

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

AKIŞKAN YATAKLI KUM FİLTRELERİ
İLE YÜZEYSEL SULARIN ARITIMINDA
OPTİMUM ŞARTLARIN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Şükrü KIRMIZI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2010

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

**AKIŞKAN YATAKLI KUM FİLTRELERİ
İLE YÜZEYSEL SULARIN ARITIMINDA
OPTİMUM ŞARTLARIN ARAŞTIRILMASI**

**Mehmet Şükrü KIRMIZI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

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

**GEBZE
2010**

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI :AKIŞKAN YATAKLI KUM FİLTRELERİ İLE
YÜZEYSEL SULARIN ARITIMINDA OPTİMUM
ŞARTLARIN ARAŞTIRILMASI
YAZAR ADI : MEHMET ŞÜKRÜ KIRMIZI

Bu çalışmada iki eş filtre kolonu kullanılarak aşağı akışlı (yer çekimi ile çalışan kum filtreleri) ve yukarı akışlı (rus tipi filtreler) filtreler mukayese edilerek yüzeysel su arıtımında optimum şartlar araştırılmıştır. Ayrıca yük kayıpları da ölçülerek filtre ömrünün maksimize edilmesi incelenmiştir. Deneylerde kullanılan yüzeysel su Ömerli Havzasından temin edilmiştir. Pilot tesis çalışmalarında, meydana gelecek yük kayıpları devamlı ve her 4 cm'lik bir yatak derinliğinde ölçülmüştür, filtrelerin tıkanma süresinin uzatılmasına yönelik deney şartları araştırılmıştır. Giriş ve çıkış su kalitesi parametreleri (bulanıklık ve parçacık sayısı) sürekli olarak takip edilerek uygun kimyasal dozajı ve dozlama şekli belirlenmeye çalışılmıştır.

Su ve atıksuların arıtımında en yaygın olarak kullanılan yumaklaştırıcı alumdur. İstanbul'da mevcut içme suyu arıtma tesislerinde de alum ve demir III klorür kullanılmaktadır. Bunun için bu çalışmada alum ve demir (III) klorür ile ön-ozonlama beraber tatbik edilmiştir.

Deneylerde ozonlama, koagülasyon ve filtrasyon sırası takip edilmiştir. Ozon dozu sabit tutularak kimyasal miktarı değiştirilmiştir. Bütün deneylerdeki düzenekler kendi aralarında karşılaştırıldığında hem çıkış suyu kalitesi hem de filtrasyon süresinin uzunluğu açısından yukarı akışlı filtre daha avantajlı bulunmuştur ve demir klorür kullanarak yukarı akışlı filtrede içme suyu standartlarına ulaşılmıştır. Çalışmamızın koşullarında koagülant kullanımı açısından sonuçlara bakıldığında hem bulanıklık hem de partikül giderme verimleri yönünden demir klorür, alumdan daha iyi gözükmetedir. Yük kayıplarına bakıldığında da demir klorür kullanılan filtrelerin daha uzun ömürlü olduğu söylenebilir.

Ayrıca ıkış suyu kalitesini ve filtrasyon süresini aynı anda dikkate alan Ives filtre edilebilirlik indeksi kullanılarak da filtre performansları mukayese edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yukarı akışlı filtrasyon, direkt filtrasyon, n-ozonlama, alum, demir klorür, bulanıklık, partikül (parçacık) sayısı, yük kaybı

SUMMARY

**TITLE OF THE THESIS :INVESTIGATION OF OPTIMUM
OPERATIONAL PARAMETERS IN SURFACE
WATER TREATMENT WITH FLUIDIZED BED
FILTERS**

AUTHOR : MEHMET ŞÜKRÜ KIRMIZI

In this study the optimum conditions for surface water treatment with gravity filters and up flow (russian filters) filters were investigated. The performance of the process was evaluated by monitoring the effluent quality and head loss development through the filter bed. Two identical pilot scale filter columns filtering the same raw water were operated in parallel. Before filtering, the raw water flow was split into two equal flows. Both of the streams were pre-ozonated using contact chambers with equal volumes equipped with same number and type of diffusers. The raw water was brought from Ömerli Reservoir in Istanbul–Turkey.

Turbidity and particle counting were monitored online to specify the suitable chemical dosage with the shape of the dosage and head loss development was recorded at several points (at very 4 cm interval) in filter bed to determine the maximum filtration time.

Alum and ferric chloride are commonly used flocculants in water treatment. Likewise, in Istanbul, alum and ferric chloride are available in drinking water treatment. Therefore, in this study pre-ozone is implemented with alum and ferric chloride.

In the experiments; ozone, coagulation and filtration was performed consecutively. Different chemical dosages were tried with constant ozone dosage. In the every sets of experiments, upflow filter was found superior to downflow filter in view of filtrate quality and filter run time. Moreover, the drinking water standards were reached by using of ferric chloride in the upflow filtration experiment. In the spesific conditions of our experiments, ferric chloride is more appropriate than aluminium sulphate with respect to turbidity and particle removal. Filter run time with ferric chloride is found longer than that of aluminium sulphate.

Ives' filterability index which incorporates the important filtration design parameters such as: effluent quality, the head loss and the velocity of filtration into a dimensionless number was used for the comparison of the experimental results.

Keywords: direct filtration, pre-ozonation, alum, ferric chloride, turbidity, particle count, headloss.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince, bana gerekli tüm kolaylıkları sağlayan, yol gösteren, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, tez yöneticisi Doç. Dr. Sayın Ebubekir YÜKSEL'e en içten duygularıyla teşekkür borç bilirim.

Laboratuar çalışmalarında destek ve yardımlarını esirgemeyen Araş.gör. Ercan GÜRBULAK'a, çalışmalarımın başlangıcından sonuna kadar her aşamasında, laboratuar ve yazım kısımlarının olgunlaşmasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm Araş.gör. Murat EYVAZ'a, , her konuda görüşlerinden yararlandığım Değerli Bölüm Hocalarıma,

Yüksek lisans çalışmama başlamam konusundaki desteği, sevgisi, yardımları ve arkadaşlığı ile her zaman yanımda olan Uzm. Biyolog Ceren BÜYÜKKAYALAR'a, hayatımın her dönemimde kendisinden ilham aldığım, sevgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen dayım İnşaat Mühendisi Sayın M. Azmi İNCEDAL'a sevgi, destek ve arkadaşlıkları için kardeşlerim Nurdan, Orhan ve Gülşen KIRMIZI'ya, yüksek lisansa başlamam için her zaman beni teşvik eden, sevgi ve desteklerini esirgemeyen Annem Kadriye ve Babam M. Şahin KIRMIZI'ya sonsuz teşekkürler ederim.

Bu çalışmamı aileme ithaf ediyorum.

Mayıs 2010

M. Şükrü KIRMIZI

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvi
1 GİRİŞ	1
.	
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	6
2 İÇME SUYU ARITIM TEKNOLOJİSİ	8
.	
2.1. Yüzeysel Su Kaynakları	8
2.2. İçme Suyu Arıtımında Filtrasyon	11
2.2.1. Yukarı Akışlı Filtreler	12
2.2.1.1 Yukarı Akışlı Filtrelerin Avantajları	13
2.2.1.2 Yukarı Akışlı Filtrelerin Dezavantajları	13
2.2.2. Filtrasyon Prosesiyle Giderilebilen Parametreler	14
2.2.3. Filtrasyon Hidroliği	16
2.2.4. Filtrasyon Mekanizmaları	18
2.2.5. Geçirimli ortamda akışın hidroliği	23
2.2.6. Yerçekimli filtrelerde yük kaybının incelenmesi	24

3	OZONLAMANIN FİLTRASYON PROSESİNDEKİ YERİ	26
	.	
3.1.	Çevre Mühendisliği Açısından Ön-Ozonlamanın Direkt Filtrasyondaki Yeri ve Önemi	26
3.1.1.	Ön Ozonlama uygulamaları	28
3.2.	Ozonun Avantajları	30
3.3.	Ozon Dezavantajları	31
4	MATERYAL VE METOD	32
4.1.	Materyal	32
4.2.	Deney Düzeneği	34
4.3.	Analitik Metod	44
4.3.1	Filtre Malzemesi Elek Analizi (Garnülometresi)	44
4.3.2	Yumaklaştırıcı İhtiyacı	47
5	BULGULAR	51
6	TARTIŞMA VE SONUÇLAR	79
	KAYNAKLAR	82
	ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Birim</u>
V	Filtre hızı	[m/sn]
k	Geçirimsizlik katsayısı	[-]
I	Hidrolik eğim	[-]
L	Yatak kalınlığı	[m]
g	Yoğunluk	[m/sn ²]
ν	Kinematik viskozite	[m ² /sn]
p	Porozite	[%]
d	Dane çapı	[m]
d_s	Malzeme spesifik dane çapı	[m]
G	Ortalama hız gradyanını	[sn ⁻¹]
P	Güç ihtiyacını	[watt]
μ	Dinamik vizkoziteyi	[N.sn/m ²]
S	Çözünürlülük oranı	[mg/lt]
A	Stok çözeltiye eklenecek kimyasal konsantrasyonu	[mg/l]
B	Busen katsayısı	[-]
h	Yük kaybı	[m]
Q	Debi	[m ³ /sn]
Q_d	Teorik bekleme süresi	[sn]
P_s	Dane çökme hızı	[kg/ m ³]
V	Tank hacmini	[m ³]
pH	Çözeltideki hidrojen iyonu konsantrasyonu	[-]
TOK	Toplam Organik karbon	[-]
NTU	Nephelometrik bulanıklık birimi	[-]
JTU	Jackson bulanıklık birimi	[-]
ÇOK	Çözünmüş organik karbon	[mg/lt]
UV	Ultraviyole	[-]
DOC	Çözünmüş organik	[mg/lt]
NOM	Doğal organik madde	[mg/lt]
USDA	Amerika Birleşik Devletler Tarım Dairesi	[-]

EPA	ABD Çevre koruma ajansı	[-]
IEP	Endüstri birliği paneli	[-]
AKM	Askıda katı madde	[mg/l]
d	Üniformluk katsayısını	[-]
d ₆₀	Ağırlıkça malzemenin %60'nın geçtiği elek delik çapı	[mm]
d ₁₀	Ağırlıkça malzemenin %10'unun geçtiği elek delik çapı	[mm]
T	Sıcaklık	[oC, oK]
T	Zaman	[sn, dak., h]
TOK	Toplam organik karbon	[mg/l]
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi	[-]
ÇOK	Çözünmüş organik karbon	[mg/l]
WHO	Dünya sağlık örgütü	[-]
TSE	Türk standartları enstitüsü	[-]

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Yüzey suyu arıtımı için klasik arıtma tesisi	10
2.2	Yukarı akışlı filtre düzeneği	13
2.3	Filtre malzemesinin arasında kalan deliklerin ve süspansiyon haldeki maddelerin boyutları	18
2.4	Parçacıkların taşınma mekanizması	20
2.5	Bir filtre düzeneği	21
2.6	Bir kum filtresi içerisinde, belli zamanlardaki basınç	24
3.1	Tipik bir içme suyu arıtma akım şeması ve oksidant kullanım noktaları	29
4.1.	Laboratuarda çalışılan pilot tesis deney düzeneği	36
4.2.	Filtre yatağı üzerindeki dozlama noktasının şematik gösterimi	38
4.3.	Pilot tesisin genel görünüşü	39
4.4	Pilot tesis kontrol paneli	40
4.5	Bulanıklık ve parçacık sayısı değişimlerinin sürekli olarak izlendiği cihaz	41
4.6	Parçacık sayıcı (particle counter)	41
4.7	Bulanıklık ölçücü (Türbiditimetre)	42
4.8	Beta ve Gama marka dozaj pompaları	42
4.9	Kum filtresi ve piyezometre borular	43
4.10	Pilot tesis deney düzeneği	44
4.11	Elek analizinde kullanılacak kumdan çeyreklere bölme metodu ile temsil edici numune alınması	45
4.12	Elek analizi deney sonuçlarının grafik şeklinde gösterimi	46
4.13	Otomatik jar test cihazı	48
4.14	Optimum alum dozajının belirlenmesinde kullanılan CCA cihazına ait titrasyon eğrisi	49
4.15	Optimum demir (III) klorür dozajının belirlenmesinde kullanılan CCA cihazına ait titrasyon eğrisi	49
5.1	Ozon ve 5mg/l FeCl3'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede	52

	meydana gelen yük kaybı	
5.2	Ozon ve 5mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	53
5.3	Ozon ve 5mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen bulanıklık değişimi	54
5.4	Ozon ve 5mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi	54
5.5	Ozon ve 5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	55
5.6	Ozon ve 5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	56
5.7	Ozon ve 5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi	56
5.8	Ozon ve 5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi	57
5.9	Ozon ve 7.5mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	58
5.10	Ozon ve 7.5mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	58
5.11	Ozon ve 7.5mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi	59
5.12	Ozon ve 7.5mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi	59
5.13	Ozon ve 7.5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	60
5.14	Ozon ve 7.5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	61
5.15	Ozon ve 7.5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi	61
5.16	Ozon ve 7.5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi	62
5.17	Ozon ve 10mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	63

5.18	Ozon ve 10mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	63
5.19	Ozon ve 10mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi	64
5.20	Ozon ve 10mg/l FeCl ₃ 'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi	64
5.21	Ozon ve 10mg/l alumun birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	65
5.22	Ozon ve 10mg/l alumun birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	66
5.23	Ozon ve 10mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi	66
5.24	Ozon ve 10mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi	67
5.25	5mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	68
5.26	5mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	69
5.27	5mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi	69
5.28	5mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi	70
5.29	7.5mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	71
5.30	7.5mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	71
5.31	7.5mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi	72
5.32	7.5mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi	72
5.33	10mg/l FeCl ₃ 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması	73

	ile aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	
5.34	10mg/l FeCl ₃ ' n filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması	74
	ile yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı	
5.35	10mg/l FeCl ₃ ' n filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması	74
	ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişim	
5.36	10mg/l FeCl ₃ ' n filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması	75
	ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı	
	değişimi	

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Memleketimiz için kabul edilen içme suyu standardı (TS-266)	4
1.2. İçme suyu standartları	5
4.1. Deneylerde kullanılan ham suyun kimyasal analizi	33
4.2. Deney programı	33
4.3. Siemens sitrans FM magflo magna 5000 debimetre teknik özellikler	35
4.4. Elek analizi deney sonuçları	46
5.1. Filtre Çalışma Süresinin Karşılaştırılması	76
5.2. Koagülant tipi ve miktarının çıkış partikül sayısına etkisi	77
5.3. Koagülant tipi ve miktarının çıkış bulanıklığına etkisi	78

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Günümüz şartlarında sürekli artan nüfus ve gelişen teknoloji ile beraber su kullanımında sürekli olarak bir artış gözlenmesi ve bununla beraber, çevre dengesinin de bozulması ile 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 coğrafi olarak bulunduğu kuşağın iklimsel özelliklerinden dolayı, karasal tatlı su kaynakları oldukça kısıtlıdır. Nüfusu, ekonomik beklentileri ve yaşam standardı hızla artarak gelişmekte olan Türk toplumunun, su gereksinimi her geçen gün artmaktadır. 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 km³ 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. Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık olarak 643 mm olup, yılda ortalama 501

milyar m³ suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m³'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m³'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m³'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m³'lük suyun 28 milyar m³'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m³ su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 (158+28+7) milyar m³ olmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m³ de dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Ancak, günümüz teknik ve ekonomik şartlar çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m³, komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m³ olmak üzere yılda ortalama toplam 98 milyar m³'dür. 14 milyar m³ olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³ olmaktadır.

İnsan hayatı için en önemli unsur olan su, sanılanın aksine sınırlı bir kaynaktır. Günümüzde su kaynakları ile ilgili en önemli problem onun etkin kullanımıdır. Su kaynakları tarım, endüstri ve evsel kirliliklerden önemli ölçüde etkilenmekte olup bu sektörlerin su ihtiyacının giderek artması, su 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 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 kaynaklarının yönetilmesi birçok alanlarda başa çıkılmaz bir hal almaktadır. Çevre korumacılığında oynadığı rolü ve içinde yaşayan varlıkları hiç göz önüne almadan inşaa 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.

Tablo 1.1’de ülkemizde kabul edilen TS-266 içme suyu standardı, tablo 1.2’de TSE-266’nın WHO ve EPA’nın içme suyu standart değerleri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 1.1. Memleketimiz 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 normal	kokusuz normal
	Buharlaşıma Kalıntısı	500 mg/l	1500 mg/l
	Demir (Fe)	0,3 mg/l	1,0 mg/l
	Mangan (Mn)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
	Bakır (Cu)	1,0 mg/l	1,5 mg/l
	Çinko (Zn)	5,0 mg/l	15,0 mg/l
	Kalsiyum (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
	Magnezyum (Mg)	50 mg/l	150 mg/l
	Sülfat (SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
	Klorür (Cl)	200 mg/l	600 mg/l
	pH	7.0 - 8.5	6.5 - 9.2
	Bakiye Klor	0,1 mg/l	0,5 mg/l
	Fenolik Maddeler	-	0,002 mg/l
	Alkali Benzil	0,5 mg/l	1,0 mg/l
	Sülfonat	500 mg/l	1000 mg/l
	Mg+Na ₂ SO ₄		
4.KİRLENMEYİ BELİRTEN MADDELER	Toplam Organik Madde	3,5 mg/l	-
		-	-
		-	-

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

Tablo 1.2. İçme suyu standartları

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

Tablo 1.2 (devamı). İçme suyu standartları

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

Filtrasyon, içme suyu arıtımında askıdaki maddeleri uzaklaştırmak, ön ozonlama veya klorlama tarafından okside olmuş demir ve mangani tutmak, amonyumu okside etmek, mikroorganizmaları nisbeten uzaklaştırmak gibi çok ve çeşitli amaçlarla kullanılan ve içme suyu tesislerinin kalbi olarak kabul edilen en eski arıtma yöntemlerinden biridir. Bu nedenle su arıtımında filtrasyon konusunda yoğun araştırmalar bulunmaktadır. Bu tezde içme suyu arıtımında kullanılan direkt filtrasyon sistemi ile yüzeysel sulardan demir, mangan, bulanıklık ve partikül madde

gideriminde optimum şartlar araştırılmıştır. Kum filtrelerinin uzun süreli ve yüksek arıtma verimine sahip olarak işletilmesi; ham su özelliklerine, filtrasyon hızına, filtre malzemesinin cinsine ve malzemenin diğer özelliklerine (yoğunluk ve porozite gibi) bağlıdır. Bununla birlikte bir ön arıtmanın (ozonlama, havalandırma ve koagülasyon gibi) yapılması ve filtre sisteminin modifikasyonları da işletmeyi iyileştirmeye yönelik araştırmalardır. Bu çalışmada iki eş filtre kolonu kullanılarak aşağı akışlı (yer çekimi ile çalışan kum filtreleri) ve yukarı akışlı (rus tipi filtreler) filtreler mukayese edilerek yüzeysel su arıtımında optimum şartlar araştırılmıştır. Daha önce aşağı akışlı olarak işletilen bir pilot direkt filtrasyon tesisinde uygulanan filtre yatağından dozlama sistemi burada da denenmiştir. Yük kayıpları da ölçülerek filtre ömrünün maksimize edilmesi incelenmiştir. Deneylerde kullanılan yüzeysel su Ömerli Havzasından temin edilmiştir. Bazı içme suyu standartlarına göre, filtre edilmiş yüzeysel sularda bulanıklığın 0.1 NTU ya indirgenmiş olması gerekir. Fakat sadece bulanıklık sonuçları Giardia (10-12 μm) ve Cryptosporidium oocysts (4-6 μm) gibi mikroorganizmaların uzaklaştırılmasını garanti etmez. Bu nedenle partikül sayısı ve büyüklüğünü dikkate almak gerekir. Yüzeysel su arıtımında %99.9 (3 log giderim) Giardia cysts ve %99.99 (4 log giderim) enteric virüslerinin giderilmiş olması gerekmektedir. (Hatuka ietal, 1997).

2.İÇME SUYU ARITIM TEKNOLOJİSİ

2.1 Yüzeysel Su Kaynakları

İçme suyu temin edilen kaynaklar yüzey suları ve yer altı suları olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Nehirler, göller, akarsular, göletler ve baraj suları yüzeysel su kaynaklarını 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 sistemlerini 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. Göllerde oksijen tüketici faaliyetler meydana geldiğinde 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, besi ve sıcaklık şartları bakımından alg patlamalarına sebep 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.

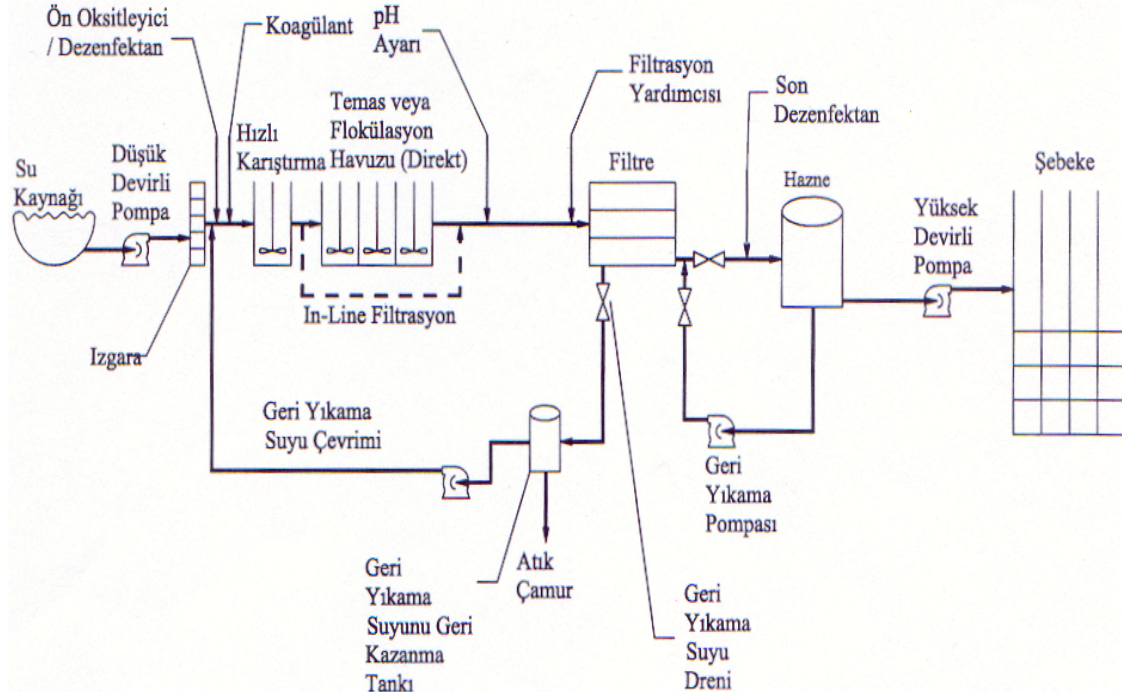
Yüzey sularının su kalitesi açısından ana problemleri özet olarak; parçacık içeriği, rengi, tadı, kokusu, mikrobiyolojik içeriği ile ilgili problemler olarak ifade edilebilir. Sudaki partiküller, moleküllerden daha büyük fakat genellikle çıplak gözle seçilemeyen, büyüklükleri 1-150 µm arasında değişen, ince parçalanmış katılardan oluşur. Partiküller 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. Partiküller, yüzeylerine adsorbe ettikleri mikroorganizmalar sebebiyle dezenfektanların tüketimi sonucu dezenfeksiyon prosesine girişimde bulunabilirler. Buna ek olarak bazı partiküllerin dezenfektan ihtiyacı söz konusudur.

Temel arıtma tesisi, filtrasyondan önce, pıhtılaştırma, yumaklaştırma ve çöktürme aşamalarını içerir. Bazı arıtma tesisleri, daha fazla esneklik ve çoğu zaman su kalitesini iyileştiren iki kademeli koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme birimlerinden oluşur.

Mevsimsel olarak yüksek partikül, 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 klorun yaygın bir şekilde kullanılmasıyla birlikte, halojenli yan ürünlerin insan sağlığına olumsuz etkisi sebebiyle ozon, klordioksit ve potasyum permanganat kullanımını da artmıştır.



Şekil 2.1. Yüzey suyu arıtımı için klasik arıtma tesisi

Demir veya alüminyum tuzlarının ilavesi suyun pH'sını düşürürken; kireç, soda veya kostik soda pH'yi yükseltmek ve korozyonu azaltmak için eklenir. pH ayarlamasının alternatif noktaları, arıtma amacına bağlıdır. Birden fazla uygulama noktası fazladan esneklik sağlar. Çökeltmeden sonra filtre performansını arttırmak için polimer veya metal tuzları eklenebilir. Başlangıç ani bulanıklığını azaltmak için geri yıkama suyuna filtrasyon amaçlı koagülant maddeler eklenebilir. Filtrasyondan sonra dağıtım sistemindeki mikrobiyolojik içeriği azaltmak için son dezenfektan (genellikle klorür veya klorominler) eklenir. Geleneksel su arıtımındaki yaygın bir uygulama da filtre geri yıkama suyunun tekrar kullanılmasıdır. Bu uygulama su tasarrufu sağlamakta ve nehre verilen atık suyun azalmasına neden olmaktadır (AWWA, 1990).

Geleneksel yüzey suyu arıtma proseslerinde yapılacak iyileştirmeler, bazı su kalitesi problemlerini çözmek için gereklidir. Örneğin, yüksek tat ve koku problemleri olan bir su, potasyum permanganat, toz aktif karbon veya yüzey suyunun ozonlanması ile iyileştirilebilir (Amirsardari, et. al., 1997.). Sentetik organik kirleticilerin varlığı veya aşırı tat ve koku maddelerinin varlığı hem filtreleme sonrası iyi bir absorbant olması hem de geleneksel kum antrasite filtre malzemesinin bir alternatifi olarak granüler aktif karbonun kullanımını gerektirir.

