

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERİN YATAKLI FİLTASYONDA YÜK
KAYIPLARININ İNCELENMESİ**

Tuğrul Selami AKTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç.Dr. Ebubekir YÜKSEL**

**GEBZE
2008**

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Derin Yataklı Filtrasyonda Yük Kayıplarının İncelenmesi

YAZAR ADI : Tuğrul Selami AKTAŞ

Bu çalışmada içmesuyu arıtma tesislerinde önemli bir yeri olan filtrasyon prosesinde farklı dozlarda, farklı dozlama noktalarından, farklı yumaklaştırıcı madde ilavesinin (alum, demir klorür ve polielektrolit) filtre çıkış suyu kalitesi ve yük kayıplarının gelişimine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Pilot tesis çalışmalarında, meydana gelecek yük kayıpları devamlı olarak ve her 4 cm'lik bir yatak derinliğinde ölçülmüştür. Filtrelerin tıkanma süresinin uzatılması ve aynı zamanda çıkış suyu kalitesini artırmaya yönelik deney şartları araştırılmıştır. Giriş ve çıkış su kalitesi parametreleri (bulanıklık ve parçacık sayısı) sürekli olarak takip edilerek uygun kimyasal dozajı, dozlama şekli ve dozlama yeri belirlenmeye çalışılmıştır.

Su ve atıksuların arıtımında en yaygın olarak kullanılan kimyasallar alum, demir III klorür ve polielektrolitlerdir. İstanbul'da mevcut içme suyu arıtma tesislerinde de bu kimyasallar kullanılmaktadır. Bunun için bu çalışmada alum, demir (III) klorür ve polielektrolitlerin uygulama noktalarının ve uygulama biçimlerinin çıkış suyu kalitesi ve yük kayıpları üzerine etkisi karşılaştırmalı bir biçimde araştırılmıştır.

Deneylerde kimyasal türleri, dozlama noktaları ve süreleri değiştirilerek çıkış suyu kalitesi ve filtrasyon süreleri incelenmiştir. Farklı noktalardan demir ve alum dozlaması yapıldığında genel olarak çıkış suyu kalitesinde ve filtrasyon süresinde artışlar gözlenmiştir. Çıkış suyu bulanıklığı ve filtrasyon süresi açısından en iyi sonuç ise alum dozlaması ile elde edilmiştir. Polielektrolit kullanımında ise su kalitesinin iyileşmesi çok çabuk meydana gelirken, hem anyonik hem de katyonik

polimer kullanımında filtre çıkış suyu kalitesi oldukça benzerdir. Filtre yatağı üzerinden polielektrolit eklenmesinin ise su kalitesinin arttırılmasına ve yük kayıplarının azaltılması üzerinde normal dozlamaya göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Direkt filtrasyon, filtre yatağına dozlama, alum, demir klorür, polielektrolit, bulanıklık, parçacık sayısı, kesikli dozlama.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS : Examination of Head Losses in Deep-bed Filtration

AUTHOR : Tuğrul Selami AKTAŞ

In this study; the effect of addition of different coagulants (alum, Ferro chloride, and polyelectrolyte) at different doses, from different dosing points on the quality of filter effluent and improvement of head losses in filtration process which has an important role in facilities of drinking water treatment was investigated. In development facilities head losses which will occur were measured at every 4 cm in bed depth. The experiment conditions for extending the congestion periods of filter and, at the same time, increasing the quality of filter effluent were investigated. Appropriate chemical dosage and way and place of dosing were tried to be determined by following the parameters (turbidity and particle count) of raw water and filter effluent constantly.

The most commonly used chemicals in treatments of water and waste water are alum, Ferro III chloride and polyelectrolytes. These chemicals are used in present treatment facilities of drinking water in Istanbul. Therefore; in this study, the effect of application points and ways of application of alum, Ferro III chloride and polyelectrolytes on the quality of filter effluent and head losses was comparatively investigated.

In the experiments; quality of filter effluent and periods of filtration were examined by changing the types of chemicals, dosing points and periods. Generally; some increases in quality of filter effluent and filtration period were observed when dosing of alum and Ferro was applied at different points. The best outcome in view of filter effluent turbidity and filtration period was obtained by dosing alum. In polyelectrolyte usage; while the recovery of quality of filter effluent occurs quickly,

the quality of the effluent is very similar in both anionic and cationic polymer usage. It was observed that addition of polyelectrolyte on filter bed gave better results than normal dosing by increasing the quality of water and reducing head losses.

Key words: Direct Filtration, Dosing on Filter Bed, Alum, Ferro Chloride, Polyelectrolyte, Turbidity, Particle Count, Intermittent Dosing

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince, bana gerekli tüm kolaylıkları sağlayan, yol göstere ayrıca ilgisini, yardımını ve güvenini esirgemeyen, danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Sayın Ebubekir YÜKSEL’e, en içten duygularıyla teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarımın başlangıcından sonuna kadar her aşamasında, gece gündüz demenden benimle çalışan, laboratuvar ve yazım kısımlarının olgunlaşmasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm kadim dostum mesai arkadaşım Araş. Gör. Murat EYVAZ’a değerli arkadaşım Yük.Lisans öğrencisi Tonay ŞENSOY’a her konuda görüşlerinden yararlandığım Değerli Bölüm Hocalarıma,tüm samimiyetimle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamı tüm hayallerimi gerçekleştiren ve hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen bana her aşamada güvenen değerli aileme ithaf ediyorum.

Haziran 2008

Tuğrul Selami AKTAŞ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	7
2. İÇME SUYU ARITIM TEKNOLOJİSİ	8
2.1. Yüzeysel Su Kaynakları	8
2.2. İçme Suyu Arıtımının Esasları	13
2.3. İçme Suyu Arıtımında Filtrasyon	15
2.3.1. Filtrasyon Prosesiyle Giderilebilen Parametreler	17
2.3.2. Filtrasyon Hidroliği	19
2.3.3. Filtrasyon Mekanizmaları	21
2.3.4. Hız Grandyanı	26
3. FİZİKOKİMYASAL ARTIMA	28
3.1. Pıhtılaştırma (Koagülasyon) ve Yumaklaştırma (Flokülasyon)	28
3.2. Yumaklaştırma Yardımcıları	32
3.3. Fizikokimyasal Arıtmada Kullanılan Polielektrolitler ve Özellikleri	33
3.3.1. İyonik Özelliklerine Göre Polielektrolitler	34
3.3.1.1. Bağlı İyonların Yapısına Göre Sınıflandırma	34
3.3.2. Destekleyici İskelet Yapısına Göre Polielektrolitler	34
3.3.2.1. Kendilerini Oluşturan Esas Yapılarına Göre Polielektrolitler	35
3.3.2.1.1. Poliakrilamid Esaslı Polielektrolitler	35
3.3.2.1.2. Kuarternler Amonyum Esaslı Polielektrolitler	36
3.3.2.1.3. Poliamin Esaslı Polielektrolitler	37
3.3.3. Polielektrolitlerin Çözeltideki Davranışları	37
3.3.3.1. Polielektrolitlerin Hidratasyonu	37
3.3.3.2. Zincir Genişlemesi	38
3.3.3.3. Poliiyon – Küçük İyon Etkileşimleri	39
3.3.4. Polielektrolit Uygulamaları ve Kullanıldıkları Yerler	40
3.4. İçme Sularının Arıtmada Yumaklaştırma Yöntemi	40

3.5. Alüminyum ve Demir III Klorür	42
3.6. Koloidal Özellikleri	45
3.6.1. Koloidal Denge Durumu	46
3.7. Zeta Potansiyeli	48
3.8. Direkt Filtrasyon	53
3.9. Derin Yataklı Filtrasyon Teorisi	55
4. MATERYAL VE METOD	59
4.1. Materyal	58
4.2. Deney Düzenegi	59
4.3. Deneysel İşlemler	68
4.3.1. Deney Düzeneginde Yapılan Çalışmanın Açıklanması	68
4.4. Analitik Metot	69
4.4.1. Filtre Malzemesinin Elek Analizi (Granülometresi).	70
4.4.2. Polielektrolit Türünün ve İhtiyacının Belirlenmesi	72
4.4.3. Koagülant İhtiyacı	73
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.	77
5.1. Polielektrolit (PE) Türü Ve Dozajının Belirlendiği Deneyler ve Sonuçları	81
5.2. Deney Grafikleri	82
5.3. Yumaklaştırıcı Seçimi ile Seçilen Yumaklaştırıcının Sürekli ve Kesikli Olarak Dozlamasının Filtre Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi	101
5.4. Katyonik Polielektrolitin Sürekli Dozlama Yerinin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi	103
5.5. Katyonik Polielektrolitin Kesikli Dozlama Yerinin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi	108
5.6. Katyonik Polielektrolitin Yarı kesikli Dozlama Yerinin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi	109
5.7. Deney Grafikleri	110
5.8. Demir III Klorür ve Alüminyum Sülfat'ın Uygulama Yerinin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi	145
5.9. Deney Grafikleri	148
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	164
KAYNAKLAR	170

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Birim</u>
V	Filtre hızı	[m/sn]
<i>k</i>	Geçirimsizlik katsayısı	[-]
<i>I</i>	Hidrolik eğim	[-]
<i>L</i>	Yatak kalınlığı	[m]
<i>g</i>	Yoğunluk	[m/sn ²]
<i>v</i>	Kinematik viskozite	[m ² /sn]
<i>p</i>	Porozite	[%]
<i>d</i>	Dane çapı	[m]
<i>ds</i>	Malzeme spesifik dane çapı	[m]
<i>G</i>	Ortalama hız gradyanını	[sn ⁻¹]
<i>P</i>	Güç ihtiyacını	[watt]
<i>μ</i>	Dinamik vizkoziteyi	[N.sn/m ²]
<i>Q</i>	Debi	[m ³ /sn]
<i>Qd</i>	Teorik bekleme süresi	[sn]
<i>Ps</i>	Dane çökelme hızı	[kg/ m ³]
<i>V</i>	Tank hacmini	[m ³]
<i>pH</i>	Çözeltideki hidrojen iyonu konsantrasyonu	[-]
<i>TOK</i>	Toplam Organik karbon	[-]
<i>FTU</i>	Formazin bulanıklık birimi	[-]
<i>NTU</i>	Nephelometrik bulanıklık birimi	[-]
<i>JTU</i>	Jackson bulanıklık birimi	[-]
<i>NOM</i>	Doğal organik madde	[mg/lt]
<i>USDA</i>	Amerka Birleşik Devletler Tarım Dairesi	[-]
<i>EPA</i>	ABD Çevre koruma ajansı	[-]
<i>T</i>	Sıcaklık	[°C, °K]
<i>T</i>	Zaman	[sn, dak., h]
<i>TOK</i>	Toplam organik karbon	[mg/l]
<i>İSKİ</i>	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi	[-]
<i>WHO</i>	Dünya sağlık örgütü	[-]
<i>TSE</i>	Türk standartları enstitüsü	[-]

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Ülkemiz su kaynaklarının kullanımı	4
2.1 Yüzey suyu arıtımı için klasik arıtma prosesi	10
2.2 İçme suyu arıtma esasları	15
2.3 Filtre malzemesi arasında kalan deliklerin ve süspansiyon haldeki maddelerin korunumu	22
2.4 Suyun kum filtrelerinden süzülmesini sağlayan unsurların genel ve şematik görünüşü	26
3.1 Kolloidlerin polimerler ile reaksiyonların şematik gösterimi	32
3.2 Bir polielektrolit zincirinin genişleme derecesi üzerine tuz etkisinin gösterimi	38
3.3 İyonik atmosferin kalınlığı üzerine tuz etkisinin gösterimi	39
3.4 Koloidin flok yüzeyine adsorblanarak çökmesi	42
3.5 Kolloid üzerinde çift tabaka	45
3.6 İyonik şiddetin ve koloitlerin arasındaki uzaklığın taneciklerin arasındaki etkileşme etkisi	48
3.7 Koloidal tanecik yüzeyinde oluşan potansiyellerin gösterimi	49
3.8 Negatif yüklü koloidal parçacığın etrafındaki çift tabakanın şematik ifadesi	51
4.1 Laboratuarda çalışılan pilot tesis deney düzeneği	62
4.2 Pilot tesisin genel görünüşü	64
4.3 Pilot tesis kontrol paneli	65
4.4 Bulanıklık ve parçacık sayısı değişimlerinin sürekli olarak izlediği cihaz	66
4.5 Parçacık sayısı	66
4.6 Bulanıklık ölçücü	67
4.7 Beta ve gama marka dozaj pompaları	67
4.8 Kum filtresi ve piyezometre boruları	68
4.9 Elek analizi kullanılacak kumdan çeyrek bölme metodu ile temsil	71

4.10.	Elek analizi deney sonuçlarının grafik şeklinde gösterimi	72
4.11	Otomatik jar test cihazı	75
4.12.	Optimum alum (III) klorür dozajının belirlenmesinde kullanılan CCA cihazına ait titrasyon eğrisi	77
4.13.	Optimum demir (III) klorür dozajının belirlenmesinde kullanılan CCA cihazına ait titrasyon eğrisi	77
5.1.	Deney 1'e ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.1 mg/l katyonik PE dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.1 mg/l anyonik PE kullanılmıştır	83
5.2.	Deney 1'a ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli (c).bulanıklık değişimleri	85
5.3.	Deney 2'ye ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.2 mg/l katyonik PE dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.2 mg/l anyonik PE kullanılmıştır.	86
5.4.	Deney 2'ye ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli (c) bulanıklık değişimleri	88
5.5	Deney 3'e ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.3 mg/l katyonik PE dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.3 mg/l anyonik PE kullanılmıştır	89
5.6	Deney 3'e ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli , (c) bulanıklık değişimi	91
5.7	Deney 4'e ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.2 mg/l katyonik PE, 10 dakikada bir 10 dakika süreyle kesikli olarak dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.2 mg/l katyonik PE filtre işletme süresi boyunca kullanılmıştır	92
5.8	Deney 4e ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğnin büyütülmüş şekli (c) bulanıklık değişimi.	94
5.9	Deney 5'e ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.2 mg/l katyonik PE, 20 dakikada bir 20 dakika süreyle kesikli olarak dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.2 mg/l katyonik PE filtre işletme süresi boyunca kullanılmıştır	95
5.10	Deney 5'e ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli , (c) bulanıklık değişimi	96
5.11	Deney 6'ya ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.2 mg/l katyonik PE, 30 dakikada bir 30 dakika süreyle kesikli olarak dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.2 mg/l katyonik PE filtre işletme süresi boyunca kullanılmıştır.	97
5.12	Deney 6'ya ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimi	99
5.13	Katyonik polimer kullanılan filtrede geri yıkama başlangıcında filtre	105

yüzeyinin tabaka şeklinde yerinden ayrılmaya başlaması

5.14	Katyonik polimer kullanılan filtrede geri yıkamanın filtre yüzeyini tabaka şeklinde yerinden ayırması	106
5.15	Deney 7'ye ait yük kayıplarının gelişimi. 1 düzenekte hat üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE yatak üzerindeki 25 nolu noktadan sürekli dozlama yapılması	110
5.16	Deney 7'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimi.	112
5.17	Deney 8 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte hat üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE yatak üzerindeki 15 nolu noktadan sürekli dozlama yapılması	113
5.18	Deney 8 'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	115
5.19	Deney 9 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte hat üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE yatak üzerindeki 5 nolu noktadan sürekli dozlama yapılması	116
5.20	Deney 9 'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	118
5.21	Deney 10 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 25 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerindeki 5 nolu noktadan sürekli dozlama yapılması.	119
5.22	Deney 10 'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	121
5.23	Deney 11 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 5 nolu nokta üzerindeki sürekli dozlama yapılması	122
5.24	Deney 11'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	124
5.25	Deney 12 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 5 + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 15 + 25 nolu nokta üzerindeki sürekli dozlama yapılması	125
5.26	Deney 12'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	127
5.27	Deney 13 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE 5 + 15+ 25 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat üzerinden sürekli dozlama yapılması.	128
5.28	Deney 13'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	130
5.29	Deney 14 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,3 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,4 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması	131
5.30	Deney 13'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	133
5.31	Deney 15 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE	134

	hat + 15 nolu nokta üzerinden 10 dakikada bir kesikli dozlama yapılması	
	2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerinden 20 dakikada bir kesikli dozlama yapılması	
5.32	Deney 13'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	136
5.33	Deney 16 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerinden 20 dakikada bir kesikli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerinden 30 dakikada bir kesikli dozlama yapılması	137
5.34	Deney 16'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	139
5.35	Deney 17 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerinden 30 dakikada bir yarı kesikli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg / L katyonik PE hat + 15 nolu nokta üzerinden 20 dakikada bir yarı kesikli dozlama yapılması	140
5.36	Deney 17'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	142
5.37	Deney 18 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 7,5 mg / L demir III klorür hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması. 2. düzenekte 7,5 mg / L alum'un hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması	148
5.38	Deney 18'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	150
5.39	Deney 19 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 7,5 mg / L alum hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması. 2. düzenekte 7,5 mg / L alum'un hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması	151
5.40	Deney 19'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	153
5.41	Deney 20 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 7,5 mg / L demir III klorür hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması. 2. düzenekte 7,5 mg / L demir III klorür hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması	154
5.42	Deney 20'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	156
5.43	Deney 21 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 5 mg / L demir III klorür hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması. 2. düzenekte 5 mg / L alum hat + 15 nolu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması	157
5.44	Deney 21'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	159
5.45	Deney 22 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 5 mg / L demir III klorür hat + 15 nolu nokta üzerinden 30 dakikada bir kesikli dozlama yapılması. 2. düzenekte 5 mg / L alum hat + 15 nolu nokta üzerinden 30 dakikada bir kesikli dozlama yapılması.	160
5.46	Deney 22'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri	162

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Ülkemiziçin kabul edilen içme suyu standardı (TS-266)	5
1.2. İçme suyu standartları	5
2.1. USEPA tarafından içme sularında risk oluşturabileceğı öngörülen mikroorganizmalar	13
2.2. Hızlı karıştırma için bekletme müddeti ve hız gradyanı	27
3.1. Suda bulunan partiküllerin boyutları ve çökebilirlikleri	46
3.2. Elektrolitlerin yumaklaştırma yetenekleri	47
3.3. Danelerin sudaki çökelme hızlarının gösterilmesi	52
4.1. Deneylerde kullanılan ham suyun kimyasal analizi	59
4.2. Filtre kolonlarının özellikleri	61
4.3. Siemens sitrans FM magflo manga 5000 debimetre teknik özellikleri	61
4.4. Elek analizleri deney sonuçları	72
5.1. Polielektrolit türü ve dozajının belirlendiğı deneylerin planı	78
5.2. 0,2 mg / L katyonik polielektrolitle yapılan çalışmaların deney planı	80
5.3. Koagülanla yapılan çalışmaların deney planı	81
5.4. Uygun polielektrolit tipinin ve dozunun belirlendiğı deney şartları ve sonuçları	100
5.5. Polielektrolitin kesikli olarak dozlandığı deneylerin şartları ve sonuçları	100
5.6. Katyonik polielektrolit dozlama yerinin filtre çıkış suyu verimi üzerine etkisi deneylerinin sonuçları	142
5.7. Katyonik polielektrolit dozlama yerinin filtre çıkış suyu verimi üzerine etkisi deneylerinin sonuçları	143
5.8. Demir III klorür ve alüminyum sülfat'ın uygulama yerinin filtrasyon verimi üzerine etkisi deneylerinin sonuçları	162

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Günümüzde sürekli artan nüfus ve gelişen teknoloji ile beraber su kullanımında sürekli olarak bir artış gözlenmesi ve bununla beraber, çevre dengesinin de bozulması var olan su kaynaklarından tatlı su kaynağı bulmak ve bunu en ekonomik şekilde içilebilir su haline getirebilmek en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir.

Türkiye'nin karasal tatlı su kaynakları coğrafi olarak bulunduğu subtropik kuşağın iklimsel özelliklerinden dolayı oldukça kısıtlıdır. Nüfusu, ekonomik beklentileri ve yaşam standardı hızla artan Türk toplumu, her geçen gün artan bir su gereksinimine sahiptir. Bir ülkenin su potansiyelinin bilinmesi çeşitli kullanımlara yönlendirilecek su miktarının çerçevesini de çizdiğinden su yönetimi açısından büyük önem taşır. Türkiye'de su tüketimi ülke genelinde homojen olarak dağılmamaktadır. Ülke bütününde çekilen su sıkıntısının yanı sıra, yerel olarak su tüketiminde büyük farklılıklar görülmektedir.

Yeryüzündeki sular güneşin sağladığı enerji ile sürekli bir döngü içinde bulunur. İnsanlar, yaşamsal ve ekonomik gereksinimleri için, suyu bu döngüden alır ve kullandıktan sonra tekrar aynı döngüye iade ederler. Bu süreç sırasında suya karışan maddeler, suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirir.

Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar m³ tür. Bu suların % 97,5'u okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, % 2,5'u ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da % 90'ının kutuplarda ve yeraltında bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır [Anaç ve diğ.2004]. Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık olarak 643 mm olup,

yılda ortalama 501 milyar m^3 suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m^3 'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m^3 'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m^3 'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m^3 'lük suyun 28 milyar m^3 'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m^3 su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 (158+28+7) milyar m^3 olmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m^3 de dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m^3 olarak hesaplanmıştır. Ancak, günümüz teknik ve ekonomik şartlar çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m^3 , komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m^3 olmak üzere yılda ortalama toplam 98 milyar m^3 'dür. 14 milyar m^3 olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olmaktadır [DSİ, 2004].

İnsan hayatı için en önemli unsur olan su sanılanın aksine sınırlı bir kaynaktır. Günümüzde su kaynakları ile ilgili en önemli problem onun etkin kullanımudur. Su kaynakları tarım, endüstri ve evsel kirliliklerden önemli ölçüde etkilenmekte olup bu sektörlerin su ihtiyacının giderek artması, onun yönetimini zorlaştırmaktadır.

Su kaynaklarının etkin kullanımı, uzun dönemde ülkemizin sosyal ve ekonomik kalkınmasında en büyük etken olacaktır. Bu sebeple, ülkemizde de sürdürülebilir su kaynaklarının yönetimi, gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Bazı bölgelerde görülen su kıtlıkları ve tahsis problemleri neticesinde içme ve tarımsal alanda suyun ekonomik kullanımı etkilenmektedir. Tarım, endüstri ve içme suyunun kontrolsüz kullanımı sonucunda su kalitesi bozulmakta aynı zamanda yeraltı sularının aşırı ve dengesiz kullanımı ile yeraltı su rezervi korunamamaktadır. Hayat standartları geliştikçe suya karşı olan talep, nüfus artış hızından çok daha fazla

olmaktadır. Bu güne kadar su tesisleri kurmak için öncelikle en kolay ve en ekonomik olanlar tercih edilmiştir. Zaman içerisinde bu tesisler gayet karmaşık, inşası pahalı ve çevreye zarar verici bir hal almıştır.

Su stresi tanıları sadece su sıkıntısı çeken bölgede değil, bol su kaynaklarına sahip dünyanın birçok bölgesinde de bulmak mümkündür, en fazla rastlanan sorun yeraltı sularının seviyelerindeki düşüştür. Gereğinden fazla kullanılan yeraltı suyu kullanımına Çin’de, Hindistan’da, Meksika’da, Tayvan’da ABD’nin batısında ve Ortadoğu’da rastlanmaktadır.

Talep arttıkça ve su tesislerinin inşa edilmesi zorlaştıkça, mevcut su imkânlarının yönetilmesi birçok alanlarda başa çıkılmaz bir hal almaktadır. Çevre korumacılığında oynadığı rolü ve içinde yaşayan varlıkları hiç göz önüne almadan inşa edilen su yapıları (baraj, gölet...) akarsuların yataklarını değiştirerek ve akarsuları kirleterek, doğayla ters düşen toplumlar deltaları, gölleri, nehir yataklarını ve burada yaşayan canlıları mahvetmişlerdir.

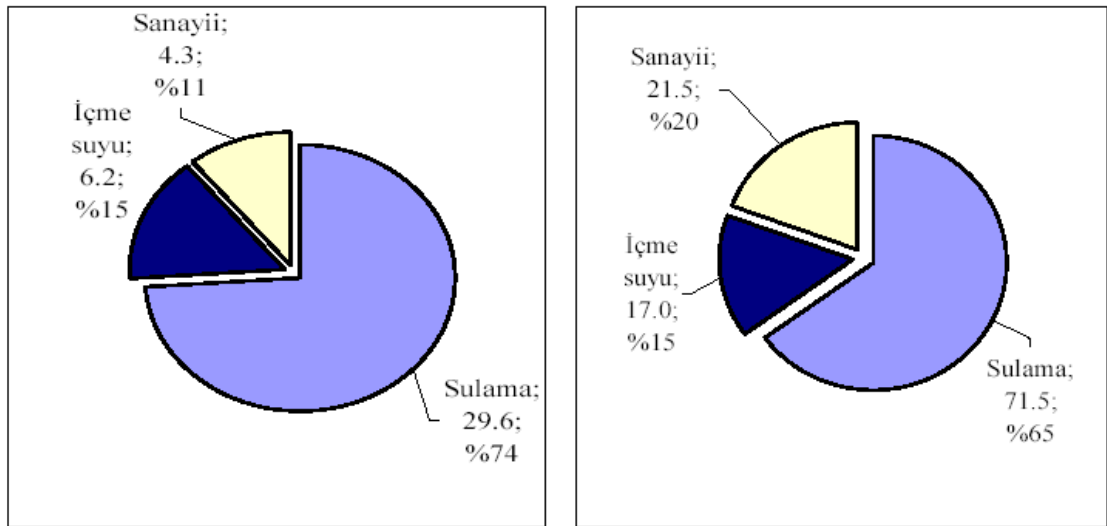
Dünyada çevre korumasının her türlü yaşamın temelini oluşturduğu tam olarak kabul edilmiş değildir. Çevreyi korumak için yönetimlerin atmak istedikleri adımlara karşı çıkanlar, özel tasarruf haklarını ileri sürerek özellikle ABD’de ekosistemlerinin korunmasını zorlaştırmaktadır.

Her yıl kullanıma sunulan içme suyu miktarının en az nüfus artış hızına paralel olarak artırarak, buna bağlı olarak da sektörde görev yapan kuruluşların yatırımlarını artırarak sürdürmeleri kaçınılmaz bir zorunluluk olarak değerlendirilmelidir.

Gerek yeraltı ve gerekse yer üstü su kaynaklarının kirlenmesine ve bozulmasına karşı gereken önlemler alınırken, söz konusu kaynakların kirlenmeden önce

korunması, özellikle içme suyu kaynağı olarak kullanılan baraj ve doğal göllerin kirlenmeye karşı korunması ödün verilmeden sürdürülmelidir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ne göre 300 milyon insan su sıkıntısı çekmekte, yılda milyonlarca insanın içme suyu ile bağlantılı hastalıklara maruz kalmaktadır. Su sıkıntısı 2050 yılında dünya nüfusunun üçte ikisini etkileyeceği öngörülmektedir. Dünya içme sularının % 60'ı ABD, Çin Halk Cumhuriyeti, Endonezya gibi 10 ülke tarafından kullanılmaktadır. Ülkemiz, kişi başına düşen kullanılabilir su 1735 m³ olup açısından dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında su dünya ortalaması 7600 m³'dür. Ülkemizin 2030 yılında su kaynakları kullanımında toplamda içme suyunun %15, sanayinin %20, sulamanın % 65 pay alacağı öngörülmektedir [WHO,2006].



Şekil 1.1. Ülkemiz su kaynaklarının kullanımı (DSİ, 2004)

Minimum düzeyde bile büyük salgınlara yol açabilecek olan içme sularının kirlenmesi, arıtımda uygun dezenfektan kullanılmasını da önemli kılmaktadır. Bu sebeplerle içme suyu arıtımı, teknolojik açıdan her gün gelişmekte ve önem kazanmaktadır.

Tablo 1,1’de ülkemizde kabul edilen TS–266 içme suyu standardını, Tablo 1.2’de TSE-266’nın WHO ve EPA’nın içme suyu standart değerleri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 1.1. Ülkemiz için kabul edilen içme suyu standardı (TS–266)

1.ZEHİRLİ MADDELER	Kurşun (Pb)	-	0,05 mg/l
	Selenyum (Se)	-	0,01 mg/l
	Arsenik (As)	-	0,05 mg/l
	Krom (Cr ⁺)	-	0,05 mg/l
	Siyanür (CN)	-	0,2 mg/l
	Kadmiyum (Cd)	-	0,01 mg/l
2.SAĞLIĞA ETKİ YAPAN MADDELER	Florür (F)	1.0 mg/l	1,5 mg/l
	Nitrat (NO ₃)	-	45 mg/l
3.İÇİLEBİLME ÖZELLİĞİNE ETKİ YAPAN MADDELER	Renk	5 birim	50 birim
	Bulanıklık	5 birim	25 birim
	Koku ve tad	kokusuz	kokusuz
	Buharlaştırma Kalıntısı	normal	normal
	Demir (Fe)	500 mg/l	1500 mg/l
	Mangan (Mn)	0,3 mg/l	1,0 mg/l
	Bakır (Cu)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
	Çinko (Zn)	1,0 mg/l	1,5 mg/l
	Kalsiyum (Ca)	5,0 mg/l	15,0 mg/l
	Magnezyum (Mg)	75 mg/l	200 mg/l
	Sülfat (SO ₄)	50 mg/l	150 mg/l
	Klorür (Cl)	200 mg/l	400 mg/l
	pH	200 mg/l	600 mg/l
	Bakiye Klor	7.0 - 8.5	6.5 - 9.2
	Fenolik Maddeler	0,1 mg/l	0,5 mg/l
	Alkali Benzil Sülfonat	-	0,002 mg/l
	Mg+Na ₂ SO ₄	0,5 mg/l	1,0 mg/l
		500 mg/l	1000 mg/l
		3,5 mg/l	-
	Toplam Organik Madde	-	-
		-	-
4.KİRLENMEYİ BELİRTEN MADDELER			

*Toplam organik madde 3,5 mg/l’yi aşması bakteriyolojik muayenede özellikle titiz davranılmalıdır

Tablo 1.2. İçme suyu standartları.

	Türk Standartları	Dünya Sağlık	ABD Çevre Koruma Ajansı
	TSE 266	Örgütü WHO	EPA
BERRAKLIK (NTU)			
Bulanıklık	25	5	5
MİKROBİYOLOJİK PARAMETRELER			
Koliform Bakteri	<1	0	<1

ORGANİK KİMYASAL PARAMETRELER (mg/lt.)

Toplam	400	100
Trihalometanlar		

İNORGANİK KİMYASAL MADDELER (mg/lt.)

Alüminyum,Al	0,2	0,2	1
Arsenik, As	0,05	0,05	0,05
Baryum,Ba	0,3		1
Kadmiyum,Cd	0,01	0,01	0,01
Krom (Toplam)	0,05	0,05	0,05
Florür,F	1,5	1,5	0,7-2,4
Kurşun,Pb	0,05	0,05	0,05
Civa,Hg	0	0	0
Nitrat,NO ₃	50	50	45
Selenyum,Se	0,01		0,01
Gümüş,Ag	0,01		0,05
Antimon,Sb	0,01		0,01
Berilyum,Be			0
Asbest > 10 mikron			7 milyon lif/lt.

RADYOLOJİK PARAMETRELER

Gross Alfa	15
Gross Beta	50

ESTETİK PARAMETRELER (mg/lt.)

Klorür,Cl	600	250	250
Renk (Birim)	20	15	15

Türk Standartları**TSE 266****Dünya Sağlık****Örgütü WHO****ABD Çevre Koruma Ajansı****EPA**

Bakır,Cu	3		1
Deterjanlar	0,2		0,5
Demir,Fe	0,2		0,3
Mangan,Mn	0,05	0,5	0,05
Koku Eşik Değeri (Birim)			3
pH	6,5-9,2	6,5-8,8	6,5-8,5

Sülfat,SO ₄	250	250	250
TDS	1500	1000	500
Çinko,Zn	5		5
İLAVE PARAMETRELER (mg/lt.)			
Kalsiyum,Ca	200		
Sertlik,CaCO ₃		500	
Magnezyum,Mg	50		
Potasyum,K	12		
Sodyum,Na	175	200	
Bakiye Klor	0,1-0,5	5	
Amonyum,NH ₄	0,05-0,5	1,5	

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada direkt filtrasyon da filtre yatağı boyunca farklı noktalardan sürekli, kesikli ve yarı kesikli olarak polielektrolit ve yumaklaştırıcı dozlanması uygulanarak uygun polielektrolit ve yumaklaştırıcı türünü, dozaj miktarını ve uygulama biçimini belirleyip, bu uygulama biçiminin çıkış suyu verimi üzerine etkisi ile yük kayıpları ve filtrasyon süresi üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda iki özdeş filtre düzeneği hazırlanıp, birinde filtre yatağı üzerinden seçilen farklı noktalardan diğerinde ise hem filtre yatağı üzerinden seçilen farklı noktalardan hem de filtreyi besleyen su hattı üzerinden kimyasal ilavesi yapılarak bu iki sistem karşılaştırılmıştır ve böylece iki farklı dozlama sisteminin filtrasyon performansı üzerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yüzeysel su kaynaklarından alınan suların, çıkış suyu kalitesinin kontrolü için giriş –çıkış pH'sı, bulanıklığı, parçacık miktarı, iletkenliği ve sıcaklığı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan filtre yatağının tek noktası ile değişik noktalarında farklı doz ve türde kimyasal ilavesinin çıkış suyu kalitesi ve filtrasyon süresi üzerine etkileri tespit edilmiştir.

2. İÇME SUYU ARITIM TEKNOLOJİSİ

2.1. Yüzeysel Su Kaynakları

İçme suyu temin edilen kaynaklar yüzey suları ve yeraltı suları olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Nehirler, göller, akarsular, göletler ve baraj suları yüzeysel su kaynaklarını oluşturur. Su kaynağının yeri ve kotu arıtma uygulamalarında cazibeli akış koşulları sağlayarak avantaj oluşturur. Yüzeysel su kaynaklarının arıtımı, su kaynağının yeri, kotu ve kalitesi ile ilgili problemlerin çözümü ve standartların sağlanabilmesi için çeşitli arıtma tiplerinin uygulanmasını gerektirir.

Nehir veya akarsular su kalitesinde ani değişikliklerin yaşandığı yüzeysel su kaynaklarıdır. Şiddetli yağmurlar veya bahar yağmurları sırasında bulanıklılık ve diğer parametrelerde değişiklikler meydana getirirler. Bu durum esnek ve güvenilir arıtma proseslerini ve operatörün yakın ilgisini gerektirir. Ayrıca nehir ve akarsular, kaza sonucu meydana gelen dökülmeleri ve kirleticileri arıtma tesisine taşıma riskine sahiptirler. Sonuç olarak arıtma prosesinin seçimi bu durumlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Göl, gölet ve baraj suları su kalitesinde mevsimsel değişikliklerin yaşandığı yüzeysel su kaynaklarıdır. Fakat bu değişiklikler, nehir ve akarsulara göre daha kademeli ve yavaş gerçekleşen değişikliklerdir. Yaz aylarında göllerde tabakalaşma gözlenir. Sıcak su tabakası göl yüzeyine yakında kalırken, soğuk su tabakasında çok az bir karışım meydana geldiği için diptedir. Bu koşullar üst seviyelerde oksijen tüketimine sebep olur. Bu indirgenme koşulları altında demir ve mangan çözünür hale geçebilir. Anoksik ve/veya anaerobik parçalanma ürünleri ve hidrojen sülfür sebebiyle tat ve koku problemleri artabilir.

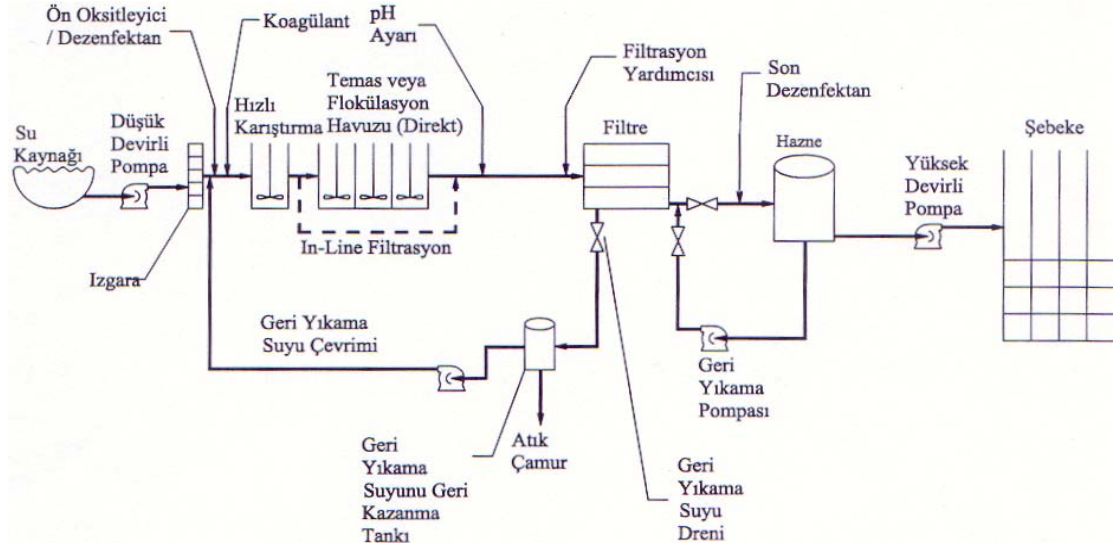
Göllerde üst seviyeler, karbonat, nütrient ve sıcaklık koşulları için uygunsa alg patlamaları için uygun olabilir. Alg patlamaları, suyun bulanıklılığı, alkalinitesi, tat, koku, pH ve diğer karakteristiklerinde değişikliklere sebep olabilir. Yüzeysel su kaynaklarının seçiminde etkili diğer faktörler çevredeki arazinin kullanımı, bitkiler, toprak karakteristikleri ve topografyadır.

Yüzey sularının su kalitesi açısından ana problemleri özet olarak; parçacık içeriği, rengi, tadı, kokusu, mikrobiyolojik içeriği ile ilgili problemler olarak ifade edilebilir. Sudaki parçacıklar, moleküllerden daha büyük fakat genellikle çıplak gözle seçilemeyen, büyüklükleri 1–150 µm arasında değişen, ince parçalanmış katılardan oluşur. Parçacıklar kil, silt ve asbest gibi inorganik maddeleri içermelerinin yanı sıra aynı zamanda alg, bakteri ve diğer mikroorganizmalar gibi ölü veya canlı organik maddeleri de içerirler. Ayrıca, geniş yüzey alanına sahip olmaları dolayısıyla güneş ışığının derinlere nüfuz etmesini ve su derinliğinin görünebilirliğini azaltmaları sebebiyle estetik olmayan durumlara sebep olurlar. Toksik maddeleri içermeleri veya absorbe etmeleri sebebiyle de sağlık açısından önem taşırlar. Bu toksik maddeler arasında patojenik mikroorganizmalar, ağır metaller ve klorlu hidrokarbonlar yer alır. Parçacıklar, yüzeylerine adsorbe ettikleri mikroorganizmalar sebebiyle dezenfektanların tüketimi sonucu dezenfeksiyon prosesine girişimde bulunabilirler. Buna ek olarak bazı parçacıkların dezenfektan ihtiyacı söz konusudur.

Temel arıtma prosesi, filtrasyon dan önce, yumaklaştırma, pıhtılaştırma ve sedimantasyon aşamalarını içerir. Bazı arıtma tesisleri, daha fazla esneklik ve çoğu zaman su kalitesini iyileştiren iki kademeli yumaklaştırma, pıhtılaştırma ve çöktürme birimlerinden oluşur.

Mevsimsel olarak yüksek parçacık, renk, tat, koku ve kabul edilebilir sertlik konsantrasyonlarına sahip yüzey su kaynakları için geleneksel bir proses akış diyagramı Şekil 2.1 de verilmiştir.

Ham suyun ızgaralardan geçirilmesi, sudaki büyük maddelerin uzaklaştırılması için yaygın bir şekilde sistemin bir parçası olarak kullanılmaktadır. Bakteri içeriğini, alg büyümesini, tat ve kokuyu kontrol için bir ön oksitleyici veya dezenfektan kullanılır. Geçmişte klorürün yaygın bir şekilde kullanılmasıyla birlikte, halojenli yan ürünlerin insan sağlığına olumsuz etkisi sebebiyle ozon, klor dioksit ve potasyum permanganat kullanımını da artmıştır. Polimerlerin metal tuzlarının yerine daha sık kullanılmalarına rağmen demir ve alüminyum tuzları da yumaklaştırıcı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.1 Yüzey suyu arıtımı için klasik arıtma prosesi

Yüzeysel sularda kirletici etki yapabilecek unsurları sıralarsak;

Bakteriler, Virüsler ve Diğer Hastalık Yapıcı Canlılar: Suların hijyenik açıdan kirlenmesine neden olan bu organizmalar genellikle hastalıklı ya da hastalık taşıyıcı insan ve hayvanların dışkı ve idrarlarından kaynaklanır.

Organik Maddelerden Kaynaklanan Kirlenme: Ölmüş bitki ve hayvanların artıkları ile tarımsal faaliyetlerle oluşan yüzeysel sulara karışması sonucunda ortaya çıkan kirlenmedir. Hümik maddeler suda bulunan organik maddelerin %50' si ya da daha fazlasını oluşturur. Molekül yapıları kompleks olan bu maddelerin bir kısmını humik ve fulvik asitler oluşturur [Thurman,1986]. Klorlama sırasında klor ile reaksiyona girerek kanserojen bileşiklerin oluşumuna neden olmaları içme suyunda karşılaşılan en büyük problemlerden biridir [Rook, 1984].

Endüstri Atıkları: Çeşitli endüstri faaliyetleri sonucu oluşan kadmiyum, kurşun, krom, bakır, çinko, nikel, fenol, arsenik, siyanür, krom, cıva vb. toksik maddeleri içerirler. Ağır metaller besin zincirine girerek canlı bünyelerinde birikir ve belli konsantrasyondan sonra ölüme neden olurlar. Kurşun varlığı belli bir konsantrasyonu aşınca akciğer, böbrek kanserine, göz, böbrek kas ve eklem bozukluklarına, beyin dokusunun harap olmasına neden olabilir. Kadmiyum akciğer, üreme sistemi, boşaltım sistemi ve prostat kanserlerine, cıva vücutta 25 mg üzerine çıktığında görme ve işitme bozuklukları, sağırılık, körlüğe sebep olmaktadır.

Yağlar ve Benzeri Maddeler: Bu maddelerin varlığı tanker kazaları ve petrol boru hatlarından kaynaklanmaktadır.

Azot bileşikleri: Azot bileşikleri içeren içme suları insan sağlığı açısından önemlidir. Örneğin amonyum bakteri çoğalmasını teşvik eder, nitrat bebeklerde mavi bebek sendromuna neden olur, nitrit ise kanserojen etkiye sahiptir.

Fosfor bileşikleri: Sularda çeşitli fosfat türleri şeklinde bulunur ve birçok biyokimyasal reaksiyonda rol alır. Yüzeysel sulardaki fazla fosfor miktarı ötrofikasyona neden olur. Ayrıca heterotrof mikroorganizmaların büyümesinde de önemli etkiye sahiptir.

Yüzey aktif maddeler: Sabun, deterjan gibi temizlik maddelerini ve emülsiyon yapıcıları içerir ve suda yüzey gerilimini azaltır. Sert sularda sabunun temizleme etkinliğini artırmak için kalsiyum, magnezyum ve bazı metalik iyonlar katılmaktadır. Deterjan aktif maddesi olarak ise petrolden elde edilen çeşitli türevler kullanılır. Deterjanların yapısında bulunan bazı maddeler, biyolojik olarak ayrışmayan suda yıllarca kalabilen maddelerdir ve kanserojen özellikleri vardır. Fosfat içeren deterjanlar ise ötrofikasyona neden olur.

Radyoaktivite: Nükleer enerji santralleri, hastaneler, bazı endüstri kuruluşları, araştırma kuruluşlarından kaynaklanan atıklar ile nükleer silah denemeleri sonucunda oluşabilmektedir. Hücrenin biyokimyasal mekanizmasını etkiler. Özellikle genler radyasyona duyarlı olduklarından canlı ölmese bile üreme yeteneğini kaybeder veya gen mutasyonu sonucu cilt kanseri lösemi gibi hastalıklar ortaya çıkar.

Zirai Mücadele İlaçları: Tarımsal mücadelede kullanılan yapay organik maddelerdir.

Yapay Organik Kimyasal Maddeler: Bu maddeler farmasotik, petrokimya ve zirai kimya endüstrilerince üretilmektedir.

İnorganik Tuzlar: Bu maddeler toksik değildirler ancak yüksek dozlarda bulundukları zaman kirletici olarak kabul edilir.

Yapay ve Doğal Tarımsal Gübreler: Azot ve fosfordan kaynaklanan ikincil kirlenme meydana getirirler.

Atık Isı: Tek geçişli soğutma suyu sistemlerine sahip termik santraller yüzeysel sulara büyük miktarda atık ısı verir. Suyun sıcaklığının artması bir yandan doğal arıtma sürecini hızlandırırken öte yandan sudaki oksijenin doygunluk derişimini azaltarak anaerobik kokuşmaya neden olurlar.

Tablo 2.1. USEPA tarafından içme sularında risk oluşturabileceği öngörülen mikroorganizmalar.

Acanthamobia	Cyanobacteria
Adenovirüsler	Echovirüsler
Aeromonas hydrophlia	Helicobacter pylori
Calicivirüsler	Microsporidia
Coxsackievirusler	Mycobacterium avium

Not: Özellikle Mycobacterium avium, Adenovirüsler ,Microsporidia su arıtma ve dezenfeksiyon işlemlerine en dirençli olanlardır.

2.2. İçme Suyu Arıtımının Esasları

İçme suyu arıtma tesislerinde kullanılan klasik proses; mekanik temizlemeli ince ızgara, havalandırma, yumaklaştırma, pıhtılaştırma, çökeltme, filtrasyon ve dezenfeksiyondur. Ayrıca istenen su kalitesine göre ve ham suyun kalitesine göre prosese iyon değişimi, kireç-soda yumuşatımı, aktif karbon filtreleri, kartuş filtre vb. eklenebilir.

Bu çalışmada içme suyu arıtımında pıhtılaştırıcı eklenmesi, hızlı karıştırma, yumaklaştırma, pıhtılaştırma işlemlerini gerektirmeyen direkt filtrasyon ele alınmıştır. Su kaynaklarının işlenerek içilmeye hazır hale getirilmesinde kullanılan temel prensipler bulunmaktadır. Kullanılacak yöntemler farklılık gösterebilmektedir. Kullanılacak yöntem belirlenirken suyun kalitesi, bulanıklığı, sıcaklığı, pH düzeyi ve sudaki patojen mikroorganizmaların türü dikkate alınmalıdır.

İçme Suyu Arıtımında suyun içindeki renk, bulanıklık, koku ve kötü tat veren asılı bulunan parçacık ve çözünmüş haldeki organik ve inorganik zehirli radyoaktif maddeleri ve hastalık yapan mikropları yok etmek, asitliği ve bazlığı nötrleştirilmesi demir ve mangan gibi metalleri gidermek, sertliği ve sıcaklığı normal hale getirmek esastır. Yüzeysel sular için uygulanan su arıtma işleminin aşamaları şunlardır.

Yumaklaştırma: Suyu alüminyum sülfat ya da metal tuzları ilave edilerek parçacıkların bir araya gelmesi sağlanır.

Sedimentasyon: Bir araya gelen parçacıkların yerçekiminin etkisi ile suyun içinde bulunduğu tankın dibine çökmesinin sağlanmasıdır.

Filtrasyon: Yavaş veya hızlı kum filtreleri ya da aktif kömür filtrelerle sedimentasyon işlemi ile de uzaklaştırılamayan parçacıkların giderilmesi.

Dezenfeksiyon: Sudaki mikroorganizmaların giderilmesidir. Arıtılan suya dağıtım sistemine verilmeden önce rezidüel koruma için klor veya kloramin eklenir [Oğur ve ark.2004].



Şekil 2.2. İçme Suyu Arıtımının Esasları

2.3 İçme Suyu Arıtımında Filtrasyon

Filtrasyon, Poröz bir ortamdan veya geçirimli bir madde arasından geçirilen suyun arıtılması işlemine denilmektedir. Ayrıca filtrasyon, İçme suyu tasfiyesinde en eski ve en çok kullanılan arıtım yöntemlerinden biridir. İçme suyu arıtımında askıdaki maddeleri uzaklaştırmak, ön ozonlama veya klorlama tarafından okside olmuş demir ve mangani tutmak, amonyumu okside etmek, mikroorganizmaları nispeten uzaklaştırmak gibi çok çeşitli amaçlarla kullanılan ve içme suyu tesislerinin kalbi olarak kabul edilen en eski arıtım yöntemlerinden biridir [Cleasby ve ark, 1979].

Başka bir ifade ile baraj ve göllerden temin edilen suları, istenen kaliteye getirmek için çeşitli ünitelerden geçirmek gerekmektedir. Filtrasyon ünitesi arıtım işleminde en önemli ve en son ünitelerdir. Suların arıtımında filtrasyon, yüzeysel sularda mevcut olan süspansiyon halindeki maddeleri, kireçle yumuşatılmış sulardaki çökeltileri, kuyu sularında bulunabilen demir ve mangan parçacıklarını

uzaklaştırmakta kullanılır. Kullanılmış suların tasfiyesinde filtrasyon; ikinci çökeltme havuzunda çökelmeyen biyolojik yumakları, kimyasal olarak fosfatın çöktürülmesinde ortaya çıkan süspansiyon maddeleri, kullanılmış suların fiziko-kimyasal veya ileri derecedeki tasfiyelerinde kimyasal yumaklaştırmadan sonra suda kalan asılı haldeki maddeleri uzaklaştırmada tatbik edilir.

Filtrasyon işlemi sırasında giriş konsantrasyonundaki parçacıklar, filtrasyon esnasında akımın filtre ortamında geçmesiyle tutulurlar. Biriken süspansiyon miktarı ortamdaki derinlikle değişir. Birim ortam hacmindeki birikinti hacmi, [Ojha ve Graham,1991] tarafından ‘bulk spesifik birikinti’ olarak adlandırılmıştır. Coad tarafından 1982’de yapılan çalışmalarda bulk spesifik birikintinin filtre ortamı boyunca oluşan yük kaybının artış gösteren değişimindeki önemi vurgulanmıştır [Coad, 1982]. [Mohanka, 1969], bulk spesifik birikintiyi değerlendirmek için mevcut deneysel metotlar sunmuş, ancak kayda değer sonuçlar elde edememiştir.

Bir çok araştırmacı, alternatif olarak bulk spesifik birikintinin teorik olarak hesaplanmasını önermiştir [Mohanka,1969]. Teorik olarak bulunan bulk spesifik birikinti hesaplamaları yük kaybı modelinin tarzına dayanır. Yük kaybı, bulk spesifik birikintinin bir fonksiyonu olduğundan deneysel olarak ölçülen yük kayıpları, belirli bir yük kaybı denklemi vasıtasıyla bulk spesifik birikintinin değerlendirilmesinde yardımcı olur. Yük kaybı modellerinin büyük çoğunluğu literatürde bulunmaktadır [Tien ve Gimbel, 1982].

Bütün bu modeller önceden değerleri bilinmeyen ampirik parametreler içermektedir. Bu yüzden bilinmeyen ampirik katsayılara sahip bir yük kaybı modelini kullanarak bulk spesifik birikintinin değerlendirilmesi mümkün değildir.

Filtrasyon işlemiyle içme suyu arıtımında, askıda ve koloit maddelerin tutulması, bulanıklılığı gidermek, mikroorganizmaların giderimi ve kimyasal bileşiklerin yardımıyla suyun kalitesini yükseltir ve yüksek kalitede çıkış suları elde edilir.

2.3.1. Filtrasyon Prosesiyle Giderilebilen Parametreler

Türbidite (Bulanıklık): Türbidite (bulanıklık) askıda katı madde içeren suların ışık geçirgenliğinin bir ölçüsüdür. Sudaki tortu ve bulanıklığa askıda katı maddeler sebep olmaktadır. Bulanıklığın nedeni; sudaki askıda maddelerden, gözle görülebilecek kadar büyük tortulara kadar her şey olabilir. Kum, kil, silis, kalsiyum karbonat, demir, mangan, sülfür vb.. gibi maddeler bulanıklığa neden olurlar. Birimi NTU (Nephelometrik bulanıklık birimi), JTU (Jackson bulanıklık birimi) veya FTU (Formazin bulanıklık birimi)'dir. Türkiye İçme Suyu Standartlarında (TS-266) müsaade edilebilen değeri 5 NTU' dur. Bulanıklık içme ve kullanma suyu temini için önemli olan ana nedenler şunlardır. 0 – 40 NTU arasındaki bulanıklık değerleri FTU ve JTU birimlerine eşit olarak kabul edilmektedir

Dezenfeksiyon: Dezenfeksiyonun etkili olabilmesi için dezenfektanın sudaki mikroplarla tam temasının sağlanması gerekir. Ancak özellikle kanalizasyon atıklarındaki patojenler sudaki katı maddelerin içine girerek dezenfektandan kurtulabilmektedirler. Bu nedenle içme suyu olarak kullanılacak sularda bulanıklığın düşük değerlerde olması istenir. Bulanıklık, özellikle nehir sularında yüksek değerdedir. Yağmurlarla taşınan topraktan veya nehre karışan evsel - endüstriyel atık sulardan kaynaklanır. Ayrıca bu kirlenme sırasında organik maddeler kadar inorganik maddeler de suya karışır. Bu maddelerin bulunması suda bakteri oluşumunu destekler. Bakteri oluşumu da suda bulanıklığı artırır. Örneğin N, P gibi maddeleri kullanan algler büyüyerek suda bulanıklığa sebep olurlar. Aynı zamanda suda sıcaklık artışı da mikroorganizma faaliyetlerini hızlandırır.

Renk: Suda renk oluşumuna organik maddelerinin yanı sıra Fe ve Mn gibi ağır metaller sebep olmaktadır. Organik maddeler de suda sarımsı bir görünüşe, demir kahverengimsi, mangan ise gri-siyah görünüşe sebep olmaktadır. Renk Pt-Co(Plain-

Kobalt) birimi ile ölçülür. TS-266'ya göre müsaade edilebilen değeri 5 Pt-Co'dır. Giderim verimliliği spesifik ozon dozu, su kaynağının çeşidine ve kalitesine bağlıdır.

Tat ve Koku: Sularda tat ve koku oluşumuna sebep olan pek çok etkenler bulunmaktadır. Bunlar organik maddeler, canlı organizma faaliyetleri, demir, mangan ve korozyonun metalik ürünleri, klorlama, fenol gibi endüstriyel atık kirliliği yüksek mineral konsantrasyonu H_2S , CH_4 gibi çözünmüş gazlardır. Organik maddeler genellikle suda bulunan alg, virüs, bakteri, yosun gibi organizmaların çürüyüp ayrışmaları sonucu oluşarak istenmeyen tat ve kokuya sebep olmaktadır. Klorun dezenfeksiyon ve ağır metallerin çöktürülmesi gibi işlemlerde kullanıldıktan sonra suya kendine has bir tat ve koku bırakır. Bu yüzden sudan mutlaka uzaklaştırılması gereklidir. Filtrasyon sırasında, koşullara bağlı olarak aktif olan, farklı tutunma mekanizmaları vardır. Mekanik olarak tutunma, çökme, difüzyon, atalet ve hidrodinamik kuvvetler etkisiyle tutunma gibi mekanizmalar, tek tek veya birlikte her bir parçacığın tutunma işlemi sırasında etkili olur [Balkaya, N. ve ark. 2006].

Filtrasyon prosesinde dikkate alınacak parametrelerin en önemlileri giriş karakterizasyonu, filtre malzemesinin özellikleri ve akım hızı(yüzey yükü) dır. Giriş konsantrasyonunun artması filtrenin tıkanma süresini kısaltmaktadır. Buna karşılık düşük giriş konsantrasyonu filtre işletim süresini ve maliyeti artırmaktadır. Filtre malzemesinde dikkat edilecek nokta malzeme boyutu ve porozitesidir. Filtrelerde yüzey yükü ise filtreye giriş debisinin filtre yüzey alanına oranıdır. Yüzey yükü arttıkça suyun filtreden geçmesi zorlaşır. Düşük yüzey yüklerinde su kolayca filtreden geçer ve yük kayıpları daha uzun sürelerde oluşur.

2.3.2. Filtrasyon Hidroliği

Poroz bir ortamda sıvı akışını en iyi açıklayan kanun Darcy Kanunu'dur. Darcy Kanunu'na göre filtre hızı (V_f), filtre ortamının geçirimsilik katsayısı ve hidrolik eğimle doğru orantılıdır [Eroğlu,1991].

Buna göre filtre hızı;

$$V_f = k * I \quad (2.1)$$

Formülü ile ifade edilir. Burada;

V_f ; Filtre hızı (m/sn)

k ; Geçirimsilik katsayısı

I ; Hidrolik eğim

Hidrolik eğim; Filtrelerde su yüzeyleri arasındaki mesafenin yatak kalınlığına oranı olduğuna göre ($I = H/L$) ve (2.1) formülünde yerine konulursa filtre hızını veren denklem aşağıdaki şekli alır.

$$V_f = k * H / L \quad (2.2)$$

L ; Yatak kalınlığı (m)

(2.2) nolu denklemde su yüzeyleri arasındaki mesafe yani yük kaybı olan H çekilirse;

$$H = V_f * L / k \quad (2.3)$$

İfadesi elde edilir.

Filtrasyon ünitelerinin yük kayıplarının hesaplanmasında Carmen-Kozeny veya Sabri Ergün denklemleri kullanılır.

Carmen-Kozeny eşitliğine göre d çapında sürekli akışı olan filtre yatağında geçirimsizlik katsayısını veren ifade aşağıda verilmiştir;

$$k = \frac{g * p^3 * d^2}{180 * v(1 - p)^2} \quad (2.4)$$

Burada;

g ;Yoğunluk

v ; Kinematik viskozite

p ; Porozite

d ; Dane çapı ifade eder.

$d = d_s * \Phi$ formülünden hesaplanır.

d_s ; Malzeme spesifik dane çapını ifade eder ve zemin mekaniğindeki elek analizi sonucunda bulunur.

