

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DİKDÖRTGEN ÇÖKELTİM HAVUZUNUN MODELLEMESİNİN  
TRABZON İÇMESUYU ARITMA TESİSİNE UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selva SALTOĞLU**

**AĞUSTOS 2010**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DİKDÖRTGEN ÇÖKELTİM HAVUZUNUN MODELLEMESİNİN  
TRABZON İÇMESUYU ARITMA TESİSİNE UYGULAMASI**

**İnşaat Mühendisi Selva SALTOĞLU**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“İnşaat Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.06.2010  
Tezin Savunma Tarihi : 02.08.2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Basri ERTAŞ  
Jüri Üyesi : Prof.Dr.Fikri BULUT  
Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Osman ÜÇÜNCÜ**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma kapsamında, İller Bankasının 2007 tarihinde onaylamış olduğu Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (TRABZON) İçme suyu Arıtma Tesisi Kesin Projesi protatip olarak alınmıştır ve projede kullanılan çökeltim havuzu 1/20 ölçeğinde küçültülerek pleksiglas malzemeden modeli oluşturulmuştur.

Modellemede iki adet, benzer fiziksel olay var olup, birincisi laboratuvar koşullarında olan “ Model “, diğeri de arazi koşullarında olan “ Prototip “ dir. Model havuzumuzda serbest yüzeyli akış olacağı için Froude sayısı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Modelleme yapılmasındaki amaç, arazi koşullarında oluşturulacak çökeltim havuzundan önce, laboratuvar ortamında üzerinde uygulanacak deneylerle projelendirmeye esas olacak birimlerin tayini ve sonuçların yorumlanması yoluna gidilmiştir.

Bu çalışmalar esnasında yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof.Dr. Basri ERTAŞ'a en içten şükranlarımı sunarım.

Çökeltim Havuzunun yapılmasında emeği geçen Selahattin SARAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın yapılabilmesi için gerekli imkanı sağlayan ilgi ve alakasını esirgemeyen Trabzon Atasu İçmesuyu Arıtma Tesisi, Teknik Koordinatörü Mehmet SOYLU'ya, laboratuvar çalışmalarında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Laboratuvar Sorumlusu Sevim YOLDAŞ'a, Kimyager İnci ALGAN'a ,Elektrik bakım sorumlusu Ferhat HAMZA ÇELEBİ'ye ve Bakım sorumlusu Ali ORTAKUDAS'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım esnasında manevi desteklerini esirgemeyen annem Müşfika SALTOĞLU ve Babam Metin SALTOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Selva SALTOĞLU  
Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı.....	3
1.3. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) İçme Suyu Arıtma Tesisi Kesin Projesinin Tanıtılması.....	5
1.3.1. Arıtma Üniteleri Seçim Kriterleri.....	10
1.3.2. Arıtma Ünitelerinin Seçimi.....	10
1.4. Çökeltme Tankları.....	12
1.4.1. Dip Kazıma Başlangıç Hızı.....	17
1.4.2. Parçacık Çökeltme Hidroliği.....	18
1.4.3. Çökeltme Tankı Besleme Kanalı.....	19
1.4.4. Suyun Tank İçinde Bekletilme Süreleri.....	20
1.4.5. Çamur Toplama Konileri.....	20
1.4.6. Çökelmiş Su Toplama Savakları.....	21
1.4.7. Çökelmiş Su Ana Toplama Kanalı.....	22
1.5. İçme Suyu Kaynakları.....	22
1.6. İçme Sularının Özellikleri.....	23
1.6.1. Sert Suların Sebep Olduğu Problemler ve Sertlik Giderme Usulleri.....	26
1.6.1.1. Kireç-Soda Usulü.....	26
1.6.1.2. Sodyum Hidroksit ile Yumuşatma.....	28
1.6.1.3. Sodyum Fosfat ile Yumuşatma.....	28
1.6.1.4. İyon Değiştirme.....	29

1.6.2.	İçme Suyu Standartları .....	29
1.7.	Su Tasfiyesinde Maksat ve Temel İşlemler .....	32
1.8.	Arıtma Çeşitleri .....	33
1.9.	İçme Suyu Arıtma Tesisindeki Üniteler.....	34
1.10.	Çökeltme .....	36
1.10.1.	Çöktürme Havuzlarındaki Bölgeler .....	38
1.10.2.	Çöktürme Havuz Çeşitleri .....	39
1.10.2.1.	Dikdörtgen Çöktürme Havuzları.....	39
1.10.2.2.	Dairesel Çöktürme Havuzları.....	44
1.10.2.3.	Kare Çökeltme Havuzları.....	48
1.10.3.	Trabzon Atası İçme Suyu Arıtma Tesisindeki Çökeltim Havuzunun İşleyişi ..	48
1.11.	Çökeltme Tankı Çalışma Prensipleri ve Akım Çeşitleri .....	51
1.11.1.	Yatay Akımlı Çökeltme Tankları.....	51
1.11.2.	Düşey Akımlı Çökeltme Tankları .....	53
1.12.	Çökeltme Türleri ve Çökeltme Prensipleri.....	54
1.12.1.	Serbest ve Taneli Çökeltme .....	55
1.12.1.1.	Serbest ve Taneli Çökeltmenin Prensipleri .....	55
1.12.2.	Floklü Çökeltme .....	61
1.13.	Boyutlandırma Esasları .....	62
1.13.1.	Yüzey Yüğü .....	64
1.13.2.	Derinlik ve Bekleme Müddeti .....	65
1.13.3.	Yatay Hız .....	65
1.13.4.	Giriş ve Çıkış Şartları.....	65
1.13.4.1.	Çökeltim Havuzları Giriş Yapıları .....	66
1.13.4.2.	Çökeltim Havuzlarının Çıkış Yapıları .....	72
1.13.5.	Çökeltim Havuzları Savak Yapıları .....	74
1.13.6.	Çamurların Sıyırılması .....	75
1.14.	Projelendirme Esasları .....	76
1.15.	Kimyasal Çökeltme .....	77
1.15.1.	Kimyasal Temel İşlemler .....	77
1.15.2.	Reaksiyon Denklemlerinin Yazılması ve Kimyasal Çökeltmenin Hesabı.....	77
1.15.2.1.	Çökeltici Olarak Alüminyum Sülfat Kullanılması.....	78
1.15.2.2.	Çökeltici Olarak Kireç Kullanılması Hali .....	78

1.15.2.3.	Çökeltici Olarak Demir 2 Sülfat ve Kirecin Birlikte Kullanılması Hali .....	79
1.15.2.4.	Kimyasal Çökeltme Yoluyla Fosfat Giderilmesi .....	81
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	82
2.1.	Boyut Analizi .....	82
2.1.1.	Model Teorisi .....	82
2.1.1.1.	Froude Sayısına Göre Model .....	83
2.1.1.2.	Reynold Sayısına Göre Model .....	83
2.2.	Deney Düzenine Tanımlanması .....	84
2.2.1.	Çökeltim Havuzunu Oluşturan Parçalar .....	84
2.2.2.	Havuzun İşleyişi.....	86
2.2.3.	Çökeltim Havuz Modelinin Ölçüleri.....	86
2.3.	Teorik Hesaplamalar .....	87
2.3.1.	Yatay Akım Hızı .....	88
2.3.2.	Havuzun Debisi .....	88
2.3.3.	Havuzun Yüzey Yüğü .....	89
2.3.4.	Hidrolik Tahkiki .....	89
2.3.5.	Çökeltme Tankı Besleme Kanalı .....	90
2.3.6.	Suyun Tank İçinde Bekletilme Süresi .....	90
2.3.7.	Çamur Toplama Konileri .....	91
2.3.8.	Çökelmiş Su Toplama Savakları .....	91
2.3.9.	Çökelmiş Su Ana Toplama Kanalı.....	91
2.4.	Laboratuar Çalışmaları.....	92
2.5.	Deneysel Ölçümler ve Çalışmalar.....	92
2.5.1.	Bulanıklık Ölçümü .....	92
2.5.2.	Jar Test Uygulaması ile Dozlama Ölçümü .....	93
2.5.3.	Debi Tayini ve Suyun Havuza Verilişi .....	95
2.5.4.	Askıda Katı Madde Miktarının Ölçümü .....	99
2.5.5.	pH Ölçümü .....	101
2.5.6.	Sertlik Ölçümü .....	101
2.5.7.	Alüminyum Ölçümü .....	102
2.5.8.	Demir Ölçümü.....	103
2.5.9.	Nitrat Ölçümü .....	103
2.5.10.	Alkalinite Ölçümü .....	104

3.	BULGULAR VE İRDELEME .....	105
3.1.	Değirmen Dere Ham Su Verileri .....	105
3.2.	Jar Test Deney Verileri .....	105
3.3.	Ham Suya PAC Dozlaması Yapıldıktan Sonraki Model Havuz Verileri .....	107
3.4.	Ham Suya $Al_2(SO_4)_3$ Dozlaması Yapıldıktan Sonraki Model Havuz Verileri .....	107
3.5.	Ham Suya PAC Dozlaması Yapıldıktan Sonraki Tesis Havuz Verileri .....	108
3.6.	Ham Suya $Al_2(SO_4)_3$ Dozlaması Yapıldıktan Sonraki Tesis Havuz Verileri .	108
3.7.	Tesis Havuzu ve Model Havuzun Bulanıklık Verileri .....	110
3.8.	Trabzon İçmesuyu ArıtmaTesisindeki Çökeltim Havuzu ile Model Havuzun Kıyaslaması .....	115
3.9.	$Al_2(SO_4)_3$ Dozlaması ile PAC Dozlamasının Karşılaştırılması.....	116
3.10.	PAC'ın Avantajları .....	116
4.	SONUÇLAR .....	117
5.	ÖNERİLER .....	118
6.	KAYNAKLAR .....	119
7.	EKLER .....	121
	ÖZGEÇMİŞ	

## ÖZET

Taneciklerin, içinde bulunduğu suyun kütle yoğunluğundan daha büyük bir kütle yoğunluğu ile yerçekimi kuvvetinin etkisi altında, aşağıya doğru hareket etmelerine "çökme" denir. İçme suyu arıtma tesislerindeki çökeltim tankları, suda bulunan askıdaki çökebilir katı maddelerin miktarlarının azaltılmasında kullanılır.

Bu çalışma kapsamında, İller Bankasının 2007 tarihinde onaylamış olduğu Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) İçme suyu Arıtma Tesisi Kesin Projesi prototip olarak alınmıştır ve projede kullanılan çökeltim havuzu 1/20 ölçeğinde küçültülerek pleksiglas malzemeden modeli oluşturulmuştur.

Modellemede iki adet, benzer fiziksel olay var olup, birincisi laboratuvar koşullarında olan " Model ", diğeri de arazi koşulların da olan " Prototip " dir. Model havuzda, serbest yüzeyli akış olacağı için Froude sayısı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Düzenli deneye hazır hale getirilebilmesi için, devamlı su sirkülasyonunun olması gerekmektedir. Bunun için Trabzon Atasu İçme Suyu Arıtma Tesisi laboratuvarında, Değirmen derenin suyu kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Değirmen derenin suyu endüstriyel atıklar olmadığından kimyasal yönden kirliliği olan bir su değildir, ancak mevsimsel geçişlerle beraber bulanıklılığı çok yükselmektedir. Bulanıklık değerlerini normal seviyelere getirmek için Poli Alüminyum Klorür (PAC) ve Alüminyum Sülfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ) dozlaması yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, prototip olarak seçilen çökeltim havuzunun modeli oluşturularak, model havuzumuzun çökmeye ne kadar katkısı olduğunu, laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarla tespit etmektir.

**Anahtar Kelimeler :** Arıtma tesisi, Çökeltme tankı, Prototip, Model havuz, Ölçek



## SUMMARY

### **The Application of Model of Rectangular Sedimentation Pool To Trabzon Drinking Water Treatment Plant**

Particles moves down in the water due to the gravity if their density is greater than the water. This is named as 'precipitation'. Precipitation tanks in drinking water treatment plant are used to reduce the amount of solid particles in water.

In this thesis, İller Bank's final project which was confirmed in 2007 'Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) Drinking Water Treatment Plants have been handled as the prototype and the model used in study was prepared in the scale of 1/20 of plexiglas.

There are two event in the study. One of them is Model for laboratory studies and the other one is prototype for real area. Because of the clear flow in Model Pool , Froude number was used for the calculations.

To prepare the experimental setup, it is necessary to circulate the water, consistently. So, necessary studies were done in the laboratory of 'Trabzon Atasu Drinking Water Treatment Plant'. Firstly, data of raw water are observed. Water of Değirmendere is not dirty water because of not containing chemical welfares. But sometimes it becomes really cloudily due to the season change. To draw the cloud to the normal values, Pac and  $Al(SO_4)_3$  were added to precipitate the solid particles. Limpid water values are obtained from the model and pool of service area are examined.

The purpose of this study is to determine the amount of the contribution of the Model Pool to the sedimentation with the studies in the laboratory by creating the model of the prototype model of sedimentation pool.

**Key Words :** Treatment Plant, Precipitation tank, Prototype, Model pool.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yıllara göre kişi başına çekilen günlük su miktarları .....	1
Şekil 2. Yıllara göre arıtma tesisi sayısı .....	2
Şekil 3. Yıllara göre su miktarları ve tesis kapasiteleri .....	3
Şekil 4. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesine ait yatay akışlı dikdörtgen havuz .....	13
Şekil 5. İçme suyu akış şeması .....	36
Şekil 6. Çöktürme havuzlarının su tasfiyesindeki yeri .....	37
Şekil 7. Bir dikdörtgen çöktürme havuzundaki dört bölge .....	38
Şekil 8. Dikdörtgen çökeltim havuzu .....	39
Şekil 9. (a) Sürekli çalışan bandlı kazıyıcı dikdörtgen kesitli çökeltme havuzu (b) kesikli çalışan sıyrıcı dikdörtgen kesitli çökeltme havuzu .....	40
Şekil 10. (a) Üzerinde kesikli çalışan hareketli çamur sıyırma arabası ile teşkil edilmiş dikdörtgen kesitli çökeltme havuzu (b) yüzücü cisim dolu savak örnekleri .....	40
Şekil 11. Dikdörtgen havuzlar için çamur konileri .....	41
Şekil 12. Çöktürme havuzu kesitleri .....	42
Şekil 13. Dikdörtgen planlı çöktürme havuzlarında gözlenen tipik akış modelleri .....	43
Şekil 14. Dairesel çökeltim havuzu .....	44
Şekil 15. Dairesel çökeltme havuzu çamur sıyrıcı ve yüzeysel cisim sıyrıcı ve çamur yapıları .....	45
Şekil 16. Dairesel çökeltme havuzu plan ve kesiti .....	45
Şekil 17. Dairesel çöktürme havuzu kesitleri .....	46
Şekil 18. Çevreden beslenen dairesel çöktürme havuzları .....	47
Şekil 19. Durultucu Kanalarında Threelent girişleri .....	48
Şekil 20. Threelentle suyun havuza boşaltılması .....	49
Şekil 21. Çamur toplama konisi .....	49
Şekil 22. Havuzun Suyla Dolmuş Hali .....	50
Şekil 23. Su Kanallarına giriş orifisleri .....	50
Şekil 24. Durulanan suyun toplandığı orta kanal .....	51
Şekil 25. Çöktürme havuzlarında akış yönleri .....	54

Şekil 26.	Taneli çökeltme işleminin şematik gösterimi .....	55
Şekil 27.	Serbest çökeltme anında bir taneciğe etki eden kuvvetler .....	56
Şekil 28.	Küresel partiküller için Re ve CD arasındaki ilişki .....	59
Şekil 29.	Yoğunluk farkı, tane boyutu ve çökeltme hızları arasındaki ilişki .....	60
Şekil 30.	Tane boyutu, suyun sıcaklığı ve çökeltme hızları arasındaki ilişki .....	61
Şekil 31.	Floklu (Yumaklı) Çökeltme İşleminin Şematik Gösterimi .....	61
Şekil 32.	Mekanik çamur sıyırıcısı bulunan dikdörtgen çöktürme havuzu .....	63
Şekil 33.	Izgara şeklindeki giriş yapısı .....	66
Şekil 34.	Savak şeklindeki giriş tertibatı .....	67
Şekil 35.	Dikdörtgen bir çökeltim havuzunda Emscher birliği tipi dalgıç perdeli giriş Tertibatı .....	67
Şekil 36.	Borulardan meydana gelen giriş tertibatının özel bir şekli .....	68
Şekil 37.	Stengel sistemi giriş .....	69
Şekil 38.	(a) Geiger girişinin prensibi, (b) dikdörtgen çökeltme havuzu için Geiger giriş tertibatı .....	69
Şekil 39.	Dikdörtgen bir çökeltim havuzunda Clifford tipi giriş ve kesiti .....	70
Şekil 40.	Stuttgart tipi giriş tertibatının prensibi .....	70
Şekil 41.	Dikdörtgen ve dairesel çökeltme havuzlarında Stuttgart giriş tertibatı .....	71
Şekil 42.	Dairesel çökeltim havuzlarının yarıklı giriş tertibatı .....	71
Şekil 43.	Çöktürme tanklarında tek çıkış savağı .....	72
Şekil 44.	Çöktürme havuzunda birden çok çıkış savağının bulunması .....	72
Şekil 45.	(a) Çökeltme bölgesinin dışında teşkil edilmiş çıkış kanalı (b) çökeltme bölgesinin oldukça iç kısmında teşkil edilmiş çıkış kanalı .....	73
Şekil 46.	Dairesel planlı konik havuzlarda çıkış kanalları .....	73
Şekil 47.	Dalgıç perdelerin tertip şekli .....	74
Şekil 48.	Üçgen ve dikdörtgen kesitli savaklar .....	75
Şekil 49.	Çıkış Savaklarının Tertip Şekli .....	75
Şekil 50.	Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesinin çökeltim havuzundan uyarlanarak yapılan model .....	85
Şekil 51.	Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesinin çökeltim havuzundan uyarlanarak yapılan modelin orifisleri .....	85
Şekil 52.	Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesinin çökeltim havuzundan uyarlanarak yapılan modelin savağı .....	86
Şekil 53.	Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesinin çökeltim havuzundan uyarlanarak yapılan modelin çizimi .....	87