Düşük partikül miktarlı fakat yüksek renkli yüzey suyu Şekil 2.1’de verilen prosese benzer bir prosesle arıtılabilir. Sürekli düşük partiküllü renk, tat ve kabul edilebilir sertlikli su, genellikle çöktürme prosesi olmadan arıtılabilir ve flokülasyon - koagülasyon proseslerini takiben filtrasyon yapılır. Bu arıtma prosesi direkt filtrasyon olarak bilinir. Bu tarz arıtmada flokülasyonu arttırmak için geleneksel flokülasyon havuzlarının yerini temas havuzları alır. Bazı durumlarda flokülasyon kaldırılabilir ve filtreden hemen önce uygun karıştırma ile koagülant eklenebilir. Bu arıtma prosesi ise in-line filtrasyon olarak bilinir. Yüksek sertlikli yüzey veya yeraltı su kaynakları kireçle yumuşatma prosesi ile arıtılabilir. Eğer yüzey suyu nehirten sağlanıyorsa, yüksek partikül miktarına sahip olması sebebiyle ön çöktürme havuzları, (koagülasyonlu veya koagülasyonsuz) kireç eklenmeden önce kullanılabilir (Coccagna, 1998).

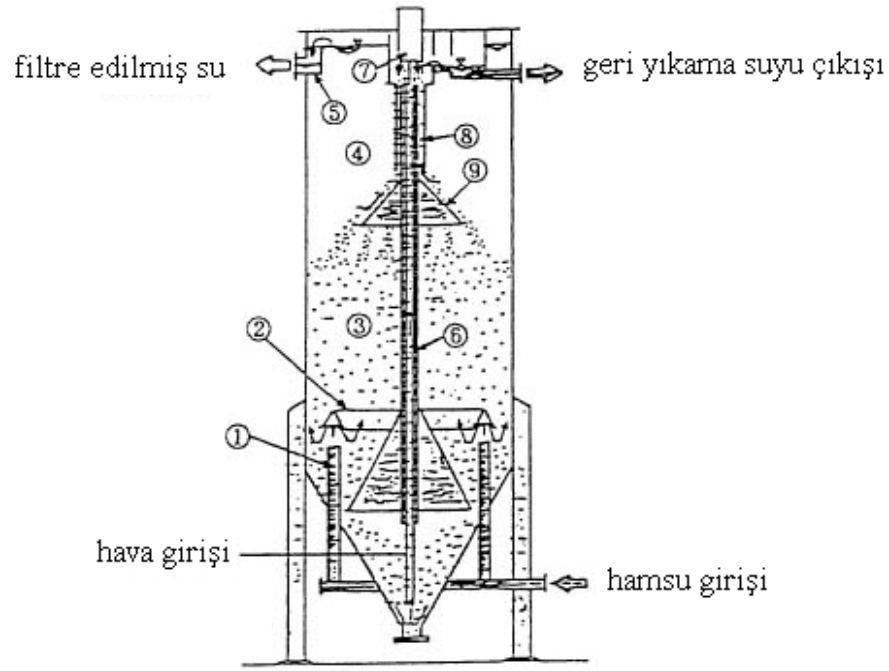
2.2. İçme Suyu Arıtımında Filtrasyon

Filtrasyon, gözenekli bir ortamdan veya geçirimli bir madde arasından geçirilen suyun arıtılması işlemine denilmektedir. Filtrasyon, içme suyu tasfiyesinde en eski ve en çok kullanılan arıtım yöntemlerinden biridir. İçme suyu arıtımında askıdaki maddeleri uzaklaştırmak, ön ozonlama veya klorlama ile yükseltgenmiş demir ve manganyum tutmak, amonyumu yükseltgemek, mikroorganizmaları nispeten uzaklaştırmak gibi çok çeşitli amaçlarla kullanılan ve içme suyu tesislerinin kalbi olarak kabul edilen en eski arıtma yöntemlerinden biridir (Eroğlu, 1999).

Filtrasyon ile içme suyu arıtımında, askıda ve kolloid maddelerin tutulması, bulanıklılığın giderilmesi, mikroorganizmaların giderimi sağlanır ve filtrasyon kimyasal bileşiklerin yardımıyla suyun kalitesini yükseltir ve yüksek kalitede çıkış suları elde edilir.

2.2.1. Yukarı Akışlı Filtreler

Yukarı akışlı filtreler, Rus tipi filtreler olarak ta adlandırılırlar. Bu sistemde filtre kolonuna su girişi, tipik bir filtre kolonunun aksine filtrenin üzerinden değil altından sisteme girer. Tipik bir filtre kolonun da su, yer çekimi ile aynı yönde hareket ederek filtre edilirken, yukarı akışlı filtre de su yerçekimi ile zıt yönde hareket ederek filtre edilir. Her sistemde olduğu gibi bu sistemde avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Tipik bir yukarı akışlı filtre örneği şekil 2.2. de gösterilmiştir. Bu sistemde ham su; giriş borusu (1) ve ham su dağıtıcısından (2) geçerek filtre yatağından (3) yukarı çıkar. Proses esnasında askıda katılar uzaklaştırılır ve (süzüntü) su (4) arıtılmış olarak çıkar (5). Askıda katı maddeleri tutmuş olan filtre ortamları hava kaldırma boruları iplerinden emilerek hava ve su ile birlikte yukarı çıkarken temizlenirler. Filtre ortamı ayrılma bölümünde temizlenen atık sudan ayrılır (7), Filtre ortamı ayrılma bölümünde (8) temizlenen atık sudan ayrılır ve sonra daha da temizlenmesi için fitre edilen su ters yönde akarken özel bir temizleyiciden aşağıya dökülür ve kum tabakasının üzerine kum dağıtıcısı tarafından düzenlice dağıtılır (Cleasby, et al., 1979, Eroğlu, 1995).



Şekil 2.2. Yukarı akışlı filtre düzeneği

2.2.1.1. Yukarı Akışlı Filtrelerin Avantajları

- Geri yıkama sonrasında arzu edilen filtre malzemesi dağılımı ile filtrasyona başlanır.
- Temizlik ekipmanlarına ihtiyaç yoktur, az yer kaplar ve ekonomiktir.
- Basit yapısı ve az ilave ekipman ihtiyacı nedeniyle, bakımı ve operasyon maliyeti azdır.

2.2.1.2. Yukarı Akışlı Filtrelerin Dezavantajları

- Geri yıkama sonrası filtre tankındaki geri yıkama suyunun arıtılmış su rezervuarına karışması
- Filtrasyon esnasında, filtre yatağının tıkanması sonucu kumun akışkan hale geçmesi ve kumun filtre hattına doğru hareketi (kumun kaçması)

- Filtrasyon esnasında yatağın tıkanması sonucu filtre yatağı üzerinde “floc breakthrough” denilen çatlakların oluşması ve partiküllerin tutulmadan geçebilmesi

2.2.2 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.

Estetik: İçilen suyun mutlaka berrak olması istenir. Çünkü sudaki bulanıklık, canlı faaliyetlerinin olması ile veya muhtemel bir kirli su karışması ile ilişkilendirilir ve sağlık tehlikesi mevcut olabilir. Bu nedenle içme sularında bulanıklık istenmez. Bulanıklığın artması suyun filtrasyon maliyetini de arttırır. Yüksek bulanıklılıktaki su kum filtrelerini kullanılamaz hale getirebilir (yıkama süreleri kısılır, maliyet artar). Yüksek bulanıklık olan sularda kimyasal koagülasyonla bulanıklığa neden olan askıda maddeleri yumaklaştırarak kum filtrelerinde yakalanabilir.

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 dozuna, 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 kokulara sebep olmaktadır. Klor dezenfeksiyon ve ağır metallerin çöktürülmesi gibi işlemlerde kullanıldıktan sonra suya kendine has bir tat ve koku bırakır.

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 partikülün tutunma işlemi sırasında etkili olur.

Filtrasyon prosesinde dikkate alınacak parametrelerin en önemlileri giriş karakterizasyonu, filtre malzemesinin özellikleri ve akım hızı (yüzey yükü) dir. Giriş konsantrasyonunun artması filtrenin tıkanma süresini kısaltmaktadır. Filtre malzemesinde dikkat edilecek nokta malzeme boyutu ve gözenekliliğidir. Filtrelerde yüzey yükü ise filtreye giriş debisinin filtre yüzey alanına oranıdır. Düşük yüzey yüklerinde su kolayca filtreden geçer ve yük kayıpları daha uzun sürelerde oluşur. Ozon filtrasyondan önce renk giderimi, demir ve mangan giderimi, bazı inatçı organik moleküllerin okside edilmesi amaçlarıyla uygulanır. Ayrıca filtrasyondan önce ozon uygulanması filtrelerde % 35 oranında TOK giderim verimliliği sağladığı bildirilmiştir (Amirsardari ve diğ., 1997).

2.2.3. Filtrasyon Hidroliği

Poroz bir ortamda sıvı akışını en iyi açıklayan kanun Darcy Kanunu'dur. Darcy Kanunu'na göre filtre hızı (V_f), filtre ortamının geçirimsizlik katsayısı ve hidrolik eğimle doğru orantılıdır (Eroğlu, 1995).

Buna göre filtre hızı;

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

Formülü ile ifade edilir. Burada;

V_f ; Filtre hızı (m/sn)

k ; Geçirimsizlik 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;

$$H = V_f \cdot L / k \quad (2,3)$$

ifadesi elde edilir.

Filtrasyon ünitelerinin yük kayıplarının hesaplanmasında Blake-Kozeny veya Sabri Ergun denklemleri kullanılır.

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

$$k = \frac{g \times \varepsilon^3 \times d^2}{180 \times \nu (1 - \varepsilon)^2} \quad (2,4)$$

Burada;

g ;Yoğunluk

ν ; Kinematik viskozite

ε ; Porozite

d ; Dane çapı ifade eder.

Elek Analizi;

(2,4) formülü (2,3) de yerine koyarsak;

$$H = \frac{V_f \cdot L}{d^2} \cdot \frac{180\nu}{g} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \quad (2,5)$$

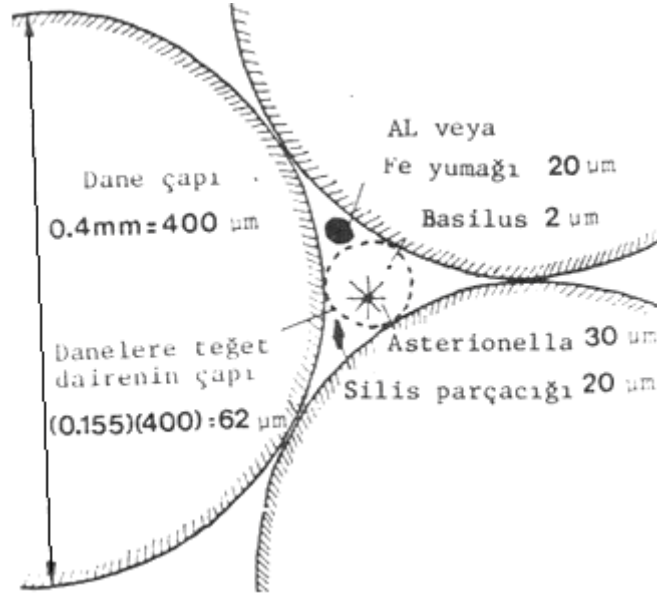
Carmen-Kozeny denklemi genellikle laminar akımlar için kullanılır. Bunun yanında laminar akım, geçiş bölgesini ve türbülanslı akımı içine alan daha geniş kapsamlı bir denklem *Sabri Ergun* denklemi kullanılır. Denklem;

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

2.2.4. Filtrasyon Mekanizmaları

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

Mekanik Süzme; Suların filtre yatağından geçerken bazı kirleticilerin filtre malzemesi tarafından tutulması işlemidir. Süspansiyon halindeki katıların boyutları, yatak malzemesi gözeneklerinden büyük olduğundan burada tutulurlar.



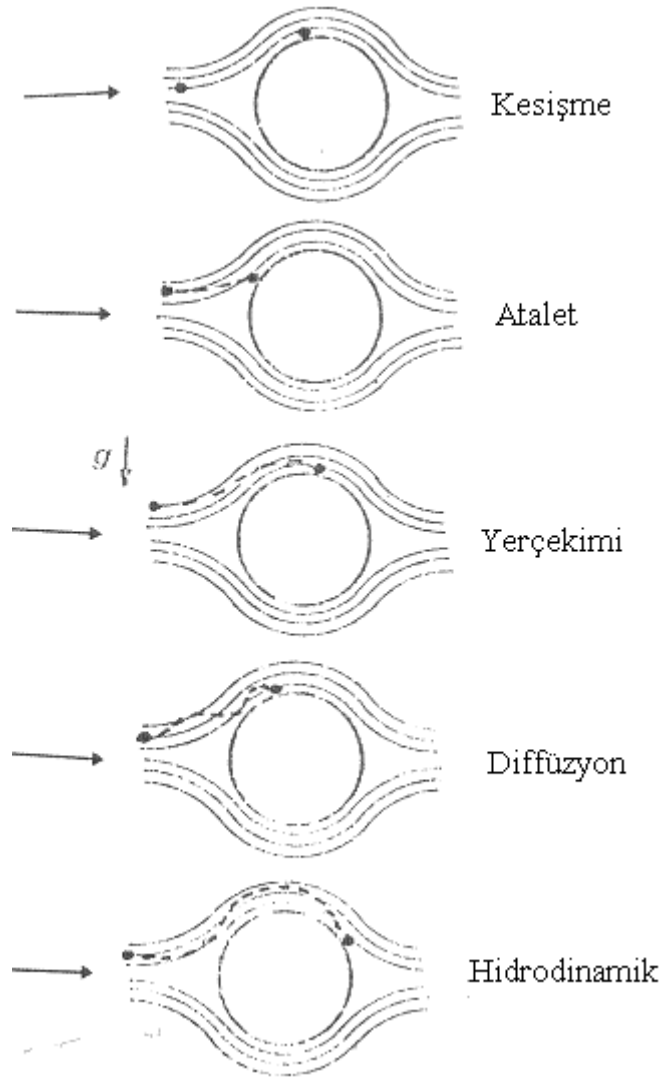
Şekil 2.3. Filtre malzemesinin arasında kalan deliklerin ve süspansiyon haldeki maddelerin boyutları

Çökeltme; Çökeltme filtre yatağından aşağı doğru geçirilen ham su içerisindeki kirleticilerin filtre dolgu malzemesini oluşturan taneciklerin yüzeyinde çökmesi olarak tanımlanır. Meydana gelen durum bilindiği üzere basit bir çökeltme tankında

gerçekleşen çökelmeye çok benzemektedir. Bu iki olay arasındaki fark ise; bir çökeltim tankında çökelen maddenin birikiminin tabanda olmasıdır. Filtre ortamında ise çökeltme tanecik yüzeylerinde olmakta ve tüm taneciklerin toplam yüzey alanı çökeltmenin gerçekleşeceği yüzeyi oluşturmaktadır.

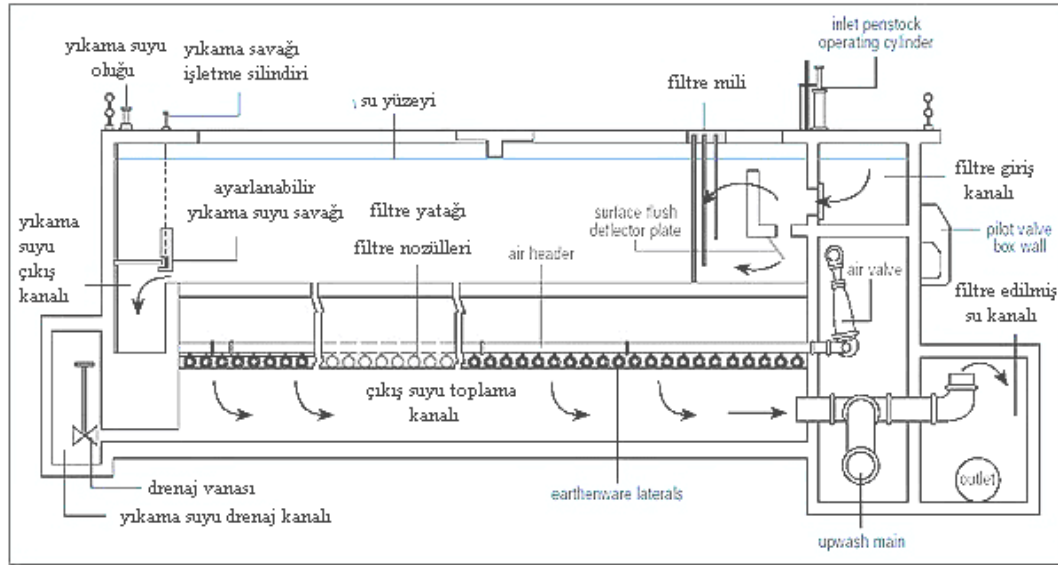
Yüzeyde Tutma (Adsorbsiyon); Su ortamında bulunan askıdaki katı maddelerin, koloidal maddeler ve moleküller düzeyde çözülmüş maddelerin uzaklaştırılmasında en etkin mekanizma adsorpsiyondur. Adsorpsiyon ile yüzeyde tutulmak istenen partiküllerin önce filtre ortamında bulunan dolgu malzemesini oluşturan taneciklerin yakınına getirilmesi gerekir. Adsorpsiyon kuvvetleri en fazla 0,1 mikrometre gibi çok kısa mesafeler için tesirli olmaktadır. Halbuki 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 partiküller filtre malzemesini teşkil eden kum danesine doğru yaklaştırılır. Böylece mesafe azaldığından partiküller tutulur.

Kimyasal Reaksiyon; Filtrasyon işlemi sırasında bazı reaksiyonlar cereyan eder. Böylece çözülmüş haldeki kirletici maddeler ayrışır, daha az zararlı maddeler haline dönüşür veya çözünmeyen maddelere dönüşerek çökeltme ve adsorbsiyon ile sudan uzaklaşır. Suda oksijen mevcut ise organik maddeler, aerobik olarak ayrışır.



Şekil 2.4. Parçacıkların taşınma mekanizması

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 kullanırlar. 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 çökeltme, adsorpsiyon ve süzme mekanizmaları ile giderilmektedir.



Şekil 2.5. Bir filtre düzeneği

Katıların uzaklaştırılması

Askıda katıların bir granüler (gözenekli – taneli) filtre ortamından uzaklaştırılması çok karmaşıktır. Uzaklaştırmada önemli rol oynayabilen çeşitli mekanizmalar hakkında ayrıntılı araştırmalar birçok araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir [5]. Bu mekanizmalar;

1. Süspansiyonun fiziksel ve kimyasal özelliklerine,
2. Ortamın fiziksel ve kimyasal karakteristiklerine,
3. Filtrasyon debisine,
4. Suyun kimyasal özelliklerine

bağlıdır.

Bununla birlikte, genellikle uzaklaştırma işlemi filtre yatağı içerisinde meydana gelir ki bu proses, “derin yataklı filtrasyon” olarak bilinir. Filtrasyon esnasında verimlilik birçok mekanizmaya bağlıdır. Bazı katılar kum taneleri arasında tutularak uzaklaştırılabilir. Diğer katıların, bilhassa daha ufak katıların uzaklaştırılması iki tip mekanizmaya bağlıdır.

1. Askı halindeki küçük parçacıkları, içinde bulunduğu akışkanın kütlesinden alıp, ortamın yüzeylerine yaklaştırmak için bir taşınım mekanizması gereklidir. Taşınım mekanizmaları, yerçekimi çökmesi, difüzyon ve hidrodinamiği kapsayabilir ve ortam boyutu;
 - a. filtrasyon debisi,
 - b. akışkan sıcaklığı,
 - c. asılı parçacıkların yoğunluk ve boyutu

gibi fiziksel özelliklerinden etkilenirler.

2. Parçacık, ortamın veya ortamda daha evvel biriken katıların yüzeylerine yaklaştıkça, parçacığı tutabilmek için bir tutulma mekanizması gerekmektedir. Tutulma mekanizması;
 1. elektrostatik etkileşimleri,
 2. kimyasal bağları,
 3. spesifik adsorbsiyonu

içerebilir. Bunların hepsi ön arıtmada uygulanan yumaklaştırıcılar ve suyun kimyevi karakteristikleri ve filtre ortamı tarafından etkilenir.

Kum filtrelerindeki filtrasyon sırasında, filtrede yığılan çökelti, yukarıda adı geçen mekanizmalardan biri veya birkaçı tarafından uzaklaştırılır. Parçacıklar, filtre içerisinde kendilerini koparıp atmak isteyen hidrolik kesme kuvvetleri ile denge halinde tutulurlar. Filtre kirlendikçe, filtrenin gittikçe tıkanan yukarı tabakaları arasındaki hız artar ve bu tabakalar temizlemede daha az verimli hale gelirler. Temizleme yükü filtrenin daha derinlerine geçer. Sonunda, istenen çıkış kalitesini sağlayacak yeterli yatak derinliği kalmaz ve filtrenin durdurulması gerekir.

Kirli bir filtrede filtrasyon debisi aniden artırılırsa, hidrolik kesme kuvvetleri de aniden artar . Bu, biriken katı maddelerle su arasındaki mevcut dengeyi bozar ve bazı katı maddeler yerlerinden ayrılarak çıkış suyuna karışırlar. Katı maddenin tipi

ve debi değişmesinin büyüklüğü ile aniliğine bağlı olarak, bu etki çok şiddetli olabilir. Projelendirmede ani debi değişmesinin her türlü kaynaklarından kaçınılmalıdır.

2.2.5. Geçirimli Ortamda Akışın Hidroliği

Genellikle kullanılan debilerde, suyun filtre içinden akışı, hidrolik olarak yeraltı tabakalarındaki akım ile aynıdır. Akım, Darcy Kanunu' na uyar; temiz filtre yatağında laminerdir ve uzaklaştırılan askıdaki maddelerle yatak kirlendikçe bu durumda kalır.

Askıdaki maddeler, filtre tarafından tutuldukça akış için mevcut boşluk alanı azalır ve bu yüzden boşluklar arasındaki akım hızı artar. İstenen filtrasyon debisini muhafaza edebilmek ve filtre içindeki sürtünme kaybını karşılayarak suyun kirli filtrenin içinden geçmesini zorlamak için daha çok enerji gereklidir. Bu, filtrenin giriş kısmından çıkış kısmına kadar, toplam enerjide bir azalma olarak değerlendirilir. Genellikle yük kaybı olarak bilinen bu enerji azalması;

- ekonomik olmayacak şekilde büyük olursa veya,
- istenen akım debisi mevcut cihaz sistemi ile sağlanamazsa veya,
- çıkış suyu kalitesi, askıdaki katı maddelerin geçişinden dolayı bozulursa,

filtre devreden çıkarılmalı ve ortam temizlenmelidir. Taneli maddeler arasında laminar akımdaki yük kaybı Darcy tarafından şöyle ifade edilmiştir:

$$V = K \times S \quad (2.7)$$

Burada;

K = geçirimsizlik katsayısı (m/dak)

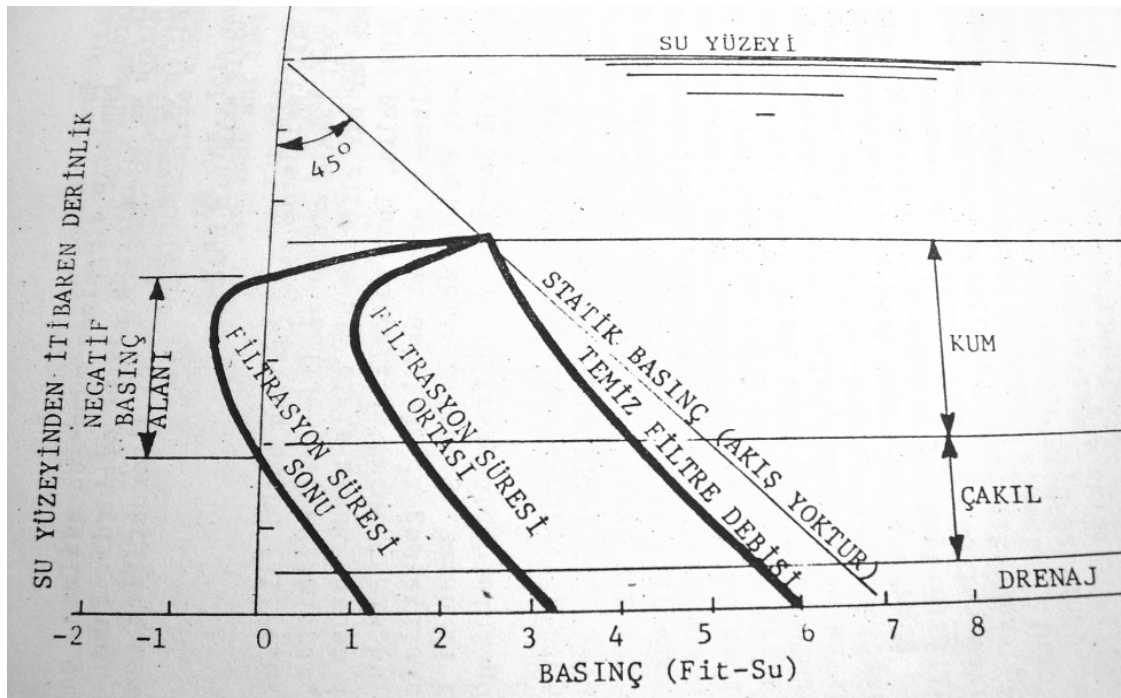
S = hidrolik gradyan (h/L) (birimsiz)

h = yük kaybı (m) (akışkan basınç kaybı)

L = filtre yatağının kalınlığı (m)

2.2.6. Yerçekimli Filtrelerde Yük Kaybı

Yüksek hızda filtrelerin kullanılması gittikçe yaygınlaştığı halde, kullanılan filtrelerin çoğunda katı maddelerin en etkin uzaklaştırılması kum filtrelerin yukarı kısımlarında meydana gelir. Tipik bir yerçekimli filtrede bir filtre deneyi esnasında çeşitli zamanlardaki basınç Şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Bir kum filtresi içerisinde, belli zamanlardaki basınç

Yerçekimi ile işleyen bu filtrede negatif yük, kum yüzeyinden aşağı doğru yük kaybı toplamı bahis mevzuu olan noktaya kadar olan su derinliğini geçtiği takdirde meydana gelir. Negatif yük, atmosferik basınçtan daha azdır. Kirli bir kum yatağının yukarı kısmının 15 cm' sinde, 1 veya 1.5 m'lik yük kaybının olması ender görülen bir durum değildir. Bu yüzden, işletme suyu derinliği sığ olduğu takdirde, negatif yük, kum tabakası içinde kısa bir mesafede meydana gelir. Negatif yükün zararı, negatif basınç bölgesinde hava boşluklarının meydana gelmesidir. Hava, suyun içindeki çözünmüş gazların açığa çıkmasından veya filtre cidarlarındaki çatlaklardan dolayı meydana gelebilir. Hava boşlukları;

- efektif filtre alanını azaltır,

- filtrasyon debisini ve geri kalan filtre alanı arasındaki yük kaybını artırır,
- filtre çalışması ilerledikçe çıkış kalitesinin daha ciddi bir şekilde bozulmasına yol açar.

