

Makalenin Geliş Tarihi : 26.01.2010  
Makalenin Kabul Tarihi : 15.04.2010

## **FLOKÜLASYON YÖNTEMİ İLE ATIKSUDAN ASKIDA TANELERİN GİDERİMİ**

Tuba TAŞDEMİR<sup>1</sup>, Volkan ERDEM<sup>2</sup>

**ÖZET :** Bu çalışmada, askıda tane içeren sentetik atıksuya flokülasyon yöntemi uygulanmıştır. Deneylerde flokülant olarak poliakrilamid esaslı anyonik, katyonik ve noniyonik sentetik organik polimerler kullanılmıştır. Flokülasyon deneyleri altı pervanesi olan jar (kavanoz) test cihazında yapılmıştır. Flokülant tipi, flokülant mol ağırlığı, flokülant dozajı, süspansiyon pH'sı ve karıştırma hızı gibi bazı parametrelerin bulanıklık giderimi üzerine etkileri belirlenmiştir. Yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülant ile en iyi sonuç, %98,9 bulanıklık giderim verimi olarak elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER :** Flokülasyon, Atıksu, Askıda tane, Bulanıklık.

## **REMOVAL OF SUSPENDED PARTICLES FROM WASTEWATER USING FLOCCULATION METHOD**

**ABSTRACT :** In this study, flocculation method was applied to synthetic wastewater containing suspended particles. In the experiments, polyacrlamide-based anionic, cationic and nonionic synthetic flocculants were used. Flocculation tests were carried out at jar test apparatus with six mixing paddles. The effects of some parameters such as flocculant type, molecular weight of flocculant, flocculant dosage, pH of suspension and rapid mixing speed on the turbidity removal efficiency were determined. The best result was obtained as 98,9 % turbidity removal efficiency by using anionic flocculant having high molecular weight.

**KEYWORDS :** Flocculation, Wastewater, Suspended particle, Turbidity.

## I. GİRİŞ

Kentleşme ve teknolojiadaki hızlı gelişmelere bağlı olarak üretimin, dolayısıyla tüketimin hızla artmış olması, büyük miktarlarda evsel ve endüstriyel atık suların ortaya çıkmasına neden olmaktadır ve bu sular en yakın alıcı ortamlara verilmektedir. Ülkemizde de yüzeysel su kaynakları ve yeraltı su kaynakları artırılmayan kirli suların ciddi tehdidi altındadır ve süratle kirlenmektedir. Bu açıdan atık su kontrolü ve çevreye etkileri önemli bir konudur. Atık sular, çevreye verilmeden önce belirli yöntemler kullanılarak arıtılmalıdır. Özellikle de son zamanlarda küresel ısınmayla beraber var olan kaynakların yanı sıra, kirletilmiş suların tekrar kazanımı ve kullanımını son derece önem kazanmıştır.

Doğal ve atık sulardaki askıda (süspanse) veya çözünmüş haldeki maddeler katı maddeler olarak adlandırılmaktadır. Askıda katı maddeler (AKM) veya taneler suların estetik, içme, endüstriyel kullanım gibi çeşitli amaçlar için yararlanılmasını doğrudan etkilemektedirler. Doğal sularda, ışık geçirgenliğini azaltıp dip birikintilerine yol açarak ya da doğrudan zarar vererek su canlılarını etkilemektedirler. Kanallarda ve arıtma sistemlerinde olumsuz etkilere yol açarak önlem alınması ihtiyacını ortaya koymaktadırlar. Bu özellikleri ile askıda katı maddeler yüzey suları ve atık sularda önemli bir parametredir. Dolayısıyla su ve atıksu zenginleştirmede askıda katıların uzaklaştırılması, ilk ve öncelikli aşamalardan biridir.