Şekil 54. Dikdörtgen Çökeltim Havuz Modeli .....	92
Şekil 55. Turbidimetre (Bulanıklık ölçüm cihazı) .....	93
Şekil 56. Jar test düzeneği.....	93
Şekil 57. Jar testde numunelere dozlama yapılması .....	94
Şekil 58. Floklaşma olan numune örneği.....	94
Şekil 59. Floklar çökeldikten sonra oluşan duru su .....	95
Şekil 60. Ölçülü Beher kabı .....	95
Şekil 61. Havuza su ve dozlama verilmesi .....	96
Şekil 62. Besleme kanalından verilen suyun orifislerden içeri girişi .....	96
Şekil 63. Suyun havuza girişi .....	97
Şekil 64. Ham suyla dolu havuz .....	97
Şekil 65. Savaktan çıkış kanalına giden su .....	98
Şekil 66. Havuz içinde biriken kum .....	98
Şekil 67. Çamur çukurunda biriken kum .....	99
Şekil 68. Askıdaki katı madde miktarının tayini için süzgeç kağıdı kullanımı .....	99
Şekil 69. Askıdaki katı madde miktarının tayininde süzgeç kağıdına hamsu verilmesi .....	100
Şekil 70. Süzgeç kağıdına biriken askıdaki katı maddeler .....	100
Şekil 71. pH Metre.....	101
Şekil 72. Pembe çözelti.....	102
Şekil 73. Mavi çözelti .....	102
Şekil 74. PAC dozlaması ile tesis havuzu ve model havuzun bulanıklık değerleri .....	109
Şekil 75. $Al_2(SO_4)_3$ dozlaması ile tesis havuzu ve model havuzun bulanıklık değerleri .....	109
Şekil 76. Bulanıklık 20 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri .....	110
Şekil 77. Bulanıklık 65 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık Değerleri .....	110
Şekil 78. Bulanıklık 100 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri .....	111
Şekil 79. Bulanıklık 153 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri .....	111
Şekil 80. Bulanıklık 200 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri .....	112
Şekil 81. Bulanıklık 422 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri .....	112

Şekil 82	Bulanıklık 35 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık Değerleri .....	113
Şekil 83.	Bulanıklık 75 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık Değerleri .....	113
Şekil 84.	Bulanıklık 112 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık Değerleri .....	114
Şekil 85.	Bulanıklık 221 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri .....	114
Şekil 86.	Bulanıklık 335 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri .....	115

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Suyun temin edilme şekline göre miktarları .....	3
Tablo 2. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesine ait nüfus ve nüfus tahminleri .....	6
Tablo 3. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu.....	6
arıtma tesisi kesin projesine ait nüfuslara göre su ihtiyaçları	
Tablo 4. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesine ait su ihtiyaçları tahminleri .....	7
Tablo 5. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmeliğe ait gösterge parametreleri ...	8
Tablo 6. Sertlik dereceleri .....	25
Tablo 7. Memleketimiz için kabul edilen içme suyu standardı.....	30
Tablo 8. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO),A.B.D. ve Hollanda içmesuyu standartları .....	31
Tablo 9. Dikdörtgen planlı çökeltme havuzları boyutlandırma değerleri .....	43
Tablo 10. Dairesel çökeltme havuzları boyutlandırma değerleri .....	47
Tablo 11. Sıcaklığa bağlı viskozite değerleri .....	58
Tablo 12. Kum ve şilt daneciklerin sudaki çökeltme hızları .....	62
Tablo 13. Çökeltme havuzlarında yüzey yükleri.....	64
Tablo 14. Yumaklaştırma sonundaki çöktürme havuzlarındaki yüzey yükleri .....	64
Tablo 15. Çöktürme havuzlarının savak yükleri .....	74
Tablo 16. Su ve atıksu tasfiyesinde kullanılan kimyasal maddeler.....	78
Tablo 17. Bulunan hamsu sonuçları .....	105
Tablo 18. PAC dozlaması ile jar test sonuçları .....	106
Tablo 19. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> dozlaması ile jar test sonuçları .....	106
Tablo 20. Model havuzda Pac verildikten sonra çıkış değerleri .....	107
Tablo 21. Model havuzda Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> dozlaması yapıldıktan sonra çıkış değerleri .....	107
Tablo 22. Tesis havuzda Pac verildikten sonra çıkış değerleri .....	108
Tablo 23. Tesis havuzda Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> verildikten sonra çıkış değerleri .....	108

## SEMBOLLER DİZİNİ

Q	: Debi, [lt/sn]
S <sub>0</sub>	: Yüzey yükü, [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /saat]
A	: Yüzey alanı, [m <sup>2</sup> ]
U	: Yatay akım hızı, [m/sn]
R	: Hidrolik yarıçap, [m]
Re	: Reynold sayısı
$\nu$	: Kinematik viskozite, [m <sup>2</sup> /sn]
Fr	: Froude sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi, [m/sn <sup>2</sup> ]
W	: Havuz genişliği, [m]
H	: Havuz derinliği, [m]
L	: Uzunluk, [m]
$\rho_s$	: Parçacık özgül ağırlığı, [t/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	: Suyun özgül ağırlığı, [t/m <sup>3</sup> ]
d	: Parçacık çapı, [mm]
V	: Hacim, [m <sup>3</sup> /tank]
t	: Bekletilme süresi, [saat]
M <sub>s</sub>	: Tanecik kütlesi, [tn]
F	: Kuvvet [tn.m/sn <sup>2</sup> ]
C <sub>d</sub>	: Sürüklenme katsayısı
S	: Çökelme hızını, [m/sn]
PAC	: Poli alüminyum hidroksit klorür
L <sub>M</sub>	: Model ölçek
L <sub>P</sub>	: Protatip ölçek
St	: Saat
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
FTU	: 0 - 40 NTU arasındaki bulanıklık değerleri birimlerine eşit olarak kabul edilmektedir.

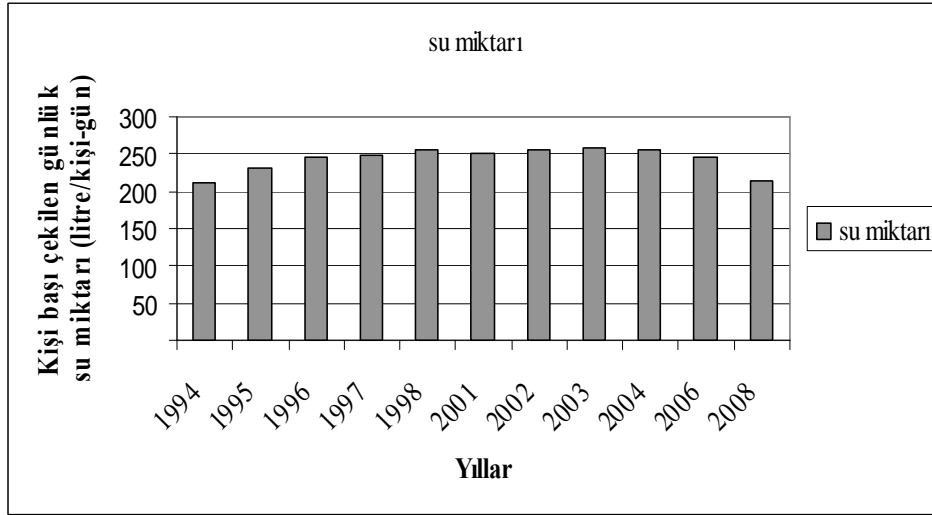
## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme sonucu günlük su tüketimlerinin artışının yanı sıra kaynak ve yeraltı su rezervlerinin azalması içme suyunun yüzeysel su kaynaklarından sağlanmasını zorunlu hale getirmiştir. Yüzeysel su kaynaklarının kullanımı, yeraltı sularının çeşitli dış etkenlerden yeterince korunamaması sonucunda kirlenmesi, veya jeolojik yapının su kalitesini bozması gibi nedenlerden dolayı artırılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

İnsan sağlığı için gerekli olan temel ihtiyaç maddelerinden en önemli yere sahip bulunan içme ve kullanma suyunun sağlıklı ve güvenilir bir şekilde tüketilebilmesi içme suyu arıtma tesislerinin yapımını gündeme getirmiştir.

Aşağıdaki grafiklerde Türkiye’de kişi başı ne kadar su çekildiği, arıtma tesisi sayısı grafik olarak verilmektedir.

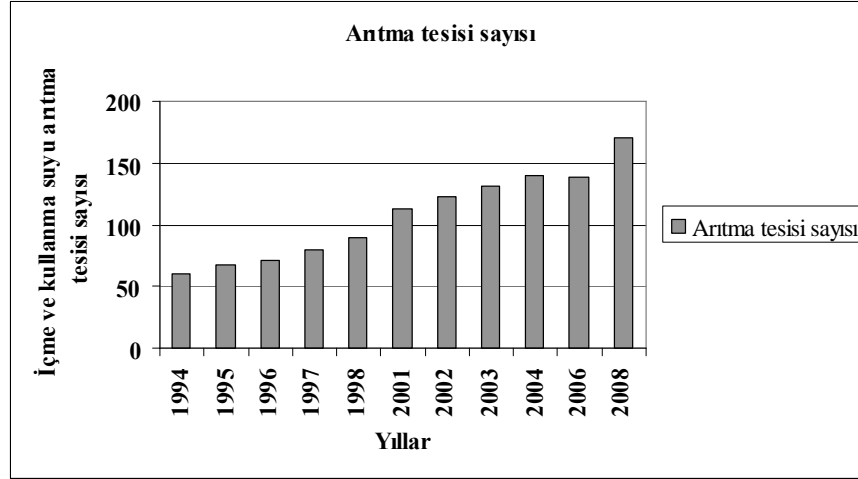


Şekil 1. Yıllara göre kişi başına çekilen günlük su miktarları

Bu grafikten de görüldüğü gibi yıllara göre kullanılan günlük su ihtiyacında çok fazla değişiklik olmamıştır. 1994 yılı, grafiğe göre en az su ihtiyacı 211 lt/kişi-gün iken 2003 yılında en fazla su ihtiyacı 259 lt/kişi-gün olmaktadır. 2003 yılından itibaren ise kişi başı



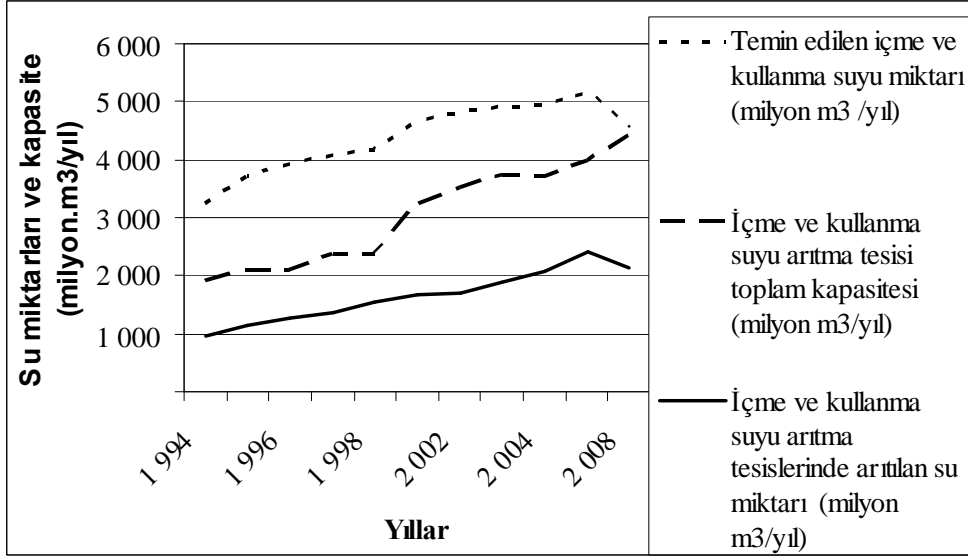
çekilen su miktarı azalmaktadır. En son bulunan 2008 verilerinde ise 215 lt/kişi-gün su ihtiyacı vardır. Su ihtiyacındaki en fazla fark 48 lt/kişi-gün olmaktadır. Bu verilerden de görüldüğü gibi kişi başı çekilen su miktarında 2003 yılından sonra düşüş görülmesi ,su kaynaklarımızın azaldığının bir göstergesidir.



Şekil 2. Yıllara göre arıtma tesisi sayısı

Arıtma tesisi sayısında yıllara göre artış vardır.1994 de 60 olan arıtma tesisi sayısı 2008 gelindiğinde 170 olmuştur. Bu verilerden de anlaşılacağı gibi her geçen yıl arıtma tesis sayısı artmaktadır. Buda ülkemizde sağlıklı su tüketimi için, arıtma tesislerine verilen önemin bir kanıtıdır.

Aşağıdaki tabloda temin edilen içme ve kullanma suyu miktarları, arıtma tesisi toplam kapasitesi ve arıtılan su miktarı gibi veriler verilmiştir. Bu tabloya göre temin edilen su miktarı 1994 yılından 2006 yılına kadar sürekli artarken 2008 yılına gelindiğinde içme suyu miktarında azalma görülmektedir. Aynı şekilde arıtma tesislerinde arıtılan su miktarı 2006 ya kadar sürekli artarken 2008 yılında azalma görülmüştür. Bu durum , temin edilen su kaynaklarının azalmaya başladığının göstergesi olabilir.Buna karşılık arıtma tesisi kapasitesi hemen hemen sürekli artmaktadır.Arıtma tesislerinde ki bu artışın sebebi; yüzeysel ve yer altı sularının içme suyuna elverişli olmadığından , standartlarına uygun hale getirilerek sağlıklı tüketilebilecek suyu elde etmek istediğimizden her geçen yıl tesis sayısı artmaktadır.



Şekil 3. Yıllara göre su miktarları ve tesis kapasiteleri

Aşağıdaki tabloda toplam çekilen su miktarının ne kadarının kaynaklardan, göl-göletlerden, barajlardan ve kuyulardan çekildiğini gösterir. Bu verilere göre su temini en çok barajlardan sağlanmaktadır.

Tablo 1. Suyun temin edilme şekline göre miktarları [1].

Yıllar	Toplam çekilen su miktarı (1000 m <sup>3</sup> /yıl)	Kaynak (1000 m <sup>3</sup> /yıl)	Göl-Gölet (1000 m <sup>3</sup> /yıl)	Akarsu (1000 m <sup>3</sup> /yıl)	Baraj (1000 m <sup>3</sup> /yıl)	Kuyu (1000 m <sup>3</sup> /yıl)
2001	4 664 411	1 082 992	461 562	131 754	1 389 239	1 982 555
2002	4 814 597	1 294 660	137 565	131 295	1 795 963	1 455 114
2003	4 956 435	1 363 360	87 392	143 062	1 986 882	1 375 738
2004	4 956 435	1 363 360	87 392	143 062	1 986 882	1 375 738
2006	5 163 500	1 380 057	232 621	305 271	1 843 736	1 401 815
2008	4 557 074	1 060 963	225 805	173 928	1 820 688	1 275 691

## 1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı

Tez çalışması kapsamında İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından 16.04.2007 tarihinde onaylanan Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) İçme Suyu Arıtma Tesisi Kesin Projesi Rapor ve Planları İncelenmiştir. Projede arıtma ünitelerine bakılarak

arıtmanın çökeltim aşaması üzerinde durulmuştur. Projelerde mevcut olan çökeltim tankı 1/20 ölçeğinde küçültülerek modeli yapılmıştır.

Fiziksel Modelleme, bir fiziksel olayın laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen, benzer bir fiziksel olay ile incelenmesi tekniğidir [2].

Modellemede iki adet ve benzer fiziksel olay var olup, laboratuvar koşullarında olan “ Model “, diğeri de “ Prototip “ olarak anılacaktır. Bunlar sırası ile M ve P harfleri ile simgeleneyecektir. Laboratuvar koşullarından anlaşılması gereken, model üzerinde yapılacak incelemenin “ kontrol “ lu olabilmesi, gereken ölçüm ve gözlemlerin olanaklı (ekipman, zaman, para, yetişmiş insan) ve yeterli düzeyde (tekrarlama ve hassasiyet) yapılabilmesidir [2].

Gerçekte, esas ilgilenilen olay prototiptir. Ama prototipi incelemek için model kullanılmaktadır. Bu kelimeler çoğu kez benzer fiziksel olayların gerçekleştiği ve geometrik sınırların tanımladığı maddesel ortam için kullanılırlar. Doğadaki prototip ve laboratuvardaki de model diye anılır. Ancak yukarıda kullanılan model ve prototip kelimeleri “ fiziksel olay “ kullanılarak tanımlanmıştır. Model laboratuvar koşullarında incelenen tüm fiziksel olaydır [2].

Modelleme tekniğinin kullanılmasının değişik nedenleri vardır.

1- Boyutsal Analiz, her hangi bir problemin çözüm tekniği olmayıp çözümün kolaylaşmasına yardımcı olan bir teknik olmasına karşın, Modelleme bir çözüm yani problemin cevabını bulmaya yarayan bir tekniktir [2].

2-Bilgisayarın çözüm üretmede gerçekçi olamadığı hallerde, modelleme daha doğru veya gerçekçi sonuçlar verir. Fiziksel modellemede, karmaşık sınırlar oldukça gerçekçi bir şekilde yapılabilir. Bu gün gelinen düzeyde, sayısal çözümler ve fiziksel modelleme bir birini tamamlayan teknikler olarak değerlendirilmekte ve kullanılmaktadır [2].

3-Fiziksel modellemede, incelenen olayı doğada gerçekleştiği gibi görebilmek, görüntülemek ve şüphesiz pek çok parametreyi (her zaman olmasa da) ölçmek olanaklıdır [2].

Fiziksel model ekseriyetle prototipten daha küçük, kolaylıkla imal edilebilecek, akım olayının kolaylıkla görüntülenmesine olanak sağlayacak üzerinde kolaylıkla değişiklikler yapılabilecek tarzda ve malzeme ile yapılır [2].

Diğer taraftan modelin prototipten küçük olması lazımdır diye bir zorunluluk da yoktur; bazen oldukça küçük prototiplerin daha büyük modeller ile incelenmesi gerekebilir [2].

Prototip-Model İlişkisi: Prototip-Model ilişkisinden anlaşılan modelde ölçülen değerlerin prototipe nasıl aktarılacağı veya prototip değerlerinin modele nasıl yansıtılacağıdır. Bu sonuncusu model ölçeğinin bulunması için gereklidir [2].