3. OZONLAMANNIN FİLTRASYON PROSESİNDEKİ YERİ

Filtrasyonun içme suyu arıtımında kullanımından önce birçok fiziksel ve kimyasal proses (koagülasyon, flokülasyon gibi) kullanılmasına gerek vardır. Bu prosesler filtrasyona doğrudan etki yapmaktadır. Yapılan çalışmalarda ozonlamanın koagülasyon-flokülasyon prosesine yaptığı etkiler araştırılmış ve ozonlamanın filtre çıkış suyu bulanıklık ve partikül sayılarında önemli azalmalara sebep olduğu bildirilmiştir (Langlais et. al. 1991).

Ozonlamanın koagülasyon prosesindeki etkilerine; bulanıklılık, pH, alkalinite, toplam organik karbon, sertlik, alkalinite, alg konsantrasyonu, çözünmüş organik karbon, indirgenmiş demir, mangan gibi ham su karakteristiklerinin giderimi verilebilir. Ayrıca uygulanan ozon dozu, karıştırma koşulları, ozonlamaya bağlı olarak koagülant maddenin ekleme noktası gibi parametreler de etkilidir (Yüksel, 2001).

3.1 Çevre Mühendisliği Açısından Ön Ozonlamanın Direkt Filtrasyondaki Yeri ve Önemi;

İçme suyu arıtımında direkt filtrasyon, yüzeysel suların konvansiyonel arıtma yöntemlerine göre maliyet açısından önemli tasarruflar sağlamakta, fakat filtrenin aşırı katı madde yüklenmesinden etkilenmektedir. Çöktürmesiz filtrasyon olarak da tanımlanan direkt filtrasyon da, suda bulanıklık ve renge sebep olan maddeler, koagülasyon ve filtrasyon ile giderilmektedir. Suda bulanıklığa sebep olan kil, alg ve bakteri gibi küçük partiküller, toprak ve havanın sebep olduğu taşınma olayları ve biyolojik aktivite ile suya karışırlar. Bu tip partiküller içme suyunda sağlık açısından tehlike arz ederler. Bu kolloidal partiküller, insan sağlığına zararlı mikroorganizmalar ile birleşmek suretiyle mikroorganizmaların üremesine ortam

hazırladığından, dezenfeksiyonla girişim yapmakta ve gerekli klor ihtiyacını önemli ölçüde arttırmaktadır. Doğal sulardaki çözünmüş organik maddeler, suya renk veren ve trihalometan oluşumunda önemli rol oynayan humik bileşenleri içerirler.

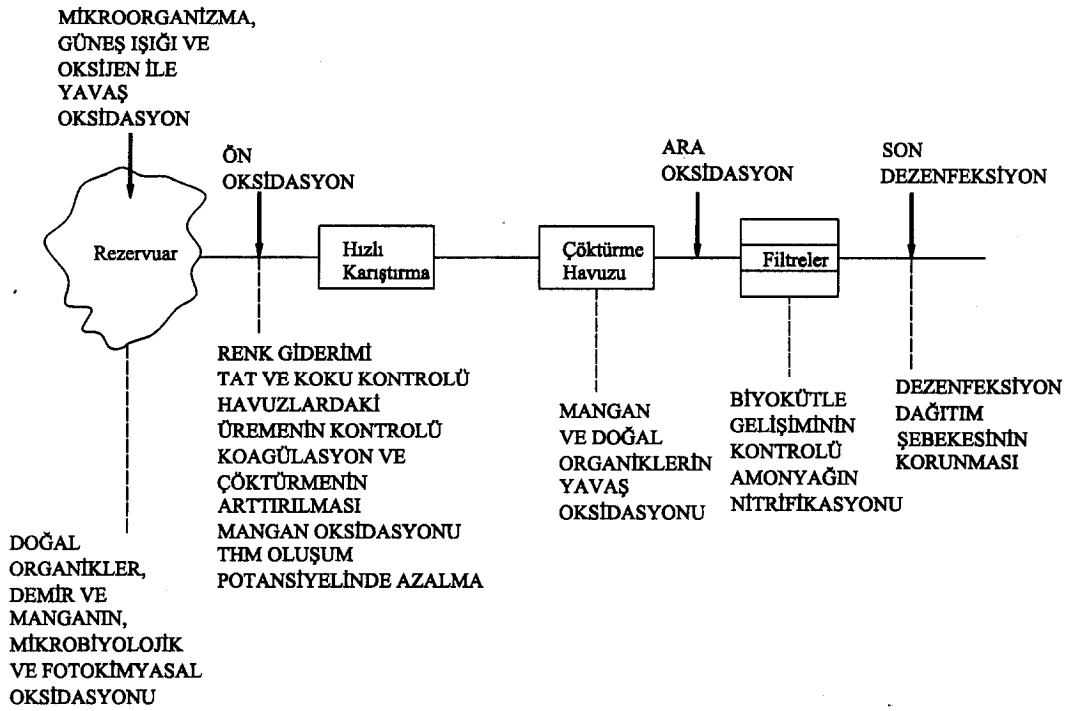
Ozon; Avrupa'da kullanma suyu dezenfeksiyonu ve oksidasyonunda, ABD'de ve Türkiye'de ise yaygın olarak ön oksidasyonda kullanılmaktadır. Bu uygulamanın bilinen faydaları alg büyümesinin kontrolü, tat ve koku giderimi, renk giderimi, demir-mangan oksidasyonu, organik madde giderimi ve virüslerin inaktivasyonudur, Her ne kadar ozon, kimyasal anlamda koagülant olmasa da, çalışmalar koagülasyona yardımcı etkisinin olduğunu göstermektedir (Becker ve O'Melia, 2004; Edwards ve diğ., 1994; Langlais ve diğ., 1991; Dowbiggin ve Singer, 1989). İstenen çıkış suyu standartlarının sağlanmasında ve filtrasyon sürelerinin arttırılmasında gerekli kimyasal koagülant dozunu azaltıcı etkiye sahiptir. Ozonun birçok faydası olmakla birlikte maliyetinin yüksek olması, kararlı bir gaz olmaması ve uygulanacağı yere diğer arıtma birimleri üzerine olan etkisi belirlendikten sonra karar verilmesi gibi güçlüklerle de sahiptir. Ön ozonlamanın büyük ölçekli arıtma tesislerinde uygulanması, mali açıdan kazançlı olmasını sağlayabilmekte, mikrobiyolojik kalite ve dezenfeksiyon yan ürünleri üzerindeki ek etkileri de göz önüne alındığında bu prosesin tercih edilmesini gerekli kılmaktadır.

Su arıtma proseslerinde koagülasyondan önce ön ozonlamanın yapılması koagülasyon verimini de arttırmaktadır (Yüksel ve diğ., 2003). Ozonun partikül davranışını etkilediği birçok araştırmacı tarafından gözlenmiştir (Maier, 1979; Dowbiggin ve Singer, 1989; Edwards ve diğ., 1994). Bu değişiklikler arasında; partikül dağılımında büyük partiküllere doğru olan yer değiştirme; çözünmüş organik maddeden kolloidal partiküllerin oluşumu; toplam organik karbon (TOK) veya bulanıklılık giderimde çöktürme, yüzdürme veya filtrasyon sonrası meydana gelen artış, istenen bulanıklılık veya TOK konsantrasyonunun sağlanması için gerekli koagülant dozundaki azalma; flok çöktürme özelliklerinde iyileşme, yük kaybı artışlarının yavaş olması sonucu filtre tıkanma süresinin gecikmesi ve buna bağlı olarak filtrasyon sürelerinin uzaması sayılabilir.

Gelişmiş ülkelerde, özellikle ABD'de içme suyu hakkında yeni yasalar (US EPA, 1995) ve halk baskısı ile ozonlama teknolojilerine verilen önem gitgide artmaktadır. Çıkarılan yeni yasalar ve getirilen yeni sınırlamalar, mevcut standartların limit değerlerini daha da düşürmüş ve ek standartlar getirilmiştir. Bu yasaların amacı; tüketicileri dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DBP'nin) sebep olduğu kronik ve patojen kaynaklı (örneğin *Cryptosporidium* ve *Giardia* kistleri) akut sağlık problemlerinden korumaktır, Orta-yüksek seviyelerde çözünmüş organik karbon (ÇOK) içeren sularda koagülant dozu ÇOK tarafından belirlenir. Ozonlama sonucu doğal organik madde (DOM), oksalik asit gibi daha fazla metal tuzları (koagülant) gereksinimi olan küçük, daha oksijenli bileşenlere dönüşür. Bu durumda alum veya demir kloruru daha yüksek dozlarına ihtiyaç duyulur. Düşük ÇOK değerine sahip sularda koagülant dozu partiküler madde ve adsorbe olmuş organik madde miktarına göre belirlenir. Ozon adsorbe olmuş ÇOK ile tekrar reaksiyona girebilir ve adsorbe olmuş organik maddelerin miktarında değişikliklere sebep olabilir. Bu durumda ise optimum koagülant dozunda azalmalar olur. Sonuç olarak, katyonik polimerlerin partiküllerle ve büyük organik maddelerle (ozonlama sonrası oluşan küçük bileşiklerle değil) reaksiyona girmesi sebebiyle ozonlama sonrası optimum polielektrolit koagülant dozu düşer. Filtrasyon öncesi ara ozonlama, filtre çıkış suyu partikül içeriğinde önemli düşüşler sağlamaktadır.

3.1.1 Ön-Ozonlama Uygulamaları

İçme suyu arıtımında filtrasyon prosesinden önce bir çok fiziko-kimyasal proses kullanılmakta ve bu fizikokimyasal prosesler filtrasyona doğrudan etki yapmaktadır. Bunlar arasında dezenfeksiyon amacıyla 1990'lı yıllardan itibaren Amerika ve Avrupa'da yaygın bir şekilde uygulama alanı bulan ozonlama, özellikle koagülasyon-flokülasyon prosesine olumlu etkide bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Tipik bir içme suyu arıtma akım şeması ve oksidant kullanım noktaları

Konvansiyonel arıtma metotları yanında sunduğu birçok avantaj yanında hamsu kalitesinde görülebilecek ani değişikliklere karşı filtre çıkış suyu kalitesinin takibi büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla direkt filtrasyon sistemlerinde filtre dizaynı ve gerekli koagülant miktarının hesabı son derece önemlidir (Tchio ve diğ. 2003). Yaptıkları çalışmada optimum koagülant dozajının hızlı ve doğru bir şekilde bulunmasını saplayacak bir metot geliştirmişlerdir. Farklı efektif çap değerlerine sahip filtre malzemesi kullanılarak, hızlı karıştırma, yumaklaştırma (alum ve polimer ilaveli) ve filtrasyon adımlarını içeren pilot tesis çalışmasında alum ve polimer dozajlarını filtre malzemesi efektif çapına bağlı olarak hesaplamıştır. Deneylerin takibi açısından türbidimetre ve partikül sayısı ölçüm cihazı son derece önem taşımaktadır. Otomasyon uygulanan pilot tesiste türbidimetre ve partikül sayısı ölçüm cihazlarında tespit edilen sonuçlara istenen çıkış kalitesinin sağlanması için koagülant dozajı ayarı mümkün olabilmektedir.

Ozonlamanın 1960-70'lerin sonunda itibaren yaygın olarak kullanılması ile birlikte araştırmacılar, ozonun neden olduğu birçok durumun farkına varmışlardır. Renk, tat, koku, demir ve manganez oksidasyonu yanında ozon bazı durumlarda

kolloidal maddelerin flokülasyonuna da neden olabilmektedir. Maier (1979), ozonun bu koagüle edici etkilerini inceleyen araştırmacıların çalışmalarını sunmuştur. Bu çalışma, ozonun yol açtığı aşağıdaki birçok etkiyi özetlemektedir;

- ❖ Organik maddeye bağlanan demir ve alüminyumda artış,
- ❖ Ozonlanmış organik bileşiklerde jel oluşumu dolayısıyla demir ile flokülasyonun engellenmesi,
- ❖ Ozonlamayı takiben bulanıklıkta artış,
- ❖ Organik köpük oluşumu,
- ❖ Kil koagülasyonunda artış,
- ❖ Organik maddelerin miselizasyonu ve
- ❖ Ozonlamayı takiben partikül sayılarında azalma,

Sonuç olarak ozonlama, partikül madde ve organik maddeler üzerine önemli etkilere sahiptir. Bu etkilerin bazıları birbirine zıt neticeleri de içermektedir. Örneğin ozonlamayı takiben bulanıklıkta artış ve partikül sayılarında düşme görülmesi gibi.

3.2. Ozonun Avantajları

- ❖ Ozon, su ve atıksu arıtımında kullanılan diğer oksidanlara oranla çok kuvvetli bir oksidandır.
- ❖ Dezenfektan özelliği diğer dezenfektanlara göre daha iyi ve hızlıdır. Tek kademe ozonlama ile iki kademe klorlamadan daha iyi dezenfeksiyon etkisi elde etmek mümkündür. Dezenfeksiyon sırasında klor gibi suyun pH'sından ve NH_3 mevcudiyetinden etkilenmez. Ozona dayanıklı bir mikroorganizma olmadığı için suda bakiye ozon tam bir dezenfeksiyonun ispatıdır.
- ❖ Kısa reaksiyon süresinden dolayı, temas tankı hacmi (yer ihtiyacı) küçüktür,
- ❖ Çoğu organik ve inorganik bileşikler ozonlama ile suda daha zararsız bileşiklere dönüştürülebilir. Bu ürünler biyolojik ve kimyasal proseslerle kolayca bertaraf edilebilir.

- ❖ Ozon, klorun reaksiyona girmediği veya giremediği, suya renk, tat, koku veren maddeler, demir, mangan, siyanür, fenol, pestisitler ve endüstriden kaynaklanan ve ayrışması zor olan maddelerle kolayca reaksiyona girebilir.
- ❖ Ozonla oksidasyon, klorlama sonucu ortaya çıkan klorlu hidrokarbonlar, kloraminler ve klorofenoller gibi suya toksik veya zararlı ara ürünler vermez.
- ❖ Ozon kolloidal bulanıklığın giderilmesinde de kullanılır ve flokülant ihtiyacını azaltır (Jekel, 1983; Edwards ve diğ., 1994).
- ❖ Arıtma tesislerinde alg büyümesinin kontrolünde kullanılır. Havuz ve filtrelerdeki alg büyümesi ön ozonlama ile kontrol edilebilir.
- ❖ Arıtma sırasında ozonlama ile su veya atıksuya herhangi bir hacim ilavesi söz konusu değildir.
- ❖ Ozon gerektiği zaman ve yerinde üretildiğinden herhangi bir kimyasal depolanması söz konusu değildir.
- ❖ Ozon çok çabuk olarak oksijene indirgenir ve arıtılmış su veya atıksuyun oksijen konsantrasyonu artar, bundan dolayı bakiye ozonu uzaklaştırmak gerekmez.

3.3. Ozonun Dezavantajları

- ❖ Çok iyi bir dezenfektan olan ozon kararlı olmadığı için hızlı bir şekilde oksijene bozulma eğilimindedir. İçme suyu dezenfeksiyonunda ozon, suda bakiye bırakmadığı için son klorlamaya ihtiyaç gösterir.
- ❖ Ozon direk reaksiyonlarında seçici olduğu için bazı organiklerin giderilmesi için çok uzun süreler ve konsantrasyonlara ihtiyaç gösterir.
- ❖ Ozon direk olarak halojenli bileşikler üretmez, ancak ortamda brom iyonları varsa bromlu organik bileşikler üretir.
- ❖ Ozon tek başına bir arıtma prosesi değildir. Arıtma proseslerinde ancak bir adım olarak kullanılabilir.
- ❖ Ozon, diğer bazı oksidasyon proseslerine göre pahalı bir prosestir.
- ❖ Ozonatör ve temas tanklarının ilk yatırım maliyetleri ve ozonlama prosesinin işletme maliyeti yüksektir.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Deneylerde ön-ozonlama ve yumaklaştırıcı türlerinin etkilerinin gözlemlenebilmesi ve elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için, ham su karakteristiklerinin bilinmesi gereklidir. 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 kullanılabilecek karakteristiklere 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. Deney programı tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan ham suyun kimyasal analizi

<i>Parameters</i>	<i>Average</i>	<i>Range</i>
pH	7.6	7.5—7.7 (25 °C)
İletkenlik (µS/cm)	221	212—230 (25 °C)
Zeta potansiyeli (mV)	-21	(-19)—(-23)
Bulanıklık (NTU)	5.35	5.2—5.5
Demir (mg/l)	0.2	0.18—0.22
Mangan (mg/l)	<0.01	-
Sülfat (mg/l)	22	21—23
Klorür (mg/l)	29	28.3—29.7
Alkalinite (mg/l CaCO ₃)	59	58—60
Sertlik (mg/l CaCO ₃)	97	93—101
Parçacık sayısı (number/ml)	5949 (2-5 µm)	5984—6003
	1977 (>5 µm)	1830—2124
TOK (mg/l)	5	4.7—5.3
TK (mg/l)	13	12.8—13.2
İK (mg/l)	8	7.9—8.1

Tablo 4.2. Deney programı

Deneyler	Aşağı Akışlı			Yukarı Akışlı Filtre (S2)		
	Filtre(S1)					
	Ozon	Fe ¹	Al ²	Ozon	Fe ¹	Al ²
D1	✓	✓	-	✓	✓	-
D2	✓	-	✓	✓	-	✓
D3	✓	✓	-	✓	✓	-
D4	✓	-	✓	✓	-	✓
D5	✓	✓	-	-	✓	-
D6	✓	-	✓	✓	-	✓
D7 ³	-	✓	-		✓	-
D8 ³	-	✓	-		✓	-
D9 ³	-	✓	-		✓	-

¹Fe: FeCl₃.6H₂O²Al: Al₂(SO₄)₃.18 H₂O³Son üç deneyde Fe dozlaması filtre yatağının içerisine ve filtre derinliğinin tam orta noktasından ve filtre giriş hattı üzerinden birlikte gerçekleştirilmiştir.

4.2. Deney Düzenegi

GYTE Çevre Mühendisliği Bölümü İçme Suyu Laboratuvarında, filtreyi besleyen su hattı boyunca uygulanan farklı yumaklaştırıcı türlerinin, ön-ozonlama ile birlikte ve ön-ozonlamasız olarak kullanılması ile filtre çıkış suyu, yük kayıpları ve filtrasyon süresi üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla iki eş filtre kolonu sistemi hazırlandı. Filtrelerden biri aşağı akışlı diğeri ise yukarı akışlı olarak işletildi. Filtrelere, filtreyi besleyen su hattından sürekli olarak kimyasal ilavesi yapılabildiği bir sistem kuruldu ve böylece filtrelerin; filtre çıkış suyu kalitesi, yük kayıpları ve filtrasyon süresi performansları incelenerek aşağı ve yukarı akışlı filtrelerin performansları mukayese edildi.

Kurulan filtrasyon düzeneginde 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.

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
<i>Giriş voltajı</i>	60 V max, 0.12 A max

Filtre kolonları atmosfere açıktır. Filtrelerde geri yıkama sonucu oluşan genleşmenin ortalama 35 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 farklı konsantrasyonlarda, aynı debilerde sıvı çözelti olarak uygulanmıştır. Filtre yatağından yapılan dozlamalarda (Deney 7, 8 ve 9) filtre yatağının tam orta noktasından dozlama gerçekleştirilmiştir (ŞEKİL 4.2.). Stok kimyasal çözeltisi aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır:

Kimyasal maddeyi filtreye sıvı olarak uygulayabilmek için öncelikle stok çözelti hazırlanmıştır. Sıvı stok çözelti dozlanırken hamsuyun seyreltilmemesi için hamsu debisinin %3'ü geçilmemiştir. Örneğin 10 mg/l dozlama yapabilmek için stok çözelti hazırlamada kullanılacak miktar aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\frac{A \times B}{C} = 10 \text{ mg/l}$$

Burada,

A: Stok çözeltiye eklenecek kimyasal konsantrasyonu (mg/l)

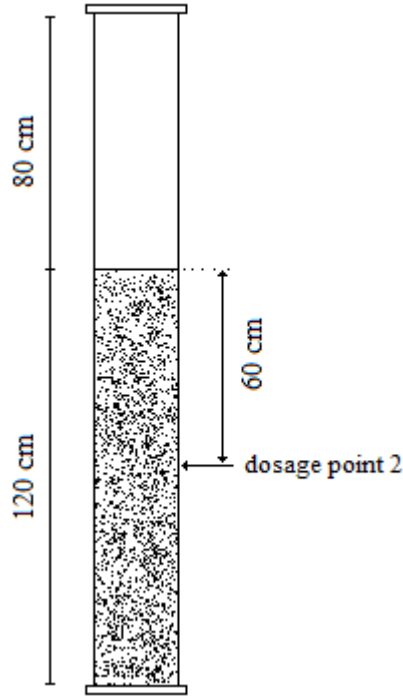
B: Sıvı kimyasal çözeltisinin uygulama debisi, 3 l/saat

C: Filtreye giren ham suyun debisi, 90 l/saat

Buradan $A = 300 \text{ mg/l}$ bulunur.

Filtrasyon süresince harcanan kimyasal miktarı, işletme süresi ile aşağıdaki değer in çarpılmasıyla kolayca bulunabilir.

$$\frac{300 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{3 \text{ L}}{\text{saat}} \times \frac{1 \text{ saat}}{60 \text{ dak}} = 15 \text{ mg kimyasal/dak.}$$



Şekil 4.2. Filtre yatağı üzerindeki dozlama noktasının şematik gösterimi

Kimyasal dozlama işlemi Prominent gamma ve beta marka selenoid pompa ile yapılmaktadır. Filtre edilen suda sürekli (online) olarak bulanıklık ve parçacık sayısı ölçümü yapılmıştır (Şekil 4.5). 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 piyozometre 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 üniformalık katsayısı 1.5 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değer, derin yataklı filtrelerde üniformalık katsayısının alt ve üst limit değerleri arasında bulunmakta ve gerekli kriterleri sağlamaktadır. Aşağıda pilot tesisin genel görünüşü ve düzenekte kullanılan cihazlar görülmektedir.