Atıksuların deşarj edildiği alıcı ortam herhangi bir akarsu, göl veya deniz olabilir. Atıksuların kirlenmesine neden olabilecek kaynaklar oldukça fazladır. Bunların en önemlileri; yerleşim merkezlerinden deşarj edilen evsel atıksular, endüstrilerden deşarj edilen endüstriyel atıksular ve bunların dışında tarım alanlarından, ormanlık alanlardan, yağmurlardan sonra akan sulardır. Ortalama olarak evsel atıksular 720 mg/lt toplam katı madde içerir. Toplam katı maddenin yaklaşık 500 mg/lt'si çözünmüş halde, geri kalanı ise askıda katı durumdadır. Çözünmüş ve askıdaki katılar sabit ve uçucu halde olabilirler. Arıtma işlemlerinin çoğu, askıdaki katı madde ve uçucu çözünmüş katı maddelerin uzaklaştırılması için tasarlanır. Ülkemizde atık suların alıcı ortama deşarj standartları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ile belirlenmiş ve deşarj kriterleri her bir farklı endüstri ve evsel atıksuları için ayrı ayrı tablolar halinde verilmiştir [1].

Genel olarak atıksulardaki askıda tanelerin temizlenmesi için koagülasyon, flokülasyon ve katı-sıvı ayırım (filtrasyon, sedimentasyon, flotasyon) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Koagülasyon ve flokülasyon yöntemleri, herhangi bir sıvı içerisinde çökmeden askıda duran veya çok yavaş çöken ve bu nedenle bulanıklığa sebep olan ince boyutlu katı taneciklerin bir katkı maddesi vasıtasıyla bir araya getirilip (Salkımlaştırma-kümeleşme) hızlı çöktürülmesi işlemleridir. Ancak koagülasyonda taneciklerin salkımlaştırılması için ortama inorganik elektrolitler ilave edilir ve yüzey elektrik yükleri nötralize edilerek kararsız hale gelmeleri sağlanır. Flokülasyonda ise yüksek molekül ağırlıklı organik polimerlerin ortama ilavesiyle taneler arasında fiziksel bir köprü meydana getirilerek tanelerin salkımlaşmaları sağlanmaktadır. Flokülantlar genel olarak flokülant kaynağına göre, doğal ve sentetik olarak ikiye ayrılırlar. Sentetik flokülantlar geniş kullanım alanı bulan polimerler olarak adlandırılan maddelerdir ve iyonizasyon durumuna göre anyonik, katyonik ve noniyonik flokülantlar şeklinde; molekül ağırlığına göre ise düşük, orta ve yüksek molekül ağırlıklı flokülantlar şeklinde tanımlanmaktadır [2-8]. Taneciklerin bir araya getirilmesi üç ayrı mekanizmayla yapılabilmektedir;

1. Taneciklerin polielektrolitler kullanılarak zeta potansiyellerinin düşürülmesi ve Van der Waals çekim kuvvetleriyle taneciklerin bir araya getirilmesinin sağlanması
2. Tanecik yüzeyinde, yüzeye zıt kısımların oluşturulması ve bu kısımların diğer bir taneciği çekmesi ile taneciklerin bir araya getirilmesinin sağlanması
3. Taneciklerin polimer köprüleriyle bir araya getirilmesinin sağlanması

Sentetik polimer flokülantlar ile yapılan flokülasyonu, flokülantın tipi, süspansiyon pH'sı ve sıcaklığı, flokülant dozajı, flokülant molekül ağırlığı, süspansiyonun karıştırma hızı, süspansiyondaki katı/sıvı oranı, katının tane boyutu ve tane şekli gibi faktörler etkilemektedir [2,4,6,8].

Bu çalışmada, askıda katı tane içeren atıksuyun temizlenmesini (bulanıklığının giderilmesini) sağlamak için flokülasyon yöntemi uygulanmıştır ve farklı özellikte sentetik flokülantlar kullanılmıştır. Flokülasyon deneyleri jar test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler kapsamında çökeltme sonrası ortaya çıkan temiz suyun bulanıklık verileri kullanılarak flokülant mol ağırlığının, flokülant tipinin, flokülant dozajının, atıksu pH'ın ve karıştırma hızının atıksu flokülasyonu üzerine etkileri araştırılmıştır.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### II.1. Malzeme

