftir. Kristal  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  halinde satılır.  $\text{FeCl}_3$ ' ün depolanması için uygun malzemeler cam, seramik ve plastik olarak sayılabilir.

### f. Sönmemiş Kireç

Sönmemiş kireç, suni alkalilik sağlamak üzere, alüminyum veya demir sülfat ile birlikte kullanılır. Pıhtılaştırma maddesi olarak ve yumuşatma işlemlerinde de yumuşatıcı madde olarak faydalanılır.

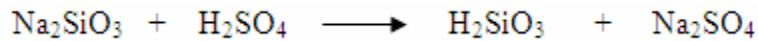
### g. Sönmüş Kireç

Sönmüş kireç, kalsiyum hidroksitten oluşur. Sönmemiş kirecin suda söndürülmesi ile elde edilir. Beyaz bir toz şeklinde bulunur. Arıtma tesisine kuru olarak veya yaş halde besleme yapılabilir.

### h. Yumaklaştırmada kullanılan yardımcı maddeler

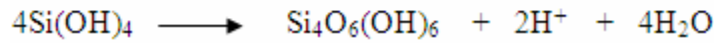
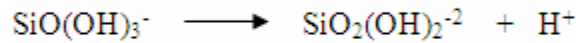
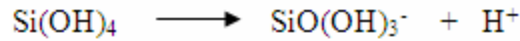
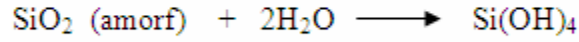
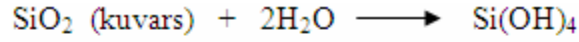
Su arıtma teknolojisinde, sularda silisin bulunması genellikle yumaklaştırmayı kolaylaştırır. Kireç ile yumuşatmada alüminyum veya demir tozları, oluşan kalsiyum karbonatın tanecik büyüklüğünü arttırmak için ilave edilir. Tanin, aktif silika ve sentetik polielektrolitler yumaklaştırma yardımcısı olarak kullanılmaktadır.

Su arıtmada en çok kullanılan yardımcı madde aktif silikadır. Aktif silika anorganik yapılı ve tehlikesiz bir bileşik olduğu için yüksek dozlarda kullanılabilir. Aktif silika hidrosolü, sodyum silikat ile asidin muamelesinden elde edilmektedir.

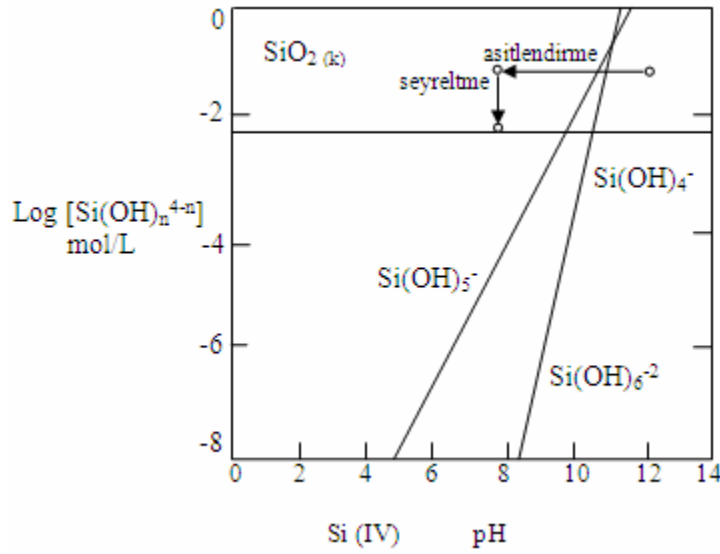


Silisilik asidin en önemli özelliklerinden birisi polimerize olma eğilimidir. Seyreltik çözelti daima koloidal halde bulunur ve bir süre sonra jel halini alır. Elde edilen polisilisilik asit çok zayıf bir asittir. Aktif silika yıkanıp kurutulduğunda yüzey alanı  $250 \text{ m}^2/\text{g}$  kadardır. Aktif silikanın yer aldığı su arıtma reaksiyonları hakkında fazla bilgi mevcut değildir.