Şekil 4.3. Pilot tesisin genel görünüş



Şekil 4.4. Pilot tesis kontrol paneli



Şekil 4.5. Bulanıklık ve parçacık sayısı değişimlerinin sürekli olarak izlendiği cihaz



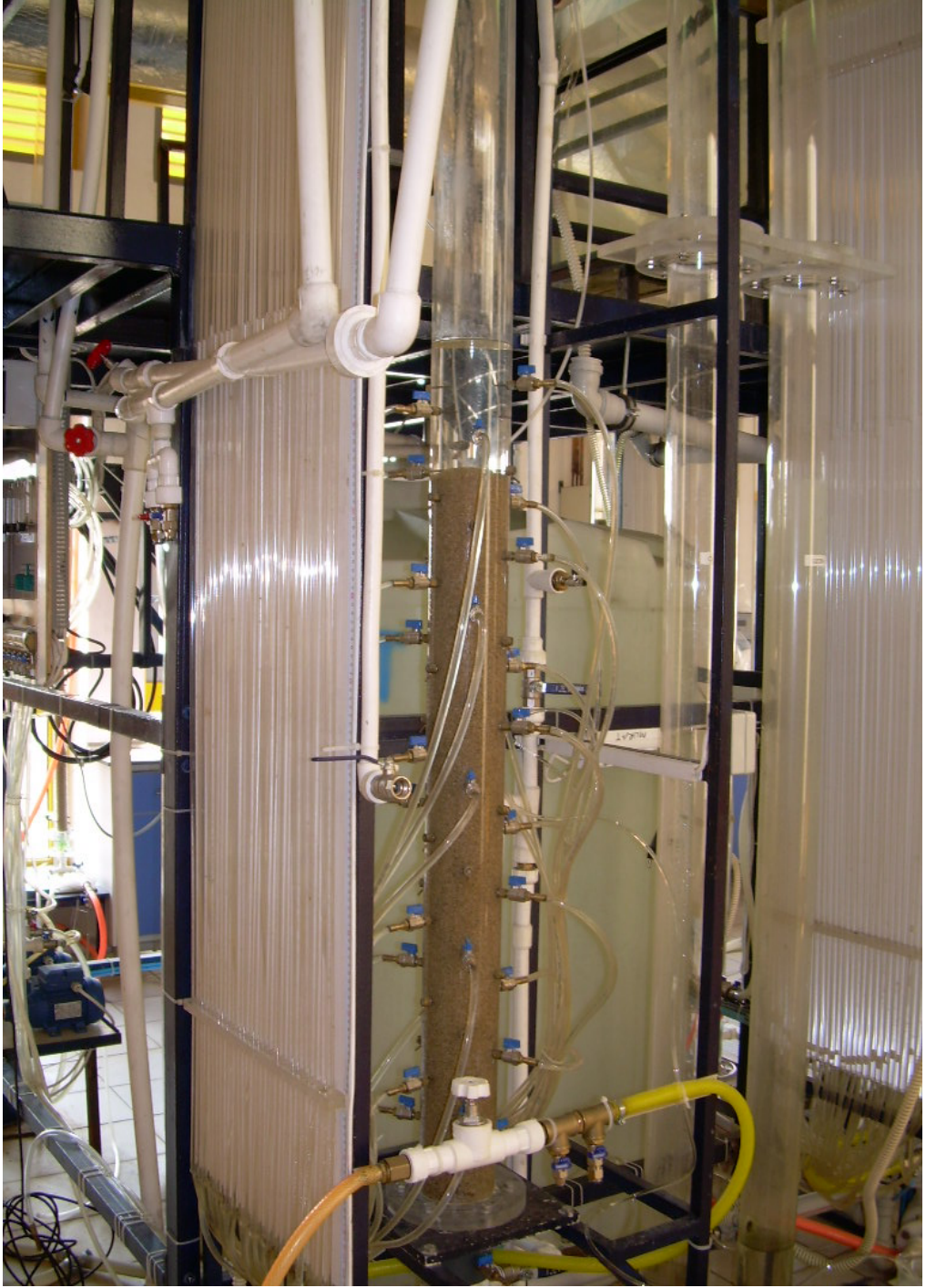
Şekil 4.6. Parçacık sayıcı (particle counter)



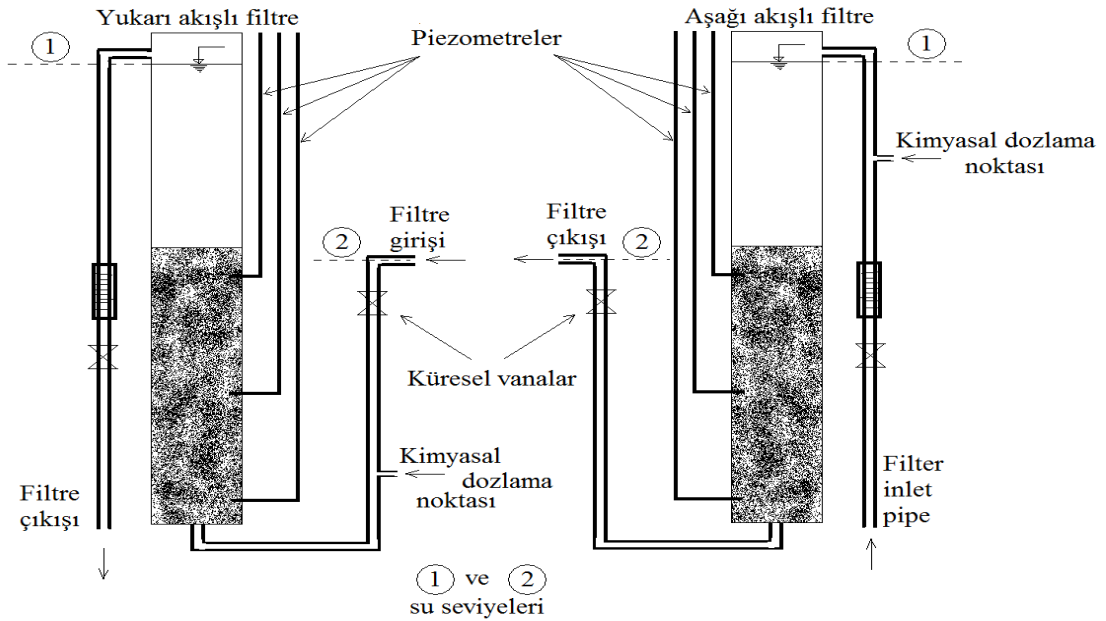
Şekil 4.7. Bulanıklık ölçücü (Türbiditimetre)



Şekil 4.8. Beta ve Gama marka dozaj pompaları



Şekil 4.9. Kum filtresi ve piyezometre borular



Şekil 4.10. Pilot tesis deney düzeneği

4.3. Analitik Metod

4.3.1 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 dörtlleme işlemine numune miktarı 1 kg oluncaya kadar devam edilmiştir (Şekil 4.11).



(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 4.11. 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 yığışımı 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 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Elek analizi deney sonuçları

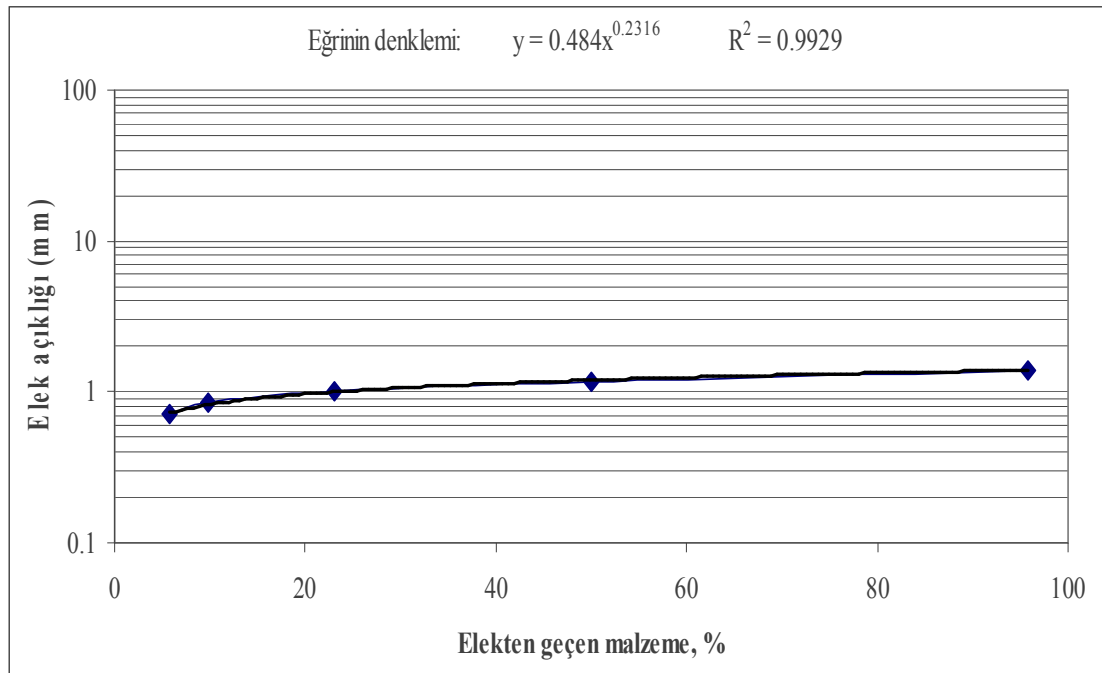
Elek Delik Çapı	Elek Üstünde Kalan Yığılımlı Malzeme Miktarı	Elek Altına Geçen Yığılımlı Malzeme Miktarı	Elek Altına Geçen Yığılımlı Malzeme(%)
(mm)	(gram)	(gram)	(%)
1,4	42	958	95,8
1,18	458	500	50*
1	269	231	23,1
0,85	133	103	10,3
0,71	40	63	5,8

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 4.12.** Elek analizi deney sonuçlarının grafik şeklinde gösterimi.

Silisli kumun üniformaluk katsayısı

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

Denklemleri ile ifade edilmektedir. Söz konusu denklemlerde

- d : üniformaluk 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 4.12'de verilen grafik kullanılarak, $d_{60} = 1.25$ mm, $d_{10} = 0.83$ mm olarak bulunmuştur. Buna göre üniformaluk 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 üniformaluk katsayısının alt ve üst limit değerleri arasında olup gerekli kriterleri sağlamaktadır (AWWA, 1990).

4.3.2. Yumaklaştırıcı İhtiyacı

Ham suyun koagülasyonunda kullanılacak optimum yumaklaştırıcı dozajı CHEMTRAC Coagulant Charge Analyzer 3100 ile belirlenmiştir (Şekil 4.13). 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 4.14 ve 4.15'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.



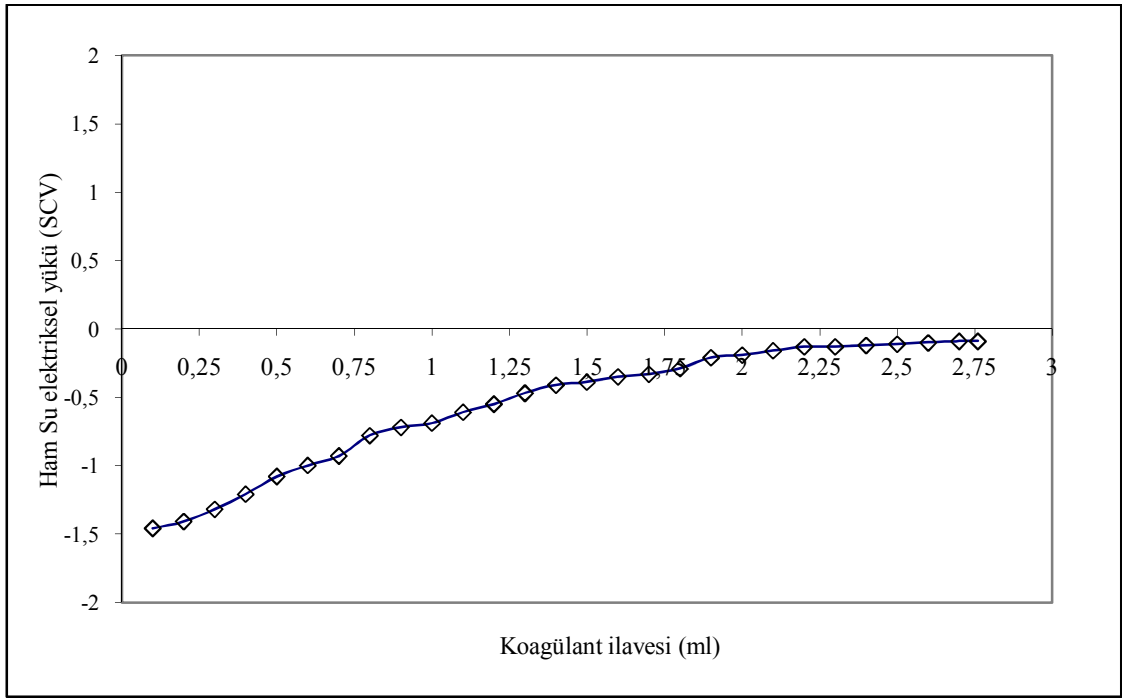
Şekil 4.13. Otomatik jar test cihazı

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

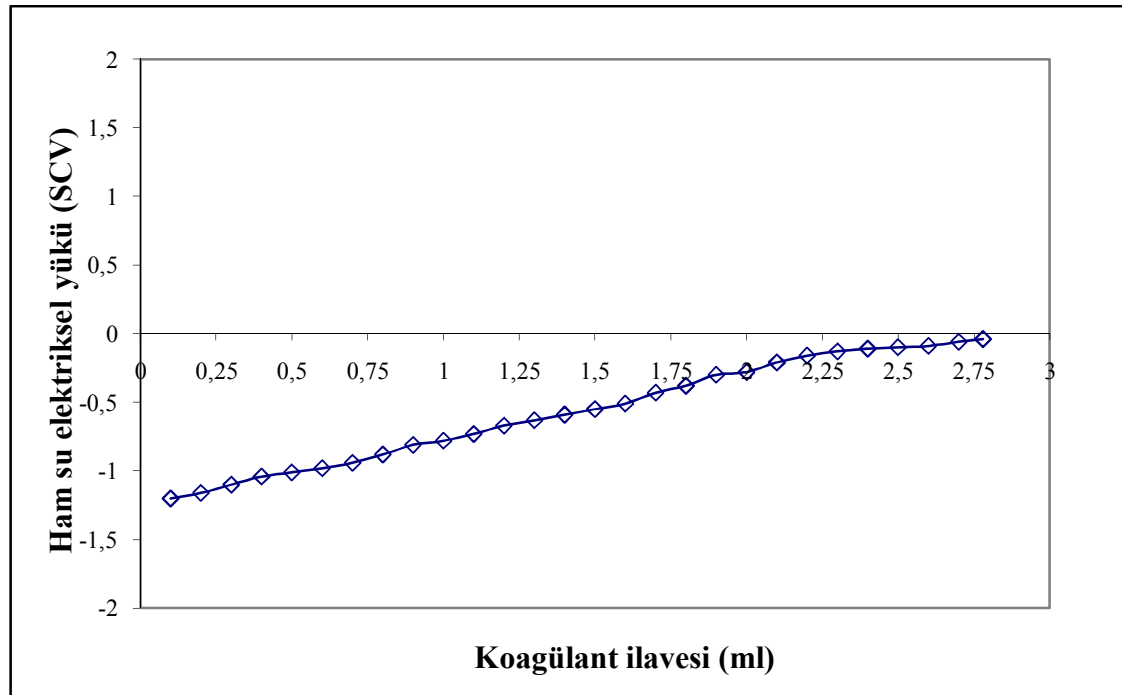
Çıkış Parametreleri: pH 7.18 (23 °C), 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (23 °C)

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)



Şekil 4.14. Optimum alum dozajının belirlenmesinde kullanılan CCA cihazına ait titrasyon eğrisi



Şekil 4.15. Optimum demir (III) klorür dozajının belirlenmesinde kullanılan CCA cihazına ait titrasyon eğrisi.

Her deney için Ives (1978) tarafından tanımlanan filtre edilebilirlik indeksi (FI) hesaplanmıştır. FI aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$FI = \frac{H.C}{C_0.v.t} \quad (1)$$

Burada C minimum filtre çıkış suyu bulanıklığı (NTU), C_0 ham su bulanıklığı (NTU), H yük kaybı (m), v filtrasyon hızı (m/saat), ve t filtrasyon süresidir. FI ne kadar düşükse filtre performansı o kadar yüksektir.

Aşağı akışlı filtre deneylerinde maksimum yük kaybı filtre üzerindeki su seviyesi ile filtre çıkış seviyesi arasındaki farktır ve 0.8 m'dir. Yukarı akışlı filtre deneylerinde ise bu değere çıkılması beklenmemiş, filtre yatağı (filtre hızı sabit kalmak şartıyla) akışkan hale geçmeye başladığında deney sonlandırılmıştır. C_0 ve filtrasyon hızı bütün deneylerde aynı olduğu için filtre indeksi hesabında $\left(\frac{C \times H}{t} \right)$ değeri belirleyici olmuştur. En düşük bulanıklık değerine sahip ve en uzun çalışan filtre en küçük FI değerine sahip olacaktır.

5. BULGULAR

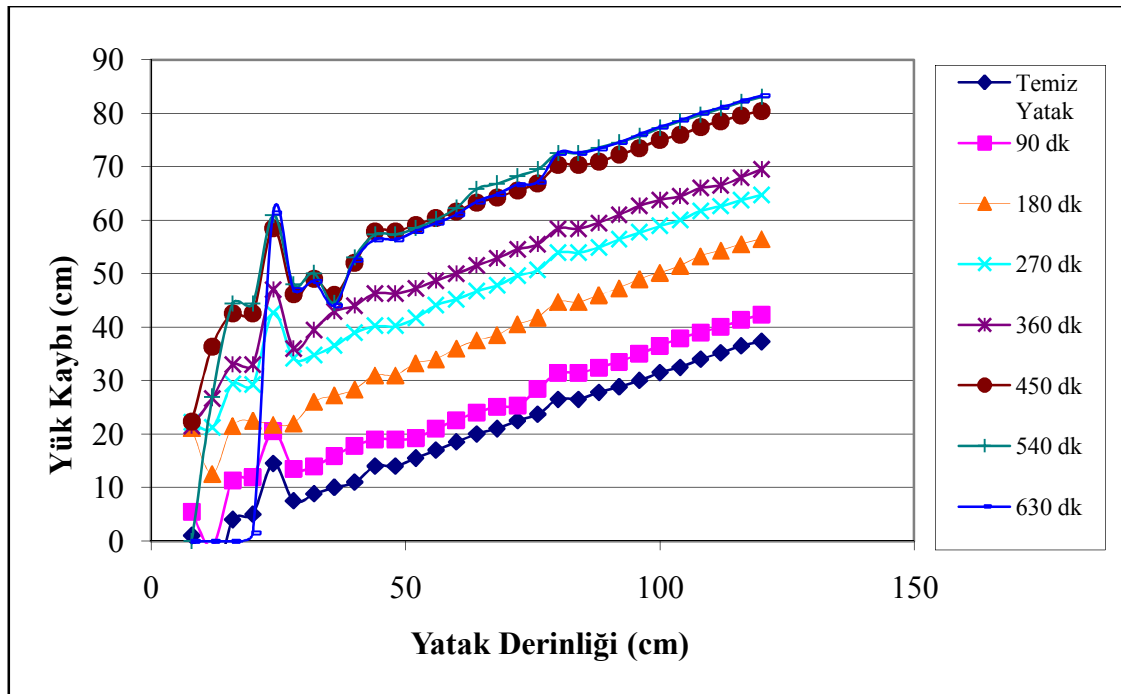
İçme suyu arıtma tesislerinde kullanılan filtrasyon ünitesinin, en verimli ve en uzun süre tıkanmadan çalıştırmak amacıyla bu güne kadar birçok çalışma yapılmıştır.(Chuang and K.Y1997, Amini and H.V. Truong 1998).

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. Yapılan filtrasyon çalışmalarında pıhtılaştırıcı olarak yaygın bir şekilde demir ve alüminyum tuzlarının kullanıldığı görülmüştür. Yumaklaştırma işleminde ise literatür de pıhtılaştırıcı yardımcısı ozon kullanıldığı da görülmektedir. Filtrasyon işleminde yapılan kimyasal dozlama genelde filtreye su girişinin olduğu noktadan veya filtre öncesi seçilen bir noktadan yapılmaktadır ve bu da filtrasyon süresini etkilemektedir. Bizim amacımız ise bu çalışmada yerçekimi ile çalışan filtrelerin filtrasyon verimini artırmak amacıyla farklı dozlarda alum ve demir klorür gibi farklı kimyasallar uygulayarak aşağı ve yukarı akışlı filtreleri karşılaştırmaktır. Parçacık sayısı ve bulanıklık aynı anda on-line olarak ölçülerek çıkış suyu kalitesi incelenmiştir. Ozon ve diğer kimyasalların dozaj aralıkları daha önce yapılmış çalışmalardan alınmıştır (Deniz,H 2008). Deneylerde 5, 7.5 ve 10 mg/l dozlarında yumaklaştırıcı kullanılmıştır. Ozon kullanılan deneylerde ozon dozu 2 mg/l'dir.

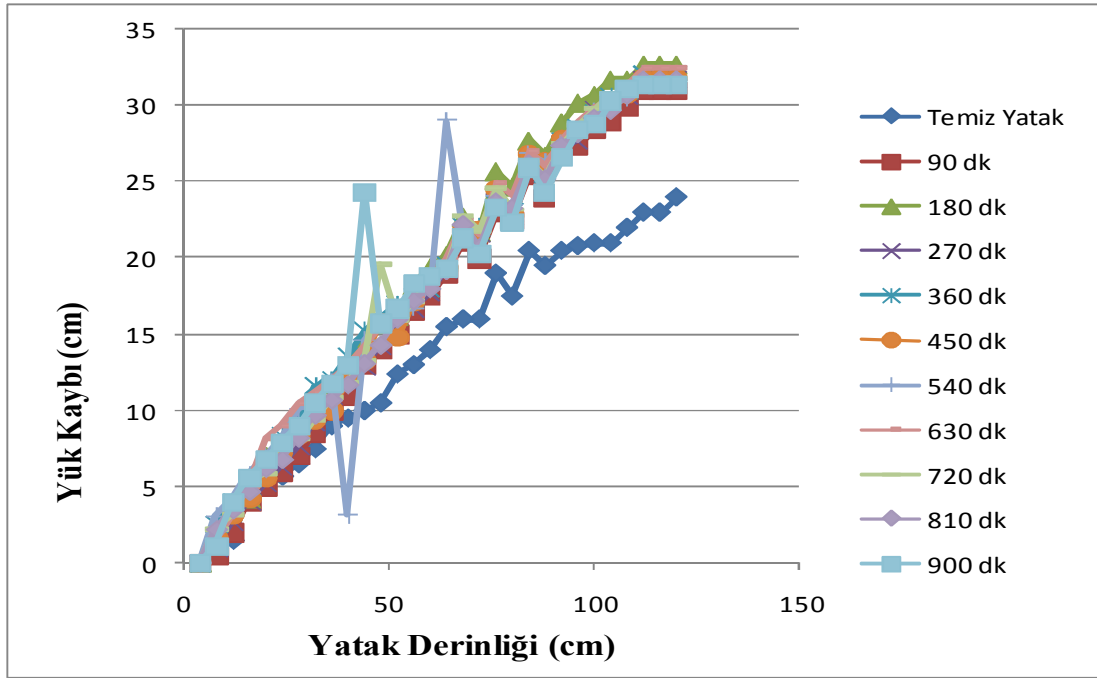
Çalışmada iki eş filtre düzeneği çalıştırılmış, birisi aşağı akışlı olarak diğeri de yukarı akışlı olarak işletilmiştir. Ham su yerden (ham su deposu tabanından) 385 cm yükseklikteki bir dengeleme tankına (filtreye iletilecek ham suyun her zaman aynı basınç ile filtreye girmesini sağlayan iç içe geçmiş iki pleksiglas hazne) motor ile iletilmiş ve buradan cazibe ile filtrenin üst kısmından (yerden yükseklik 280 cm) giriş yapmıştır. Yukarı akışlı filtrede ham suyu yerçekimine zıt olarak filtreden geçirebilmek için herhangi bir pompa, motor vs. düzeneği kullanılmamıştır. Aşağı akışlı filtrede olduğu gibi dengeleme tankından ham su cazibe ile bırakılmış, ancak su filtrenin alt kısmına yönlendirilmiştir. Su bileşik kaplar (385 cm yükseklikteki dengeleme tankı ve 280 cm yükseklikteki filtre çıkışı, ikisi de atmosfere açık)

prensibine göre kendiliğinden filtre kumundan yukarı hareket etmiş ve aşağı akışlı filtrede kullanılan 10 m/saat filtrasyon hızını rahatlıkla sağlamıştır.

İlk deneyde ozonlama ile birlikte demir klorür dozlaması yapılmıştır. 5 mg/l demir klorür şekil 4.9’da gösterildiği gibi filtre öncesinde ilave edilmiştir. Normal filtreye ait yük kaybı değişimleri şekil 5.1’de, yukarı akışlı filtreye ait olan yük kaybı değişimleri şekil 5.2’de sunulmuştur. Filtre hızı, ozon ve demirklorür dozu gibi aynı koşullar altında işletilen iki filtreden yukarı akışlı olanın filtrasyon süresinin normal filtrenin işletme süresinin yaklaşık 1.5 katı olduğu görülmektedir.

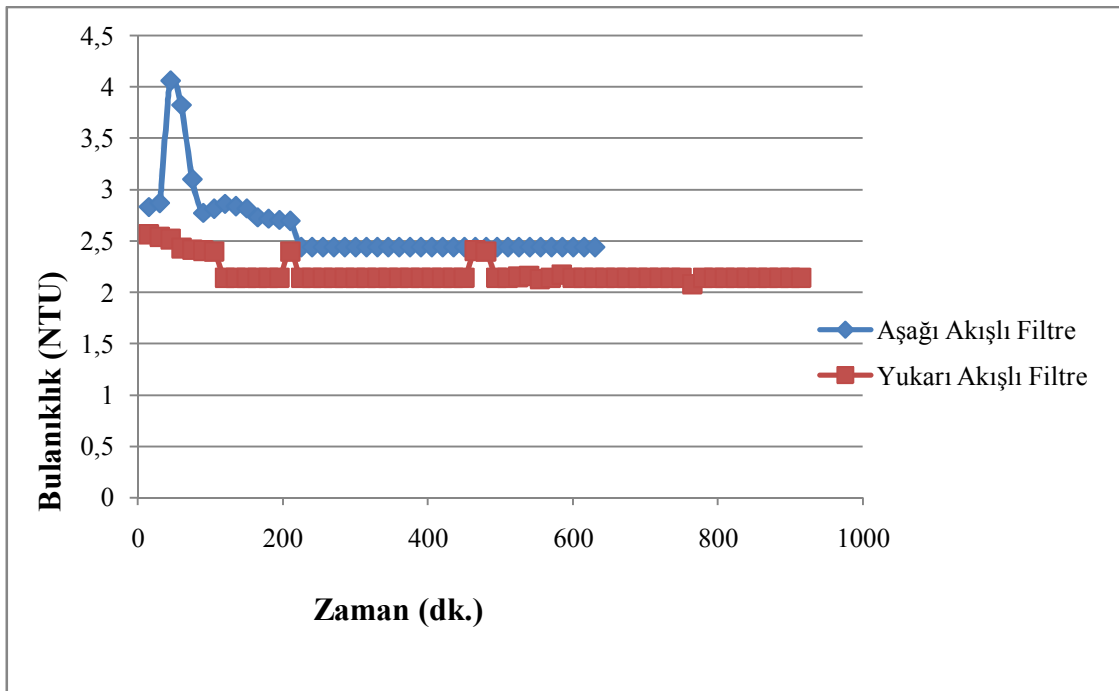


Şekil 5.1. Ozon ve 5mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı

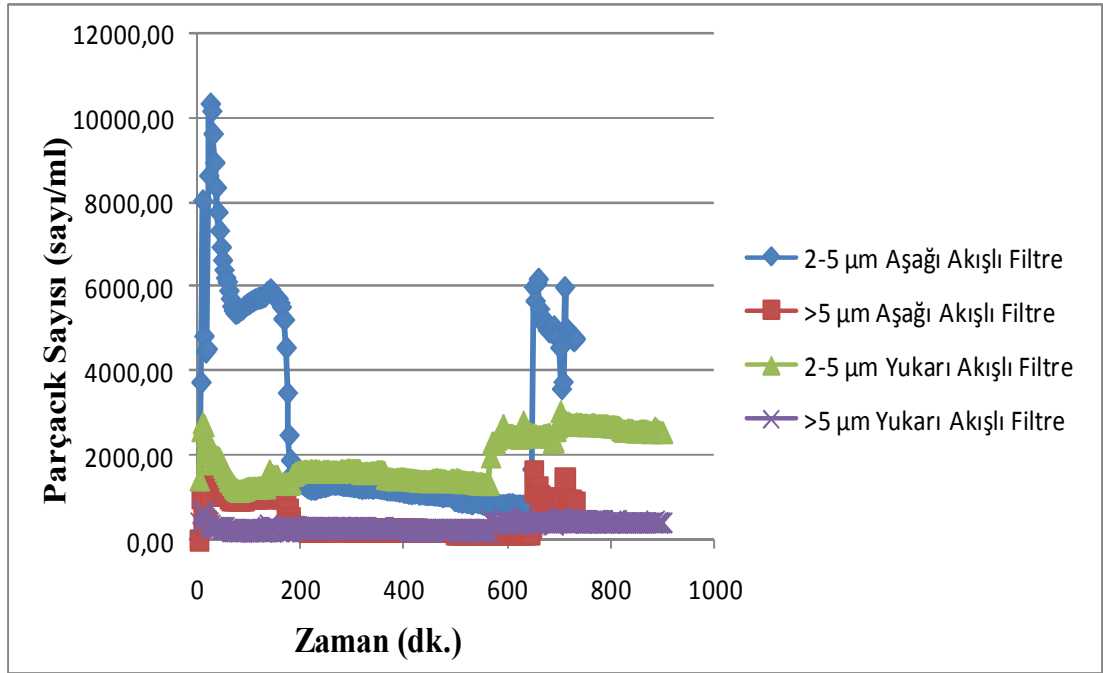


Şekil 5.2. Ozon ve 5mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı

Deney 1'deki filtre çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayısı değişimleri aşağı ve yukarı akışlı filtreler için sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4'de verilmiştir. yaklaşık 5 NTU civarındaki ham su bulanıklığı 5 mg / demir klorür ilavesiyle ancak 2.5 NTU'nun altına düşürülebilmektedir.