Her şeyden önce model ile prototipin geometrik olarak benzer olması gereklidir. Benzeşim teoremine göre kinematik veya genelde bağımlı değişkenlerin benzer olması için dinamik benzeşim olması veya boyutsuz değişkenler denkleminin aynı olması temin edilmelidir. Bu da boyutsuz değişkenler denkleminde ortaya çıkan boyutsuz katsayıları veya boyutsuz sayıları eşitlemekle elde edilir [2].

### 1.3. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) İçme Suyu Arıtma Tesisi Kesin Projesinin Tanıtılması

Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü Trabzon ili Akçaabat ilçesine bağlı belde belediyeleridir. Bu projeye söz konusu yerleşimlerin içme suyu ihtiyacının tespit edilmesi ve bu ihtiyacı karşılayacak içme suyu arıtma tesisinin projelendirilmesi amaçlanmaktadır [3]. Bu belde belediyelerinin su ihtiyaçları Uçarsu deresinden temin edilecektir.

Proje raporunda bu yerleşimlerin 35 yıl sonrası için nüfus hesapları yapılarak, tüketilecekleri içme suyu miktarı bulunmuştur. Bu miktara göre içme suyu arıtma tesisi projelendirilmiştir.

Öncelikle nüfus hesapları her belde için ayrı ayrı yapılmıştır.

Tüm beldeler için 1960 yılından 2000 yılına kadar olan nüfus sayım sonuçları alınarak, bu yıllar arasındaki nüfus artış katsayıları bulunmuştur.

$$P = \left( \sqrt[t_2 - t_1]{\frac{N_2}{N_1}} - 1 \right) \times 100$$

Burada;

P= Ortalama artış katsayısı,

$N_2$ = $t_2$  yılındaki nüfus,

$N_1$ = $t_1$  yılındaki nüfus,

$t_2$ =Yıl

$t_1$ =Yıl

Bu artış katsayıları bulunduktan sonra 2007 yılından başlamak üzere 5 yıl ara ile 35 yıl sonraki, 2042 yılına kadar olan tahmini nüfus hesapları yapılmıştır.

Tablo 2. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesine ait nüfus ve nüfus tahminleri

Yıllar	Derecik	Akçaköy	Söğütlü	Yıldızlı
2000 yılı nüfusları	5142	3350	7173	3741
2007 yılı hesaplanan nüfus tahminleri	6507	4335	9847	10937
2042 yılı hesaplanan nüfus tahminleri	18550	12000	48000	13000

Bu nüfus verilerine göre içme suyu ihtiyacı hesaplanmıştır.

İller bankasının İçme Suyu Projesine Ait Şehir ve Kasaba İçme Suyu Projelerinin Hazırlanmasına Ait Yönetmelik Kapsamında;

- İnsan su ihtiyacı

Beldenin gelecekteki nüfusuna bağlı olarak insan başına günde aşağıdaki miktarda su hesaba esas alınacaktır [4].

Tablo 3. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesine ait nüfuslara göre su ihtiyaçları [4].

Beldenin Gelecekteki Nüfusu	lt/gün/kişi
3.000'e kadar	60
3.001–5.000 arası	70
5.001– 10.000 arası	80
10.001– 30.000 arası	100
30.001– 50.000 arası	120
50.001– 100.000 arası	170
100.001–200.000 arası	200
200.001–300.000 arası	225

- Hayvan Su İhtiyacı

Projenin düzenlendiği tarihteki hayvan sayıları hesaba esas alınır.

Büyükbaş hayvan için 50 lt/gün/adam

Küçükbaş hayvan için 15 lt/gün/adam [4].

- Sanayi İhtiyacı

Beldedeki küçük sanayi, liman, istasyon gibi tesislerin su ihtiyacı ayrıca göz önünde tutulacaktır [4].

- Özel İhtiyaçlar

Özel debiler ve uç debiler varsa kullanılır [4].

Projede bulunacak olan su ihtiyacı için ;

$Q_n = N_n \times \text{Nüfus aralığına göre tüketilecek su ihtiyacı}$

$Q_n$  =n yılına ait debi

$N_n$ =n yılına ait nüfus

2007 yılından itibaren 2042 yılına kadar olan su ihtiyaçları hesaplanmıştır. Buna göre;

Tablo 4. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesine ait su ihtiyaçları tahminleri

Yıllar	Derecik	Akçaköy	Söğütlü	Yıldızlı
2007 yılı su ihtiyacı tahminleri	7 lt/sn	4 lt/sn	14 lt/sn	12 lt/sn
2042 yılı su ihtiyacı tahminleri	28 lt/sn	14 lt/sn	27 lt/sn	21 lt/sn

Bu projede söğütlü beldesinin su ihtiyacı 72 lt/sn çıkmıştır. Ancak İller bankasıyla yapılan görüşmeler neticesinde bu debinin 45 lt/sn lik debinin Trabzon İçme Suyu Arıtma tesisinden karşılanmakta olduğu tespit edilmiştir.

$$Q_{\text{Arıtma Kapasitesi}} = 28 + 14 + 27 + 21 = 90 \text{ lt/sn}$$

Arıtma tesisi kapasitesi %5 iç kayıplar dikkate alınarak ;

$$Q_{\text{Arıtma Kapasitesi}} = 1,05 \times 90,00 = 95 \text{ lt/sn}$$

Proje, Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü Belediye'lerinin gelecekteki içme suyu ve kullanma suyu ihtiyacı olan toplam  $Q = 95$  It/sn ham suyun, Uçarsu Deresi su alma yapısından temin edilerek ve içme suyu arıtma tesisinde arıtılarak, "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'e uygun nitelikte içme suyu haline dönüştürülmesini kapsamaktadır [5].

Tablo 5. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmeliğe ait gösterge parametreleri [6].

Parametre	Parametrik Değer	Birim	Notlar
Alüminyum	200	$\mu\text{g/L}$	
Amonyum	0,50	$\text{mg/L}$	
Klorür	250	$\text{mg/L}$	Not 1
C.perfringens(sporlulardahil)	0	sayı/100 ml	Not 2
Renk	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		
İletkenlik	2500	$20\text{ }^\circ\text{C'de } \mu\text{S / cm}$	Not 1
PH	$\geq 6,5$ ve $\leq 9,5$	pH birimleri	Notlar 1 ve 3
Demir	200	$\mu\text{g/L}$	
Mangan	50	$\mu\text{g/L}$	
Koku	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		
Oksitlenebilirlik	5,0	$\text{mg/L O}_2$	Not 4
Sülfat	250	$\text{mg/L}$	Not 1
Sodyum	200	$\text{mg/L}$	
Tat	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		
$22\text{ }^\circ\text{C'de}$ koloni sayımı	Anormal değişim yok		
Koliform bakteri	0	Sayı/100 ml	Not 5
Toplam Organik Karbon (TOC)	Anormal değişim yok		Not 6
Bulanıklık	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok		Not 7

Not 1 : Su aşındırıcı olmamalıdır [6].

2 : Suyun yüzeiden alınmaması yada yüzeiy suyundan etkilenmemesi halinde bu parametrenin ölçülmesi gerekmez. Suyun parametrik değere uymaması halinde, Bakanlığın mutlaka tedarik edilen suyu patojen mikro organizmalar, örneğın cryptosporidium, bulunmasından kaynaklanan insan sağlığına yönelik potansiyel bir tehlike olmadığını belirlemek için araştırılması gerekir [6].

Not 3 : Şişelere yada kaplara konulan sular için minimum pH değeri 4.5 olarak belirlenebilir [6].

Not 4 :TOC parametresinin analiz edilmesi halinde bu parametrenin ölçülmesi gerekli değıldir [6].

Not 5 : Şişelere yada kaplara konulan su için birim sayı/250 ml'dir [6].

Not 6 : Günde 10 000 m<sup>3</sup>'ten az su verilmesinde bu parametrenin ölçülmesine gerek yoktur [6].

Not 7:Yüzeysel suyun arıtılması durumunda Bakanlık, arıtımından sonra sudaki bulanıklığı 1.0 NTU (Nephelometrik bulanıklık üniteleri) değıerini aşmamasına dikkat eder [6].

Uçarsu Deresinden alınan suyun analizleri yapılmıştır ve bu analiz sonuçları yönetmelikle kıyaslanmıştır. Bulunan parametreler aşağıda görülmektedir.

pH: Suyun pH değerlerinin pıhtılaştırma-yumaklaştırma, dezenfeksiyon, sertlik giderme ve korozyonun önlenmesinde çok büyük önemi vardır.Uçarsu deresi için ölçülen Ph değeri 6.30-7.70 arasındadır.Yönetmelik değeri 6,5-9,5 dur [3].

Bulanıklık: Suda bulanıklık; filtrasyonu zorlaştırması, klorlamayı olumsuz yönde etkilemesi, sağlık açısından ve estetik yönden istenmemesi nedenleriyle istenmez. Uçarsu deresi için bulanıklık 2.2-66.8 NTU aralığındadır. Yönetmelikte bulanıklık için "Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok."İfadesi yer almaktadır. Kimyasal hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme ve filtrasyon işlemleriyle sudaki bulanıklık giderilecektir [3].

Nitrit ve Nitrat Azotu: Bu bileşiklerin ölçülen değerleri aşağıdaki gibidir. Bütün değerler standartlarca kabul edilebilir değerlerdir [3].

Nitrit azotu:0.000-0.048 mg/L

Nitrat azotu:0.50-4.55 mg/L

Organik Madde;Organik madde değerleri 0.57-14.37 mg/L arasında ölçülmüştür. Maksimum organik madde konsantrasyonu Avrupa Birliği Standartı olan 5 mg/L değerinden büyük ölçülmüştür. Organik madde konsantrasyonu filtreleme prosesiyle giderilecektir[3].

Toplam Sertlik. Sular sertlik değerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

50-100 ppm CaCO<sub>3</sub> Yumuşak

100-250 ppm CaCO<sub>3</sub> Yumuşak-Sert

250-500 ppm CaCO<sub>3</sub> Sert

Uçarsu Deresi su sertlik değerleri 25-65 ppm CaCO<sub>3</sub> arasındadır [3].

Sülfat: Uçarsu Deresi'ne sülfat için ölçülen değerler 1.35-10.00 mg/L aralığındadır. Yönetmelikte sülfat için verilen değer 250 mg/L olup, tesis için önerilen proseslerden başka herhangi bir işlem gerekli değildir [3].

Demir: Uçarsu deresinde ölçülen demir değeri 0.02-5.43 mg/L aralığındadır.Demir değeri Yönetmelikte 0.2 mg/L olarak sınırlandırılmıştır.Aritma tesisinde yapılacak olan



havalandırma, ön klorlama, çöktürme ve filtrasyon işlemleriyle demir konsantrasyonları azaltılacaktır [3].

Toplam Koliform: Ölçümler sonucu toplam koliform miktarı yaklaşık 23 – 240 EMS/100 ml aralığında bulunmuştur. Uçarsu Deresi hamsu kaynağı olarak kullanılacağı için mevcut yasalara göre koruma alanlarının oluşturulması için gerekli yasal önlemlerin Belediyeler’ince alınması gereklidir. Bu durumda toplam koliform değeri düşecektir. Olabilecek değerler ise dezenfeksiyon işlemi ile uzaklaştırılacaktır [3].

Arıtma tesisine gelecek olan kirlilik, uygun arıtma prosesleri ile giderilip “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik’inde istenen düzeylere indirilecektir[3].

### **1.3.1. Arıtma Üniteleri Seçim Kriterleri**

Proses seçimi yapılırken, ham su kalitesi ve kalite değişimlerine bakılmaktadır. Bunun yanı sıra bölgenin şartlarına en uygun, minimum enerji giderleri, kimyasal madde temini kolay ve maliyetleri az olacak bir proses seçilmesine özen gösterilmiştir. Tesisin işletilmesinin olabildiğince az sayıda personelle yapılabilmesine çalışılmıştır [3].

Ham su analiz sonuçlarına göre iyi kalitede olan ham suların arıtılmasında; Fiziksel arıtma prosesleri yetmişmiş eleman ihtiyacının az olması ve enerji maliyetinin az olması nedenlerinden ötürü tercih edilmektedir. Ancak, bu proses tipi için gerekli olan alan kimyasal arıtma proses tipine göre çok daha büyük olmaktadır. Fiziksel arıtma prosesleri ham su kalitesi yüksek, arıtma tesisi alanı yeterli büyüklükte olan yerlerde tercih edilmektedir [3].

### **1.3.2. Arıtma Ünitelerinin Seçimi**

Uçarsu Deresi su alma yapısından alınan ham su, arıtma tesisi ilk ünitesi olan giriş, havalandırma ve ön klorlama yapısına gelmektedir. Giriş yapısında, ham suyun giriş basıncı söndürülür ve dengeli bir su yüzeyi elde edilir. Giriş yapısından sonra ham su Havalandırma yapısına iletilecektir. Havalandırma yapısı, sudaki çözünmüş, oksijen miktarını arttırmak suretiyle demir ve manganyum okside ederek çöktürmek ve hidrojen sülfür ile karbondioksitin giderilmesini sağlamak için kaskat havalandırma yapısı yapılacaktır. Ön klorlama yapısında, tesis ünitelerinde yosun (alg) oluşmalarını ve diğer organizmaların

boru ve tesis ünitelerinde yapışarak iletim kapasitelerini düşürmelerini önlemek, demir ve manganezi oksitleyerek çökeltme kapasitelerini arttırmak amacıyla ön klorlama işlemi yapılmaktadır. Ham su, giriş, havalandırma ve ön klorlama yapısından sonra, hızlı karıştırma yapısına iletilecektir. Ham suyun özelliklerini iyileştirmek amacıyla, suya kimyasal madde olarak ilave edilen alüminyum sülfat çözeltisi ile askıda ve kolloidal parçacıkların çökmesi sağlanacaktır. Bu işlem kimyasal arıtma üniteleri olan, hızlı karıştırma yapısı, yavaş, karıştırma yapısı ve çökmenin olduğu çökeltme tanklarında olmaktadır. Alüminyum sülfat dozajının optimum değerinde yapılabilmesi maksatıyla, suyun pH'nın ayarlanması gerekli olmaktadır. Bu amaçla da, hızlı karıştırma yapısında gerekirse asit dozlaması yapılacaktır. Bulanıklık ve rengin kimyasal arıtma ünitelerinde giderilmesi sağlanacaktır. Giriş, havalandırma ve ön klorlama yapısında çıkan suyu, kimyasal arıtma ünitelerine eşit dağıtabilmek ve bu ünitelerden çıkan suyu toplayarak, hızlı kum filtrelerine eşit dağılımını sağlamak amacıyla toplama ve dağıtım kanalları projelendirilmiştir.

Çökeltme tanklarından çıkan durulmuş su, hızlı kum filtrelerine iletilecektir. Hızlı kum filtrelerinde istenilen verimi elde etmek için, ham suda bulunan askıda katı maddelerin belirli sınır değerlerinin altında olması gerekmektedir. Bu nedenle çökeltme, filtrasyon için istenen başlangıç koşullarını sağlayacak flokların tutularak, koku ve tad gibi unsurların sudan uzaklaştırılması sağlanacaktır. Suda bulunabilecek zararlı mikroorganizmalara karşı ve tad-koku kontrolü amacıyla suyun dezenfeksiyonu gerekmektedir. Bu nedenle klor temas tankı giriş bölümünde klor dozlaması yapılacaktır. Çökeltme işlemi sırasında pH'ı düşürülen suyun arıtma sonunda istenilen pH değerine ulaşmak için klor temas tankı girişinde gerekmesi halinde kireç dozlaması yapılacaktır. Klor temas tankından çıkan suyu, şebeke deposuna iletmek ve arıtma tesisinin kendi su ihtiyacını karşılamak üzere iki gözlü temiz su deposu teşkil edilmiştir. Hızlı kum filtrelerinin, filtrasyon işleminden zamanla kirlenerek tıkanmaları sonucunda, filtreler hava ve su ile geri yıkamaya alınacaktır. Geri yıkama suyu temiz su deposundan temin edilecek olup, filtrelerden çıkan geri yıkama suyu, filtre geri yıkama suyu tutma tankında tutularak belirli aralıklarla hızlı karıştırma yapısı kanalına iletilecektir. Çökeltme tankı çamur haznesinde toplanan çamurlu su, zaman zaman çamur yoğunlaştırma tankına alınarak, buradan filtre press ünitesine ulaştırılıp, çamur keki şeklinde atılacaktır [5].

Bu açıklamalara uygun olarak seçilen arıtma tesisi üniteleri Ek:1' de hidrolik profilde görülmektedir. Arıtma üniteleri şunlardır:

- Giriş, havalandırma ve ön klorlama yapısı,
- Hızlı karıştırma ve yavaş karıştırma yapısı,
- Çökeltme tankı,
- Hızlı kum filtreleri,
- Klor temas tankı,
- Temiz su tankı,
- Filtre geri yıkama suyu tutma tankı
- Çamur yoğunlaştırma tankı
- Filtre Pres ünitesi

Yukarıdaki üniteler içerisinde Proje Raporundan Çökeltme Tankları incelenmiştir.

#### **1.4. Çökeltme Tankları**

Projede basit çökeltme tankları tipi olarak, inşaat, işletme ve bakım kolaylıkları dikkate alınarak yatay akımlı, dikdörtgen kesitli çökeltme tankları seçilmiştir. Bu tip tanklarda yüzey yüklemesi genellikle,  $S_0=1.00 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{st}$  dolaylarında uygulanmaktadır. Ancak bu projede yöresel şartlar gözönünde bulundurularak bu değer  $0.90 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{st}$  olarak alınmıştır. Şekil 4.1’de Çökeltim tankının planı görülmektedir [5].