Aktif silisle yapılan çalışmalar, aktif silisin sudaki çözünürlük dengesine dayanır (Şekil 3).



Ticari sodyum silikat çözeltisinde % 41  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  vardır. Bunu aktif hale getirmek için sülfürik asit, alüminyum sülfat, amonyum sülfat, klor, karbondioksit, sodyum bikarbonat kullanılır. Ticari sodyum silikatın pH'sı 12 civarındadır. Elde edilen aktif silisin yapısı, başlangıçtaki silis konsantrasyonuna, reaksiyon süresine ve reaksiyon pH'sına bağlıdır. Aktif silis hem pıhtılaştırıcı hem de korozyonu engelleyici olarak kullanılır. Özel şartlar altında aktif silis hem pozitif hem de negatif kolloidler için pıhtılaştırıcıdır. Aktif silisin aşırı dozajı kullanılarak pozitif ve negatif kolloid tekrar kararlı hale getirilir.



Şekil 3. Amorf silisin 25°C sudaki çözünürlük dengesi

*i. Yumaklaştırıcı seçimi*

Negatif kolloidlerin çöktürülmesi için elverişli pH=5-6,5 arasındadır. Demir ve alüminyum tuzlarının pH'a bağlı olarak çöktürülmesi pH<4 de Fe<sup>+3</sup> eriyik halde, pH<5 de Al<sup>+3</sup> eriyik halde, pH=5-7 de Al(OH)<sub>3</sub> erimez.

Kolloidlerin kimyasal pıhtılaştırılmasında kullanılmış suyun cinsine göre en etkili maddenin tespiti laboratuarda kavanoz testi ile yapılır. En çok kullanılanlar, alüminyum sülfat, sıvı şap, aktif şap, demir sülfat, klorlu demir sülfat, demir (III) sülfat, demir (III) klorür, sodyum alüminat ve amonyaklı alüminyum sülfattır. Fiyatlarının uygun olması bakımından özellikle demir sülfat, alüminyum sülfat ve demir (III) klorür daha fazla tercih edilir. Ayrıca mangan ve magnezyum tuzları ile linyit kömürü tozu da kullanılabilir. İlave edilecek yumaklaştırıcı maddenin doğru olarak tespiti pH değerine bağlıdır.

Yumaklaştırıcı maddenin miktarı, suyun bileşimine özellikle karbondioksit ve çözülmüş tuzların miktarına bağlıdır. Genel olarak 50-100 ppm (mg/L) pıhtılaştırıcı ilave edilir. 10 mg/L yumaklaştırıcı madde yaklaşık olarak 1,4 mg/L demir (III) sülfat şeklindeki demir, 2 mg/L demir (II) sülfat şeklindeki demir ve 0,9 mg/L alüminyum sülfat şeklindeki alüminyuma denktir. Yumaklaştırıcı madde ıslak dozlamada eritilir ve çözelti halinde istenen konsantrasyonda suya ilave edilir. Ancak çok nadir hallerde toz şeklinde ilave edilen kuru dozlama uygulanır.

Islak dozlamada kimyasal madde beton veya ahşap havuzlarda çözülür. Çözelti halinde havuzda bekletilir ve bir dozlama cihazı ile karışım havuzunda suya ilave edilir. Su akışındaki saatlik değişimler için geçen debi ile ayarlanan dozlama sistemi düşünülmelidir. Mümkünse cihaz, ilave edilecek kimyasal maddenin konsantrasyonunu otomatik olarak ayarlayabilmelidir. Şayet suyun pH'sını kontrol etmek gerekiyor ise pH ayarlamak üzere kalsiyum hidrosit veya asit ilavesi ile pH'ı ayarlayan ayrı bir dozlama sistemi bulunur. Yumaklaştırıcı madde su ile çabuk ve homojen bir şekilde karıştırılmalıdır. Karıştırma süresi 30-60 saniye arasında olur. Karışımın iyi olması için pedallı karıştırıcılar kullanılır. Hızlı karışımdan sonra su, yumakların oluşması için reaksiyon havuzlarına