Şekil 5.3. Ozon ve 5mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen bulanıklık değişimi

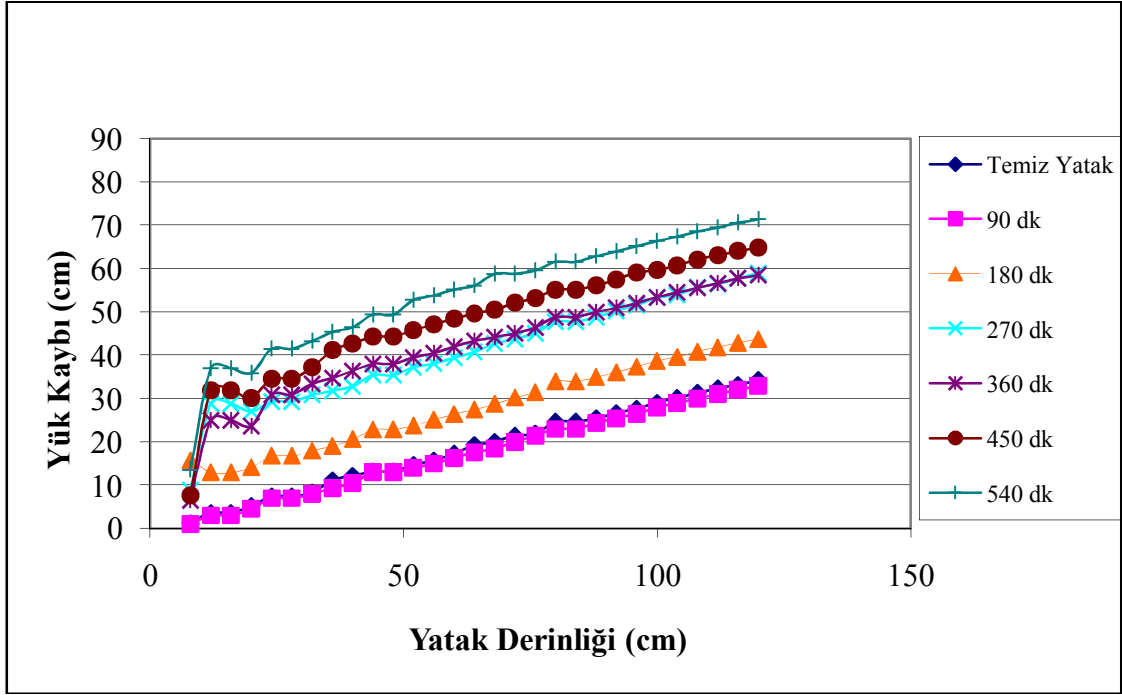


Şekil 5.4. Ozon ve 5mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen bulanıklık değişimi

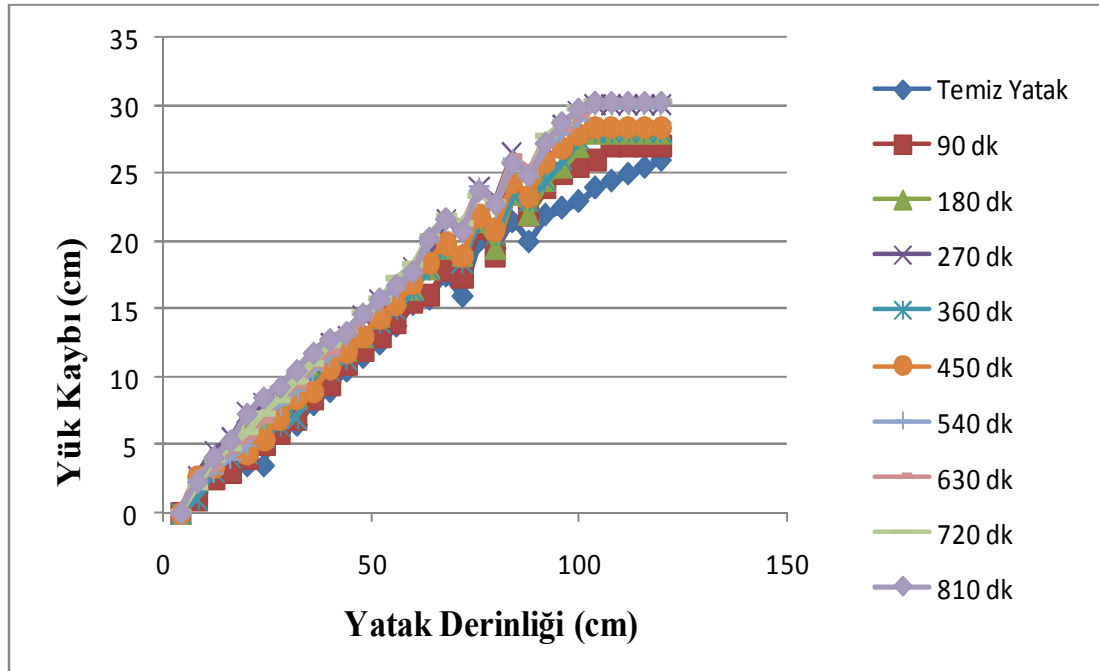
İkinci deneyde ozonlama ile birlikte alüminyum sülfat (alum) dozlaması yapılmıştır. 5 mg/l alum yukarıda bahsedildiği gibi filtre öncesinde eklenmiştir.

Normal filtreye ait yük kaybı değişimleri Şekil 5.5'de, yukarı akışlı filtreye ait olan yük kaybı değişimleri Şekil 5.6'da sunulmuştur. Filtre hızı, ozon ve alum dozu gibi aynı koşullar altında işletilen iki filtreden yukarı akışlı olanın filtrasyon süresinin normal filtrenin işletme süresinin -demir klorür deneyinde olduğu gibi- yaklaşık 1.5 katı olduğu görülmektedir.

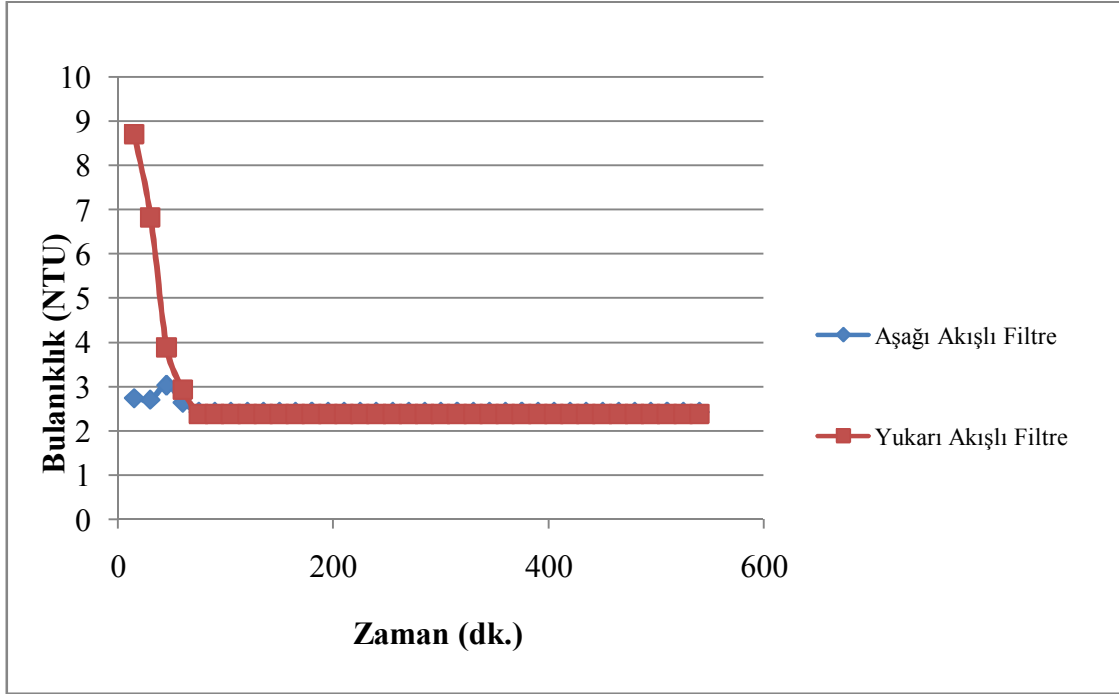
Deney 2'deki filtre çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayısı değişimleri aşağı ve yukarı akışlı filtreler için sırasıyla Şekil 5.7 ve 5.8'de verilmiştir. Aşağı ve yukarı akışlı filtreler çıkış suyu bakımından oldukça benzer sonuçlar sergilerken, çıkış suyu bulanıklığı ancak 2.57'ye düşürülebilmektedir.



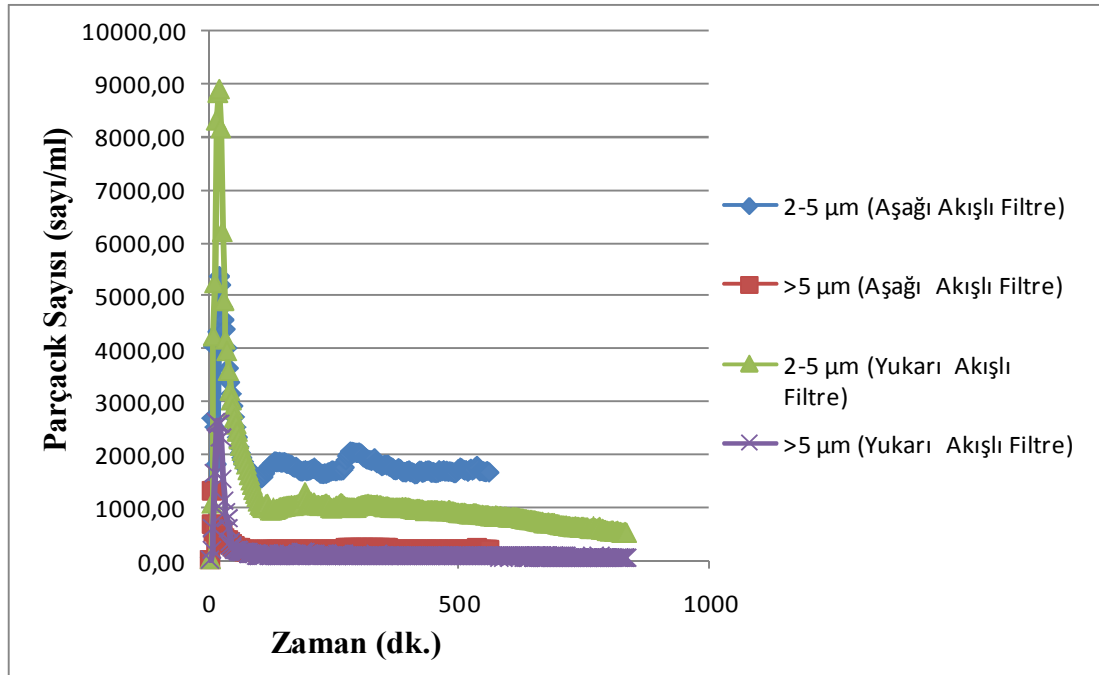
Şekil 5.5. Ozon ve 5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.6. Ozon ve 5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.7. Ozon ve 5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi

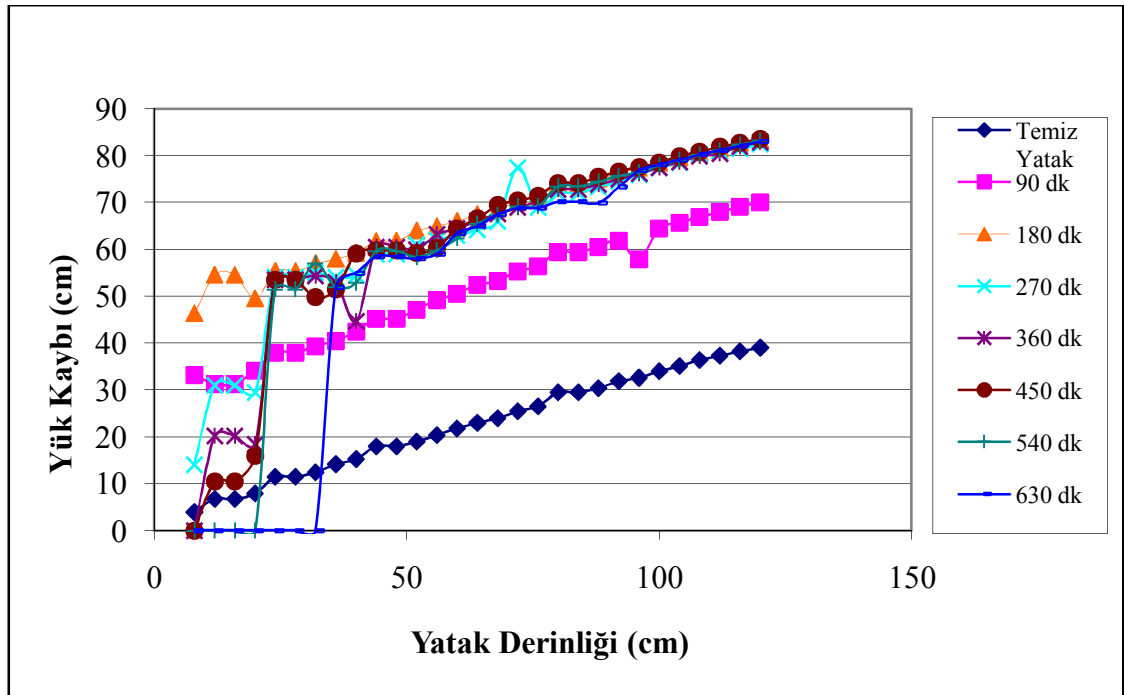


Şekil 5.8. Ozon ve 5mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi

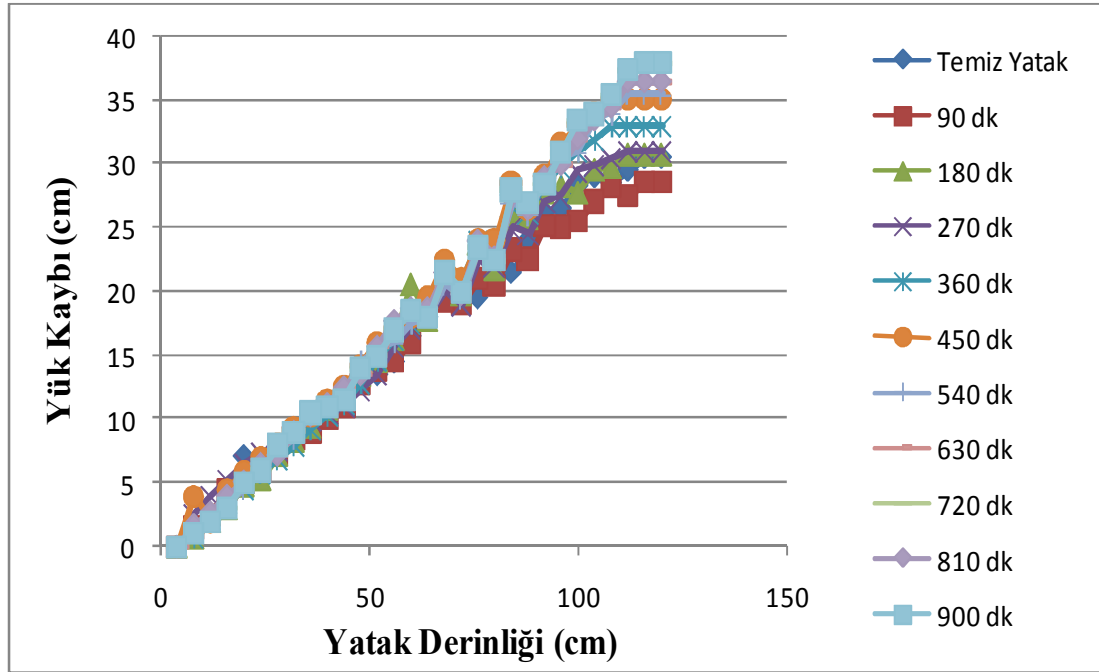
Üçüncü deneyde ozonlama ile birlikte 7.5 mg/l demir klorür dozlaması yapılmıştır. Normal filtreye ait yük kaybı değişimleri şekil 5.9'de, yukarı akışlı filtreye ait olan yük kaybı değişimleri şekil 5.10'da sunulmuştur. Filtre hızı, ozon ve

demir klorür dozu gibi aynı koşullar altında işletilen iki filtreden yukarı akışlı olanın filtrasyon süresinin normal filtrenin işletme süresinin yaklaşık 1.5 katı olduğu görülmektedir. Yukarı akışlı filtrede işletme süresi 15 saate kadar yükselmiştir.

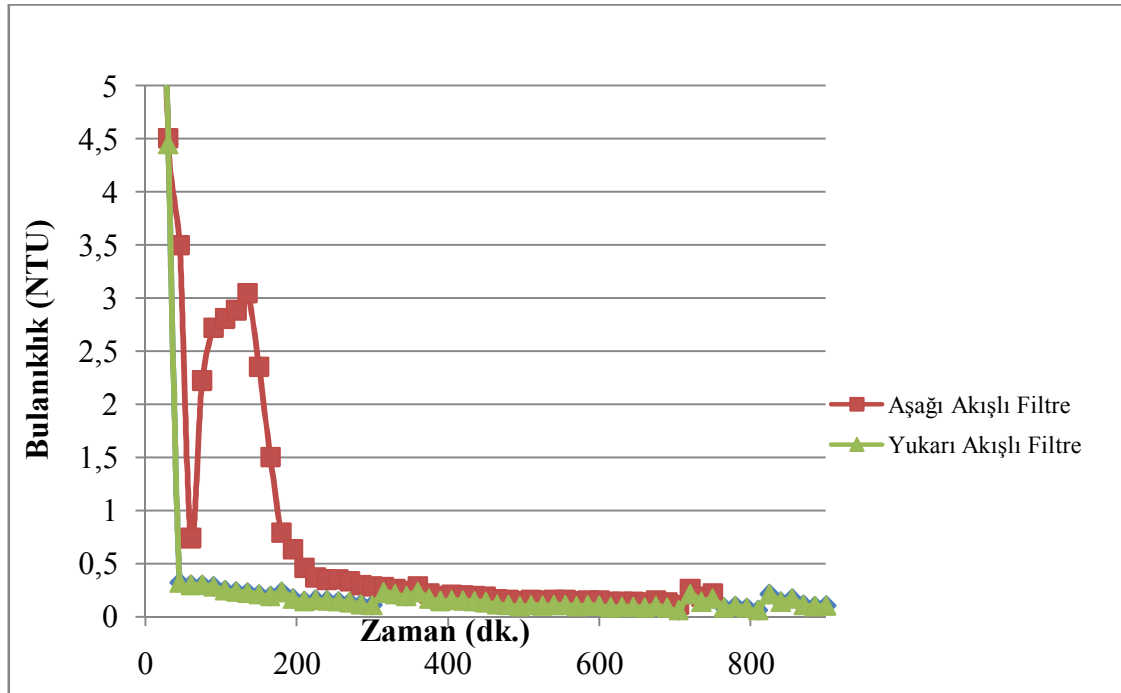
Deney 3’deki filtre çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayısı değişimleri aşağı ve yukarı akışlı filtreler için sırasıyla Şekil 5.11 ve 5.12’de verilmiştir. Aşağı akışlı filtrede çıkış suyu bulanıklığı 0.1 olarak elde edilirken, yukarı akışlı filtrede standartların altına inilebilmiş ve 0.05 NTU çıkış suyu bulanıklık değeri elde edilmiştir. Ayrıca parçacık gideriminde 2 mm’den ve 5 mm’den büyük parçacıklar için sırasıyla % 99.88 ve % 99.99 giderme verimlerine ulaşılmıştır.



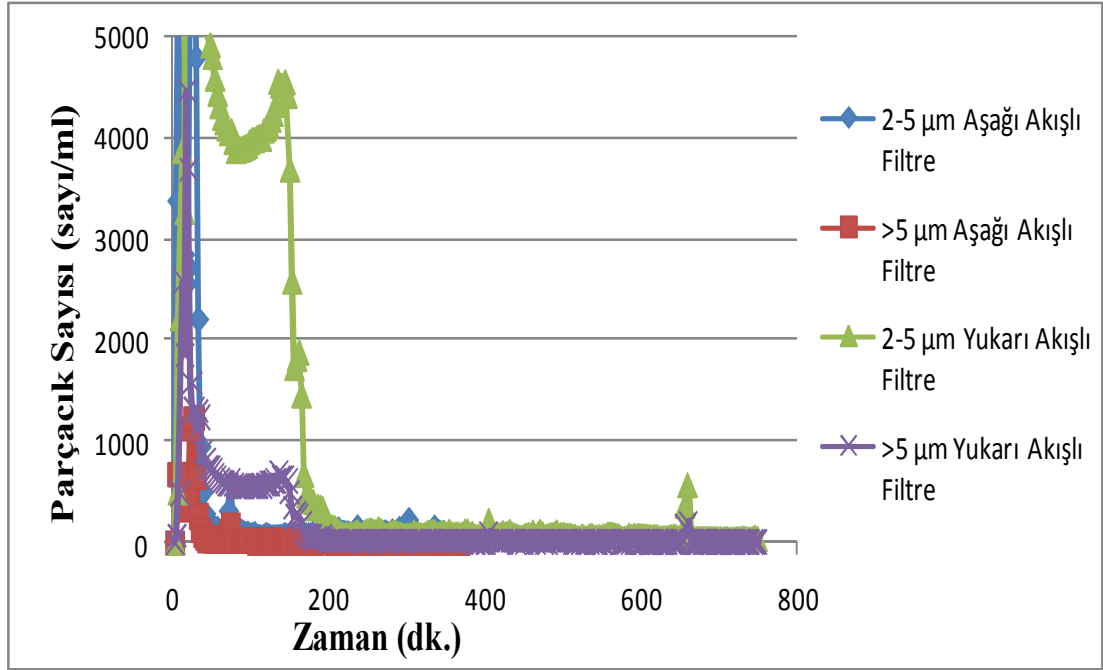
Şekil 5.9. Ozon ve 7.5mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.10. Ozon ve 7.5mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



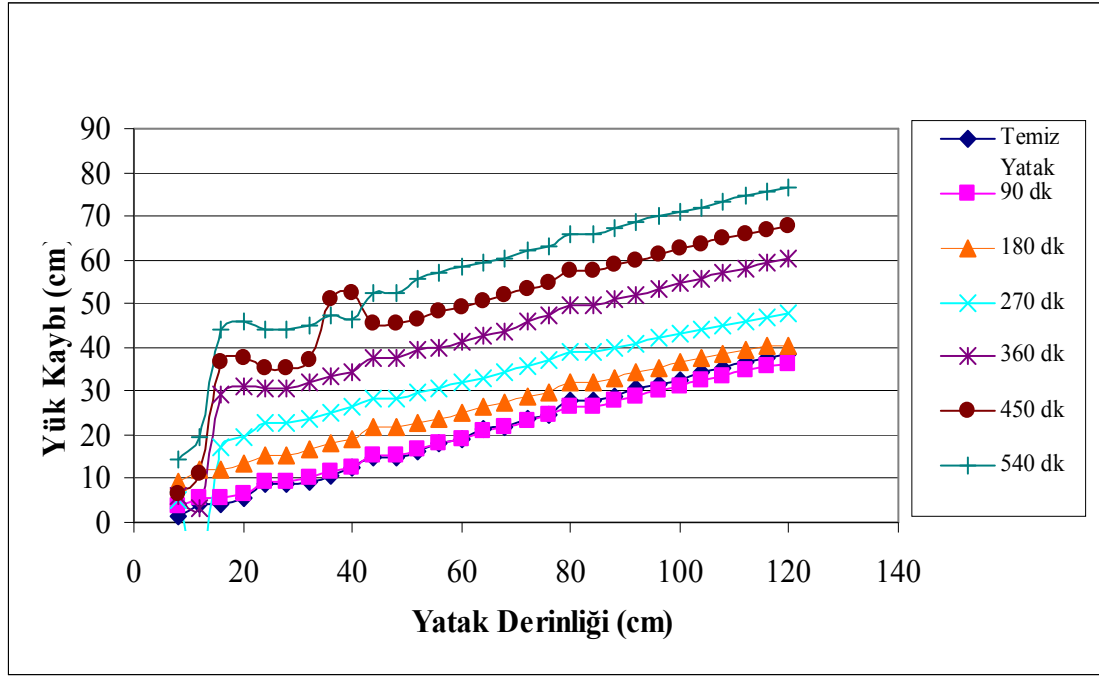
Şekil 5.11. Ozon ve 7.5mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi



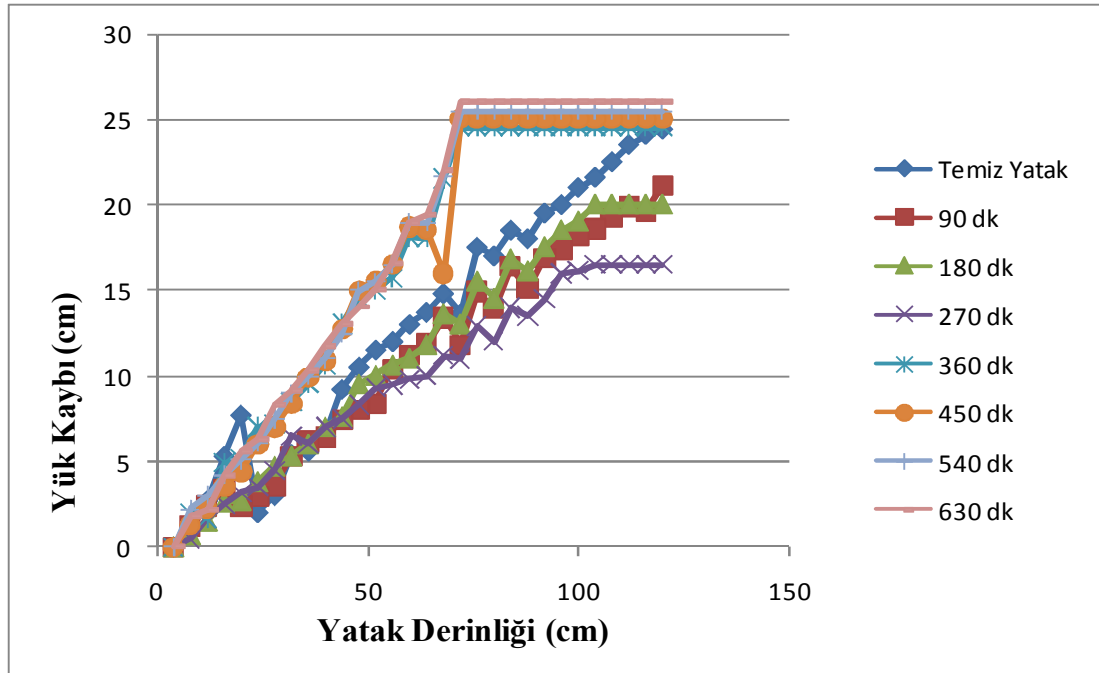
Şekil 5.12. Ozon ve 7.5mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana parçacık sayısı değişimi

Dördüncü deneyde ozonlama ile birlikte 7.5 mg/l alum dozlaması yapılmıştır. Normal filtreye ait yük kaybı değişimleri şekil 5.13'de, yukarı akışlı filtreye ait olan yük kaybı değişimleri şekil 5.14'da sunulmuştur. Filtre hızı, ozon ve alum dozu gibi aynı koşullar altında işletilen iki filtreden yukarı akışlı olanın filtrasyon süresinin normal filtrenin işletme süresinin yaklaşık 1.5 katı olduğu görülmektedir. 7.5 mg/l ile yapılan alum deneylerindeki filtreler demir klorür deneylerine göre daha çabuk tıkanmıştır (Tablo 5.1).