Elek Analizi;

(2.4) formülü (2.3) de yerine koyarsak;

$$H = \frac{V_f \cdot L}{d^2} \cdot \frac{180v}{g} \cdot \frac{(1 - p)^2}{p^3} \quad (2.5)$$

Carmen-Kozeny denklemi genellikle laminer akımlar için kullanılır. Bunun yanında laminer akım, geçiş bölgesini ve türbülanslı akımı içine alan daha geniş kapsamlı bir denklem Sabri Ergün denklemi kullanılır. Denklem;

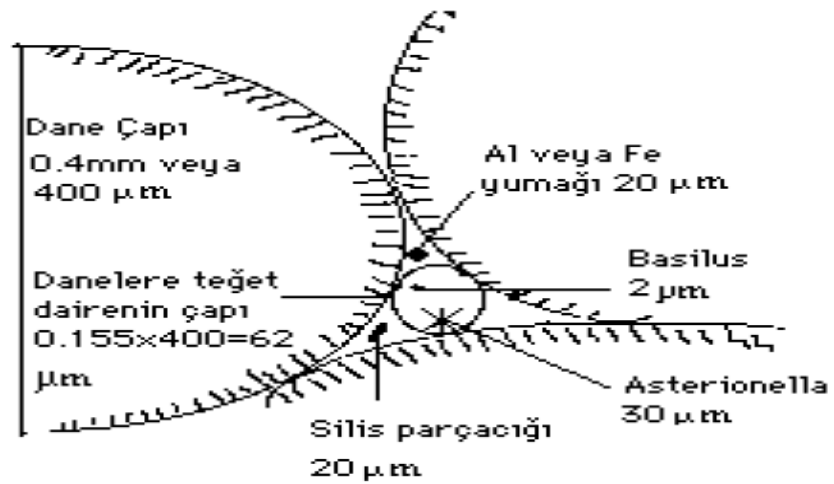
$$\frac{H}{L} = \frac{150\mu}{g \cdot \rho} \cdot \frac{(1 - p)^2}{p^3} \cdot \left(\frac{S}{6}\right)^2 \cdot V_f + 1,75 \frac{(1 - p)}{p^2} \cdot \frac{S}{6} \cdot \frac{V_f^2}{g} \quad (2.6)$$

2.3.3. Filtrasyon Mekanizmaları

Kum filtrelerinde suda mevcut olan katı maddeler değişik mekanizmalar sonucunda tutulmaktadır. Bunlar;

Mekanik Süzme

Mekanik süzülme işlemi, ham suların filtre yatağından geçerken bazı kirleticilerin filtre malzemesi tarafından tutulması işlemidir. Süspansiyon halindeki parçacıkların boyutları yatak malzemesi gözeneklerinden daha büyük olduğundan burada tutulurlar. Ancak kum malzemesinin çapı 0.4 mm olsa dahi, küre şeklindeki kumların yan yana dizilmesi halinde arada kalan boşluk $0.155 \times 400 = 62$ mikrometre çapındadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Filtre Malzemesi Arasında Kalan Deliklerin ve Süspansiyon Haldeki Maddelerin Korunumu

Koloitlerin çaplarının 1 ile 10 mikrometre arasında olduğu dikkate alınırsa bunların 0.4mm çaplı malzemeyle teşkil edilmiş filtrelerde tutulmayacağı anlaşılır. Hatta küçük çaplı alüminyum ve demir yumaklarının (20–50 mikrometre) da tutulması mümkün görülmemektedir.

Ancak filtrasyon sırasında bazı parçacıkların birbiriyle temas etmesi neticesi büyük yumaklar teşekkül eder, böylece kirletici maddelerin filtre yatağından szlp çıkış suyunu karışması engellenir. Hızlı kum filtrelerinde mekanik süzme, diğer giderme mekanizmaları yanında ihmal edilebilecek mertebededir. Bu yüzden çabuk tıkanmalara meydan vermemek için bu filtrelerde kum yatağının dane çapı daha büyük seçilir.

Çökelme

Çökelme filtre yatağından aşağı doğru geçirilen ham su içersindeki kirleticilerin filtre dolgu malzemesini oluşturan taneciklerin yüzeyinde çökelmesi olarak tanımlanır. Filtrasyon sırasında çökelen malzemeler, gözenek hacmini azaltır, suyun geçtiği kesit daraldığından su hızı artar, filtre yatağındaki malzeme artan su hızı ile aşağıya taşınır, filtre yatağı kalınlığı sınırlı olduğundan çıkış suyu kalitesi bozulur. Bu durumda filtreyi temizlemek maksadıyla kum filtrelerinde geri yıkama gerçekleştirilir. Meydana gelen durum bilindiği üzere basit bir çökelme tankında gerçekleşen çökelmeye çok benzemektedir. Bu iki olay arasındaki fark ise; bir keltim tankında çökelen maddenin birikiminin tabanda olmasıdır. Filtre ortamında ise çökelme tanecik yüzeylerinde olmakta ve tüm taneciklerin toplam yüzey alanı çökelmenin gerçekleşeceği yüzeyi oluşturmaktadır. Filtrasyon da toplam yüzey alanı şu şekilde belirlenir. Yatağın porozitesi ϵ ile dane çapı d ile gösterildiğinde 1 m³ hacimdeki küre şeklindeki kum malzemesinin toplam yüzey alanı;

$$\frac{6}{d}(1 - \epsilon) , \text{ m}^2 \text{ olarak hesaplanabilir.} \quad (2.7)$$

Yüzeyde Tutma (Adsorpsiyon)

Su ortamında bulunan askıdaki katı maddelerin, koloidal maddeler ve moleküller düzeyde çözünmüş maddelerin, uzaklaştırılmasında en etkin mekanizma adsorpsiyondur.

Adsorpsiyon ile yüzeyde tutulmak istenen parçacıkların önce filtre ortamında bulunan dolgu malzemesini oluşturan taneciklerin yakınına getirilmesi gerekir. Adsorpsiyon kuvvetleri en fazla 0,1 mikrometre gibi çok kısa mesafeler için tesirli olmaktadır. Hâlbuki kum taneciklerini saran film tabakasının kalınlığı bu mesafeden çok daha büyüktür.

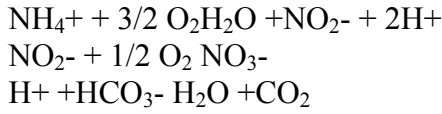
Bu husus dikkate alınırsa adsorpsiyonun, daneciklerin tutulmasında bir rolü olmayacağı anlaşılır. Ancak durum farklıdır. Adsorpsiyon işlemine yardım eden, taşınma mekanizmaları ile suda bulunan parçacıklar filtre malzemesini teşkil eden kum danesine doğru yaklaştırılır. Böylece mesafe azaldığından parçacıklar tutulur.

Kimyasal Reaksiyon

Filtrasyon işlemi sırasında bazı reaksiyonlar cereyan eder. Böylece çözünmüş haldeki kirletici maddeler ayrışır, daha az zararlı maddeler haline dönüşür veya çözünmeyen maddelere dönüşerek çökelme ve adsorpsiyon ile sudan uzaklaşır. Suda oksijen mevcut ise organik maddeler aerobik olarak ayrışır. Reaksiyon basit olarak, $C_5H_7O_2N + 5O_2 \rightarrow H_2O + 4CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$ şeklinde yazılabilir.

Burada görüleceği üzere 1 gr organik madde ayrışırken 1.4 gr oksijen sarf eder, 0.16 gr amonyum ortaya çıkar.

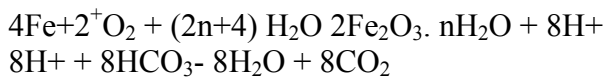
Amonyum da bakterilerin yardımıyla okside olur;



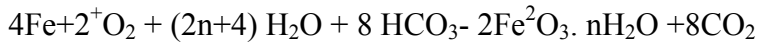
Reaksiyonlar topluca yazılırsa;



Diğer bir reaksiyon, demirin okside olmasıdır.

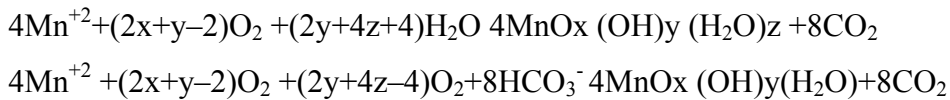


veya



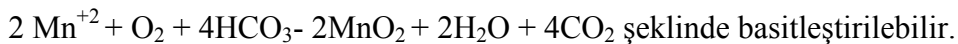
Bu reaksiyonlardan 1 gr demirin okside olması için 0.14 gr oksijene ihtiyaç olduğu görülebilir.

Manganın oksidasyonu için de benzer denklemler yazılabilir.



$(2x+y)$ 'nin mümkün olabilen en büyük değeri 4 veya $(2x+y-2)$ ise 2 'den büyük olmayacağından, 1 gr manganın oksidasyonu için 0.29 gr oksijenin lüzumlu olduğu bulunabilir.

Reaksiyon;



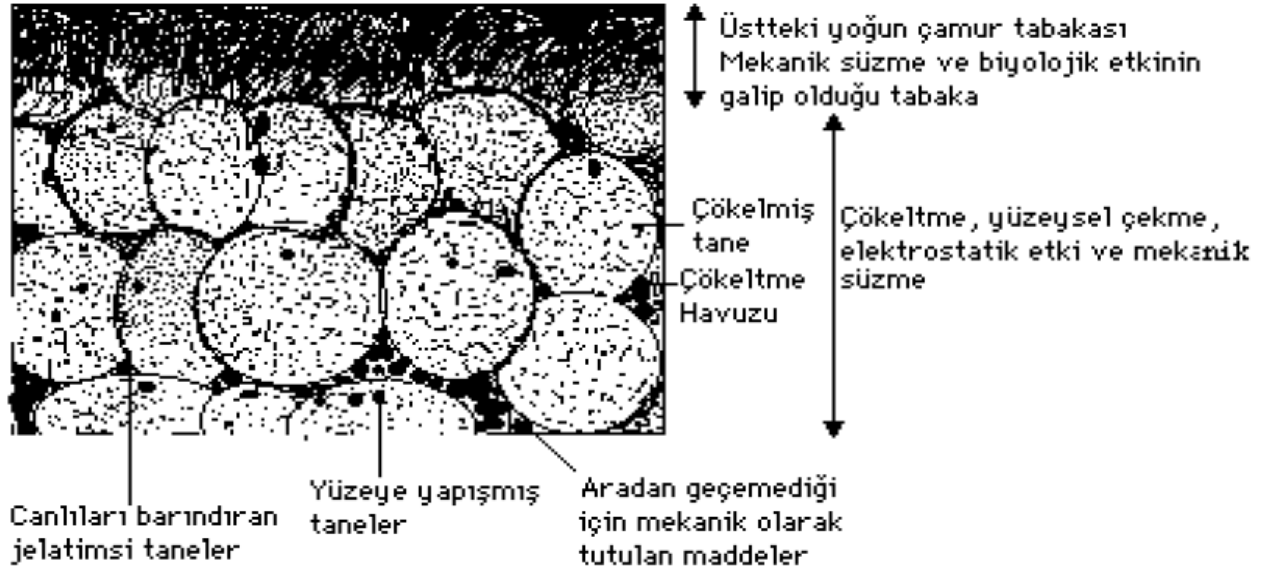
Biyolojik Faaliyet

Filtre ortamında yaşayan mikroorganizmaların faaliyeti sonucunda biyokimyasal reaksiyonlar oluşur. Arıtılacak suda olan veya ilave edilen mikroorganizmalar filtre ortamını oluşturan taneciklerin yüzeyinde tutulan organik veya inorganik maddeleri besin olarak kullanılırlar. Mikroorganizmalar enerji ihtiyaçları ve çoğalmaları için bu besin maddelerini tüketirler.

Bundan dolayı koloidal ve moleküler düzeyde çözünmüş kirleticiler mikroorganizmalar tarafından su ortamından uzaklaştırılır. Giriş suyu ile birlikte zararsız ve faydalı mikroorganizmaların yanında E. Coli ve patojen mikroorganizmalar da gelmektedir. Bu mikroorganizmalar çökelme, adsorpsiyon ve süzme mekanizmaları ile giderilmektedir.

Filtre ortamında tutulamayan mikroorganizmalar direkt olarak filtre çıkış suyu ile birlikte ortamı terk edebilirler. Bunun nedeni suyun filtre ortamında kalış süresidir. Patojen mikroorganizmalar ile e.coli bakteriler açısından filtre ortamı yaşam gereksinimleri için pek uygun değildir. Filtre ortamında tutunamayabilirler. Böylece kısa sürede çıkış suyuna karışabilirler. Suyun filtrede kalış süresi kısa ise bu tür mikroorganizmaların giderilmesi pek mümkün değildir.

Hızlı kum filtrelerinde bekleme süresi yavaş kum filtrelerine oranla daha kısa olduğundan bu tür mikroorganizmaların giderim verimleri düşüktür. Bundan dolayı hızlı kum filtrelerinden önce yumaklaştırma, sonrası için de yavaş kum filtresi veya klorlama ünitesinin konulması gereklidir [Uslu,1984]. Şekil 2.4 ' de filtrelerde rol oynayan mekanizmalar topluca görülmektedir.



Şekil 2.4. Suyun Kum Filtrelerinden Süzülmesini Sağlayan Unsurların Genel ve Şematik Görünüşü

2.3.4. Hız Gradyanı

Hızlı ve yavaş karıştırma ünitelerinde mekanik karıştırıcılar kullanılmaktadır. Mekanik karıştırıcılar için gerekli olan güç aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır. [Metcalf & Eddy,1991].

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu * V}} \quad (2.8.)$$

Bu bağıntıda:

- G : Ortalama hız gradyanı,(sn⁻¹)
P : Güç ihtiyacını,(watt)
μ : Dinamik vizkoziteyi,(N.sn/m²)
V : Tank hacmini,(m³) göstermektedir.

Yukarıdaki denklemde de görüldüğü gibi G (güç), sıvının viskozitesine ve havuz hacmine bağlıdır. Denklemin her iki tarafı teorik bekleme süresi ile çarpılırsa ($\theta_d = Q/V$),

$$G * Qd = \frac{V}{Q} \sqrt{\frac{P}{\mu * V}} = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{PV}{\mu}} \quad (2.9.)$$

Bağıntısı elde edilir.

Bu bağıntıda;

θ_d : Teorik bekleme süresini,(sn)

Q : Debiyi,(m³/sn) göstermektedir.

Tablo 2.2. Hızlı karıştırma için bekletme müddeti ve hız gradyanı

Bekleme müddeti, sn	20	30	40	>40
Hız gradyanı,G.sn ⁻¹	1000	900	790	700

3. FİZİKOKİMYASAL ARITMA

3.1. Pıhtılaştırma (Koagülasyon) ve Yumaklaştırma (Flokülasyon)

Sudaki organik maddelerin varlığı, su kalitesini etkileyen en önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Sularda bulunan organik maddeler birçok durumlarda istenmeyen problemlere sebep olmaktadır. Bu problemlerden bazıları şunlardır;

- I. Doğal organik maddeler sularda tat, koku ve renk problemlerine yol açmaktadır,
- II. Dezenfeksiyon amacıyla suya verilen klorun suda bulunan organik maddelerle reaksiyonu sonucu insan sağlığına zararlı halojenli organik bileşikler oluşturmaktadır,
- III. Bazı organik maddelerin toksik ve kanserojen olduğu ve düşük konsantrasyon da insan sağlığı için zararlı olduğu bilinmektedir ve
- IV. Arıtılmış sularda bulunan organik maddeler dağıtma sistemlerinde ayrışarak mikrobiyolojik kalite problemlerine yol açmaktadır.

Doğal sularda bulunan organik maddeler üç ana kaynaktan meydana gelmektedir. Bunlar;

- i. Su ortamında doğal olarak oluşan organik maddeler,
- ii. Suların arıtılması, dezenfeksiyonu ve iletimi esnasında ortaya çıkan organik maddeler ve
- iii. Su kaynaklarının endüstriyel ve tarım faaliyetleriyle kirlenmesi sonucu ortaya çıkan kirleticilerdir.

Gerek yüzeysel sularda gerekse yeraltı sularında çözünmüş ve çözünmemiş birçok yabancı madde mevcuttur. Öte yandan suların hemen hepsinde çok küçük

parçacıklar halinde çeşitli katı maddeler de bulunur. Bunlar teknik bakımdan gerekli olan süreler içinde sedimantasyon veya diğer metotlarla elimine edilemezler.

Bu nedenle suda bulunan, süzülmesi zor (veya imkânsız) süspansiyon ve koloitlerin çöktürülerek uzaklaşmaları için gerekli en uygun şartların laboratuarda araştırılması ve böylece suyun kalitesinin renk, bulanıklık ve sertlik açısından iyileştirilmesi gerekir.

Yumaklaştırma ve Pıhtılaştırma, askıdaki katı maddelerin tümünün yumaklar haline getirilmesi anlamına gelmektedir. Daha sonra oluşan bu yumaklar çökelme ile sudan uzaklaştırılır. Bazen pıhtılaştırma ve yumaklaştırma terimleri yanlış olarak aynı anlamda kullanılırlar.

Pıhtılaştırma: Koloidal haldeki ve askıdaki maddelerin bazı kimyasal maddeler ilavesi ile bir araya getirilmesi işlemidir. Bu işlem, koloidal taneciklerin etrafındaki elektriksel çift tabakanın bastırılması ile kararsız tanecik elde edilmesidir. Pıhtılaştırma işlemi hem taşınım hem de kararsız tanecik eldesi adımlarını içerir.

Yumaklaştırma: Pıhtılaşmış taneciklerin yumaklar haline gelerek büyümesi, gözle görünür ve çökebilir hale getirilmesi işlemidir. Yumaklaştırma işleminde polielektrolitlerin ilavesi ile büyük organik polimerlerin adsorpsiyonu ve tanecik-polimer-tanecik köprüleri oluşumu da gerçekleşmektedir. Sonuçta yumaklaştırma işlemi, kararsız koloitlerin bir araya gelmek üzere taşınım adımını içerir.

Pıhtılaştırmanın en çok bilinen tipleri, elektrostatik pıhtılaştırma, adsorptif pıhtılaştırma, köprülü pıhtılaştırma, ortak pıhtılaştırma ve sürüklemeli pıhtılaştırma olmak üzere beş çeşittir [Şengül,1985].

Atık su arıtma işlemlerinin çoğunda, destabilizasyon polimerlerle başarılıdır. Bu polimerin işleme dışarıdan ilave edilebilir veya işlem sırasında üretilir.

Koloidal parçacıkların polimerlerle flokulasyonu ise , (1) koloit üzerinde polimerin adsorpsiyonu (2) dağılmış koloidal parçacıkların arasında köprüler oluşturmak için polielektrolit segmentlerinin çapraz bağlanması ve (3) serbest üç boyutlu yapının oluşumu yoluyla gerçekleşir.

Polimer-katı adsorpsiyon sisteminin davranışının, aşağıdaki eşitlikle ile gösterilen Langmuir adsorpsiyon izotermiyle açıklanabileceği deneysel olarak bulunmuştur.

$$\frac{-dn}{dt} = kn_0^2 \theta (1 - \theta) \quad (3.1)$$

Burada θ , koloidal parçacık yüzeyinin polimer adsorpsiyonuna uğramış kısmının toplam parçacık yüzeyine oranıdır. P, çözeltideki polimerin denge konsantrasyonu ve b, parçacık ve polimerin özelliklerine bağlı adsorpsiyon katsayısıdır. P, aşağıda verilen eşitlikle polimerin başlangıç konsantrasyonu olan P_0 ile ilgilidir.

$$P = P_0 - kw \theta \quad (3.2)$$

Burada, k, katının spesifik yüzey alanına ve birim alandaki adsorpsiyon kısımlarının sayısına bağlı olan bir sabit ve w, sıvının katı içeriğidir. Yukarıda iki eşitlik birleştirildiği zaman şu eşitlik elde edilir.

$$\theta = \frac{b(P_0 - k_w \theta)}{1 + b(P_0 - k_w \theta)} \quad (3.3)$$

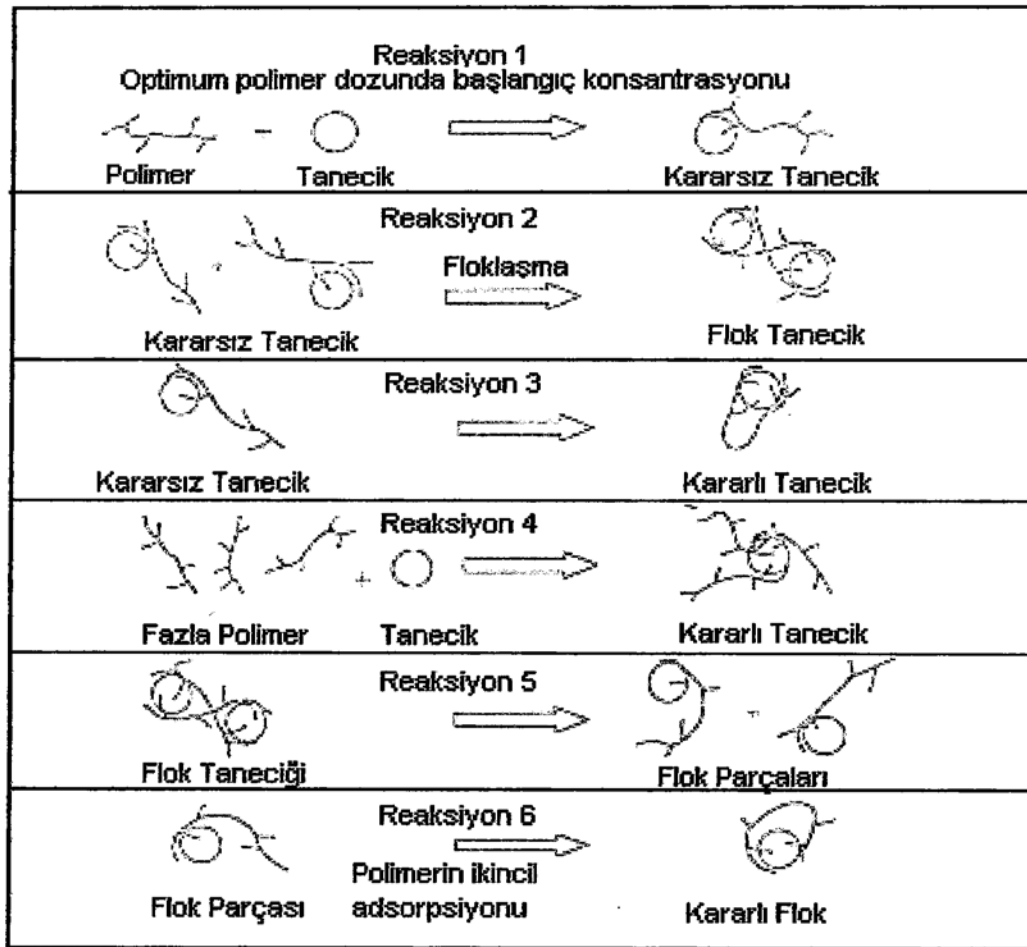
Pıhtılaştırma teorileri, katı parçacıklara bağlanan polimer moleküllerinin, diğer partiküllerin kalan serbest yüzeyine adsorbe olabilecek serbest aktif merkezlere sahip olduğunu kabul eder. Bu işlem, katı parçacıklar arasında köprü kurulması ve böylece üç boyutlu yapıya sahip büyük flokların oluşumuyla sonuçlanır. Bimoleküler bir işlem olan köprü kurma mekanizmasının hızı, flokulant taşıyan parçacıkların, $n_0 \theta$, ve flokulant adsorblayabilir serbest yüzeyli parçacıkların, $n_0(1 - \theta)$, konsantrasyonuna bağlıdır. Bu nedenle flok oluşumunun hızı, aşağıdaki eşitlik ile verilebilir.

$$\frac{-dn}{dt} = kn_0^2 \theta(1 - \theta) \quad (3.4)$$

Burada n_0 , birim hacimdeki katı parçacıkların sayısıdır.

Floklar, kendi hacmi ile doğru orantılı ve yüzey alanı ve köprü kurma faktörüyle $(\theta(1 - \theta))$ ters orantılı bir hızda parçalanır.

Şekil 3.1, polimer yardımcısı ile koloitlerin koagülasyonun da yer alan reaksiyonları göstermektedir. Bir polimer, bir koloitlerin koagülasyonunda yer alan reaksiyonları göstermektedir. Bir polimer, bir koloidal parçacık ile temas ettiğinde, bu gruplardan bazısı parçacık yüzeyine adsorbe olur, çözeltiye yayılan molekülün geri kalanı serbesttir(reaksiyon 1). Eğer bazı boş adsorbsiyon kısımları olan ikinci bir parçacık bu yayılmış kısımlara temas ederse, bağlanma olabilir (reaksiyon 2). Bu nedenle içerisinde polimerin bir köprü gibi görev yaptığı, parçacık-polimer-parçacık kompleksi oluşur. Eğer ikinci bir parçacık ortamda mevcut değilse, bu durumda yayılmış kısımlar orijinal parçacıktaki diğer kısma adsorbe olur ve bu yüzden bir kez daha köprü görevi yapma olanağı ortadan kalkar (reaksiyon3) [Peavy ve ark,1985].



Şekil 3.1. Koloitlerin polimerler ile reaksiyonlarının şematik gösterimi

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler alüminyum sülfat, sodyum alüminat, ferri klorür, ferri sülfat, sönmemiş kireç, sönmüş kireç gibi inorganik pıhtılaştırma maddeler ve organik pıhtılaştırıcı ve yumaklaştırıcılar(polielektrolitler) olmak üzere ikiye ayrılırlar.

3.2. Yumaklaştırıcı Yardımcıları

Yumaklaştırma işlemini hızlandırmak, daha büyük yumak elde etmek, kullanılan Al ve Fe gibi yumaklaştırıcıların konsantrasyonunu azaltmak ve suda organik

maddelerden ileri gelen rengi gidermek için yumaklaştırıcı yardımcıları kullanılır. Oluşan yumaklar zayıf olduğu zaman, yardımcı kullanmak faydalıdır. Bunlar;

- Kil
- Kalsit
- Polielektrolitler
- Aktif silika
- Alkali ve Asitler

Polielektrolitler içme suyu arıtımında kullanılan en yaygın pıhtılaştırma yardımcılarıdır. Avantajları; daha büyük, dayanıklı ve kolay çökelir flok oluşturmaları, çamur debisinde ve yumaklaştırıcı madde dozunda azalma sağlamaları şeklinde özetlenebilir. Polielektrolit ile oluşturulmuş dayanıklı floklar filtre yatağındaki yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilirler.

Alüm ile birlikte yardımcı madde olarak polimer kullanılması etkili bir pıhtılaştırma metodudur. Uygun polimer seçiminde molekül ağırlığı, yük yoğunluğu, monomer kimyasal yapısı ve çözeltisi halinde polimer konsantrasyonu önemlidir.

3.3. Fizikokimyasal Arıtmada Kullanılan Polielektrolitler (Yumaklaştırıcılar) ve Özellikleri

Polielektrolitler, çok sayıda iyonlaşabilen gruplara sahip polimerlerdir ve orijin olarak doğal olabildikleri gibi, sentetik de olabilirler. Polielektrolitler, (1) iyonik özelliklerine ve (2) destekleyici iskeletin yapısına göre genel olarak iki ana grup da sınıflandırılırlar.

3.3.1. İyonik Özelliklerine Göre Polielektrolitler

Polielektrolitler, bağlı iyonların yapısına, spesifik olarak iyonun türüne, yapısındaki iyon pozisyonunda ve belli bir polimer zincirinin uzunluğu boyunca bulunan miktara ve zıt iyonun yapısına göre sınıflandırılır.

3.3.1.1. Bağlı İyonların Yapısına Göre Sınıflandırma

İyonlarının sadece negatif yük, pozitif yük veya her iki yükü de taşımasına göre polimerler anyonik, katyonik veya noniyonik olarak üç grupta sınıflandırılırlar. Bazı önemli sentetik polielektrolitler aşağıda örnek olarak verilmiştir [Booth ve ark, 1989].

<u>Adı</u>	<u>Tekrar Eden Ünite</u>	<u>Tipi</u>
Poli(akrilik asit)	$\left(-\text{CH}_2 - \underset{\text{COO}^-}{\underset{ }{\text{CH}}} - \right)_n$	Anyonik
Poli(vinil amin)	$\left(-\text{CH}_2 - \underset{\text{NH}_3^+}{\underset{ }{\text{CH}}} - \right)_n$	Katyonik
Poli(etilen oksit)	$\left(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O}- \right)_n$	Noniyonik

3.3.2. Destekleyici İskelet Yapısına Göre Polielektrolitler

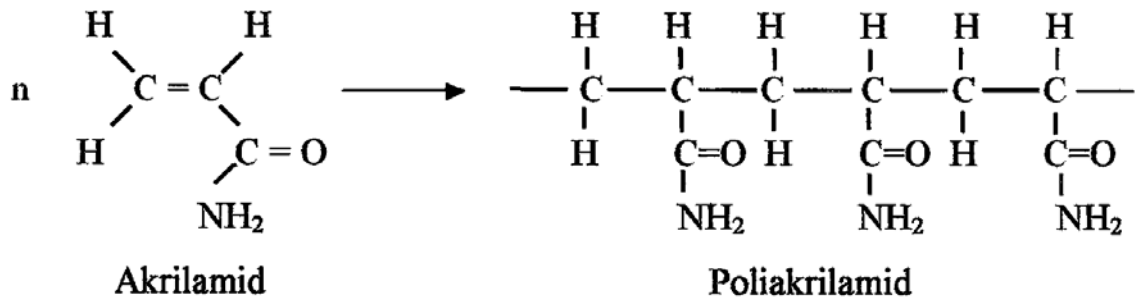
Destekleyici iskeletin yapısına göre sınıflandırma, polielektrolitin molekül ağırlığına ve onu oluşturan temel monomer yapısına göre yapılır.

3.3.2.1. Kendilerini Oluşturan Esas Yapılarına Göre Polielektrolitler

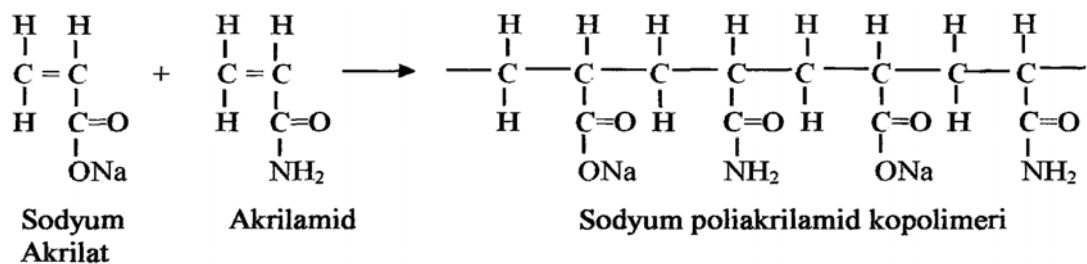
Polielektrolitler kendilerini oluşturan esas yapılarına bağlı olarak poliakrilamid, kuatern amonyum ve poliamin esaslı polielektrolitler olmak üzere üç temel gruba ayrılabilirler.

3.3.2.1.1. Poliakrilamid Esaslı Polielektrolitler

Sentetik polimerlerin yarısından fazlası poliakrilamid esaslıdır.



Küçük derişimler de moleküller kendi kendilerini uzatarak lif benzeri yapılar oluştururlar. Ortalama molekül ağırlığı 6 milyon olan tek bir molekül yaklaşık olarak 85000 akrilamid temel birimi içerir ve suda çözünür. Akrilamid esaslı polielektrolitlerin %44'ü anyonik olup büyük bir kısmını sodyum akrilat ve akrilamid kopolimerleri oluşturur. Bu kopolimer poliakrilamidin kısmını hidrolizleşmesi veya iki monomerin direkt kopolimerizasyonu ile üretilir.



Polielektrolitlerin hidrolizleşme derecesi de yük yoğunluğunu gösterir. Molekülleri çözünü yapan amid (karbonil-amin) gruplarını ($-\text{CONH}_2$) içeren saf poliakrilamid sulu çözeltide elektrikçe nötrdür. Bu nedenle böyle bir flokülant (yumaklaştırıcı) noniyonik olarak tanımlanır. Bunun, bulanık bir sıvıdaki katı parçacıkları flokleştirme yeteneği, amin grubundaki azotun ikincil değerliğine bağlıdır. Diğer bir deyişle, karboksil grubunun sodyum tuzu ($-\text{COONa}$) suda ayrışır ve karboksil grubundaki oksijenin negatif yüklü polar ucu kalır. Bu nedenle elektrokimyasal olarak flokülantın anyonik anlamında negatif gruba sahip olduğu söylenebilir. Katyonik polielektrolitler poliakrilamid esaslı polielektrolitlerin %49'unu oluşturur ve akrilamidin, amin veya kuarternar amin içeren monomerlerle kopolimerizasyonu sonucunda oluşurlar. Öte yandan poliakrilamid ile formaldehit ve dimetilaminin Mannich reaksiyonu sonucunda da katyonik polielektrolitler elde edilmektedir. Yüksek ve çok yüksek molekül ağırlıklı polielektrolitlerin hepsi, esas monomeri bir akrilamid olan kopolimerlerdir [Titiz,1997], [Sayan,1995], [Gross ve ark, 1998].

3.3.2.1.2. Kuarternar Amonyum Esaslı Polielektrolitler

Sentetik polielektrolitlerin yaklaşık olarak %18'i daha önceden belirtildiği gibi katyonik akrilamid kopolimerlerini elde etmek için kullanılan kuaternize amonyum monomerlerinin homopolimerleridir. Bunlar %100 yük yoğunluğuna sahip orta veya düşük molekül ağırlıklı polielektrolitler'dir. Literatürde genellikle yumaklaştırıcı olarak belirtilmekte ve bu grubun en çok bilinen üyesi, PDADMAC (polidiallil dimetil amonyum klorür)'dür [Titiz,1997].

3.3.2.1.3. Poliamin Esaslı Polielektrolitler

Poliamin esaslı polielektrolitler düşük ve orta molekül ağırlıklı katyonik polielektrolitler olup epiklorhidrin veya etilen diklorür ile aminlerin reaksiyonundan elde edilirler. Bunlar genellikle yüksek molekül ağırlığına sahiptirler [Sayan,1995].

3.3.3. Polielektrolitlerin Çözeltideki Davranışları

Makro molekülün ve çevresinin iyonik yapısı hakkındaki bilgiler, onun sulu ortamda bir flokulant olarak nasıl etkiğini anlamak için gereklidir. Hatta çökecek katı parçacığın yüzeyindeki yükün ne olduğunu gözlemlemek için de gereklidir. Polielektrolitlerin çözeltideki davranışları, hidratlaşma zincir genişlemesi ve poliiyon-küçük iyon etkileşimleri başlıkları altında incelenebilir.

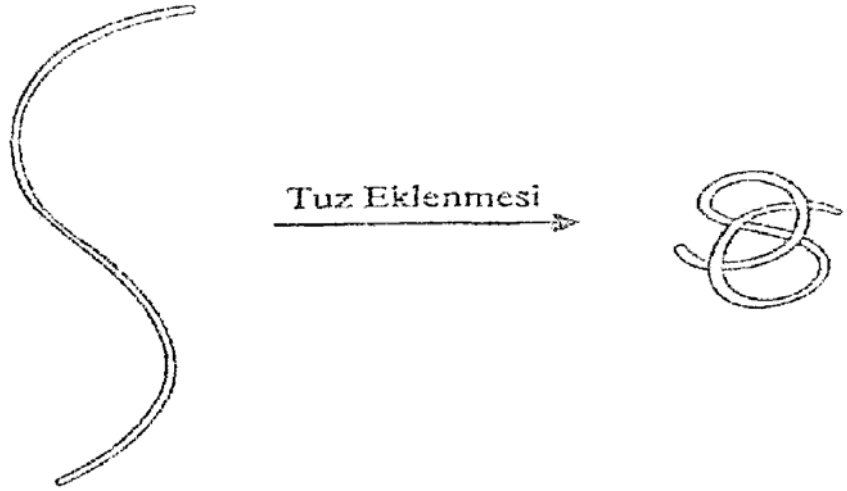
3.3.3.1. Polielektrolitlerin Hidratasyonu

Polielektrolitler genelde suda çözünürler. Bazı polielektrolitler sudan başka çözücülerde de çözünebilir ve polielektrolit etkileri örneğin dimetil formadin gibi polar organik çözücülerde de görülebilir. Eğer iyonlaşma olmaz ise polielektrolit esas olarak iyonik olmayan bir polimer gibi davranır. Su molekülü negatif ve pozitif uçlara sahip polar moleküllerdir. Su molekülleri ile flokulant moleküllerinin etkileşimleri esnasında su negatif oksijeni ile pozitif yüklü iyonlara (katyonlara) ve pozitif yüklü her iki hidrojeni ile de negatif yüklü iyonlara (anyonlara) bağlanır. Bundan başka su moleküllerinin kendi kendilerine doğru kuvvetli eğilimleri vardır. Bir molekülün oksijeni komşu molekülün hidrojenine bağlanır. Polielektrolitlerdeki elektrikçe yüklü gruplardan, anyonikler hidrojene ve katyonikler oksijene olmak üzere komşu su moleküllerine doğru çekilirler. Böylece çok fazla su molekülü iyonik grupların çevresinde toplanarak büyük bir “hidratlanmış küre” oluştururlar. Bu

kürenin dış tarafı aynı yüklü bir iyon zarfı ile sarılmıştır. Noniyonik amid grubunun etrafını sarmış olan hidratlanmış küre, amid grubunun hidrojen atomlarına su moleküllerindeki oksijenin hidrojen köprüleri oluşturarak bağlanmasıyla gerçekleşmiştir [Booth ve ark, 1989], [Gross ve ark, 1998].

3.3.3.2. Zincir Genişlemesi

Polimerdeki benzer yüklü grupların birbirini itme etkileri nedeniyle eşdeğer yapıdaki iyonik bir polimere göre daha çok genişlemiş şekilde bükülebilir ve esnek bir polielektrolit oluşumu gerçekleşir. Saf suda düşük konsantrasyonlarda polielektrolit hemen hemen çubuk gibi bir yapıda olabilir. Ancak polielektrolit çözeltisine tuz ilavesi edildiğinde polimerdeki yükler birbirinden korunur ve genişleme derecesi azalır.(Şekil 3.2) .



Şekil 3.2 Bir polielektrolit zincirinin genişleme derecesi üzerine tuz etkisinin gösterimi.

Bir polielektrolit zincirinin genişleme derecesi üzerine tuz çözeltisinin etkisi kimyasal yapıdaki değişme ile büyük ölçüde ilişkilidir. Örneğin; poliakrilik asit yük yoğunluğunun artışıyla düzgün olarak genişlemesine rağmen, polimetilakrilik asit

yük yoğunluğu artarken ani olarak aşırı genişlemiş bir yapıya dönüşür. Amfoterik yapıdaki polimerler ise amfoter polielektrolitler de yumaklaşmaya neden olurken, amfoterik polielektrolitler de genişleme devam edebilir [Booth ve ark, 1989].

3.3.3.3. Poliiyon-Küçük İyon Etkileşmeleri

Çözeltideki polielektrolit'in iyonlaşmasıyla oluşan zıt yüklü iyonlar düzenli olarak dağılmayıp bir iyonik atmosfer oluşturmak üzere poliiyon çevresinde kalma eğilimindedirler (Şekil 3.3). Çözeltiye basit bir tuz eklendiğinde iyonik atmosferin kalınlığı azalır. İlave edilen tuz çözeltisindeki küçük iyonların poliiyon'daki zıt yüklü uçlar ile etkileşerek onlara bağlamaları ile polielektrolitte nötralleşmiş bölgeler oluşur ve poliiyonun net iyon yükünde azalma meydana gelir. Bu yüzden poliiyo'nun çevresinde toplayabileceği iyon sayısının azalmasıyla iyon atmosferinin kalınlığı da azalmış olur. Poliiyon-küçük iyon etkileşmesi elektriksel iletkenlik ölçümü yardımı ile incelenebilir [Booth ve ark, 1989].



Şekil 3.3 İyonik atmosferin kalınlığı üzerine tuz etkisinin gösterimi

3.3.4 Polielektrolitler Uygulamaları ve Kullanıldıkları Yerler

Polielektrolitlerin uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir.

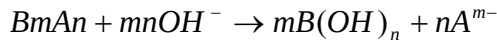
- 1- Polielektrolitler süspansiyonların ve sulu çözeltilerin akışkanlık özelliğini belirgin olarak değiştirirler. Bu özelliğinden faydalanılarak besin maddelerinin ve diğer ürünlerin kalınlaştırılması(koyulaştırılma), örneğin; meyve sularının yoğunlaştırılması amacıyla kullanılırlar.
- 2- Polielektrolitler nötral tanecikler ile etkileşirler. Bu nedenle çöktürmek ve yumaklaştırma amacıyla kullanılırlar.
- 3- Küçük iyonlarla etkileşirler. Bu nedenle suyun yumuşatılması işleminde kullanılırlar.
- 4- Zıt yüklenmiş makromoleküllerle etkileşirler. Bu özelliğinden faydalanarak seçici geçirgenlik özelliğine sahip membranlar'da kullanılırlar.

3.4. İçme Sularının Arıtımda Yumaklaştırma Yöntemi

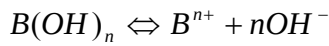
Doğal suların içerdiği askıda maddelerin çoğu koloidal yapıdadır. Bu renk ve bulanıklığa sebep olan maddeler için de geçerlidir. Koloidal maddeler negatif yüklüdür, bu yüzden yumaklaştırmada +3 değerlikli alüminyum ve demir kullanılır. Bu elementlerin genellikle sülfat ve klorür gibi bileşikleri suya eklendiğinde, sudaki alkalinite ile birleşerek metal hidroksitleri oluştururlar. Bu hidroksitler ise normal pH'lar da oldukça az çözünen ve çökebilen maddelerdir. Hidroksitlerin izoelektrik noktaları normal pH değerlerinde olup, çöktürer koloit agregalarını da birlikte çöktürler. Böylece sistemin uygun bir hızla karıştırılmasıyla irice askıda katı parçalar çöktürer parçacıklarıyla çarpışır, onlara yapışır veya oluşan doku içinde

yakalanır, büyüyen flokların bir parçası haline gelirler. İnce koloitlere gelince, bu mekanizma onlar için yeterli olmayıp, negatif yüzeysel yüklerin mutlaka pozitif yüklerle karşılanması ve böylece zeta potansiyellerinin (0)'a indirilmesi gerekir.

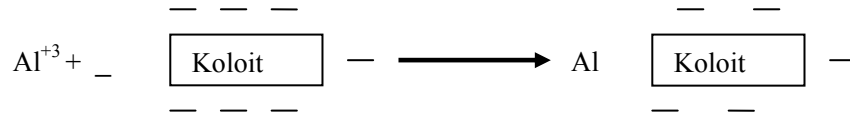
Oluşan metal hidroksit reaksiyonlarını aşağıdaki denklem ile ifade ederiz.



Koloitlerin zeta potansiyellerini giderebilmek için, metal hidroksitin az bir miktarda hidrolizi yeterlidir.



Bu hidroliz reaksiyonunun hızı düşük pH'larda daha fazladır. Böylece oluşan yüksek değerlikli kationlar koloitlerin çift tabakasına girerek zeta potansiyelini nötrlerler. Böylece elektriksel itme gücünü kaybeden koloit flok yüzeyine adsorblanır. Suların arıtılmasında en çok kullanılan yumaklaştırıcı alüminyum sülfattır $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$. Bu madde suya eklendiğinde, moleküller SO_4^{2-} 'ye, Al^{3+} 'e ve $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_3$ ve $Al(OH)_4^-$ gibi çeşitli alüminyum hidroliz komplekslerine ayrışır. Ortaya çıkan ürünlerden biri olan alüminyum hidroksit ($Al(OH)_3$) normal pH'larda oldukça az çözünen ve çökebilen bir maddedir ve çökelirken koloidal maddeleri de beraberinde çökeltir. Böylece sistemin uygun bir hızla karıştırılmasıyla irice askıda katı parçalar çökelti parçacıklarıyla çarpışır, onlara yapışır veya oluşan doku içinde yakalanır, büyüyen flokların bir parçası haline gelirler. İnce koloitlere gelince, bu mekanizma onlar için yeterli olmayıp, negatif yüzeysel yüklerin mutlaka pozitif yüklerle karşılanması ve böylece zeta potansiyellerinin (0)'a indirilmesi gerekir. Oluşan çeşitli pozitif türlerin koloidal parçacık üzerindeki yükü nötralize etmek üzere negatif yüklü ince koloitlerle birleşmesi sağlanarak zeta potansiyeli koloidal parçacıkların bir araya gelmesini sağlayacak değere indirilmiş olur.



Şekil 3.4 Koloidin flok yüzeyine adsorblanarak çökmesi

Böylece elektriksel itme gücünü kaybeden koloit flok yüzeyine adsoblanır ve flokla beraber çökeler.

Belirli bir yumaklaştırma maddesi için, örneğin alüminyum sülfat, suyun pH'ı hangi hidroliz türünün baskın olacağını belirlemede en önemli unsurdur; düşük pH değerlerinin pozitif yüklenmiş olanları tercih edeceği gibi genelde yüksek değerlikli kompleksler yumaklaştırmanın hızı ve derecesini arttırmada en etkili olanlardır. Ayrıca fosfat ve sülfat gibi bazı anyonlar da alüminyum iyonları ile kompleksler oluştururlar ve hem yumaklaştırmanın verimini hem de yumaklaştırmanın gerçekleştiği optimum pH aralığını değiştirirler.

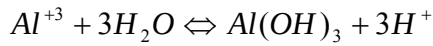
3.5. Alüminyum ve Demir III Klorür

Alum tüm dünyada kullanılan en yaygın yumaklaştırıcıdır. Alum suda çözündüğü zaman hidroliz olarak $\text{Al}(\text{OH})_3$ Alüminyum Hidroksite dönüşmektedir. Aynı zamanda sülfürik asit de oluştuğundan, alüminyumun yüksek dozları asidik ve koroziftir. Alüminyum hidroksit çökeltme aşamasında sudaki alkalinite ile reaksiyona girmektedir. Yüksek alum dozundan kaçınmak için, pH'ı 7'nin altına getirmek amacıyla sülfürik asit ilave edilebilir.

Al^{+3} ile yumaklaştırma da birçok türün nihai şekli $\text{Al}(\text{OH})_3$ çökeltisi şeklindedir. Koloidal maddeler $\text{Al}(\text{OH})_3$ floklarına adsorbe olarak çökeltmektedir. Organik maddeler $\text{Al}(\text{OH})_3$ üzerine adsorbe olarak veya Al ile kompleks oluşturmalarını

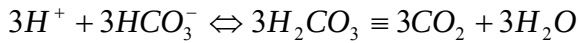
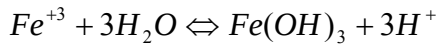
müteakip çökelme ile giderilmektedir. Negatif yüklü organik maddeler pozitif yüklü (Al) türleriyle güçlü elektrostatik kökenli kompleks reaksiyonları oluşturmaktadır. Negatif yük doyduğu zaman ise çökelme başlamaktadır.

Suya Al^{+3} ve Fe^{+3} gibi yumaklaştırıcılar ilave edilirse suyun pH değeri düşer (sodyum alüminat hariç). Yani yumaklaştırıcılar asidik özelliktedir. Kimyasal denklemler basit olarak;

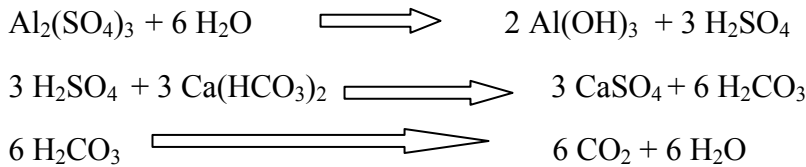


Şeklinde olup bu reaksiyonun yönünün sağ tarafa doğru olması için $pH > 4$ olmalıdır.

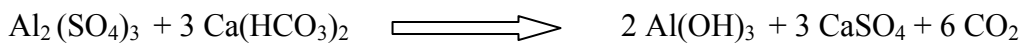
Fe^{+3} için denklem;



Alum $[Al_2(SO_4)_3.18H_2O]$ suya eklendiğinde verdiği reaksiyon ayrıntılı olarak yazılırsa;



veya kısaca toplamsal olarak yazılırsa;



Ticari Alum [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$] kullanıldığında 1 mg/l Alum = 0,5 mg/l CaCO_3 (Alkalinite) karşılık gelir ve 0,44 mg/l CO_2 oluşur. İyi bir yumaklaştırma ve çökme için suyun alkalinitesi'nin yeterli olması gerekir.

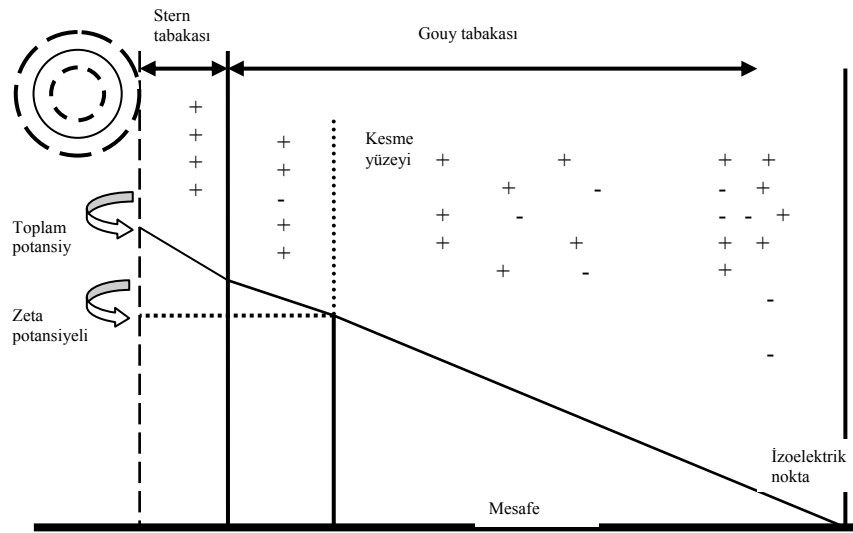
$\text{Al}(\text{OH})_3$ 'in çözünürlüğü pH'a bağlıdır. pH 5–7,5 Aralığı dışında alüminyum tuzları ile yumaklaştırma işlemi başarılı sonuçlar vermez. Bu durumda başka yumaklaştırıcılar kullanılabilir. Bunlar; Demir Sülfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (Copperas); Demir-III sülfat $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$; Demir-III Klorür FeCl_3 gibi maddelerdir.

Demir tuzları alum'dan daha ucuzdur. Fakat suda kalan miktarı özellikle çamaşırlarda lekelerle sebep olur. Düşük miktarlardaki konsantrasyonlar da koloidal maddelerin flok oluşturması zordur. Bu nedenle yardımcı yumaklaştırıcı maddeye gerek duyulur. Bunlar OH^- ve polielektrolit gibi uzun zincirli sentetik polimerlerdir. Flokların kolaylıkla bir araya toplanarak katılaşmasını sağlarlar. Yüzeyleri çok geniş ve süngerimsi yapıda olduğundan sudaki çözünmüş maddelerin çoğunu adsorplarlar. Böylece yüzey aktif etki sebebiyle yumaklaştırma, pıhtılaştırma ve sedimentasyondan sonra suyun bulanıklığında düşme olur.

Jar Testinde, arıtılacak su numunesine, belirli sıcaklık ve karıştırma şartlarında çeşitli cins ve konsantrasyonlarda kimyasal madde çözeltileri katılır. Her bir kimyasal katkı maddesi için Pıhtılaştırma - Yumaklaştırma olayının başlama anı, seyir durumu ve süresi kaydedilir. Çöktürme işlemlerinden sonra suyun durulan kısmından alınan numunelerde, pH, bulanıklık, renk ve gerekli görüldüğünde başka maddelerin tayini yapılarak işlemin verimliliği kontrol edilir. Böylece, verimli bir pıhtılaştırma-yumaklaştırma işlemi için en uygun kimyasal madde dozajı, pH, sıcaklık gibi faktörler araştırılır.

3.6. Koloitlerin Özellikleri

Yumaklaştırmanın verimli ve tesirli bir şekilde tatbik edilebilmesi bakımından koloitlerin özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Koloitler bulundukları sıvı ortam içerisinde daima bir elektrik yüküne sahiptirler. İçme suyu tasfiyesindeki karşılaşılan koloitler genellikle negatif yüklüdür. Koloit danecikler, bulundukları sıvı içerisinde daima bir elektrik yüküne sahip olduklarından daneciğin taşıdığı elektrik yüküne zıt iyonlar, danecik çevresinde birikerek sabit bir tabaka meydana getirirler. İkinci tabaka danecik kenarından su içine doğru yayıldığından bu tabakaya “difüz tabakası” denilir.



Şekil 3.5. Koloit üzerinde çift tabaka

Şekil’de 3.5 de görüldüğü gibi daneciğin yükü fazla ise etrafına çok miktarda zıt işaretli iyon çeker. Böylece danecik zıt işaretli iyonlarla kaplanmış olur. Bu ilk ve yoğun zıt iyonlar sabit tabaka veya Stern tabakası denilmektedir. Stern tabakasının dışında yine aynı işaretli iyonların teşkil ettiği bir tabaka daha bulunur. Bu tabakaya Gouy Chapman tabakası veya dağınık tabaka denir. Bu iki tabaka birlikte çift tabakayı oluşturur. Çift tabakada esas itibariyle koloidin yüküne zıt iyonlar

bulunmakla birlikte aynı işaretli iyonlarda bulunur. Ancak iyonların sayıları danecik yüzeyinden uzaklaştıkça azalır. Belli bir mesafede + ve – yüklü iyonların sayıları eşit olup, bu noktaya izoelektrik nokta denilmektedir. Bu noktada potansiyel sıfırdır. Buradan danecik yüzeyine gidildikçe anyon ve katyonlar arasındaki konsantrasyon farkı arttığından elektrostatik potansiyel de artar. Kesme yüzeyi içindeki sıvı tabakası sanki taneciğe yapışmış gibi onunla birlikte hareket eder. Bununla beraber kesme yüzeyinin dışındaki kısım danecikten bağımsızdır.

Tablo 3.1. Suda bulunan parçacıkların boyutları ve çökebilirlikleri

Parçacık Büyüklüğü (μm)	Örnek Malzeme	Çökme Hızı (m/saat)
1000	İnce kum vb.	$6 * 10^2$
100	Süspansiyon	$2 * 10^1$
10	Kaba koloit/yosun	$3 * 10^{-1}$
1	İnce koloit/kil/bakteri	$3 * 10^{-3}$
0.1	Virüs/hümik maddeler	$1 * 10^{-5}$
0.01	İyonlar/moleküller	$2 * 10^{-7}$

3.6.1. Koloitin Denge Durumu

Koloidin yapısını uzun süre koruması onun dengeli olduğunu gösterir. Bu denge hali koloitlerin çöktürülebilirliği açısından kötü bir durumdur. Dengeli bir koloide parçacığa etki eden elektrostatik ve itme kuvvetleri dengededir. Çekme kuvvetleri, moleküller arası (moleküler dipol kuvvetleri) Van der Waals kuvvetleri şeklindedir. İtme kuvvetleri ise hidrofobik bir sistemde zeta potansiyelinden kaynaklanır. Hidrofilik bir sistemde ise koloitler arası itme kuvvetleri sadece zeta

potansiyelinden değil, parçacığı çevreleyen bağlı su kütlesinden de etkilenir. Bağlı su, elektrikli bir yalıtkan gibi davranarak parçacıkların birleşmesini zorlaştırır.

Koloit parçacıkların zeta potansiyeli, sistemin pH'sını izoelektrik noktaya doğru ayarlamak suretiyle azaltılabilir. İzoelektrik noktada birincil yük sıfırdır ve zeta potansiyeli oluşturmak üzere çift tabaka mevcut değildir.

Zeta potansiyelini düşürmenin diğer bir yolu da koloitler üzerine ters yönde yüklü iyon veya koloitler eklemektir. Böylece kesme düzlemindeki yük (zeta potansiyeli) düşer. Koloitlerle "karşılıklı yumaklaşma"; iyonlarla ise sabit veya seyrek tabakadan bu ters yüklü iyonların konsantre olması suretiyle yumaklaşma olur. İyonlarla olan yumaklaşmada eklenen iyonun değeri önemlidir. İki değerlikli iyonlar tek değerlikliden 50 misli, 3 değerlikli iyonlar ise tek değerliklilerden 1000 misli daha fazla etkili yumaklaştırıcılardır.

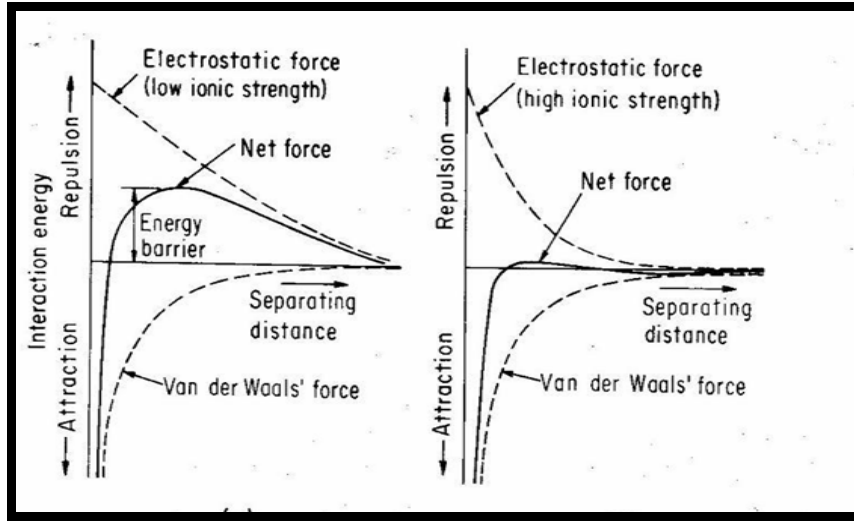
Tablo 3.2. Elektrolitlerin yumaklaştırma yetenekleri

ELEKTROLİT	Reaktif yumaklaştırma yeteneği	
	Pozitif koloitler	Negatif Koloitler
NaCl	1	1
Na ₂ SO ₄	30	1
Na ₃ PO ₄	1000	1
BaCl ₂	1	30
MgSO ₄	30	30
AlCl ₃	1	1000
Al ₂ (SO ₄) ₃	30	>1000
FeCl ₃	1	1000
Fe ₂ (SO ₄) ₃	30	>1000

Hidrofobik bir koloitlerin dengesini bozmak için ise, sadece Zeta potansiyellerini düşürmek yetmez, bağlı suyu da uzaklaştırmak gerekir. Bu amaçla suya yoğun tuz konsantrasyonu eklenir.

Bu tuzların en etkileri önem sırasına göre SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , I^- anyonları içerenlerdir. Suyu çok duyarlı olan anyonlar, koloitlerdeki bağlı suyu ayırıp alırlar.

Koloitleri birbirine doğru çeken Van der Waals kuvveti, aradaki mesafe arttıkça hızla azalır. Aksine mesafe azaldıkça Van der Waals kuvvetleri güçlenmekle birlikte, aynı işaretli elektrik yüklerinin birbirini itme kuvveti önem kazanır. Bu etkilerin net bileşkesi koloidin iyon şiddetine bağlıdır.



Şekil 3.6. (a) (b) İyonik şiddetin ve koloitlerin arasındaki uzaklığın taneciklerin arasındaki etkileşme etkisi.

3.7. Zeta Potansiyeli

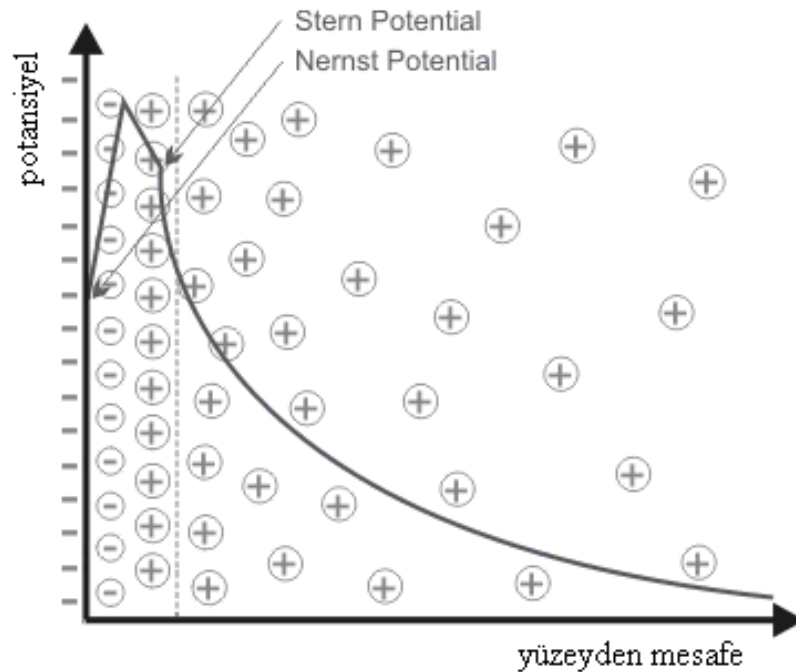
Koloit parçacıklar genellikle davranışlarını etkileyen elektrik yüklere sahiptirler. Parçacık yüzeylerinde bulunan yükler, bir elektriksel alan oluştururlar. Bu yükler birincil yük olarak tanımlanırlar ve iki nedenle oluşurlar.