alınır. Bu kısımdaki bekleme süresi genellikle 10-30 dakika alınır da bazen bu süre bir saate kadar çıkarılır (AWWA, 1969; Black, 1960; Dull, Metcalfe and Williams, 1962; Gehler, 1963; Hammer, 1977; Petrucci, Harwood and Herring, 2007; Sowyer, 1994; Şahin, 1996,1998).

### 1.2.2. Yumaklaştırmanın Kontrolü

Karıştırılan ve durultulan sulardaki yumakçıklar, su üzerine düşen güneş ışığı bunlara çarpıp da yansıdığı zaman kolayca görülebilir. Her zaman uygun güneş ışığı bulmak mümkün olmadığından karıştırma ve çöktürme havuzlarının çıkış ağzına yakın tarafına ve yaklaşık 1,2-1,8 m su altına suya karşı izole edilmiş elektrik lambası konur. Yumakların durumunu ve çökelişini takip etmek lambalarla kolay olur. Şayet lamba koymak mümkün olmazsa havuz kenarında, sehpa üzerine yerleştirilmiş reflektörlü elektrik ampülü bulundurmak faydalı olur. Reflektörü uzun kordonu sayesinde havuzun farklı bölgelerine taşımak ve istenilen yerine tutarak yumakları gözetlemek mümkün olur. Elektrik akımı bulunmayan yerlerde bu kontrol, el fenerleri kullanılarak yapılabilir. Özellikle geceleyin su üzerine tutulan kuvvetli bir elektrik ışık yumaklaşma yürüyüşü hakkında bize sağlıklı bilgi verir. Willcomb tarafından verilen, yumaklaşma indeksi karıştırma işleminin kontrolüne yardım eder (Tablo 4).

**Tablo 4.** Willcomb'un yumaklaştırma indeksi

| İndeks numaraları | Yumakçıkların Durumu  |
|-------------------|---|
| 0                 | Kolloidal. Hiç yumaklaşma işareti yok.  |
| 2                 | Hafif. Yumaklar çok küçük ve herhangi bir gözlemci tarafından görülecek şekilde değildir. |
| 4                 | Seçiliyor. Yumakçıklar tam oluşmuştur. Fakat henüz su içinde uygun dağılımda değildir.    |
| 6                 | Olgunlaşmış. Yumaklar oldukça büyümüş ve çökelmeye geçmiş                                 |
| 8                 | Çok iyi. Yumaklar çökelmiştir. Fakat çökme henüz tam değildir.                            |
| 10                | Tamam. Yumakların yaklaşık hepside çökelmiştir. Havuzdan çıkan su hemen hemen berraktır.  |

Yumakların, filtredeki kum taneleri arasına doğru itilirken parçalanıp ufalanmamaları ve dolayısıyla filtreden geçip gidememeleri için sağlam ve büyük olmaları zorunludur. Sağlamlığı meydana getiren unsurlar bir formül içinde toplanarak  $he^3/d$  gibi bir yumak indeksi meydana getirmek mümkündür.

h: yumakları filtre kum yatağından sürüp çıkarabilecek su yükü (m)

e: kum yatağının çapı, eğer yatağın düzgünlük katsayısı küçük ise efektif çapı (mm)

d: kum yatağının derinliği (m)

Yumak indeksinin değeri 1 veya daha küçük çıkarsa yumakların küçük ve zayıf olduğu anlaşılır. Şayet yumak indeksi 5 çıkarsa yumakların sağlam ve büyük olduğu kabul edilir.