Buna göre, gerekli yüzey alanı ;

$$A = \frac{Q}{S_0}$$

$$A = \frac{0.095 \times 3600}{0.90} = 380 \text{ m}^2 \text{ olmaktadır.}$$

Bu değere göre, seçilen tank sayısı ve boyutları ;

Tank sayısı = 4 adet

Tank eni = 4.00 m

Tank uzunluğu = 22.00 m

Tank derinliği, girişte = 4.00 m çıkışta = 2.60 m

Tank taban eğimi, enine = % 10.0 boyuna = % 7.00

1 tank alanı,  $A = 4.00 \times 22.00 = 88 \text{ m}^2$

Tank yüzey yükü:

a) Normal işletmede

$$S_p = \frac{Q_p}{A}$$

$$S_p = \frac{0.95 \times 3600}{4 \times 88} = 0.97 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{sa}$$

b) nominal debisinde ve 1 tank devre dışı iken

$$S_t = \frac{0.095 \times 3600}{3 \times 88} = 1.30 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{sa}$$

Tank yatay akım hızları;

a) Normal işletmede

$$U_p = \frac{Q_p}{W \times H_{ort}}$$

$$H_{ort} = \frac{4 + 2,60}{2} = 3.30 \text{ m}$$

$$U_p = \frac{0,095 / 4}{4 \times 3,30} = 0.00180 \text{ m/sn}$$

b) Nominal debide ve 1 tank devre dışı iken

$$U_t = \frac{Q_t}{W \times H_{ort}}$$

$$U_t = \frac{0.095 / 3}{4 \times 3,30} = 0.00240 \text{ m/s}$$

Her iki durumda da, yatay akım hızları kritik hız limiti olan  $V = 0.005 \text{ m/sn}$  değerinden daha küçüktür.

Çökeltme Tankı Hidrolik Tahkiki :

$$U_o = \frac{Q}{W \times H} \quad U_o = \text{Yatay akım hızı (m/sn)}$$

$$R = \frac{W \times H}{W + 2H} \quad R = \text{Hidrolik yarıçap (m)}$$

Reynold sayısı, bir akışkanın, atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine olan oranıdır ve sonuç olarak bu değer bu iki tip kuvvetin belli bir akış şartı altında birbirine olan göreceli önemini verir. Bundan ötürü, Reynold sayısı, düzgün akış ve türbülanslı akış gibi değişik akış rejimlerini nitelemek için kullanılır. Akışkanlar mekaniğinde birlikte kullanıldığı diğer katsayıların en önemlilerinden biridir ve dinamik benzerliği tanımlamak için kullanılır. İki geometrik olarak benzer akış patemi, akış değerleri farklı olan iki farklı sıvı içinde olsalar bile, eğer aynı ilgili katsayıya sahip iseler, bunlara dinamik benzer denir.

Ele alınan sistemde Re sayısı 2000 den küçük ise laminer akış,büyük ise türbülanslı akış olarak göze alınır . Tipik olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Re = \frac{\text{AtaletKuvvetleri}}{\text{VizkoziteKuvvetleri}}$$

Türbülansın çökeltme verimini aksi yönde etkilememesi bakımından Reynold sayısı 2000'den küçük olması gerekmektedir.Fr sayısı 1 e eşit ise kritik akış, 1 den küçük ise kritik altı akış ve 1 den büyük ise kritik üstü akış vardır.

$$Re = \frac{U_o \times R}{\nu} \quad Re = \text{Reynold sayısı} < 2000$$

$$\nu = \text{Kinematik viskozite; } T=10^{\circ}\text{C}, \nu = 1,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn}$$

$$Fr = \frac{U_o}{\sqrt{gxR}} \quad \text{Froude sayısı}$$

$$g = \text{yerçekimi ivmesi} = 9,81 \text{ m/sn}^2$$

$$W = 4.00 \text{ m}$$

$$H_{\text{ort}} = 3.30 \text{ m}$$

$$L = 22.00 \text{ m}$$

$$A = 88 \text{ m}^2$$

$$n = 4 \text{ adet tank}$$

Bu verilere göre;

a) Normal işletmede ;

$$R_p = \frac{4 + 3,30}{4 + 2 \times 3,30} = 1,245 \text{ m}$$

$$Re = \frac{0,0018 \times 1,245}{1,31 \times 10^{-6}} = 1710 < 2000 \text{ Laminer akım}$$

$$Fr = \frac{0,0018}{\sqrt{9,81 \times 1,245}} = 5 \times 10^{-4} < 1 \text{ Kritik altı akış vardır.}$$

b) Nominal debide ve 1 tank devre dışı iken

$$Rp = 1.245m$$

$$Re = \frac{0,00240 \times 1,245}{1,31 \times 10^{-6}} = 2281 > 2000 \text{ Türbülant akım}$$

$$Fr = \frac{0,00240}{\sqrt{9,81 \times 1,245}} = 6.88 \times 10^{-4} < 1 \text{ Kritik altı akış vardır.}$$

Tankların stabilitesi bakımından Froude sayısının büyük olması arzu edilir. Froude sayısının büyük olması için tankın uzun, dar ve sığ olması gereklidir. Bu ise tabandan madde kaldırılmaması şartına ters düşer. Ayrıca türbülansı küçük tutmak için Reynold sayısının küçük olduğu geniş ve derin havuzlar lüzumlu olur. Normal işletmede Froude sayısı büyük olmadığından kısa devre (Rüzgar, yoğunluk farkları ve giren sıvının ataleti sebebiyle meydana gelen çevriler yatay hızın değişmesine yol açan akımlar kısa devre akımlarıdır) oluşumuna engel olmak için havuz girişinde batık savak teşkil edilecektir [5].

#### 1.4.1. Dip Kazıma Başlangıç Hızı

Tank tabanında biriken çamurların kaldırılmaması için gerekli hızın bulunmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$U_s = \sqrt{\frac{40}{3} \times \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times g \times d}$$

Burada ;

$U_s$  = Dip kazıma başlangıç hızı (m/sn)

$\rho_s$  = Parçacık özgül ağırlığı : 1.030 t/m<sup>3</sup>



$\rho_w$  = Suyun özgül ağırlığı : 1.000 t/m<sup>3</sup>

$g$  = Yerçekimi ivmesi : 9.81 m/sn<sup>2</sup>

$d$  = Parçacık çapı :  $10^{-4}$  m = 0.1 mm

$$U_s = \sqrt{\frac{40}{3} \times \frac{1,030 - 1,000}{1,000} \times 9,81 \times 10^{-4}}$$

$$U_s = 0.01981 \text{ m/sn}$$

Çökeltme tankında her iki durumunda da yatay akım hızları  $U_s = 0.01981$  m/sn değerinde çok küçük olduğundan, tanklarda dip kazanması olayı meydana gelmeyecektir [5].

#### 1.4.2. Parçacık Çökeltme Hidroliği

Çapı,  $d = 1 \times 10^{-4}$  m olan parçacığın çökeltme hızı;

$$S = \frac{1}{18} \times \frac{g}{\nu} \times \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times d^2$$

$$S = \frac{1}{18} \times \frac{9,81}{1,31 \times 10^{-6}} \times \frac{1,030 - 1,000}{1,000} \times (1 \times 10^{-4})^2$$

$$S = 1.25 \times 10^{-4} \text{ m/sn} = 0.45 \text{ m/sa}$$

$$Re = \frac{s \times d}{\nu} = \frac{1,25 \times 10^{-4} \times 1 \times 10^{-4}}{1,31 \times 10^{-6}} = 0,00954 \cong 0,01 < Re=1$$

### 1.4.3. Çökeltme Tankı Besleme Kanalı

Dağıtım kanalına ulaşan su, bu kanalın karşı perdesinde bırakılan 40 x 40 cm boyutundaki 4 adet açıklıktan geçerek, besleme kanalına ulaşır. Besleme kanalındaki orifislerden geçerek uniform bir şekilde çökeltme tankına geçiş yaparlar [5].

Besleme kanalının boyutları;

En, w = 1.20m

Boy, L = 4.00 m

Derinlik, h =1.90 m'dir.

Besleme kanalının karşı perdesinde teşkil edilen orifislerin çapı Ø 100 mm olup, 3 sıra halinde yerleştirilmiştir. I.ve III.sırada 10 adet, II.sırada 9 adet olmak üzere toplam 29 adet orifis vardır[5].

Orifislerin kanal tabanından orifis alt kotuna olan yükseklikleri ve yatayla yaptığı açılar aşağıda verilmiştir[5].

I.sıra : 0.00 m yukarıda,  $\alpha = 30^\circ$

II.sıra : 0.75 m yukarıda,  $\alpha = 15^\circ$

III.sıra : 1.50 m yukarıda,  $\alpha = 0^\circ$

Suyun bu deliklerden geçiş hızları ve yük kayıpları;

a) Normal işletmede

$$U_{nor} = \frac{0,095 / 4}{29 \times \pi \times 0,100^2 / 4} = 0,104 \text{ m/sn}$$

$$h_{nor} = 0.104^2 / 0.62^2 \times 19.62 = 0.0014 \text{ m} \approx 0.00 \text{ m}$$

b) Maksimum işletmede (Nominal debide 1 ünite devre dışı)

$$V_{maks} = \frac{0,095 / 3}{29 \times \pi \times 0,100^2 / 4} = 0,139 \text{ m/sn}$$

$$h_{maks} = 0.139^2 / 0.622 \times 19.6^2 = 0.003 \text{ m} \approx 0.00 \text{ m}$$

Suyun tank içinde girişte türbülans yaratmaması için, tank girişinden 2.00 m sonra, su içinde 1.60 m batık şekilde bir dalgıç beton perde yerleştirilmiştir[5].

#### 1.4.4. Suyun Tank İçinde Bekletilme Süreleri

Tank hacmi;

$$V_p = 4 \times 22 \times 3.30 = 290.40 \text{ m}^3/\text{tank}$$

$$V_t = 4 \times 22 \times 3.32 = 292.16 \text{ m}^3/\text{tank}$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t_p = \frac{290,40 \times 4a \text{ det}}{0,095 \times 3600} = 3,40 \text{ sa}$$

$$t_t = \frac{292,16 \times 3a \text{ det}}{0,095 \times 3600} = 2.56 \text{ sa}$$

#### 1.4.5. Çamur Toplama Konileri

Her tankta, 4.00 x 2.00 ve tabanda 2.50 x 1.25 m boyutunda, H = 1.50 m derinliğinde 1 adet çamur toplama konisi vardır [5].

Burada biriken çamurlar, kesikli bazda çekilip, çamur yoğunlaştırma tankına iletilecektir.

Her bir koninin hacmi;

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + \sqrt{A_1 \times A_2} + A_2)$$

$$A_1 = 4.00 \times 2.00 = 8.00 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2.50 \times 1.25 = 3.125 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{1,50}{3} (8,00 + \sqrt{8,00 \times 3,125} + 3,125)$$

$$V = 8.06 \text{ m}^3/\text{koni}$$

Toplam çamur koni hacmi;

$$V_{\text{top}} = 4 \times 8.06 = 32.24 \text{ m}^3\text{'tür.}$$

#### 1.4.6. Çökelmiş Su Toplama Savakları

Çökeltme tankı çıkışında çökelmiş su toplama savakları teşkil edilmiştir. Bu savaklarda, savak yükü  $180 \text{ m}^3/\text{m.gün}$  alınarak [5],

$$\text{Savak uzunluğu, } L = \frac{8208/4}{180} = 11,40 \text{ m olmaktadır.}$$

$$8208/4 = \text{olmaktadır.}$$

$$\text{Savak su yüksekliği, } h = \left( \frac{Q}{1,77 \times L} \right)^{2/3}$$

a) Normal işletmede

$$h_p = \left( \frac{0,095/4}{1,77 \times 11,40} \right)^{2/3} = 0,011 \text{ m}$$

b) Maksimum işletmede

$$ht = \left( \frac{0,095/3}{1,77 \times 11,40} \right)^{2/3} = 0,014 \text{ m}$$

Birim savak debisi,  $q = \frac{8208/3}{11,40} = 240 \text{ m}^3/\text{m.gün}$  olmaktadır.

#### 1.4.7. Çökeltmiş Su Ana Toplama Kanalı

Çökeltme tankı sonunda tertip edilen savak ile toplanan su, kanalın karşı perdede bırakılan açıklıktan geçerek ana toplama kanalına iletir. Bu açıklıkların boyutu 40 x 40 cm olup buradan, suyun geçiş hızları ve yük kayıpları şöyledir [5].

a) Normal işletmede

$$V_p = \frac{0,095/4}{0,40 \times 0,40} = 0,15 \text{ m/snhp} = 0,003 \text{ m}$$

b) Maksimum işletmede

$$V_t = \frac{0,095/3}{0,40 \times 0,40} = 0,20 \text{ m/sn ht} = 0,005 \text{ m}$$

Ana toplama kanalı boyutları;

En,  $w = 0,80 \text{ m}$

Boy,  $L = 17,25 \text{ m}$

#### 1.5. İçme Suyu Kaynakları

İçme ve kullanma sularını oluşum ve sağlanış biçimine göre üç ana grupta toplayabiliriz.

1. Yağış suları: Yağmur ve karın sarnıçlarda biriktirilmesi ile elde edilen sulardır. Eskiden kullanılıyordu [7].

2. Yüzeysel sular: Akarsu göl ve barajlardan elde edilen sulardır. Yağışlar ve yeraltı suları ile beslenirler [7] .

3. Yeraltı suları: Kaynak suları ve kuyulardan elde edilen sulardır. Yağış ve yüzeysel sularla beslenirler. Yerçekiminin etkisi ile toprak altına sızan sular boşluk ve çatlaklardan aşağıya doğru iner ve değişik derinliklerde toplanır [7] .

Yeraltı suları yüzeysel sulara oranla içlerinde daha fazla erimiş madde bulundurmasına ve daha pahalı elde edilmesine karşın, sıcaklıklarının mevsimlere göre çok az değişmesi, renksiz ve berrak olması, temiz ve kirlenmesinin güç olması ve kimyasal bileşimlerinin değişmemesi gibi nedenlerle yüzeysel suların daha niteliklidir [7].

### 1.6. İçme Sularının Özellikleri

İçme ve kullanma sularında istenilen ve istenmeyen vasıfları altı grupta toplamak mümkündür.

a- Su, kokusuz, renksiz, berrak ve içimi serinletici olmalıdır.

Sularda fenoller, yağlar gibi suya kötü koku ve tad veren maddeler olmamalı, sular, renksiz, berrak ve içilebilecek sıcaklıkta olmalıdır. İçme suyu için en uygun sıcaklık 8 ila 12 °C dir. Ayrıca sulardaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu 5 mg/lt den daha büyük olmamalıdır [8].

b- Su hastalık yapan mikroorganizma ihtiva etmemelidir.

Suda bulunabilen bazı mikroorganizmalar çeşitli hastalıklara sebep olurlar. Bunlardan bazıları Tifo, Kolera, Sarılık ve Çocuk felcidir. Sudaki zararlı mikroorganizmaları yok etmek için en uygun yol dezenfeksiyondur. Suyun bakiye 0.1-0.2 mg/L klor kalacak şekilde ve uygun temas süresi ile klorla dezenfekte edilmesi halinde bağırsak patojen bakterileri, 0.3-0.4 mg/L bakiye klorla dezenfeksiyon halinde ise virüsler yok edilebilir.

c- Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır.

Bazı kimyasal maddeler zehirli tesir gösterir. Arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, civa, selenyum zehirli maddelerdir. Bunlardan bazılarının etkileri aşağıda ifade edilmiştir.

Arsenik zehirlenmelerinde felç, sinir sistemi bozuklukları görülür.

Civanın vücutta yığılması neticesi, kişide ruhi bozukluklar, hafıza zayıflıkları ve gövde kol ve ayaklarda duyu bozuklukları ortaya çıkar.

Kurşun ve bileşikleri, iştahsızlık, karın ağrıları, yorgunluk, duyu organları bozukluklarına sebep olur.

Flörür sularında bir miktar bulunursa diş çürümelerine karşı koruyucu bir tesir göstermektedir. Ancak flörürün fazla miktarda alınması zehirli etki yapar.

Klorür ( $Cl^-$ ), suda umumiyetle sodyum klörür ( $NaCl$ ) şeklinde bulunur.

Netice olarak, sağlığa zararlı maddelerin içme sularındaki konsantrasyonları (muhtevaları) belli bir değerden fazla olmamalıdır.

d- Su kullanma maksatlarına uygun olmalıdır.

Sular içme suyu ve sanayide kullanma suyu olarak kullanılabilir. İçme suyu olarak kullanılması halinde sudaki demir ve manganez muhtevaları düşük olmalıdır. Demir, bilhassa yer altı sularında (2) değerlikli  $Fe^{++}$  olarak, umumiyetle demir bikarbonat  $Fe(HCO_3)_2$  şeklinde bulunur.  $Fe^{++}$  oksijenle temas ederse sarı-kırmızı bir bileşik olan demir hidroksit haline çökeler. Bu sebeple suyun tadı ve rengi değişir .

Sularda bulunan demir, borularda demir bakterilerinin çoğalmasına ve boruların tıkanmasına sebep olur. İki değerlikli Manganez de demire benzer özellikler gösterir [8].

e- Sular agresif olmamalıdır.

Suların agresifliği serbest karbondioksit( $CO_2$ ) ile bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) iyonunun dengede olmamasından ileri gelir. Suların agresifliği, boruların korozyonuna(aşınmasına) sebep olur, onların kısa zamanda harap olmalarına, dolayısıyla ilave masraflara yol açar. Ayrıca boruların aşınması halinde borudan ayrılan elementler suyun evsafının bozulmasına sebep olur[8].

f- Suyun sertliği kullanma maksadına uygun olmalıdır.

Bir suyun sertliği, o suyun sabunu çöktürme özelliği olarak tanımlanır. Sabun, su içinde kalsiyum ve magnezyum iyonlarının varlığı sebebi ile çökeler. Demir, çinko, alüminyum gibi iyonlarda bu çökelmeye yardım ederler. Fakat genellikle su içinde kalsiyum ve magnezyum iyonlarının yüksek seviyelerde bulunması suyun sert olmasına yol açar. Doğal sularında en sık rastlanan, kalsiyum ve magnezyum iyonlarının yarattığı sertlik, toplam sertlik olarak tanımlanır[9] .

Toplam sertlik=Kalsiyum sertliği+magnezyum sertliği

Toplam sertliğin, sudaki karbonat ve bikarbonat iyonlarına karşı gelen kısmı karbonat sertliği olarak bilinir. Bu iyonlar aynı zamanda doğal suların alkalinitesini de belirlediğinden, eğer alkalinite toplam sertlikten kúçükse,

Karbonat sertliği(mg/l CaCO<sub>3</sub>) =Alkalinite (mg/ CaCO<sub>3</sub>) olur.

Eđer alkalinite toplam sertliđe eřit veya býyýkse,

Karbonat sertliği (mg/l CaCO<sub>3</sub>) =Toplam sertlik alınır (mg/L CaCO<sub>3</sub>) alınır.