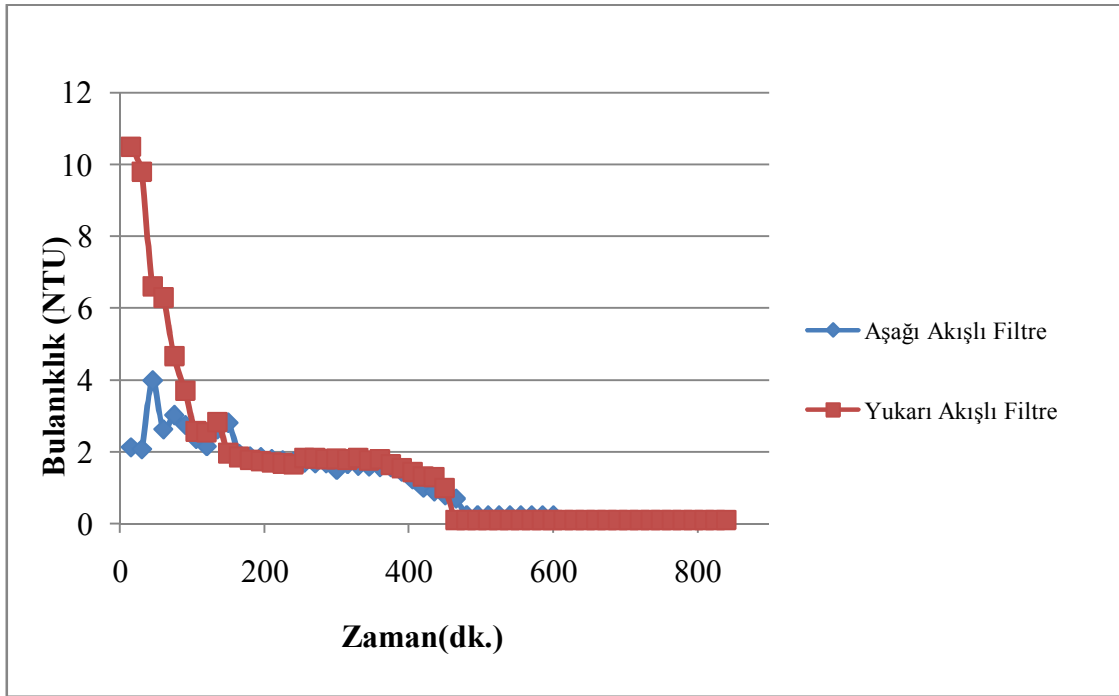
Deney 4'deki filtre çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayısı değişimleri aşağı ve yukarı akışlı filtreler için sırasıyla Şekil 5.15 ve 5.16'da verilmiştir. Aşağı akışlı filtrede çıkış suyu bulanıklığı 0.23 olarak elde edilirken, yukarı akışlı filtrede ancak 0.11 NTU elde edilmiştir. Ayrıca parçacık gideriminde 2 µm'den ve 5 µm'den büyük parçacıklar için sırasıyla % 91 ve % 98 giderme verimlerine ulaşılmıştır.



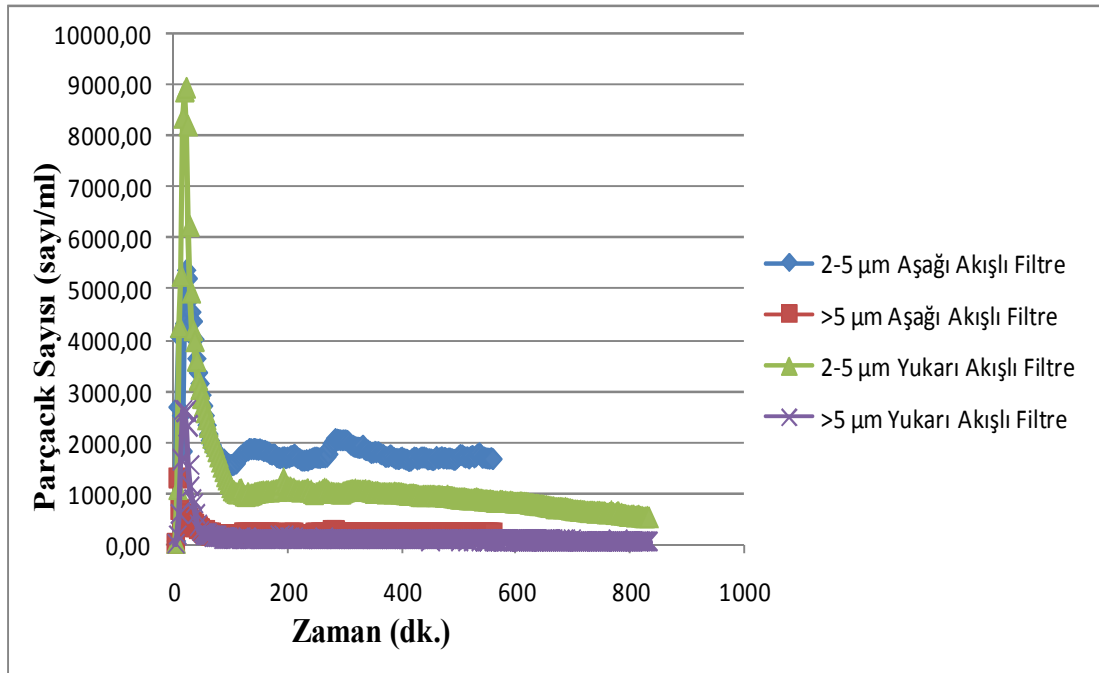
Şekil 5.13. Ozon ve 7.5mg/l Alüm'un birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.14. Ozon ve 7.5mg/l Alüm'un birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.15. Ozon ve 7.5mg/l Alüm'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi

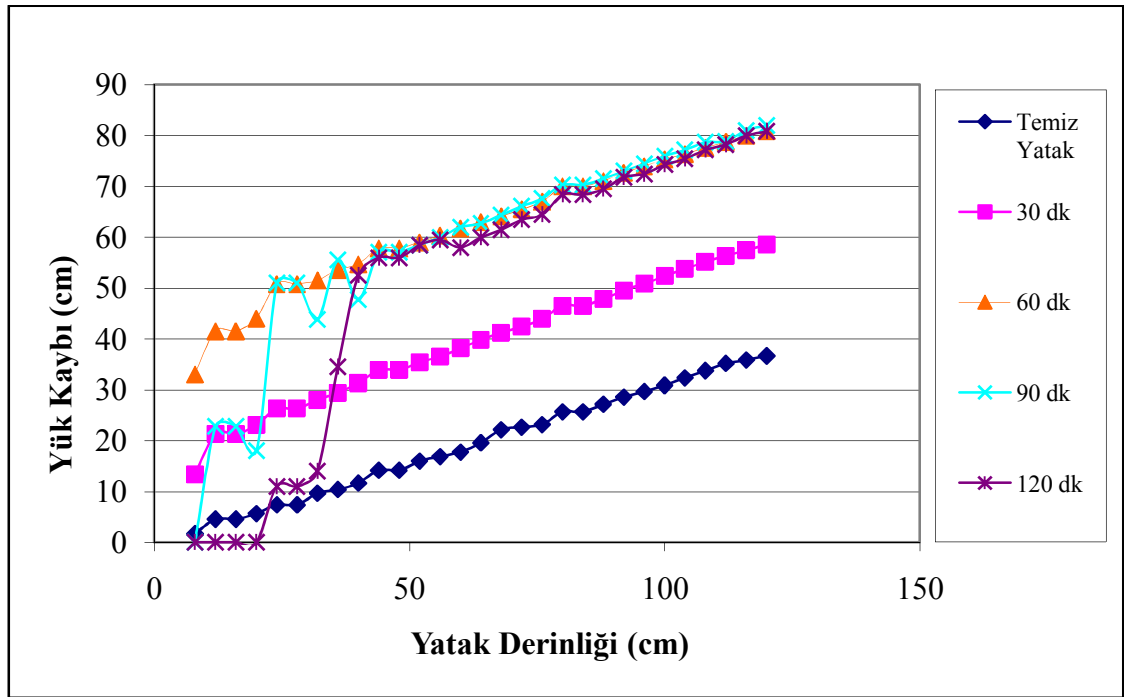


Şekil 5.16. Ozon ve 7.5mg/l Alüm'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi

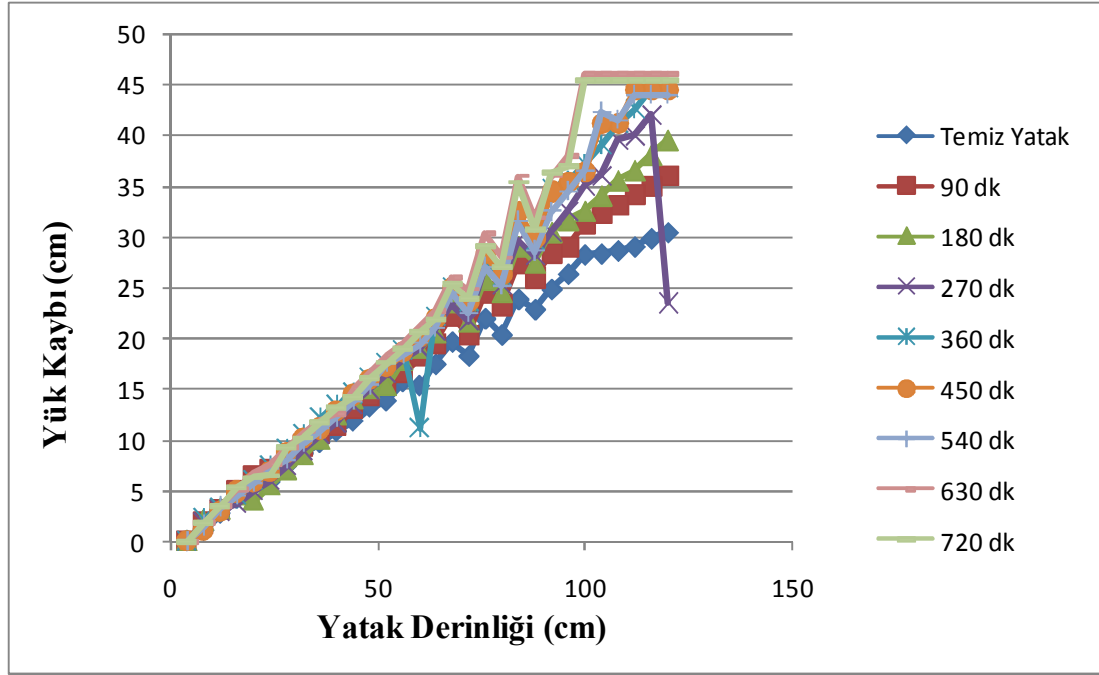
Beşinci deneyde ozonlama ile birlikte gerçekleştirilen demir klorür dozlaması 10 mg/l'ye yükseltilmiştir. Bir önceki deneyde 7.5 mg/l ile çıkış suyu bulanıklık ve yaklaşık olarak parçacık sayısı standartları sağlanmışken, dozlamanın artırılmasının

filtre çıkış suyu kalitesine ve filtrasyon süresine etkileri gözlemlenmek istemiştir. Normal filtreye ait yük kaybı değişimleri şekil 5.17’de, yukarı akışlı filtreye ait olan yük kaybı değişimleri şekil 5.18’de sunulmuştur. Aşağı akışlı filtre diğer deneylerde olduğu gibi daha çabuk tıkanırken bu deneyde filtrasyon süreleri birbirine yaklaşmıştır (670 ve 550 dak).

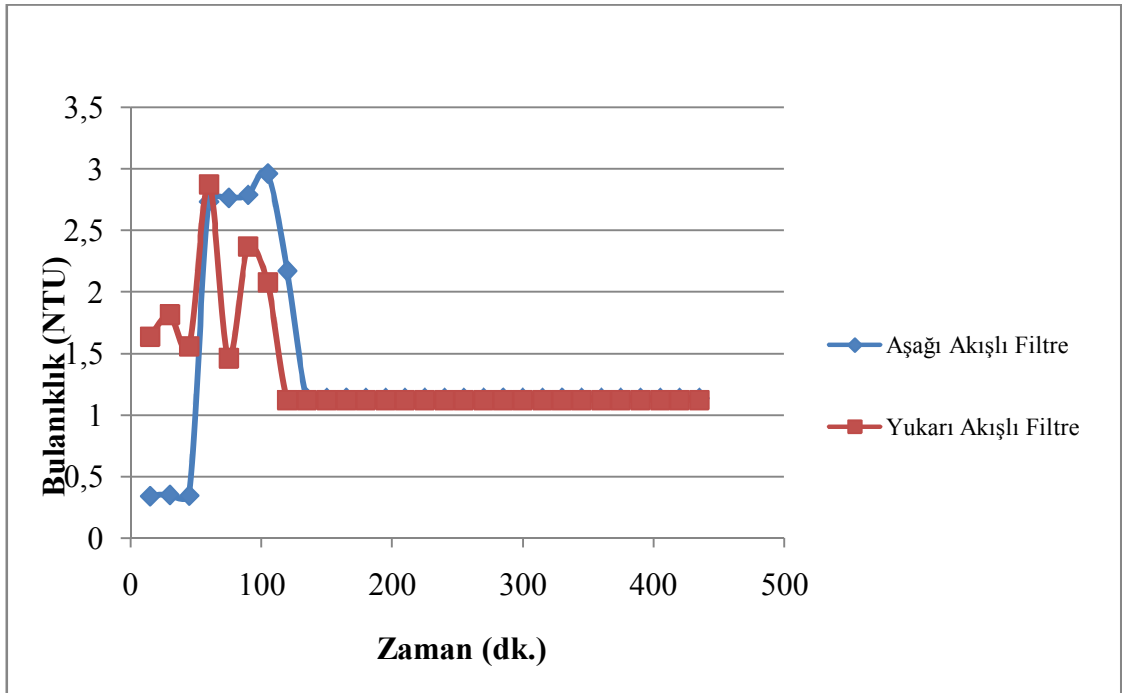
Deney 5’deki filtre çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayısı değişimleri aşağı ve yukarı akışlı filtreler için sırasıyla Şekil 5.19 ve 5.20’de verilmiştir. İki düzenekte de 1.1 civarında çıkış suyu bulanıklığı elde edilmiş ve parçacık gideriminde $2\ \mu\text{m}$ ’den büyük parçacıklar için sırasıyla giderme verimleri % 90’ın altına düşmüştür.



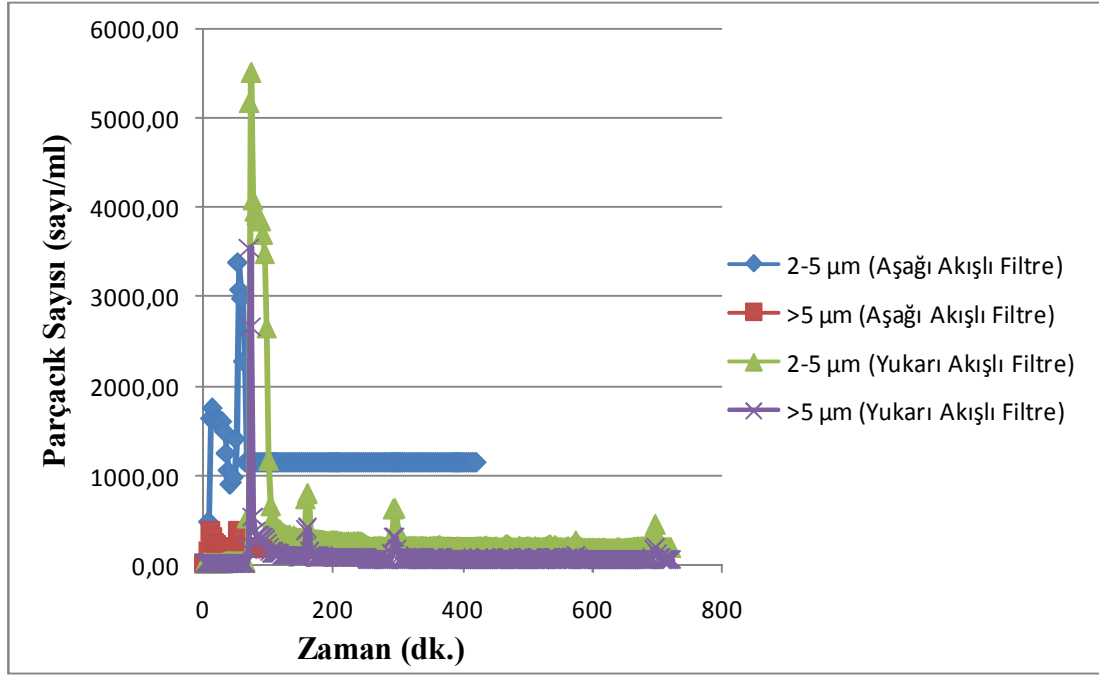
Şekil 5.17. Ozon ve 10mg/l FeCl₃’ün birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.18. Ozon ve 10mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



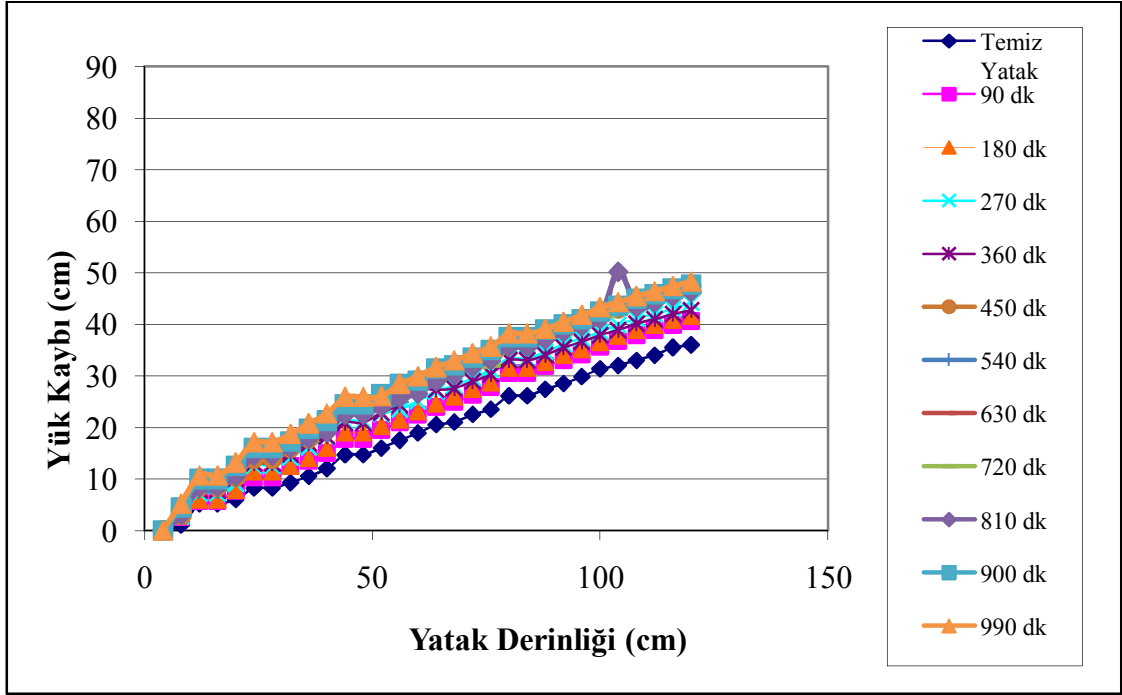
Şekil 5.19. Ozon ve 10mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi



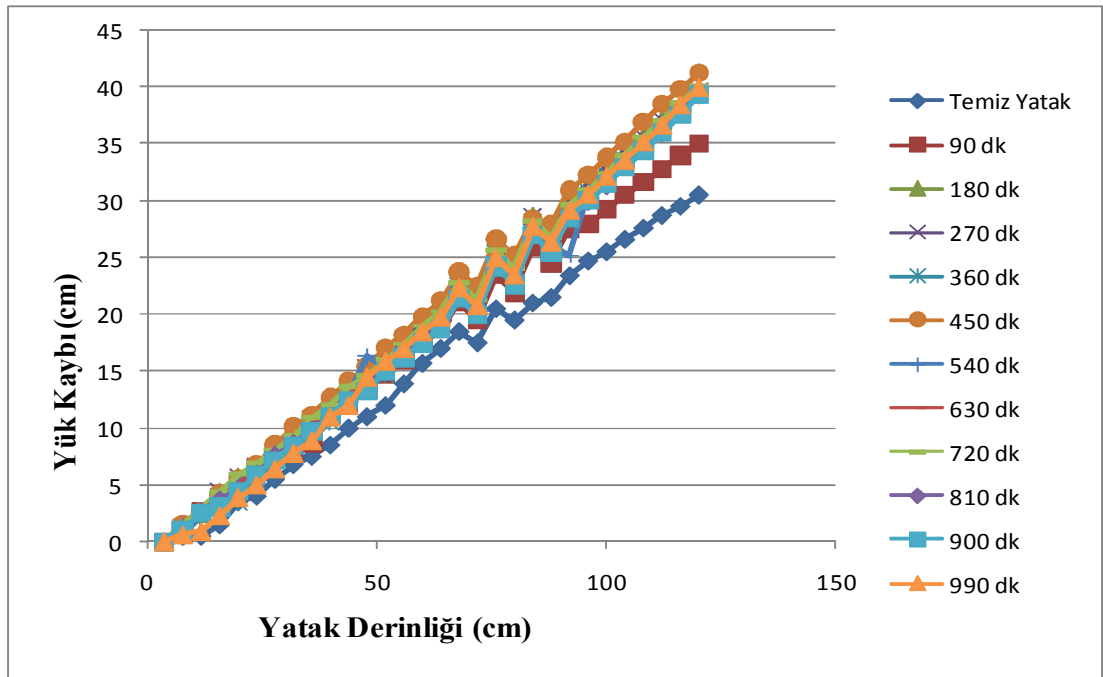
Şekil 5.20. Ozon ve 10mg/l FeCl₃'ün birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi

Altıncı deneyde ozonlama ile birlikte gerçekleştirilen alum dozlaması 10 mg/l'ye yükseltilmiştir. Bir önceki deneyde 7.5 mg/l alum dozajı ile çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayısı standartları sağlanamadığından, dozlamanın artırılması yoluna gidilerek, 10 mg/l alum dozlaması denenmiştir. Normal filtreye ait yük kaybı değişimleri şekil 5.21'de, yukarı akışlı filtreye ait olan yük kaybı değişimleri şekil 5.22'de sunulmuştur.