Suya fluorescein veya uranın gibi izleyici boyalar atmakla su akıntılarının yolunu daha kolay gözetlemek mümkün olur. Bir litre suya bu boyaların tozundan bir gram atılırsa koyu yeşil renk elde edilir. Bir litre çözüldüğü istenilen miktarı akımların izleneceği yere atılarak suyun karıştırılması hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Yumaklaştırmanın asıl gayesi içerisinde yumaklar bulunan oldukça berrak su elde etmektir. Şayet yumaklar mevcut olmasına rağmen su hala bulanık ise o suda hala bir miktar yumaklaşmamış taneciklerin olduğu kabul edilir. Bulanıklık, yumaklaştırma işlemindeki taneciklerin yüzey çekmesi etkisi altında devam etmesi ile çöktürme havuzlarında azaltılabilir. Bu nedenle, bulanıklık derecesinin esas itibarıyla çöktürme havuzundan çıkarken ve filtreden çıktıktan sonra ölçülmesi ve bulunan değerlere göre işlemlerde gerekli düzeltmelerin yapılması daha uygundur.

### 1.2.3. Yumaklaştırmanın Mekanizması

Kolloidal karışım ultramikroskopla incelenirse kolloid taneciklerin devamlı hareket ettikleri görülür. Bu harekete Brown hareketi adı verilir. Partiküller arası hareketleri üç kısımda düşünebiliriz:

a. Brown hareketleri b. Akışkanın hareketiyle iletilmiş hareketler c. Çökeltme kısmındaki hareketlerdir. Parçacıklar arası birleşme genellikle üç ayrı mekanizma ile açıklanmaktadır: a. Brown

hareketleri dolayısıyla olan harekete perikinetik yumaklaşma, b. Akışkanın hareketi ile olan harekete ortokinetik yumaklaşma, c. Çökme hızları farklı parçacıkların birleşmesi ile yumaklaşmadır.

Yumaklaştırma işleminde tanecikler arası birleşme, katı taneciklerin su içinde gelişi güzel hareketi ile oluyorsa buna perikinetik yumaklaşma adı verilir. Koloidal taneciklerin hareketleri, akışkan molekülleri ile yaptıkları çarpışma sonucunda oluşur. Perikinetik yumaklaşmada yumaklaşma hızı, koloidal karışımdaki kolloid konsantrasyonuna göre ikinci dereceden bir fonksiyondur. Yumaklaşma hızı, karışımın viskozitesine ve sıcaklığına bağlı olarak da değişir. Perikinetik yumaklaşma için aşağıdaki bağıntı verilebilir:

$$J_{pk} = \frac{dn}{dt} = \frac{-4 \alpha k T N^2}{3\mu}$$

$J_{pk}$  = Hareket halindeki partiküllerin toplam konsantrasyonunun değişme ihtimali

$N$  = t anında koloidal çözeltideki tanecik konsantrasyonu (partikül sayısı/mL)

$\alpha$  = Çarpışma verimi faktörü

$k$  = Boltzman sabiti (J/K)

$T$  = Mutlak sıcaklık (K)

$\mu$  = Akışkanın viskozitesi (g/cm.sn)

Yumaklaştırma işleminde tanecikler arası birleşme, akışkan hareketi ile meydana geliyorsa buna ortokinetik yumaklaşma adı verilir. Karıştırma hızı yer ve zamana göre değişik olmaktadır. Akışkan karıştırılarak koloidal taneciklerin birleşme ihtimali artırılır. Karıştırma işlemi ile yumaklaştırma havuzu içinde bir hız değişimi meydana gelir. Akışkan ile birlikte koloidal taneciklerde ayrı hız değerlerine sahip olacağından yumak meydana getirme ihtimali artacaktır. Ortokinetik yumaklaştırma için gerekli süre perikinetik yumaklaştırma için gereken süreden daha az olacaktır. Ortokinetik yumaklaşma için aşağıdaki bağıntı verilebilir:

$$J_{ok} = \frac{dn}{dt} = \frac{-2 \alpha G d^3 N^2}{3}$$

$J_{ok}$  = Hareket halindeki partiküllerin toplam konsantrasyonunun değişme ihtimali