1) Parçacık yapısını oluşturan moleküllerin uç kısımlarındaki reaktif grupların iyonik açıdan aktifleşmesi,

2) Su içinde dağılık halde bulunan bazı iyonların, adsorbsiyonu ile koloit üzerine yapışması.

Koloitlerin zeta potansiyeli oldukça önemli bir parametredir. Koloitlerin bir diğer özelliği koloitlerin su içinde tesadüfî bir şekilde hareket etmeleridir. Bu hareket “brownian hareket” olarak adlandırılır.

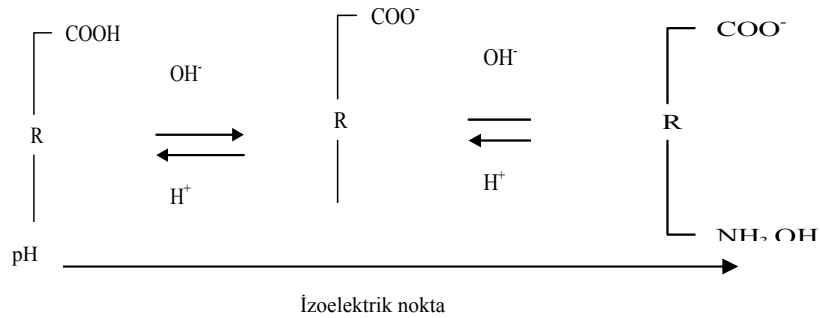
İki koloit bir arada düşünülürse, her iki koloit aynı elektrik yükü ile yüklü olduğundan birbirini itmek isterler. Çekme kuvvetleri ise Van der Waal kuvvetleri ile Brownian hareketlerden doğan kinetik enerjiden dolayı ortaya çıkar. Sisteme, elektrostatik itme kuvvetlerini azaltacak şekilde yumaklaştırıcı ilave edilirse, elektrostatik itme kuvvetleri azalır ve Van der Walls çekme kuvvetleri artar.



Şekil 3.7. Koloidal tanecik yüzeyinde oluşan potansiyellerin gösterimi

Stern tabakasına yakın bölgelerde yoğun olarak bulunan (+) yükler, parçacıklar birlikte hareket ederek kesme yüzeyini oluştururlar. Parçacıklar, kesme yüzeyine kadar olan (+) yükleri birlikte sürükleyerek çökerler. Kesme yüzeyinde meydana gelen potansiyele zeta potansiyeli denilmektedir [Eroğlu,1991]. Bu potansiyel koloit süspansiyonun kararlılığı ile ilgili bir potansiyeldir.

Hidrofilik koloit parçacıklar üzerindeki birincil yükler $-\text{COOH}$ ve NH_2 gibi polar grupların ayrışması ile olur. Örneğin protein molekülleri ve onların ayrışması ürünleri, molekülün zıt uçlarında karboksilik asit ve amino gruplarını içerir. Suda amino grupları, hidrolize olur ve bir veya iki grup sistemin pH'sına bağlı olarak ayrışır. Merkezi moleküler yapı R sembolü ile ifade edilerek, ayrışma aşağıdaki bağıntıya göre olur.



Belirli bir pH değerinde (izoelektrik nokta) her iki grup ta iyonize olur. Molekül üzerindeki net yük sıfır olur. Bu nötral durumdaki molekül “Zwitter iyonu” olarak bilinir.

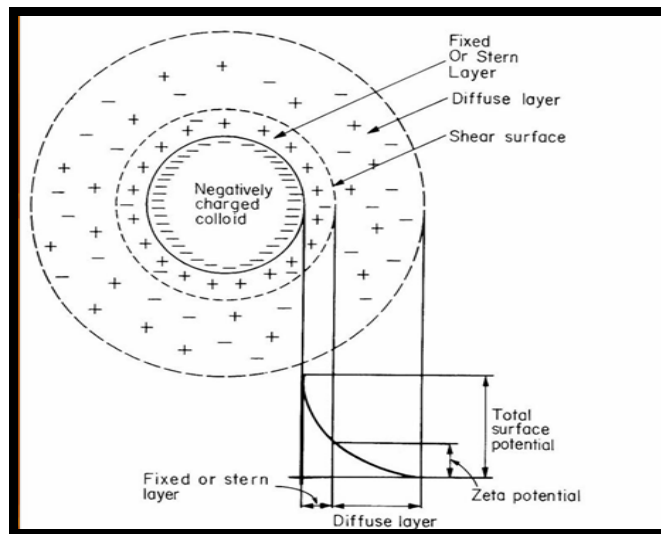
pH'daki izoelektrik noktadan itibaren, hidrata amino gruplarının iyonizasyon'unu bastırır ve negatif yüke neden olur. pH da izoelektrik noktadan itibaren olan azalmalar ise, karboksilik grubun iyonizasyon'unu bastırır ve neticede moleküllerin

pozitif yüklenmesine neden olur. Aynı ilişkiler, koloidal parçacığın yüzeyinde bulunan polar gruplar arasında mevcuttur.

Hidrofobik koloit parçacıkları üzerindeki birincil yükler ortamdan iyonların tercihli adsorbsiyonu sonucu olur. Hidrofobik parçacıklar üzerindeki yük pH değişimi ile değişeceğinden, ya hidrojen veya hidroksil gruplarının adsorbsiyonu nedeniyle birincil yüklerin oluşacağı tanımlanmıştır.

Koloit parçacık üzerindeki birincil yük, çözeltideki ters yüklü iyonları çeker. Eğer birincil yük yeterince fazla ise, parçacığı çeviren yüklü iyonların bir karşıt yüklü tabaka oluşturması ile kısmen dengelenecektir. Bu tamamlayıcı tabaka sabit tabaka veya “Stern tabakası” olarak isimlendirilir. Bunu çeviren ikincil tabaka ise, Difüze tabakası veya “Gouy tabakası” adını alır. Bu tabakadaki karşıt iyonların konsantrasyonu, sabit tabakada bulunan oldukça yüksek konsantrasyonlardan, sulu fazdakine kadar değişir [Samsunlu, 1999].

Negatif yüklü bir koloit parçacığının etrafındaki bu çift tabaka Şekil’de 3.8 gösteriliyor.



Şekil 3.8. Negatif yüklü koloidal parçacığının etrafındaki çift tabakanın şematik ifadesi

Kasyon ve anyonlar arasındaki konsantrasyon farklılıkları elektrostatik alan oluşturmaya yol açar. Eğer çözeltinin sulu fazının, sıfır potansiyele sahip olduğu dikkate alınırsa, çift tabakayı içine alan herhangi bir noktadaki potansiyeli ölçülebilir. Kesme düzlemi ötesinde mevcut potansiyel özellikle önemlidir. Bu düzlem parçacık ile birlikte hareket ederek etraftaki çözelti kısmı ile parçacığın bağımsız hareket edebilen kısmı arasındaki sınırı teşkil eder. Hidrofobik koloit parçacıkları etrafındaki düzlem kenarı, sabit tabakayı difüze tabakadan ayıran bir sınır teşkil etmektedir. Hidrofobik parçacıklar arasındaki nesne düzlemi, dıştaki bağlı su ile çakışır. Bu kesme düzlemindeki potansiyel zeta potansiyeli olarak tanımlanır. [Samsunlu, 1999].

Bir takım kimyasallar ilave edilmesi suretiyle danecik etrafındaki çift tabakanın sıkıştırılması, danecik yüzeyindeki potansiyelin azaltılması ve koloitlerin metal hidroksitler çökerken onlarla birlikte sürüklenmesi küçük parçacıkların yumaklar haline getirilerek çökeltilmesinin sağlanması gerekir. Bu işlem iki kademedir meydana gelmektedir.

- Pıhtılaştırma
- Yumaklaştırma

Bir danenin çökme hızı, danenin yoğunluğu, dane çapı ve sıvının viskozitesine bağlıdır. Dane çapı küçüldükçe çökme hızı azalmaktadır.

Tablo 3.3. Danelerin sudaki çökme hızlarının gösterilmesi

Dane çapı, m	Çökme hızları, m/saat	
	$\rho_s=1002 \text{ kg/m}^3$	$\rho_s=2650 \text{ kg/m}^3$
10^{-3}	3,9	3200
10^{-6}	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$
10^{-9}	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$

20 °C için çökme hızları

Koloitlerin çöktürme havuzlarında çöktürülmesi mümkün değildir. Bu danecikleri sudan ayırmak, bunların birbirleriyle birleştirilerek çökelme hızlarını arttırmak suretiyle olur.

Yumaklaştırma Verimliliğine Tesir Eden Unsurlar

- Ham suyun kalitesi
- Sudaki koloitlerin ve asılı maddelerin miktar ve özellikleri
- Suyun pH değeri
- Yumaklaştırma Prosesi'nin çeşidi, hızlı karıştırma ve yumaklaştırma bekleme müddetleri
- Suyun sıcaklığı
- Suyun alkalinitesi
- Sudaki iyonların miktar ve özellikleri
- Yumaklaştırıcıların cins ve dozları

Yumaklaştırmanın verimli olabilmesi için yumaklaştırıcı olarak kullanılan kimyevi maddelerin suyla homojen olarak karıştırılması gerekir. Bu işlem için tasarlanan hızlı karıştırma ünitelerinin ekseriya bir düşey mille elektrik motoruna bağlı olan pedallı veya türbin şeklinde tasarlanması gerekir. Hızlı karıştırma odalarının projelendirilmesinde hız gradyanı ile bekleme müddeti dikkate alınır.

3.8. Direkt Filtrasyon

Filtrasyon, içme suyu arıtımında askıdaki maddeleri uzaklaştırmak, ön ozonlama veya klorlama tarafından okside olmuş demir ve mangani tutmak, amonyumu okside etmek, mikroorganizmaları nispeten uzaklaştırmak gibi çok ve çeşitli amaçlarla kullanılan ve içme suyu tesislerinin kalbi olarak kabul edilen en eski arıtma

yöntemlerinden biridir [Cleasby ve ark, 1979]. Bu nedenle su arıtımında filtrasyon konusunda yoğun araştırmalar bulunmaktadır [Cleasby, 1990].

Direkt filtrasyon, yumaklaştırıcı ilavesi, hızlı karıştırma, pıhtılaştırma (yumaklaştırma) ve filtrasyon adımlarını içeren bir yüzeysel su arıtma proses'idir. Bazı durumlarda pıhtılaştırma tankı çıkartılarak pıhtılaştırmanın filtre içerisinde gerçekleşmesi de sağlanabilir. Çöktürmesiz filtrasyon olarak tanımlanan direkt filtrasyon da, suda bulanıklık ve renge sebep olan maddeler, yumaklaştırma ve filtrasyon ile giderilmektedir. Suda bulanıklığa sebep olan kil, alg ve bakteri gibi küçük parçacıklar, toprak ve havanın sebep olduğu taşınma olayları ve biyolojik aktivite ile suya karışırlar. Bu tip parçacıklar içme suyunda sağlık açısından tehlike arz ederler. Bu koloidal parçacıklar, insan sağlığına zararlı mikroorganizmalar ile birleşmek suretiyle mikroorganizmaların üremesine ortam hazırladığından, bu durum Dezenfeksiyon'a girişim yapmakta ve dezenfeksiyon için gerekli klor ihtiyacını önemli ölçüde arttırmaktadır. Doğal sulardaki çözünmüş organik maddeler, suya renk veren ve trihalometan oluşumunda önemli rol oynayan hümitik bileşenleri içerirler. Çökelebilecek büyük boyutlu floklardan ziyade çok küçük boyutlu filtre edilebilir flokların oluşması dolayısıyla direkt filtrasyon da düşük yumaklaştırıcı dozları kullanılır. Bu nedenle direkt filtrasyon, konvansiyonel arıtma prosesleri ile karşılaştırıldığında daha düşük kimyasal maliyetleri, çamur üretimi ve düşük çamur arıtım-yönetim maliyetleri ile sonuçlanır. Ayrıca çökelme tankı (ve bazı durumlarda pıhtılaştırma tankı) içermemesi dolayısıyla da düşük işletme ve bakım maliyetleri gerektirir [AWWA, 1990].

Konvansiyonel arıtma metotları yanında sunduğu birçok avantaj yanında ham su kalitesinde görülebilecek ani değişikliklere karşı filtre çıkış suyu kalitesinin takibi büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla direkt filtrasyon sistemlerinde filtre dizayn'ı ve gerekli yumaklaştırıcı miktarının hesabı son derece önemlidir. [Tchio ve ark., 2003] yaptıkları çalışmada optimum yumaklaştırıcı dozajının hızlı ve doğru bir şekilde bulunmasını sağlayacak bir metot geliştirmişlerdir. Farklı efektif çap değerlerine sahip filtre malzemesi kullanarak, hızlı karıştırma, yumaklaştırma (alum ve polimer ilaveli) ve filtrasyon adımlarını içeren pilot tesis çalışmasında alum ve

polimer dozajlarını filtre malzemesi efektif ϕ apına bağlı olarak hesaplamış ve deneylerin tekrarlaması suretiyle doğrulamışlardır [Tchio ve ark., 2003]. Pilot tesiste farklı noktalarda su kalitesinin takibi açısından türbidimetre ve parçacık sayısı ölçüm cihazı son derece önem taşımaktadır. Otomasyon uygulanan pilot tesiste türbidimetre ve parçacık sayısı ölçüm cihazlarında tespit edilen sonuçlara göre istenen çıkış kalitesinin sağlanması için yumaklaştırıcı dozajı ayarı mümkün olabilmektedir.

3.9. Derin Yataklı Filtrasyon Teorisi

Derin yataklı filtrasyon modelini incelemek amacıyla geçen 20–30 yıl içinde çeşitli denemeler yapılmıştır. Mevcut filtrasyon modelleri iki kategoride toplanmıştır. İlk kategoriye meydana getiren modeller, giriş parçacıklarıyla filtre taneleri arasında rol oynayan çeşitli kuvvetlerin ele alınmasına bağlıdır. Bu modeller yörünge teorisine bağlı olanları içermektedir. İkinci kategori modelleri, derin yataklı filtrasyona sıvı süspansiyonların uygulanmasıdır. İlk kategori modelleri henüz filtrasyon mekanizmasını tam olarak tanımlamak için yeterli değildir [Amirtharajah, 1988].

Filtrasyon katsayısı olarak tanımlanan bir parametre, çıkış suyu kalitesindeki değişimleri tanımlamak için modelleme konusu olmuştur. Benzer şekilde yük kaybının baştaki yük kaybına oranı, filtrasyon esnasında filtre derinliğiyle yük kaybı değişimini tanımlamak amacıyla modellenmiştir. Derin yataklı filtrasyon prosesini modelleme amaçları genelde filtre derinliğiyle değişen konsantrasyon ve yük kaybı değerlerinin yeterli bir şekilde bilinmesini sağlamaktır. Giriş ve çıkış konsantrasyonları tayin edildikten sonra filtre ortamındaki birikinti miktarı da bulunabilir.

Bu modeller, birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Fox ve Cleasby (1966), bulk spesifik birikintiyi hesaplamak için bulk faktör olarak tanımladıkları sabit bir değer kullanmışlardır. Yük kaybı bulk spesifik birikintinin bir fonksiyonu olduğundan, Fox ve Cleasby bulk faktör yardımıyla hesaplanan bulk spesifik birikintiyi, yük kaybı modelinde kullanmışlardır. Fakat sabit bir değer olarak alınan

bulk faktörünün neye göre alındığı aşikâr değildir [Fox ve ark,1966]. Buna rağmen, Sakthivadivel ve arkadaşları (1972) Fox ve Cleasby'nin yük kaybı modelinin diğer yük kaybı modellerinden daha iyi olduğunu iddia etmişlerdir. Coad (1982), Kozeny yük kaybı modelinin doğruluğundan şüphe duyarken Sembi ve Ives (1982), bütün filtrasyon şartları altında sabit katsayılarla Kozeny yük kaybı modelini kullanmışlardır.

Giriş konsantrasyonundaki parçacıklar, filtrasyon esnasında akımın filtre ortamında geçmesiyle tutulurlar. Biriken süspansiyon miktarı ortamdaki derinlikle değişir. Birim ortam hacmindeki birikinti hacmi 'bulk spesifik birikinti', birim ortam hacmindeki birikintinin kuru ağırlığı ise 'absolut spesifik birikinti' olarak adlandırılmaktadır. Biriken maddenin porozitesi sıfır kabul edildiğinde, bulk spesifik birikinti absolut spesifik birikintiyle aynı olur. Coad tarafından 1982'de yapılan çalışmalarda, bulk spesifik birikintinin filtre ortamı boyunca oluşan yük kaybı değişimi üzerindeki etkisi vurgulanmıştır. Şayet birikinti arasındaki akım hızı çok küçükse birikinti gözeneklerinin, filtrasyon işlemi ilerlerken içten tıkanmadığını farz etmek de akla uygundur. Bununla birlikte filtre tıkanıkça, birikinti dış cepheden sıkışır. Birikinti gözeneklerinde tıkanmanın olmaması, bulk spesifik birikintinin arıtma proseslerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Giriş suyundaki parçacık konsantrasyonu, birim hacimdeki birim kütle (mg/L) şeklinde ölçülür. Şayet süspansiyon numuneleri farklı ortam derinliklerinde birikmişse, herhangi bir ortam yüzeyinde süspansiyon konsantrasyonundaki değişim sadece kütle birimlerince birikinti hesaplamalarını verir. Bulk spesifik birikintiye dönüştürmek için gözenekli birikintinin yoğunluğunu bilmemiz gerekmektedir. Bu amaçla, Mohanka (1969) bulk spesifik birikintiyi değerlendirmek için bazı deneysel metotlar sunmuştur. Fakat bu deneysel metotlardan kayda değer sonuçlar alınamamıştır. Birçok araştırmacı alternatif olarak, bulk spesifik birikintinin teorik olarak hesaplanmasını önermişlerdir.

Teorik olarak bulunan bulk spesifik birikinti hesaplamaları yük kaybı formüllerine dayanır. Yük kaybı, bulk spesifik birikintinin bir fonksiyonu olduğundan dolayı deneysel olarak ölçülen yük kayıpları, belirli bir yük kaybı denklemi vasıtasıyla elde edilen bulk spesifik birikintinin değerlendirilmesinde yardımcı olur. Yük kaybı modellerinin büyük çoğunluğu literatürde bulunmaktadır [Tien ve ark, 1982]. Bütün bu modeller önceden değerleri bilinmeyen amprik parametreler içermektedir. Bu yüzden bilinmeyen amprik katsayılarla sahip bir yük kaybı modelini kullanarak bulk spesifik birikintinin değerlendirilmesi mümkün değildir.

Sembi ve Ives (1982) amprik olmayan parametrelerle Kozeny'in yük kaybı modelinin kullanılmasını önermişlerdir. Bu yük kaybı modeliyle deneysel olarak bulunan yük kaybı değerlerini kullanarak elde edilen bulk spesifik birikinti hesaplamaları, deneysel olarak ölçülen süzüntü konsantrasyonu yardımıyla elde edilen spesifik birikinti hesaplamalarıyla düzenlenmiştir. Korelasyon edilen parametre de bulk faktörü olarak adlandırılmıştır. Amprik olmayan parametrelere sahip bir yük kaybı modelinin kullanımının uygunluğu tartışılabilir. Böyle bir model, birikintinin filtre içinde farklı oluşum şekilleri ve değişen giriş karakteristikleri için doğru olmaz. Coad (1982), bulk spesifik birikintiyi hesaplamak için Kozeny modelinin uygunluğundan şüphe duymuştur.

Alternatif olarak, çeşitli gözlemciler tarafından bulk spesifik birikintinin hesaplanmasında önemli yere sahip olan bulk faktörü sabit olarak kabul edilmiştir (Sholji (1963), Camp (1966), Fox ve Cleasby (1966), Ives ve Sholji (1966) ve Mohanka (1969). Bu çalışmalarda elde edilip kullanılan bulk faktörünün hangi yöntemlerle bulunduğu aşikâr değildir.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Deneylerde polielektrolit ve yumaklaştırıcı türlerinin etkilerinin gözlemlenebilmesi ve elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için, su kalitesi karakteristiklerinin bilinmesini gerektirmektedir. Deneylerde kullanılan ham su ve filtre çıkış suyu üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda bulanıklık NTU cinsinden, parçacık değişimi parçacık adedi/ml cinsinden on-line olarak, diğer parametreler ise belirli zaman aralıklarında ölçülmüştür. Parametrelerin ölçüm metotları, teknik özellikleri aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır. Çalışmada kullanılan yüzeysel su Ömerli Havzası'ndan alınmıştır. Ham su karakteristikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu özellikleri ile ham su, bulanıklık hariç direkt filtrasyon da kullanılabilen karakteristikkere sahiptir. Ham su, deneylerden önce bekleme tankında bir süre tutularak bulanıklık değeri 5–5,5 NTU seviyesine indirilmiştir. Ayrıca bu tez kapsamında filtre malzemesi olarak da halen İSKİ' de kullanılan filtre kumu ile çalışılmıştır.

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan ham suyun kimyasal analizi

Parametre	Değer	
pH	8,72 (25.7 °C)	-
İletkenlik	224 (24.4 °C)	(µS/cm)
Zeta Potansiyeli	-23.9 (STD: 0.75, 3 ölçüm)	(mV)
Türbidite	20-25	(NTU)
Alkalinite	63.4	(mg/l CaCO ₃)
Sertlik	108.9	(mg/l CaCO ₃)
Parçacık Sayısı	2 µm	5546
	5 µm	3124
Alum İhtiyacı	27.6 (pH 8.33 ve 23 °C'de)	(mg/l)
Demir (III) Klorür İhtiyacı	27.8 (pH 8.33 ve 23 °C'de)	(mg/l)
TOC	6.69	(mg/l)
TC	15.72 ± 1.23	(mg/l)
IC	9.02 ± 1.49	(mg/l)

4.2. Deney Düzenegi

GYTE Çevre Mühendisliği Bölümü İçme Suyu Laboratuvarında, filtre kolonu ve filtreyi besleyen su hattı boyunca uygulanan farklı polielektrolit ve yumaklaştırıcı türlerinin filtre çıkış suyu, yük kayıpları ve filtrasyon süresi üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla iki eş filtre kolonu sistemi hazırlandı. Filtrelerin birine, filtreyi besleyen su hattından diğerine ise hem filtreyi besleyen su hattından hem de filtre boyunca farklı noktalardan sürekli ve kesikli kimyasal ilavesi yapılabildiği bir sistem kuruldu ve böylece filtrelerin; filtre çıkış suyu kalitesi, yük kayıpları ve filtrasyon süresi performansları incelendi.

Kurulan filtrasyon düzeneğinde iki özdeş filtre kullanıldı. İlk olarak Ömerli barajından alınan ham suyun bulanıklığı belirlendi. 20–25 NTU arasında olan ham suyun bulanıklığı bekletme tanklarında alınarak 5–5,5 NTU seviyesine düşürüldü. Daha sonra deneylerde kullanılacak olan ve bulanıklığı 5–5,5 NTU seviyesine düşürülmüş ham su, 3 m³'lük hacme sahip polietilenden yapılmış 150 cm çapında ve 180 cm yüksekliğindeki dairesel su haznesinde depolandı. Su haznesindeki ham suyun bulanıklığını sabit tutmak amacıyla dairesel su haznesine yerleştirilen bir karıştırıcı vasıtasıyla deney boyunca ham su karıştırıldı. Haznedeki ham suya filtrasyon öncesi hiçbir kimyasal madde eklenmedi. Haznede karıştırılan ham su dairesel su haznesinin alt kısmındaki çıkış vanasına bağlı bir pompa yardımıyla zeminden 385 cm yükseklikte bulunan dengeleme tankına, $Q_{\max} = 50/250$ l/dak'lık maksimum debiye ve $H_{\max} = 17.5/8.5$ m manometre yüksekliğine iletme özelliğine sahip Elettro Meccanica Conforto marka pompayla iletmektedir. Dengeleme tankına iletilen ham su, buradan cazibeli akış ile kum filtresi kolonlarına (10 cm iç çapında ve 200 cm yüksekliğinde) iletilmektedir. Deneylerde paralel çalıştırılmak üzere özdeş 2 adet pleksiglas filtre kolonu bulunmaktadır. Bu kolonların boyutları aşağıda verilmiştir.

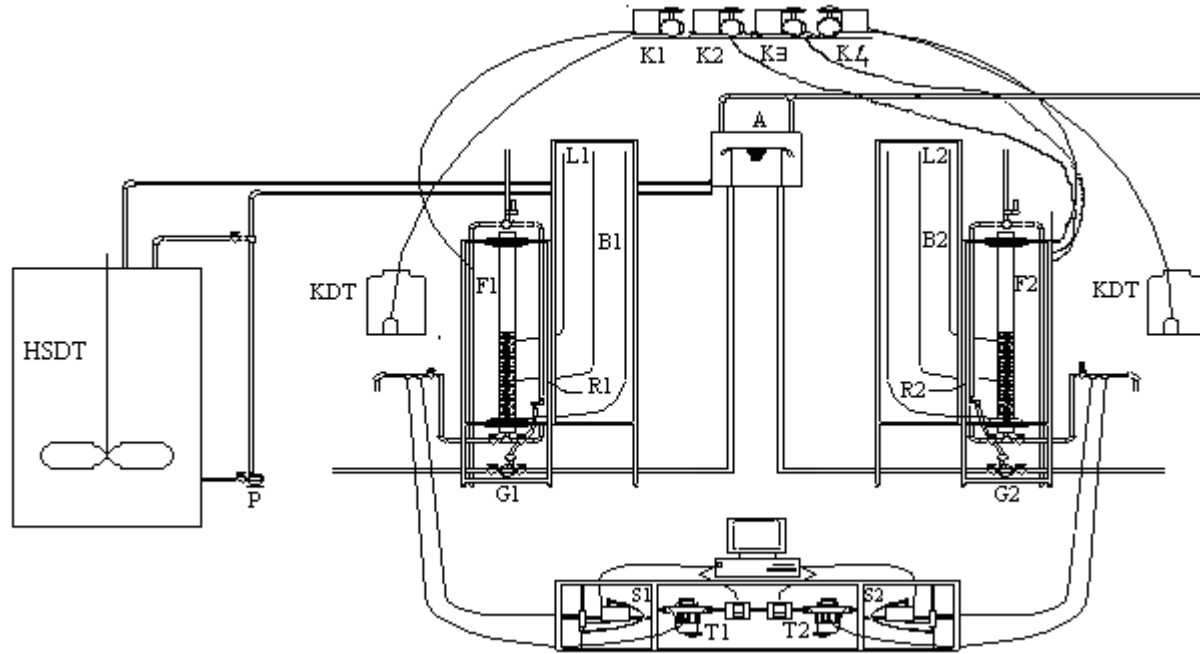
Tablo 4.2. Filtre kolonlarının özellikleri

Filtre Kolonları	Derinlik (m)	Çap (m)	Hacim (m ³)	Ham su bekleme süresi (dak)
	2	0,01	0,019006635	12.67

Dengeleme tankından filtre kolanlarına gelen su, filtre girişinde bulunan Siemens Sitrans F M Magflo Magna 5000 marka debimetre ile debisi 90 l/saat (1.5 l/dak) (filtrasyon hızı yaklaşık 10 m/saat) olarak ayarlanmıştır. Aşağıdaki tablo 4.3 de debimetrenin teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Siemens sitrans FM magflo magna 5000 debimetre teknik özellikler

Özellik	Değeri
Güç kaynağı	115/230 V AC, 50-60 Hz 17 VA
Ebat DN	15
Borulama	PTFE
Elektrotlar	AISI 316 Ti
P _{max}	40 bar / 580 psi
P _{min}	0.3 bar / 4.35 psi
Sıcaklık _(max)	100 °C / 212 °F
Sıcaklık _(min)	-20 °C / -4 °F
Giriş voltajı	60 V max, 0.12 A max



Şekil 4.1. Laboratuarda çalışılan pilot tesis deney düzeneği

Pilot tesis şemasındaki simgelerin anlamları;

A	:Sabit Seviye Tankı
B1,B2	:Piyezometre Boruları Panosu
D	:Drenaj
E1,E2	:Kimyasal Tankları
F1,F2	:Filtre Tankları
G1,G2	:Geri Yıkama Pompaları
K1,K2,K3,K4	:Yumaklaştırıcı Pompaları
R1,R2	:Flowmetreler
L1,L2	:Piyezometre Boruları
S1,S2	:Parçacık Sayıcılar
T1,T2	:Türbidimetreler
HSDT	: Ham Su Depomla Tankı
KDT	: Kimyasal Depolama Tankı

Ayrıca yapılan deneylerde de kullanılan filtre kolonları atmosfere açıktır. Filtrelerde geri yıkama sonucu oluşan genleşmenin ortalama 15 cm olduğu görülmüş, her deney öncesi filtreler 120 cm kum yatağı olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Kimyasal ilâvesi ise, filtre kolonuna gelen su hattı üzerinde oluşturulan dozlama noktasından ve filtre yatak derinliğinin 20, 60 ve 100. cm'lerinden seçilen (5,15 ve 25 no'lu noktalar) ve filtre kolonunu 3 eşit parçaya ayıracak şekilde seçilen noktalardan farklı konsantrasyon ve debilerde sıvı çözelti olarak uygulanmıştır. Bu işlem Prominent gamma ve beta marka selenoid pompa ile yapılmaktadır. Filtre edilen suda sürekli (online) olarak bulanıklık ve parçacık sayısı ölçümü yapılmıştır (Şekil 4.4). Ölçümlerde sırasıyla Hach-Lange Ultraturb plus ve WPC-22 parçacık sayıcı kullanılmıştır. Yük kayıpları, yapılan deneye göre 30, 20 ve 10 dakikada bir filtre yatağı üzerinde her 4 cm'de bir bulunan piyozemetre ölçüm noktalarından ölçülmüştür. Ham su yumaklaştırıcı ihtiyacı ise Chemtrac marka otomatik jar testi cihazı ile belirlenmiştir. Filtre malzemesi olarak, halen İSKİ'de kullanılan filtre kumu kullanılmış ve üniformaluk katsayısı 1,5 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değer, derin yataklı filtrelerde üniformaluk katsayısının alt ve üst limit değerleri

arasında bulunmakta ve gerekli kriterleri sağlamaktadır. Aşağıda pilot tesisin genel görünüşü ve düzenekte kullanılan cihazlar görülmektedir.



Şekil.4.2. Pilot tesisin genel görünüşü



Şekil 4.3. Pilot tesis kontrol paneli



Şekil 4.4. Bulanıklık ve parçacık sayısı değişimlerinin sürekli olarak izlendiği cihaz



Şekil 4.5. Parçacık sayıcı (particle counter)



Şekil 4.6. Bulanıklık ölçücü (Türbiditimetre)



Şekil 4.7. Beta ve Gama marka dozaj pompaları



Şekil 4.8. Kum filtresi ve piyezometre borular

4.3. Deneysel İşlem

4.3.1. Deney Düzenğinde Yapılan Çalışmanın Açıklanması

Bu çalışmada aynı şartlar altında çalıştırılan iki özdeş filtre kullanılmıştır. Yapılan deneylerin bir kısmında kimyasal olarak kullanılan anyonik ve katyonik polielektrolitlerin farklı konsantrasyon ve debilerde filtre kolonuna sürekli, kesikli ve yarı kesikli uygulanmasının karşılaştırılması yapılmış diğer kısmında da ise Demir Klorür ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve Alüminyum Sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) için aynı deneyler yapılmıştır. Çalışmanın ilk kısmında filtre kolonun birine filtreyi besleyen su hattı üzerinden kimyasal ilavesi yapılmıştır diğer filtreye ise filtreyi besleyen su hattı üzerinden ve filtre kolonun derinliği boyunca 20, 60 ve 100. cm' lerde seçilen 5, 15 ve 25 no'lu ve filtreyi 3 eşit parçaya bölen kimyasal uygulama noktalarından farklı sıra ve farklı debiler ile sürekli, kesikli ve yarı kesikli kimyasal ilavesi yapılmıştır. Bu deneylerin çıkış suyu kalitesi, yük kayıpları ve filtrasyon süresini etkilerini belirleyebilmek için aşağıdaki gibi karşılaştırmalı bir deney planı hazırlanmıştır.

- Filtreyi besleyen su hattı ile 5 no'lu nokta üzerinden sürekli kimyasal dozlamasının karşılaştırılması.
- Filtreyi besleyen su hattı ile 15 no'lu nokta üzerinden sürekli kimyasal dozlamasının karşılaştırılması.
- Filtreyi besleyen su hattı ile 25 no'lu nokta üzerinden sürekli kimyasal dozlamasının karşılaştırılması.
- Filtreyi besleyen su hattı + 5 no'lu noktadan dozlama ile filtreyi besleyen su hattı + 15 no'lu noktadan sürekli kimyasal dozlamasının karşılaştırılması.
- Filtreyi besleyen su hattı + 15 no'lu noktadan dozlama ile filtreyi besleyen su hattı + 25 no'lu noktadan sürekli kimyasal dozlamasının karşılaştırılması.
- Filtreyi besleyen su hattı + 15 no'lu noktadan farklı konsantrasyonlarda kimyasal dozlaması yaparak kendi içinde karşılaştırılması.

- Filtreyi besleyen su hattı + 5 ve 15 no'lu noktadan dozlama ile filtreyi besleyen su hattı + 15 ve 25 no'lu noktadan sürekli kimyasal dozlamasının karşılaştırılması.
- Filtreyi besleyen su hattından dozlama ile 5, 15, 25 no'lu noktalardan sürekli kimyasal dozlamasının karşılaştırılması.
- Ayrıca bu yapılan sürekli kimyasal dozlamalı deneylerden elde edilen en iyi sonuçlara göre 10dk, 20dk ve 30 dk'lık kesikli ve yarı kesikli olan deneyleri de hem polielektrolitler için hem de yumaklaştırıcılar için yapıldı.

4.4. Analitik Metod

4.4.1 Filtre Malzemesi Elek Analizi (Granülometresi)

Bilindiği gibi mineral kökenli, daneli malzemeye agrega denilmektedir. Kum, çakıl ve mıcır gibi malzemeler doğal agregalardır. Elek analizi, diğer bir deyişle granülometri, bir agrega yığınının dane büyüklüklerine göre dizilişini saptamak amacıyla yapılır. Deney sonunda agrega yığınının hangi oranda belirli bir elek çapının altına geçebileceği saptanır. Elek analizi, kumlarda en az 1 kg, iri agregalarda en az 3 kg numune üzerinde yapılır. Bu az miktardaki numunenin büyük agrega yığınlarını temsil etmesi, üzerinde durulması gereken bir problemdir. Bu bakımdan elek analizi deneyinde örnek almaya çok dikkat edilmelidir. Filtre malzemesi olarak kullanılan kum, İ.S.K.İ.'nin Kâğıthane Su Arıtma Tesisleri'nden temin edilen silisli kumdur.

Elek analizi deneyi için alınacak örnek agrega yığınının tepesinden ve eteğinden alınmamış, orta yükseklikten bir boru ile sondalanarak alınmıştır. Yığının muhtelif yerlerinden toplanan 8 adet numune karıştırılmış, eşit yükseklikte bir daire şeklinde zemine serilmiştir. Daha sonra 29 daire şeklindeki numune 4 eşit dilime ayrılmış ve dilimlerden karşılıklı ikisi alınmıştır. Geriye kalan kum yığını tekrar dairesel olarak

yayılmış ve bu dörtleme işlemine numune miktarı 1 kg oluncaya kadar devam edilmiştir (Şekil 4.9).



(a) Eleme işlemi ve standart elekler



(b) Elek analizi ve diğer deneyler
öncesinde filtre malzemesinden
çeyreklere bölme metodu ile homojen
temsil edici numune alınması

Şekil 4.9. Elek analizinde kullanılacak kumdan çeyreklere bölme metodu ile temsil edici numune alınması.

Alınan 1 kg'lık numune sırasıyla 1.4 mm, 1.18 mm, 1 mm, 0.85 mm ve 0.71 mm delik çaplı eleklerden elenmiş ve elek üstünde kalan malzeme yığılımlı olarak hassas bir tartıda tartılmıştır. İ.S.K.İ. Kağıthane Su Arıtma Tesislerinden temin edilen 1000 g numune üzerinde yapılan elek analizi deneyinin sonuçları Tablo 4.4'de verilmiştir. Deneyden elde edilen sonuçlar, elekten geçen malzeme miktarı x ekseninde elek çapları y ekseninde olacak şekilde düzenlenerek bir grafik halinde Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Elek analizi deney sonuçları

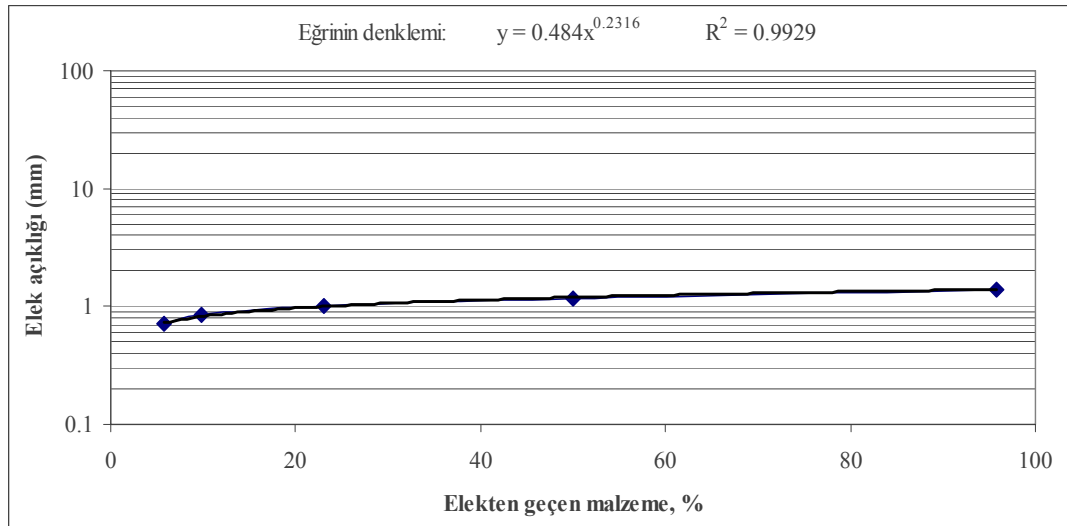
Elek Analizi Deneyi Sonuçları			
Elek Delik Çapı	Elek Üstünde Kalan Yığılımlı Malzeme Miktarı	Elek Altına Geçen Yığılımlı Malzeme Miktarı	Elek Altına Geçen Yığılımlı Malzeme(%)
(mm)	(gram)	(gram)	(%)
1,4	42	958	95,8
1,18	458	500	50*
1	269	231	23,1
0,85	133	103	10,3
0,71	40	63	5,8

1.18 mm elek göz boyutu için;

* 1,8 mm elek boyutu için

Elek altına geçen yığılımlı malzeme: 500 gram

% cinsinden elek altına geçen yığılımlı malzeme: $\frac{500}{1000} * 100 = 50$

**Şekil 4.10.** Elek analizi deney sonuçlarının grafik şeklinde gösterimi.

Silisli kumun üniformluk katsayısı

$$D = (d_{60} / d_{10}) \quad (4.1)$$

Denklemleri ile ifade edilmektedir. Söz konusu denklemlerde

- d : üniformluk katsayısını
 d_{60} : ağırlıkça malzemenin %60'nın geçtiği elek delik çapını (mm)
 d_{10} : ağırlıkça malzemenin %10'unun geçtiği elek delik çapını (mm)
 göstermektedir.

Şekil 18'de verilen grafik kullanılarak, $d_{60} = 1.25$ mm, $d_{10} = 0.83$ mm olarak bulunmuştur. Buna göre üniformluk katsayısı (4.1) denklemi yardımıyla

$$d = (1.25 / 0.83) = 1.51 \cong 1.5 \quad (d_{alt} = 1.2 < d = 1.5 < d_{üst} = 1.6)$$

olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değer, derin yataklı filtrelerde üniformluk katsayısının alt ve üst limit değerleri arasında olup gerekli kriterleri sağlamaktadır [AWWA, 1990].

4.4.2 Polielektrolit Türünün ve İhtiyacının Belirlenmesi

Yapılan polielektrolit deneylerinde halen İSKİ'de kullanılmakta olan ECOPOL S17 A marka katyonik ve FLOPOM AH 912 9H marka anyonik polielektrolit kullanılmıştır. Kullanılacak polielektrolit miktarını belirlemek için daha önce yapılan bilimsel çalışmalardaki literatür sonuçları göz önünde bulundurulmuştur ve yapacağımız deneyler için 0,1, 0,2 ve 0,3 mg/l 'lik anyonik ve katyonik polielektrolit çözeltisi hazırlanmasına karar verilmiştir. Bu çözeltilerle yapılan deneyler sonucunda aynı şartlardaki ham su numunesi için 0,2 mg/l lik katyonik polielektrolit çözeltisinin diğer dozaj ve türlere göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiş ve daha sonra ki deneyler için bu polielektrolit türü ve dozajı esas alınmıştır.

Deneyde kullanılan Polielektrolitler;

Katyonik polimer; ECOPOL S17 A Katyonik (Guar)

Anyonik polimer; FLOPOM AH 912 9H beyaz granül toz halde, anionicity: %3, % nemlilik: 12, UL viscosity 4,4- 5,2 cps, % insolubies: 3,5

Yapılan deneyler sonucu seçilen uygun polielektrolit türü ve optimum dozaj için gerekli olan katyonik polielektrolit miktarının hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

3 lt/saat dozaj pompa debisinde 0,2 mg/l'lik katyonik çözelti için gerekli olan katyonik polielektrolit ihtiyacı;

$$\frac{x}{L} \text{ mg} * \frac{3\text{lt}}{\text{saat}} * \frac{\text{saat}}{90\text{lt}} = 0,2\text{mg} / l$$

$$x = 6 \text{ mg/l}$$

4.4.3. Yumaklaştırıcı İhtiyacı

Ham suyun koagülasyonunda kullanılacak optimum yumaklaştırıcı dozajı CHEMTRAC Coagulant Charge Analyzer 3100 ile belirlenmiştir (Şekil 4.11). Bu cihaz, içerisinde ortam yükünü ölçen elektrotların bulunduğu bir prob yardımıyla optimum yumaklaştırıcı dozajını belirleyebilmektedir. Probun dijital ekrana ilettiği yük ölçümü (Streaming Current Value-SCV) değerinin 0'a yaklaşması, ilave edilen yumaklaştırıcı çözeltisinin optimum miktarını göstermektedir. Bu amaçla alum ve demir (III) klorür'ün her ikisi için de %1'lik kimyasal stok çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltinin, 1000 ml ham suya eklenen her bir ml'si 10 ppm kimyasal dozaja eşittir. 0.1 ml hassasiyette bir pipet veya şırınga ile stok çözelti (yumaklaştırıcı) eklenerek titrasyon yapılır ve SCV takip edilir. SCV 0'a yaklaştığında stok ilavesi durdurulur. Elde edilen sonuçlar ve titrasyon eğrileri Şekil 4.12 ve 4.13'de gösterilmiştir. Yumaklaştırıcı olarak kullanılan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Merck' ten temin edilmiştir.



Şekil 4.11. Otomatik jar test cihazı

Alum deneyi Giriş Parametreleri: pH 8.33 (23 °C), 224 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (23 °C)

Çıkış Parametreleri: pH 7.18 (23 °C), 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (23 °C)

FeCl_3 deneyi Giriş Parametreleri: pH 8.33 (23 °C), 224 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (23 °C)

Çıkış Parametreleri: pH 6.86 (23 °C), 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (23 °C)

Deneyde kullanılan yumaklaştırıcılar;

Yumaklaştırıcılar;

Merck marka $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; M:270.33 g/mol ve Merck marka $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$;
M:666,42 g/mol

3 lt/saat dozaj pompa debisinde FeCl_3 ihtiyacı;

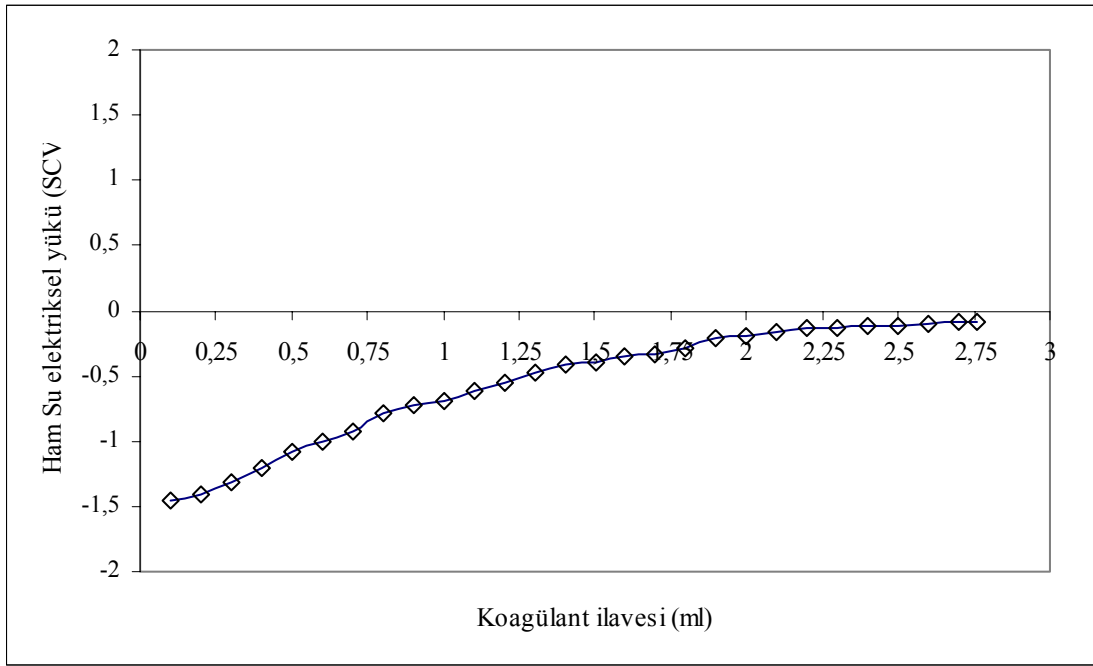
$$\frac{x}{L} \text{mg} * \frac{3\text{lt}}{\text{saat}} * \frac{\text{saat}}{90\text{lt}} = 27,6 \text{mg} / \text{l}$$

$$x=828 \text{ mg/l}$$

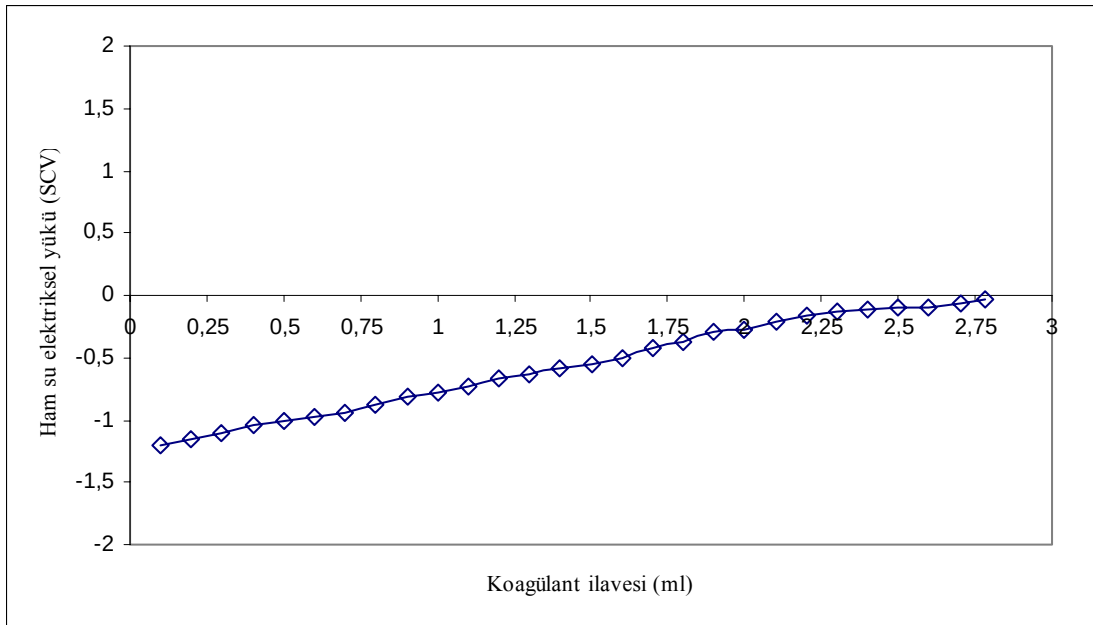
3 lt/saat dozaj pompa debisinde Alum ihtiyacı;

$$\frac{x}{L} \text{mg} * \frac{3\text{lt}}{\text{saat}} * \frac{\text{saat}}{90\text{lt}} = 27,8 \text{mg} / \text{l}$$

$$x=834 \text{ mg/l olarak saptanmıştır.}$$



Şekil 4.12. Optimum alum dozajının belirlenmesinde kullanılan CCA cihazına ait titrasyon eğrisi



Şekil 4.13. Optimum demir (III) klorür dozajının belirlenmesinde kullanılan CCA cihazına ait titrasyon eğrisi.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

İçme suyu arıtma tesislerinde kullanılan filtrasyon ünitesinin, en verimli ve en uzun süre tıkanmadan çalıştırmak amacıyla bu güne kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardaki temel amaç ise filtre çalışma ömrünün uzatılması bunu yaparken de filtrasyon süresi boyunca istenilen çıkış suyu standartlarını yakalayıp, bu standardı filtrasyon süresi boyunca sabit tutmaktır. Nitekim yapılan bazı çalışmalar da 13–15 saat gibi filtrasyon sürelerine ulaşılabilmiştir. Yapılan filtrasyon çalışmalarında pıhtılaştırıcı olarak yaygın bir şekilde demir ve alum ile bunların türevleri kullanıldığı görülmüştür. Yumaklaştırma işleminde ise literatür de pıhtılaştırıcı yardımcısı olarak da ifade edilen polielektrolitler en yaygın olarak kullanılanlardandır. Filtrasyon işleminde yapılan kimyasal dozlama genelde filtreye su girişinin olduğu noktadan veya filtre öncesi seçilen bir noktadan yapılmaktadır ve buda filtrasyon süresini etkilemektedir. Bizim amacımız ise bu çalışmada filtrasyon süresini artırmak için değişik dozlama noktaları belirleyip bu noktalardan anyonik ve katyonik polielektrolitler ile demir III klorür ve alum dozlayarak filtrasyon süresini ve çıkış suyu verimini gözlemlemektir. Bu amaçla kullanılan ham su örnekleri Ömerli barajından farklı zaman aralıklarında alınmıştır. Getirilen ham suyun bulanıklık değeri 20–25 NTU arasındadır. Bu ham su, depolama tanklarında bekletilmek suretiyle bulanıklığının 5–5,5 NTU aralığına kadar inmesi sağlanmış ve bu şekilde deneylere başlanmıştır. Farklı bulanıklık değerleri ise her matris için ayrı ayrı belirtilmiştir. Yapılan deneylerde Ömerli barajından getirilen ham su numunelerine ilk önce 0,1, 0,2 ve 0,3 mg/l'lik dozajlarda anyonik ve katyonik polielektrolitler sürekli ve kesikli olmak üzere iki şekilde filtreyi besleyen su hattından eklenmiştir. Buradan elde edilen en iyi sonuç 0,2 mg/l 'lik katyonik polielektrolit olmuştur. Bir sonraki aşamada ise belirlenmiş olan katyonik polielektrolit sürekli ve kesikli sistem şeklinde, farklı dozajlarda ve farklı uygulama noktalarından tatbiki incelendi ve çıkış suyu kalitesi üzerindeki etkisi belirlendi. Buradan elde edilen en uygun dozaj noktası, dozlama süresi ve dozlama biçimi esas alınarak 7,5 mg/l ve 5 mg/l dozajdaki yumaklaştırıcı maddeler içinde benzer şekilde deneyler yapılarak en iyi verim elde edilen yumaklaştırıcı türü, dozaj miktarı ve uygulama biçimi belirlendi.