Kaynatma yolu ile çóktürýlerek giderilebilen sertlik, geçici sertlik olarak tanımlanır. Toplam sertliğin karbonat sertliği dışında kalan kısmına ise karbonat olmayan veya kalıcı sertlik denir. Çünkü bu sertlik kaynatma yolu ile giderilemez[9].

Tuzlu sularda sabun köpürmesi şimdiye kadar ačíklandıđından farklı olarak sabunun iyonlaşması engellendiğinden dolayı durur. Bu olayın sorumlusu sabun ve tuzlu sudaki ortak olan Na<sup>+</sup> katyonlarının“ortak iyon etkisi”dir. Sodyumun normal bir sertlik yaratıcı unsur olmamasına karşın meydana gelen sertliğe yalancı (pseude) sertlik denir[9].

Sular genel olarak sertlik derecelerine göre aşağdaki şekilde sınıflandırılırlar.

Tablo 6. Sertlik dereceleri [11].

mg/L CaCO <sub>3</sub>	Sertlik Derecesi
0-75	Yumuşak
75-150	Orta Sertlik
150-300	Sert
300 ve üzeri	Çok Sert

Sertlik konsantrasyonu aşağdaki sertlik derecelerinden herhangi biri yardımıyla ifade edilmektedir [9].

- Fransız sertlik derecesi = 10 mg/L CaCO<sub>3</sub>
- Alman sertlik derecesi = 17.8 mg/L CaCO<sub>3</sub>  
= 10 mg/L CaCO<sub>3</sub>
- İngiliz sertlik derecesi = 14.3 mg/L CaCO<sub>3</sub>



### 1.6.1. Sert Suların Sebep Olduğu Problemler ve Sertlik Giderme Usulleri

Sert sular bazı problemlere sebep olmaktadır. Bunlar;

a-Sabun tüketimine neden olurlar.

b-Deride tahrişe neden olurlar.

c-Sıcak su borularında, ısıtıcılarda, kazanlarda kireç birikimine, tabakalaşmaya neden olurlar.

d-Porselenlerde renk gidermeye neden olurlar. Özellikle evlerde lavabo ve küvetlerin beyaz rengini bozarlar.

e-Kumaşların ömrünü azaltır, yıpranmalarına neden olurlar.

f-Konserve endüstrisinde problemlere neden olurlar [9].

Sularda sertlik, çeşitli usullerle giderilmektedir. Bunlar :

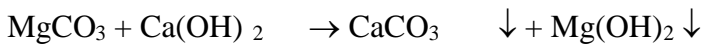
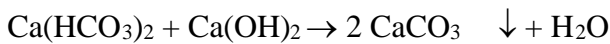
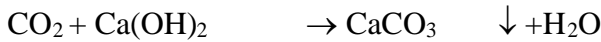
- Kireç-Soda usulü,
- Sodyum Hidroksitle muamele,
- Sodyum Fosfat ile yumuşatma,
- İyon değiştirme ile sertlik giderme sayılabilir.

Bu metotlardan ilk üçünde esas prensip  $Ca^{++}$  ve  $Mg^{++}$  iyonlarının suda çözünmeyen bileşikler haline getirilerek çöktürülmesidir. İyon değiştirme ise, suya sertlik veren iyonların başka bir iyonla değiştirilmesidir [10].

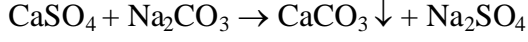
#### 1.6.1.1. Kireç-Soda Usulü

Bu işlemde, kireç ve soda çözeltisi suya katılmak suretiyle sertlik giderilir.

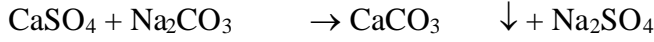
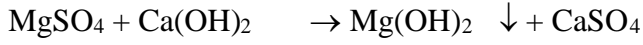
- Karbonat (geçici) sertliği, kireç ilavesi ile  $CaCO_3$  veya  $Mg(OH)_2$ 'in çöktürülmesi suretiyle aşağıdaki gibidir.



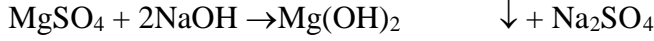
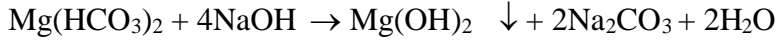
- Kalsiyumdan ileri gelen karbonat olmayan (kalıcı) sertlik, soda ilavesi neticesi ortaya çıkan  $\text{CaCO}_3$ 'ün çöktürülmesi sureti ile giderilmesi



- Magnezyumdan ileri gelen kalıcı sertlik, kireç ilavesi ile meydana gelen  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 'in çöktürülmesi ve soda ilavesi ile ortaya çıkan kalıcı kalsiyum sertliğinin giderilmesi suretiyle aşağıda gösterildiği gibi uzaklaştırılır.

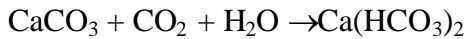


- Geçici ve kalıcı sertlik, aşağıda gösterildiği gibi suya sadece sodyum hidroksit (kostik soda) ilavesi ile de giderilebilir.

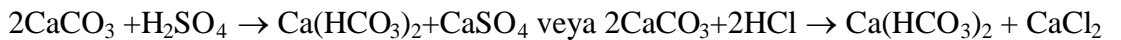


Ancak burada  $\text{CaSO}_4$ 'ün  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile reaksiyona gireceği ve teşekkül eden  $\text{CaCO}_3$ 'ün çöktürülmek suretiyle giderilebileceği göz önünde tutulmalıdır. Yumuşatılmış su genellikle Kalsiyum Karbonat ile doymuş durumdadır ve pH değeri yüksektir. Bu yüzden su, filtrasyondan önce stabilize edilmelidir. Bu işlem suya  $\text{CO}_2$  verilmesi veya asit ilavesi ile yapılabilir. Reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

Karbon dioksit verilmesi halinde:



asit ilavesi halinde ise;

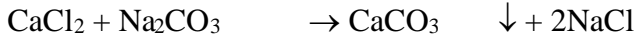
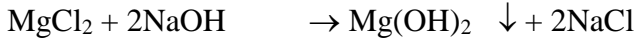
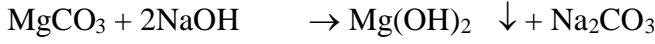
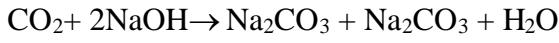


reaksiyonları olur.

İşletme maliyetinin düşük olması açısından bu işlem için çoğunlukla Karbon dioksit kullanılır. Bu sebeple bu işleme “Karbonlama işlemi” denir [10].

### 1.6.1.2. Sodyum Hidroksit ile Yumuşatma

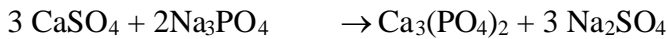
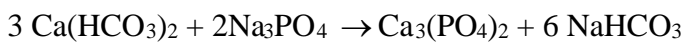
Sodyum hidroksit (kostik soda)’nın suya tatbiki çok kolaydır. Ancak sodyum hidroksitin fiyatı kirece göre daha pahalıdır. Bu halde reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.



Yukarıdaki verilen denklemlerden görülebileceği gibi sodyum hidroksit (NaOH) ile karbonat ve karbonat olmayan sertliklerin her ikisi de giderilebilir. Ayrıca NaOH kullanılması halinde ortaya çıkan çamur miktarı, kireç kullanılmasına göre daha azdır. Sodyum hidroksitin kirece nazaran bir diğer üstünlüğü de su sıcaklığının 1 ila 22 °C arasındaki değerleri için NaOH ile olan reaksiyonların hızı üzerine, sıcaklığın bir tesiri olmamasıdır [10].

### 1.6.1.3. Sodyum Fosfat ile Yumuşatma

Sodyum fosfat,  $\text{Ca}^{++}$  ve  $\text{Mg}^{++}$  iyonları ile reaksiyona girdiği zaman suda çözünmeyen fosfatlar teşekkül eder :



Sodyum fosfat, fiyatının yüksek olması sebebiyle içme suyu tasfiyesinde kullanılmaz. Ancak çok düşük bakiye sertlik elde edilmesi, dolayısıyla çok yumuşak suya ihtiyaç gösteren sanayilere temin eden tesislerde tatbik edilebilir [10].

#### 1.6.1.4. İyon Değişirme

İyon değişirme, bir iyonun diğer bir iyonla yer değiştirmesidir.

- Katyon değişirme veya Baz değişirme

Pozitif bir iyonun veya katyonun, diğer bir pozitif iyonla yer değiştirmesi olup, tabii sulara katyonlar,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $H^+$ ,  $Fe^{++}$  ve  $Mn^{++}$  gibi maddelerdir.

- Anyon Değişirme ve Asit Değişirme

Negatif bir iyonun yani anyonun, diğer bir negatif iyonla yer değiştirmesi olup, tabii sulara anyonlar genel olarak  $Cl^-$ ,  $SO_4^-$ ,  $NO_3^-$ , ... vs. gibi maddelerdir.

#### 1.6.2. İçme Suyu Standartları

Su ile ilgili çeşitli standartlar vardır. Bunlar arasında dikkate değer olanı Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) tarafından verilen standartlardır. Memleketimiz için kabul edilen içme suyu standardı ise TS-266 olup Tablo 7'de verilmektedir. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), A.B.D. ve Hollanda içmesuyu standartıda Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 7. Memleketimiz için kabul edilen içme suyu standardı (TS-266) [11].

Madde İsmi	Müsaade edilebilen değer	Maksimum değer
1.Zehirli Maddeler		
Kurşun (Pb)	-	0.05 mg/l
Selenyum (Se)	-	0.01 mg/l
Arsenik (As)	-	0.05 mg/l
Krom (Cr <sup>+</sup> )	-	0.05 mg/l
Siyanür (CN)	-	0.2mg/l
Kadmiyum (Cd)	-	0.01 mg/l
2.Sağlığa Etki Yapan Maddeler		
Flörür (F)	1.0 mg/l	1.5 mg/l
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	-	45 mg/l
3. İçilebilme Özelliğine Etki Yapan Maddeler		
Renk	5 birim	50 birim
Bulanıklık	5 birim	25 birim
Koku ve Tad	Kokusuz normal	Kokusuz normal
Buharlaştırma 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 <sub>4</sub> )	200 mg/l	400 mg/l
Klorür (Cl)	200 mg/l	600 mg/l
pH	7.0-8.5 mg/l	6.5-9.2
Bakiye klor	0.1 mg/l	0.5 mg/l
Fenolik maddeler	-	0.002 mg/l
Alkali benzil sülfonat	0.5 mg/l	1.0 mg/l
Mg + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	500 mg/l	1000 mg/l
4.Kirlenmeyi Belirten Maddeler		
Toplam organik madde	3.5* mg/l	-
Nitrik	-	-
Amonyak	-	-

\*Toplam organik madde 3.5 mg/l'ti aşması halinde bakteriyolojik muayenede özellikle titiz davranılmalıdır.

Tablo 8. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), A.B.D. ve Hollanda içmesuyu standartları [8].

Toksik Maddeler	WHO			A.B.D.			Hollanda	
	Beynelmilel		Avrupa	USPHS		SDWA	DWA	NWWA
Madde	Standart	Hedef	Standart	Standart	Hedef	Standart	Standart	Hedef
Arsenik mg/L	0.05	-	0.05	0.05	0.01	0.05	0.2	-
Baryum mg/L	-	-	-	1.0	-	1.0	-	-
Kadmiyum mg/L	0.01	-	0.01	0.01	-	0.01	-	-
Krom (6 değerlik) mg/L	-	-	0.05	0.05	-	0.05	0.05	-
Siyanür mg/L	0.05	-	0.05	0.2	-	0.2	0.01	-
Kurşun mg/L	0.1	-	0.1	0.05	-	0.05	0.1	-
Magnezyum mg/L (Sülfat $\geq$ 250)	150	30	30	-	-	--	-	-
Magnezyum mg/L (Sülfat $<$ 250)	150	-	125	-	-	--	-	-
Civa mg/L	0.001	-	-	-	-	0.002	-	-
Nitrat mg/L	45	-	100	-	45	45	100	-
Nitrit mg/L	-	-	-	-	-	-	0.1	-
Polisilik Aromatik								
Hidrokarbonlar mg/L	-	0.0002	0.0002	-	-	-	-	-
Selenyummg/L	0.01	-	0.01	0.01	-	0.01	0.05	-
Gümüş mg/L	-	-	-	0.05	-	0.05	-	-
Radyo aktivite $\alpha$ pC/l	3	-	3	-	-	15	-	-
Radyo aktivite $\beta$ pC/l	30	-	30	1000	-	50	-	-
Radyum pC/l	-	-	-	3	-	5	-	-
Stronsiyum 226/228pC/l	-	-	-	10	-	8	-	-
Tritiyum pC/l	-	-	-	-	-	20000	-	-
Endrin mg/L	-	-	-	-	-	0.0002	-	-
Lindan mg/L	-	-	-	-	-	0.004	-	-
Metosiklor mg/L	-	-	-	-	-	0.1	-	-
Toksafen mg/L	-	-	-	-	-	0.005	-	-
Klorofoksi mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Florür (Maksimum günlük sıcaklıklardaki ortalama)								
10-12 <sup>0</sup> C mg/L	-	1.7	1.7	-	1.7	2.4	-	-
12-14.5 mg/L	-	1.5	1.5	-	1.5	2.2	-	-
14.5-17 mg/L	-	1.3	1.3	-	1.3	2.0	-	-
17-21.5 mg/L	-	1.2	1.2	-	1.2	1.8	-	-
21.5-26 mg/L	-	1.0	1.0	-	1.0	1.6	-	-

Tablo 8'in devamı

26-32.5 mg/L	-	0.8	-	-	0.8	1.4	-	-
Fiziksel ve Kimyasal Parametreler								
Bulanıklık FTU	25	5	-	-	5	-	-	0.05
Renk Co birimi	50	5	-	-	15	-	-	10
Koku ve tad	*			-	3	-	-	2
Hidrojen sülfür mg/L	-	-	0.05	-	-	-	-	
Çinko mg/L	15	5	5	-	5	-	-	-
Bakır mg/L	1.5	0.05	0.05	-	1	-	-	-
Demir mg/L	1.0	0.1	0.1	-	0.3	-	-	0.05
Mangan mg/L	0.5	0.05	0.05	-	0.05	-	-	0.01
Amonyum mg/L	-	-	0.05	-	-	-	-	0.05
Oksijen mg/L	-	-	>5	-	-	-	-	>6
Klorür mg/L	600	200	600	-	250	-	-	100
Toplam çözünmüş katı mg/L	1500	500	-	-	500	-	-	-
Sertlik mmol/L	5	1	5	-	-	-	-	2.5
Kalsiyummg/L	200	75	-	-	-	-	-	-
Sülfatmg/L	400	200	250	-	250	-	-	-
Anyonik deterjan mg/L	1	0.2	0.2	-	0.5	-	-	-
Mineral yağ mg/L	0.3	0.01	-	-	-	-	-	-
Fenol bileşikleri mg/L	0.002	0.001	0.001	-	0.001	-	-	-
Permanganat sarfiyatı mg/L	-	-	-	-	-	-	-	10
pH <sup>-</sup>	6.5-9.2	7-8.5	-	-	-	-	-	-

\*Hissedilmeyecek

### 1.7. Su Tasfiyesinde Maksat ve Temel İşlemler

İçme suyu tasfiyesinde gaye, suyun kullanma maksadına uygun hale getirilmesidir. Tabiatta mevcut su kaynakları, bazı istisnalar dışında içme, kullanma ve sanayi su ihtiyaçları için doğrudan doğruya kullanılmaya müsait değildir. Bu yüzden suların bir tasfiye işleminden geçirilmesi gerekir [8].

İçme suyu tasfiyesi umumiyetle aşağıdaki maksatlardan biri veya bir kaçını için yapılır. Bunlar:

- 1-Su sıcaklığının düşürülmesi veya yükseltilmesi,
- 2-Renk, bulanıklık, tad ve koku giderilmesi,

3-Mikroorganizma giderilmesi,

4-Demir ve manganez giderilmesi,

5-Amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) giderilmesi,

6-Oksijen konsantrasyonunun yükseltilmesi, suya bazen  $\text{CO}_2$  verilmesi, bazen giderilmesi, hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) gibi gazların sudan giderilmesi, yani gaz transferi,

7-Asitlerden temizleme,

8-Su sertliğinin düşürülmesi,

9-Sudaki korozif özelliğinin giderilmesi,

10-Tuzluluğun giderilmesi,

11-Zararlı kimyasal maddelerin giderilmesi [8].

### 1.8. Arıtma Çeşitleri

Başlıca üç tip arıtma vardır;

1. Fiziksel Arıtma; Sudaki kirliliğin fiziksel özelliğine bağlıdır (Partikül büyüklüğü, özgül ağırlık, viskozite gibi). Bu tip işlemlerin tipik örnekleri ızgara, çökeltme, filtrasyon ve gaz transferidir.

Fiziksel Arıtma en basit arıtma tipidir. Bu arıtma tipi ile yaklaşık partikül büyüklüğü 10-2 mm.'ye kadar olan askıdaki ve yüzen maddeler tutulur .

2. Kimyasal Arıtma ; Kirliliğin kimyasal özelliğine bağlıdır. İlave edilecek kimyasal maddelerin özelliklerinden yararlanır. Koagülasyon, flokülasyon, çökeltme, hızlı filtre, iyon değişimi .

Kimyasal Arıtma ile askıdaki ve yüzen maddelerden başka partikül büyüklüğü 10-6 mm. olan küçük kolloid askıdaki katı maddeler tutulabilir.

3. Biyolojik Arıtma; Çözünebilir ve kolloid organik kirleticileri gidermek için biyokimyasal reaksiyonlardan yararlanır. Örnek olarak biyolojik filtrasyon gibi .

Biyolojik Arıtma ile partikül büyüklüğü 10-8 mm.'ye kadar olan organik maddeleri tutabilir.