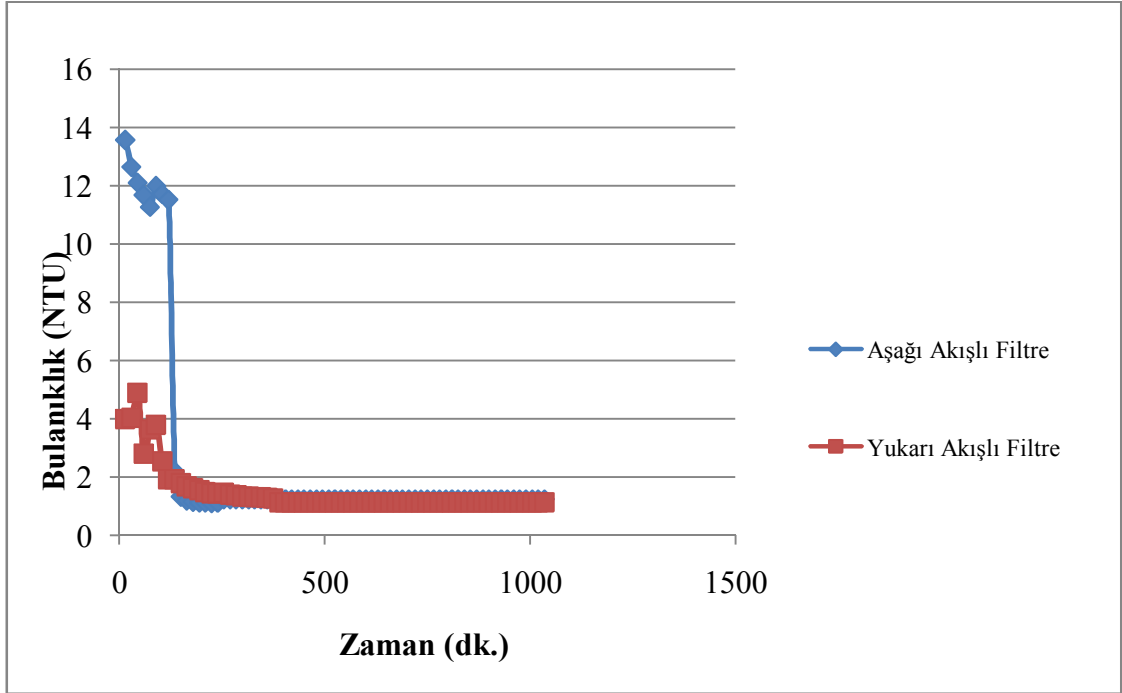
Deney 6'daki filtre çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayısı değişimleri aşağı ve yukarı akışlı filtreler için sırasıyla Şekil 5.23 ve 5.24'de verilmiştir. Alum dozunun artırılmasıyla, Deney 4'de elde edilen su kalitesi bozularak bulanıklık 1 NTU'nun üzerine çıkmıştır.



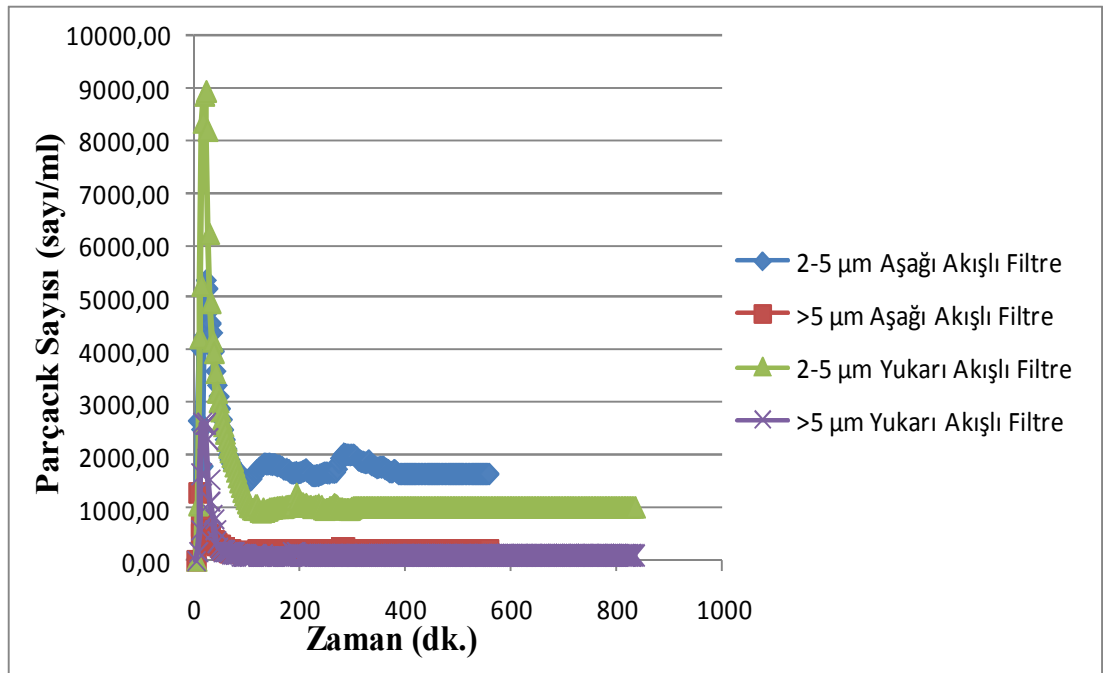
Şekil 5.21. Ozon ve 10mg/l alümin birlikte kullanılmasıyla aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.22. Ozon ve 10mg/l alümin birlikte kullanılmasıyla yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.23. Ozon ve 10mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi

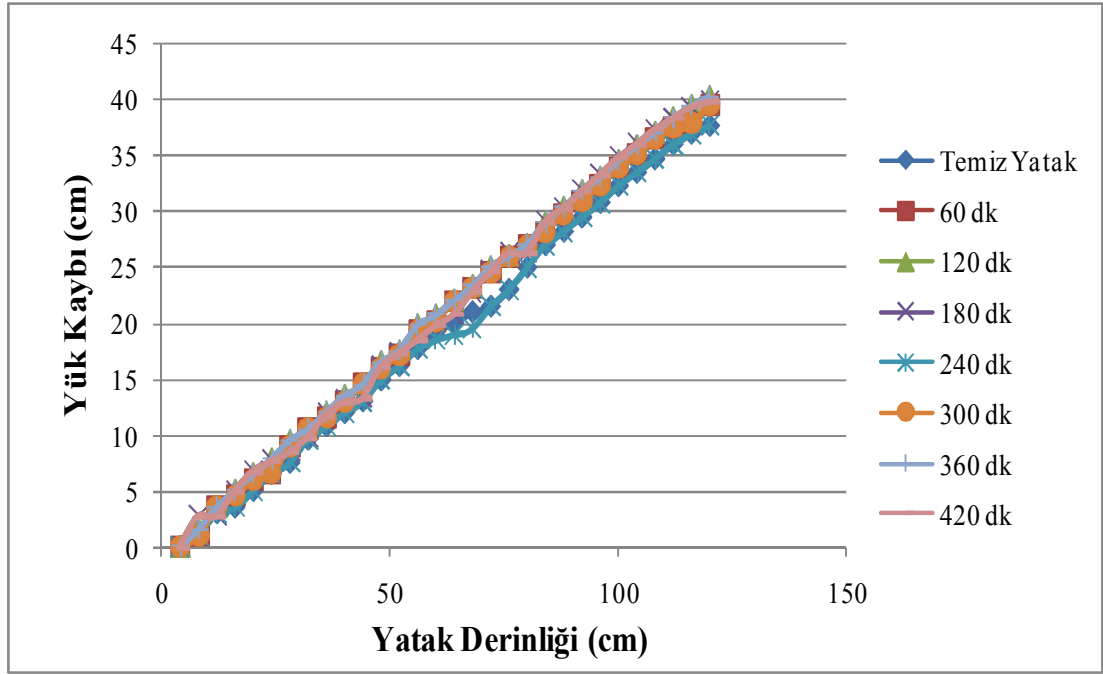


Şekil 5.24. Ozon ve 10mg/l Alum'un birlikte kullanılmasıyla aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi

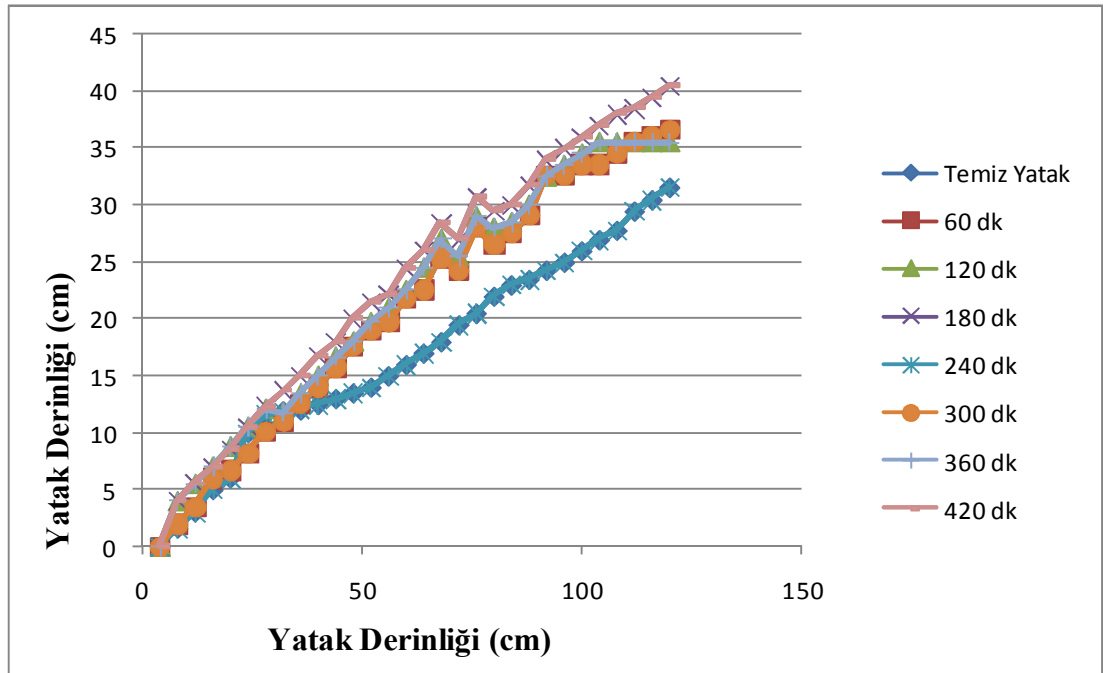
İlk 6 deneyde kimyasal dozlaması filtre giriş hattından yapılmıştır. Su kalitesi, filtrasyon süreleri ve filtre edilebilirlik indekslerinin toplu olarak verildiği Tablo 5.1,

5.2 ve 5.3'e bakılacak olursa en iyi sonuçların elde edildiği deney 7.5 mg/l FeCl_3 ve ozonlamanın birlikte kullanıldığı yukarı akışlı filtrasyon prosesidir. 15 saatlik işletme süresine ulaşılmış, ancak bulanıklık 0.11'e düşürülebilmektedir. Parçacık gideriminde de 2-5 μm ve $> 5 \mu\text{m}$ boyutundaki parçacıklar için sırasıyla % 99.8 ve % 99.6 giderme verimlerine ulaşılabilmektedir. Filtre süresini 24 saate çıkarabilmek, su kalitesini standart değerlere (0.1 NTU'dan düşük bulanıklık ve %99.9 giardia ($> 5 \mu\text{m}$) ve %99.99 (2-5 μm) giderimi) yükseltebilmek için ilave deneyler yapılmıştır. Önceki deneylerde demir klorür, alüminyum sülfata göre daha avantajlı bulunduğundan 7, 8 ve 9. deneylerde alüminyum sülfat hiç kullanılmamış, demir klorür tercih edilmiştir. Bu deneylerde yüksek maliyetinden dolayı ozonlamaya yer verilmemiş filtre yatağından kimyasal dozlama yöntemi (Aktaş, 2008) denenmiştir. 5, 7.5 ve 10 mg/lik dozlar denenmiştir. Dozlama filtre girişi ve filtre derinliği ile yatağının tam orta noktasından gerçekleştirilmiştir. 3 L/saat dozlama debisi bu iki noktada iki eşit parçaya bölünerek toplamda 7.5 mg/l dozajının aynı kalması sağlanmıştır.

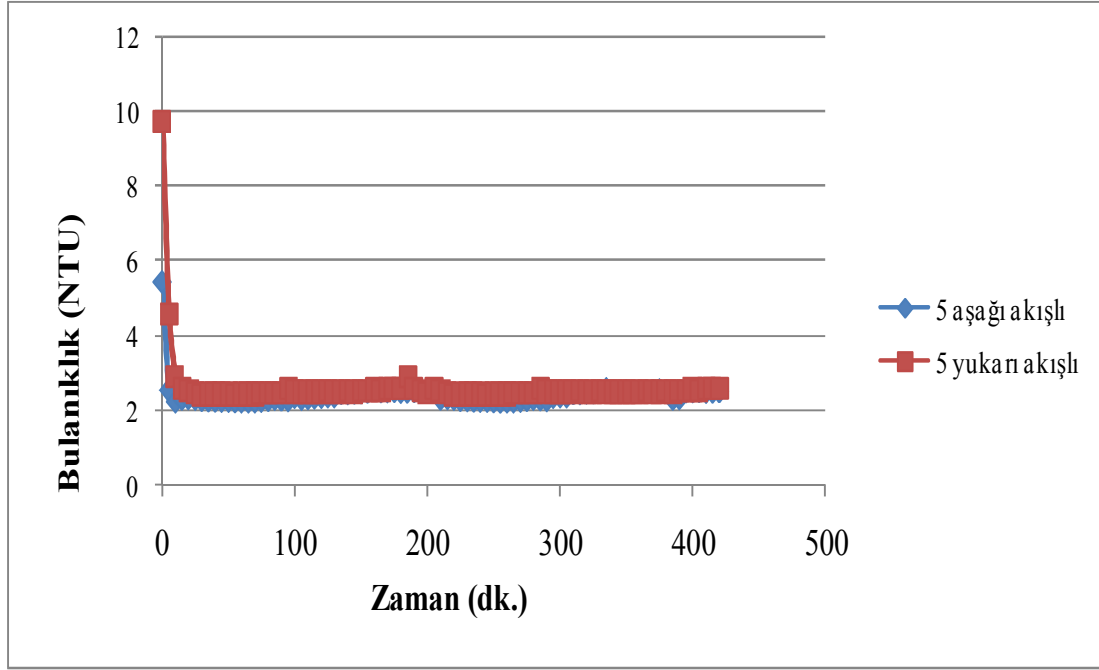
Dozlamanın 5 mg/l olarak yapıldığı deneye ait yük kaybı grafikleri Şekil 5.25 ve 5.26'da su kalitesine ait değişimler de Şekil 5.27 ve 5.28'de gösterilmiştir. Dozajın düşük olması yük kaybını azaltarak filtrasyon süresini artırmış, ancak su kalitesini iyileştirmeye yetmemiştir. Her iki filtrede de bulanıklık 2.5 NTU altına düşürülememiştir. 7 saat sonunda yaklaşık 40 cm yük kaybında iken filtre durdurulmuştur.



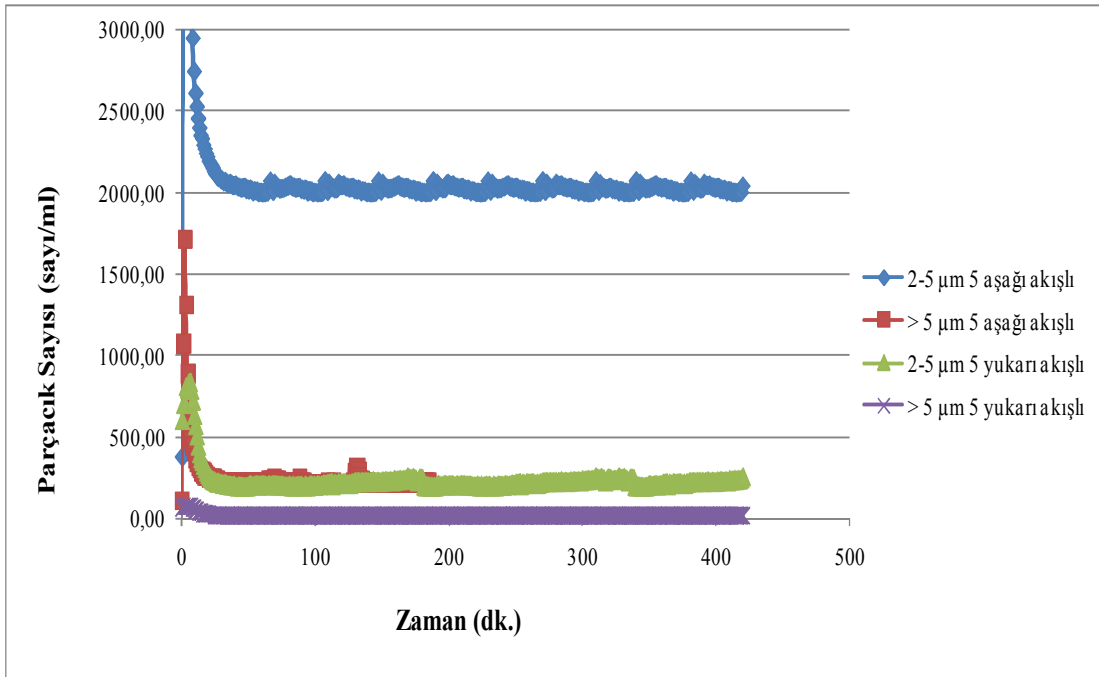
Şekil 5.25. 5mg/l FeCl_3 ' ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.26. 5mg/l FeCl_3 ' ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı

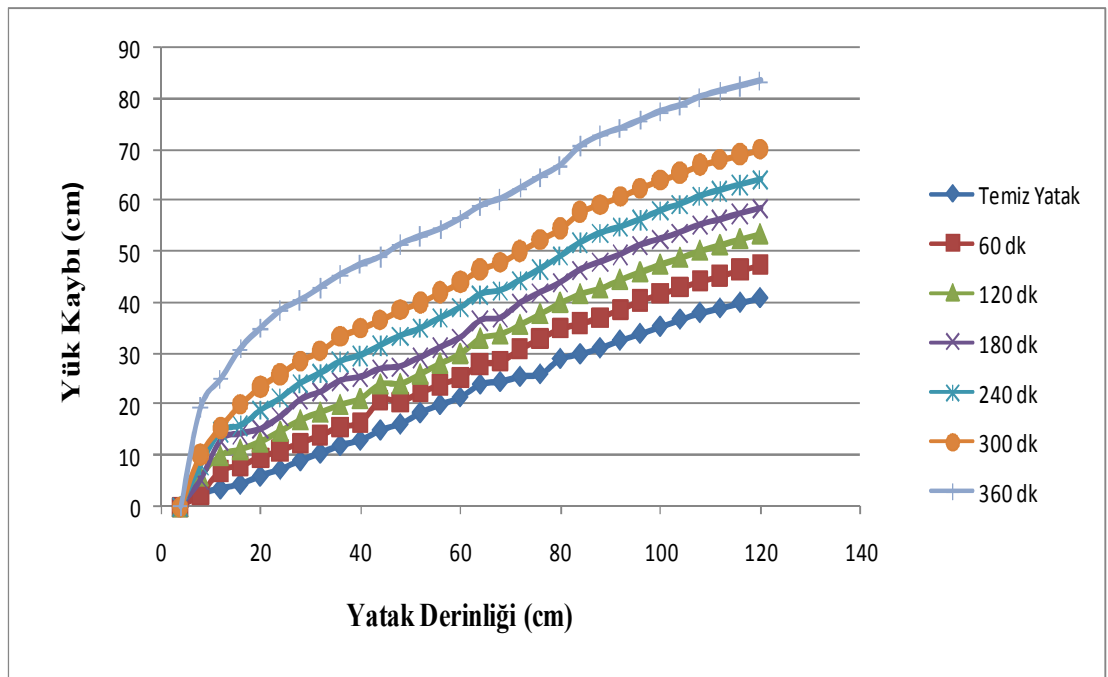


Şekil 5.27. 5mg/l FeCl_3 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi

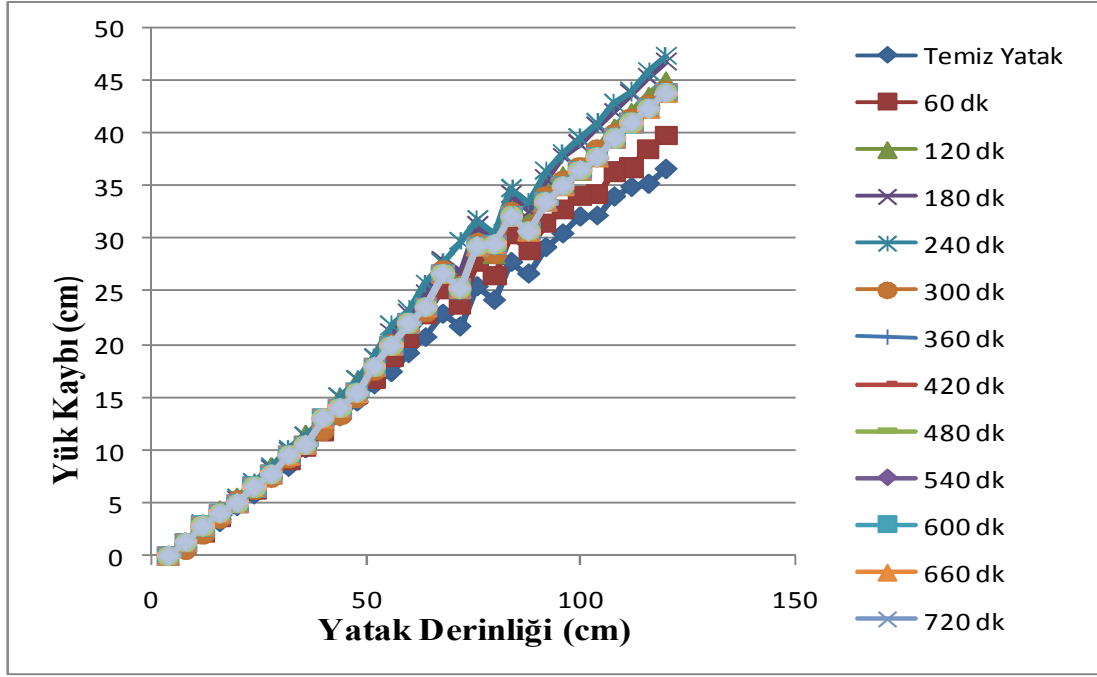


Şekil 5.28. 5mg/l FeCl_3 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi

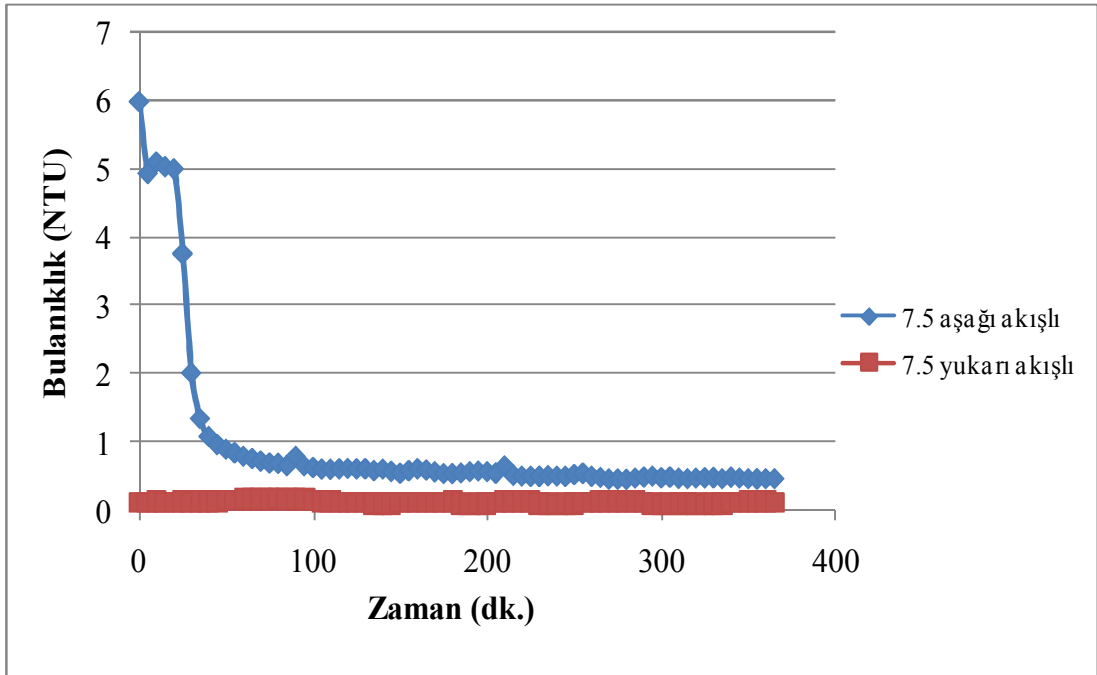
Dozlamının 7.5 mg/l olarak yapıldığı deneye ait yük kaybı grafikleri Şekil 5.29 ve 5.30'da; su kalitesine ait değişimler de Şekil 5.31 ve 5.32'de gösterilmiştir. Dozajın 7.5 mg/l'ye çıkarılması yük kaybını azaltarak filtrasyon süresini artırmış ve bulanıklığı 0.05 NTU'ya kadar indirmiştir. Rezervuardaki ham su tükendiğinden filtre 1080 dakika (18 saat) işletilebilmiştir. Aşağı akışlı filtre ise yatak derinliğine doğru artan filtre malzemesi danecik çapından dolayı 360 dakika sonra tıkanmıştır. Ayrıca filtre çıkış suyu bulanıklığı da 0.43 NTU'ya kadar düşürülebilmıştır (Tablo 5.3). yukarı akışlı filtrede parçacık gideriminde her iki parçacık boyutunda %99.99 ve %99.9'a varan giderme verimlerine ulaşılmıştır.