Yapılan deneyler sırasında parçacık sayısı ve bulanıklık on-line olarak, yük kayıpları ise filtre yatağı üzerinde bulunan toplam 30 noktadan 4'er cm aralıkla yapılan ölçümlerle belirlendi ve sonuçlar grafikler halinde gösterildi. Yapılan çalışmalar Tablo 5.1 deki gibi bir deney matrisi ile özetlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 5.1. Polielektrolit türü ve dozajının belirlendiği deneylerin planı

Deney No	Düzenek 1				Düzenek 2			
	Katyonik	Anyonik	Sürekli	Kesikli	Katyonik	Anyonik	Sürekli	Kesikli
1	0.1	—	✓	—	—	0.1	✓	—
2	0.2	—	✓	—	—	0.2	✓	—
3	0.3	—	✓	—	—	0.3	✓	—
4	0.2	—	—	10 dk	0.2	—	✓	—
5	0.2	—	—	20 dk	0.2	—	✓	—
6	0.2	—	—	30 dk	0.2	—	✓	—

Yukarıda verilen deney planında uygulanan deneyler sonucunda 0,2 mg/l' lik katyonik polielektrolit çözeltisi en iyi sonucu veren polielektrolit türü olarak seçilmiştir. Bu aşamadan sonra aynı özelliklere sahip özdeş 2 kum filtresin de polielektrolit deneyleri bu polielektrolit türünü kullanmak kaydıyla yapılmıştır. Bunun yanı sıra 0,3 ve 0,4 mg/l' lik polielektrolit çözeltisi; filtreyi besleyen ham su hattından yapılan polielektrolit dozlaması ile filtre yatağı boyunca yapılan polielektrolit dozlamalarının sürekli, kesikli ve yarı kesikli sistemlerde karşılaştırılması yapıp bulanıklık, parçacık sayısı ve filtrasyon süreleri de incelenmiştir. Bu deneylerden elde edilen veriler ışığında, yumaklaştırıcı malzemesi olarak Demir III Klorür ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve Alüminyum Sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) 'ın kullanıldığı deneylere geçilmiştir ve bu deneylerin sonuçları da diğer sonuçlar gibi on-line olarak takip edilip tüm sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir. Yapılan polielektrolit ve yumaklaştırıcı deneylerinin deney planları Tablo 5.2 ve Tablo 5.3 de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 0,2 mg/l katyonik polielektroklitle yapılan çalışmaların deney planı

Deney No	Katyonik			Düzenek 1			Düzenek 2		
	0,2 mg/l	0,3 mg/l	0,4 mg/l	Sürekli	Kesikli	Yarıkesikli	Sürekli	Kesikli	Yarıkesikli
7	✓	—	—	Hat üzerinden	—	—	25 no'lu noktadan	—	—
8	✓	—	—	Hat üzerinden	—	—	15 no'lu noktadan	—	—
9	✓	—	—	Hat üzerinden	—	—	5 no'lu noktadan	—	—
10	✓	—	—	Hat + 25 no'lu nokta	—	—	Hat + 15 no'lu nokta	—	—
11	✓	—	—	Hat + 15 no'lu nokta	—	—	Hat + 5 no'lu nokta	—	—
12	✓	—	—	Hat + 5 ve 15 no'lu nokta	—	—	Hat +15 ve 25 no'lu nokta	—	—
13	✓	—	—	Hat üzerinde	—	—	5-15-25 no'lu noktalardan	—	—
14	—	✓	✓	Hat + 15 no'lu nokta (0,3)	—	—	Hat + 15 no'lu nokta (0,4)	—	—
15	✓	—	—	—	Hat + 15 no'lu nokta (10dk)	—	—	Hat +15 no'lu nokta(20dk)	—
16	✓	—	—	—	Hat + 15 no'lu nokta (20dk)	—	—	Hat +15 no'lu nokta(30dk)	—
17	✓	—	—	—	—	Hat +15 no'lu nokta(30dk)	—	—	Hat +15 no'lu nokta(20dk)

Tablo 5.3 Yumaklaştırmacılarla yapılan çalışmaların deney planı

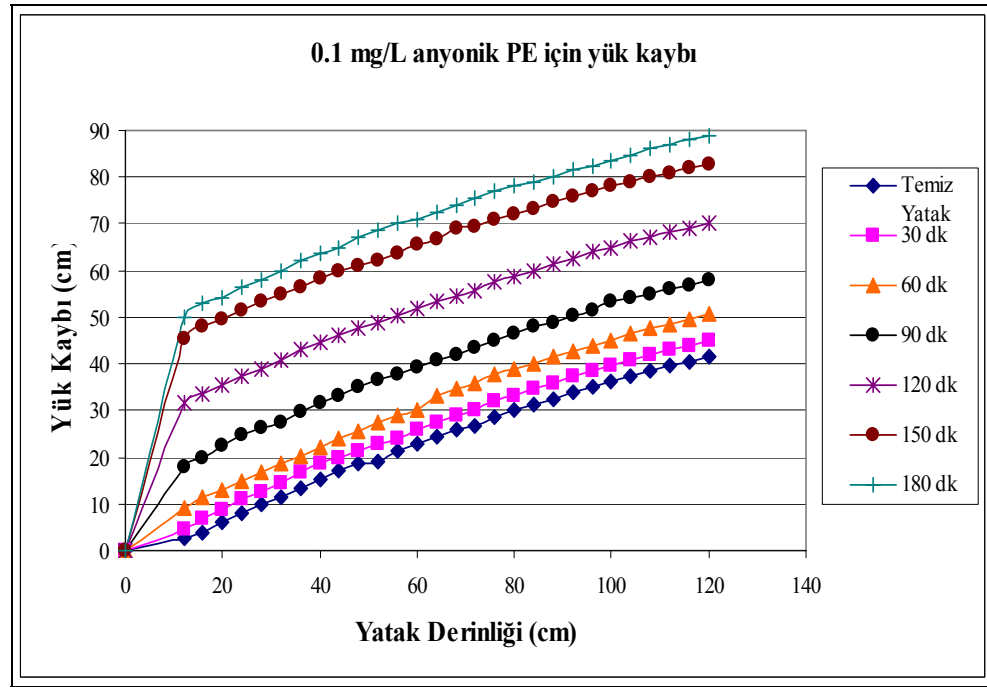
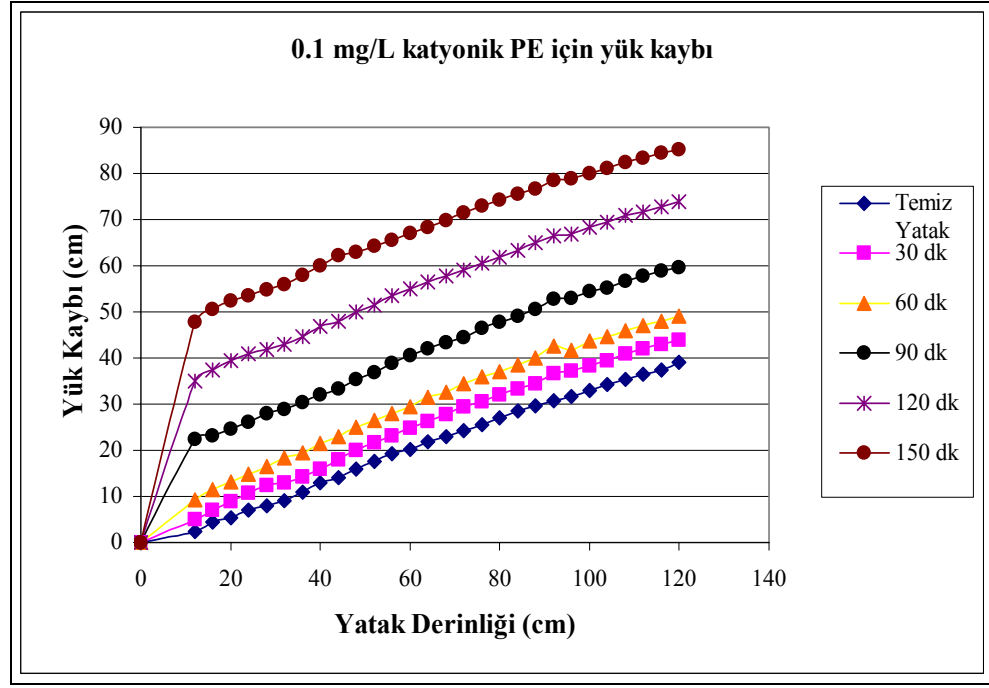
Deney No			Düzenek 1 (D1)				Düzenek 2 (D2)			
	Sürekli	Kesikli	Demir		Alum		Demir		Alum	
			7,5 mg/l	5 mg/l	7,5 mg/l	5 mg/l	7,5 mg/l	5 mg/l	7,5 mg/l	5 mg/l
18	✓	—	Hat + 15 no'lu nokta	—	—	—	—	—	Hat +15 no'lu nokta	—
19	✓	—	—	—	Hat üzerinden	—	—	—	Hat +15 no'lu nokta	—
20	✓	—	Hat üzerinden	—	—	—	Hat +15 no'lu nokta	—	—	—
21	✓	—	—	Hat + 15 no'lu nokta	—	—	—	—	—	Hat +15 no'lu nokta
22	—	✓	—	Hat + 15 no'lu nokta	—	—	—	—	—	Hat +15 no'lu nokta

5.1 Polielektrolit (PE) Türü ve Dozajının Belirlendiği Deneyler ve Sonuçları

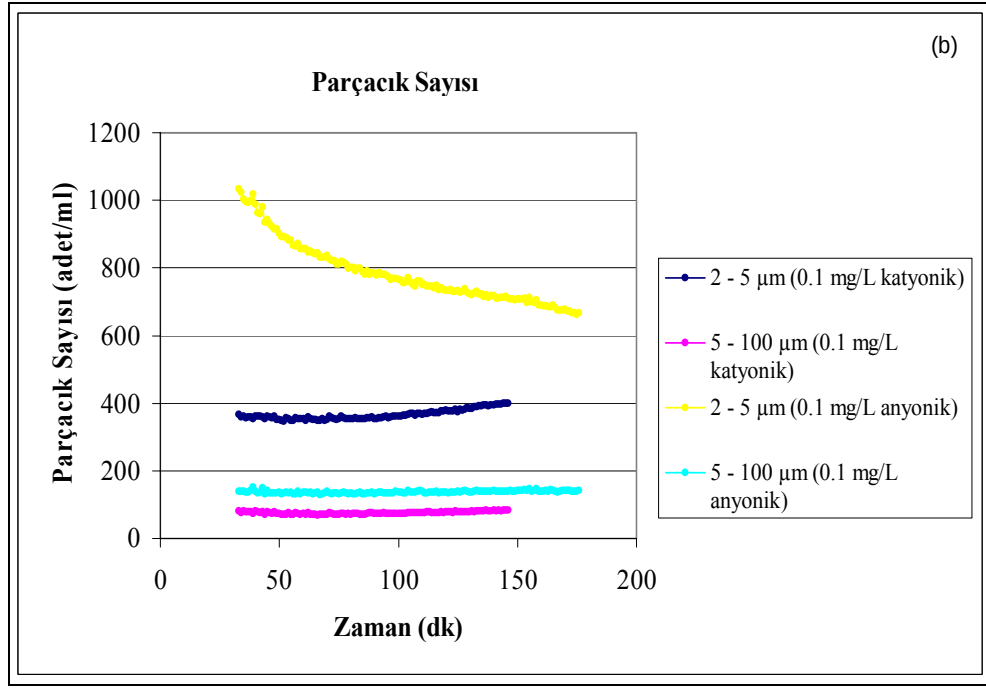
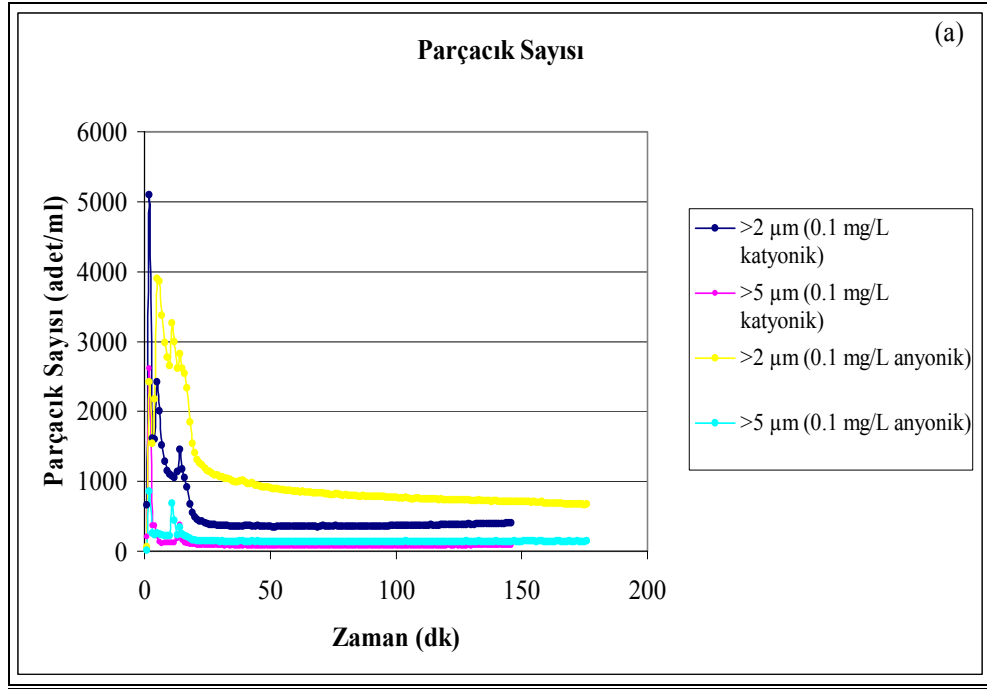
Filtrasyon işleminde pıhtılaştırma için yaygın olarak kullanılan kimyasallardan biride polielektrolitlerdir. Anyonik, katyonik ve noniyonik olmak üzere 3 tür olan polielektrolitlerden en yaygın olarak kullanılan tür ise katyonik polielektrolittir. (+) yüklü polielektrolitler su içerisindeki (-) yüklü parçacıkları bünyelerine alarak su içerisindeki bulanıklık yapan parçacıkların giderilmesini sağlar. Yapmış olduğumuz çalışmada ise filtrasyon işleminde yumaklaştırıcı olarak kullanılan polielektrolit türü ve dozajı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla özdeş iki kum filtre düzeneği kullanılmıştır. Filtrasyon işleminde gerekli olan polielektrolit dozajını belirleyebilmek amacıyla daha önceden yapılmış olan deneysel çalışmalar ve literatür çalışmaları incelenmiştir ve bu çalışmalarda kullanılan polielektrolit dozajları göz önünde bulundurularak 0,1, 0,2 ve 0,3 mg/l 'lik anyonik ve katyonik polielektrolit çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler filtre kolonuna ham su taşıyan 90 l/saat debideki su hattından 3 l/saat dozlama debisi ile sürekli olarak dozlanmış ve bu işlem filtreler tıkanana kadar devam etmiştir. Sürekli dozlamanın yapıldığı deneylerin akabinde en iyi sonucu veren 0,2 mg/l'lik katyonik polielektrolit çözeltisi seçilmiş ve bu polielektrolit türü sürekli ve kesikli dozlamanın karşılaştırıldığı deneylerde kullanılmıştır. Kesikli dozlama ile sürekli dozlamanın karşılaştırıldığı deneyler de; filtre kolonlarının birine 10, 20 ve 30 dk da bir 0,2 mg/l'lik katyonik polielektrolit çözeltisi 3 l/saat dozlama debisi ile filtreyi besleyen ham su hattından kesikli olarak dozlanırken diğerine de yine 0,2 mg/l'lik katyonik polielektrolit çözeltisi sürekli olarak yine filtreyi besleyen ham su hattından aynı debiyle dozlanmış ve bu işlemler filtre kolonları tıkanana kadar devam edilmiştir. Bu deneyler sırasında da bulanıklık, parçacık sayısı değişimleri online olarak ölçülmüştür ayrıca yük kayıpları da manüel olarak ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucu ortaya çıkan bulanıklık, parçacık sayısı ve filtrasyon süresi gibi parametrelerinin sonuçları grafikler halinde aşağıda belirtilmiştir.

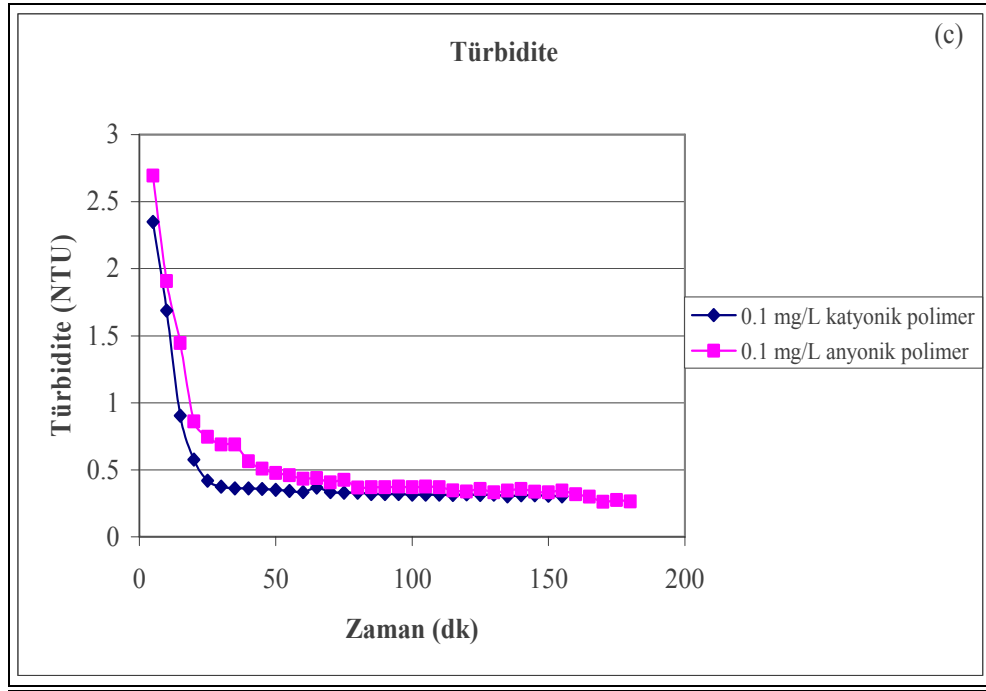
5.2 Deney Grafikleri

Deney 1



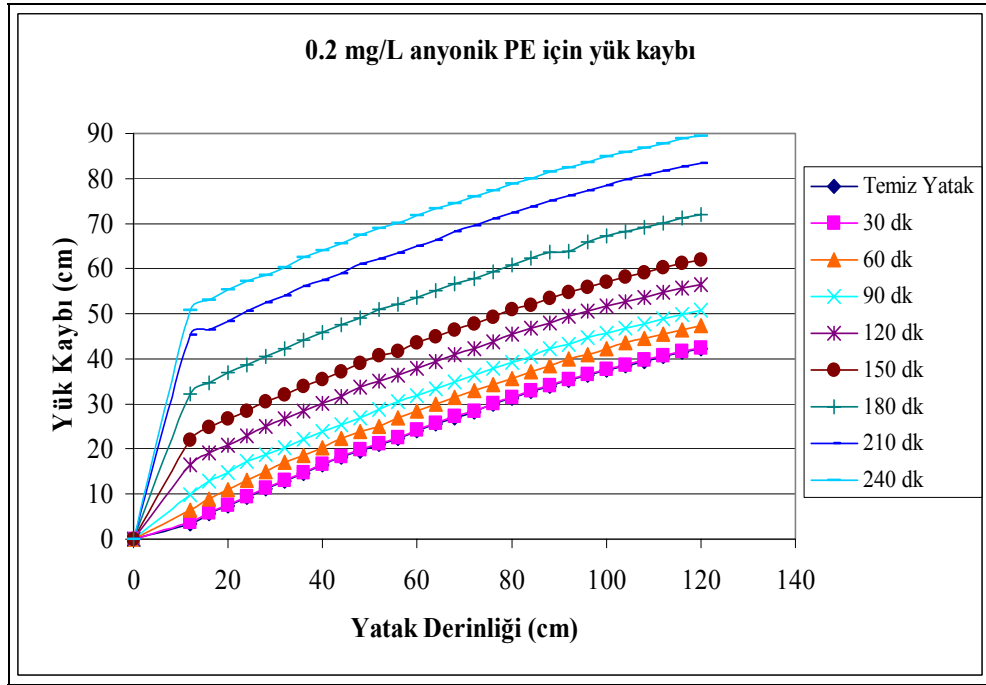
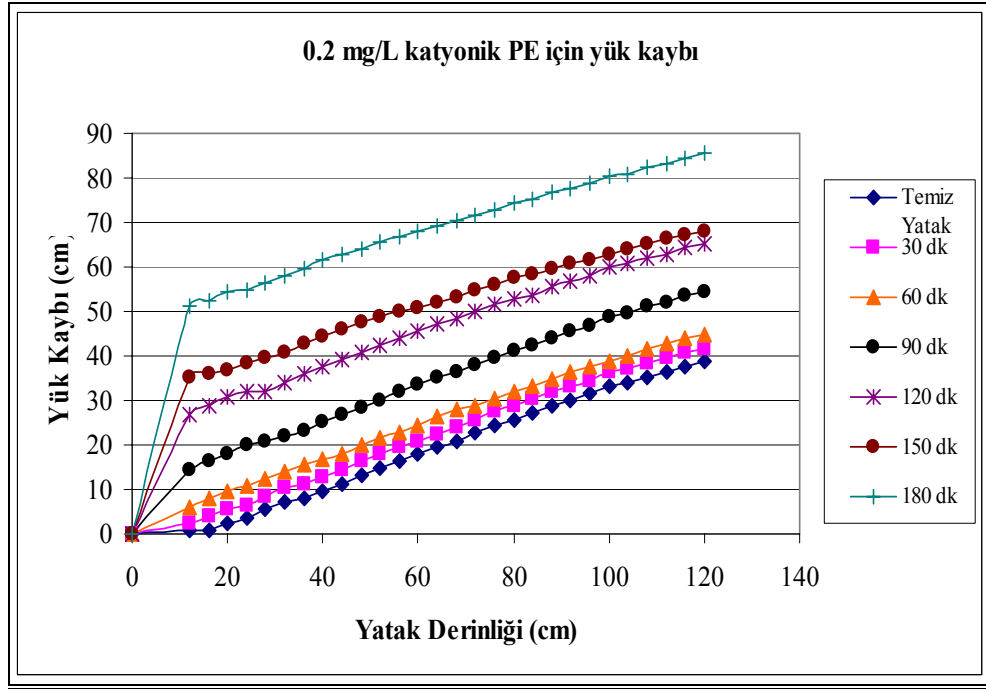
Şekil 5.1 Deney 1'e ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.1 mg/l katyonik PE dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.1 mg/l anyonik PE kullanılmıştır.



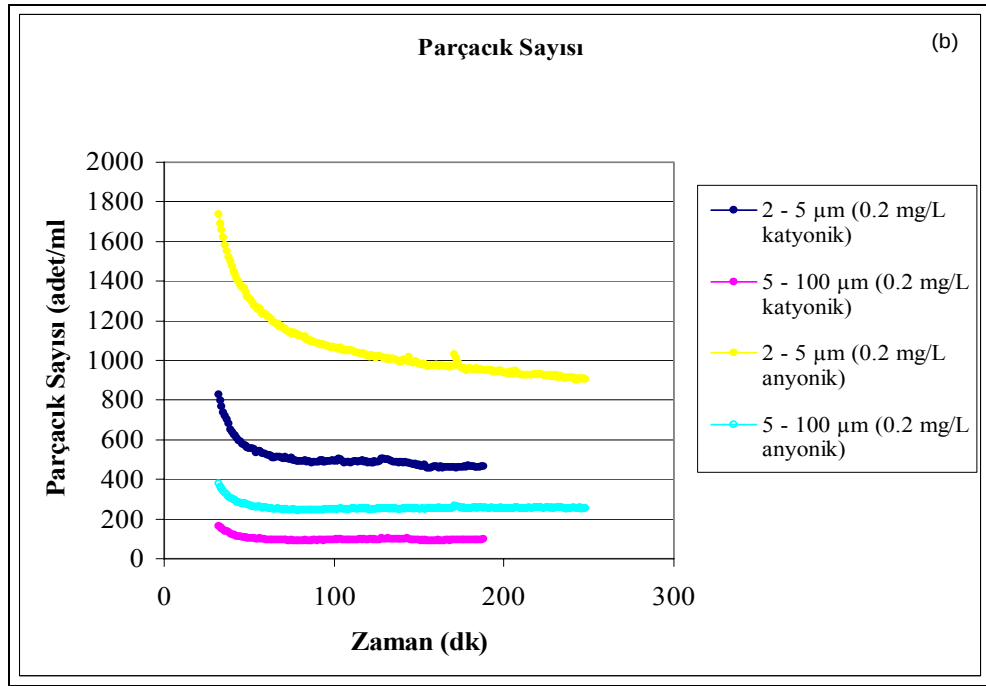
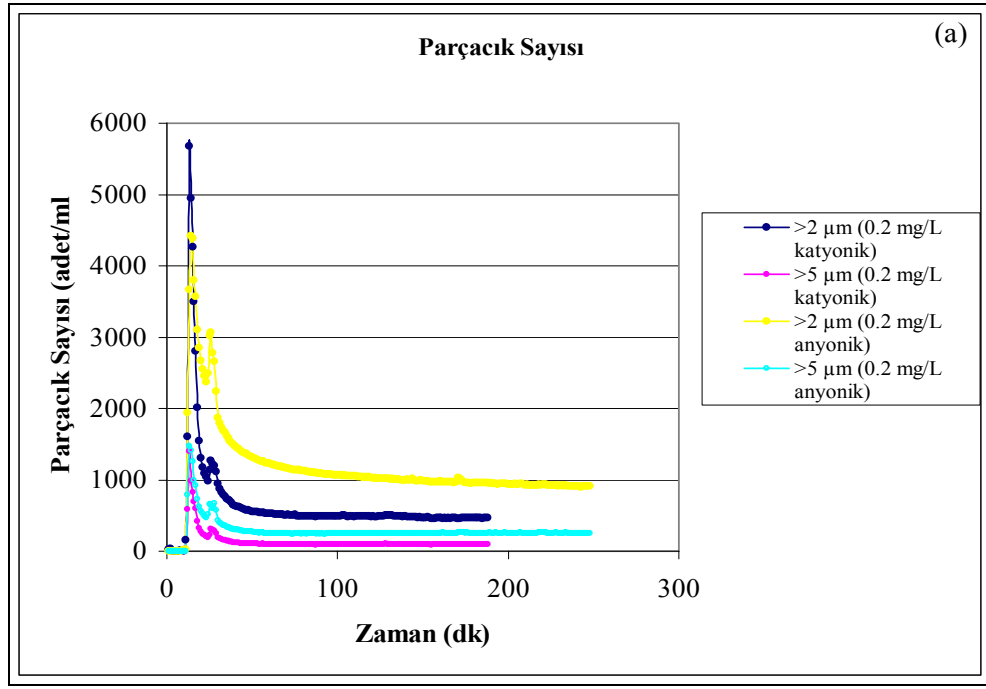


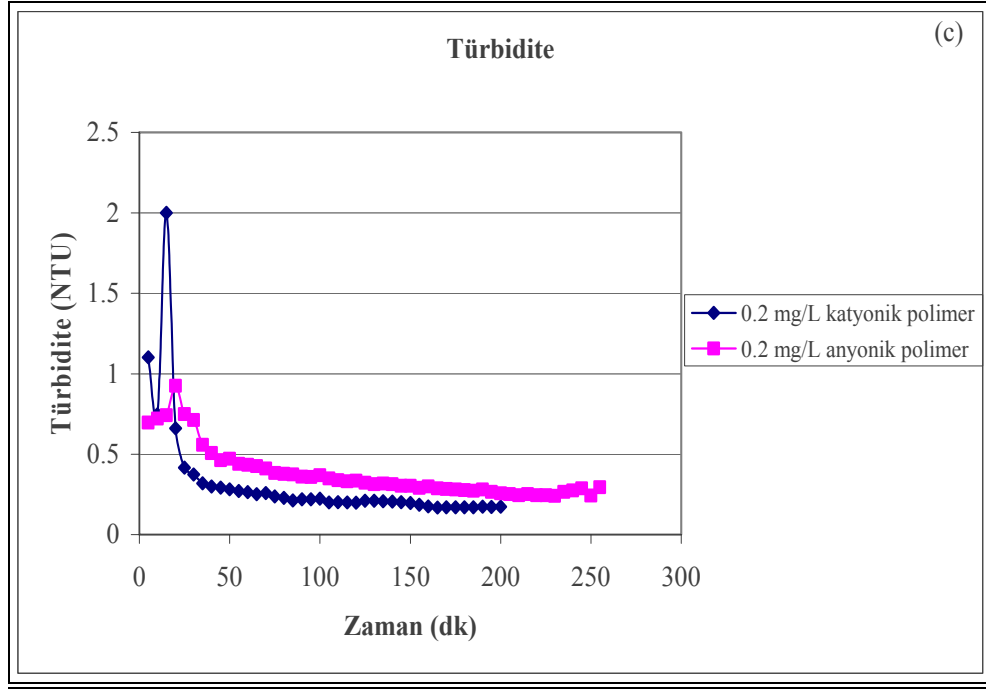
Şekil 5.2 Deney 1'a ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli (c).bulanıklık değişimleri

Deney 2



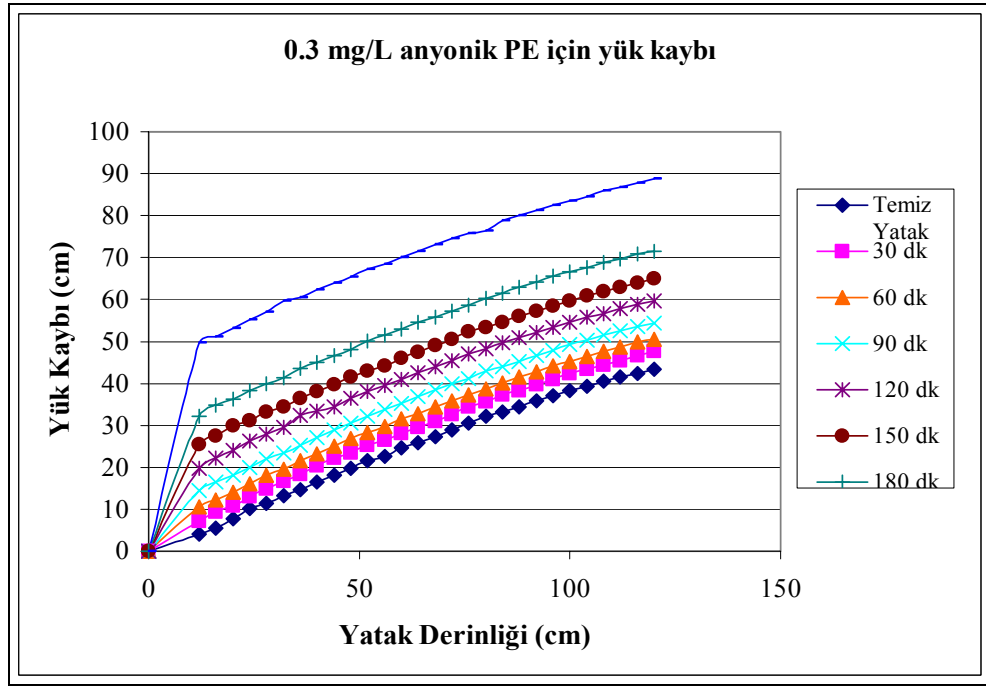
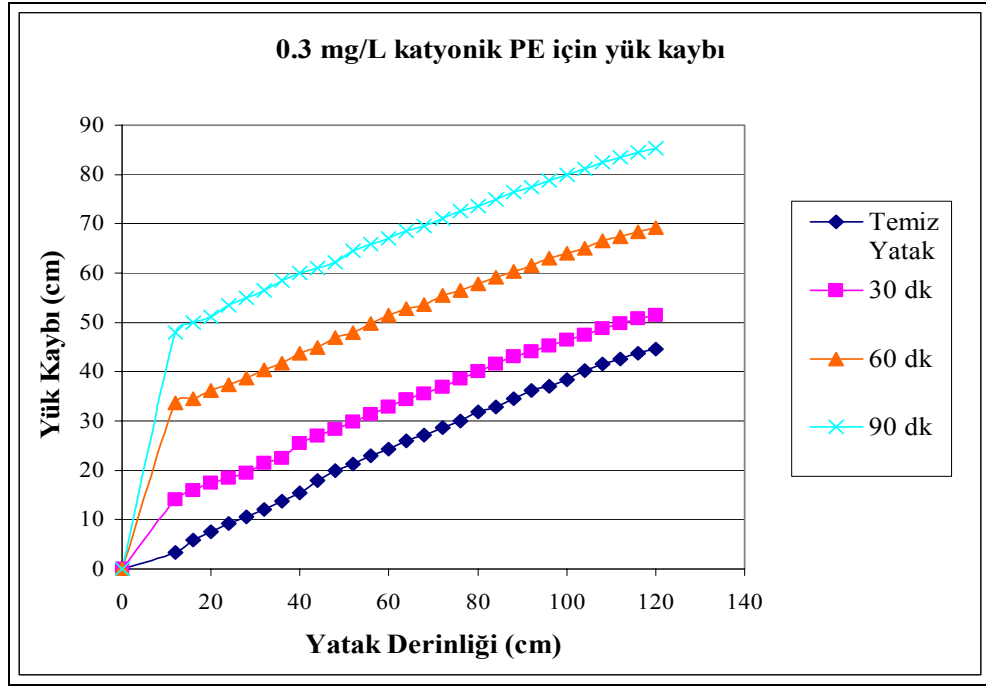
Şekil 5.3 Deney 2'ye ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.2 mg/l katyonik PE dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.2 mg/l anyonik PE kullanılmıştır.



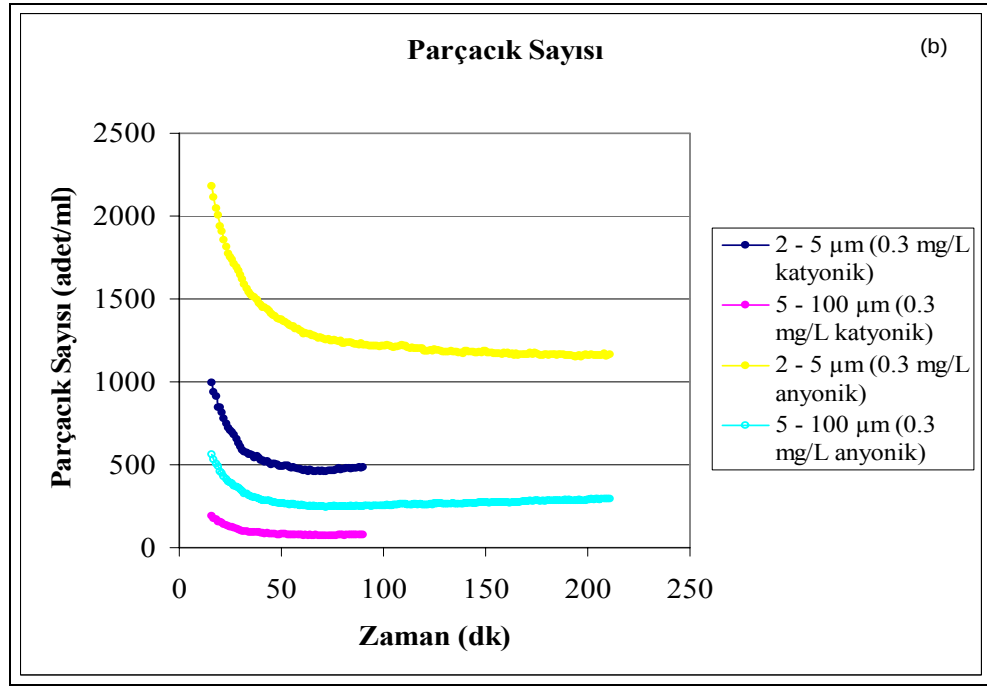
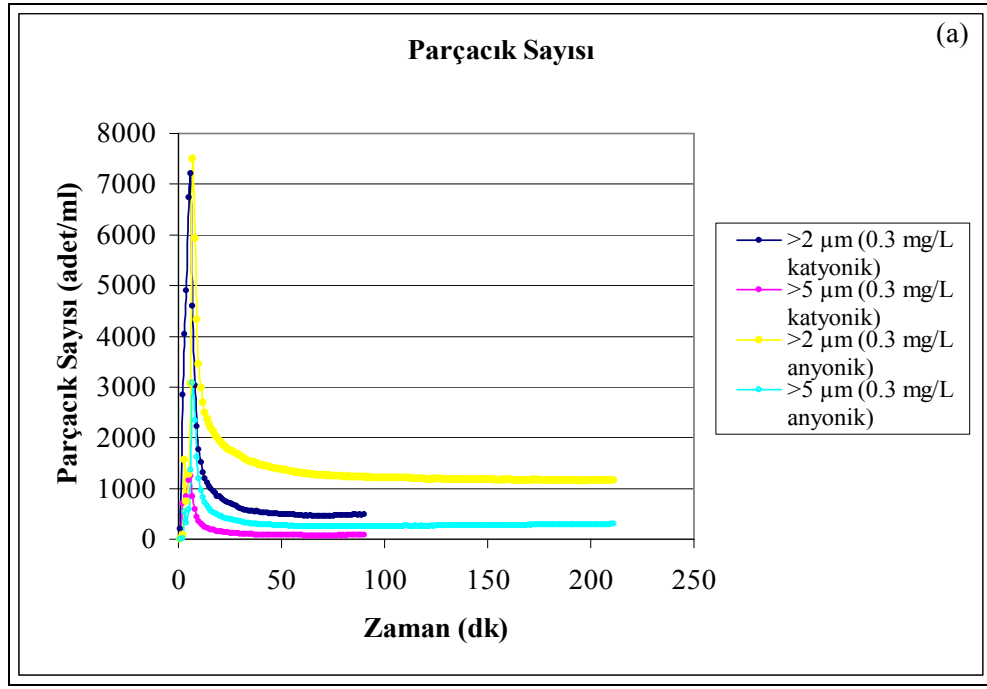


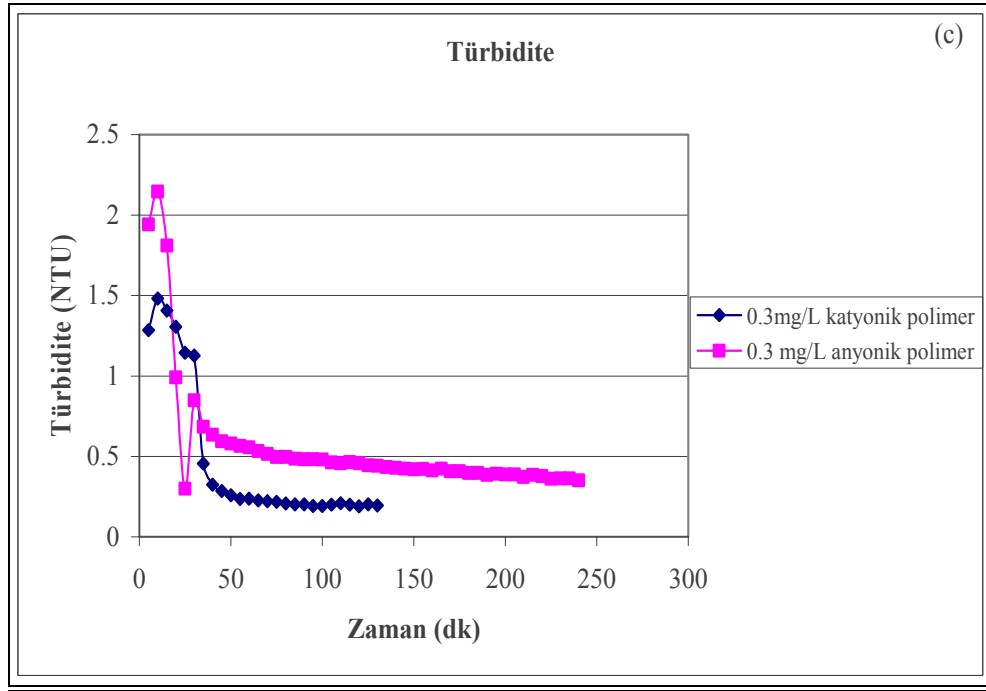
Şekil 5.4 Deney 2'ye ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli (c) bulanıklık değişimleri

Deney 3



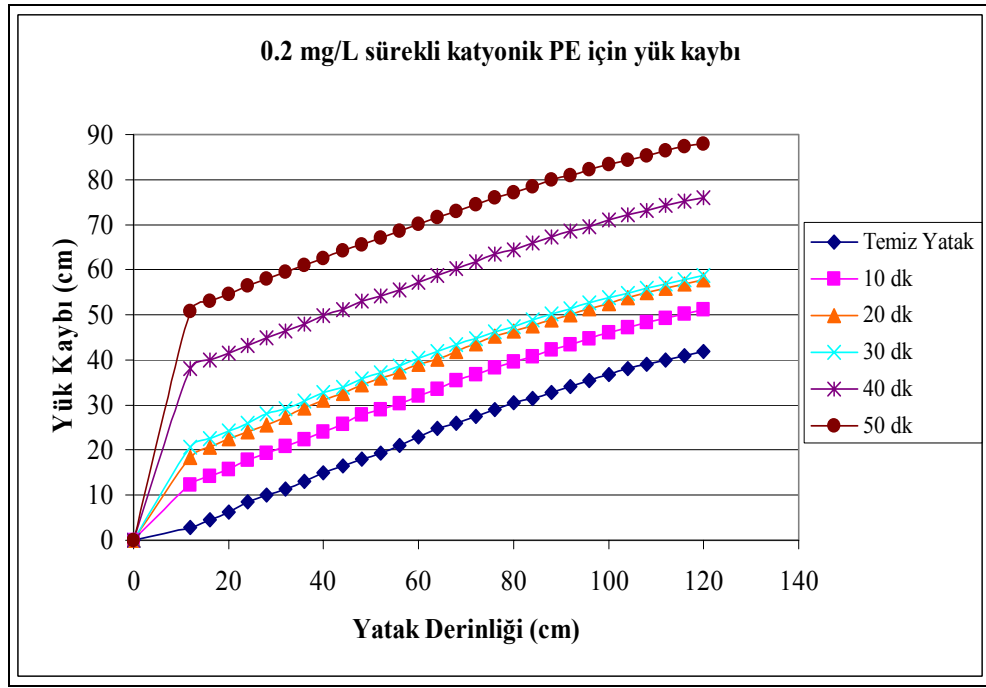
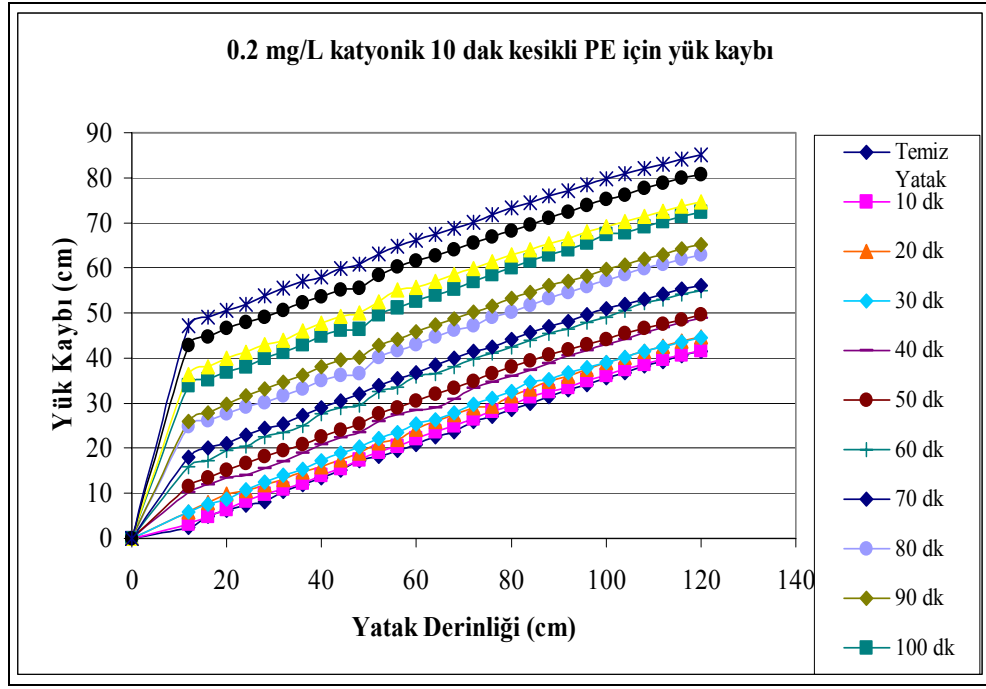
Şekil 5.5 Deney 3'e ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.3 mg/l katyonik PE dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.3 mg/l anyonik PE kullanılmıştır.



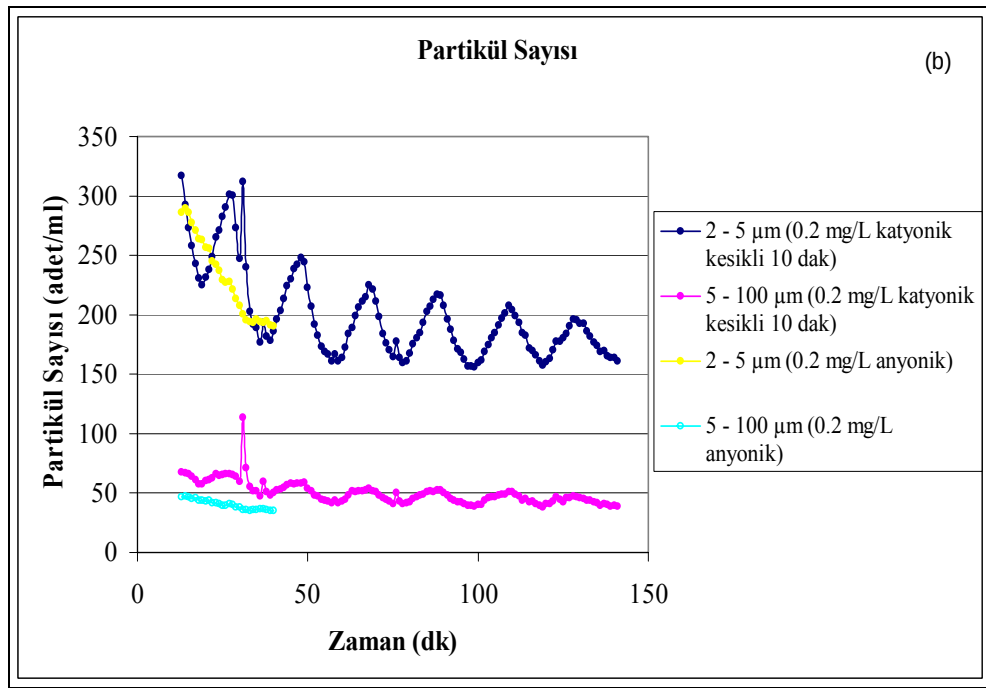
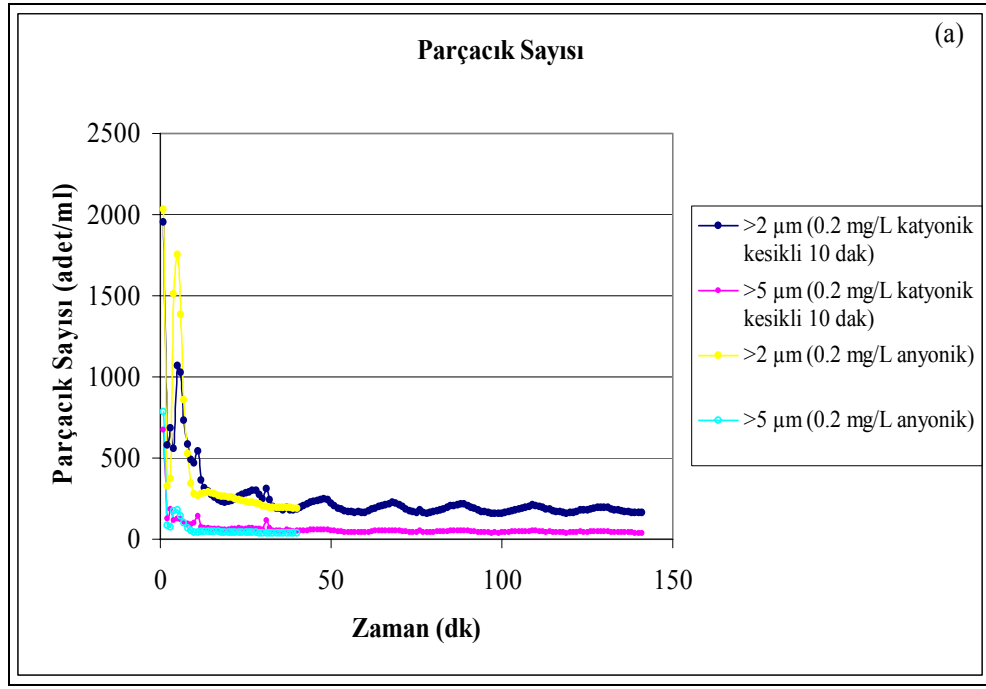


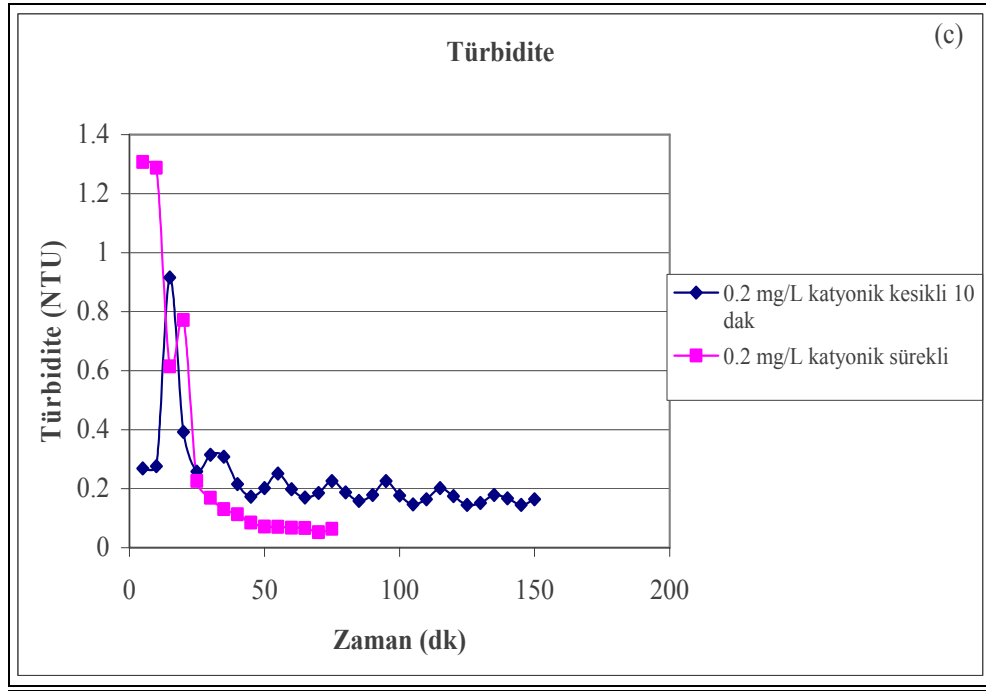
Şekil 5.6 Deney 3'e ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli , (c) bulanıklık değişimi.

Deney 4



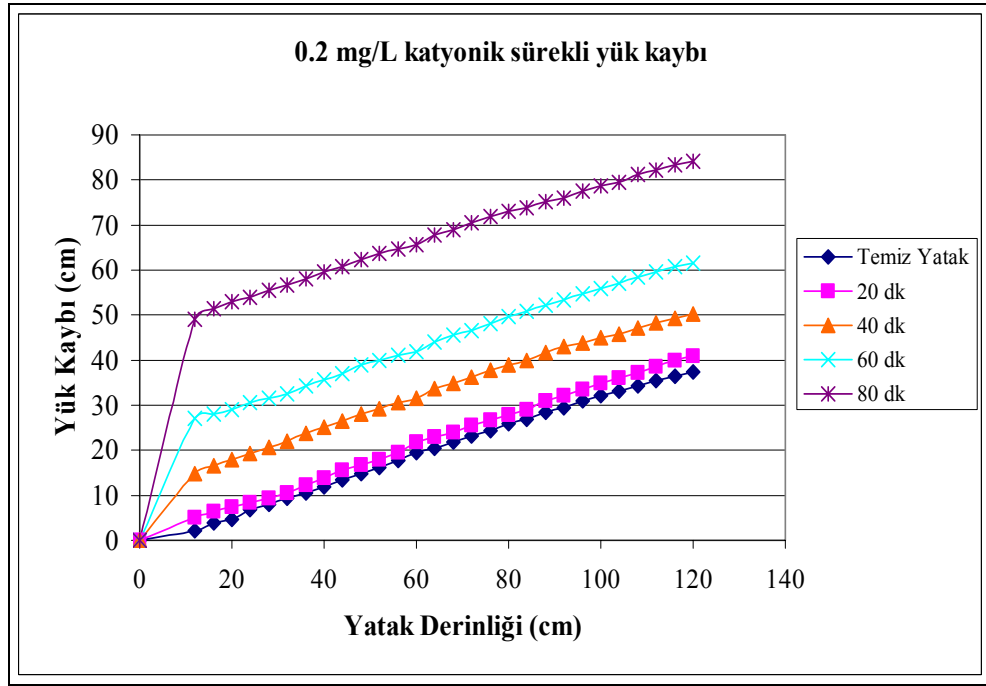
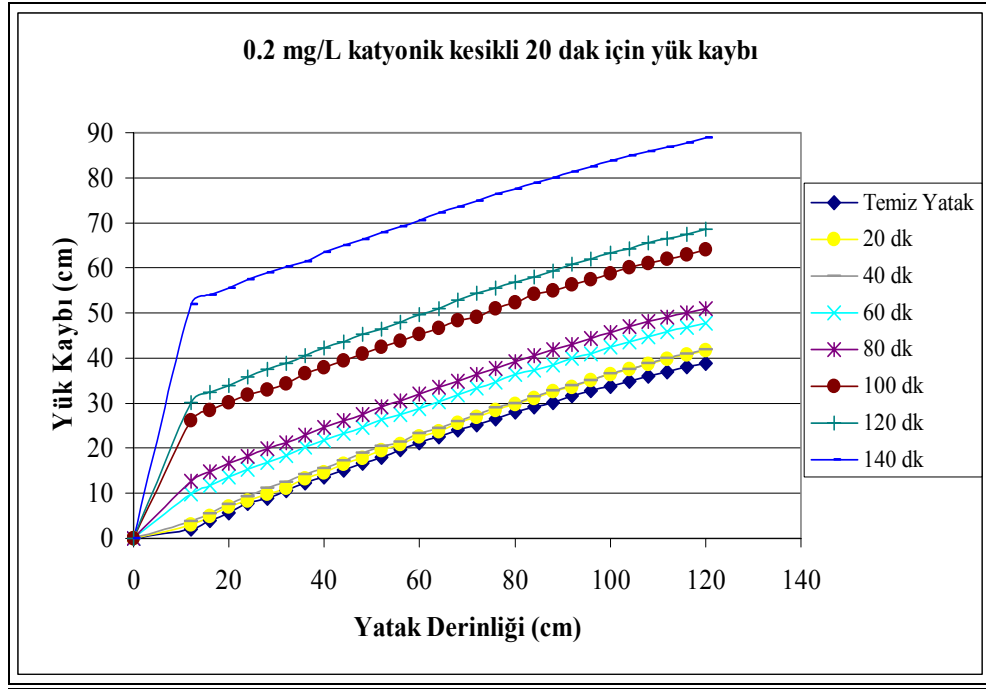
Şekil 5.7 Deney 4'e ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.2 mg/l katyonik PE, 10 dakikada bir 10 dakika süreyle kesikli olarak dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.2 mg/l katyonik PE filtre işletme süresi boyunca kullanılmıştır.



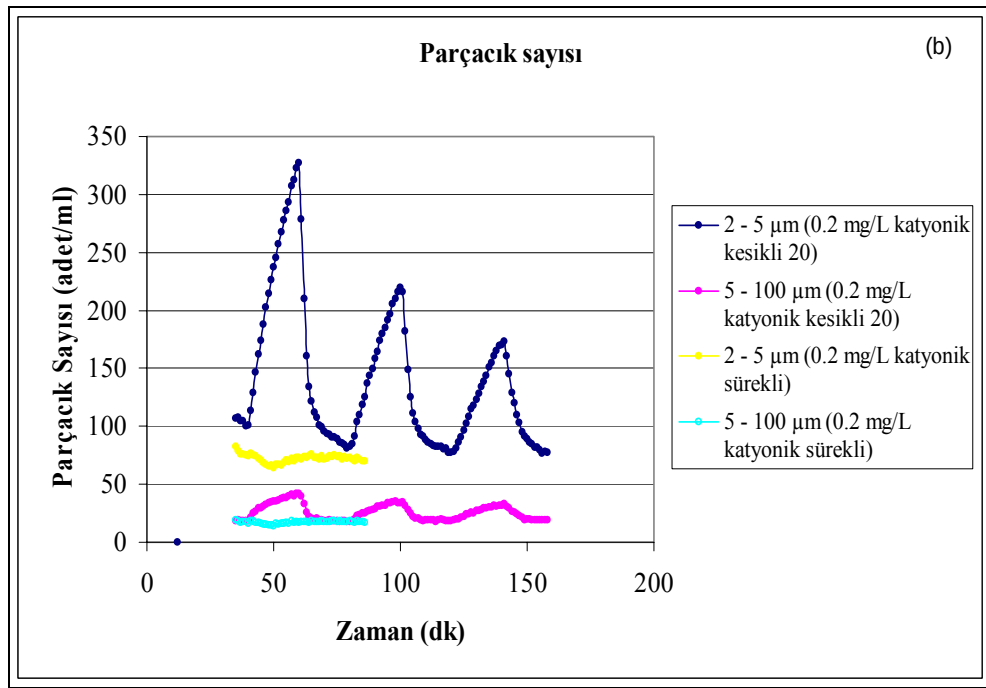
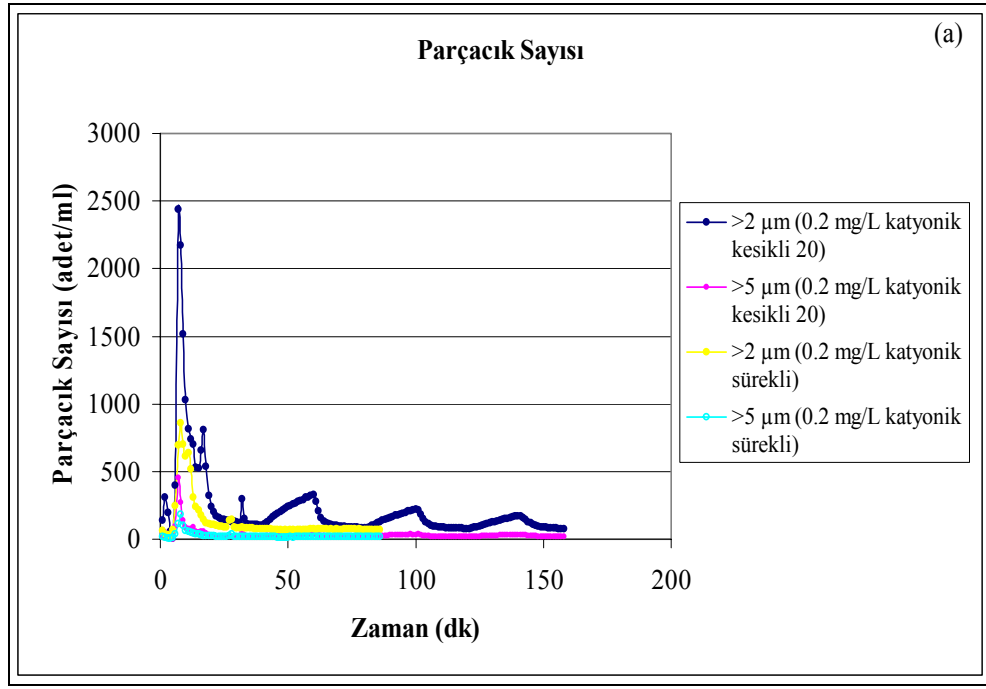


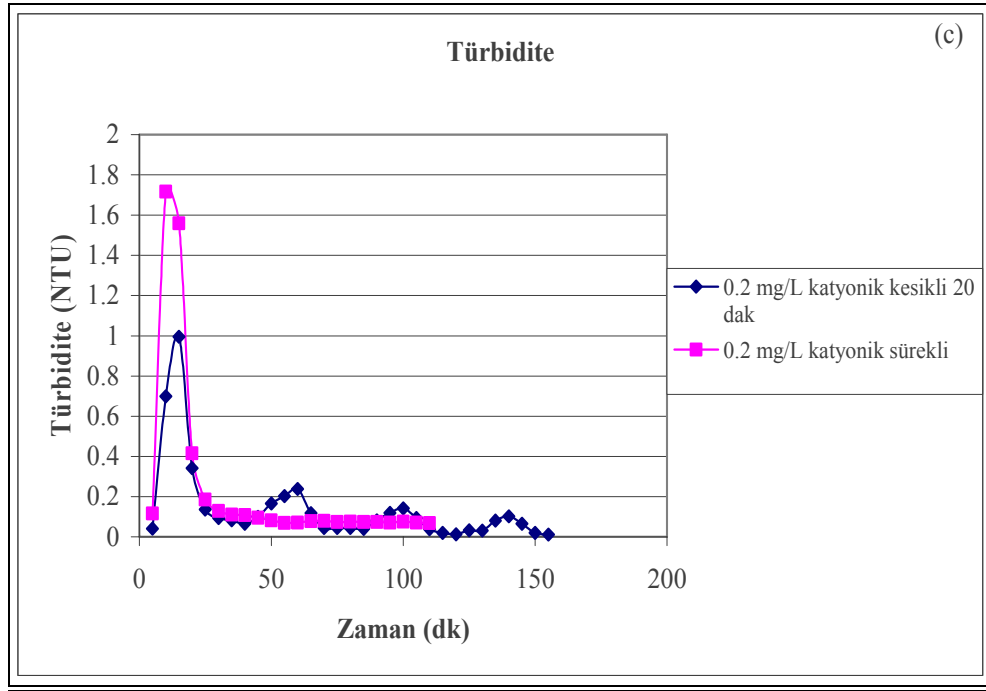
Şekil 5.8 Deney 4e ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli (c) bulanıklık değişimi.

Deney 5



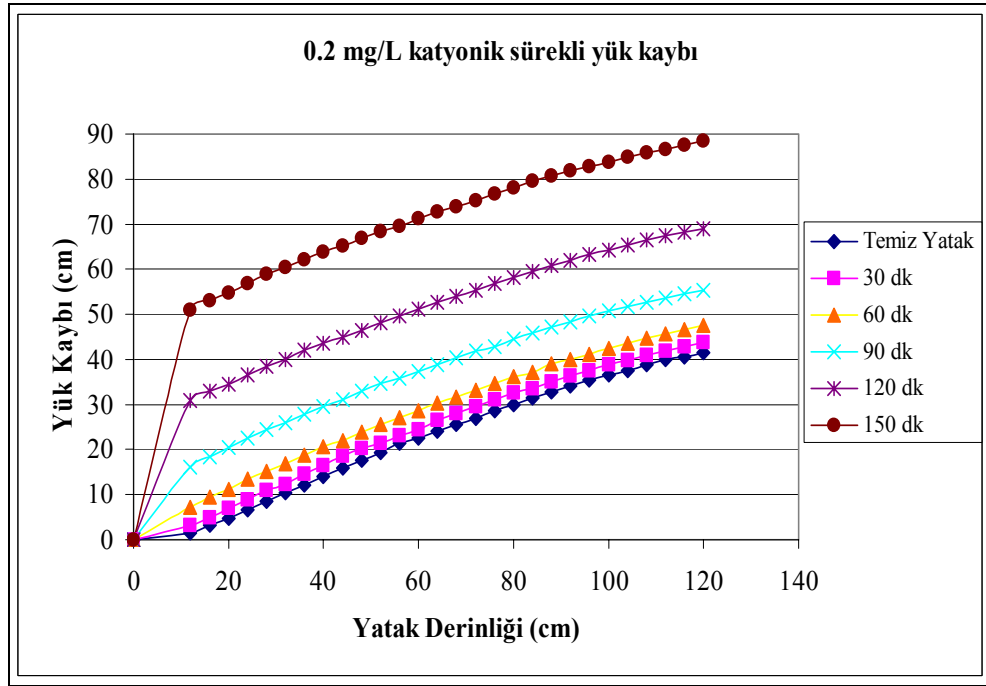
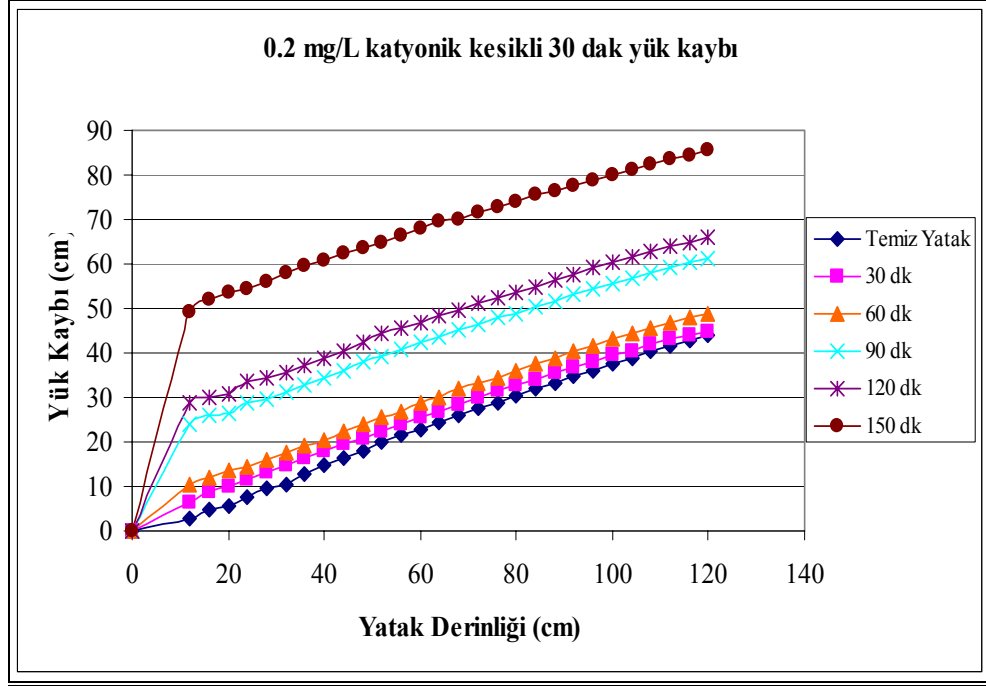
Şekil 5.9 Deney 5'e ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.2 mg/l katyonik PE, 20 dakikada bir 20 dakika süreyle kesikli olarak dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.2 mg/l katyonik PE filtre işletme süresi boyunca kullanılmıştır.