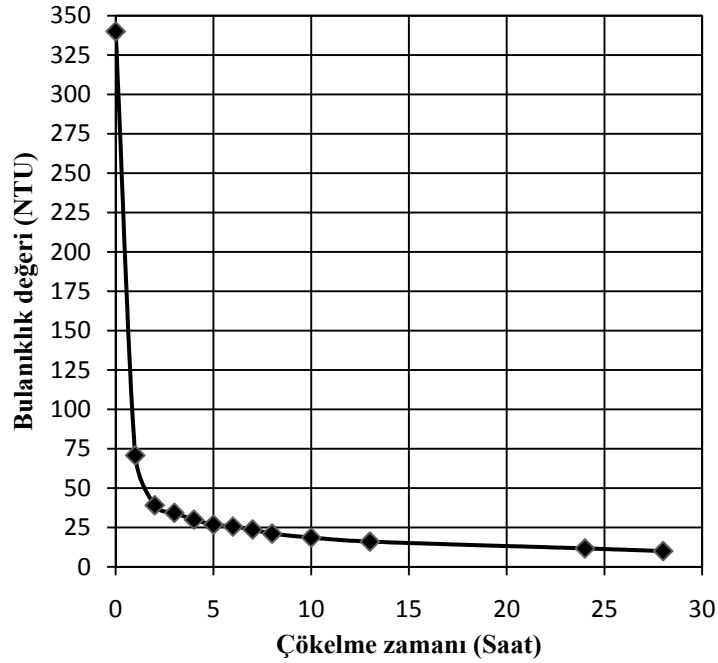
Flokülasyon deneylerinde askıda katı tane içeren sentetik atıksu numunesi kullanılmıştır. Öğütülmüş saf kuvars, içerisinde çeşme suyu bulunan bir kaba konulup karıştırılarak iyice dağıtılmıştır. Stokes yasasına göre taneler çöktürülüp 30 mikrondan daha küçük boyuttaki taneler dekantasyon ile ayrı bir kapta toplanarak atıksu numunesi şeklinde stoklanmıştır. Sentetik atıksuyun özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Türbidimetre cihazı ile bulanıklık değerleri ölçülmüş ve vakumlu filtrasyon seti düzeneğinde askıda katı madde (AKM) analizi yapılmıştır.

*Çizelge 1. Sentetik atıksuyun özellikleri*

Bulanıklık değeri	340 NTU*
AKM	600 mg/L
Katı oranı	% 0.06
pH	8
Tane boyutu	-30 Mikron

\**Nephelometric* Turbidity Unit

Öncelikle atıksuyun sedimentasyon analizi yapılmıştır. Flokülantsız serbest çöktürme deneyinde 500 ml’lik mezür içindeki atıksuyun doğal çökmesi gözlenmiştir. Mezürün orta seviyesinden pipetle numune alınarak bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. İlk 8 saat içinde her saatte bir bulanıklık değerleri kaydedilmiştir, daha sonra ölçüm alma zaman aralıkları arttırılmıştır. Şekil 1’de sedimentasyon deneyine ait zamana bağlı bulanıklık değerleri verilmiştir. 28 saat sonra ancak doğal çökme ile bulanıklık değerinin 10 NTU değerlerine düştüğü bulunmuştur.



Şekil 1. Sedimantasyon analiz eğrisi

Deneylerde kullanılan flokülantlar Süperkim Kimya A.Ş. Firmasından temin edilmiş olup özellikleri Çizelge 2’de gösterilmiştir. Farklı tipte üç çeşit (anyonik, katyonik ve noniyonik) flokülant ve mol ağırlıkları farklı üç adet anyonik flokülant ile deneyler yürütülmüştür. pH ayarlamalarında ise hazırlanan 1 M NaOH ve 1 M HCl çözeltileri kullanılmıştır.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan flokülantlar ve özellikleri

Tipi	Flokülant firma kodu	Mol ağırlığı	Anyoniklik veya katyoniklik derecesi	Fiziksel form/görünüm
Anyonik	SPP 504	Orta düşük ( $14 \times 10^6$ )	%25-30	Toz (Kırık beyaz)
Anyonik	SPP 505	Yüksek ( $20 \times 10^6$ )	%20-25	Toz (Kırık beyaz)
Anyonik	SPP 508	Çok yüksek ( $22 \times 10^6$ )	%25-30	Toz (Kırık beyaz)
Katyonik	SPP 375	Yüksek ( $7 \times 10^6$ )	%40-50	Toz (Kırık beyaz)
Noniyonik	SPP N 134	Orta ( $9 \times 10^6$ )	-----	Toz (Kırık beyaz)

## II.2. Metot

Flokülant çözeltileri 100 ml saf su içerisinde 0.01 gr flokülant çözdürülerek % 0.01'lik derişimde hazırlanmıştır. Bunun için 0.01 gr flokülant, saf su içerisinde 1 saat boyunca manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında karıştırılmak suretiyle çözdürülmüş ve 100 ml saf suya tamamlanmıştır.