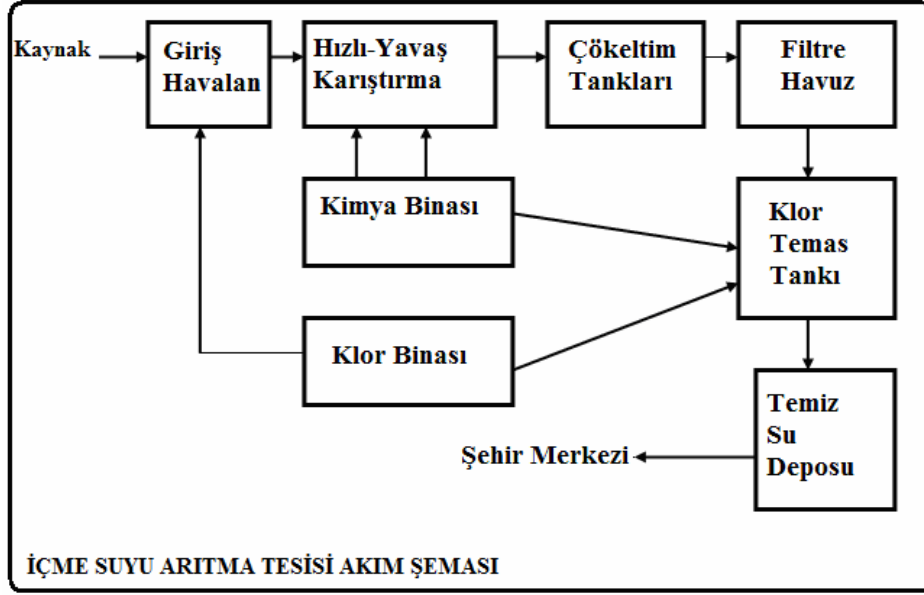


## 1.9. İçme Suyu Arıtma Tesisindeki Üniteler

- Giriş Yapısı
  - Tesise gelen suyun basıncını kırmak,
  - Birden fazla kaynaktan su geliyorsa kalitesini düzenlemek,
  - Gerektiğinde ön klorlama amacıyla suya verilen klorla yeterli temas süresi sağlamak,
  - Havalandırma yapısı olan tesislerde tesisi korumak amaçlı yada sudaki demir ve/veya mangan gibi maddelerin oksidasyonu için havalandırmadan önce ön klorlama yada ön ozonlama yapılır.
- Havalandırma Yapıları
  - Suya oksijen kazandırarak demir ve manganın oksidasyonu,
  - Amonyumun giderilmesi,
  - Karbondioksit, hidrojen sülfür, metan, uçucu yağlar ve uçucu organik maddelerin giderilmesinde kullanılır.
- Hızlı Karıştırma Yapıları (Koagülasyon)
  - Ham suyun içinde bulunan çökelmeyen kolloidal maddeler ve yavaş çöken askıda katı maddeleri hızlı çökelen floklara çevirmek için suya kimyasal madde eklenir.
  - Kimyasal maddelerin suya karıştırıldığı ve üniform dağılımın yapıldığı yapılardır. Mekanik veya hidrolik olarak karışımın sağlanması mümkündür
- Flokülasyon yapıları (Yumaklaştırma Havuzları)
  - Flokülasyon, koagülasyon işlemi sonucunda destabilize edilmiş küçük flokların yavaş karıştırılarak birleşmesi ve hızlı çökebilen büyük flokların oluşması işlemidir.
  - Yavaş karıştırma işlemi, mekanik karıştırma, havalı karıştırma veya hidrolik karıştırma işlemleriyle yapılır. En çok mekanik karıştırıcılar tercih edilmektedir.
- Çökeltme Tankları-Durultucular
  - İçme suyu arıtma tesislerindeki çökeltim tankları, suda bulunan askıdaki çökebilen
  - katı maddelerin miktarlarının azaltılmasında kullanılır. Bu iki biçimde yapılır:
  - Basit çökeltme suda bulunan çökebilen maddeleri sudan uzaklaştırabilmek için kullanılır. Bu tanklar genellikle bulanıklığı çok fazla olmayan sularda, suyun

içine herhangi bir kimyasal madde verilmeden suyun belli bir sürede, belli bir hızla ve belli bir alandan geçirilmesi sırasında, sudaki kirletici parametrelerin yerçekimi kuvveti ve kendi özgül ağırlıkları yardımıyla çökeltilmesi esasına göre çalışır.

- Hızlı karıştırma ve yumaklaştırmayı takip eden çökeltme, renk ve bulanıklığı gidermek için yumaklaştırıcı kimyasal maddelerin ilavesi ve sertliği gidermek için kireç ve soda ilavesi ile oluşan çökebilir maddeleri sudan uzaklaştırmak amacıyla kullanılır .
- Filtre Yapıları
  - Filtrasyon suyun gözenekli bir ortamdan
  - geçirilmesi işlemidir.
  - Sudaki asılı ve kolloidal maddelerin tutulması,
  - Bakteri ve diğer organizma sayılarının azalması,
  - Organik maddelerin okside olmasının sağlanması.
- Dezenfeksiyon ve Klor Temas Tankı
  - Suda bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderilmesi işlemine dezenfeksiyon denir. Suların dezenfeksiyonu, klor, ozon, klordioksit, gibi kimyasal madde ilavesiyle veya ultraviyole ışınları ile yapılır.
- Temiz Su Deposu
  - Temiz su deposu arıtılmış suyu bir süre depolamak amacıyla ve tesisteki kimya binası , idare binası, lojman, gibi yerler için düşünülen servis suyu ile filtrelerin geri yıkama suyunu veya geri doldurma suyunu depolayacak şekilde dizayn edilir.
  - Yukarıdaki arıtma prosesleri içerisinde çökeltim havuzlarını inceleyeceğiz.



Şekil 5. İçme suyu arıtma tesisi akım şeması

### 1.10. Çökeltme

Taneciklerin, yerçekimi kuvvetinin etkisi altında, içinde bulunduğu suyun kütle yoğunluğundan daha büyük bir kütle yoğunluğu ile aşağıya doğru hareket etmelerine "çökeltme" denir [12].

Çökeltme havuzları su tasfiyesinde suyun içindeki askıda bulunan çökebilir katı maddelerin miktarını azaltmak amacıyla kullanılır. Çöktürme içme suyu tasfiyesinde klorlamadan sonra en çok kullanılan metottur [13].

Çökeltme havuzları arıtma tesislerinin çeşitli aşamalarında yer alırlar.

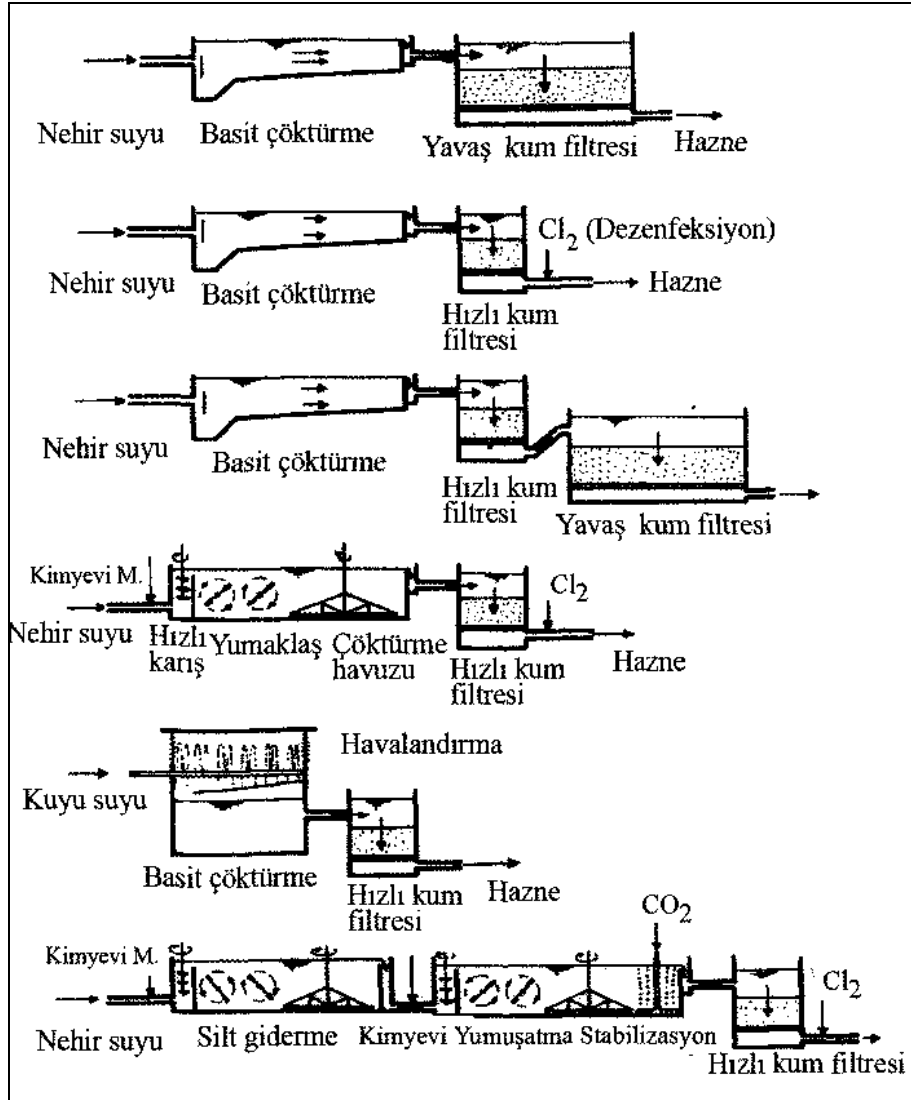
1. Akan suyun giriş bölgesinde sakinleşmesi ve kinetik enerjisinin kırılması,
2. Çökeltmenin meydana geldiği orta bölgede çökeltmeyi teşvik etmeli,
3. Çıkış bölgesinin mümkün olduğu kadar sakin tutulmasını,
4. Çökme bölgesindeki çamurun karışıp yüzeye doğru çıkmaması için stabil bir ortam,
5. Sıyırıcının çamurun yukarıya çıkmaması için düzgün çalışması,
6. Yüze çıkkan çamurun tutulması sağlanmalıdır [14].

Çökeltme içme suyu tasfiyesinde iki şekilde tatbik edilir. Bunlardan birincisi basit çöktürme, ikincisi ise hızlı karıştırma ve yumaklaştırma veya yumuşatmayı takip eden çöktürmedir [8].

Basit çöktürme suda bulunan çökebilir maddeleri sudan uzaklaştırmak için kullanılır. Bulanıklılığın fazla olması hallerinde ise kendisinden sonraki tasfiye kademesinin yükünü azaltmak amacıyla kullanılabilir. Bilhassa yavaş kum filtrelerinden önce basit çöktürme havuzlarının kullanılmasının sebebi budur [8].

Hızlı karıştırma ve yumaklaştırmayı takip eden çökeltme, renk ve bulanıklılığı gidermek için yumaklaştırıcı kimyevi maddelerin ilavesi ve sertliği gidermek için kireç ve soda ilavesi suretiyle meydana gelen çok miktardaki çökebilir maddeleri sudan uzaklaştırmak amacıyla kullanılır [8].

İçme suyu tasfiyesinde çökeltme havuzlarının konumları Şekil 6'da topluca görülmektedir.



Şekil 6. Çöktürme havuzlarının su tasfiyesindeki yeri [14].

### 1.10.1. Çöktürme Havuzlarındaki Bölgeler

Çöktürme havuzlarında çökme olayı çok karışık bir şekilde meydana gelmektedir. Türbülans, yoğunluk akımları, sıcaklık değişimleri gibi faktörler durumu belirli ölçüde karıştırdığından, hesapların kolaylaştırılmasında bazı basitleştirici kabuller yapılabilir. Yani çökme olayı idealize edilir ve bir matematik modele göre meydana geldiği farz edilir [13].

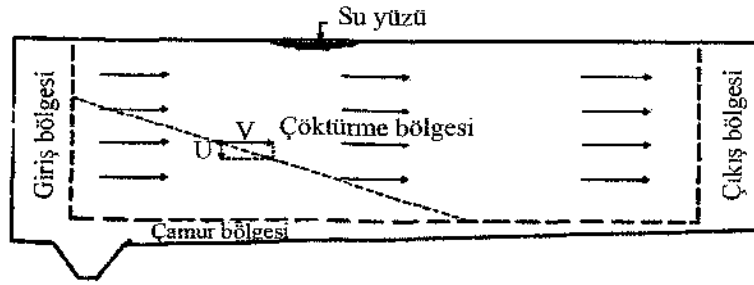
Çöktürme havuzları gördükleri işlere göre dört bölgeye ayrılabilir (Şekil 7). Bunlar:

a) Giriş Bölgesi: Su ve sürüntü maddeleri akışa dik bir enkesit içerisinde daima uniform olarak karışmış kabul edilir[13].

b) Çökme Bölgesi: Sürüntü maddesi süspansiyondan ayrılarak tabana çöker[13]. Çökebilen katı maddelerin sudan uzaklaştırıldığı bölgedir[8].

c) Çıkış Bölgesi: Sürüntü maddeleri sudan ayrılmış olarak toplanır ve çöktürme havuzunu su terk eder[13].Çöktürme bölgesinden çıkış kanalına suyun sakin bir şekilde geçişini sağlar [8].

d) Çamur Bölgesi: Çökelen katı maddelerin, çökme işlemini engellemeyecek bir şekilde toplandığı bölgedir [8].



Şekil 7. Bir dikdörtgen çökme havuzundaki dört bölge[8].

Havuzun çökme bölgesinde sürüntü maddesinin sudan ayrılması derinliği, çöktürme havuzunun derinliğine eşit bir kapta bulunan münferit tanelerin çökmesine benzer şekildedir. Akış olayı bütün en kesitlerde uniform ve paralel olarak meydana gelir. Yatay hız her noktada sabittir. Her büyüklükteki taneler bütün en kesitlerde uniform olarak dağılmış durumdadır. Bir tanenin çamur bölgesine ulaşması ile sudan ayrıldığı farz edilir [13].

### 1.10.2. Çöktürme Havuz Çeşitleri

Çökeltme havuzları genel olarak üçe ayrılırlar. Dikdörtgen çöktürme havuzları, daire planlı çökeltim havuzları ve kare planlı çökeltim havuzlarıdır.

#### 1.10.2.1. Dikdörtgen Çöktürme Havuzları

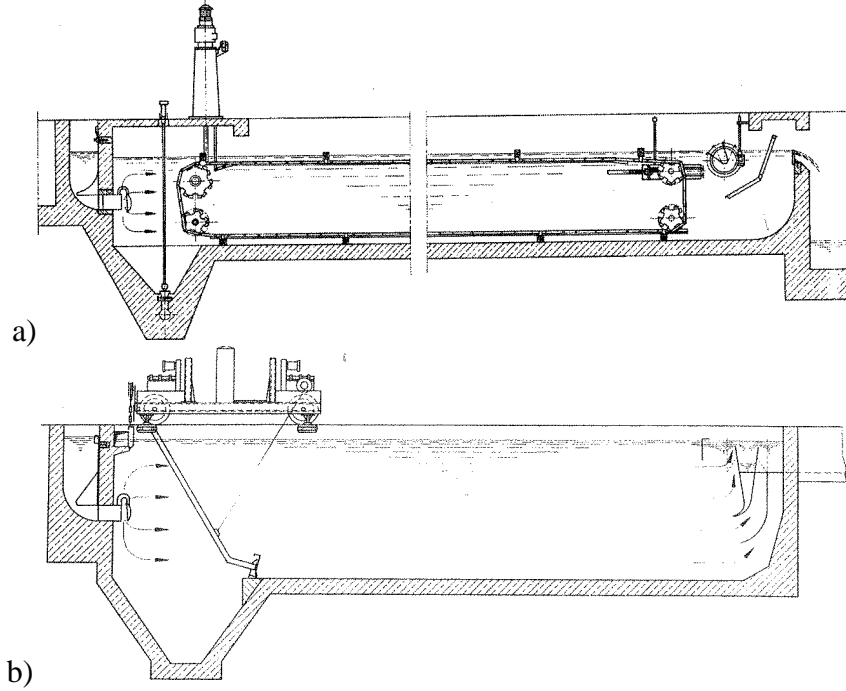
Dikdörtgen havuzlar 1,5 ila 7,5 m genişlikte inşa edilirler. Çamur sıyırıcılar paralel olarak yerleştirilirse bu genişlikler biraz daha arttırılabilir. Uzunlukları ise en fazla 75 m ye kadar alınmaktadır. Umumiyetle uzunluğun genişliğe nispeti 3:1 ila 5:1 arasında alınır. Takriben 30 m uzunlukta olan havuzlar yaygın olarak kullanılır. Dikdörtgen havuzların derinliği en az 2,5 m, tavsiye edilen derinlikler işe 2,5-3,7 m arasındadır. Bazı çalışmalarda derinliğin 2,1-4,6 m arasında seçilebileceği belirtilmiştir. En çok kullanılan ortalama havuz derinliği 3 m' dir. Arazinin müsait olduğu yerlerde derin havuzlar yerine sığ havuzların seçilmesi uygun olur [8].



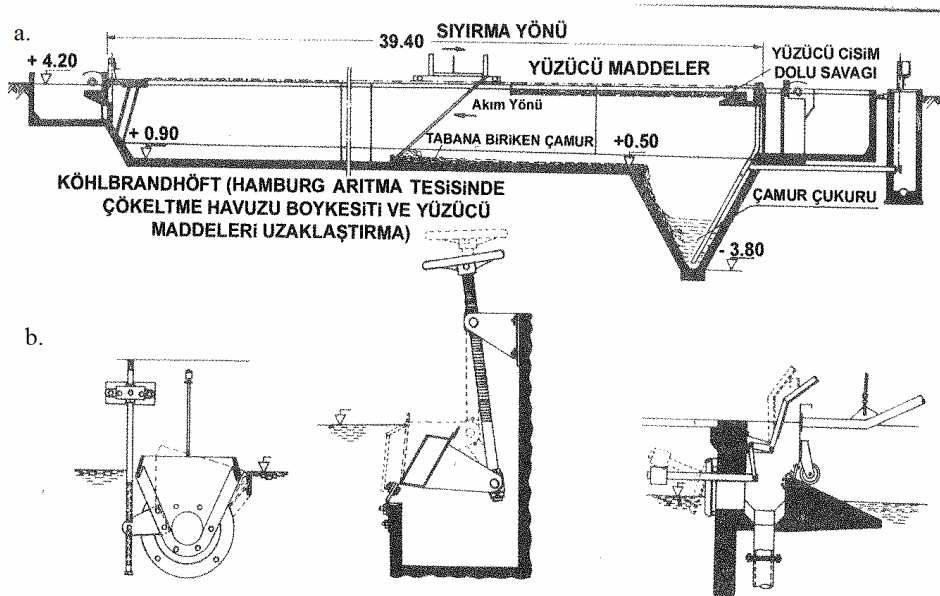
Şekil 8. Dikdörtgen çökeltim havuzu

Çökeltme havuzlarında askıdaki maddeler havuza girmelerinden çok kısa bir süre sonra çökerler. Bu nedenle, dikdörtgen planlı havuzun su girişi kısmında tabanda bir çamur toplama haznesi yapılır. Dar bir hacim içerisinde sıkıştırılan çamur tabandaki boru yardımıyla pompayla dışarı alınır. Havuzda çamur toplama kısmının duvarları belirli bir eğimle inşa edilir. Böylece kaba çamur toplama kısmına duvarlardan kolaylıkla kayarak

düŖer ve ince taneli ise çamur havuzun sığ yerlerinde çökeler. Yatay akışlı dikdörtgen planlı çökeltme havuzlarına ait kesit görüntüleri Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir [15].