$N$  = t anında koloidal çözeltideki tanecik konsantrasyonu (partikül sayısı/mL)

$\alpha$  = Çarpışma verimi faktörü

$G$  = Hız gradienti (1/sn)

$d$  = Kolloidal taneciğin çapı ( $\mu$ )

(Fair and Geyer, 1966; Hammer, 1977; Mc Cabe, Smith and Harnot, 1993; Sowyer, 1994)

## 2. SONUÇLAR

Kimyasal arıtmanın amacı, mekanik arıtma yöntemi ile ortamdan uzaklaştırılamayan istenmeyen maddelerin, kimyasal maddelerle reaksiyona sokularak, ya katı oluşturularak çöktürülüp ortamdan ayrılması, ya uçucu bileşikler halinde ayrılması veya zararsız bileşikler haline dönüştürülmesidir.

Bir asır önce su arıtma metotlarında yumaklaştırma işlemi bilinmiyordu. Hızlı kum filtrasyonundaki gelişme ile birlikte yumaklaştırma olmaksızın yalnız filtrasyonla temiz su elde etmenin mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Toprak tanelerinin ve bakterilerin ancak pek azı sudan ayrılabilmekte, virüslerin ise hiçbiri yumaklaştırılmamış suyun hızlı kum filtresinde süzülmesi sırasında tutulamamaktadır. Ayrıca suya renk veren kolloidal dağılmış anorganik ve organik bileşiklerin giderilmesi ancak pıhtılaştırma ve yumaklaştırma yöntemleri ile sağlanabilmektedir.

Su arıtılmasındaki yumaklaştırma işleminin gayesi, su içinde süspansiyon halinde bulunan istenmeyen taneciklerin miktarını en aza indirerek daha sonra yapılan filtrasyon ve dezenfeksiyon işlemleri sonucunda iyi kalitede su elde edilmesidir. Şayet yumaklaştırma işlemi uygulanmazsa filtreler çok fazla kirletici

maddeyle yüklenir ve iyi çalışmaz. Dezenfeksiyon işleminde sarf edilen madde harcanması artar.

Yumaklaştırma, özellikle sanayi kullanılmış sularının arıtılmasında yararlanan en uygun usuldür. Sanayi su atıklarında bulunan süspansiyon halindeki organik maddeler biyolojik yöntemlerle de giderilebilir. Ancak biyolojik yöntemler daha çok çözünebilir organik maddelere uygulanabilir. Ekonomik yönden de diğer usullere üstünlük gösteren yumaklaştırma işlemi su arıtılmasından başka tekstil, deri, et, rafineri, konserve gibi sanayi dallarında da kullanılmaktadır. Sonuç olarak sularda bulunan kolloidal taneciklerin uzaklaştırılması, bu taneciklerin yumaklaştırma tesislerinde yumaklar haline dönüştürülüp çöktürülmesi ve dekantasyonu ile sağlanmaktadır.

Bir kabın içerisinde bulunan durgun haldeki bir sıvıda mevcut yarı çözülmüş taneler birbirlerine tesir suretiyle hareket ederek büyük taneler oluşur. Bu çok yavaş devam eden olay mekanik olarak karıştırıldığı zaman çok hızlanır. Karıştırma işleminde türbülansın meydana gelmemesi gerekir. Aksi halde oluşan taneler tekrar parçalanır.