Flokülasyon deneyleri için aynı anda altı deneyin yapılabildiği jar test cihazı (Velp Scientifica FC6S) kullanılmıştır (Şekil 2). Cihaz, karıştırma hızı (0-300 devir/dak.) ve süresi ayarlanabilen altı karıştırma pervanesinden oluşmaktadır. Deneyler için atıksu numunelerinin 500 ml'lik altı adet behere konulması ve jar test düzeneğine yerleştirilmesini takiben pH ayarlaması ve flokülant ilavesi yapılmıştır. 150 devir/dak. hızda 1 dakika süreyle hızlı karıştırma gerçekleştirilmiş ve flokların oluşması için hız 30 devir/dakikaya düşürülerek 15 dakika yavaş karıştırma işlemine devam edilmiştir. Daha sonra oluşan floklar 30 dakika çökelmeye bırakılmıştır. Üstteki temiz suyun bulanıklık değeri kaydedilmiştir.



Şekil 2. Jar test cihazı

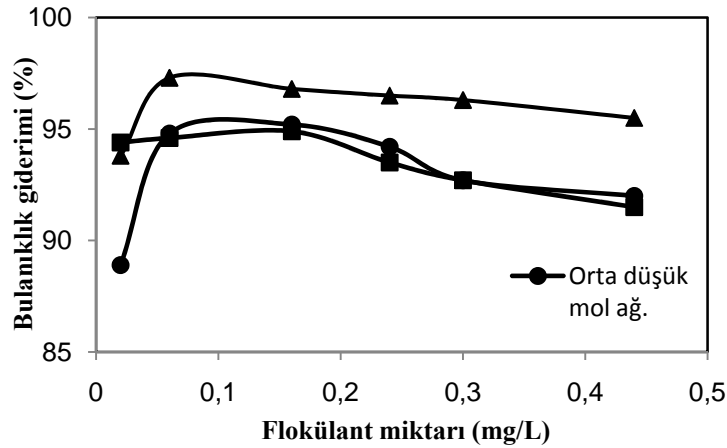
Bulanıklık, askıda katı madde içeren suların ışık geçirgenliğinin bir ölçüsüdür ve su kalitesi belirleme yöntemlerinden biridir. Suyun bulanık olmasına içerdiği kolloid ve askıda katı maddeler sebep olmaktadır. Genel olarak askıda katı madde miktarının artması ile ışık geçirgenliği azalacağından bulanıklık değerinin arttığı söylenebilir. Bulanıklık ölçümleri HF

Scientific Türbidimeter marka cihaz ile yapılmış olup bulanıklık birimi NTU (Nepheleometric Turbidity Unit) cinsindedir. Türbidimetrenin ölçüm aralığı 0-1000 NTU'dur.

### III. BULGULAR

#### III.1. Flokülant Mol Ağırlığının Bulanıklık Giderimine Etkisi

Flokülasyon testlerinde öncelikli olarak flokülant mol ağırlığının flokülasyona etkisini incelenmiştir. Bunun için orta düşük (Anyonik-SPP 504), yüksek (Anyonik-SPP 505) ve çok yüksek (Anyonik-SPP 508) mol ağırlığına sahip flokülantlar ile flokülasyon testleri yapılmış ve elde edilen veriler grafiğe aktarılmıştır.



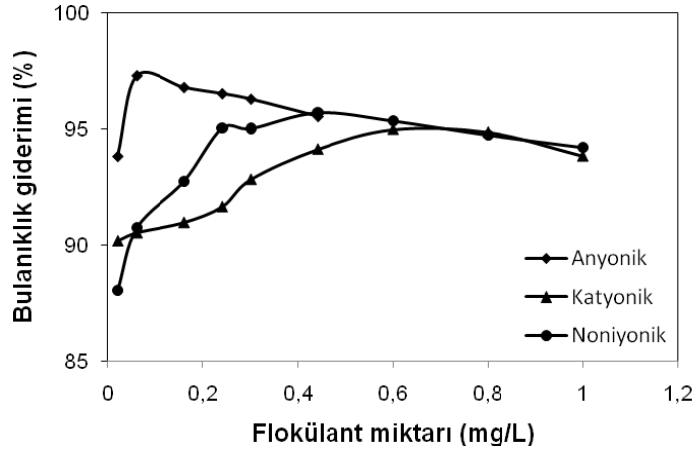
**Şekil 3.** pH 8'de çok yüksek, yüksek ve orta düşük mol ağırlıklı flokülant ilavesi ile yapılan flokülasyonda dozaja bağlı bulanıklık giderim eğrileri.