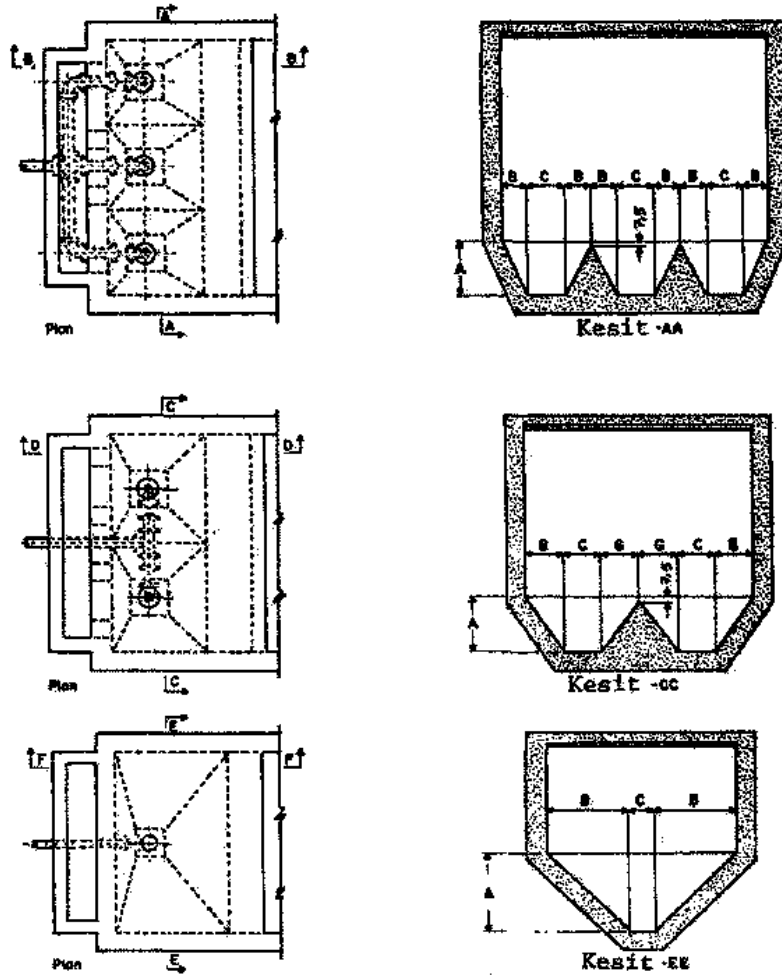
Şekil 9. (a) Sürekli çalışan bandlı kazıyıcılı dikdörtgen kesitli çökeltme, (b) kesikli çalışan sıyrıcılı dikdörtgen kesitli çökeltme havuzu [16].



Şekil 10. (a) Üzerinde kesikli çalışan hareketli çamur sıyırma arabası ile teşkil edilmiş dikdörtgen kesitli çökeltme havuzu (b) yüzücü cisim dolu savak örnekleri [17].

Dikdörtgen havuzların tabanı, çamur toplama çukuruna doğru eğimli olarak inşa edilir. En çok kullanılan eğim 1:100 dür. Bu eğim her halükarda 1:200 e eşit veya ondan büyük olmalıdır. Raylar üzerinde hareket eden bir köprüye bağlı olan sıyrıcılarla çamur sıyrılarak çamur toplama çukuruna doğru sürülür. Sıyrıcı çamur konisine vardığı zaman otomatik olarak yukarı çekilir ve çıkış kenarına geri alınır [8].

Bazı havuzlarda çamur bir, iki veya üç çamur konisine toplanır. Her çamur çukura ayrı çamur tahliye boruları ile teçhiz edilmiş olup, böylece istenirse ayrı ayrı zamanlarda çamurlar alınabilir. Muhtelif çamur konileri Şekil 11'de gösterilmiştir [8].



Şekil 11. Dikdörtgen havuzlar için çamur konileri [8].

Çamur konilerinin eğimleri 1,2: 1 ila 2:1 arasında alınır. Bazı geniş havuzlarda, gerekli çamur çukuru sayısı çok fazla çıkabilir. Bu durumlarda havuz giriş kısmının tabanına enlemesine bir çamur toplayıcı yapmak daha uygun olabilir. Enine toplayıcı

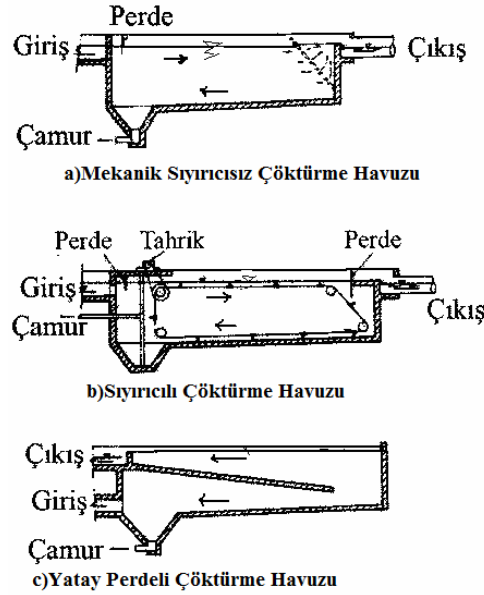


birbiri ile bağlantılı olan çok sayıda havuzun çamurunu bir tek çamur çukurunda toplamaya yarar [8].

Çıkışa enlemesine yapılacak tek bir savak olması halinde bazı hallerde savak yükü istenilen değerlerden fazla olabilir. Bu durumda havuz uzunluğunun son üçte birinde, savaklar yapılabilir [8].

Bazı durumlarda da havuz içine eğimli plakalar yapılmak suretiyle çökeltme verimleri iyileştirilmektedir. Bu tip çökelmeye lamella tipi çökeltme denilmektedir [8]

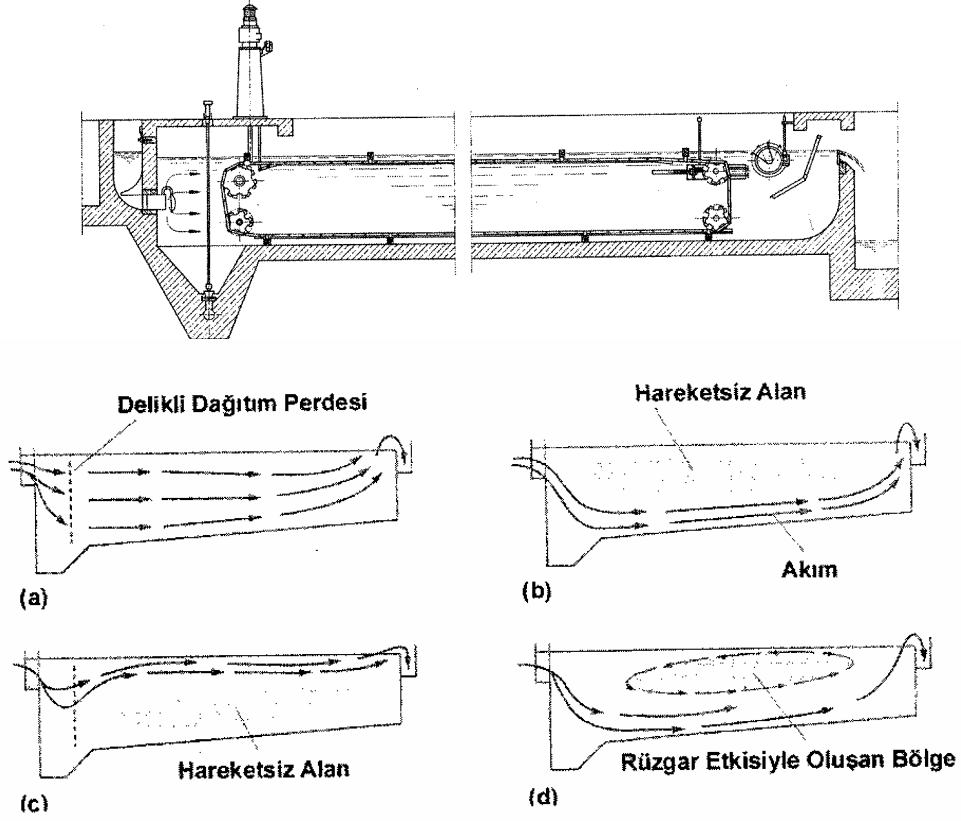
Son zamanlarda çökeltme havuzlarının verimini arttırmak amacıyla yatay perdeler yapılmaktadır. Şekil 12' de böyle yatay perdeli bir havuz kesiti gösterilmiştir.



Şekil 12. Çöktürme havuzu kesitleri [8].

Dikdörtgen planlı çökeltme havuzlarında değişik akış modelleri gözlenebilir. Değişik akış modellerinin oluşmasında etkili olan faktörler; rüzgar, sıcaklık, sıcaklık değişimleri ve yoğunluk akımıdır. Bu faktörlerin etkisiyle oluşan akış modelleri Şekil 13'de verilmiştir.

İdeal bir dikdörtgen planlı çöktürme havuzunda Şekil 13'de görüldüğü gibi bir akış gözlenir [15].



Şekil 13. Dikdörtgen planlı çöktürme havuzlarında gözlenen tipik akış modelleri [18]. a) İdeal model, b) Yoğunluk akımının olduğu (ölü bölgenin olduğu) ve ya termal tabakalaşmanın etkili olduğu model (havuz içindeki su, giriştekinden daha sıcak) c) Termal tabakalaşmanın etkili olduğu model (havuz içindeki su, giriştekinden daha soğuk) d) Çevrim hücreleri oluşturan rüzgarın etkisi ile değişen model.

Dikdörtgen havuzlar, suyun çökeltme bölgesine alınması, çamurların uzaklaştırılması ve yüzen maddelerin sıyrılması bakımından daha iyi projelendirilme imkânları sağlar.

Tablo 9. Dikdörtgen planlı çöktürme havuzları boyutlandırma değerleri [15].

Parametre	Birim	Aralık Değeri	Tipik Değer
Dikdörtgen Planlı			
Derinlik	m	3,0-4,9	4,3
Uzunluk	m	15-90	24-40
Genişlik	m	3-24	4,9-9,8
Sıyırıcı Hızı	m/dk	0.6-1.2	0,9
Taban Eğimi		1:100,1:200	1:100
Yatay Su Hızı	mm/sn	<10	<6
Savak Yükü	l/sn.mm	<10	<4

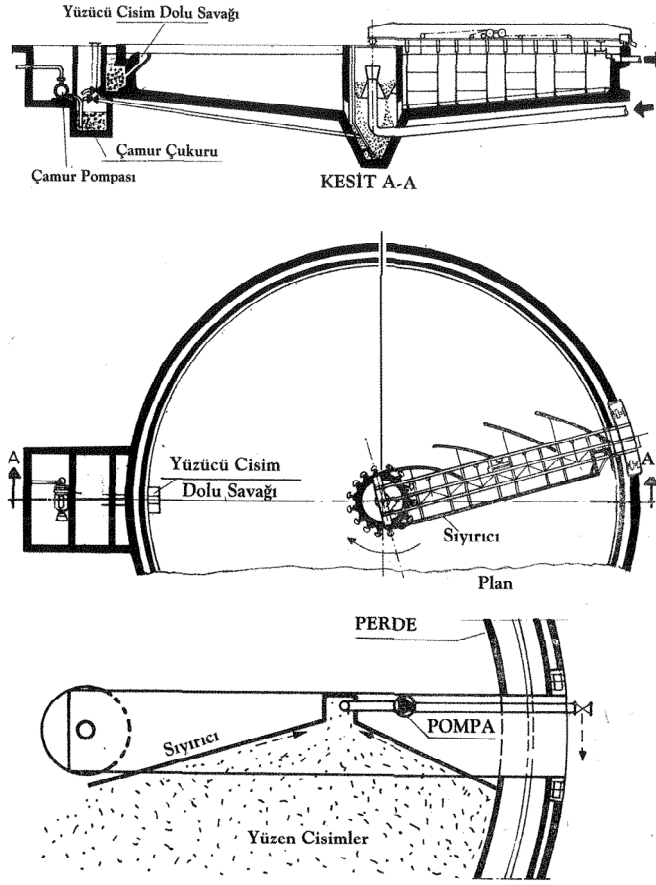
### 1.10.2.2. Dairesel Çöktürme Havuzları

Bu havuzlar umumiyetle merkezden beslenir. Bir daire planlı havuzda, suyun havuza verildiği bir giriş yapısı, çamurların toplandığı ve uzaklaştırıldığı kısım ve çıkış yapısı bulunur [8].

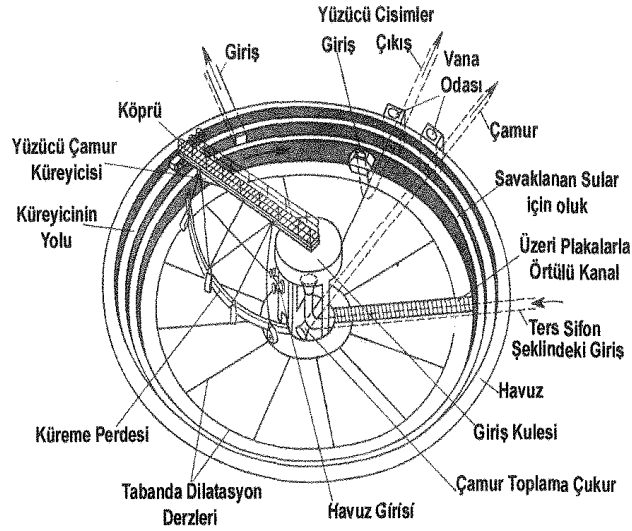


Şekil 14. Dairesel çökeltim havuzu

Dairesel çöktürme havuzlarının çapları 75-90 m çapa kadar inşa edilirse de bunların çaplarının 38-45 m den büyük olmaması uygundur, hatta çapın 30 m den büyük seçilmemesi tercih edilmektedir. Merkezden beslenen havuzlarda su bir giriş kulesinden havuza verilir. Böylece giren suyun çökeltme bölgesine üniform ve düşük hızla dağıtılması sağlanmış olur[9]. Şekil 15 ve Şekil 16'de merkezden beslenen bir havuzun plan ve kesiti gösterilmiştir.



Şekil 15. Dairesel çökeltme havuzu çamur sıyırıcı ve yüzeysel cisim sıyırıcı ve çamur yapıları [17].



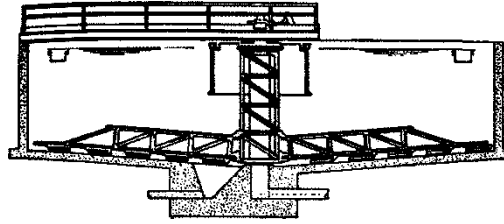
Şekil 16. Dairesel çökeltme havuzu detayı [19].

Bazı durumlarda giriş borusu, havuz tabanından gelerek düşey bir dirsekle yukarıya çıkar (Şekil 17A ve C). Bazı hallerde ise hamsu borusu havuz içinden giriş yapısına bağlanır (Şekil 17 B). Bu durumlardan hangisi tatbik ediliyorsa, köprü ve sıyırıcıların inşaatı da ona göre yapılır. Bu, Şekil 17. A.B ve C'de görülmektedir [8].

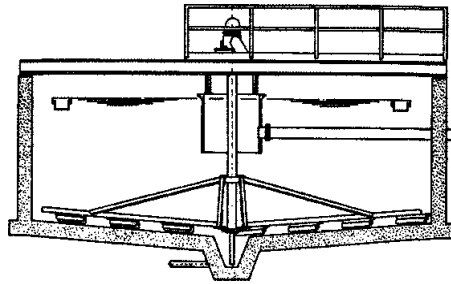
Merkezden beslenen havuzlar için en genel bir dağıtma bacası havuzun merkezinde bulunan silindirik bir perdeden ibarettir. Suyun üniform çıkışını sağlamak üzere çıkış boşlukları bulunur. Bu boşluklarda su hızı 0,3 m/sn yi geçmemelidir [8].

Dairevi havuzların tabanları merkezdeki çamur toplama çukuruna doğru %8 ~ (1:12) eğimli yapılır. Ancak havuzun kullanma maksadına bağlı olarak bu eğim 1:12 ila 1:6 arasında değişmektedir. Ancak en çok kullanılan eğim 1:8 ila 1:12 arasındadır. Çamur çukurlarının eğimleri ise dikdörtgen havuzlardakine benzer şekilde 1,2:1 ila 2:1 arasında seçilmektedir [8].

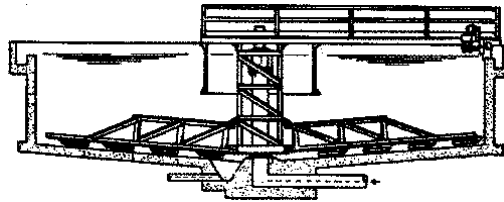
Daire planlı havuzlar umumiyetle merkezden beslenir. Ancak çevreden beslenen dairevi havuzlar da vardır. Böyle bir havuz Şekil 18'da gösterilmiştir.



A.Suyun giriş bacası ve tahrik ünitesi havuzun ortasındaki iskele tarafından taşınmaktadır.