Sanayi atık sularının kimyasal yumaklaştırma yöntemi ile arıtılması daha çok biyolojik metotlarla erişilmesi mümkün olmayan iyi bir arıtma derecesi elde etmek veya biyolojik metotlarla arıtmanın mümkün olmadığı hallerde uygulanır. Kimyasal arıtma yöntemlerinin uygulandığı tesislerin inşaa maliyeti biyolojik tesislerinkine göre düşük olmakla beraber işletme maliyeti biyolojik arıtmadan yüksektir. Bu nedenle kimyasal arıtma ancak özel durumlarda uygulanır.

## **KAYNAKLAR**

- Arceivala S., 1981. Waste Water Treatment and Disposal, M. Decker, New York.
- Axt, G., 1967, Chemische Vorgänge bei der Flockung, Veröffentlichungen der Abteilung und des Lehrstuhl für Wasserchemie, H3, 35, Karlsruhe.
- AWWA, 1969. "Water Treatment Plant", American Water Works Association, New York.

- Black, A.P., 1960, Basic Mechanisms of Coagulation, "JAWWA, 52.
- Dull, C.E., Metcalfe H.C. and Williams, J.E. 1962. "Modern Chemistry" Holt Rinehart and Winston, New York.
- Eckenfelder, W.W. 1966. "Industrial Water Pollution Control", Mc Graw Hill Co., New York.
- Eckenfelder, W.W. 1980. "Principles of Water Quality Management", CBI Co., Boston.
- Fair, G.M., Geyer, J.C., 1966. Water and Waste Water Engineering, Wiley Int.
- Fred, G. 1965. "Industrial Wastewater Control", Academic Pres., New York.
- Gehler, K.E., 1963, Flockung, Zeta-Potential und Flockungshilfsmittel in der Wasseraufbereitung, Vom Wasser, 30.
- Hammer, J.M. 1977. "Water and Wastewater Technology", John Jiley and Sons.
- Kee, J.N. and Wolf, R.W. 1963. "Water Quality Criteria", Agricultural Water Supply.
- Krenkel, P.A., 1980. Water Quality Management, Academic Press, New York.
- Kirk, R. and Othmer, D. 2007. "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 2, John Wiley, New York.
- Mc Cabe W.L., Smith, J.C. and Harnot, P., 1993. Unit Operations of Chemical Engineering, Mc Graw Hill Co., New York.
- Petrucci, R.H., Harwood, W.S. and Herring, F.G., 2007. General Chemistry, Prentice Hall.
- Sax, N.I., 1974. Industrial Pollution, V.N. Reinhold Co., New York.
- Schroder, D.E. 1977. "Water and Wastewater Treatment" Mc Graw Hill Co., Tokyo.
- Sontheimer, H., 1960. Verfahrenstechnik der Flockung und Sedimentation, VgB-Mitteilungen, 69. Sowyer, C.N. 1994. "Chemistry For Environmental Engineering", Mc Graw Hill Co., Singapore.
- Şahin, S. 1989. "Su arıtılmasında Kullanılan Kimyasal Maddeler", İ.T.Ü., 47, 4, 59-67.
- Şahin, S. 1991. "Koagülantlar ile Suların Arıtılması", İ.T.Ü., 49, 5, 15-22.
- Şahin, S. 1993. Removal of Boron From Waste Water by Coagulation, Journal of Science and Engineering, V.10, N.1.

- Şahin, S. 1996. Mathematical Model For Adsorption of Boric Acid on a Boron Specific Ion Exchanger, Bulletin of the Chemical Society of Japan, V.69, N.7.
- Şahin, S. 1998. Mathematical Model of Ion Exchange For The Adsorption of Boric Acid, European Water Management, V.1, N.6.
- Şahin, S. 2008. Su Arıtma Teknolojisindeki Kolloidlerin Kararlılık Esasları, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, c.1, s.1.
- Vesilind, P.A. 1982. Environmental Pollution and Control, A. Arbor Science.
- Weber, J.W. 1972. "Physicochemical Processes for Water Quality Control" J. Wiley-Sons, New York.

\*\*\*\*