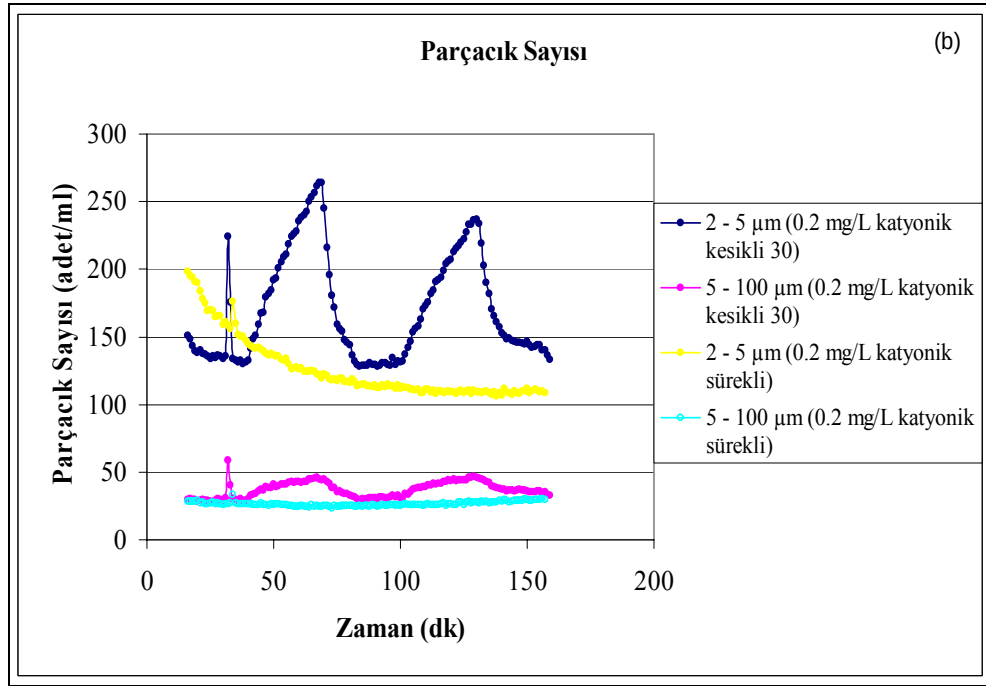
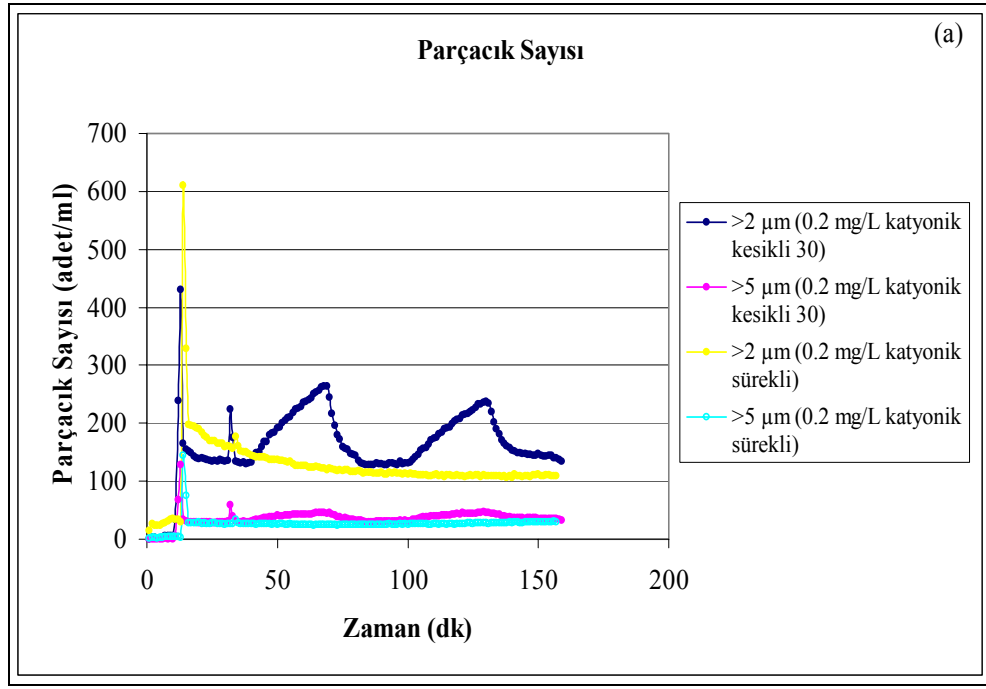


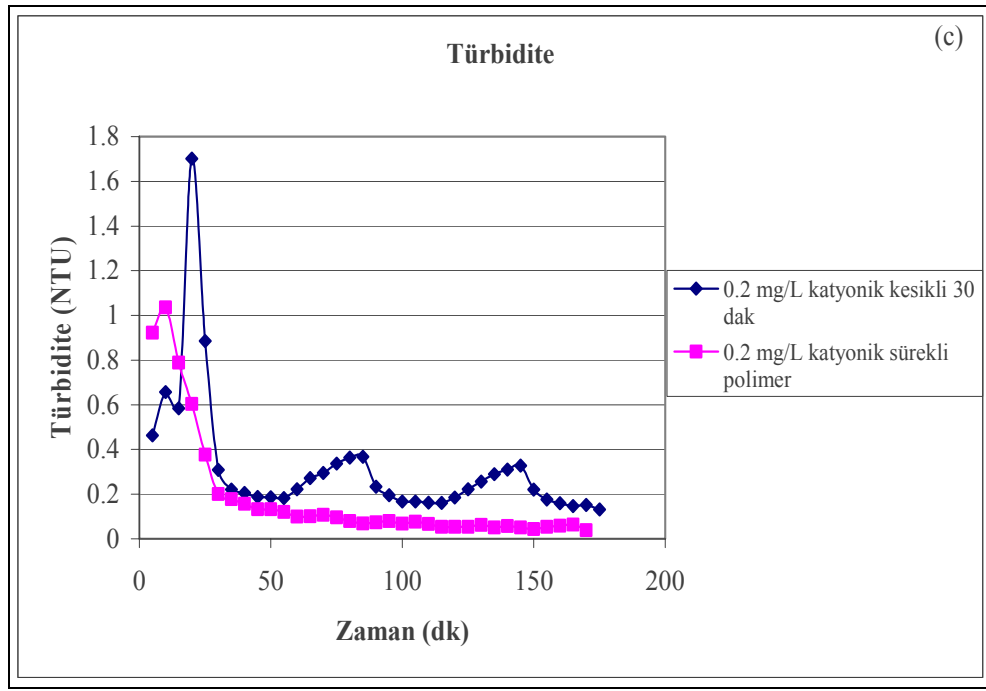
Şekil 5.10 Deney 5'e ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli , (c) bulanıklık değişimi.

Deney 6



Şekil 5.11 Deney 6'ya ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte 0.2 mg/l katyonik PE, 30 dakikada bir 30 dakika süreyle kesikli olarak dozlanırken, ikinci düzenekte ise 0.2 mg/l katyonik PE filtre işletme süresi boyunca kullanılmıştır.





Şekil 5.12 Deney 6'ya ait su kalitesindeki değişimler. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimi.

Tablo 5.4 Uygun polielektrolit tipinin ve dozunun belirlendiği deney şartları ve sonuçları

Deneyler		Polielektrolit		Bulanıklık (NTU)			Parçacık sayısı (adet/ml)						Filtrasyon Süresi (dk)
							>2µm			>5 µm			
		Katyonik (mg/l)	Anyonik (mg/l)	Ham Su	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su	Çıkış	Giderme Verimi (%)	
1	DI	0.1	-	5.47	0.30	94.5	6003	399	93.36	2105	82.61	96.08	150
	D2	-	0.1		0.26	95.2		666	88.90		143	93.22	180
2	DI	0.2	-		0.17	96.8		464	92.28		97.00	95.39	180
	D2	-	0.2		0.29	94.6		907	84.89		254	87.93	240
3	DI	0.3	-		0.20	96.4		485	91.91		78.14	96.29	90
	D2	-	0.3		0.35	93.6		1166	80.58		295	85.98	210

Tablo 5.5 Polielektrolitin kesikli olarak dozlandığı deneylerin şartları ve sonuçları

Deneyler			Polielektrolit		Bulanıklık (NTU)			Parçacık sayısı (adet/ml)						Filtrasyon Süresi (dk)
								>2µm			>5 µm			
			Katyonik (mg/l) (kesikli dozaj)	Katyonik (mg/l) (sürekli dozaj)	Ham Su	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su	Çıkış	Giderme Verimi (%)	
4	10 dk	DI	0.2	-	5	0.16	96.7	5971	161	97.32	2019	39	98.16	130
		D2	-	0.2		0.06	98.7		190	96.83		35	98.32	50
5	20 dk	DI	0.2	-		0.01	99.8		78	98.71		19	99.09	140
		D2	-	0.2		0.07	98.6		70	98.83		17	99.19	80
6	30 dk	DI	0.2	-		0.13	97.4		133	97.78		33	98.44	150
		D2	-	0.2		0.04	99.2		109	98.19		30	98.60	150

5.3. Yumaklaştırıcı Seçimi ile Seçilen Yumaklaştırıcının Sürekli ve Kesikli Olarak Dozlanmasının Filtre Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

1-6 no'lu deneylerde filtre öncesinde yumaklaştırıcı olarak polielektrolit (PE) kullanılmıştır. 1, 2 ve 3 no'lu deneylerde düzeneğin birinde anyonik PE kullanılırken, diğer düzenekte ise katyonik PE uygulanmıştır. Deneyler 0.1, 0.2 ve 0.3 mg/l dozlarla gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde PE tipi ve dozunun çalışmamızdaki filtrasyon verimi ve su kalitesine etkisi araştırılmıştır. Bu üç deneye ait yük kayıplarının gelişimleri Şekil 5.1, 5.3 ve 5.5'de gösterilmiş; sonuçlar toplu olarak Tablo 5.4 ve 5.5'de sunulmuştur. Genelde anyonik PE kullanılan filtre ömrünün daha uzun olduğu görülmüştür. Katyonik PE kullanılan filtre yatağı yüzeyinde katyonik polielektrolitin neden olduğu bir örtü oluşmaktadır. Buda filtredeki yük kaybının daha hızlı artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Yük kayıplarını arttıran bu oluşum geri yıkama sırasında daha net olarak fark edilebilmektedir (Şekil 5.13 ve 5.14). Buradaki yük kayıpları ve su kalitesi arasında bir bağlantı kurmak oldukça güçtür. Yapılan deneyler sonucu elde edilen verilere göre filtrasyon süresi açısından anyonik polielektrolit daha iyi olmasına karşın parçacık sayısı ve bulanıklık giderme verimi açısından katyonik PE'nin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür ayrıca ham su karakteristiklerine de bakıldığında negatif ZP değerlerine sahip ham suyun direkt filtrasyonunda deneylere 0.2 mg/l katyonik PE ile devam edilmesine karar verilmiştir.

PE'nin sürekli olarak dozlanması yük kayıplarını artırmakta ve dolayısıyla filtre ömrünü kısaltmaktadır. Kesikli olarak yapılan dozlama bu olumsuzlukların önüne geçebileceği gibi, PE tüketimini de azaltacaktır. 4, 5 ve 6 no'lu deneylerde katyonik PE kesikli olarak ilave edilmiştir. Düzeneğin birisinde deney süresi boyunca (filtre tıkanana kadar) katyonik PE dozlaması yapılırken, diğer düzenekte ise katyonik PE dozlaması belli bir süre gerçekleştirilmiş ve sonra belli bir süre kesilmiştir. Bu durum filtre tıkanana kadar bir döngü olarak devam etmiştir. Uygun doz ve kesikli dozlama süresini belirleyebilmek için 4, 5 ve 6 no'lu deneyler gerçekleştirilmiştir.

4 no'lu deneyde, kesikli uygulamadaki döngü 10 dakika olarak ayarlanmıştır. 10 dakika boyunca dozlama pompaları yardımıyla PE dozlanmış sonrasındaki 10 dakika dozlama kesilmiştir, sonrasında dozaj pompası tekrar çalıştırılarak 10 dakika daha dozlama yapılmıştır. Bu döngü filtre tıkanana kadar devam etmiştir. Su kalitesine ait parçacık sayısı ve bulanıklık ölçümleri sürekli takip edilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir. 10 dakikada bir yük kaybı ölçümü yapılmıştır. Yük kayıplarının gelişimi Şekil 5.7'de görülmektedir.

5 no'lu deneyde, kesikli uygulamadaki döngü 20 dakika olarak ayarlanmıştır. 20 dakika katyonik PE dozlanmış sonrasındaki 20 dakika dozlama kesilmiştir, sonrasında dozaj pompası tekrar çalıştırılarak 20 dakika dozlama yapılmıştır. Bu döngü filtre tıkanana kadar devam etmiştir. Su kalitesine ait parçacık sayısı ve bulanıklık ölçümleri sürekli takip edilmiş ve bilgisayarda kaydedilmiştir. 20 dakikada bir yük kaybı ölçümü yapılmıştır. Yük kayıplarının gelişimi Şekil 5.9'da görülmektedir. Kesikli dozlamanın yapıldığı şekilden de görülmektedir ki; dozlama yapılan aralıkta yük kaybı eğrileri birbirinden uzaklaşmakta, dozlama kesildiğinde bu eğriler birbirine yakınlaşmakta yani yük kaybı daha yavaş artmaktadır. Kesikli sistemde filtre ömrü 140 dakika iken, sürekli sistemde 80 dakika olmuştur. 5 NTU bulanıklığa sahip ham suyun bulanıklığı bu deneyde kesikli ve sürekli sistemde sırasıyla 0.01 ve 0.07 NTU'ya kadar düşürülmüştür. Parçacık giderimin de de %99'a varan verimler elde edilmiştir.

6 no'lu deneyde, kesikli uygulamadaki döngü 30 dakika olarak ayarlanmıştır. 30 dakika katyonik PE dozlanmış sonrasındaki 30 dakika dozlama kesilmiştir, sonrasında dozaj pompası tekrar çalıştırılarak 30 dakika dozlama yapılmıştır. Bu döngü filtre tıkanana kadar devam etmiştir. Su kalitesine ait parçacık sayısı ve bulanıklık ölçümleri sürekli takip edilmiş ve bilgisayarda kaydedilmiştir. 30 dakikada bir yük kaybı ölçümü yapılmıştır. Kesikli ve sürekli sistem filtrasyon süreleri aynı olup 150 dakikadır. Sürekli dozajda 0.1 NTU'nun altına inilebilmiştir.

5.4 Katyonik Polielektrolitin Sürekli Dozlama Yerinin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

7 – 17 ‘no’lu 11 tane deneyde filtre öncesinde yumaklaştırıcı olarak katyonik polielektrolit (PE) kullanılmıştır. 7, 8 ve 9 no’lu deneylerde filtrelerin birine filtreyi besleyen su hattından diğerine ise filtre yatağı derinliği boyunca 20, 60 ve 100. cm’lerdeki 5, 15 ve 25 no’lu dozlama noktalarından filtre yatağının içine olacak şekilde sürekli dozlama yapılmıştır.

7 no’lu deneyde filtreyi besleyen su hattı üzerinden yapılan PE dozlaması ile filtre yatağı üzerindeki 25 no’lu noktadan dozlama pompaları yardımıyla sürekli PE dozlamasının çıkış suyu verimi üzerine etkisi karşılaştırılmıştır. Filtreyi besleyen su hattı üzerinden yapılan sürekli dozlama da filtrasyon süresi 180 dakika sürerken çıkış suyu bulanıklığı da 0,19 NTU olarak ölçülmüştür. Filtre yatağı üzerindeki 25 no’lu noktadan yapılan sürekli dozlama da ise filtrasyon süresi 1110 dakika sürmüştür çıkış bulanıklığı ise ancak 1,02 ye inmiştir. Bu deney yatak içerisine yapılan dozlamamanın filtrasyon süresi açısından filtreyi besleyen su hattından yapılan dozlamaya göre 7,5 kat daha iyi bir sonuç vermesi açısından önemlidir. Fakat çıkış suyu bulanıklık değeri istenilen seviyelere çekilememiş olsa da filtre boyunca seçilmiş olan 5 ve 15 no’lu dozlama noktalarının da denenmesi ve dozlama debisinin yarıya bölünerek farklı noktalardan da dozlama yapılması konusunda fikir verici olmuştur.

7 no’lu deney sonucu dikkate alınarak; sadece filtreyi besleyen su hattı üzerinden yapılan sürekli dozlama ile filtre yatağı üzerindeki 15 ve 5 no’lu noktalardan yapılan sürekli dozlamaların karşılaştırılması 8 ve 9 no’lu deneylerde yapılmış ve sırasıyla şu değerler elde edilmiştir.

8 no'lu deneyde filtre yatağı üzerinde bulunan 15 no'lu noktadan yapılan dozlama da filtrasyon süresi 1350 dakika olarak çıkış suyu bulanıklığı ise 0,91 NTU olarak belirlenmiştir.

9 no'lu deneyde ise yine filtre yatağı üzerindeki 5 no'lu noktadan yapılan dozlama da filtrasyon süresi 1050 dakika sürerken çıkış suyu bulanıklığı 1,54 NTU olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlar ışığında yatak üzerinde yapılan dozlamalar da en iyi sonuç veren nokta 15 no'lu nokta yani filtre yatağının orta noktasındaki 60. cm deki nokta olarak belirlenmiştir. Ayrıca filtreyi besleyen su hattından yapılan dozlama da katyonik polimerden kaynaklanan ve filtre kumunun üst yüzeyinde oluşan ve filtrenin çabuk tıkanmasına neden olan tabakalaşma, filtre yatağının içine 5, 15 ve 25 no'lu dozlama noktalarından yapılan dozlamalar da bu tabakalaşmanın dozlama yapılan noktalarda dahil olmak üzere filtrenin hiçbir bölgesinde oluşmadığı görülmüştür. Böylece filtrasyon süresinin uzamasını sağlanmıştır.

7, 8 ve 9 no'lu deneylerde yatak içine yapılan sürekli dozlamanın filtrasyon süresi açısından çok iyi sonuçlar vermesine rağmen bulanıklık ve parçacık madde sayısı değerlerinin istenilen seviyelere gelmediği görülmüştür. Buna karşın filtreyi besleyen su hattından yapılan dozlama da ise hem bulanıklık hem de parçacık sayıları açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.13 Katyonik polimer kullanılan filtrede geri yıkama başlangıcında filtre yüzeyinin tabaka şeklinde yerinden ayrılmaya başlaması



Şekil 5.14 Katyonik polimer kullanılan filtrede geri yıkamanın filtre yüzeyini tabaka şeklinde yerinden ayırması

Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak yapılan 10, 11, 12 ve 13 no'lu deneylerde sürekli dozlanan polielektrolit debisi dozlama pompaları yardımıyla 2'ye ve 3'e bölünmüştür. Dozlama debisinin 2 ye bölündüğü 10 ve 11 no'lu deneylerde dozlama debisinin bir yarısı dozlama pompaları vasıtasıyla filtreyi besleyen su hattından verilirken diğer yarısı da sırasıyla filtre yatağındaki 5, 15, 25 no'lu dozlama

noktalarından verilerek bu noktaların filtreyi besleyen su hattı ile birlikte kullanıldıklarında birbirleri arasındaki verimleri incelenmiştir. 10 no'lu deneyde filtreyi besleyen su hattı ile beraber sürekli dozlamamanın yapıldığı 15 ve 25 no'lu dozlama noktaları karşılaştırılmıştır. 11 no'lu deneyde ise hat ve 15 no'lu nokta ile hat ve 5 no'lu nokta karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada en iyi sonucu filtreyi besleyen su hattından yapılan dozlama ile yatak içine 15 no'lu noktadan birlikte yapılan dozlama vermiştir. Hem filtrasyon süresi olarak hem de çıkış suyu bulanıklık giderim verimi olarak hat ve 15 no'lu noktadan yapılan dozlama en iyi sonucu vermiştir.

Yapılan bu iki deneyde daha önce filtreyi besleyen su hattı üzerinden dozlama yapılan deneylere göre çıkış suyu bulanıklığı ve parçacık sayısı açısından daha iyi bir verim elde edilmiştir. Ayrıca filtrasyon süresinde filtreyi besleyen su hattı üzerinden dozlama yapılan deneye göre artışlar görülmüştür. Ayrıca yapılan bu deneylerde filtre kumunun üzerinde katyonik polielektrolitin neden olduğu tabakalaşmanın giderildiği de görülmüştür.

12 no'lu deneyde de filtreyi besleyen su hattından yapılan sürekli dozlama ile beraber yatağının içine sürekli dozlanan polielektrolit çözeltisi debisinin dozlama pompaları vasıtasıyla ikiye bölünerek yatak içindeki iki ayrı nokta üzerinde uygulanması denenmiştir. Bunun için yatağın içine yapılan dozlama da 5 ve 15 no'lu noktalar ile 15 ve 25 no'lu noktaların karşılaştırılması yapılmıştır ve sonuç olarak filtreyi besleyen su hattından yapılan dozlama ile beraber 5 ve 15 no'lu noktadan yapılan deneyde bulanıklık ve parçacık sonuçları hat ile 15 ve 25 no'lu noktaya göre daha iyi çıkarken filtrasyon süresi olarak yarım saat daha kısa sürdüğü gözlenmiştir.

13 no'lu deneyde ise filtreyi besleyen su hattından yapılan sürekli dozlama ile filtre yatağı üzerinden seçilen 5, 15 ve 25 no'lu 3 nokta üzerinden aynı anda yapılan sürekli dozlanma karşılaştırılmıştır. Burada dozlama debisi 3 bölünerek 3 noktaya da dozlama pompaları yardımı ile eşit şekilde dağıtılmıştır. Yapılan deney sonucu 5 + 15 + 25 no'lu noktalardan yapılan sürekli dozlama da filtrasyon işlemi 1080. dakika

da depodaki suyun bitmesi sonucu durdurulmuştur. Fakat yük kayıplarındaki artış hızının sabitliğine bakıldığında filtrasyon süresinin yaklaşık 1950. dakikaya kadar sürebileceği hesap edilmiştir. Bu deney de 1080. dakikada ki çıkış suyu bulanıklık değeri 0.86 NTU olarak ölçülmüştür. Filtrasyon süresi iyi olmasına rağmen çıkış suyu bulanıklığında istenilen değerlere ulaşılamamıştır.

14 no'lu deneyde ise 11 ve 12 no'lu deneylerde en iyi sonucu veren hat + 15 no'lu noktadan sürekli dozlama şekli bu seferde polielektrolit çözeltisinin konsantrasyonunu artırarak denenmiştir. Bunun için 0,3 ve 0,4 mg/l 'lik iki ayrı polielektrolit çözeltisi hazırlanmıştır. Filtrenin birine hat + 15 no'lu dozlama noktasından 0,3 mg/l 'lik polielektrolit çözeltisi diğerine de yine hat + 15 no'lu noktadan 0,4 mg/l 'lik polielektrolit çözeltisi sürekli olarak dozlanmıştır. Karşılaştırılan her iki düzenekte filtrasyon süreleri eşit olurken 0,3 mg/l ' ile yapılan deneyde çıkış suyu bulanıklık değeri 0,14 NTU 0,4 mg/l 'ile yapılan deneyde ise 0,37 NTU olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere doz artırımı filtrasyon süresinde düşüşe neden olmuştur. Ayrıca 0,4 mg/l dozaj konsantrasyonunda çıkış suyu bulanıklık değerinin artışa geçtiği görüldü.

5.5 Katyonik Polielektrolitin Kesikli Dozlama Yerinin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Şimdiye kadar yapılan 7 den 14 e kadar olan deneylerde filtre yatağına polielektrolit sürekli olarak dozlanmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Deney 15 ve 16 da ise daha önce ki yapılan deneylerde en iyi sonucu veren dozlama noktası (hat + 15) seçilmiş ve bu nokta üzerinden 10, 20 ve 30 dakika da bir kesikli dozlamının yapıldığı deneylere geçilmiştir. Kesikli deneylerde, Filtreyi besleyen su hattı üzerinden ve filtre yatağı üzerindeki 15 no'lu noktadan birlikte verilen polielektrolit çözeltisi sırasıyla 10, 20 ve 30 dakikada bir kesilip bu süreler sonunda tekrar dozlamaya başlanmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bu işlem filtreler tıkanıncaya kadar devam etmiştir. Yapılan bu deneyler sonucu en iyi sonucu veren deney ise ç

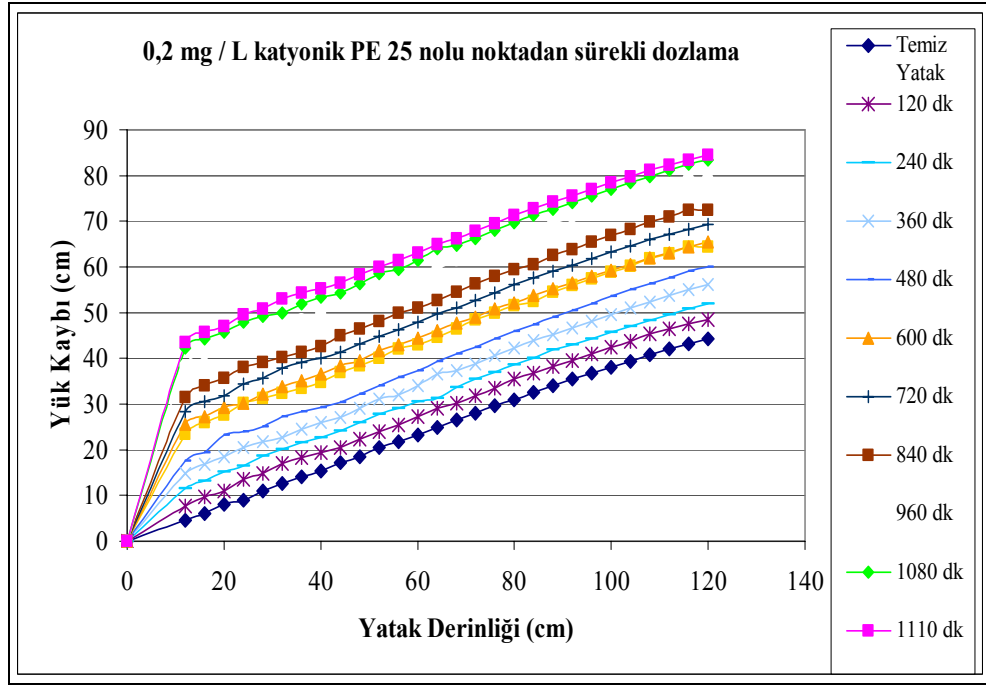
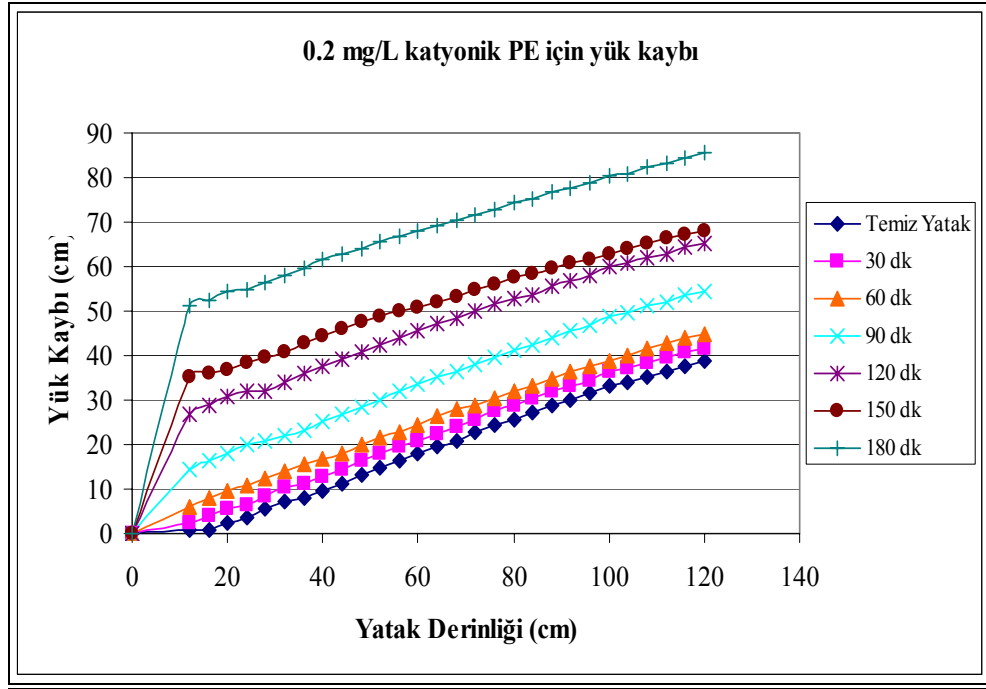
0,48 NTU çıkış suyu bulanıklığı ve 270 dakika filtrasyon süresi ile hat + 15 no'lu dozlama noktasından 30 dakikada bir yapılan dozlama da elde edilmiştir. Yapılan bu kesikli deneylerin sonuçları sürekli deneylerle kıyas edildiğinde hat + 15 no'lu noktadan yapılan 10 ve 11 no'lu sürekli dozlama deney sonuçlarının hem filtrasyon süresi açısından hem de çıkış suyu bulanıklık değeri açısından kesikli sisteme göre daha iyi olduğu görülmüştür.

5.6 Katyonik Polielektrolitin Yarı Kesikli Dozlama Yerin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

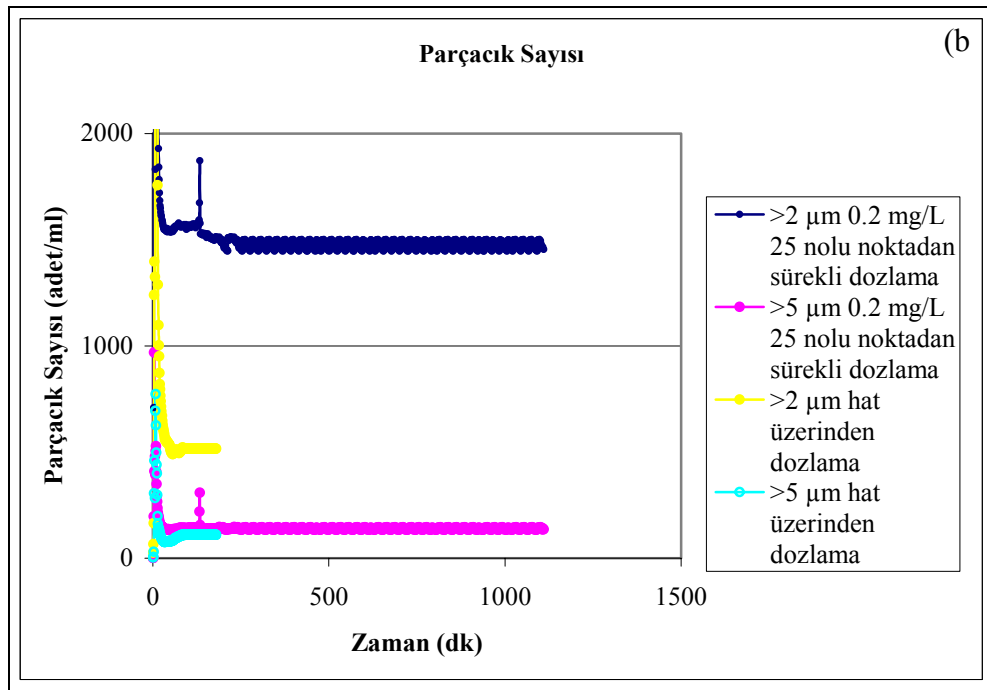
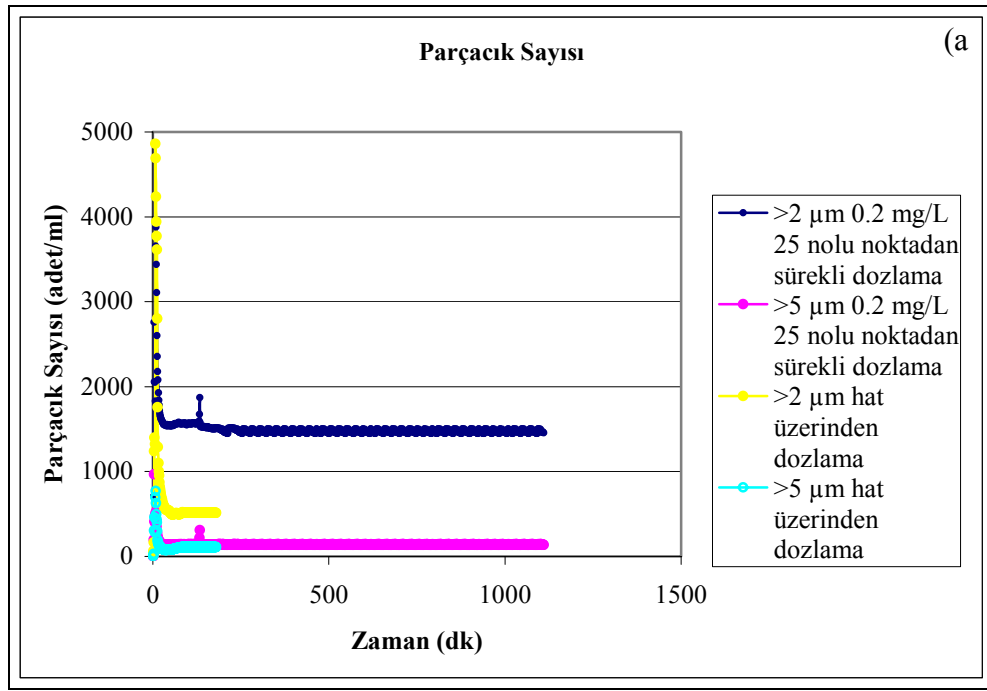
Bu deneyde sisteminde ise, 15 ve 16 no'lu deneyde yapılan kesikli dozlama da en iyi sonucu veren iki süre olan 20 ve 30 dakika kesikli dozlama sürelerinin yarı kesikli olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada düzeneklerden birine 20 dakika süreyle filtreyi besleyen su hattından 3 mg/l 'lik dozlama debisi ile dozlama yapılmış 20 dakika sonunda ise bu noktadan yapılan dozlama kesilip filtre yatağı üzerindeki 15 no'lu noktadan yine 3 mg/l dozlama debisiyle dozlama yapılmaya başlanmıştır. 15 no'lu noktadan da 20 dakika dozlama yapıldıktan sonra tekrar hat üzerinden aynı dozlama debisiyle dozlamaya geçilmiştir. Bu döngü filtre tıkanıncaya kadar devam etmiştir. Diğer düzenekte de benzer şekilde 30 dakika da bir olacak şekilde dozlama filtre tıkanıncaya kadar devam etmiştir. Bu deney sonucu çıkış suyu bulanıklık değeri 20 dakikada bir yarı kesikli dozlama yapılan deneyde 0,16 NTU olurken 30 dakikada bir yapılan deneyde ise 0,23 NTU olarak belirlenmiştir. Filtrasyon süreleri ise 20 dakikada bir dozlama yapılan yarı kesikli deneyde 140 dakika sürerken 30 dakikada bir dozlama yapılan yarı kesikli deneyde ise 150 dakika sürmüştür. Her iki sisteminde hem giderim verimleri hem de filtrasyon süreleri birbirlerine çok yakın çıktığı için birbirlerine karşı avantajları hakkında kesin bir sonuç elde edilememiştir. Fakat tüketilen kimyasal miktarı ve bunun ekonomisi göz önüne alınırsa 20 dakikada bir yapılan dozlama da 4 L kimyasal harcanırken 30 dakikada bir yapılan dozlama da 4,5 L kimyasal harcanmıştır. Ayrıca 20 dakikalık yarı kesikli dozlama da daha az kimyasal harcanmasına karşın çıkış suyu bulanıklık değerinin daha iyi olması diğer sisteme göre bir avantaj olarak görülebilir.

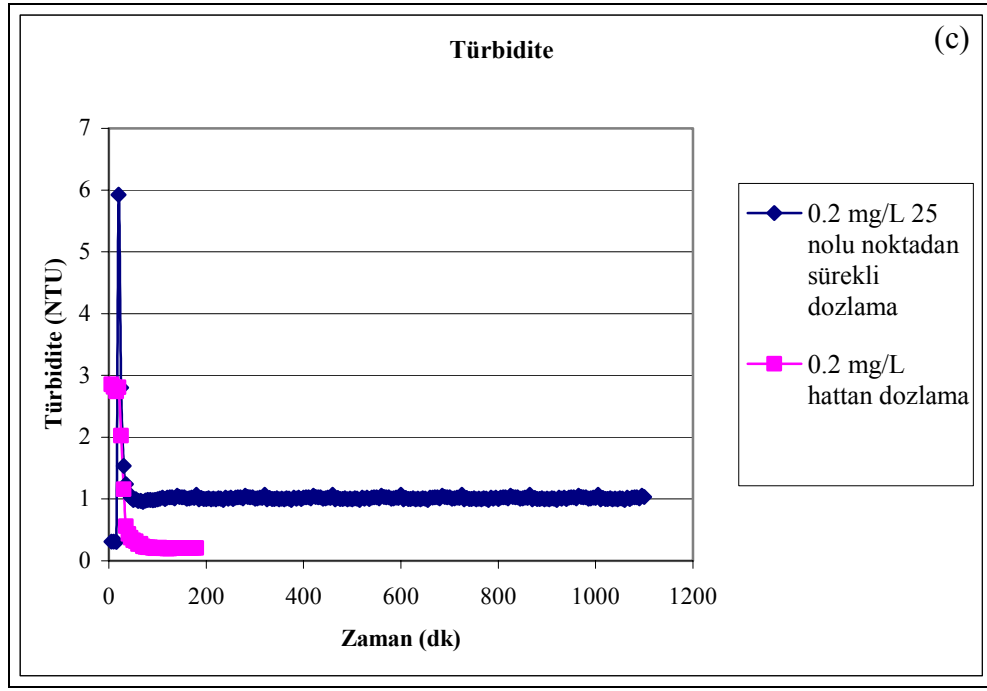
5.7 Deney Grafikleri

Deney 7



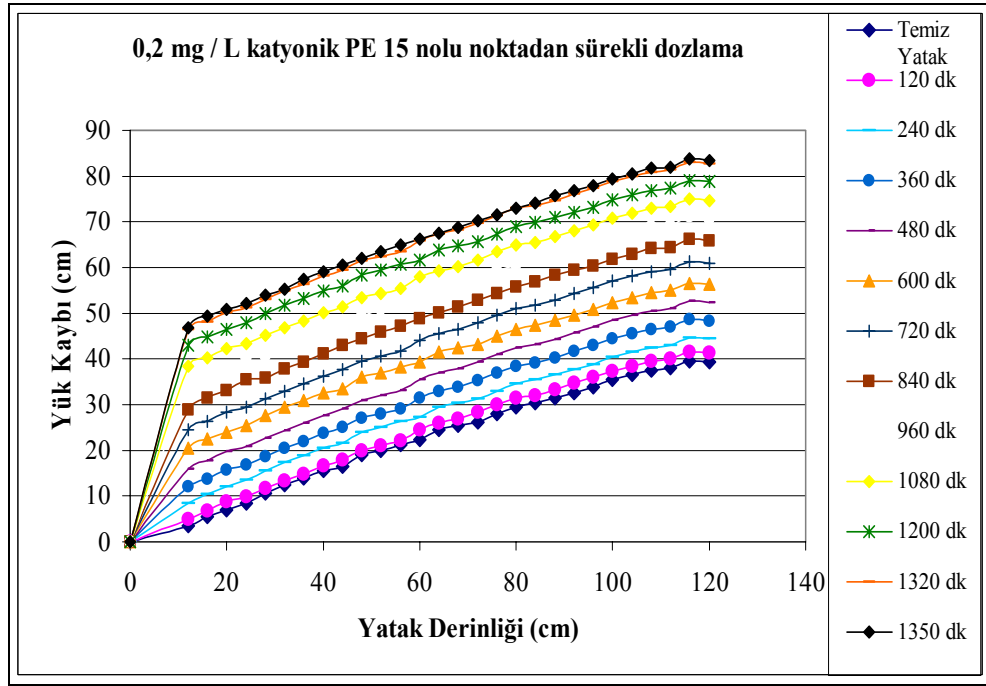
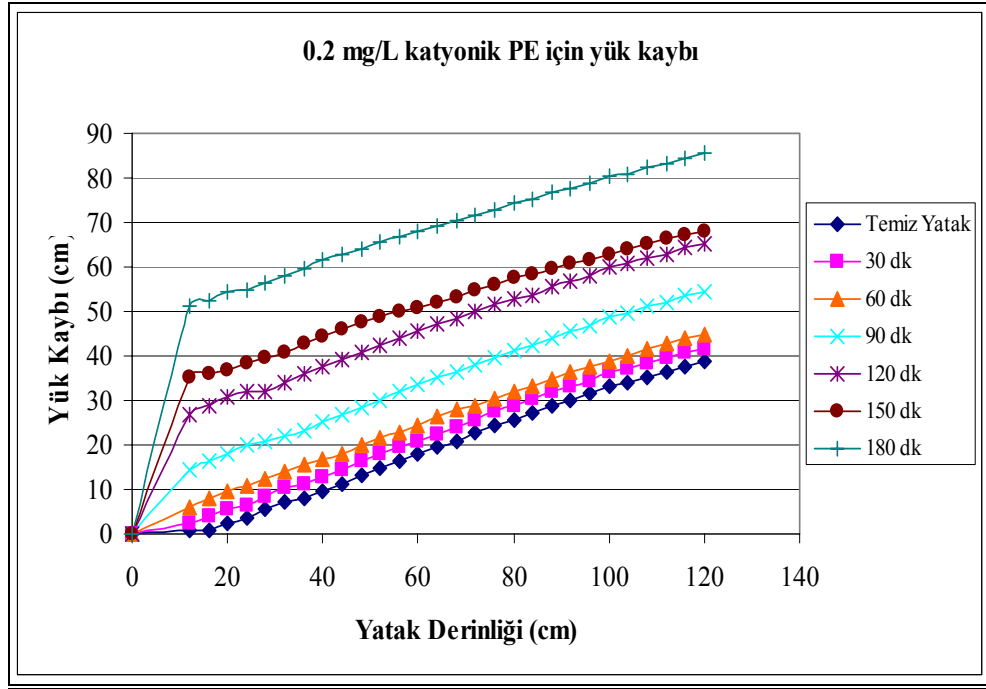
Şekil 5.15 Deney 7'ye ait yük kayıplarının gelişimi. 1. düzenekte hat üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE yatak üzerindeki 25 no'lu noktadan sürekli dozlama yapılması.



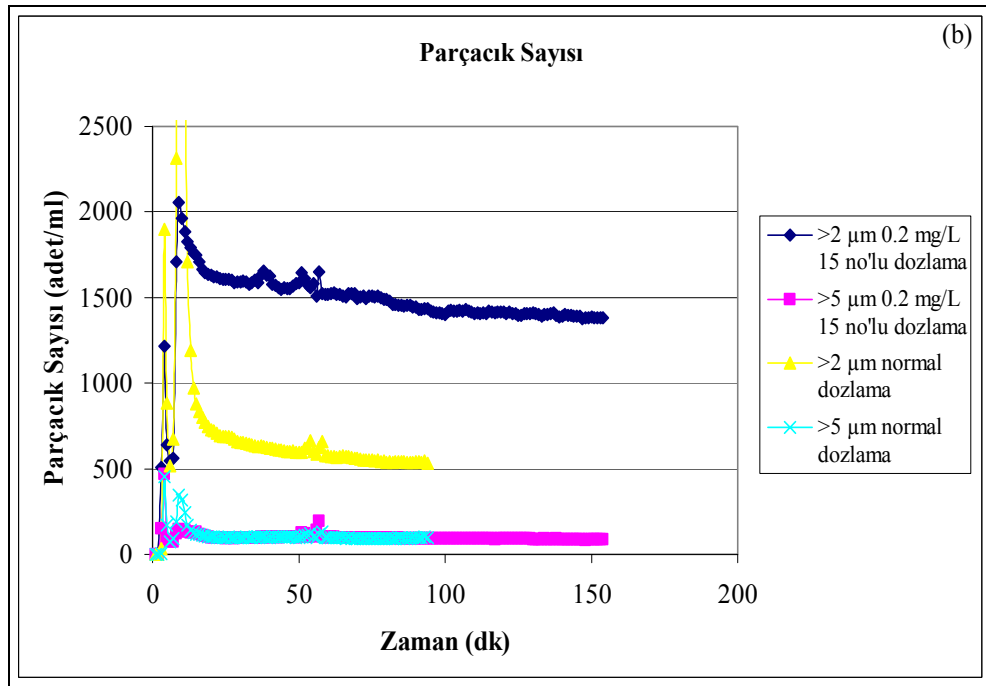
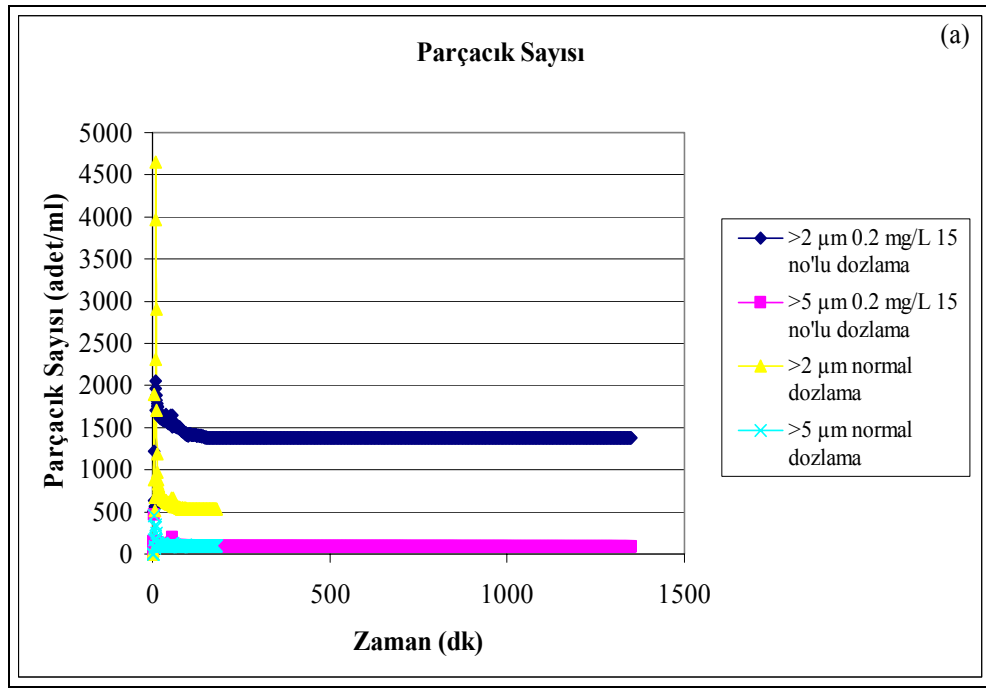


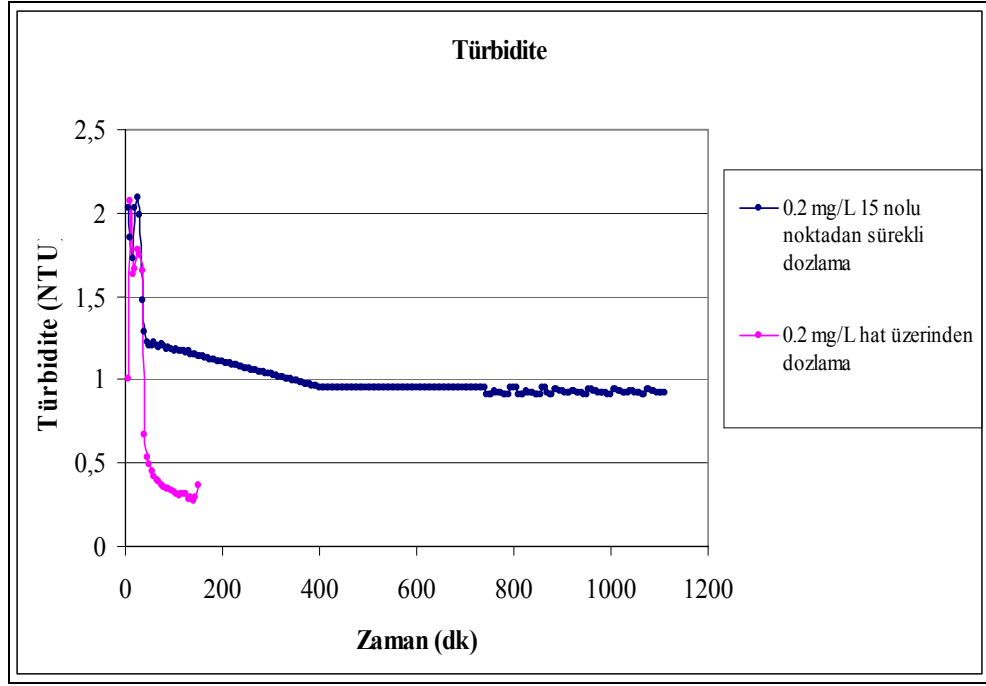
Şekil 5.16 Deney 7'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler, (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklı değişimi.

Deney 8



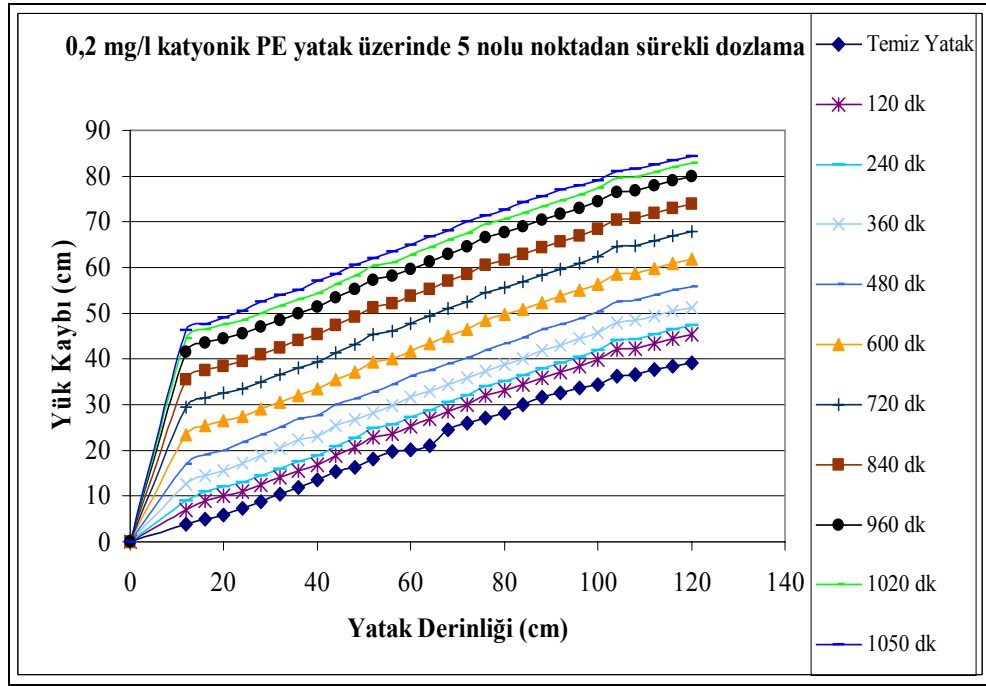
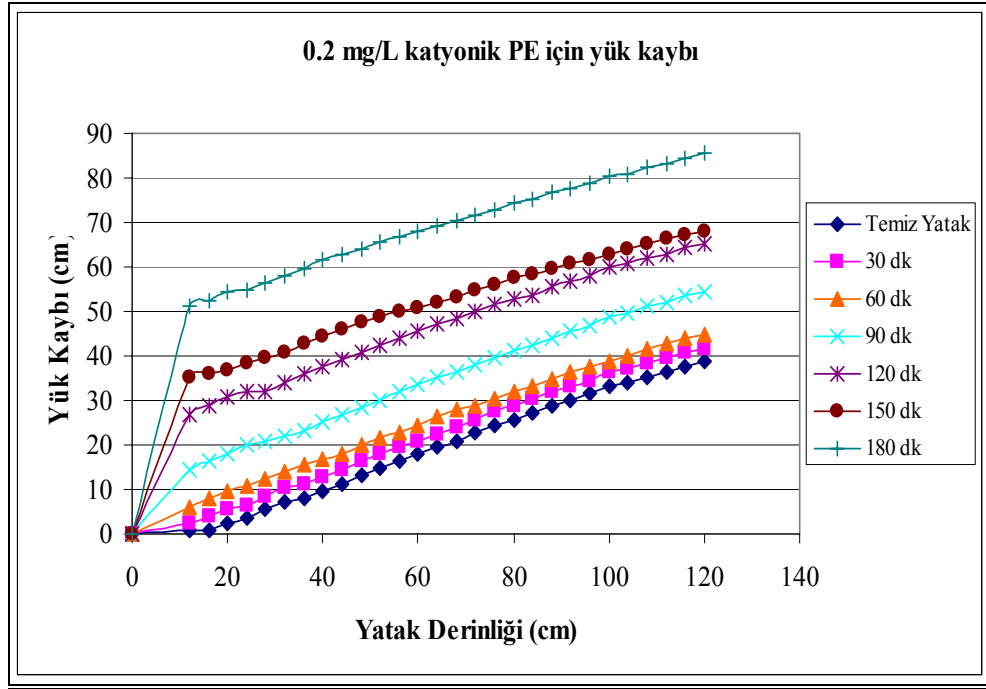
Şekil 5.17 Deney 8 için yük kayıpları gelişimi. 1. düzenekte hat üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE yatak üzerindeki 15 no'lu noktadan sürekli dozlama yapılması.