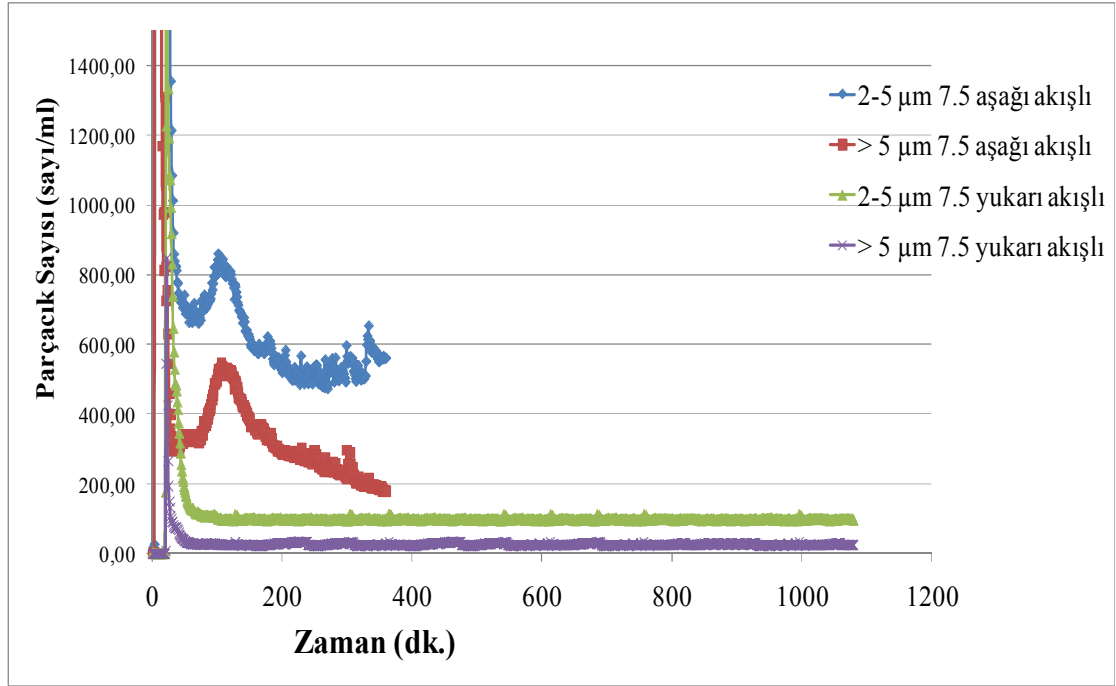
Şekil 5.29. 7.5mg/l FeCl₃'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.30. 7.5mg/l FeCl_3 ' ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



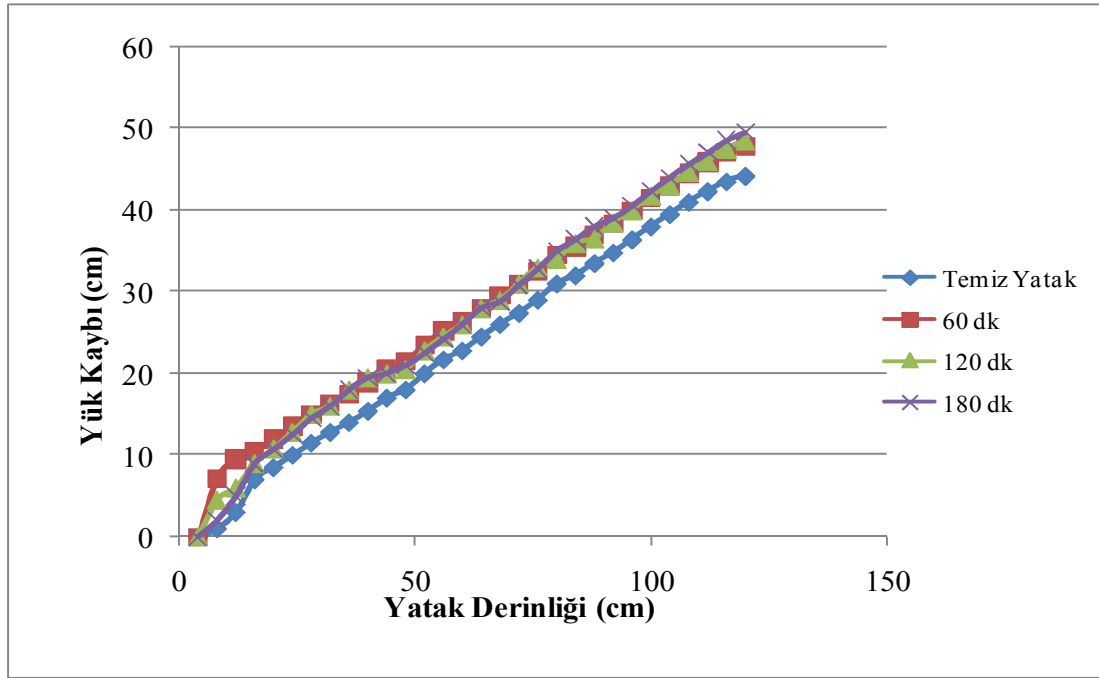
Şekil 5.31. 7.5mg/l FeCl_3 ' ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi



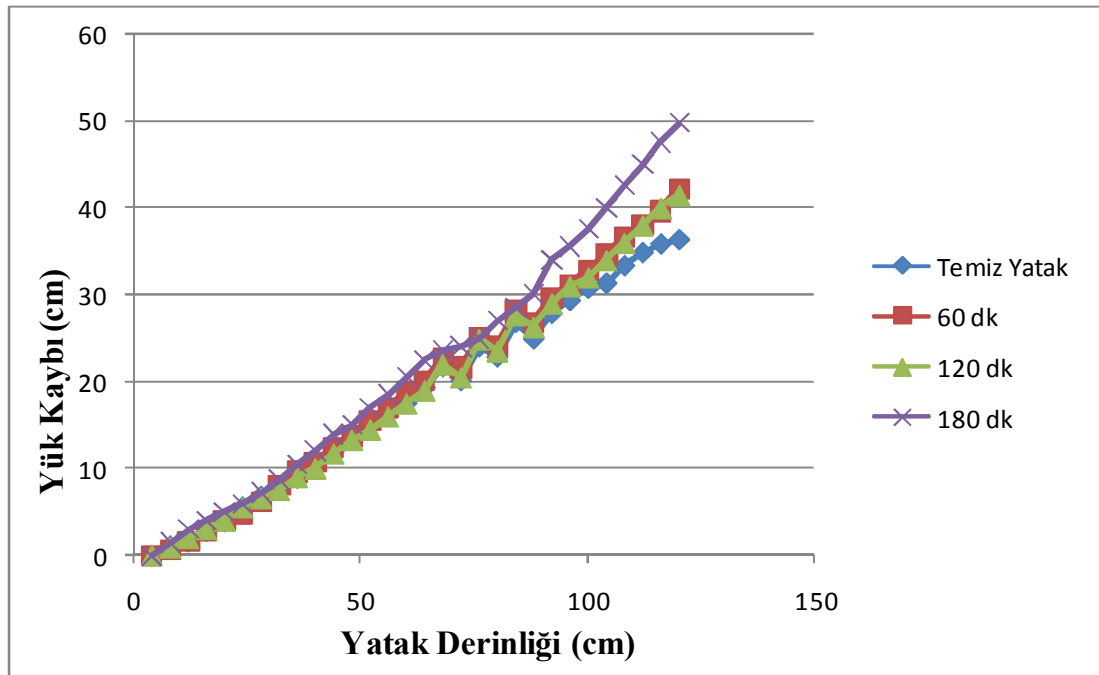
Şekil 5.32. 7.5mg/l FeCl_3 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi

Son olarak 10 mg/l kimyasalın filtre yatağına dozlandığı deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneye ait yük kaybı grafikleri Şekil 5.33 ve 5.34'de; su kalitesine ait değişimler de Şekil 5.35 ve 5.36'da gösterilmiştir. Dozajın 10 mg/l'ye yükseltilmesi yük kaybını artırarak filtrasyon süresini kısaltmış ve filtrelerin 3 saat gibi kısa bir sürede tıkanmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte çıkış suyu bulanıklığı da yaklaşık 0.5 NTU civarlarına ancak düşürülebilmektedir.

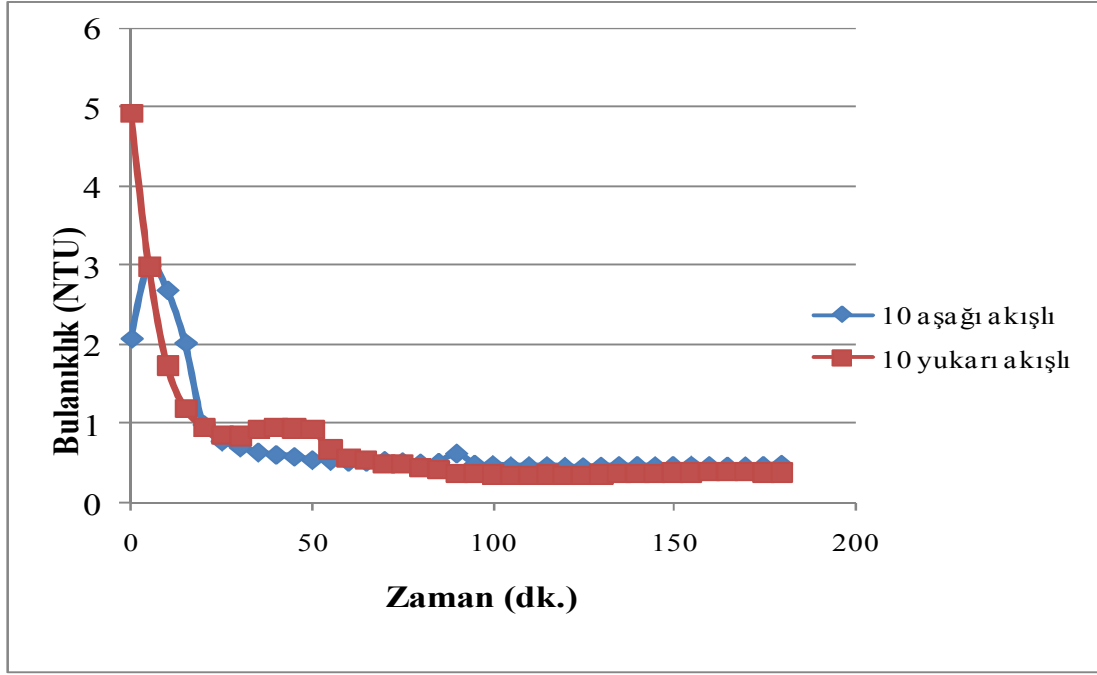
Bütün deneylerin, bulanıklık, yük kaybı ve filtre işletme sürelerini dikkate alarak filtre verimliliğini ortaya koyan filtre edilebilirlik indekslerine bakıldığında (Tablo 5.1) sekizinci deneyin yukarı akışlı filtre düzeneğinde en düşük Ives indeksinin elde edildiği de görülmektedir.



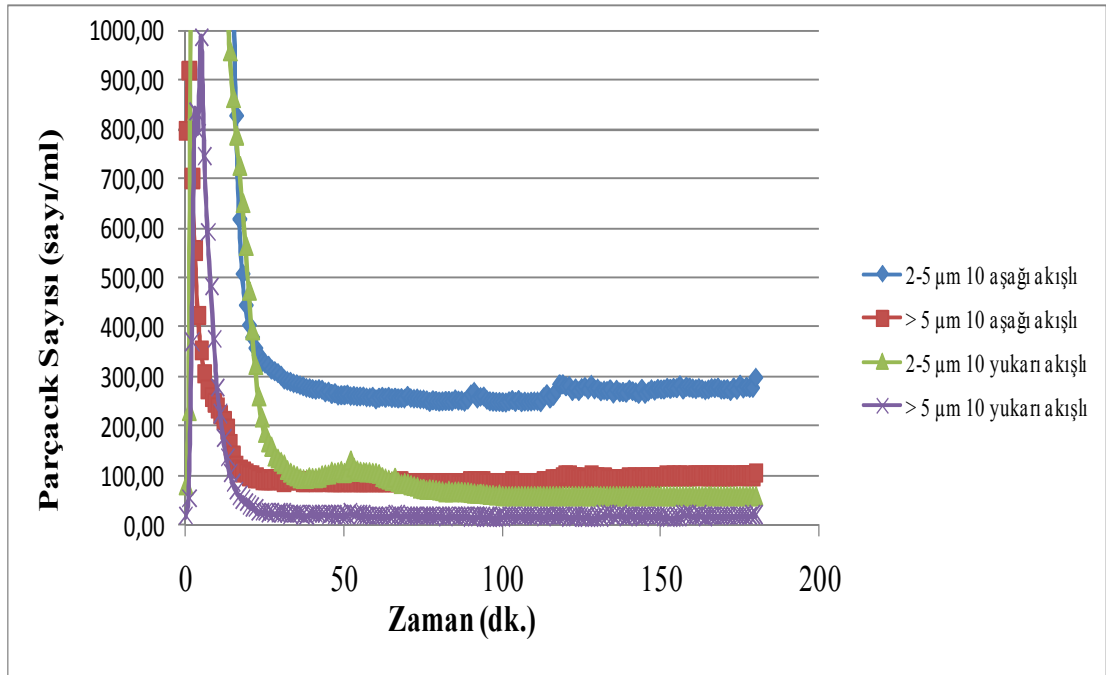
Şekil 5.33. 10mg/l FeCl₃' ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.34. 10mg/l FeCl₃' ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile yukarı akışlı filtrede meydana gelen yük kaybı



Şekil 5.35. 10mg/l FeCl_3 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen bulanıklık değişimi



Şekil 5.36. 10mg/l FeCl_3 'ün filtre yatağı ve giriş hattı üzerinden birlikte dozlanması ile aşağı ve yukarı akışlı filtrelerde meydana gelen parçacık sayısı değişimi

Tablo 5.1. Filtre Çalışma Süresinin Karşılaştırılması

Deneyler*		Kimyasallar		Filtrasyon süresi (dk.)*	Filtre edilebilirlik indeksi ($\times 10^{-5}$)
		$Al_2(SO_4)_3$ (mg/l)	$FeCl_3$ (mg/l)		
D1	S1 ¹	-	5	630	36794
	S2 ²	-	5	900	7233
D2	S1	5	-	540	45213
	S2	5	-	810	8407
D3	S1	-	7.5	720	1319
	S2	-	7.5	900	364
D4	S1	7.5	-	540	4046
	S2	7.5	-	790	417
D5	S1	-	10	550	19691
	S2	-	10	670	5015
D6	S1	10	-	550	21245
	S2	10	-	700	4843
D7	S1	-	5	> 420	< 250000 ³
	S2	-	5	> 420	< 250000 ³
D8	S1	-	7.5	360	11000
	S2	-	7.5	> 1080	< 166 ⁴
D9	S1	-	10	180	14000
	S2	-	10	> 180	< 11000 ⁵

*İlk 6 deneyde ozonlama da kullanılmıştır. Deney planı ayrıntılı olarak Tablo 4.2’de verilmiştir.

¹S1 Aşağı akışlı filtre, ²S2 Yukarı akışlı filtre

³Bu deneyde bulanıklık 2.5 NTU’nun altına indirilememiştir. Filtre 7 saat kadar çalıştırılmış, su kalitesinde iyileşme görülmediğinden deney sonlandırılmıştır.

⁴Bu deneyde 0.05 bulanıklığında çıkış suyu elde edilmiş, yük kayıpları oldukça küçük olarak meydana gelmiş, ancak ham su rezervuarındaki su tükendiğinden deney sonlandırılmıştır.

⁵Bu deneyde aşağı akışlı filtre çok çabuk tıkanmış ve her iki filtrede de bulanıklık 0.5’in altına düşürülemediği. Dolayısıyla yukarı akışlı filtre de aşağı akışlı filtre ile birlikte sonlandırılmıştır.

Tablo 5.2. Koagülant tipi ve miktarının çıkış partikül sayısına etkisi

Deneyler		Kimyasallar		Parçacık sayısı (adet/ml)			
		Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/l)	FeCl ₃ (mg/l)	2-5µm		>5 µm	
				Çıkış	Giderme Verimi (%)	Çıkış	Giderme Verimi (%)
1	S1 ¹	-	5	755	87.31	143	92.77
	S2 ²	-	5	1340	77.48	372	81.39
2	S1	5	-	1620	72.77	180	90.9
	S2	5	-	500	91.6	35	98.23
3	S1	-	7.5	44	99.26	7	99.6
	S2	-	7.5	11	99.8	7	99.6
4	S1	7.5	-	1655	72.18	180	90.9
	S2	7.5	-	503.6	91.53	35	98.23
5	S1	-	10	1130	81.3	198	90.76
	S2	-	10	713	88	41	91.89
6	S1	10	-	1661	71	185	89
	S2	10	-	1011	83	98	90.24
7	S1	-	5	2000	66	200	90
	S2	-	5	190	97	23	98.8
8	S1	-	7.5	550	91	220	96
	S2	-	7.5	7	99.9	2	99.99
9	S1	-	10	250	96	96	95.2
	S2	-	10	58	99	15	99.3

¹S1 Aşağı akışlı filtre, ²S2 Yukarı akışlı filtre

Tablo 5.3. Koagülant tipi ve miktarının çıkış bulanıklığına etkisi.

Deneyler		Kimyasallar		Bulanıklık (NTU)	
		Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Ham Su	Filtre
		(mg/l)	(mg/l)		Çıkışı
D1	S1 ¹	-	5	5.5	2.44
	S2 ²	-	5		2.17
D2	S1	5	-		2.57
	S2	5	-		2.27
D3	S1	-	7.5		0.12
	S2	-	7.5		0.11
D4	S1	7.5	-		0.23
	S2	7.5	-		0.11
D5	S1	-	10		1.14
	S2	-	10		1.12
D6	S1	10	-		1.23
	S2	10	-		1.13
D7	S1	-	5		2.5
	S2	-	5		2.3
D8	S1	-	7.5		0.43
	S2	-	7.5		0.05
D9	S1	-	10		0.5
	S2	-	10		0.45

¹S1 Aşağı akışlı filtre, ²S2 Yukarı akışlı filtre

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ön-ozonlamanın koagülasyona etkileri literatürde genellikle jar test prosedürü veya laboratuvar ölçekli çalışmalarla araştırılmıştır. Direkt filtrasyon tesislerinde ön-ozonlama- koagülant etkileşimleri ve bu etkileşimlerin koagülantın cinsine (alum, demir, polimer, vs.) olan bağılılığı ile ilgili bazı çalışmalar da mevcuttur. Ancak filtrelerin işletme şekli (aşağı veya yukarı akışlı gibi) bu çalışma içerisinde sistematik bir şekilde detaylandırılmamıştır. Belli bir çap aralığındaki daneciklerden oluşan tek ortamlı filtrelerde tıkanan filtrenin geri yıkanması sona erdirildikten sonra filtre malzemesi, en altta en büyük çaplı, en üstte en küçük dane çaplı olacak şekilde tank/kolon içerisinde dizilir. Filtre yatağının tamamının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için bu dizilimin üst kısımdan filtre yatağı derinliğine doğru büyükten küçüğe şeklinde olması istenir. Aksi takdirde filtre yüzeyden tıkanmaya başlayacak, filtre ömrü kısa olacak ve su kalitesinde istenilen iyileşme elde edilemeyecektir. Geri yıkama sonrası filtre yatağında istenmeyen bu durumun giderilmesi için bazı yöntemler mevcuttur. Bunlardan ikisi, spesifik dane çapı ve yoğunluğu farklı birden fazla malzemeyi filtre yatağı (çoklu ortamlı filtreler) olarak kullanmak ya da tek tabakalı bir filtre oluşturulacaksa üniformluk katsayısı 1 olacak şekilde tek dane çapından oluşmuş bir filtre yatağı meydana getirmektir. Bu ikinci yöntem oldukça fazla filtre malzemesinin elenmesini gerektirmektedir. Teorik olarak bir diğer çözüm de geri yıkama sonrası tabandan yukarı doğru büyükten küçüğe dizilimini tamamlamış bir tek tabakalı filtre tankını olduğu gibi ters çevirmektir. Bu da pratikte mümkün olmadığına göre aşağıdan yukarı su akışının gerçekleştiği filtre üniteleri dizayn edilmiştir. Bu filtreler rus filtresi olarak bilinmektedir. Bu filtre türünün muhtemel avantaj ve dezavantajlarını görebilmek için ozonlama da yapılarak, Türkiye'deki içme suyu arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılan alüminyum sülfat ve demir klorürün kullanılmasıyla bir pilot tesis işletilmiştir. Parçacık sayısı ve bulanıklık gibi kritik parametreler izlenerek ve yük kayıpları ölçülerek filtre verimi ölçülmüştür.

Bütün bunların yanında filtre yatağından kimyasal dozlama yapılması gibi yeni bir yöntem uygulanarak bu çalışmada filtre verimi hem yük kayıpları ve filtrasyon süresi bakımından hem de su kalitesi bakımından artırılmıştır.

Ülkemizde büyük şehirler dışında içmesuyu arıtımı problemi vardır ve bu problem gittikçe büyümektedir. Bu çalışma, bir arıtma tesisinin proses olarak tüm adımlarını karşılamakta olup, bir anlamda bir el kitabı gibi olacaktır.

Elde edilen sonuçlara bakılarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir:

- Koagülant değerlendirmesi yapılırken kimyasal maddenin kullanım formu gözönüne alınmalıdır. Bu çalışmadaki kimyasallar salt dozaj olarak kullanılmadığı için, demir ve alüminyum direkt olarak değil; alum ve demir klorür olarak koagülant cinsinden karşılaştırılmaktadırlar.
- Bütün deneylerdeki düzenekler kendi aralarında karşılaştırıldığında hem çıkış suyu kalitesi hem de filtrasyon süresinin uzunluğu açısından yukarı akışlı filtre daha avantajlı bulunmuştur.
- Koagülant kullanımı açısından sonuçlara bakıldığında hem bulanıklık hem de partikül giderme verimleri yönünden demir klorür, alumdan daha iyi gözükmetedir. Yük kayıplarına bakıldığında da demir klorür kullanılan filtrelerin daha uzun ömürlü olduğu söylenebilir. En avantajlı doz ise 7.5 mg/l olarak bulunmuştur. Ancak su kalitesinde istenen standartlara ulaşılamamıştır. Filtrasyon süresi 15 saattir.
- Son üç deneyde ozon kullanılmayıp sadece kimyasal kullanılarak filtre yatağına dozlama yapılmıştır. Bu yeni dozlama şekli ile filtrasyon süresi uzatılabilmiş, hem bulanıklık gideriminde hem de parçacık gideriminde literatürdeki standart değerler sağlanabilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarına bakılarak şu aşağıdaki devam deneyleri yapılabilir:

- Farklı yüzeysel sular da kullanılarak, fiziksel ve kimyasal özellikleri tamamen farklı bir suyun sisteme etkileri araştırılabilir.
- Hızlı kum filtrasyonunun şartları çerçevesinde filtre hızında değişikliğe gidilebilir.
- Farklı filtre malzemeleri üzerinde de aynı çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Aktaş, T.S.**, 2008. Derin yataklı filtrasyonda yük kayıplarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.
- Amirsardari, Y.**, Yu, Q., Williams, P. 1997. Effects of Ozonation and Coagulation on Turbidity and TOC removal by simulated Direct Filtration for potable Water Treatment.
- AWWA**, 1990., Water quality and treatment, fourth edition, Mc-Graw-Hill, inc., New York
- Becker, W.C.**, O'Melia, C.R., Au, K.K., Young, J.S., Using Oxidants to enhance Filter performance, *awwa research foundation report*, no.90998, (2004).
- Cleasby, J. L.**, Ives, K. J., Saatçi, A. M., "İçmesuyu tasfiyesinde filtrasyon", İTÜ inşaat Fak. Matbaası, İstanbul, 1979.
- Coccagna, L.**, Conio, O., Ziglio, G. "Particles removal from Surface Water", unpublished research report AMGA-Genova 1998.
- Edwards M.**; Benjamin, M. M.; Tobiason, E. J., 1994. "Effect of Ozonation on Coagulation of NOM using Polymer alone and polymer/metal salts mixtures", J. AWWA. 86(1):105-116.
- Eroğlu, Veysel**, Su tasfiyesi, Ayazağa, 1999., 72-288
- Jekel, M.R.**, 1983. The benefits of Ozone Treatment prior to Flocculation Processes, *ozone sci. eng.* 5, 21-35.
- Langlais, B.**, Reckhow D. A. and Brink, D. R. Ozone in Water Treatment Application and Engineering, Lewis. Publishers, 1991.

- Maier, D.**, 1979. Microflocculation by Ozone, in Oxidation techniques in Drinking Water Treatment, EPA-570-9-020, 394-417.
- Tchio, M.**, Koudjonou, B., Desjardins, R., Barbeau, B., Prévost, M., 2003. Practical guide to determining optimal dosages of chemicals for direct filtration, Canadian Journal of Civil Engineering.
- W. B. Dowbiggin;** P. C. Singer, " Effects of natural organic matter and calcium on ozone-induced particle destabilization". J. AWWA, 81(6):77-85 (1989)
- Yüksel E.**, 2001, "Direkt filtrasyonda ozonlama etkisi" İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Yüksel, E.**, Akgiray, Ö., Soyer, E., (2003). Direct filtration with Preozonation for small water treatment systems, *Water Science & Technology*, 48(11-12), 473-479.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında İstanbul’da doğan Mehmet Şükrü KIRMIZI ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimini tamamladı. 2006 yılı Eylül ayında askerlik görevini tamamladı. 2006–2007 yılı bahar döneminde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisansa kabul edildi. Halen yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.