Şekil 3'te dozaja göre elde edilen bulanıklık giderim eğrilerinde orta düşük ve yüksek mol ağırlığına sahip flokülantlar birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Çok yüksek mol ağırlığı olan anyonik flokülant (SPP 508) ile en düşük bulanıklık değeri aynı zamanda en yüksek bulanıklık giderim verimi (%97,3) elde edilmiştir. Bundan sonra yapılan flokülant tipinin flokülasyona etkisinin incelendiği testlerde ise anyonik flokülant olarak SPP 508 kullanılmıştır. Polimer

köprü oluşturma mekanizmasıyla gerçekleşen flokülasyonda, suda çözünebilen çok yüksek molekül ağırlıklı (uzun zincirli) sentetik polimerler kullanılmaktadır. Uzun zincirli polimerler bu zincirleri sayesinde birden fazla tane üzerine adsorplanabilmekte ve böylece taneler arasında bir köprü meydana getirmektedir. Molekül ağırlığı yüksek (polimer zincir uzunluğu fazla olan) flokülantlar daha büyük boyutlu fakat daha poroz yapıda flokların oluşmasını sağlarken, düşük molekül ağırlıklı flokülantların nispeten daha küçük boyutlu fakat daha sağlam floklar oluşturmaktadır [2, 3, 4, 6].

### III.2. Flokülant Tipinin ve Dozajının Bulanıklık Giderimine Etkisi

Flokülant tipinin flokülasyona etkisini saptamak amacıyla anyonik (SPP 508), katyonik (SPP 375) ve noniyonik (SPP N 134) flokülant varlığında bir dizi flokülasyon testleri yapılmıştır. Her bir deney sonrası temiz suyun bulanıklık değerleri ölçülmüş ve bulanıklık giderim verimleri hesaplanmıştır. Üç farklı tipteki flokülant için bulunan sonuçlar, flokülant miktarının fonksiyonu olarak % bulanıklık giderimi şeklinde Şekil 4'te verilmiştir.



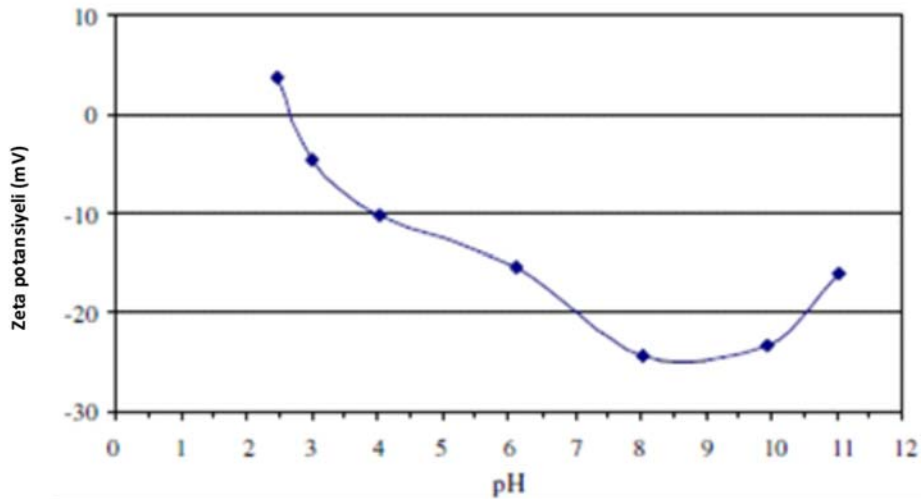
*Şekil 4. Katyonik, anyonik ve noniyonik flokülantlar varlığında, pH 8'de flokülant miktarına bağlı bulanıklık giderim verimleri.*