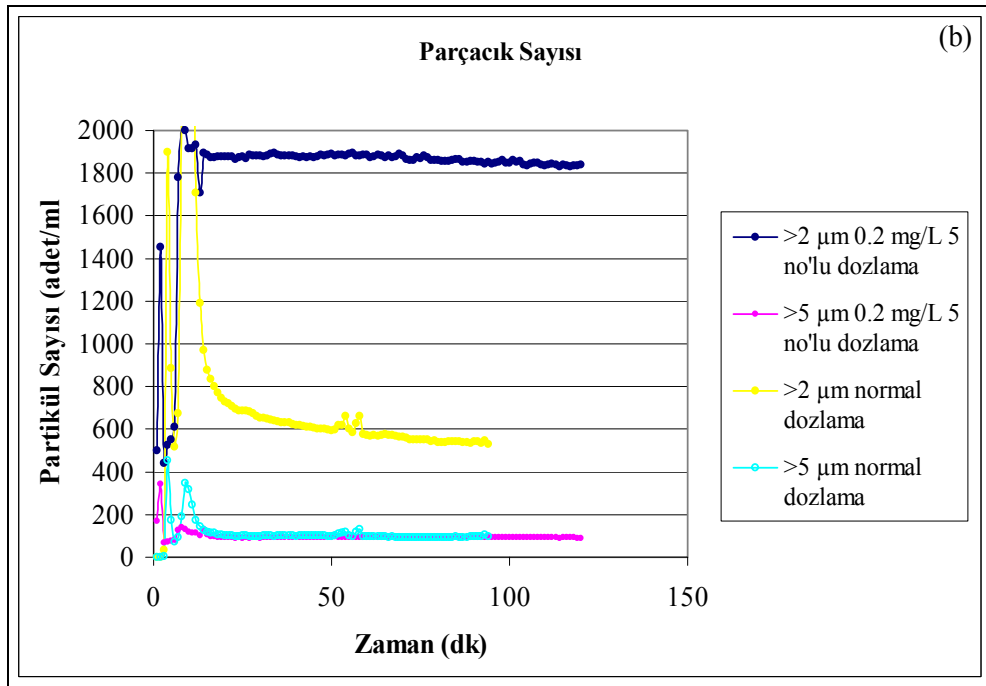
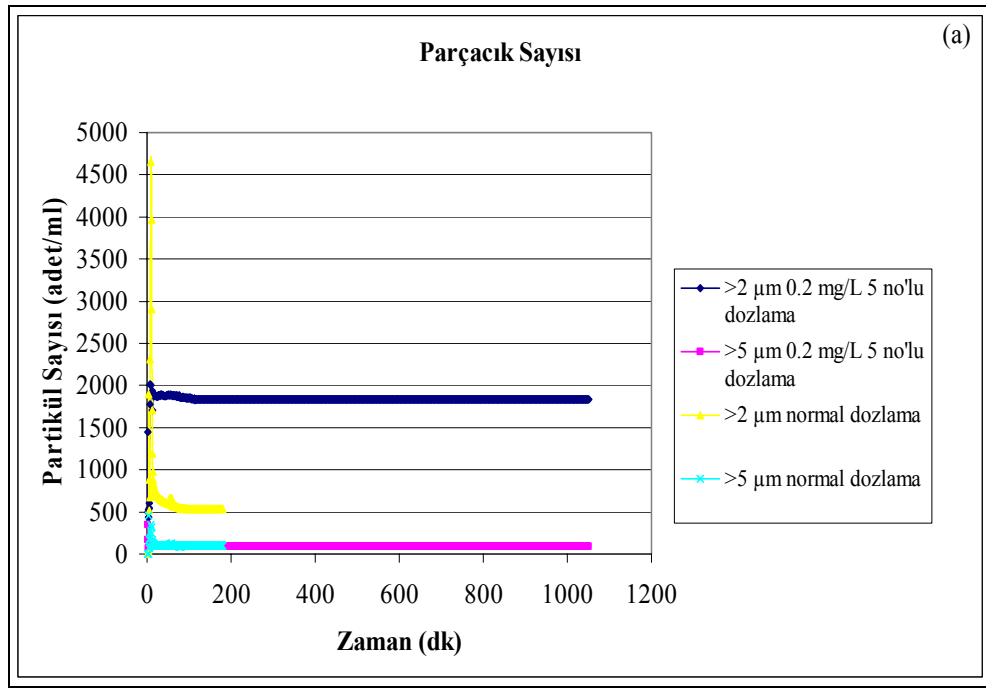


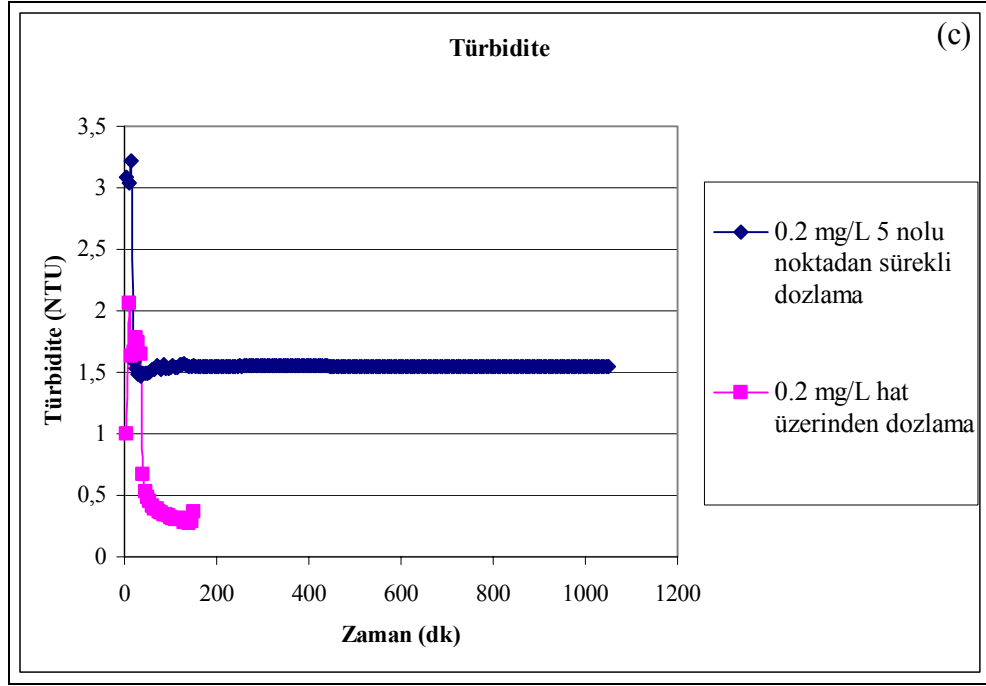
Şekil 5.18 Deney 8 ‘ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 9



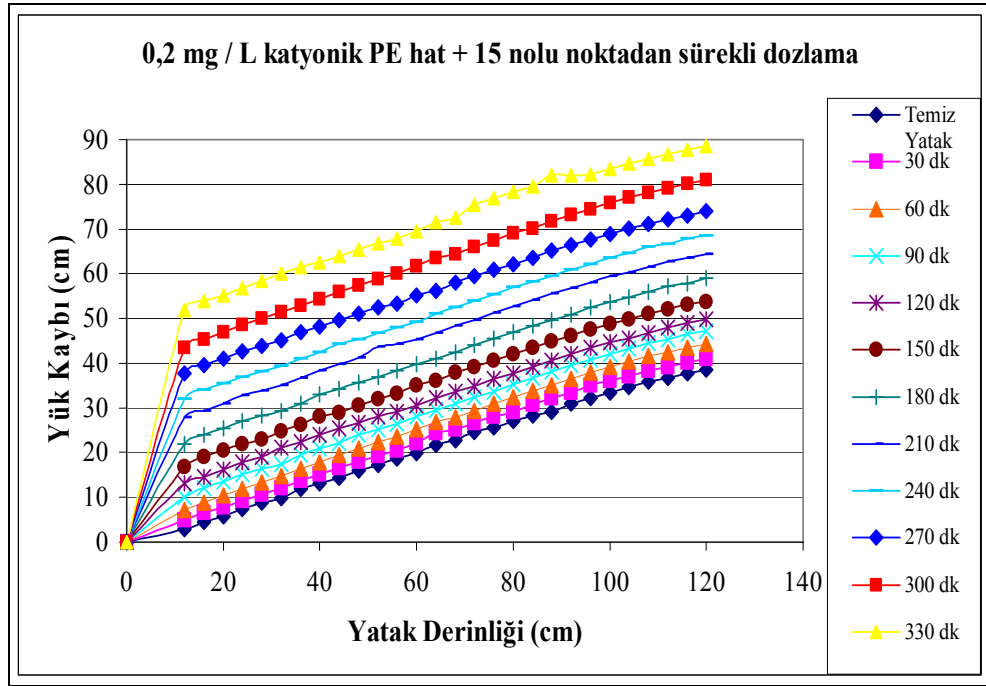
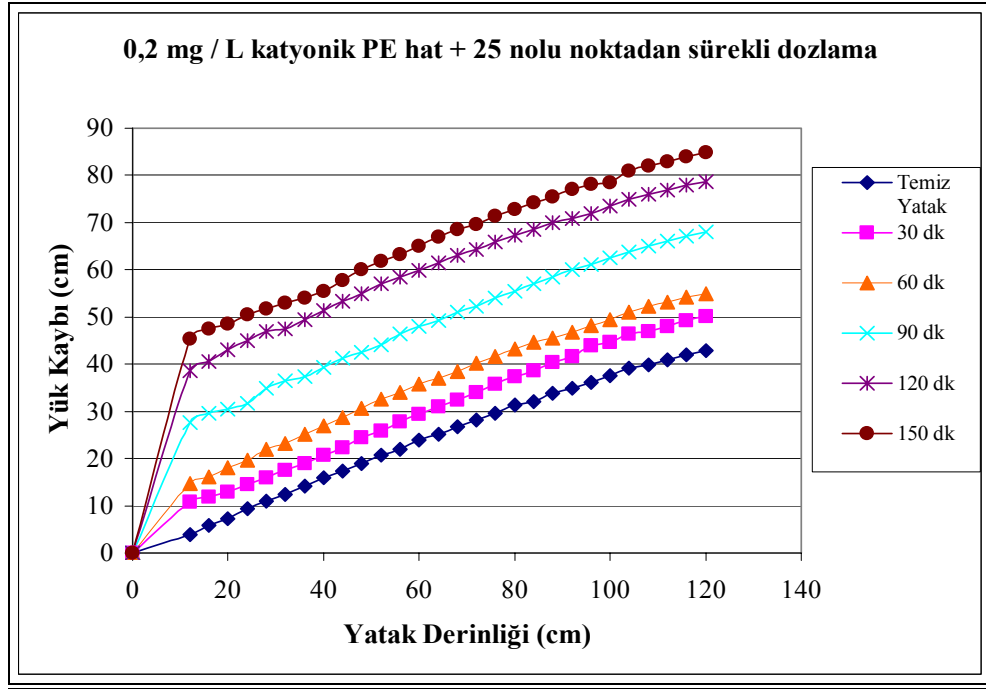
Şekil 5.19 Deney 9 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte hat üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE yatak üzerindeki 5 no'lu noktadan sürekli dozlama yapılması.



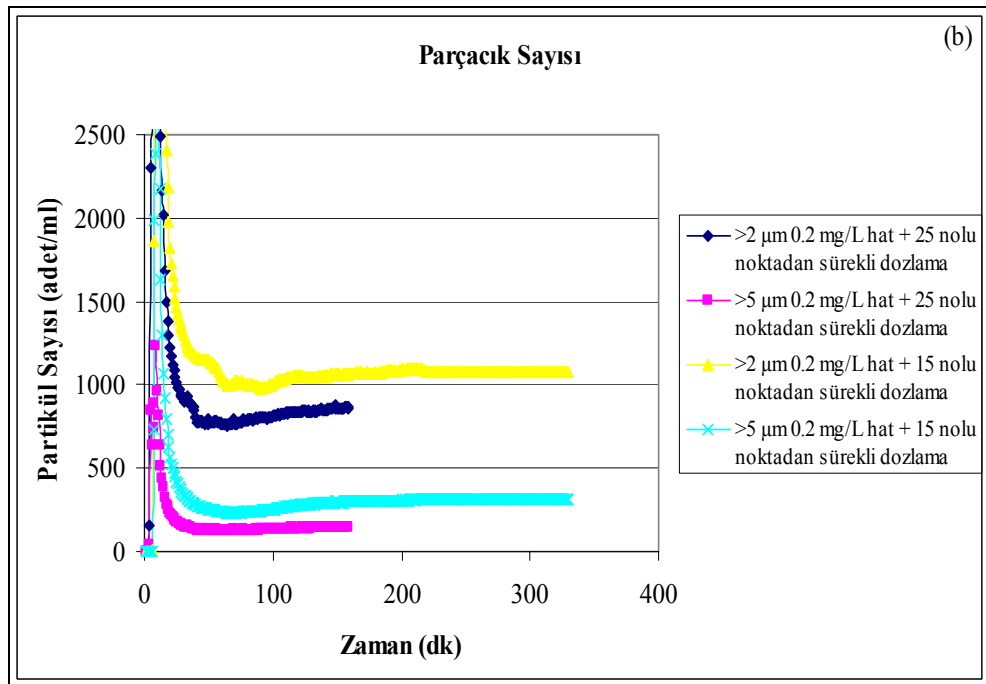
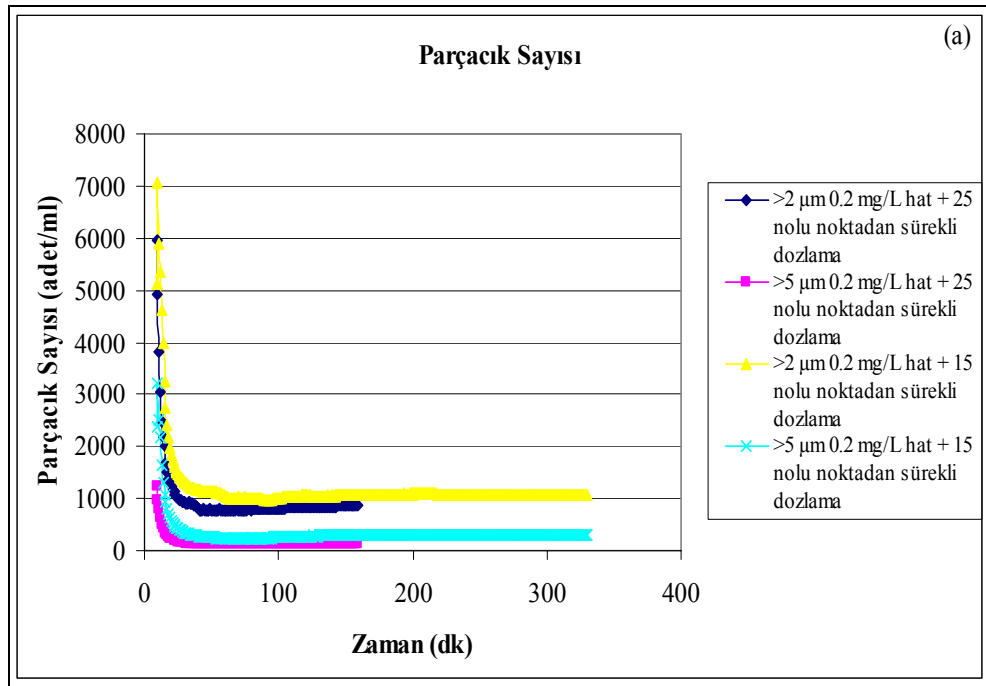


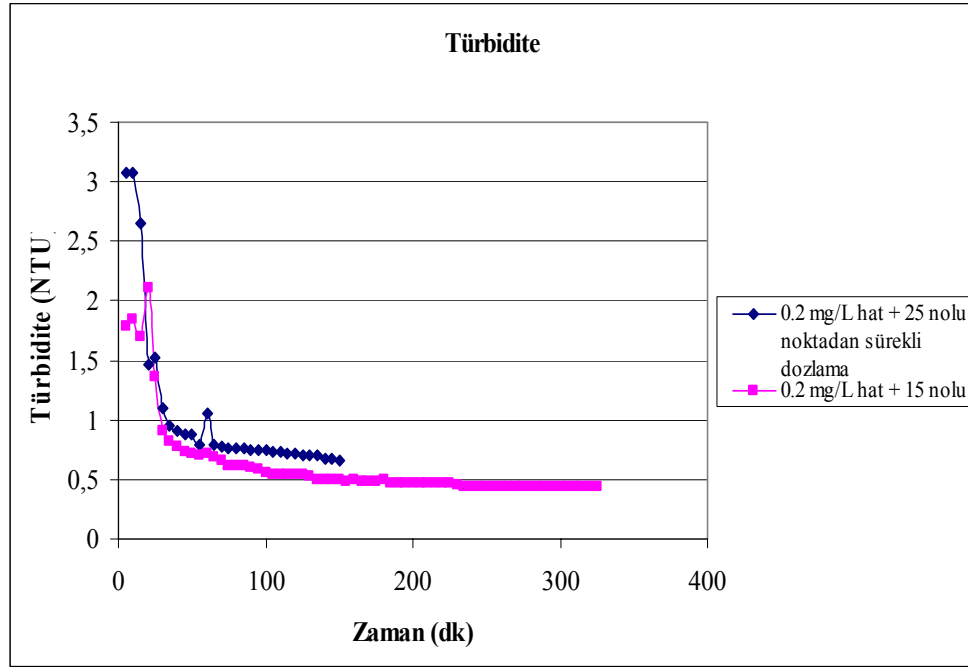
Şekil 5.20 Deney 9 ‘ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 10



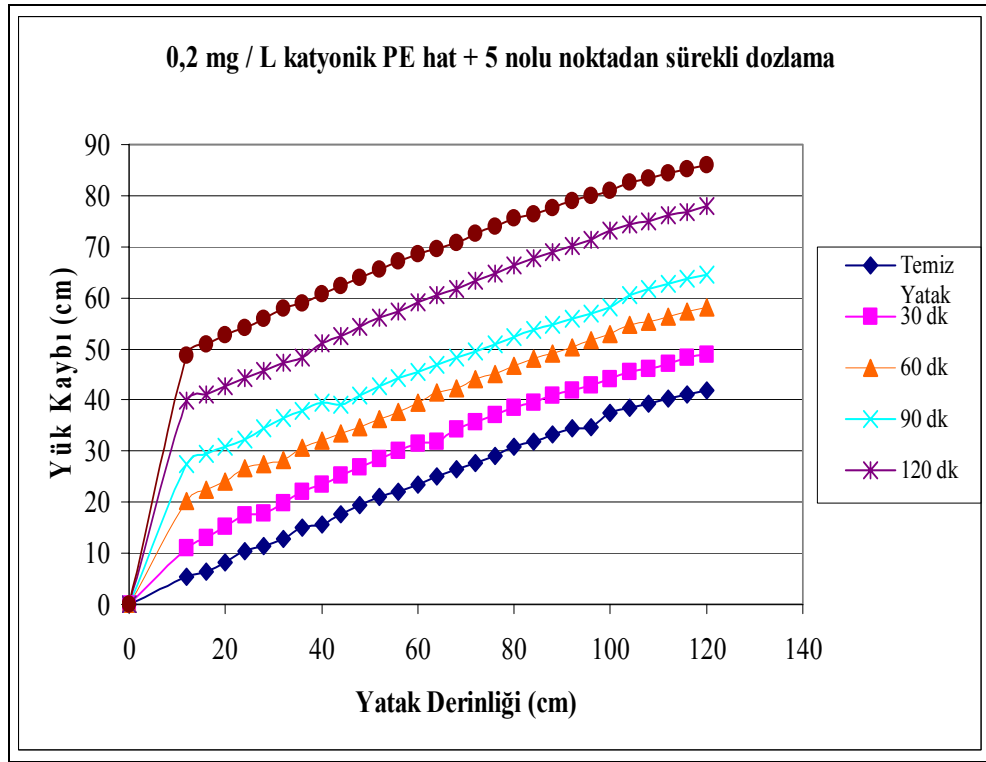
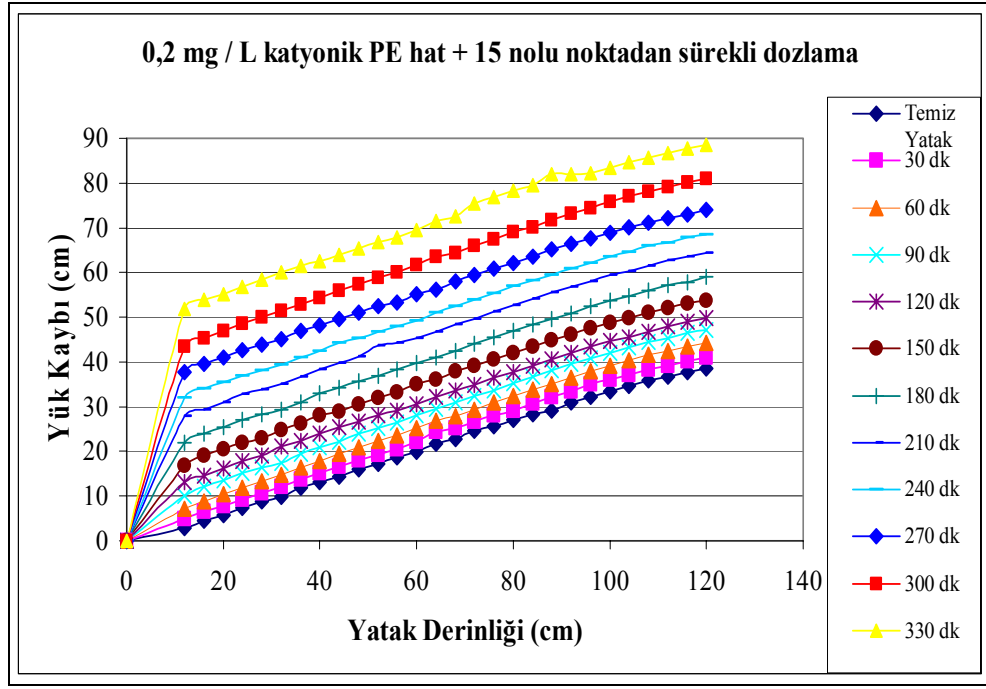
Şekil 5.21 Deney 10 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 25 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerindeki 5 no'lu noktadan sürekli dozlama yapılması.



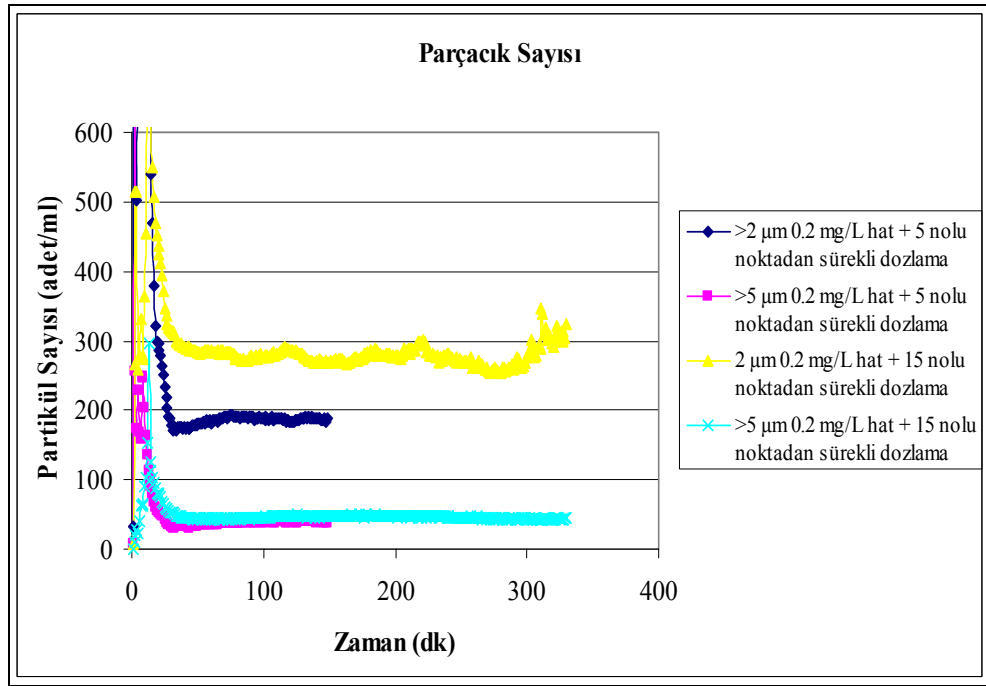
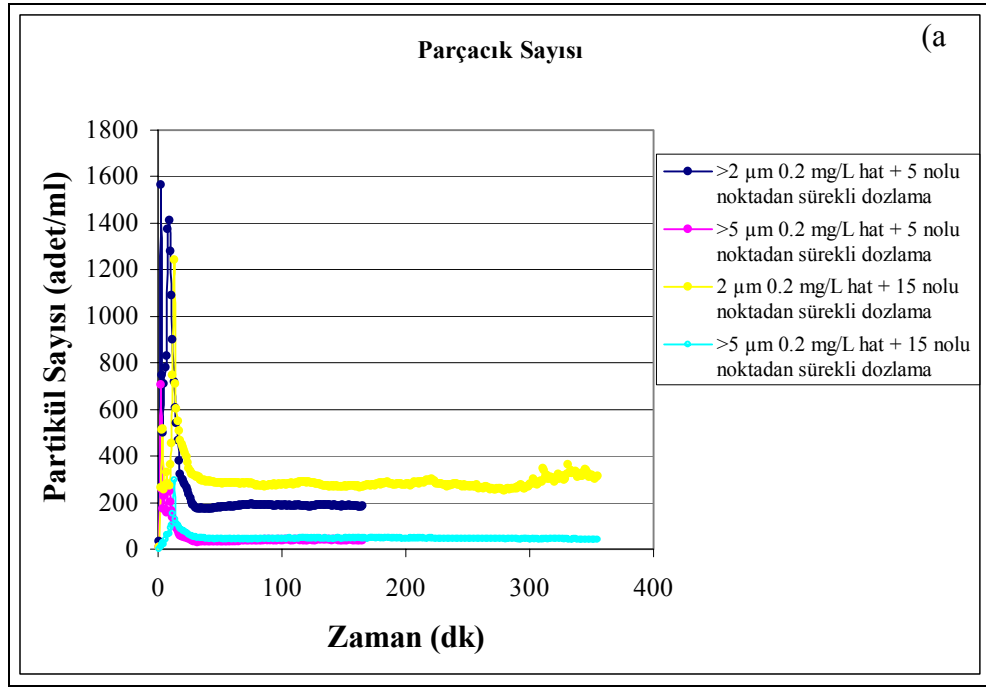


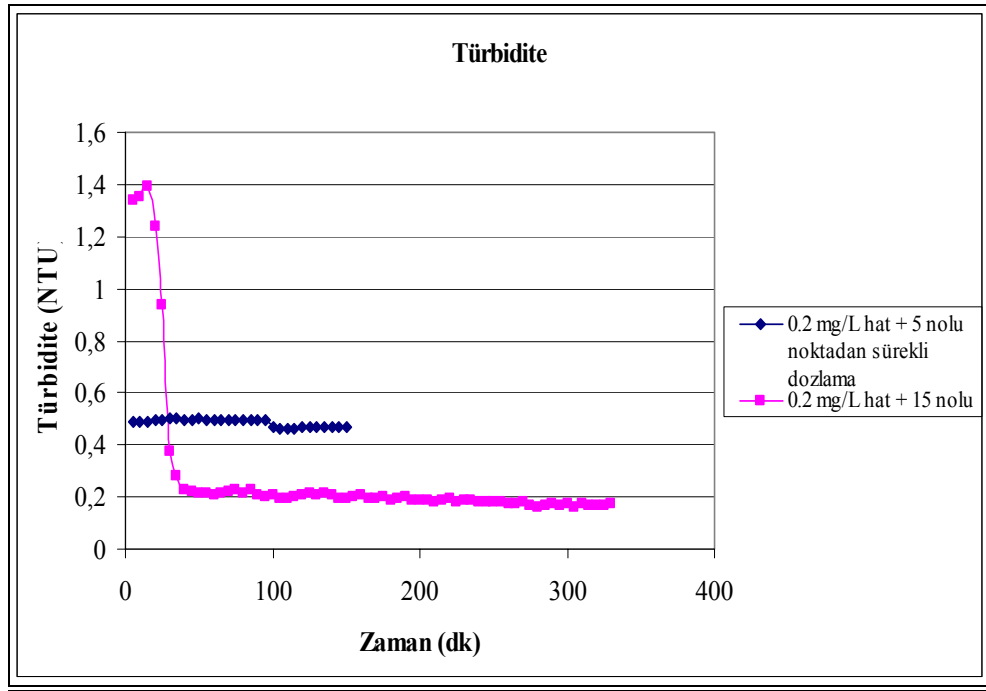
Şekil 5.22 Deney 10 ‘ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 11



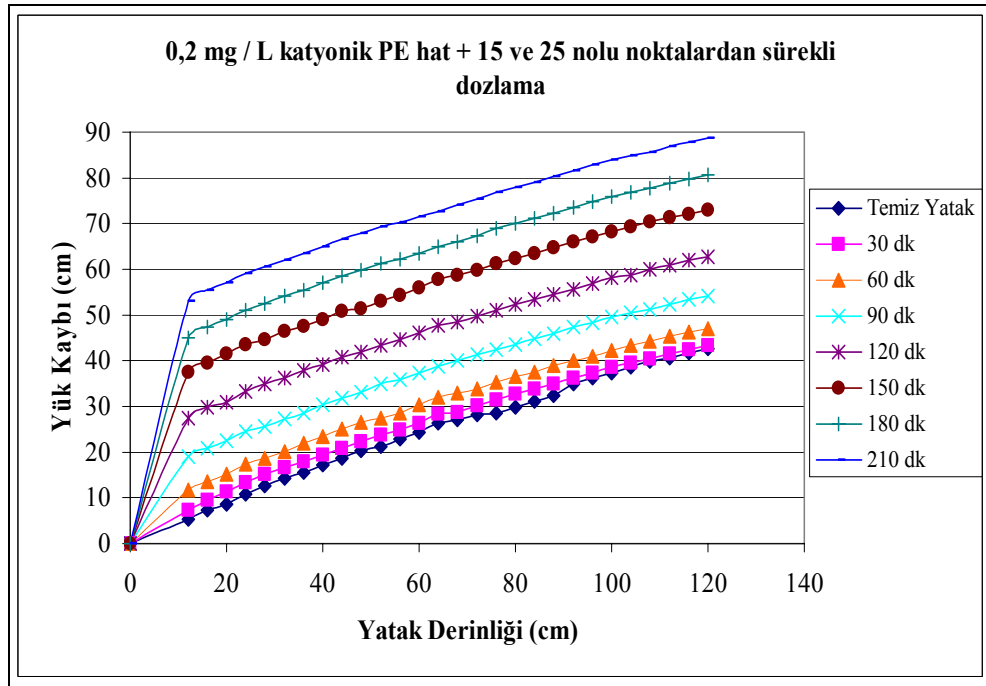
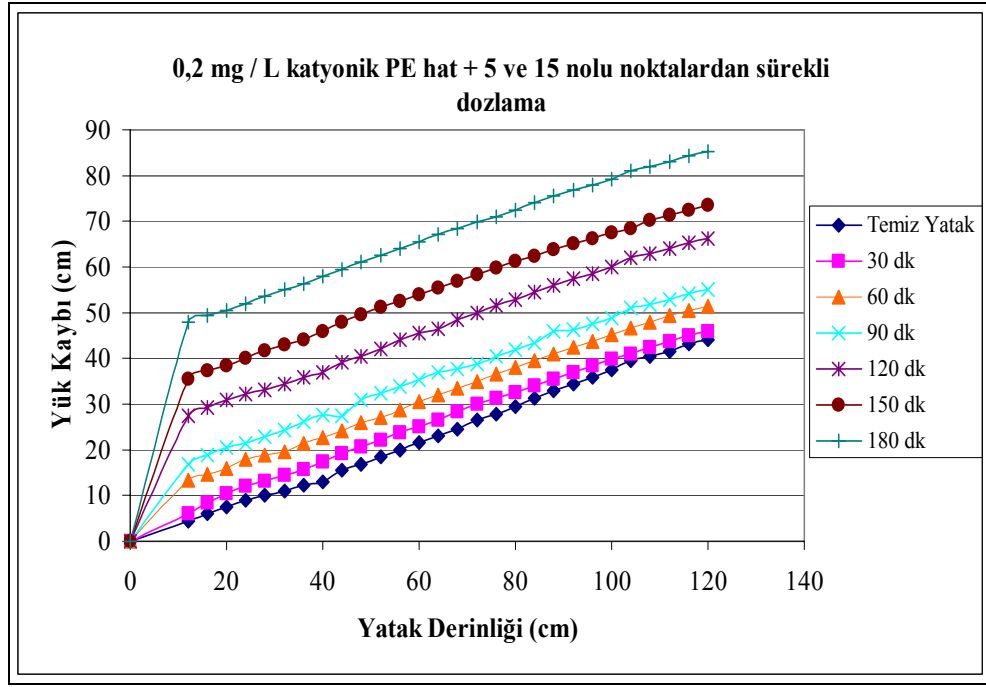
Şekil 5.23 Deney 11 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 5 no'lu nokta üzerindeki sürekli dozlama yapılması.



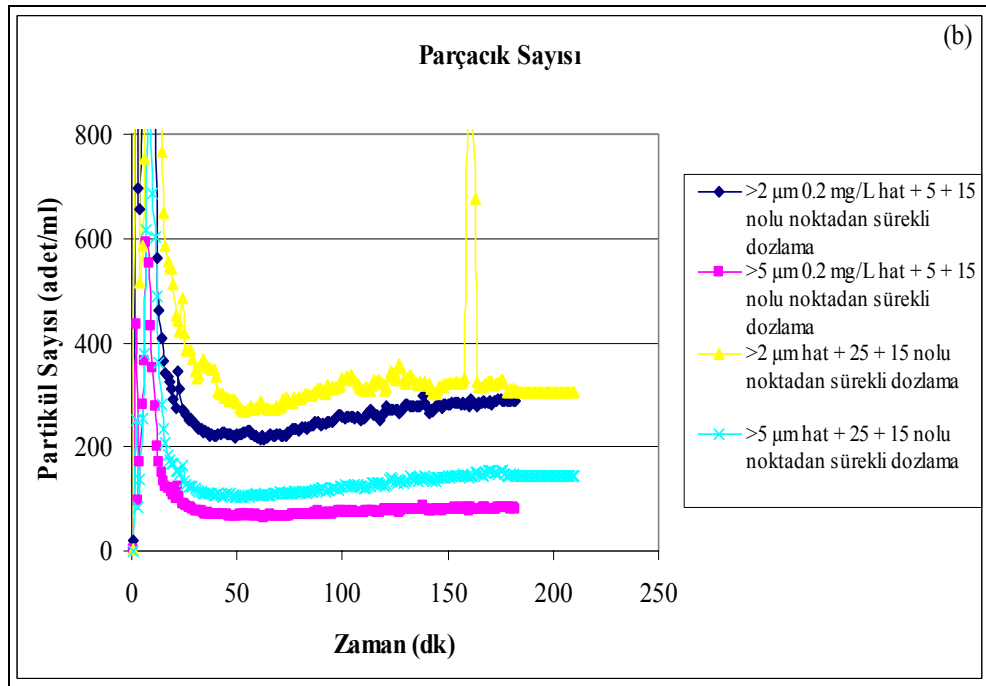
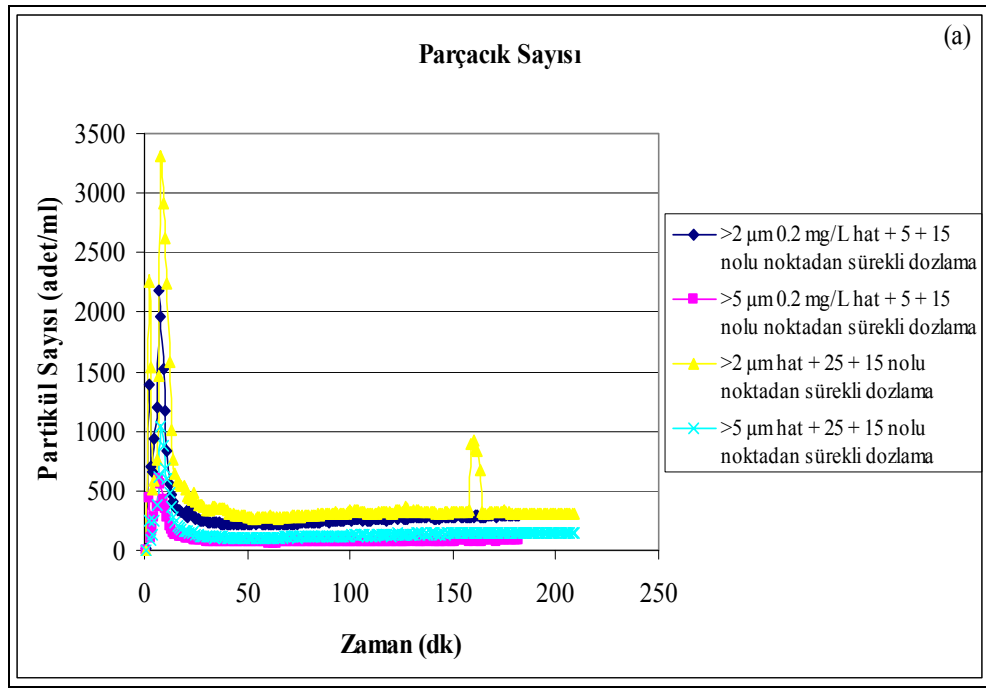


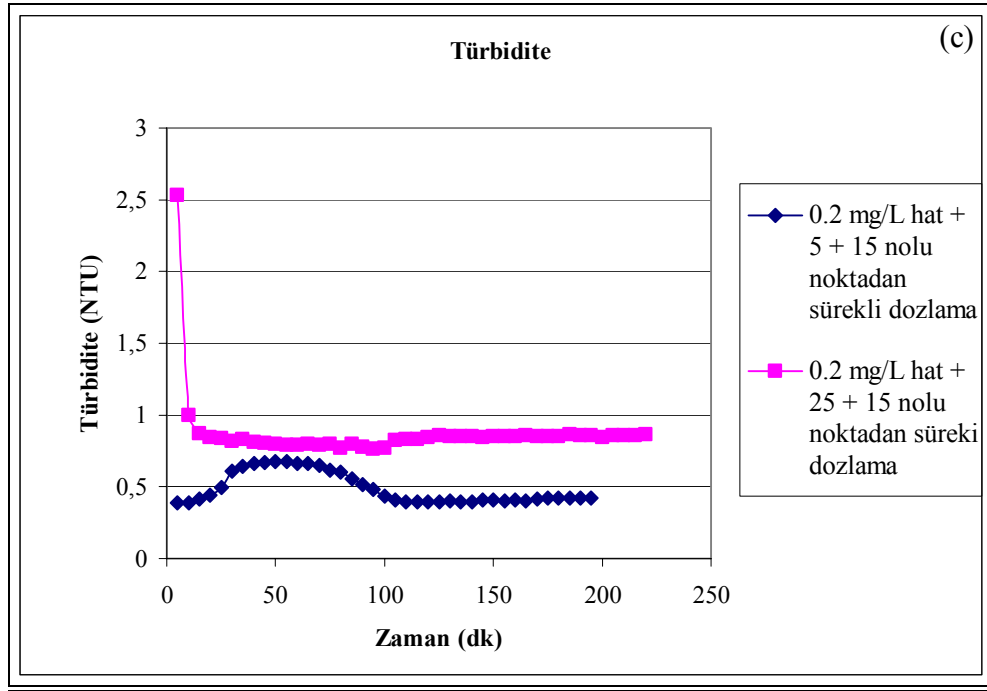
Şekil 5.24 Deney 11'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 12



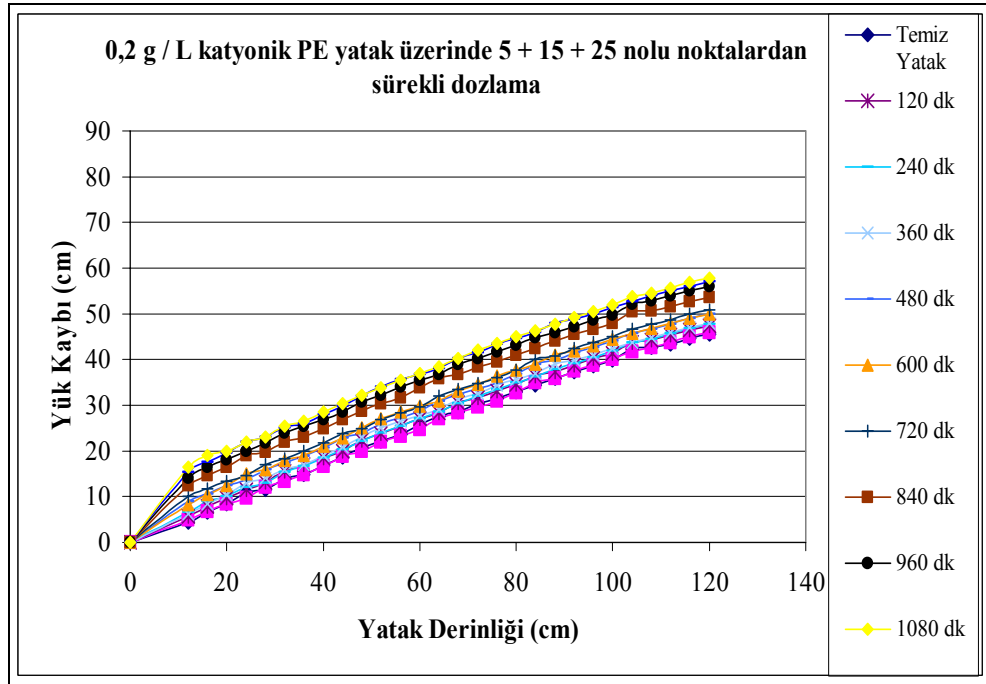
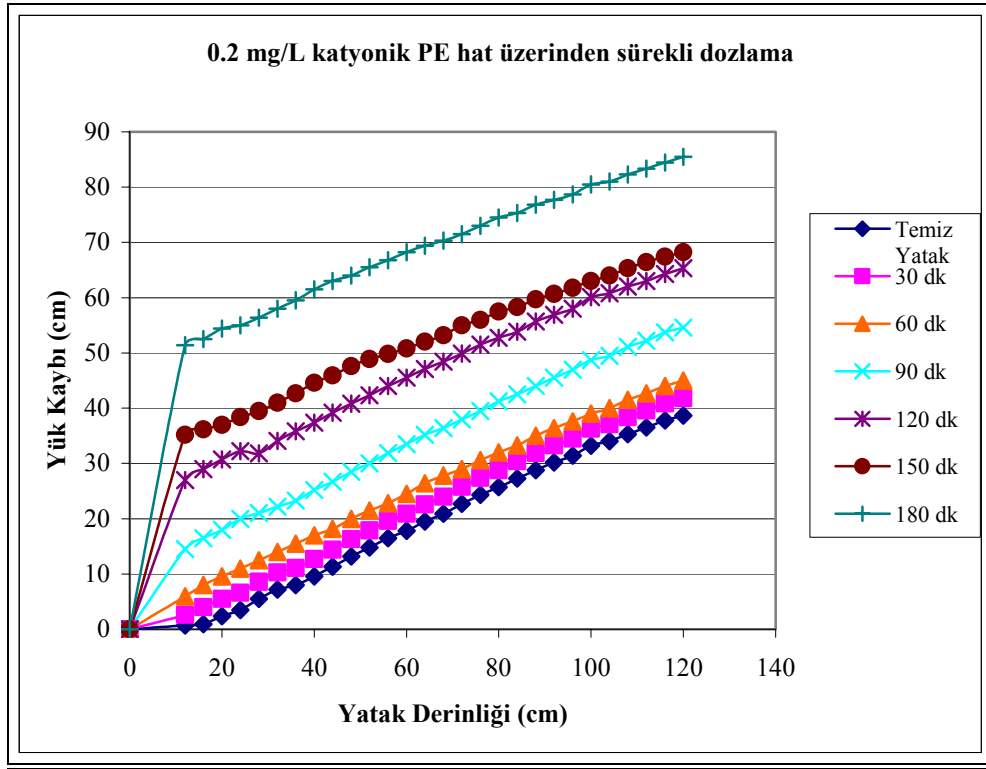
Şekil 5.25 Deney 12 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 5 + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 + 25 no'lu nokta üzerindeki sürekli dozlama yapılması.



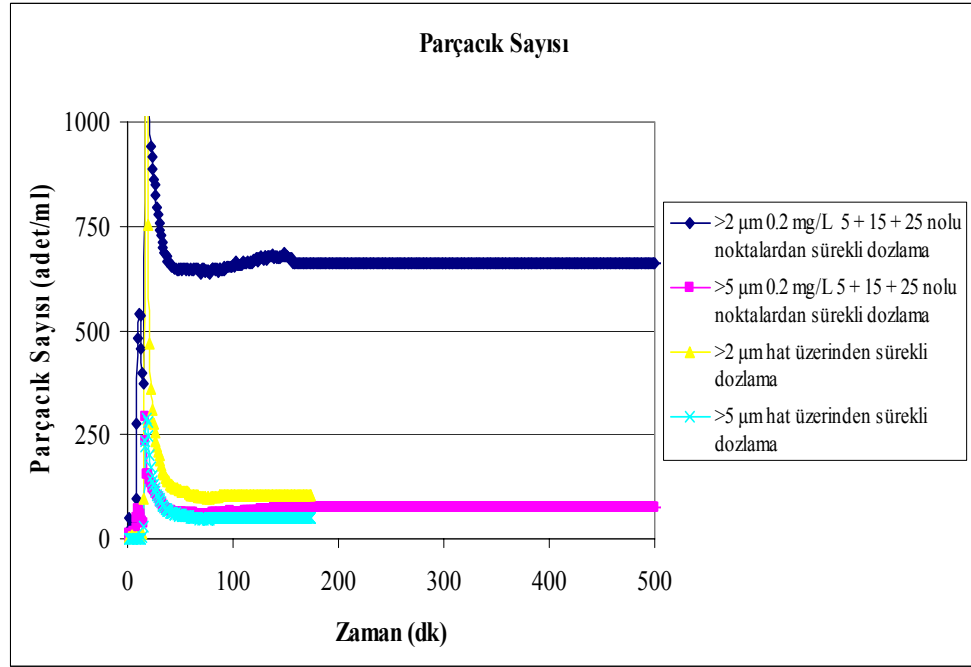
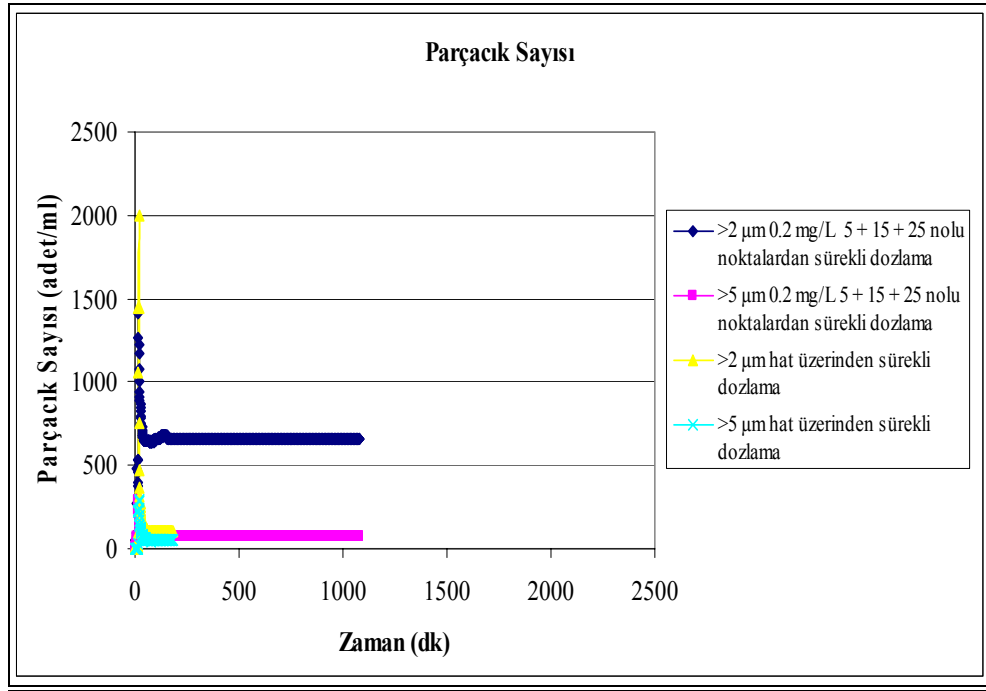


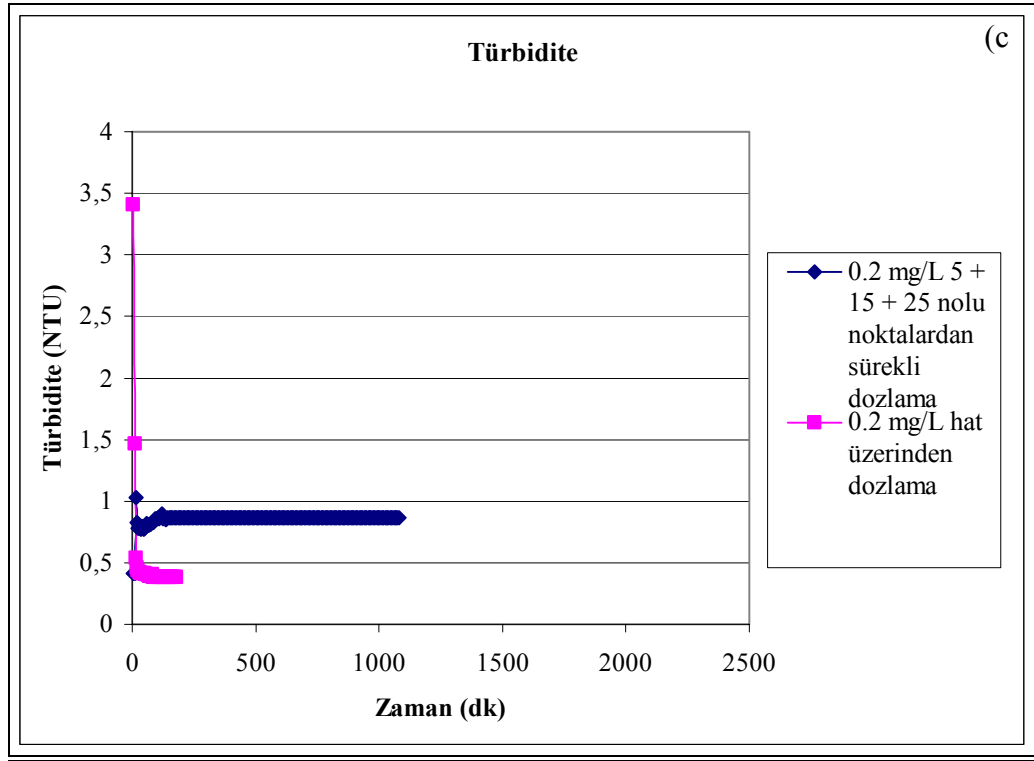
Şekil 5.26 Deney 12'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 13



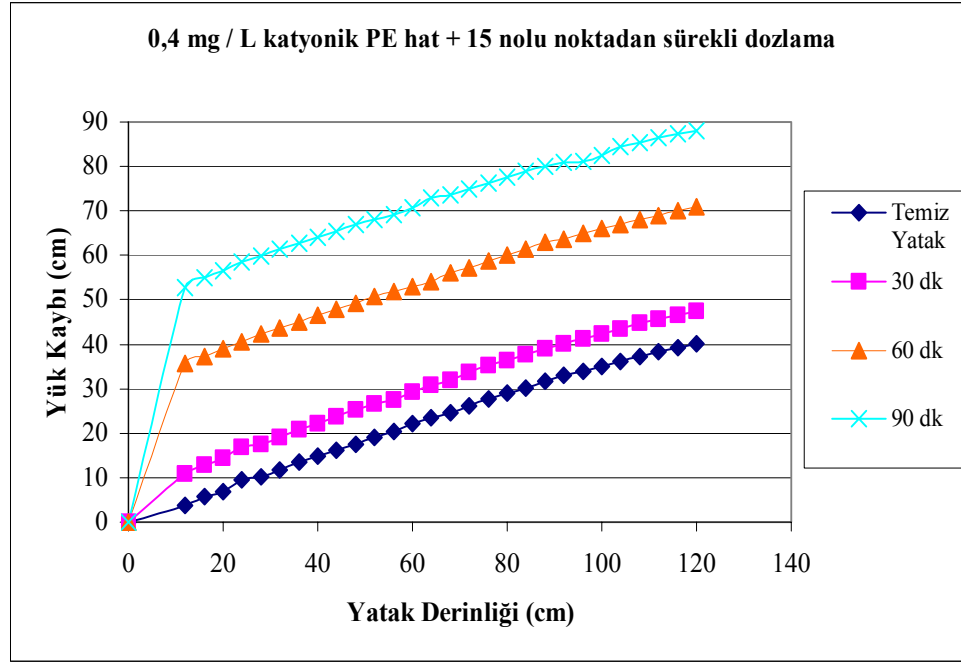
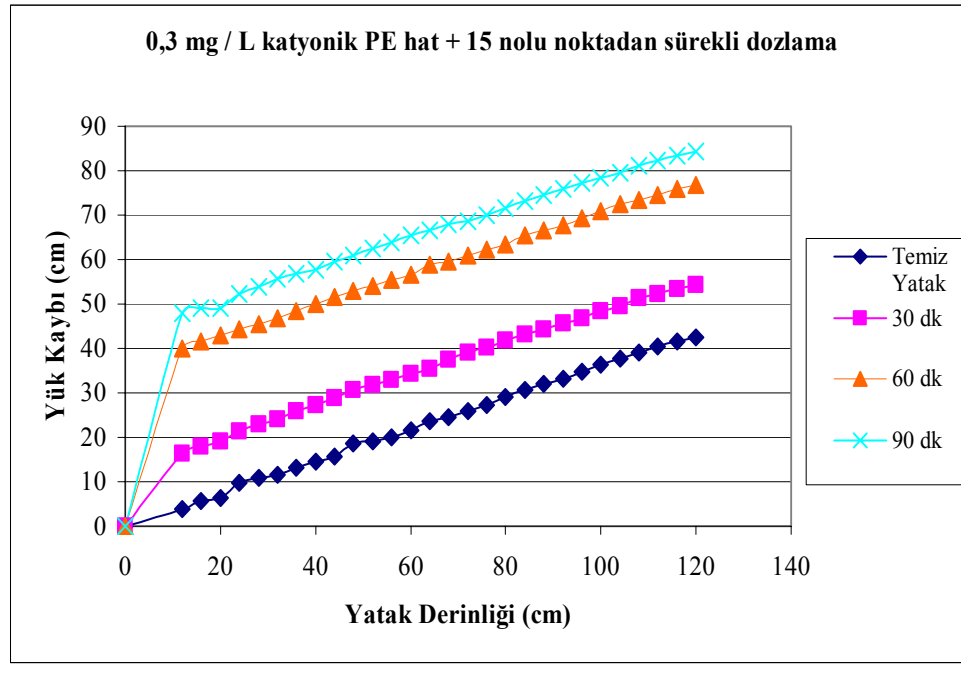
Şekil 5.27 Deney 13 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE 5 + 15+ 25 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat üzerinden sürekli dozlama yapılması.



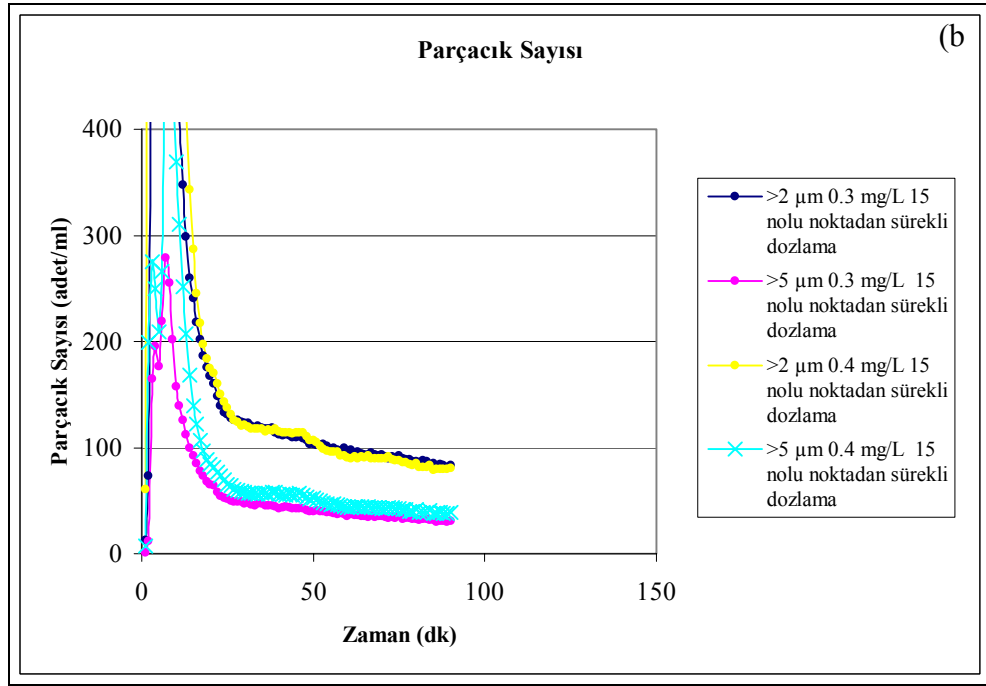
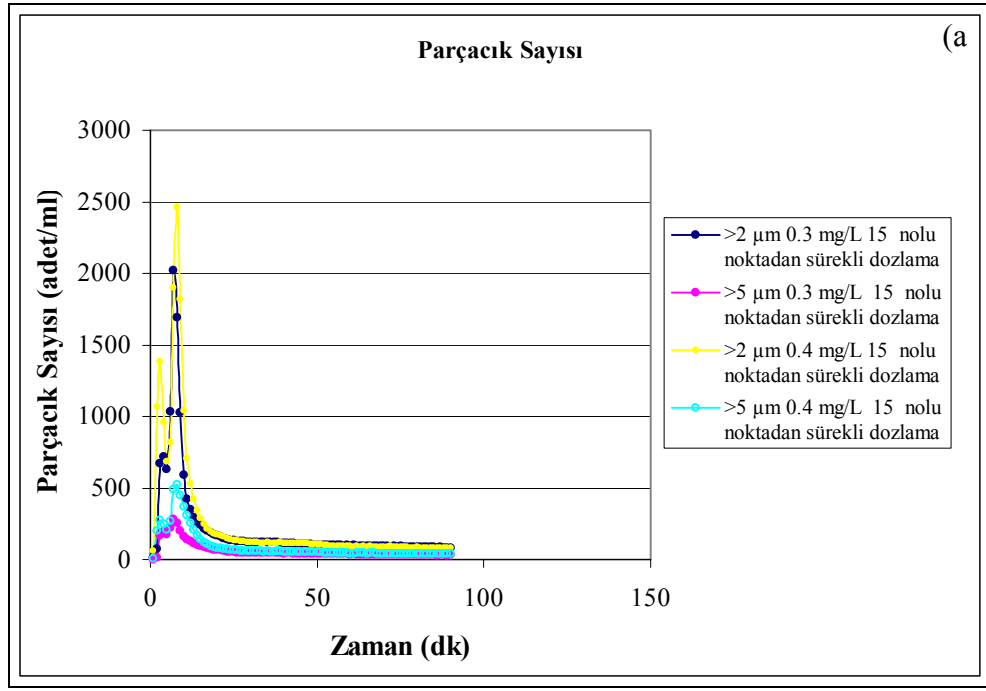


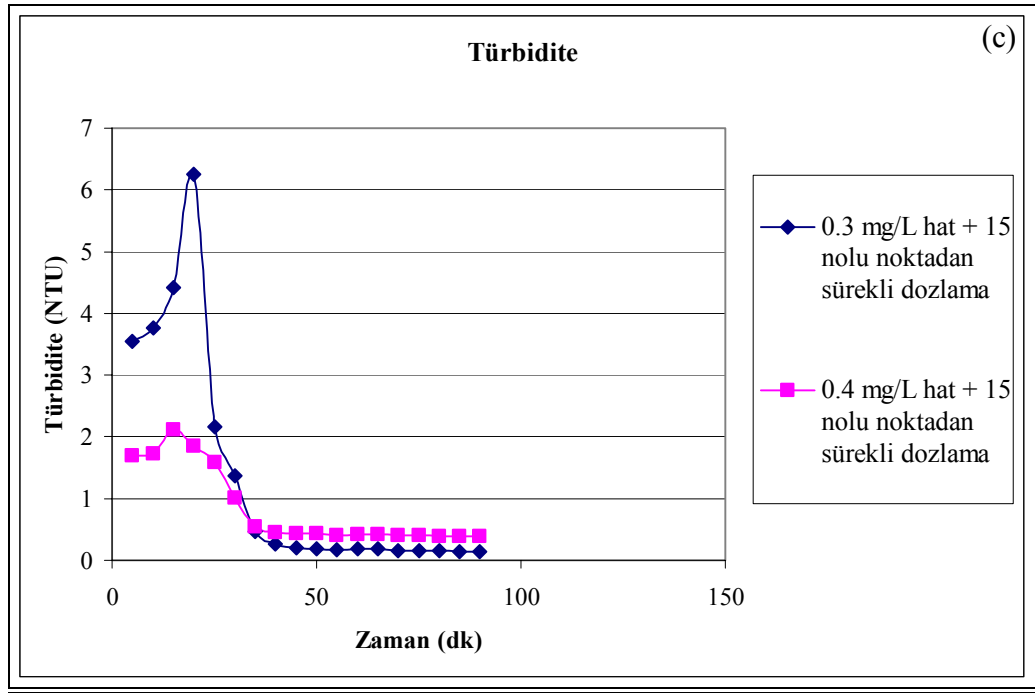
Şekil 5.28 Deney 13'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 14



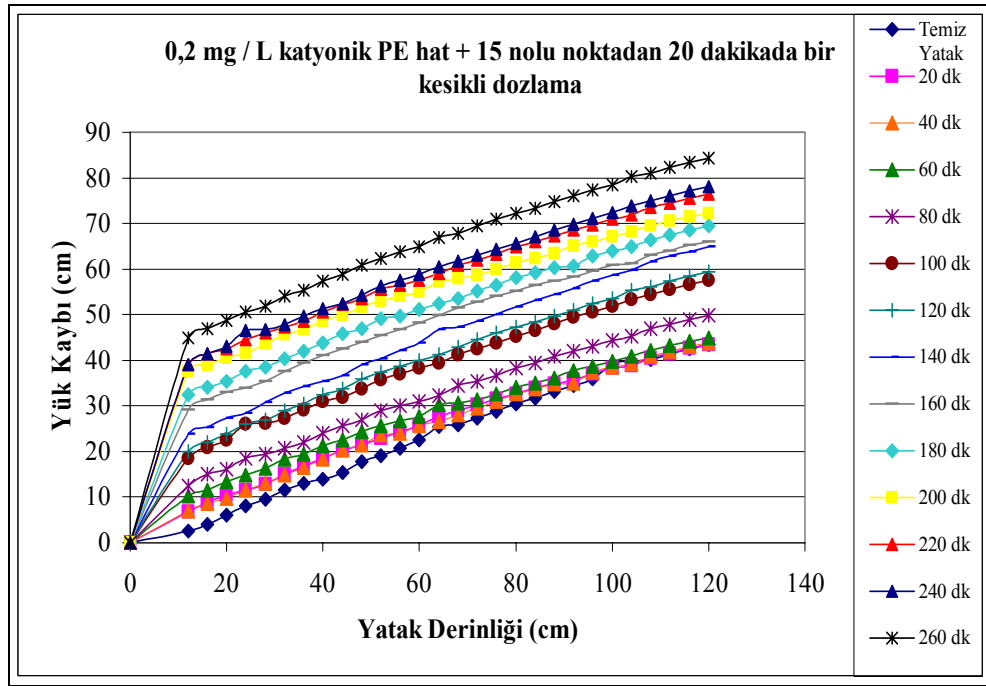
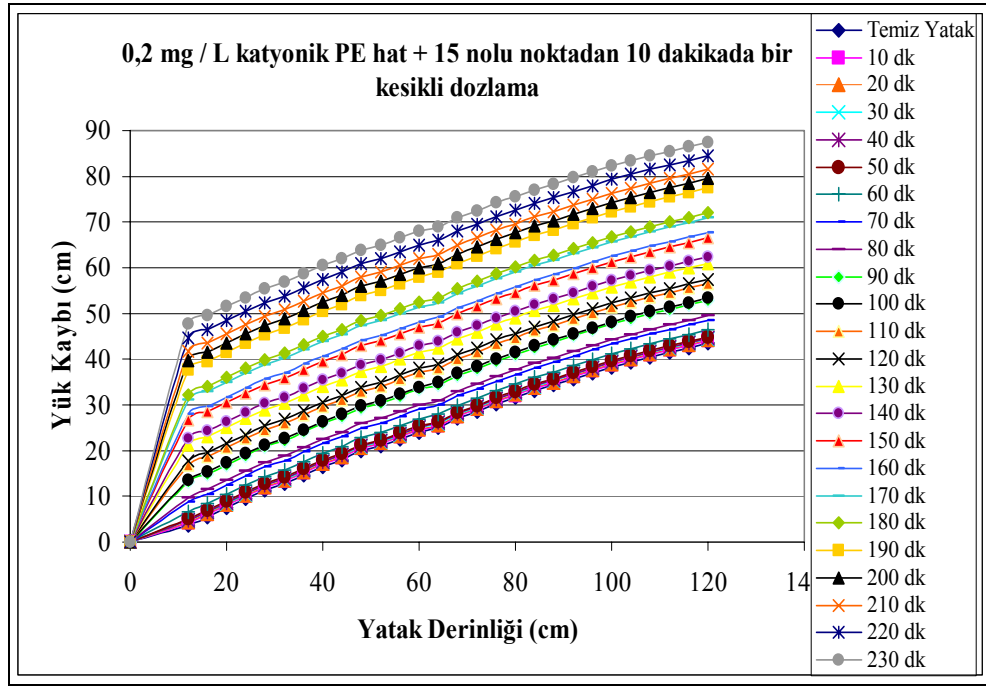
Şekil 5.29 Deney 14 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,3 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,4 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması.