Başlangıç bulanıklık değeri 340 NTU olan örnek atıksuda her üç flokülant için, dozaj arttıkça bulanıklık gideriminin arttığı, belli bir dozajdan sonra ise bulanıklık giderim veriminin azaldığı görülmektedir. Belli bir dozajdan sonra bulanıklığın artmasındaki en önemli faktör, aşırı



flokülant dozajlarında flokların tekrar dağılması şeklinde açıklanabilir. En iyi flokülasyon işlemini sağlamak için gerekli flokülant dozajının, katının yüzey alanının yarısını kaplayacak miktar kadar bir dozaj olduğu ifade edilmektedir. Şayet ortama bu dozajdan daha fazla miktarda flokülant verilirse, yani taneler üzerine fazla miktarda flokülant adsorplanırsa o zaman taneler arasında köprü oluşumu engellenmektedir[2, 3, 4, 9]. 0,06 mg/L anyonik flokülant kullanımıyla en yüksek bulanıklık giderim verimi olan %97,26 değerine ulaşılmış ve bulanıklık değeri 9,3 NTU'ya düşürülmüştür. Fakat bu dozajdan sonra bulanıklığın tekrar arttığı ve bulanıklık giderim veriminin de düştüğü belirlenmiştir.

Kolloidal sistemlerde askıda bulunan taneciklerin yüzey yükleri ve zeta potansiyelleri taneciklerin davranış biçimlerini etkilemektedir. Bu çalışmada sentetik olarak oluşturulan süspansiyonlarda saf kuvars taneciklerinin yüzey yükleri ölçülmemiştir. Ancak yüzey yükü ölçümleri yapılsa da literatürde saf kuvarsin değişen pH değerine göre yüzey yükleri ayrıntılı bir şekilde açığa kavuşturulmuştur. pH'ın bir fonksiyonu olarak kuvarsin zeta potansiyeli Vieira ve Peres tarafından verilmiştir (Şekil 5) [11]. Kuvarsin sıfır yük noktası yaklaşık pH 2-3 aralığındadır. Bu aralık başka kaynaklar tarafından da doğrulanmaktadır [12]. pH 3 değerinden sonra kuvarsin yüzey yükü negatif olduğu görülmektedir. Bu çalışmada flokülasyon testleri pH 3'ten büyük değerlerde gerçekleştirildiğinden, sentetik atıksu numunesindeki kuvars tanelerinin yüzey yükleri negatiftir.

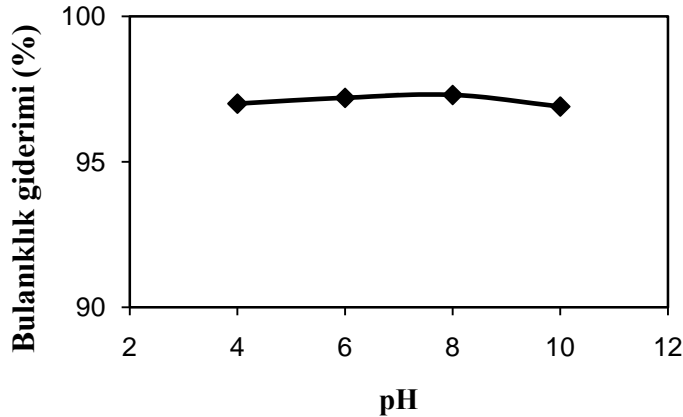


Şekil 5. pH'ya göre kuvarsin zeta potansiyeli [11].

Çalışılan pH aralığında askıdaki kuvars tanecikleri negatif yüzey yükü taşıdıklarından, katyonik flokülantların daha uygun olacağı düşünülebilir. Gerçekten de flokülantın tane yüzeyi tarafından elektrostatik çekimi açısından bu doğrudur. Ancak köprü oluşumu açısından bu düşünce geçerli olmayabilir. Nitekim çalışmanın flokülant tipi ve dozajı etkisinin incelendiği bu bölümünde, anyonik flokülantların daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Süspansiyon pH'sının 8 olduğu bu şartlarda hem kuvars taneciklerinin hem de yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülantın aynı yüzey yüküne sahip olmasına rağmen iyi bir flokülasyonun meydana gelmesi, polimer köprü oluşumu ile flokülasyon mekanizmasının sistemde etkin bir rol oynaması sebebine dayandırılarak açıklanabilir.