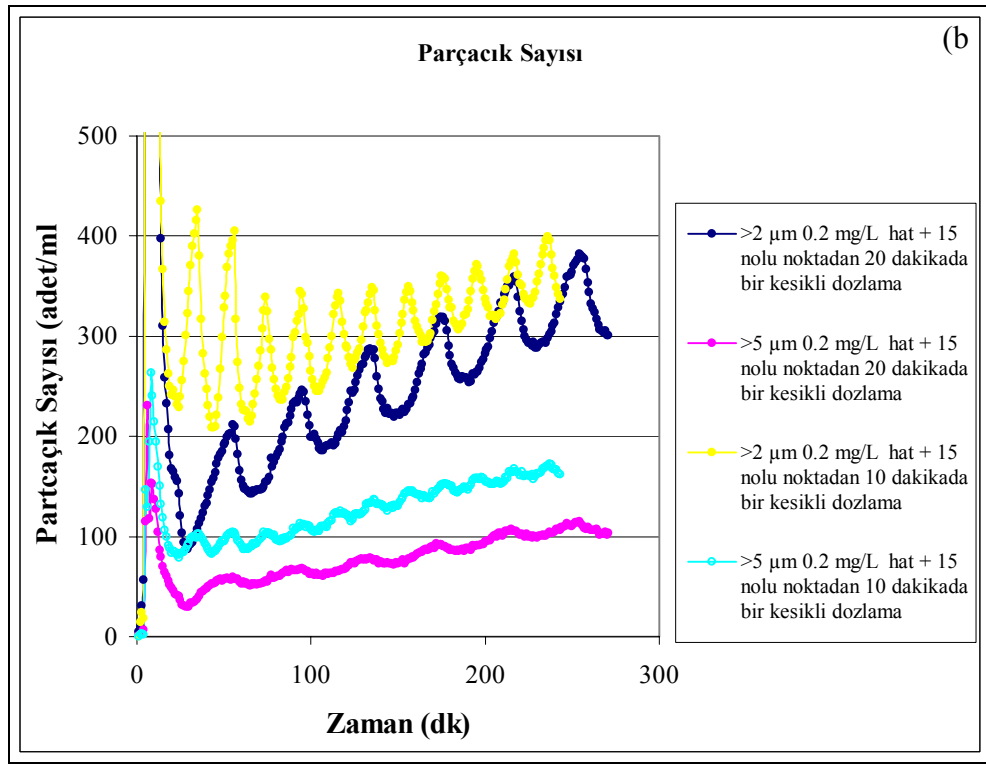
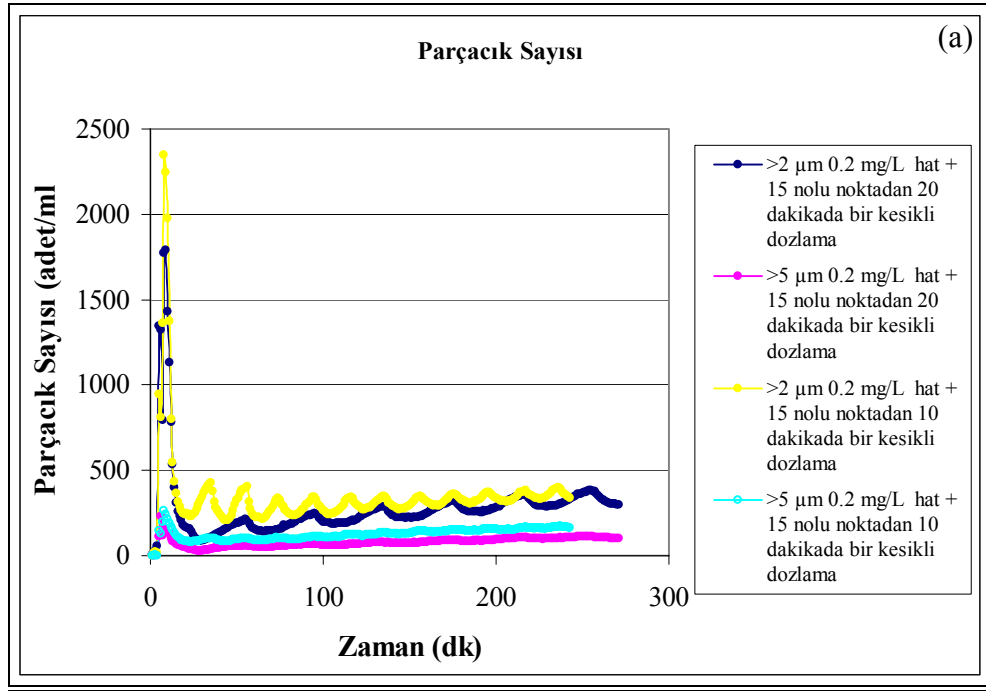


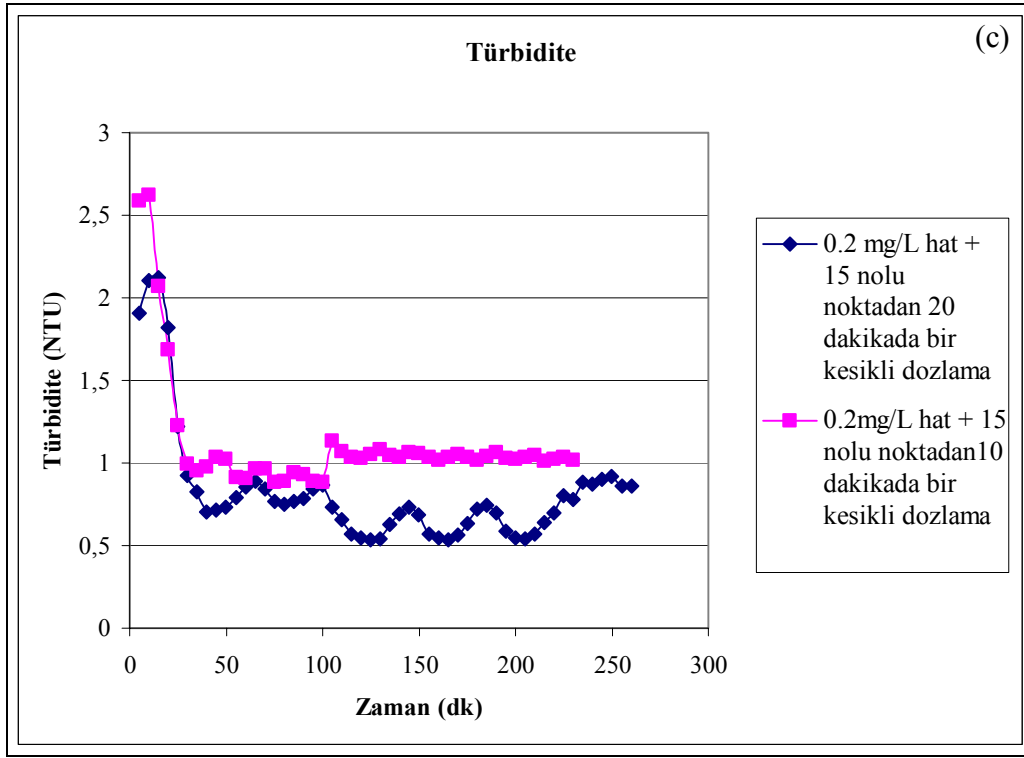
Şekil 5.30 Deney 13'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 15



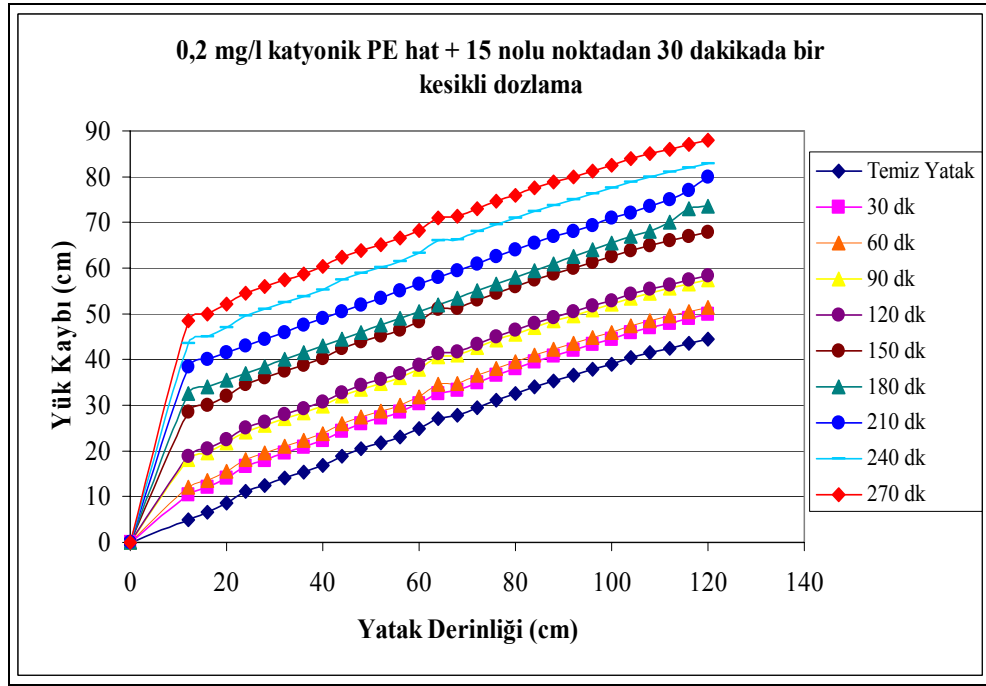
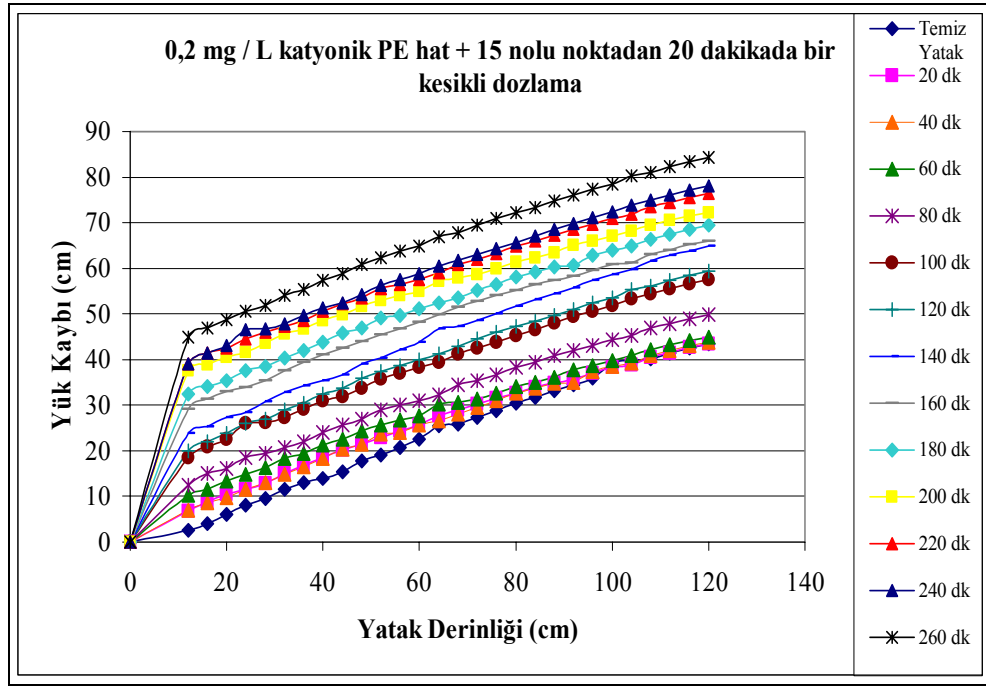
Şekil 5.31 Deney 15 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden 10 dakikada bir kesikli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden 20 dakikada bir kesikli dozlama yapılması.



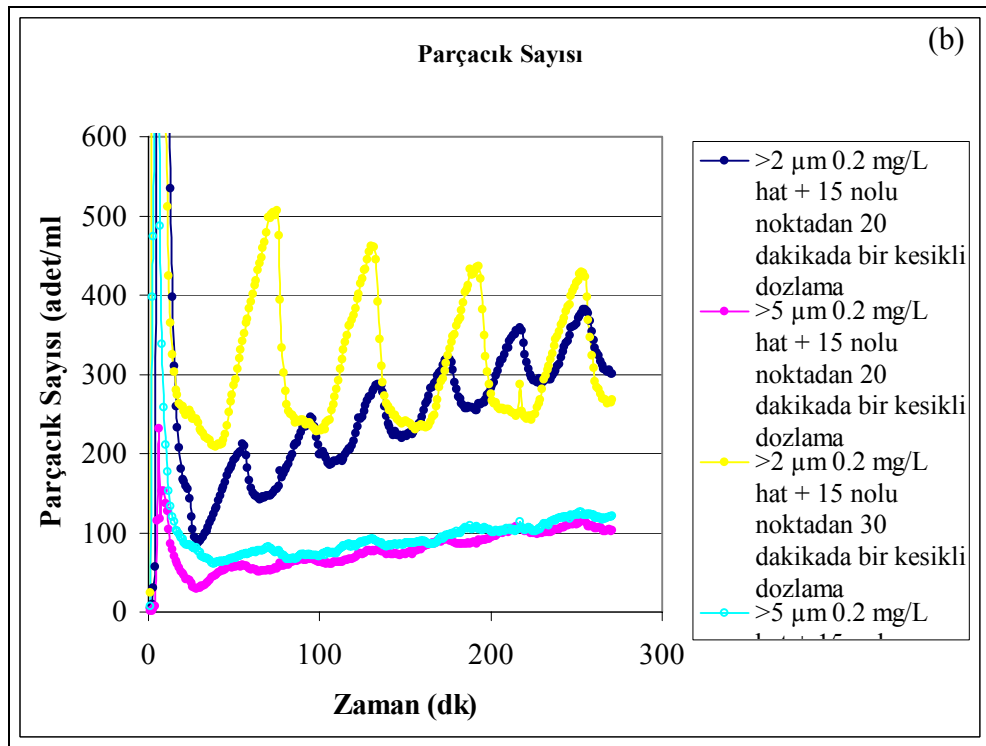
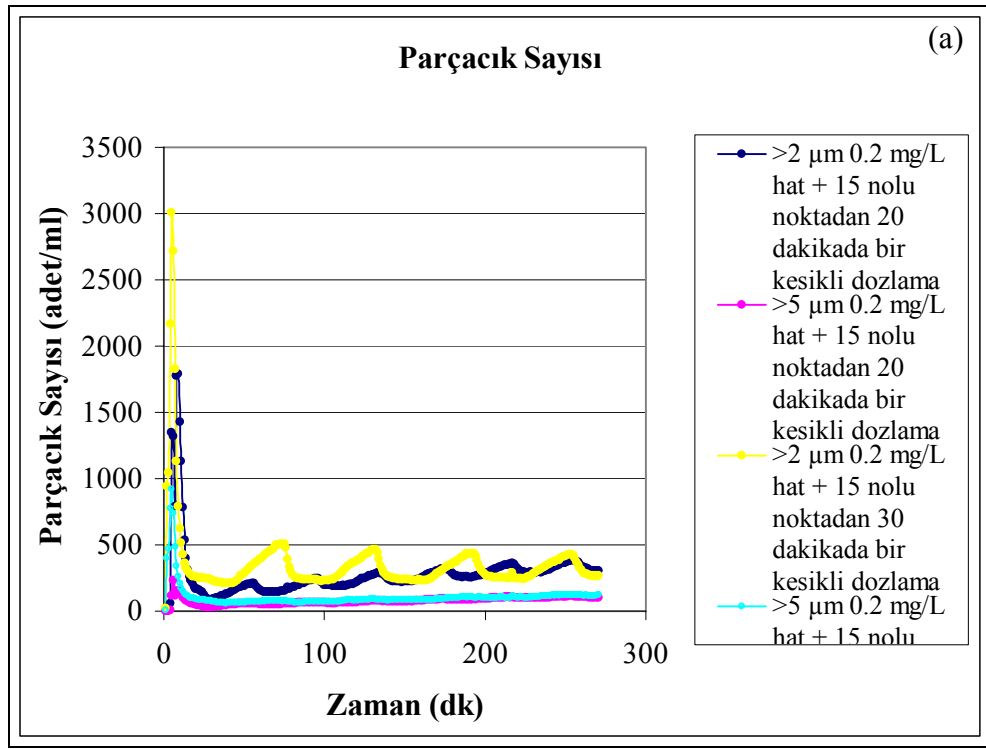


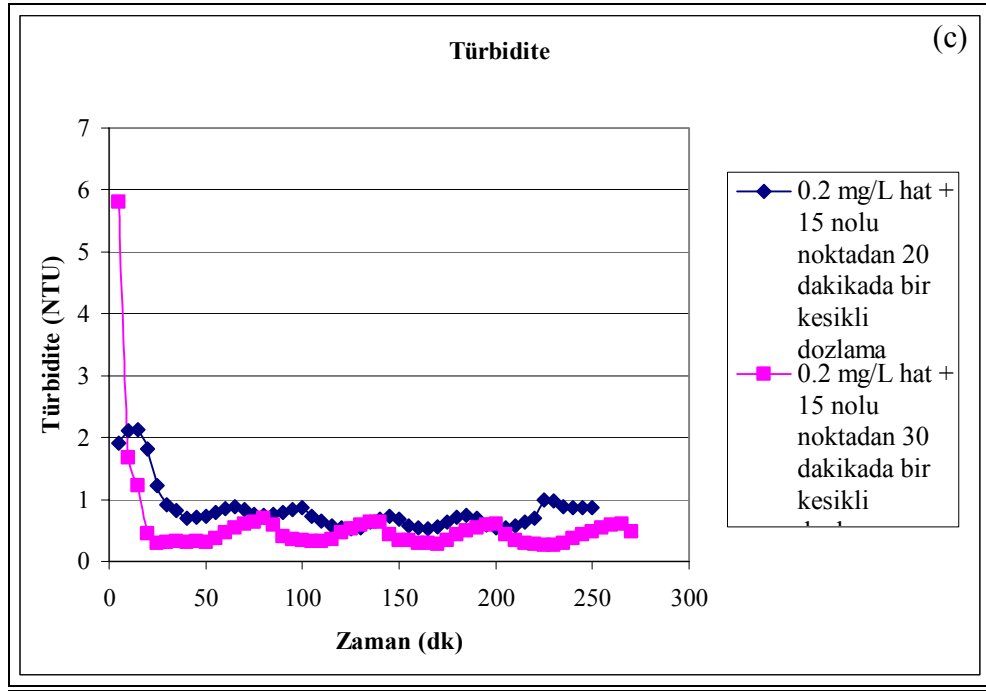
Şekil 5.32 Deney 13'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 16



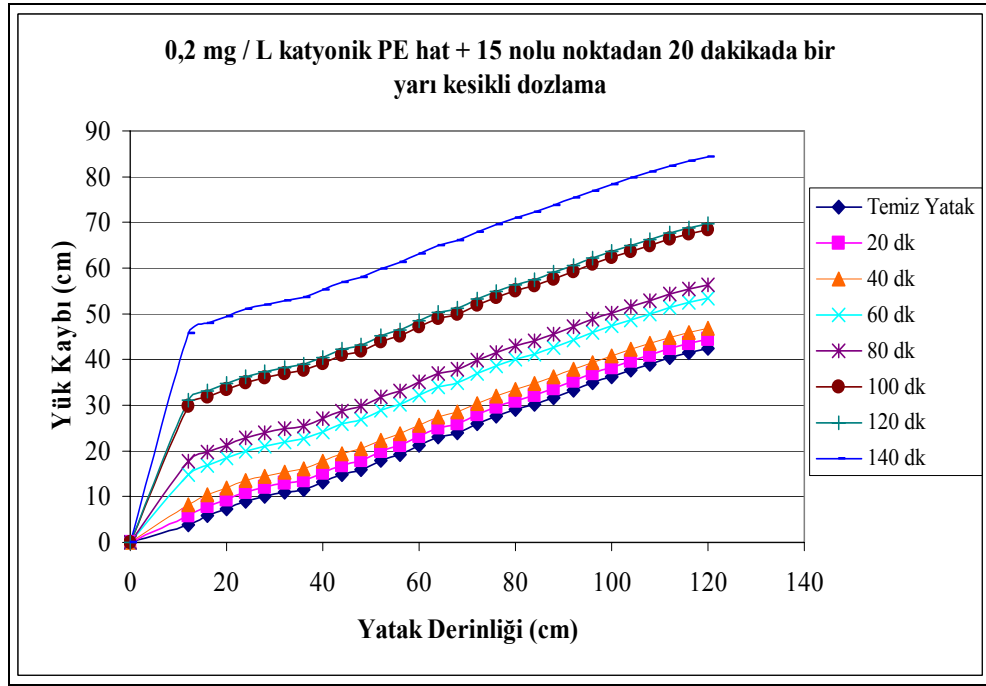
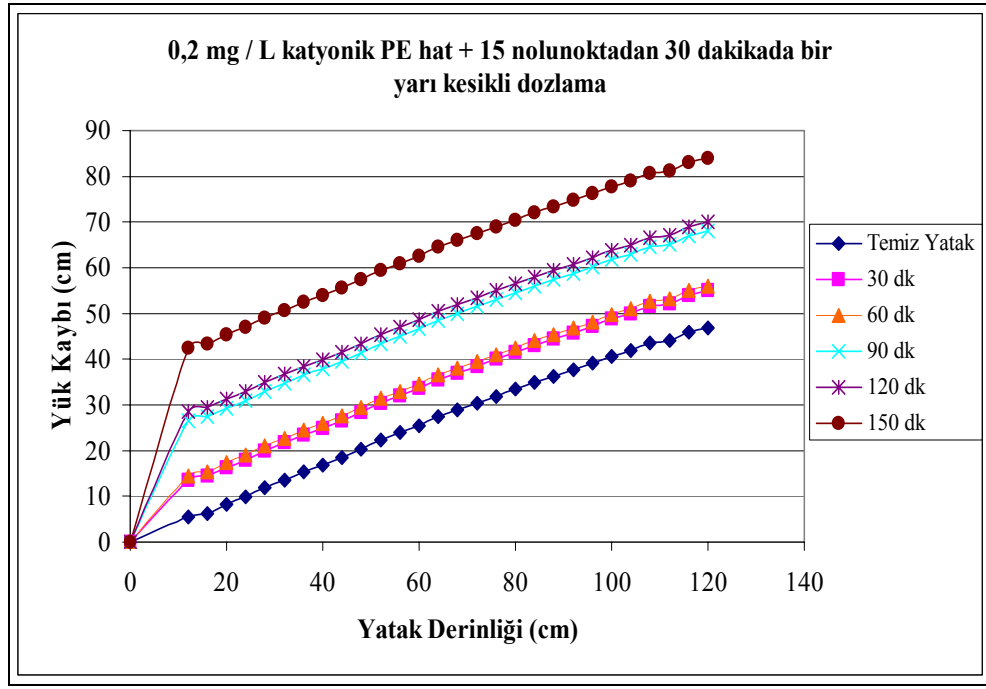
Şekil 5.33 Deney 16 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden 20 dakikada bir kesikli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden 30 dakikada bir kesikli dozlama yapılması.



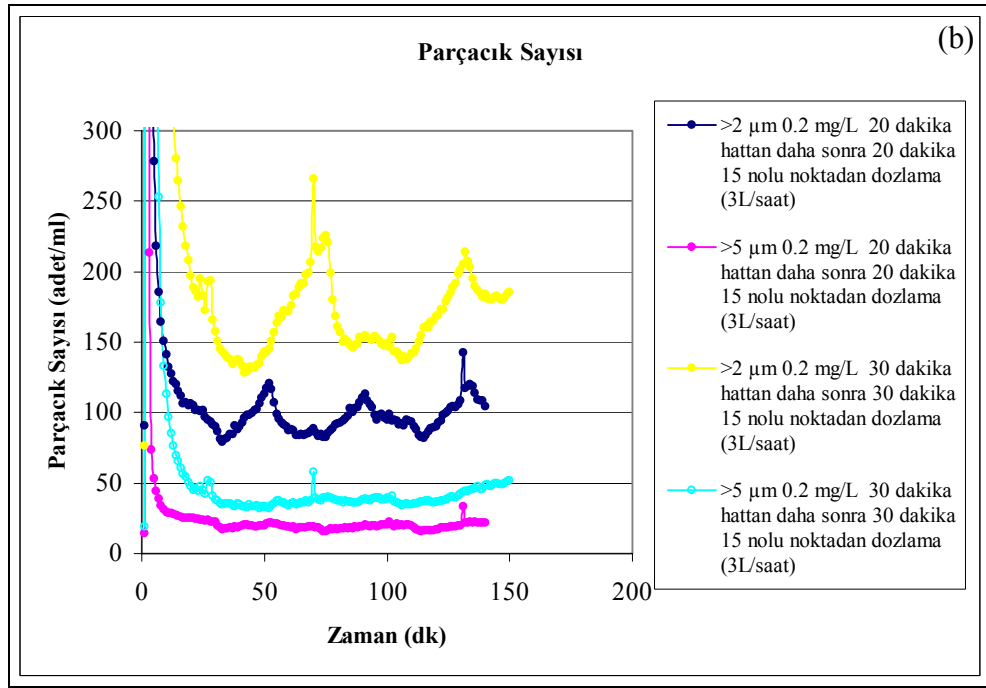
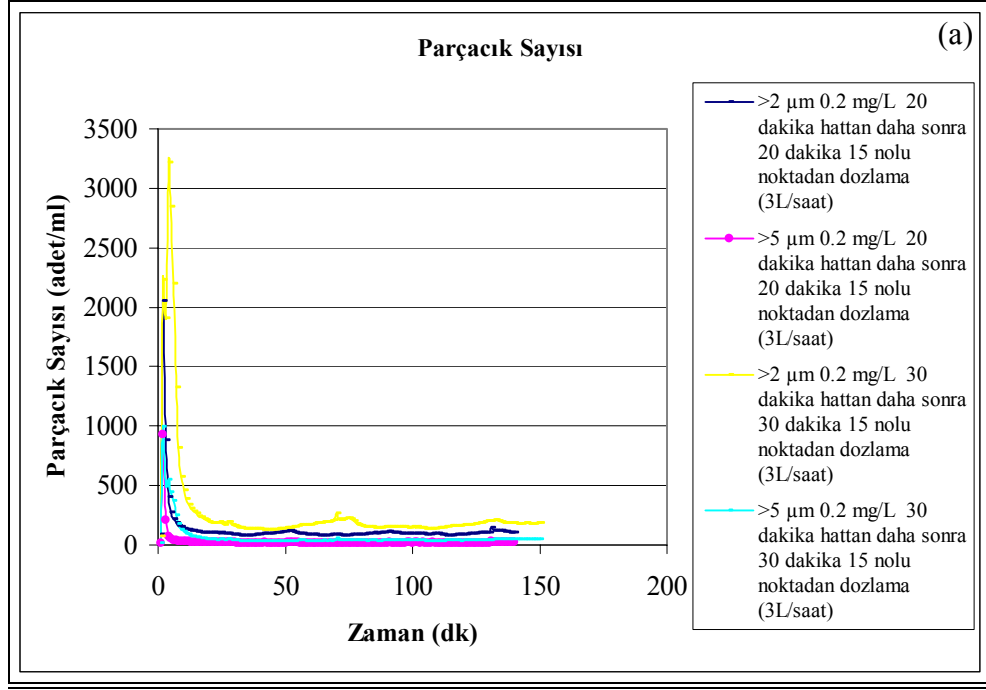


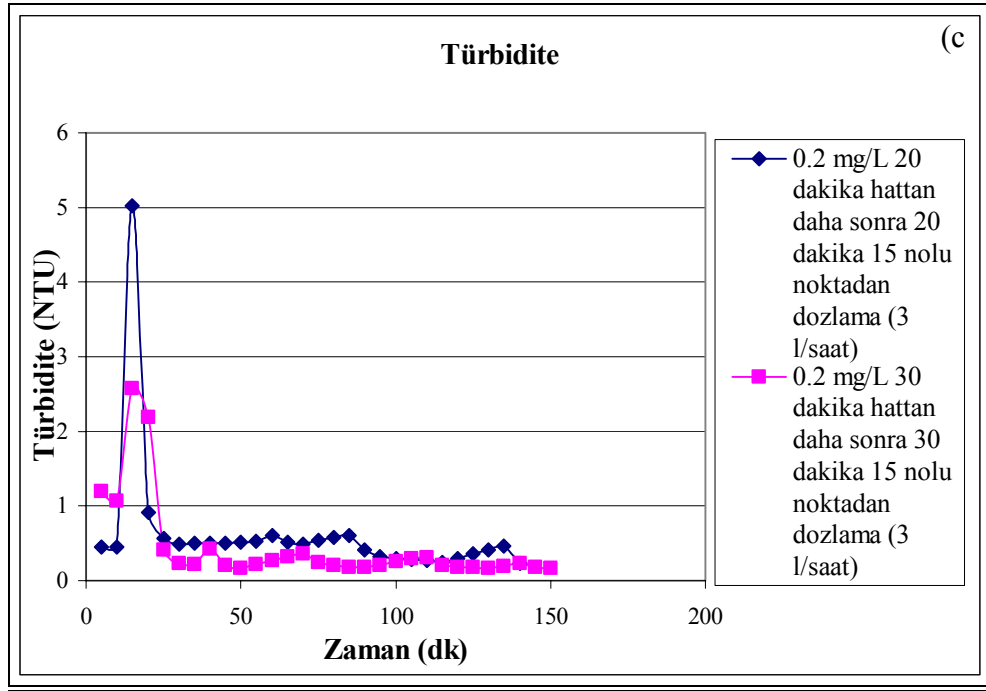
Şekil 5.34 Deney 16'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri

Deney 17



Şekil 5.35 Deney 17 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden 30 dakikada bir yarı kesikli dozlama yapılması 2. düzenekte 0,2 mg/l katyonik PE hat + 15 no'lu nokta üzerinden 20 dakikada bir yarı kesikli dozlama yapılması.





Şekil 5.36 Deney 17'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri

Tablo 5.6. Katyonik Polielektrolit Dozlama Yerinin Filtre Çıkış Suyu Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi Deneylerinin Sonuçları

Deneyler		Bulanıklık (NTU)			Parçacık Sayısı (adet / ml)						Filtrasyon Süresi (dk)
					>2µm			>5 µm			
Deney No	Katyonik PE Uygulama Yeri	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	
7	Hat	5,4	0,19	%96	6003	515	%91	2105	110	%94	180
	25 no’lu nokta	5,4	1,02	%80	6003	1482	%75	2105	138	%93	1110
8	Hat	5,4	0,19	%96	6003	515	%91	2105	110	%94	180
	15 no’lu nokta	5,4	0,91	%83	6003	1380	%77	2105	85,7	%95	1350
9	Hat	5,4	0,19	%96	6003	515	%91	2105	110	%94	180
	5 no’lu nokta	5,4	1,54	%71	6003	1873	%69	2105	93	%95	1050
10	Hat + 25 no’lu nokta	5,2	0,8	%85	5894	863	%85	1905	148	%92	150
	Hat + 15 no’lu nokta	5,2	0,14	%97	5894	299	%94	1905	41	%97	330
11	Hat + 15 no’lu nokta	5,2	0,14	%97	5894	299	%94	1905	41	%97	330
	Hat + 5 no’lu nokta	5,2	0,47	%90	5894	185	%95	1905	38	%98	150
12	Hat+5+15 no’lu nokta	5,2	0,42	%91	5894	289	%95	1905	81	%95	180
	Hat+15+25 no’lu nokta	5,2	0,86	%83	5894	303	%94	1905	143	%92	210
13	Hat	5,2	0,38	%92	5894	102	%98	1905	50	%97	180
	5+15+25 no’lu nokta	5,2	0,86	%83	5894	659	%88	1905	75	%95	1080
14	Hat+15 no’lu nokta (0,3mg/l)	5,0	0,14	%97	5690	79	%98	1830	28	%98	90
	Hat+15 no’lu nokta (0,4mg/l)	5,0	0,37	%92	5690	77	%98	1830	37	%98	90

Tablo 5.7. Katyonik Polielektrolit Dozlama Yerinin Filtre Çıkış Suyu Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi Deneylerinin Sonuçlarının Devamı

Deneyler		Bulanıklık (NTU)			Parçacık Sayısı (adet / ml)						Filtrasyon Süresi (dk)
					>2µm			>5 µm			
Deney No	Katyonik PE Uygulama Yeri	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	
15	Hat+15no’lu nokta 10 dk kesikli	5,0	1,07	%78	5960	336	%94	1830	62	%96	230
	Hat+15 no’lu nokta 20 dk kesikli	5,0	0,87	%82	5960	301	%94	1830	103	%94	260
16	Hat+15 no’lu nokta 20 dk kesikli	5,0	0,87	%82	5960	301	%94	1830	103	%94	260
	Hat+15 no’lu nokta 30 dk kesikli	5,0	0,48	%90	5690	203	%96	1830	100	%94	270
17	Hat+15 no’lu nokta 30 dk yarı kesikli	5,0	0,23	%95	5690	231	%95	1830	59	%96	150
	Hat+15 no’lu nokta 20 dk yarı kesikli	5,0	0,16	%96	5690	104	%98	1830	22	%98	140

5.8 Demir III Klorür ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve Alüminyum Sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)'ın Uygulama Yerinin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Şuana kadar yapılan deneylerde yumaklaştırıcı olarak polielektrolit kullanılmış ve sistem üzerindeki verimi incelenmiştir. Yapılan bu polielektrolit çalışmalarında sistem üzerinde en iyi sonucu veren dozlama noktası, dozlama süresi ve dozlama şekli belirlenmiştir. Bu sonuçlardan yararlanarak, filtrasyon sisteminde sıkça kullanılan yumaklaştırıcılardan olan Demir III Klorür ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve Alüminyum Sülfatı ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) kullanarak bu sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. 5 mg/l ve 7,5 mg /L konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltiler sisteme hat ve yatak üzerindeki 15 no'lu noktadan kesikli ve sürekli olacak 3 L/saat debide olacak şekilde dozlanmıştır. Bunun için 18–22 no'lu deneyler yapılmıştır.

18 no'lu deneyde 7,5 mg/l demir ve 7,5 mg/l alum, hat + 15 no'lu noktadan dozlama pompaları yardımıyla 3 L/saat debide sürekli dozlanarak filtre verimlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu 7,5 mg/l alum dozlaması ile yapılan deneyde filtrasyon süresi 1410 dakika sürerken çıkış suyu bulanıklık değeri 0,03 NTU ya kadar inmiştir. 7,5 mg/l demir III klorür dozlamasında ise filtrasyon süresi 330 dakika sürerken çıkış suyu bulanıklık değeri 0,13 NTU olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere 7,5 mg/l'lik alum dozlaması filtrasyon süresi açısından bariz şekilde demir III klorür' den daha iyi olduğu görülmüştür.

19 no'lu deneyde ise düzeneklerden birincisine filtreyi besleyen su hattı üzerinden 7,5 mg/l alum 3 L/saat debide ikincisine ise hat + 15 no'lu dozlama noktasından toplam 3 L/saat debide yine 7,5 mg/l alum dozlanmıştır. Bu deney sonucunda hat üzerinden yapılan dozlama da çıkış suyu bulanıklığı 0,07 NTU olurken filtrasyon süresi 300 dakika sürmüştür. Hat+ 15 no'lu noktadan yapılan dozlama da ise çıkış suyu bulanıklık değeri 0,03 NTU olarak ölçülürken filtrasyon

süresi hattan yapılan dozlamaların yaklaşık 4,7 katı yani 1410 dakika olarak ölçülmüştür. Bu deneyde de görüldüğü gibi hat + yatak dan yapılan dozlamalar da filtrasyon süresi daha uzun sürdüğü görülmüştür.

20 no'lu deneyde ise 19 no'lu deneyde kullanılan alum yerine 7,5 mg/l demir III klorür kullanılmıştır. Hattan yapılan 3 L/saat'lik debili sürekli dozlama da çıkış suyu bulanıklık değeri 0,3 NTU filtrasyon süresi de 150 dk olarak ölçülmüştür. Hat + 15 no'lu noktadan yapılan dozlama da ise çıkış suyu bulanıklık değeri 0.01 NTU olarak belirlenirken filtrasyon süresi 330 dakika sürmüştür.

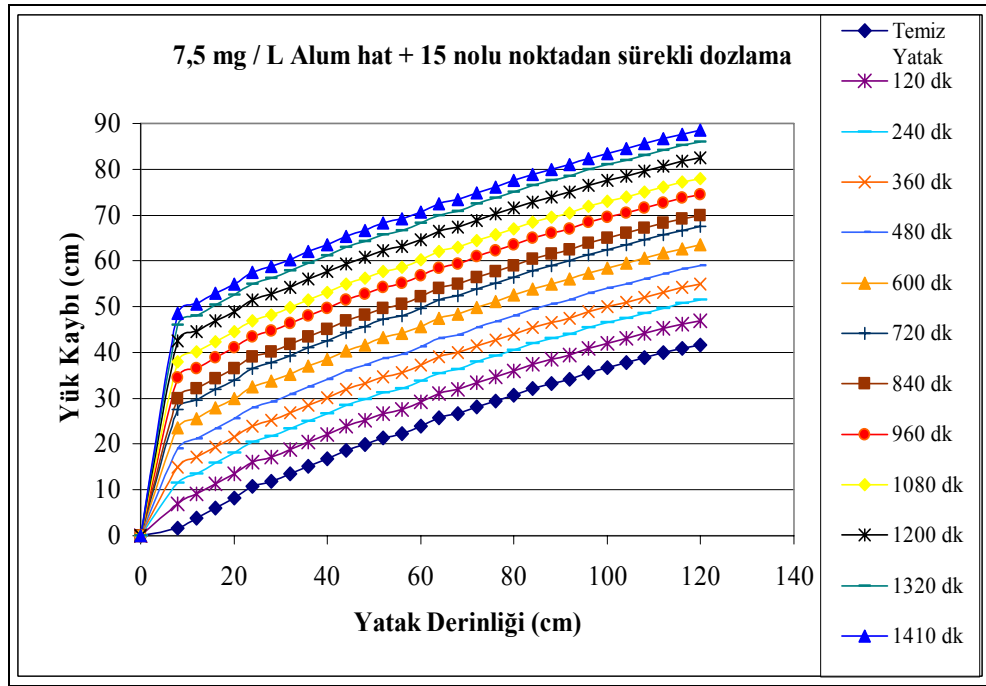
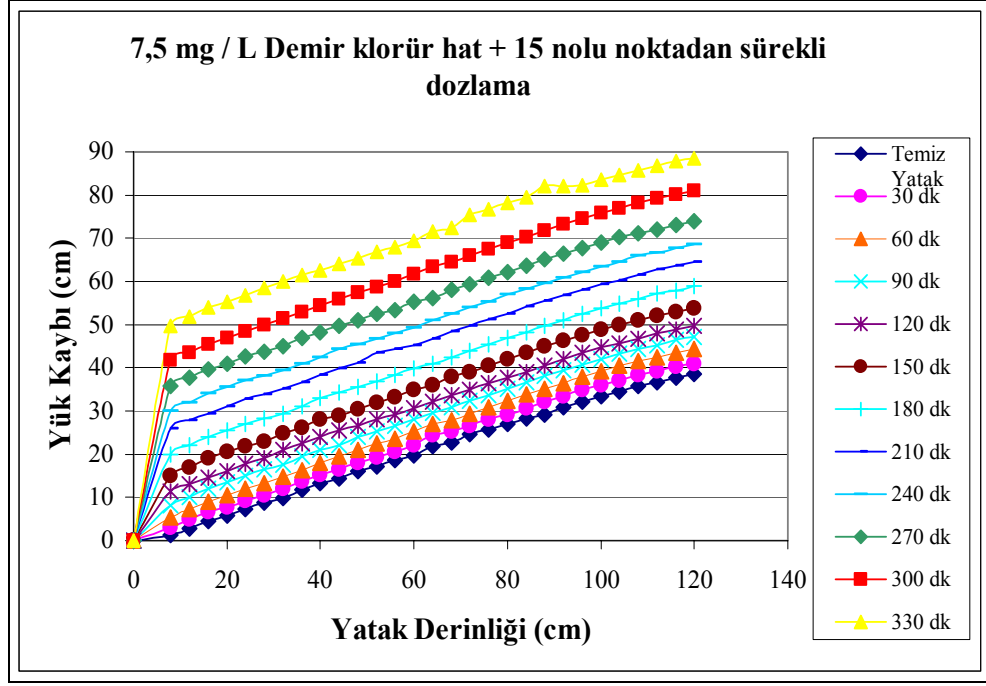
21 no'lu deneyde ise 5 mg/l demir III klorür çözeltisi ile 5 mg/l alum çözeltisinin sürekli dozlaması karşılaştırılmıştır. Her iki deneyde de 3 L/saat'lik dozlama debisi ve hat + 15 no'lu dozlama noktaları kullanılmıştır. Demir III klorür 'ün kullanıldığı deneyde filtre çıkış suyu bulanıklık değeri 0,16 NTU olarak ölçülürken depodaki suyun bitmesi sonucu filtre 1350. dakika da durduruldu. Fakat 1350. dakikaya kadar yük kaybındaki ki düzenli artış hızı göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamada filtrenin yaklaşık olarak 1650. dakika ya kadar çalışabileceği görülmüştür. Alum'un kullanıldığı deneyde ise çıkış suyu bulanıklık değeri 0,15 NTU olarak ölçülürken depodaki suyun 1440. dakika da bitmesi sonucu filtre durdurulmuştur. Bu deneyde de 1440. dakika ya kadar ki yük kaybı artış hızı ve çıkış suyu bulanıklık değerinde ki sabitlik dikkate alınarak yapılan hesaplamada filtrenin yaklaşık 3840. dakikaya kadar çalışabileceği düşünülmektedir. Bu süre de yaklaşık 64 saatlik bir filtrasyon süresine denk gelmektedir ki bu sonuç şuana kadarki en iyi filtrasyon süresidir.

Bu çalışma kapsamında yapılan 22 no'lu son deney de ise 5 mg/l 'lik demir III klorür çözeltisi ile yine 5 mg/l 'lik alum çözeltisi kullanılmıştır. Bu deneyde hat + 15 no'lu noktadan daha önceki kesikli deneylerde en iyi sonucu veren 30 dakika kesikli dozlama şekli kullanılmıştır. Her iki düzeneğe de 30 dakika da bir olacak şekilde alum ve demir III klorür dozlaması yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda demir klorür çözeltisi ile yapılan dozlama da filtrasyon süresi 1350 dakika sürerken çıkış suyu bulanıklık değeri 0,21 NTU olarak ölçüldü. Alum'la yapılan dozlama da ise depodaki

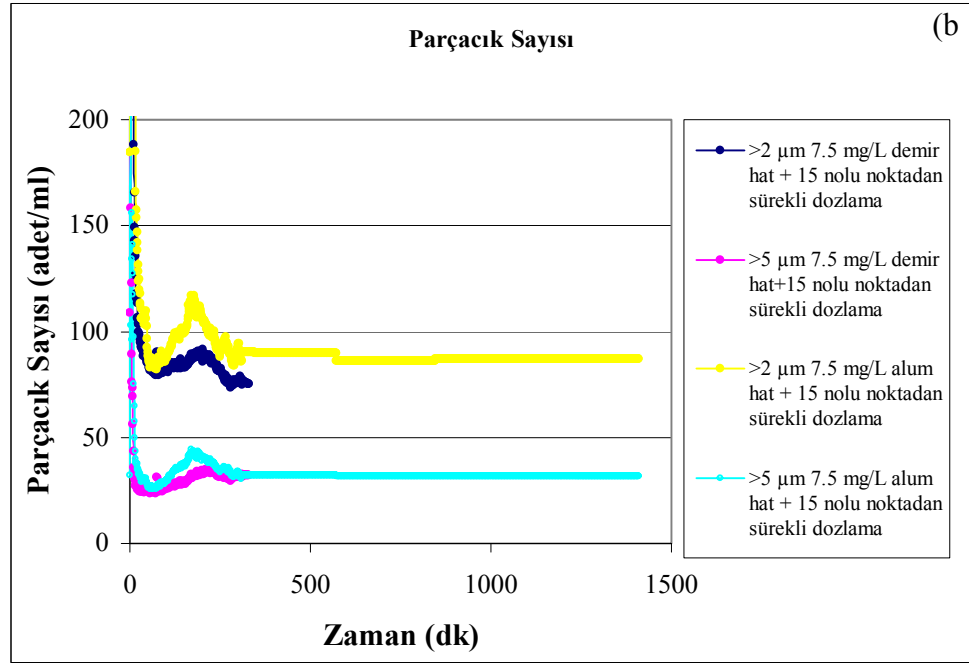
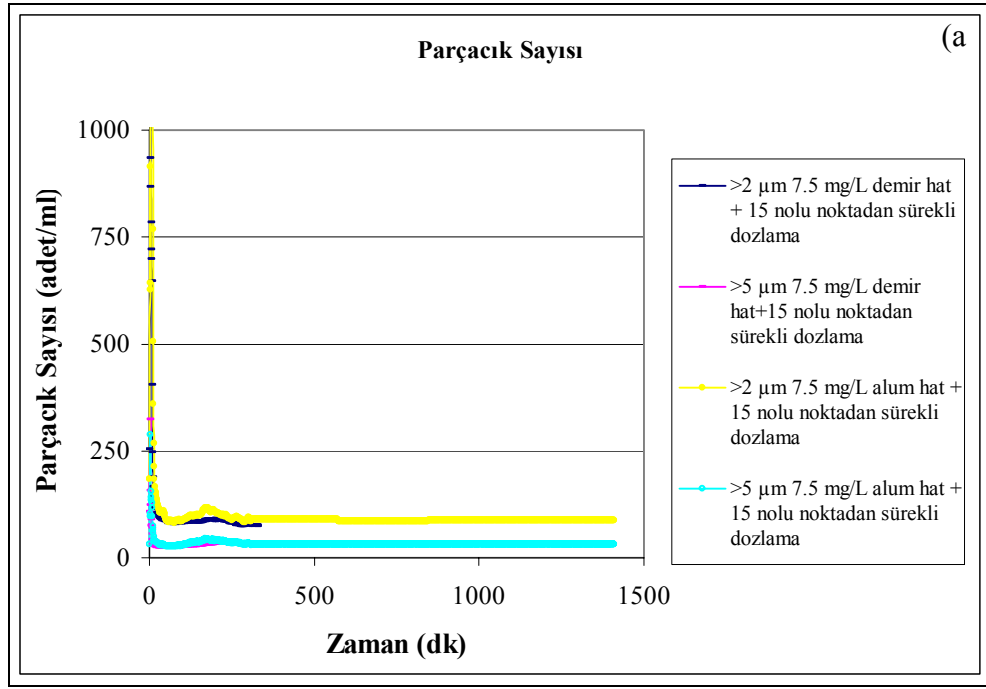
suyun bitmesi sonucu filtre 1440. dakika da kesildi ve o dakikada ki çıkış suyu bulanıklık değeri 0,20 NTU olarak ölçülmüştür. Daha önceki deneyde de olduğu gibi 1440. dakika ya kadar ki yük kayıplarındaki artış hızına ve çıkış suyu bulanıklık değerindeki sabitliği dikkate alındığında filtrenin yaklaşık olarak 4710. dakika ya kadar çalışabileceği yani 78,5 saat gibi bir süre çalışabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu sonuç tüm deneylerde ki en iyi filtrasyon süresi olarak düşünülebilir.

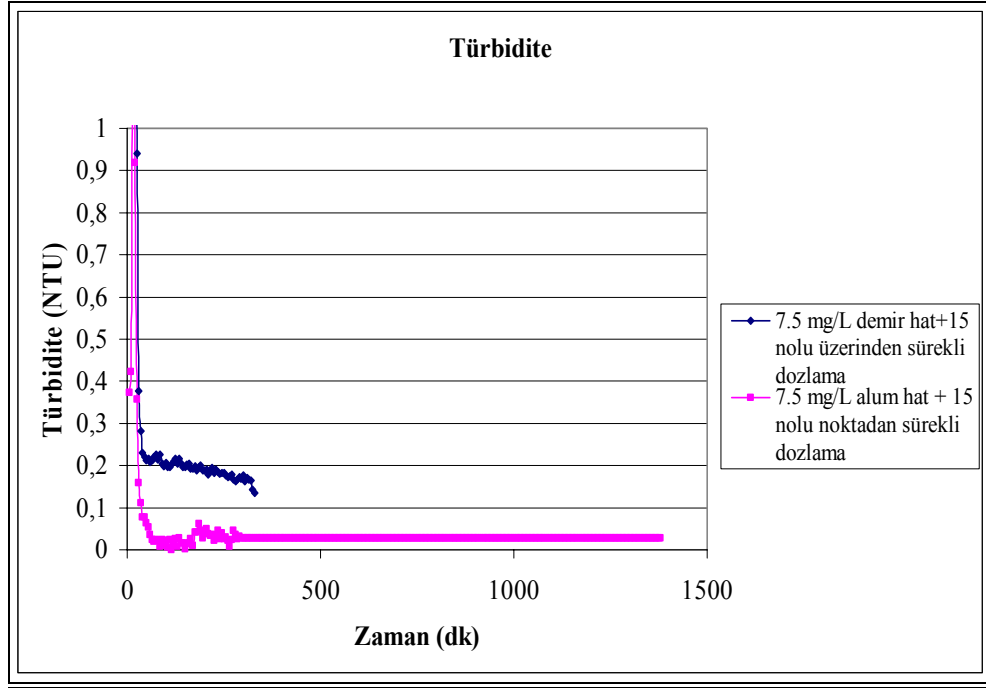
5.9 Deney Grafikleri

Deney 18



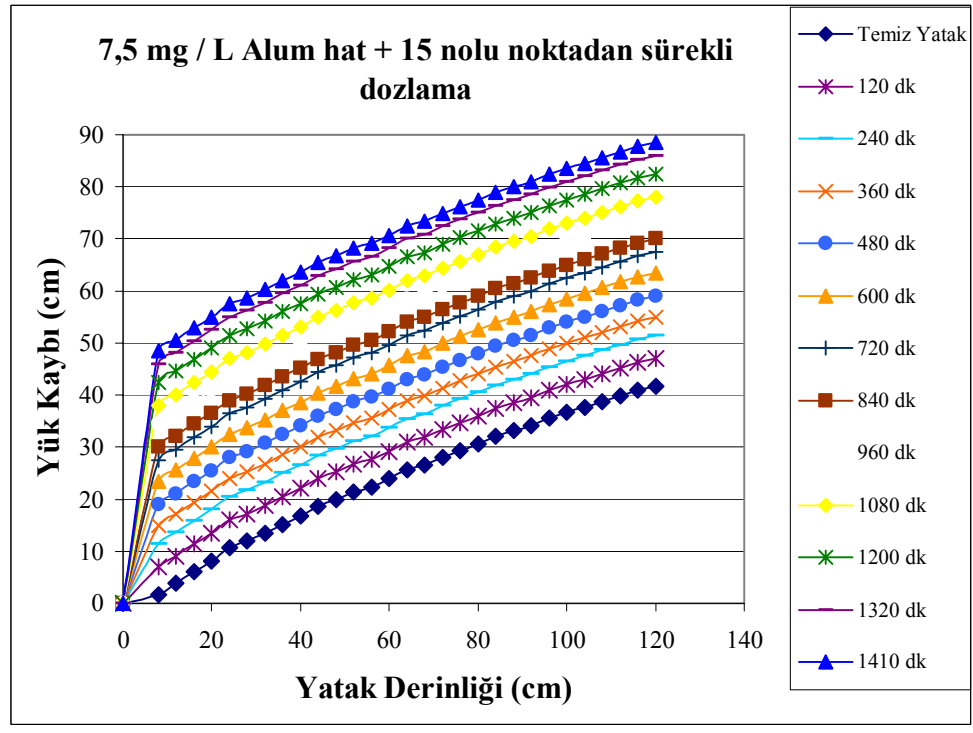
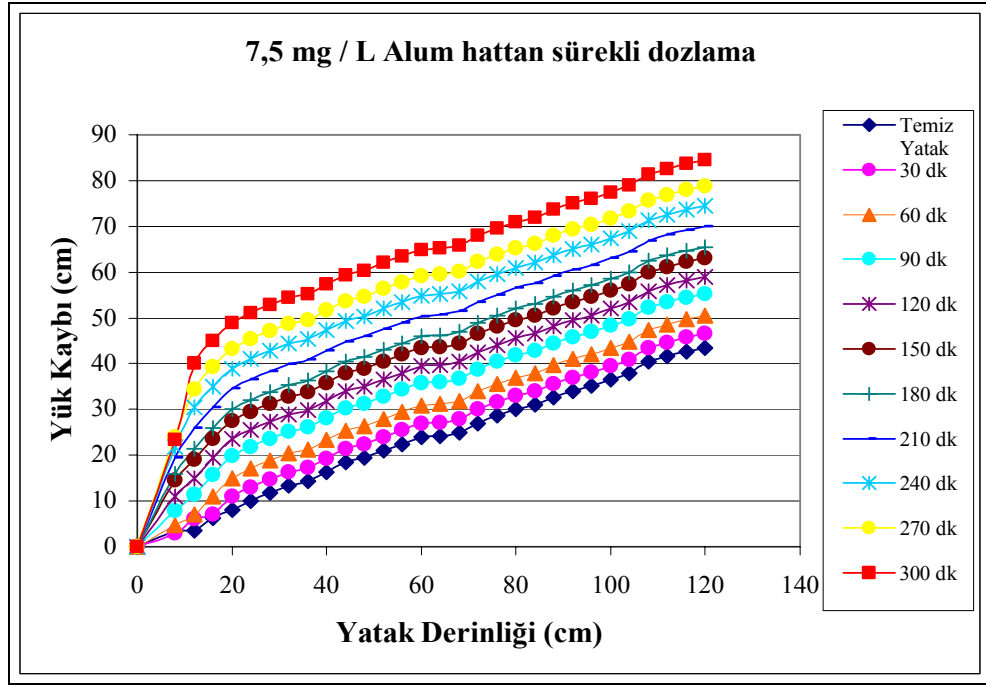
Şekil 5.37 Deney 18 için yük kayıpları gelişimi. 1. düzenekte 7,5 mg/l demir III klorür hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması. 2. düzenekte 7,5 mg/l alum'un hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması.



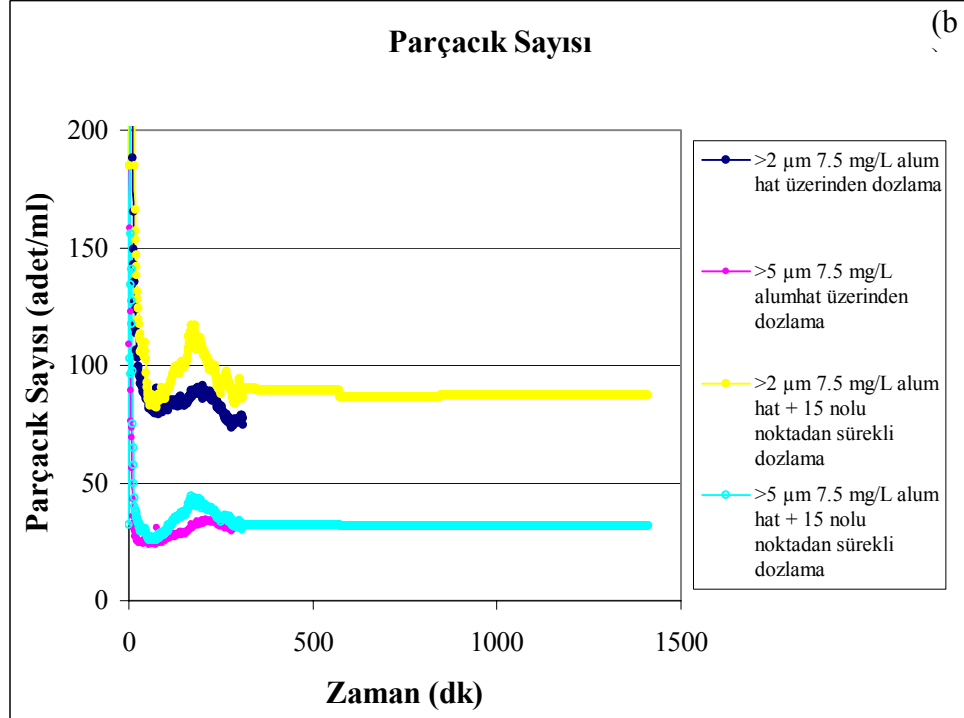
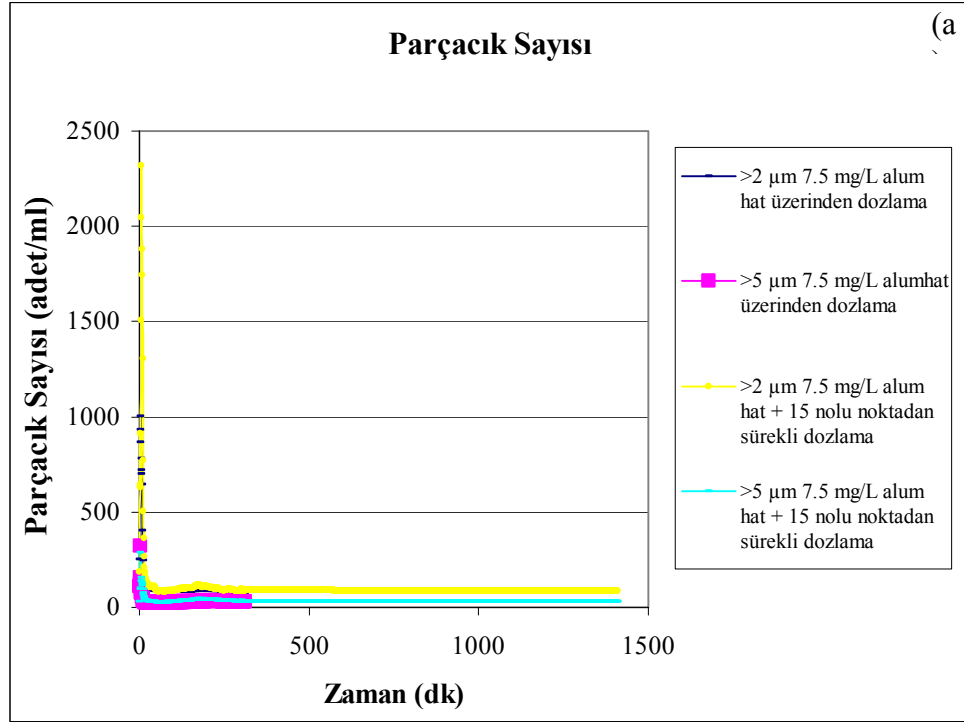


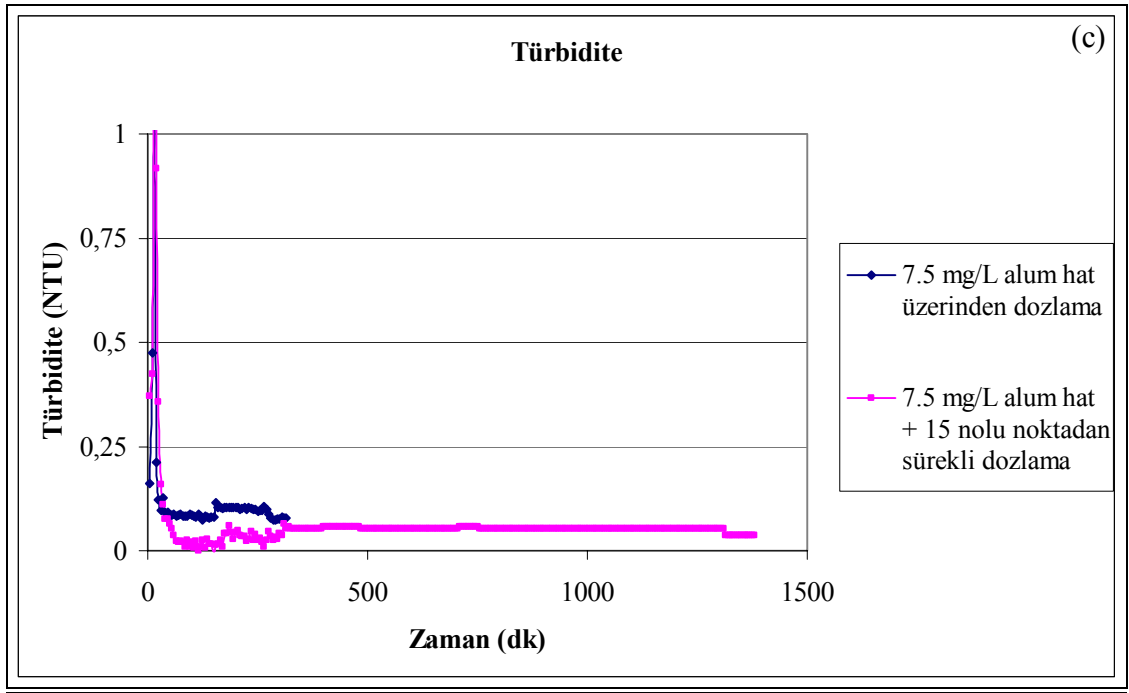
Şekil 5.38 Deney 18'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri

Deney 19



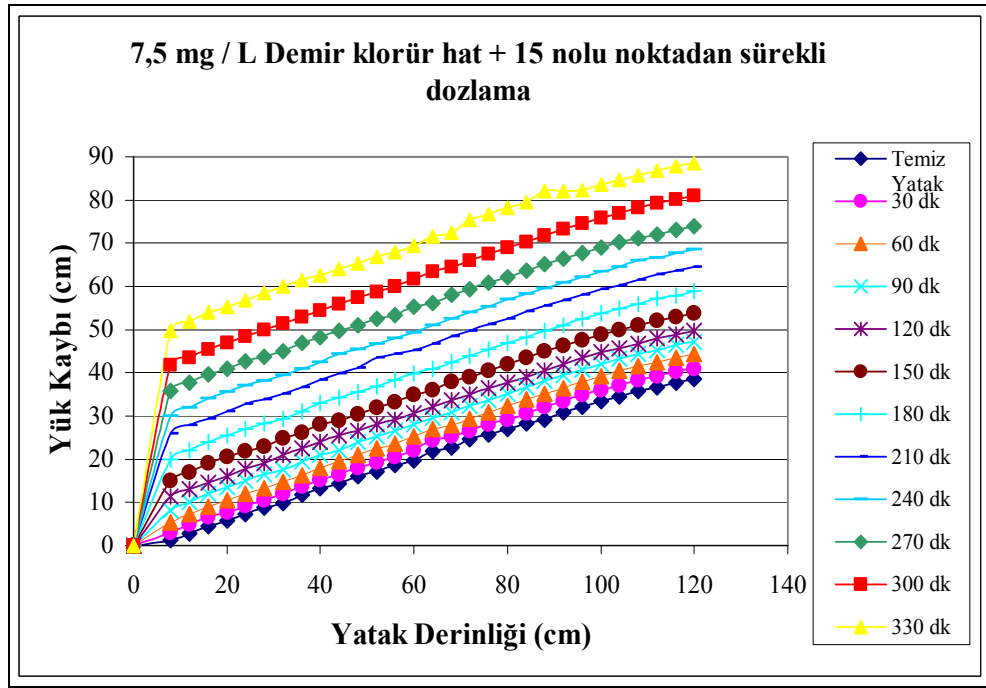
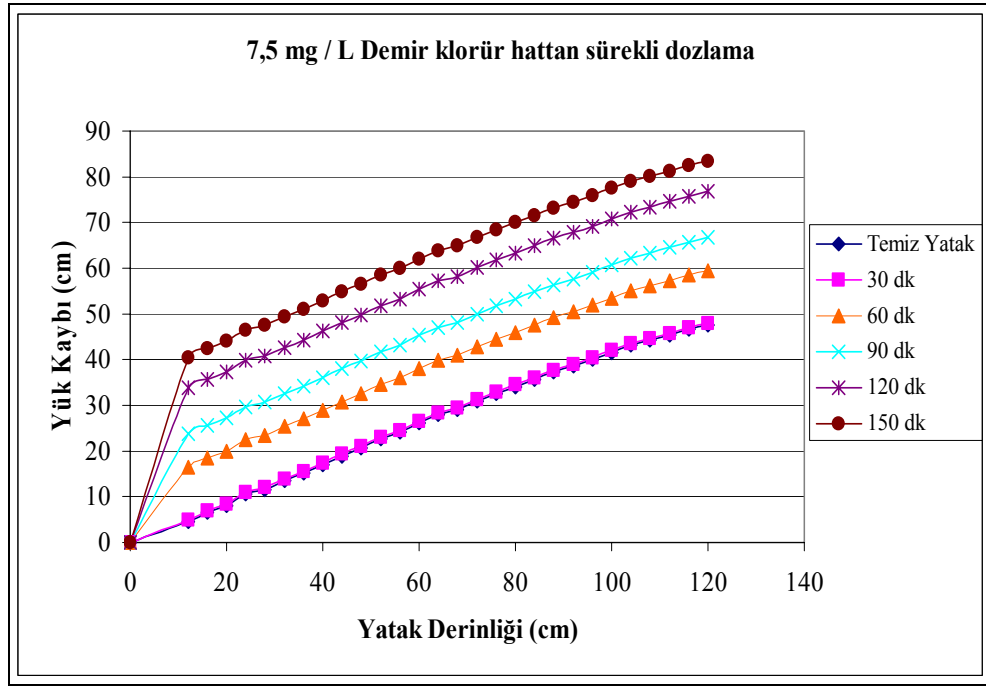
Şekil 5.39 Deney 19 için yük kayıpları gelişimi. 1. düzenekte 7,5 mg/l alum hat üzerinden sürekli dozlama yapılması. 2. düzenekte 7,5 mg/l alum'un hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması.



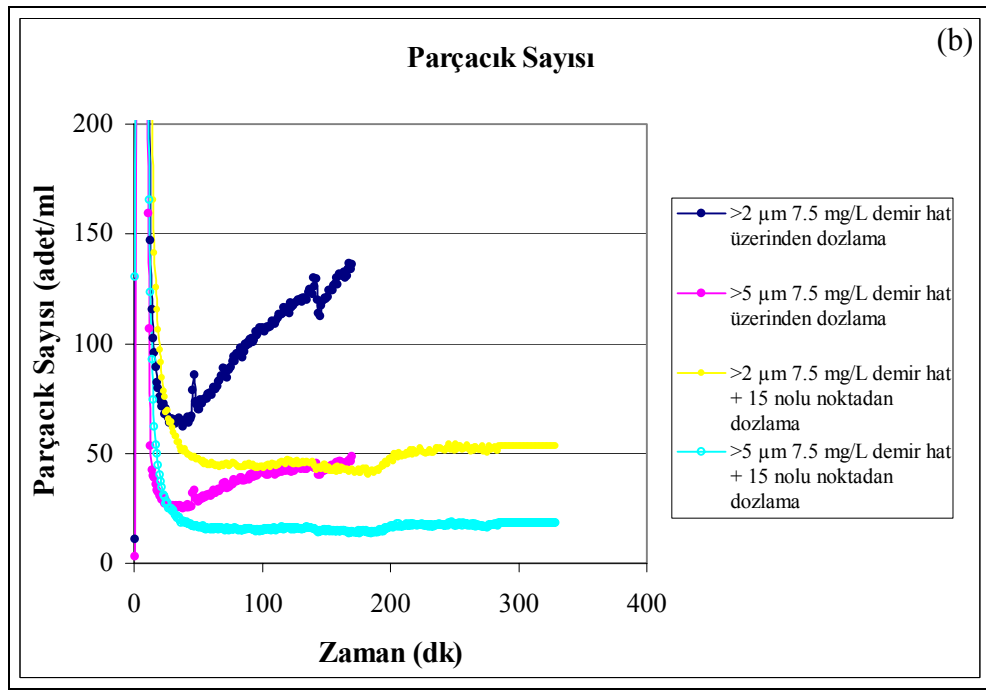
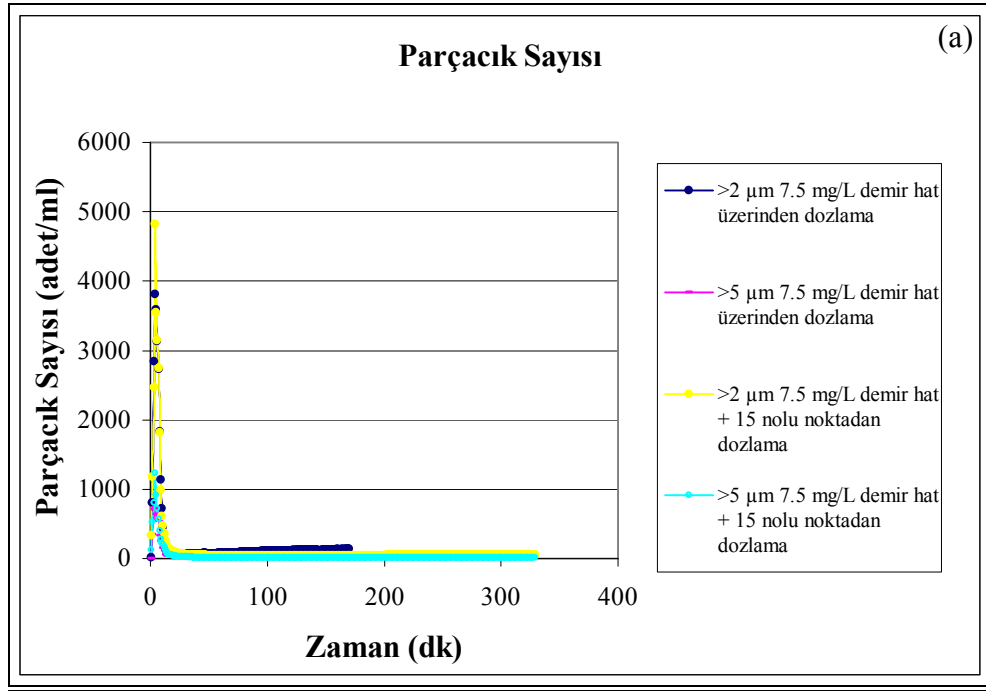


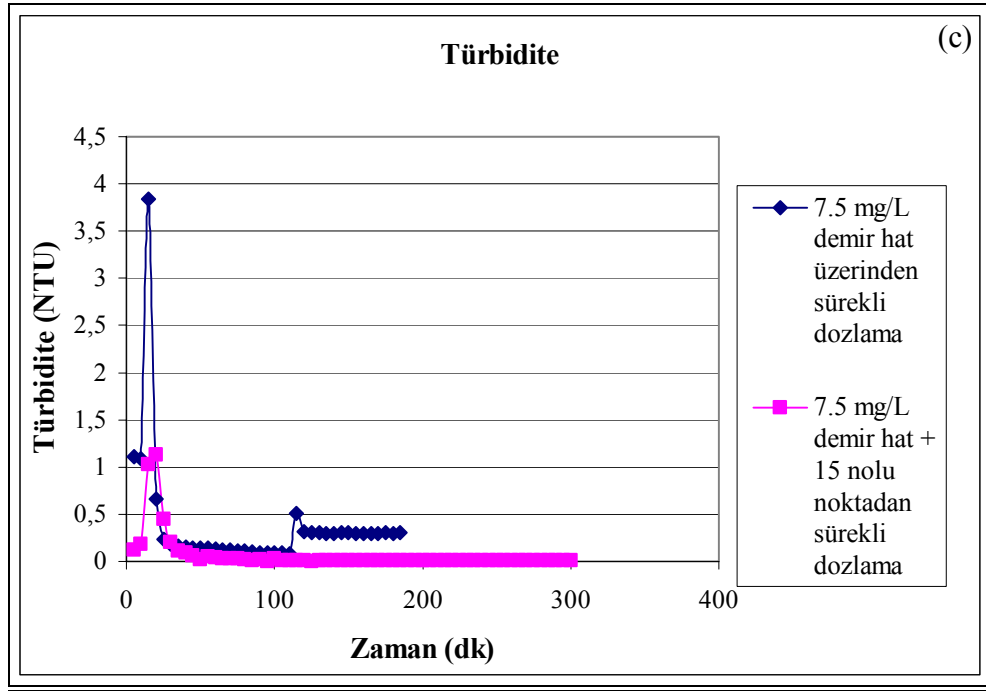
Şekil 5.40 Deney 19'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler
(b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri

Deney 20



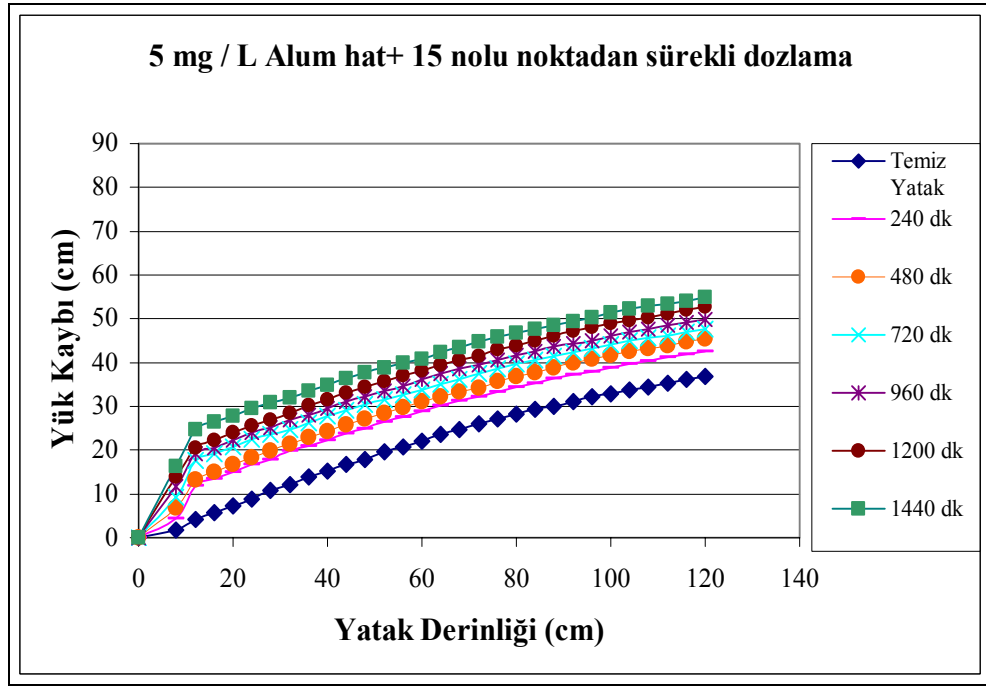
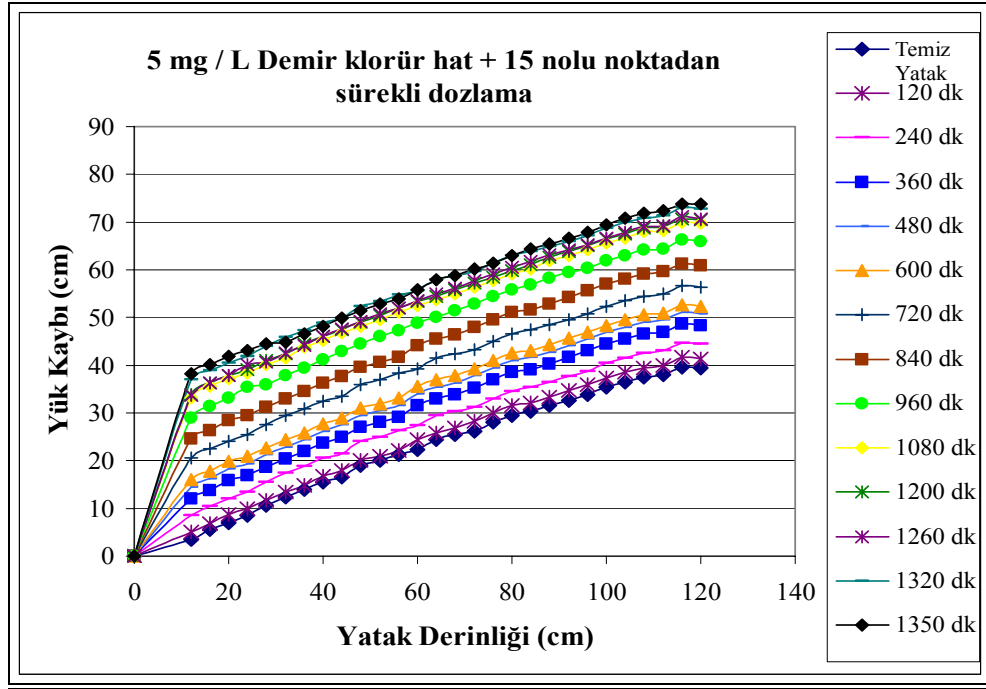
Şekil 5.41 Deney 20 için yük kayıpları gelişimi. 1. düzenekte 7,5 mg/l demir III klorür hat üzerinden sürekli dozlama yapılması. 2. düzenekte 7,5 mg/l demir III klorür hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması.



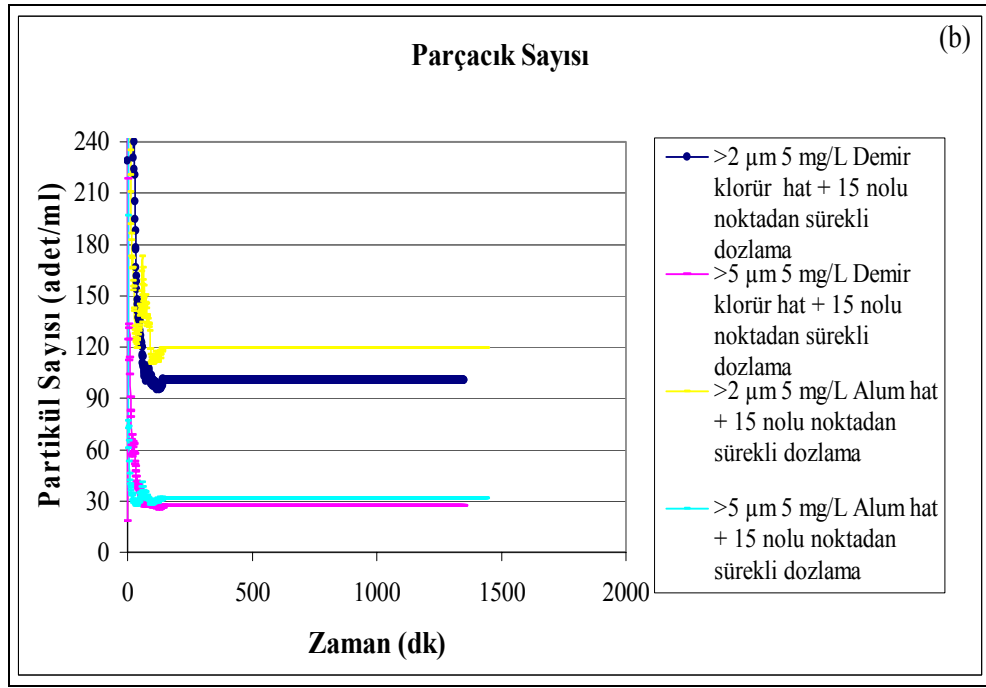
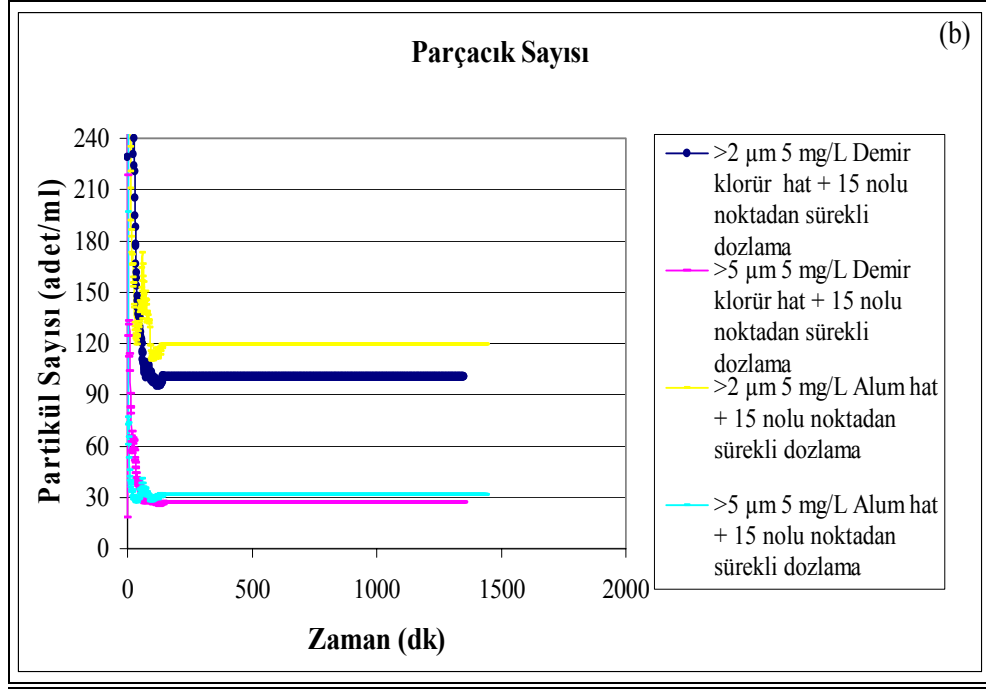


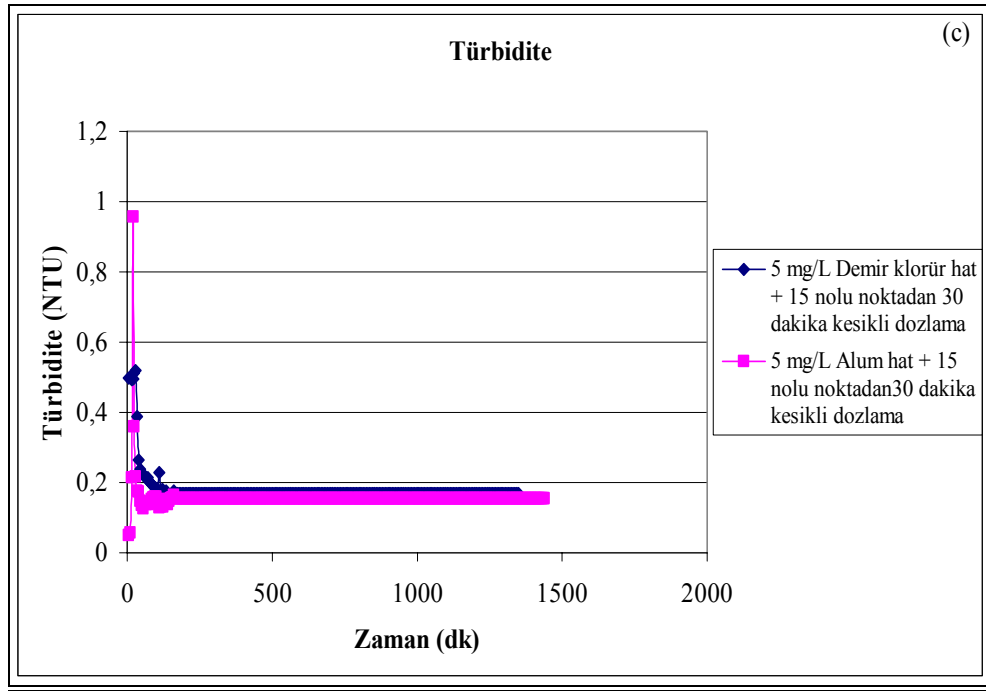
Şekil 5.42 Deney 20'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri

Deney 21



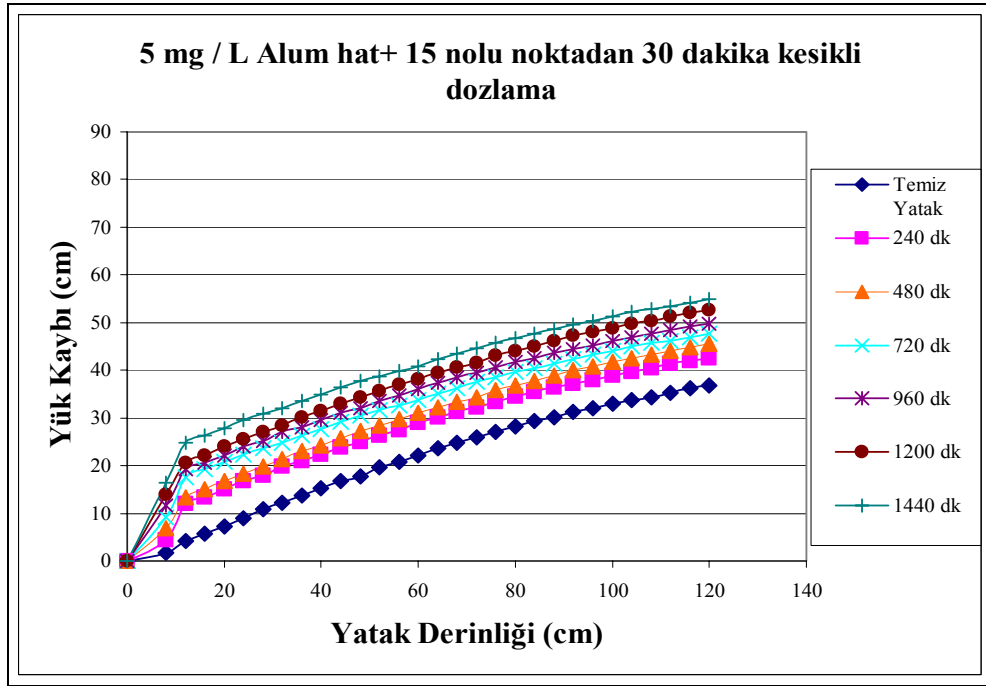
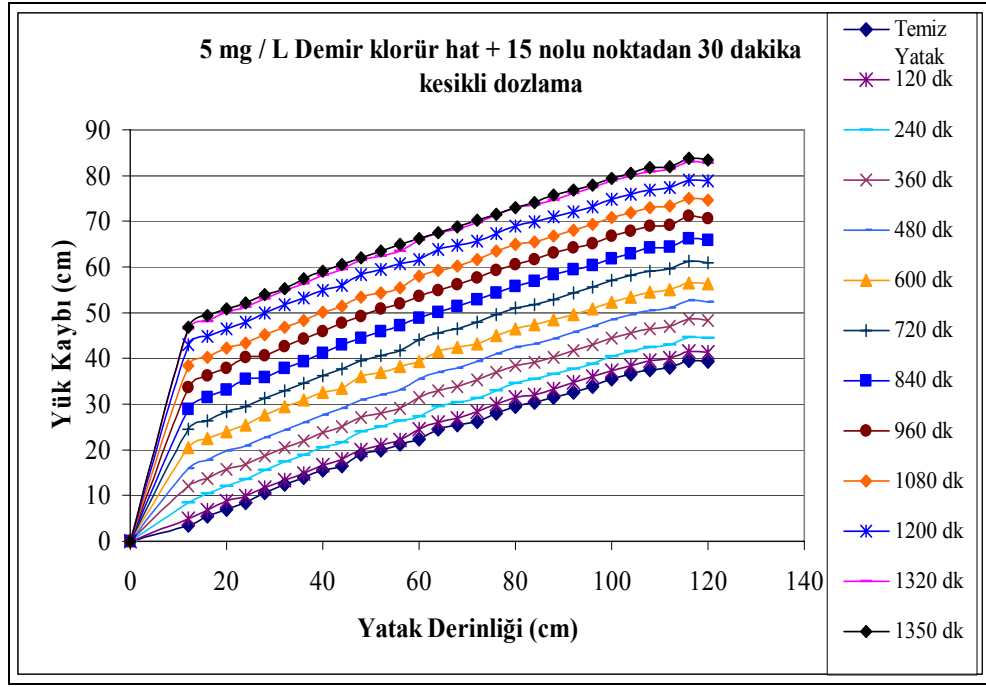
Şekil 5.43 Deney 21 için yük kayıpları gelişimi. 1. düzenekte 5 mg/l demir III klorür hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması. 2. düzenekte 5 mg/l alum hat + 15 no'lu nokta üzerinden sürekli dozlama yapılması.



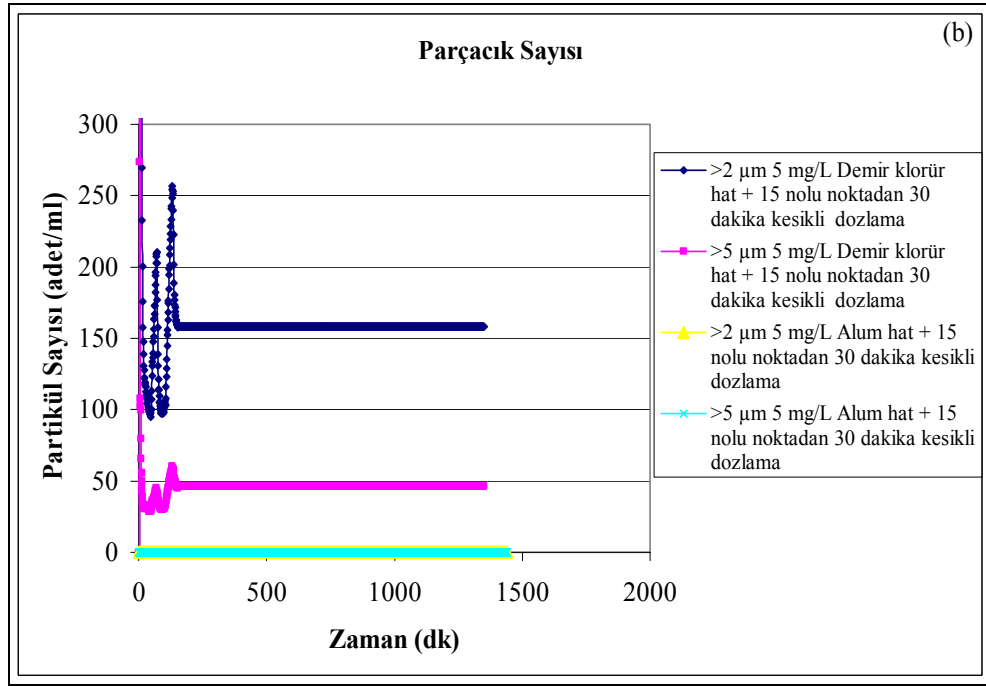
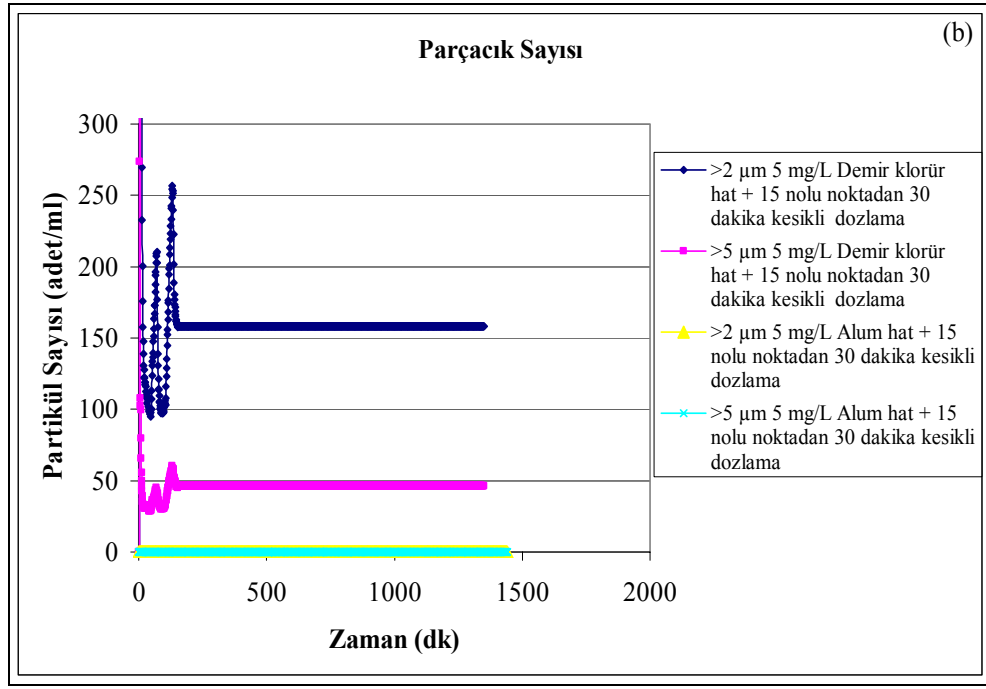


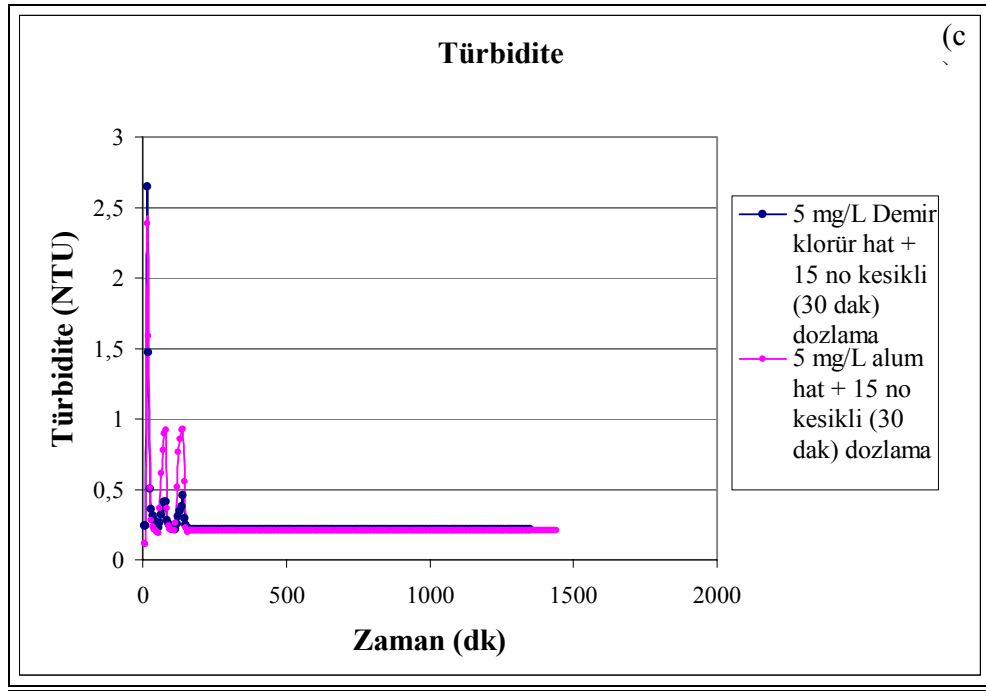
Şekil 5.44 Deney 21'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b) a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Deney 22



Şekil 5.45 Deney 22 için yük kayıpları gelişimi. 1 düzenekte 5 mg/l demir III klorür hat + 15 no'lu nokta üzerinden 30 dakikada bir kesikli dozlama yapılması. 2. düzenekte 5 mg/l alum hat + 15 no'lu nokta üzerinden 30 dakikada bir kesikli dozlama yapılması.





Şekil 5.46 Deney 22'ye ait su kalitesi değişimleri. (a) parçacık sayısındaki değişimler (b)a grafiğinin büyütülmüş şekli, (c) bulanıklık değişimleri.

Tablo 5.8 Demir III Klorür ve Alüminyum Sülfat'ın Uygulama Yerinin Filtrasyon Verimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi Deneylerinin Sonuçları

Deneyler		Bulanıklık (NTU)			Parçacık Sayısı (adet / ml)						Filtrasyon Süresi (dk)
					>2µm			>5 µm			
Deney No	Demir III klorür ve Alum Uygulama Yeri	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	Ham Su (Giriş)	Çıkış	Giderme Verimi (%)	
18	Hat+15no’lu nokta 7,5 mg/l Alum sürekli	5,2	0,03	%99	5907	87	%98	2010	32	%98	1410
	Hat+15 no’lu nokta 7,5 mg/l Demir sürekli	5,2	0,13	%97	5907	75	%98	2010	35	%98	330
19	Hat üzerinden 7,5 mg /L Alum sürekli	5,5	0,07	%98	6100	74	%98	2400	31	%98	300
	Hat+15 no’lu nokta 7,5 mg/l Alum sürekli	5,5	0,03	%99	6100	87	%98	2400	32	%98	1410
20	Hat üzerinden 7,5 mg/l Demir sürekli	5,2	0,3	%94	5810	135	%97	1980	48	%97	150
	Hat+15 no’lu nokta 7,5 mg /L Demir sürekli	5,2	0,01	%99	5810	53	%99	1980	18	%99	330
21	Hat+15 no’lu nokta 5 mg /L Demir sürekli	5,4	0,23	%97	5980	100	%98	2020	27	%98	1350*
	Hat+15 no’lu nokta 5 mg /L Alum sürekli	5,4	0,15	%97	6010	119	%98	2190	31	%98	1440*
22	Hat+15 no’lu nokta 5 mg/l Demir 30dk kesikli	5,5	0,21	%96	6200	158	%97	2350	46	%98	1350
	Hat+15 no’lu nokta 5 mg/l Alum 30 dk kesikli	5,5	0,20	%96	6000	163	%97	2130	31	%98	1440*

* Deney sırasında ham su örneği bittiği için filtrasyon durduruldu.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Direkt filtrasyon sistemlerinde koagülasyon için gerekli olan kimyasal ihtiyacı genelde sisteme filtreyi besleyen su hattı üzerinden verilmiş ve filtre üzerinde su ile kimyasalın etkili bir şekilde karışması sağlanmıştır. Fakat daha önce filtreye gelen ham suya verilen kimyasalın uygulama noktasının değiştirilmesi ve farklı noktalardan değişik şekillerde uygulanması sistematik bir şekilde ve yeterli düzeyde çalışılmamıştır.

Bu çalışmada ilk olarak yumaklaştırıcı olarak kullanılması gereken polielektrolit türü belirlenmiş yapılan deneyler sonucu en iyi sonucu veren katyonik polielektrolit seçilmiştir. Kimyasal türü belirlendikten sonra filtre yatağı boyunca farklı noktalardan farklı şekillerde , sürekli, kesikli ve yarı kesikli olmak üzere uygulanmasına geçilmiştir. Bu deneyler sonucu ortaya çıkan filtre yatağındaki en uygun dozlama noktası ve uygulama şekli belirlenmiş ve bu deney şartları göz önünde bulundurularak aynı sistem demir III klorür ve alum içinde denenmiştir. Bu çalışma, bir arıtma tesisinin proses olarak tüm adımlarını karşılamaktadır. Maalesef ülkemizde demir, alum ve polielektrolit gibi çeşitli yumaklaştırıcı maddelerin filtre yatağı boyunca, sürekli, kesikli ve yarı kesikli olarak uygulanması ve tüm proses boyunca etkilerinin araştırılıp değerlendirilmesinin yapılması ihmal edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma bir anlamda direkt filtrasyonda filtre yatağı boyunca kimyasal dozlaması hakkında bir el kitabı olacaktır.

Bütün deneyler birebir aynı bulanıklık ve parçacık sayısına sahip hamsuda yapılmadığından her bir matris öncelikle kendi içinde değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca deney sonuçlarından da görüldüğü üzere bulanıklığın artışı veya azalması ile filtrasyon verimi arasında direkt bir ilişki kurmak oldukça zordur.

Elde edilen sonuçlara bakılarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir:

- Yapılan ilk 6 deneylik sette sistemimizde kullanılacak polielektrolit türü ve belirlenen polielektrolit türünün sistemde sürekli ve kesikli uygulamasının çıkış suyu bulanıklığı üzerine etkisi açısından incelendiğinde; 0,2 mg/l anyonik polielektrolit ile filtreyi besleyen su hattı üzerinden sürekli dozlama yapıldığında filtrasyon süresi açısından diğer polielektrolit türlerine göre en iyi sonuç elde edilmiştir. Anyonik polielektrolitin filtrasyon süresinin daha uzun sürmesinin nedeni ise katyonik polielektrolitte olduğu gibi filtre yüzeyinde bir tabakalaşmanın oluşmaması olarak düşünülmektedir. Katyonik polielektrolitte de ise 0,2 mg/l'lik sürekli dozlama filtrasyon süresi olarak diğer katyonik polielektrolit dozajlarına göre en iyisi olarak belirlenmiştir. Fakat katyonik polielektrolit kullanılmasında filtre üst yüzeyinden oluşan tabakalaşmadan dolayı filtrasyon süresi daha kısa sürmüştür. Her iki polielektrolit türünde de 0,2 mg/l dozajı filtrasyon süresi açısından en iyisi dozaj olarak belirlenmiştir. Fakat bu iki tür birbirleri arasında karşılaştırıldığında anyonik polielektrolitin filtrasyon süresi daha iyi olmasına karşın filtre çıkış suyu bulanıklık verimi açısından ve parçacık giderim verimi açısından katyonik polielektrolit daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca ham suyun negatif zeta potansiyel değeri için (+) yüklü katyonik polielektrolit türü askıdaki parçacıkların stabilizasyonu yani zeta potansiyelini 0'a yaklaştırması açısından daha iyi sonuç vermiştir. Bu nedenlerden dolayı bundan sonraki deney setlerinde 0,2 mg/l 'lik katyonik polielektrolit çözeltisi kullanılmıştır. 0,2 mg/l katyonik polielektrolitin kullanıldığı ve sürekli dozlama ile kesikli dozlamaların karşılaştırıldığı 4,5 ve 6 no'lu deneyler de ise filtrasyon süresi olarak en iyi sonuç 30 dakikada bir yapılan kesikli dozlamada elde edilmiştir. Fakat bulanıklık giderme verimi ve parçacık giderme verimi açısından bakıldığında 20 dakikada bir yapılan kesikli dozlama daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca 20 dakikada bir yapılan kesikli dozlamada toplamda 2,4 L çözelti harcanırken 30 dakikada bir yapılan dozlamada 2,7 L çözelti harcanmıştır. Bu parametreler göz önünde bulundurulduğunda filtreyi besleyen su hattı üzerinden yapılan 20 dakikalık kesikli polimer ilavesi daha avantajlıdır denilebilir.

- 7- 14 no'lu deneylerde ise seçilen polielektrolit türü su hattı üzerinden dozlaması ile filtre yatağı üzerinden çeşitli şekillerde dozlamasının karşılaştırılması yapılmıştır. 7,8 ve 9 no'lu deneylerde filtre yatağı üzerinde seçilen sırasıyla 5,15 ve 25 no'lu noktalar üzerinden yapılan dozlama ile su hattı üzerinden yapılan dozlama karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda filtre yatağının orta noktasındaki 15 no'lu noktadan yapılan sürekli polielektrolit dozlaması filtrasyon süresi, çıkış suyu bulanıklığı giderme verimi ve parçacık sayısı giderme verimi bakımından en iyi sonucu vermiştir. Ayrıca su hattı üzerinden yapılan dozlamaya kıyasla yaklaşık 7,5 katlık filtrasyon süresi sağlamıştır. Filtre yatağından dozlama ile filtre üstünde oluşan tabakalaşmada giderildiği gibi yatak içinde de herhangi bir tabakalaşma meydana gelmemiştir. Yatak içinde yapılan dozlamadaki uzun filtrasyon süreleri buna bağlanabilir. Bu deney seti ile yatak içinden yapılan dozlamanın hat üzerinden yapılan dozlamaya göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ancak istenilen giderim verimleri elde edilememiştir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak bundan sonraki deneylerde filtre yatağı içerisinde dozlama esas alınacak şekilde bir deney seti kurulmuştur.
- 10,11 ve 12 no'lu deneylerde ise dozlama debisi 2 'ye ve 3'e bölünerek hat ve filtre yatağına beraber dozlanmıştır. Bu deneylerde ise hat + 15 no'lu noktadan yapılan dozlamada filtrasyon süresi, bulanıklık giderimi ve parçacık giderimi açısından en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dozlama debisinin yarısının hat üzerinden diğer yarısının filtre yatağının içinden yapıldığı bu deneylerde sadece yatak içinden dozlama yapılan deneylere göre daha iyi giderme verimi elde edilirken filtrasyon süresi açısından daha düşük değerler elde edilmiştir. Ayrıca bu deneylerde debinin yarısının hat üzerinden yapılmasına karşın yatak üzerinde tabakalaşma olmaması dikkat çekicidir. Bunun sebebi olarak dozlama debisinin yarıya indirilerek dozlanmasının etkili olduğu düşünülmektedir. 12 no'lu deneyde ise yatağa verilen dozlama debisi tekrar ikiye bölünmüş ve debinin diğer yarısı hattan verilmiştir. Bu deneyde hat +15 no'lu noktadan yapılan deneye göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu deneyler sonucunda hat + yatak üzerinden yapılan

dozlamanın sadece hat üzerinden yapılan dozlamaya göre genel olarak daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır.

- 13 no'lu deneyde ise yatağa verilen debi 3 bölünmüş ve sadece hat üzerinden yapılan dozlama ile karşılaştırılmıştır. Burada bir kez daha görülmüştür ki dozlamanın tamamını yatak içine yapıldığında filtrasyon süresi açısından çok iyi sonuçlar elde ediliyor fakat giderim verimi açısından istenilen seviyelere çıkılamıyor. Bunun için hat + 15 no'lu noktadan dozlamada elde edilen giderim verimi en iyi sonuç olarak kabul edilebilir.
- 14 no'lu deneyde ise 0,3 mg/l ve 0,4 mg/l konsantrasyondaki iki katyonik polielektrolit çözeltisinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu iki deneyde de 90'ar dakika filtrasyon süresi sürerken giderim verimleri istenilen seviyelere yaklaşmıştır. Fakat filtrasyon süreleri açısından kısa sürdüğü için bu sistemin dezavantajı olarak belirlenmiştir.
- 15 ve 16 no'lu deneylerde ise hat + 15 no'lu noktadan 10,20 ve 30 dakikada bir yapılan kesikli dozlama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde de 30 dakika da bir yapılan kesikli dozlama sonuçları en iyi sonuçlar olarak tespit edilmiştir. Bu deney sonuçları aynı noktadan dozlama yapılan (hat + 15 no'lu nokta) sürekli deney sonuçlarına göre daha düşük filtrasyon süresi ve giderme verimi içermektedir. Bu nedenle hat + 15 no'lu nokta üzerinden yapılan sürekli dozlama, hat + 15 no'lu nokta üzerinden yapılan kesikli sisteme göre genel olarak daha iyidir denilebilir.
- 17 no'lu deneyde ise hat + 15 no'lu nokta üzerinden sırasıyla 20 ve 30 dakikada bir yarı kesikli dozlama yapılmıştır. Burada 20 dakika boyunca hat üzerinden 3 mg/l dozlama debisinde kimyasal eklenirken 20 dakika sonunda aynı dozlama debisi ile filtre yatağı üzerindeki 15 no'lu nokta üzerinden dozlama yapılmıştır. Aynı işlem 30 dakikalık deney içinde yapılmıştır.

Burada en iyi verim 20 dakikada bir yapılan yarı kesikli dozlama deneyinde elde edilmiştir. Bu deney süreleri kesikli deneyde yapılanlarla karşılaştırıldığında giderim verimi açısından çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Hat + 15 no'lu nokta üzerinden yapılan kesikli ve yarı kesikli dozlama deneyleri karşılaştırıldığında yarı kesikli deneylerin kısa filtrasyon sürelerine karşın giderme verimi açısından istenilen değerlere yaklaşmasından dolayı daha verimli olduğu söylenebilir.

- 18 – 22 no'lu deneylerde ise arıtma tesislerinde sık olarak kullanılan yumaklaştırıcılardan olan demir III klorür ve alum 'un değişik dozajlarda uygulanmasının karşılaştırılması yapılmıştır. 18 no'lu deneyde 7,5 mg/l demir III klorür ve alum hat + 15 no'lu nokta üzerinden dozlanması karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma da filtrasyon süresi açısından alum demir III klorürün yaklaşık olarak 4 katı kadar daha iyi sonuç vermiştir. Giderim verimleri açısından çok yakın değerlere sahip olsalar da filtrasyon süresi açısından alum'un bariz bir üstünlüğü ortaya çıkan en önemli sonuçtur.
- 19 no'lu deneyde hat üzerinden dozlama ile hat + 15 no'lu nokta üzerinden 7,5 mg/l alum dozlaması karşılaştırılmıştır. Polielektrolit deneyinde de olduğu gibi hat üzerinden dozlamada filtrasyon süresi hat + 15 no'lu noktadan dozlamaya göre ciddi bir şekilde düşmüştür. Filtrasyon süresi düşük olmasına karşın giderim verimleri hat + 15 no'lu noktadan dozlamayla neredeyse aynı çıkmıştır. 18 ve 19 no'lu deneylerde de görüldüğü gibi alum filtrasyon süresi açısından demir III klorüre göre bariz şekilde daha üstündür.
- 20 no'lu deneyde ise 19 no'lu deneyde kullanılan alum'un yerine aynı dozajda demir III klorür çözeltisi kullanılmıştır. Bu deneyde de hat + 15 no'lu nokta üzerinden yapılan dozlamada hat üzerinden yapılan dozlamaya göre filtrasyon süresi açısından 2 katı kadar daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Aynı şekilde giderim verimleri açısından da bakıldığında hat + 15 no'lu

noktadan yapılan dozlama hat üzerinden yapılan dozlamaya göre daha iyi sonuç vermiştir.

- 21 no'lu deneyde ise 5 mg / L demir III klorür ve alum çözeltilerinin hat + 15 no'lu nokta üzerinden dozlamasının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu deney sonucunda da giderme verimleri açısından aynı sonuçlar elde edilse de filtrasyon süresi açısından alum demir III klorür ' den üstün olduğu görülmüştür.
- 22 no'lu deney de ise 5 mg/l demir III klorür ve alum 'un hat + 15 no'lu noktadan 30 dakika da bir kesikli olarak dozlaması karşılaştırılmıştır. Bu deneyde de giderim verimleri aynı çıkarken filtrasyon süresi açısından alum demir III klorür den daha iyi sonuç vermiştir.

Genel olarak bakıldığında hat + yatak üzerinden yapılan dozlama klasik olarak yapılan hat üzerinden dozlamaya göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca katyonik polielektrolitin kullanıldığı deneylerde de hat + 15 no'lu noktadan yapılan dozlamada giderim verimi açısından en iyi sonuç elde edilmiştir. Demir III klorür ve alum kullanılan deneyler de ise giderim verimleri açısından demir ve alum sonuçları aynı çıksa da filtrasyon süresi açısından incelendiğinde alum 'un demir III klorüre karşı bariz üstünlüğü dikkat çekmektedir. Ekonomik açıdan demir III klorüre göre daha ucuz olmasına karşın filtrasyon süresindeki uzunluk dan dolayı daha geç geri yıkama olacağından ve daha az geri yıkama suyu harcanacağından dolayı işletme maliyeti açısından alum daha avantajlıdır denilebilir.

Ayrıca yapılan bu çalışmalara ek olarak aşağıdaki gibi çalışmalarda yapılabilir.

- Yatak boyunca yapılan dozlamlar da üsten aşağıya doğru indikçe kullanılan kimyasalın konsantrasyonu azaltılarak denemeler de yapılabilir.
- Yine yatak boyunca yapılan dozlamlar da filtre yatağında farklı noktalardan farklı türde kimyasal ilavesi ile filtrenin çalışma performansı takip edilebilir.
- Yatak boyunca daha fazla nokta seçilerek daha düşük kimyasal konsantrasyonlarında denemeler yapılabilir.
- Demir III klorür ve Alum aynı filtre yatağında farklı noktalardan dozlanarak filtre performansı takip edilebilir. Aynı şekilde demir III klorür ile polielektrolit ve alum ile polielektrolit aynı filtre yatağı üzerinde birlikte kullanımı denenebilir.

KAYNAKLAR

ANAÇ, Hakan., **ÇELİKER**, S.Ahmet, “Türkiye’nin Su Potansiyeli”, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, T.A.E.A –BAKIŞ, Sayı 5, Nüsha 7, Nisan 2004, www.unep.org/vitalwater/freshwater.htm

AWWA., ‘‘Water Quality and Treatment’’, Fourth Edition, Mc-Graw-Hill, inc.,New York, 1990.

Balkaya, N. ve ark. ‘‘Temel İşlemler Dersi Laboratuar Notları’’, 2006.

Booth C., **Price** C., ‘‘Comprehensive Polimer Science, The Synthesis, Characterization, Reactions and Applications of Polymers,’’ Editors: Vol 1, Pergoman Press, Oxford England, s 215-228, 1989.

Cleasby, J.L., ‘‘Backwashing of Granular Filters Used in Wastewater Filtration’’, Engineering Research Institute’’, Iowa State University, Ames, Iowa,1973.

Cleasby, J. L., **Ives**, K. J., **Saatçi**, A. M., "İçmesuyu Tasfiyesinde Filtrasyon", İTÜ İnşaat Fak. Matbaası, İstanbul, 1979.

Cleasby, J. ‘‘Filtration, Chapter 8’’, IN: (F. Pontius, ed) Water Quality and Treatment. AWWA, Denver, 57pp., 1990.

Cleasby and Logsdon., ‘‘Granular Bed and Precoat Filtration’’. In: R.D. Letterman, Editor, ‘‘Water Quality and Treatment’’, McGraw-Hill, Inc, New York pp. 8.1–8.99,1999.

DSİ ., ‘‘50.Yılında DSİ. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı DSİ GenelMüdürlüğü’’, DSİ., ANKARA, 1995- 2004.

EPA ., Amerika Çevre Koruma Ajansı, ABD., 2005.

Eroğlu, Veysel., ‘‘Su Tasfiyesi’’, Ayazağa,72-288., 1991.

Gross, R.G., A ., ‘‘Clarification of İmportant Matter, Chemische Fabrik, Stockhauseb and CIE’’. Preastol Özel Bülteni, Krefelt, W.Germany, s. 11-15

Metcalf, Eddy.,I ‘‘Wastewater Engineering Treatment, Disposel and Reuse.’’, 1991
Montgomery, m. j., Water Treatment Principles and Desing, John Wiley &Sons Inc., USA., 1985.

Mohanka, S.S.,‘‘Theory of Multilayer Filtration’’, Journal of Sanitary Engineering Div., Proc.. Am. Soc. Civ. Engrs 95, pp. 1079-1095., 1969.

Oğur,R Güler ve ark.. ‘‘21. yüzyılda niçin klorlama?’’. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni: 3(8), 2004.

Ojha C.S.P., Graham, N.J.D., ‘‘Appropriate Use of Deep Bed Filtration Models’’,
Journal of Environmental Engineering, Vol.118, No.6, pp.964-980, 1992 .

Ojha C.S.P., Graham, N.J.D.,.. ‘‘Computer-Aided Solutions of Filtration
Equations’’, Water Research, Vol.27, No.3, pp.377–387., 1993.

Ojha C.S.P., Graham, N.J.D.,. ‘‘Theorical Estimates of Bulk Spesific Deposit in
Deep Bed Filter’’, Water Research, Vol.26, No.2, pp.145-150., 1993 .

Ojha C.S.P., Graham, N.J.D., ‘‘Prediction of Deep-Bed-Filter Performance Using
Recursive Algorithms’’, Journal of Environmental Engineering, Vol.120,
No.4, pp.961-971., 1994.

Peavy, H. S., Rowe, D. R., ‘‘Tchobanoglous, G., Environmental Engineering,
İntrenational Ed’’, McGraw- Hill Book Company, Singapore, s.137., 1985.

Samsunlu, Ahmet, ‘‘Çevre Mühendisliği Kimyası’’, 1999.

Sayan, P., Polielektrolit Borik Asit Kristalizasyonuna Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul
Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s 8 – 11., 1995.

Sembi, S., Ives, K.J., ‘Optimization of Size-Graded Filters’, In Proceedings of
Symposium on Water Filtration, Antwerp, Belgium, 21-23 April, pp. 5.1-
5.12., 1982.

Şengül, F., ‘’Atıksı arıtımı Tesisleri Tasarımı Semineri, Sınai Eğitim Ve Geliştrime Merkezi Genel Müdürlüğü’’ (SEGEM), İzmit, , s.137., 1985.

Tchio, M., Koudjonou, B., Desjardins, R., Prevost, M. and Barbeau, B., A practical guide for determining appropriate chemical dosages for direct filtration. Can. J. Civ. Eng. 30:754-757., 2003.

Thurman, E. M.., ‘’Organic Geochemistry of Natural Waters Dordrecht’’: Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers., 1990.

Tien, C., Gimbel, R.,. ‘’On The Development of A Comprehensive Model of Deep Bed Filtration’’, Preprints of Symposium on Water Filtration, Antwerp,Belgium, 21-23 April, pp. 1.1-1.13., 1982.

Titiz – Sargut , S., Sodyum Perborat Kristalizasyonuna Polielektrolitlerin Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s 6- 8 ., 1997.

USEPA., “ National Public Water Systems Compliance Report”., 2004

WHO., ‘’ Dünya Sağlık Örgütü Raporu ‘’., 2006.