### III.3. pH'in Bulanıklık Giderimine Etkisi

pH'in flokülasyona etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda pH 4, 6, 8 ve 10'da anyonik (SPP 508) flokülantın 0,06 mg/L sabit dozajında pH'ya bağlı elde edilen bulanıklık giderim verimleri Şekil 6'da grafiğe aktarılmıştır. 0,06 mg/L sabit flokülant dozajında pH'ya bağlı bulanıklık eğrisinde en az bulanıklık değeri pH 8'de elde edilmektedir. pH değeri arttıkça taneler birbirini daha çok iterek süspansiyon daha kararlı hale gelir. Kararlı hale gelen bir süspansiyonda da askıda katı tanelerin çökmesi zorlaşarak bulanıklığı artırır, böylece bulanıklık giderim verimi tekrar düşmeye başlar [2,6].



Şekil 6. pH'in Flokülasyona Etkisi.



Flokülant mol ağırlığının flokülasyona etkisini incelemek için orta düşük, yüksek ve çok yüksek mol ağırlığına sahip flokülantlar ile flokülasyon testleri sonucunda çok yüksek mol ağırlığı olan anyonik flokülant ile en düşük bulanıklık değerleri ve bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir. Anyonik, katyonik, noniyonik flokülantların kullanıldığı deneylerde en iyi performansı (en az bulanıklık sonucunu) floküle etme gücü en iyi olan anyonik flokülant göstermiştir. Anyonik flokülantta dozajın artmasıyla bulanıklık değeri 9,3 NTU'ya kadar düşmüş ve en yüksek bulanıklık giderim verimi (%97,26) 0,06 mg/L flokülant miktarının kullanılmasıyla elde edilmiştir.

Sabit flokülant tipi (Anyonik) ve dozajında (0,06 mg/L) yürütülen jar test çalışmaları sonucunda pH 8'de ve 250 devir/dakika karıştırma hızında bulanıklık değeri 3,7 NTU'ya kadar düşürülmüştür. Böylece bu koşullarda atıksu numunesindeki tanelerin flokülasyon yöntemi ile çökmeleri sağlanarak, bulanıklığın %98.9 oranında giderimi sağlanmıştır.

## V. KAYNAKLAR

- [1] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usüller Tebliği Resmi Gazete; 31 Aralık 2004 Sayı :25687.
- [2] J. Gergory, *Particles in water: Properties and Process*, University College London, UK, 2005.
- [3] P. Somasundaran, and K. K. Das, 1998, Flocculation and Selective Flocculation-An Overview, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, S. Atak, G. Önal and M. S. Çelik (eds), A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- [4] T. Tripathy and B. Ranjan De, "Flocculation : A New Way to Treat the Waste Water, *Journal of Physical Sciences*, Vol. 10, pp 93 – 127, 2006.
- [5] R. Hogg, Flocculation and Dewatering, *Int. J. Miner. Process.*, 2000, 58, 223 – 236.
- [6] J. Bratby, 2006, "Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment", Published by IWA Publishing, London.
- [7] B. Boltoa, J. Gregory, "Organic Polyelectrolytes in Water Treatment", *Water Research*, 41, pp 2301-2324, 2007.

- [8] H. Koca, The Separation of Pyrite From Fine Coal by Selective flocculation, *MSc Thesis*, The University of Leeds, 1987.
- [9] B. Ersoy, Effect of pH and Polymer Charge Density on Settling Rate and Turbidity of Natural Stone Suspensions, *Int. J. Miner. Process.* 75, pp 207 – 216, 2005.
- [10] J. M. Ebeling, P. L. Sibrell, S. R. Ogden, S. T. Summerfelt, “Evaluation of Chemical Coagulation-Flocculation Aids for the Removal of Suspended Solids and Phosphorus from Intensive Recirculating Aquaculture Effluent Discharge”, *Aquacultural Engineering*, 29, pp 23-42, 2003.
- [11] A.M. Vieira and A.E.C. Peres, Effect of amine type, pH and size range in the flotation of quartz, *Minerals Engineering*, 20, pp 1008-1013, 2007.
- [12] H. J. Schulze, *Physico-chemical Elementary Processes in Flotation, Developments in Mineral Processing*, Elsevier, 1984.