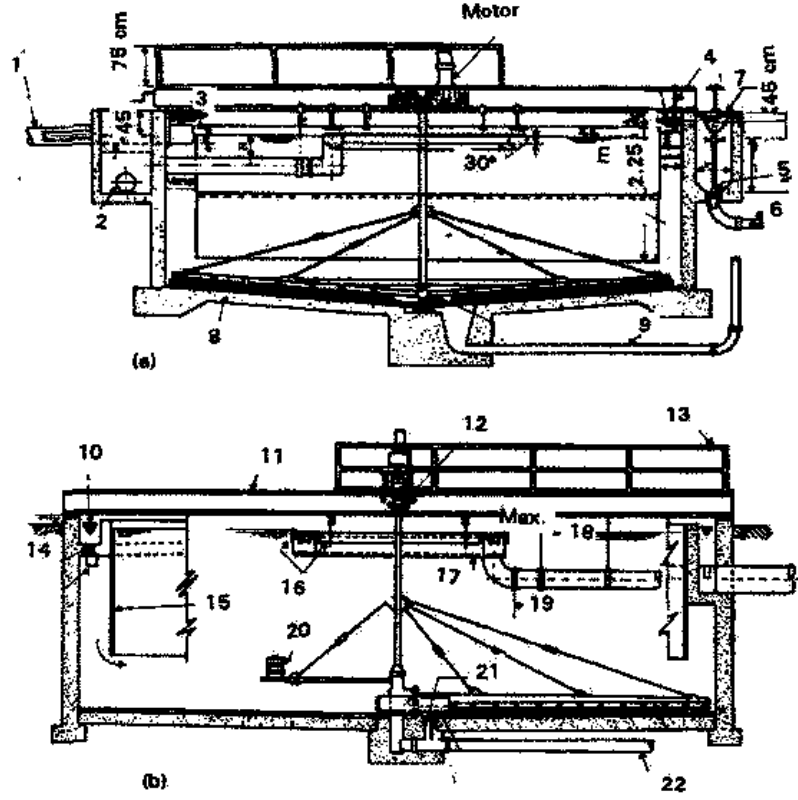


B. Suyun giriş bacası ve tahrik ünitesi köprü tarafından taşınmaktadır.



C.Çer makinası çevrede olup çamur toplayıcısı merkezdeki iskele tarafından taşınmaktadır.

Şekil 17. Dairesel çöktürme havuz kesitleri [8].



Şekil 18. Çevreden beslenen dairesel çöktürme havuzları [8]. 1. Giriş, 2. Çıkış, 3. Giriş oluğu, 4. Elle çalıştırılan köpük borusu, 5. Köpük vanası, 6. Köpük borusu, 7. 10 cm kanal, 8. Taban eğilimi %6, 9. Çamur borusu, 10. Giriş kanalı, 11. Köprü, 12. Sonsuz vida, 13. Korkuluk, 14. Orifis, 15. Dalgıç perde, 16. Ayarlanabilen savak, 17. Çıkış kanalı, 18. EYSS, 19. Çıkış borusu, 20. Karşı ağırlık, 21. Dren, 22. Çamur çıkışı

Tablo 10. Dairesel çökeltme havuzları boyutlandırma değerleri [15].

Parametre	Birim	Aralık Değeri	Tipik Değer
Dairesel Çökeltme Havuzları			
Derinlik	m	3,0-4,9	4,3
Çap	m	3,0-60	12-45
Taban Eğimi	mm/mm	1/16-1/6	1/12
Sıyırıcı Hızı	m/dk	0,02-0,05	0,03
Savak Yüğü	m <sup>3</sup> /gün.m	125-500	125-250

### 1.10.2.3. Kare Çökeltme Havuzları

Kare çökeltme havuzlarında bir kenarın en büyük uzunluğu 20 m alınmaktadır. Kare çökeltme havuzlardaki çamur sıyırma tertibatı daire planlı havuzlarınkine benzerdir. Yalnız bunlarda dairevi sahanın dışında kalan köşe bölgelerdeki çamurları sıyırmak için sıyırıcının iki yanına ilave kollar uzatılır. Bu kollar köşelerdeki çamurları esas sıyırma bölgesine sürükler. Bu işlemi kolaylaştırmak bakımından buradaki eğim 1:12 den fazla alınır [8].

Kare çökeltim havuzları genelde tercih edilmemektedir.

### 1.10.3. Trabzon Atası İçme Suyu Arıtma Tesisindeki Çökeltim Havuzunun İşleyişi

Karıştırıcılardan durultucu kanallarına gelen su Threelentler vasıtasıyla havuza geçer.



Şekil 19. Durultucu kanallarında threelent girişleri



Şekil 20. Threelentle suyun havuza boşaltılması

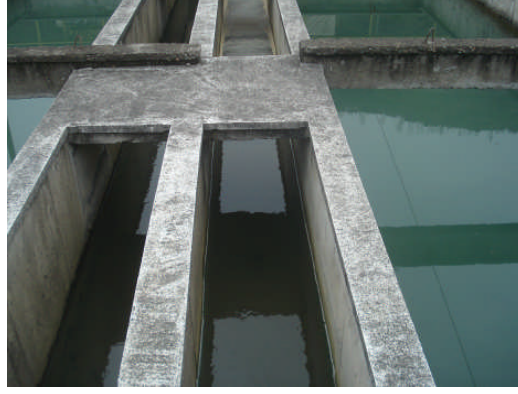
Durultucu kanalının altındaki Threelent (üçlü dağıtım) aracılığı ile su havuza boşaltılır. Girişte harmanlanan hamsu, karıştırma ünitelerindeki koagülatların verilmesinden sonra, 4 adet düz tabanlı durultucu ünitesine gelmektedir. Ham suya katılan kimyasal maddeler (alüminyum sülfat, poli alüminyum klorür, poli elektrolit) suyun içindeki askıdaki katı maddeleri birleştirip, flok oluşumuna neden olur. Oluşan floklar, durultucuda çamur blanketini oluşturur.



Şekil 21. Çamur toplama konisi



Durultucularda oluşan çamur blanketinin ağırlığının tespiti için her tankda 10 adet çamur toplama konisi monte edilmiştir. Çamur blanketi belirli bir yoğunluğa geldiğinde çamur konileri otomatik olarak açılarak içlerindeki çamur, çamur galerilerine boşaltılır. Durultucu tabanında, zaman içerisinde çöken katı maddelerin oluşturduğu silt birikimi, taban kazıyıcıları vasıtasıyla havuzların uç kısmında bulunan çukurlarda toplanarak deşarj edilir.



Şekil 22.Havuzun suyla dolmuş hali



Şekil 23. Su kanallarına giriş orifisleri

Durulmuş su, yanlarda bulunan orifislerden geçerek su kanalına girer.



Şekil 24. Durulanan suyun toplandığı orta kanal

Durulmuş su, kanallarda toplanıp buradan savakla ana toplama kanalına boşalmaktadır.

### 1.11. Çökeltme Tankı Çalışma Prensipleri ve Akım Çeşitleri

İçme suyu temininde ve pis su arıtma teknolojisinde çökeltim tankları, tankın çalışma prensibine göre ikiye ayrılır. Bunlar,

- a) Doldur-boşalt sistemi ,
- b) Sürekli çalışma sistemidir.

Yani, birincisinde, belirli bir hacimde su belirli bir süre bekletilir, çökeltme olayı oluşuktan sonra, tanktaki suyun tamamı alınır. Kesikli olarak çalışan bu tür çökeltme tankları daha çok kazan besleme sularının hazırlanması ve bazı özel endüstrilerin sularının arıtımında uygulanmaktadır, ikinci tür sistemler, genellikle, sürekli olarak su ihtiyacının bulunduğu yerlerde kullanılır. Ayrıca çökeltme tankları dikdörtgen, kare veya dairesel şekilde olmak üzere de gruplara ayrılırlar. Ancak, çökeltme tankları en çok hidrolik açıdan yatay veya düşey sürekli akımlı çökeltim tankları tipi olmak üzere ikiye ayrılır [12].

#### 1.11.1. Yatay Akımlı Çökeltme Tankları

Bu tür tanklar, çoğunlukla dikdörtgen prizma, kare bazen de dairesel kesitli olabilirler. Çökeltme işleminin tipine göre (basit çökeltme veya kimyasal (flokülant çökeltme) bu tür tankların önünde topaklaşmanın meydana geldiği bir flokülasyon bölümü

vardır. Basit çökeltme tanklarında, kimyasal bir artım gerçekleştirilmediği için böyle bir bölüm yoktur [12].

Dolayısıyla, yatay akımlı çökeltme tankı, flokülasyon bölümü sonrasında yer alan ve askıdaki maddeleri oluşturan tanecikler veya flokların çökeldiği bir tanktır. Bu tank boyunca giderek azalan şekilde tank dibine çökelen taneciklerin veya flokların oluşturduğu taban çamurları sürekli veya kesikli bazda çeşitli şekillerde tanktan uzaklaştırılır. Bu tür tankların tasarımında, çökeltilecek madde yüzdesinin yüksek olması, tank yüzey yüklemesinin küçük olmasına bağlı olduğu kadar, havuz derinliğinin büyük olmasına da bağlıdır. Bu nedenle, çökeltme tanklarında suyun kalış süresi de fazla olacaktır. Yüzey yüklemesi ve kalış süresinin fonksiyonu olarak çökelen madde yüzdesi hamsu kalitesine bağlı olarak değişmektedir [12].

Flokülasyonun bulunduğu bir çökeltim işleminde kalış süresi 1-2 saat iken basit çökeltme tanklarında bu süre ortalama 2-3 saat arasında olmaktadır. Genelde, yatay akımlı çökeltme tanklarının yüzey yüklemeleri dar ölçekte  $1,0 - 2,5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{saat}$  veya  $0,3 \times 10^{-3} - 0,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{saat}$ ., geniş ölçekte ise  $0,5 \approx 5,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{saat}$  veya  $0,15 \times 10^{-3}$ -

$1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{saat}$ . arasında pratikte uygulanmaktadır. Bu değerlerdeki yüzey yüklemelerinde, hamsu içindeki askıdaki katı maddelerin miktarının %90  $\approx$  %95'inin çöktürülebilmesinin mümkün olduğu çeşitli araştırma ve tatbikatlarla tespit edilmiştir. Ayrıca, çökeltme işlemi esnasında dibe çökelen taneciklerin, suyun yatay akımı sırasında tekrar harekete geçirilebilmesi ne engel olmak için suyun yatay akım hızlarının çok dikkatli seçilmesi gereklidir. Bu nedenle, bir çökeltim tankı tasarımı yapılırken, akımın dengeli ve laminer akım şartları altında gerçekleştirilmesi sağlanır [12].

Yatay akımlı çökeltme tankları üzerinde yapılan araştırmalar ve geliştirmeler, yapının kapladığı alanın azaltılması veya belli alanda yapılmış bulunan bir tesisin verimliliğinin artırılması yönünde olmuştur. Bunların sonucunda, çok katlı veya plakalı çökeltme tankları bulunmuştur. Çökeltme verimi çökeltim tankının alanının ve derinliğinin bir fonksiyonu olduğu için, tank derinliği "n" kata bölünerek tank işletmesi düşünülmüştür, "n" sayısı genellikle 2-3 arasında seçilir, eğer katsayısı çok arttırılırsa, olay artık kat bölmelerinde değil, çok küçük kesitli kanallar içerisinde meydana gelir. Bu kanalcıkların yan yana ve sık sık dizilmesi ile tüp veya plâkalı çökeltme tankları tipleri oluşturulmuştur [12].

### 1.11.2. Düşey Akımlı Çökeltme Tankları

Bu tür çökeltme tankları genellikle dairesel kesitli, bazen de dikdörtgen veya kare prizma şeklinde olurlar. Ayrıca, radyal akımlı çökeltme tankları olarak da isimlendirilmektedirler [12]. Daire planlı havuzlar merkezden veya çevreden beslenebilir. Fakat en çok kullanılan daire planlı havuzlar merkezden beslenen havuzlardır. Bazen radyal akışlı kare planlı havuzlarda kullanılır [8].

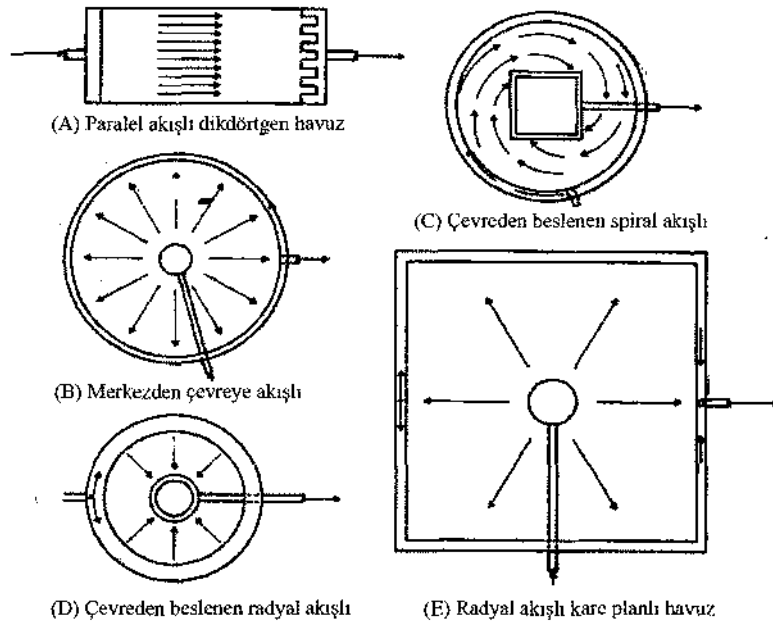
Dairesel kesitli düşey akımlı çökeltme tanklarında, tank besleme suyu ortadaki bir yapıdan verilip, kenarlardaki savaklardan veya tank içindeki ışınal toplama kanallarından alınabildiği gibi kenarlardaki savaklardan verilip ortadaki bir bölümden veya yine ışınal toplama kanallarıyla da alınabilmektedir. Yine, dairesel kesitli yatay akımlı çökeltme tanklarında, çökeltme işleminin tipine bağlı olarak, kimyasal (flokülant) çökeltme tipinde, ya tank dışındaki bir hacimde ya da tankın içinde orta bölümde flokülasyonun gerçekleştiği bir bölüm mevcuttur. Ancak, çökeltme, basit çökeltme tipinde ise böyle bir bölüme gerek yoktur [12].

Kimyasal (flokülant) çökeltmenin gerçekleştirildiği dairesel kesitli düşey akımlı çökeltme tanklarında, çökeltim işlemi dıştaki geniş hacimde meydana gelmektedir. Bu tür çökeltme tanklarında, su tank tabanından yüzeye yükseltilirken içindeki topaklar (floklar) yerçekimi kuvveti etkisiyle tabana doğru çökmeye başlarlar. Bunlarda, suyun yükselme hızı, flokların çökme hızından büyük olamaz. Çökeltme tankı, yüzeysel yükleme hızı, dane teorik çökme hızına yaklaştırılarak bu tiplerde çökeltme işleminin hızlandırılması sağlanmıştır. Çökeltme işlemi esnasında tank tabanına çökerek biriken taban çamuru, tabanda hareket eden bir mekanik sıyırıcı ile çamur toplama çukurlarına alınır ve bilahare çeşitli şekillerde tanktan uzaklaştırılır [12].

Düşey akımlı çökeltme tanklarının üzerinde yapılan araştırma ve geliştirmeler, suyun yükselme hızlarının artırılması üzerinde olmuştur. Bunların neticesinde, teorik hız sınırları yükseltilerek ve bu hız sınırı yakınında oluşan çamur tabakası kararlılığı artırılarak çamur yataklı (sludge Blanket) çökeltme tankları tipleri geliştirilmiştir. Bu tip çökeltme tanklarında, yüzey yüklemeleri, genellikle  $2.0-4.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{saat}$  veya  $0,6 \times 10^{-3} - 1,11 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{san.}$  arasında değişmektedir. Ayrıca, çamur döndürmeli, katı madde temaslı çökeltme tankları ile ağır floklu çökeltme tanklarını da düşey akımlı ve hızlandırılmış çökeltme tankları arasında belirtmek mümkündür [12].

Buraya kadar anlatılan, çeşitli çöktürme tankları bir çok ülkelerde ve bazıları da ülkemizde uygulanmaktadır. Çeşitli çöktürme tankları üzerinde yapılan araştırmalar ve geliştirmeler sonucu bunların çok değişik teknolojide olanları bulunmuştur. Bunların çoğu patent hakları ile yakından ilgili olduğu için, çöktürme tankı teknolojisinin seçiminde, hamsuyun karakteristikleri, tesisin yeri ve konumu ile ilk yatırım ve işletme giderlerine bağlı olarak daha basit işletilebilen ve fazla karmaşık olmayan tesisler ülkemiz için tercih edilebilir olmaktadır [12].

Çöktürme havuzlarındaki akım çeşitleri Şekil 25’ de gösterilmiştir.



Şekil 25. Çöktürme havuzlarında akış yönleri [8].

### 1.12. Çökelme Türleri ve Çökelme Prensipleri

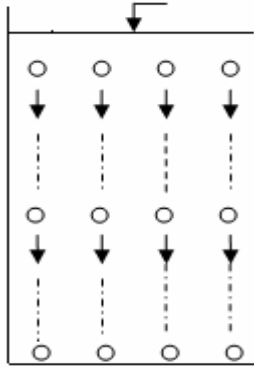
Çökelme, suda bulunan katı maddelerin ağırlıkları etkisiyle, su ortamından ayrılma olayı olmasına rağmen, katı maddeler çökelme esnasında farklılık gösterirler. Örneğin tek bir tanecik diğer tanecikten etkilenmeden çökeliyorsa, taneli ve serbest çökelme, eğer tanecikler çökelme esnasında yumaklaşarak bir çökelme oluşturuyorsa, yumaklı çökelme veyahut çökelen maddeler bir blok şeklinde çökeliyorsa bölgesel çökelme adını almaktadırlar. Taneli ve serbest çökeltmede, çökelme boyunca çökelme hızı sabit kalırken,

floklu çökelmelerde çökme hızları zamanla değişikliğe uğramaktadır. Taneli ve Floklu çökme olayları aşağıda daha geniş bir şekilde verilmektedir [14].

### 1.12.1. Serbest ve Taneli Çökme

Bu çökme türünde, su ve/veya atıksu ortamında bulunan tanecikler, diğer taneciklerle her hangi bir etkileşimde bulunmadan tek başlarına çöklerler. Taneli çökmede taneciğe etki eden kuvvetler, suyun kaldırma kuvveti, viskozite kuvvetleri (sürtünme kuvvetleri) ile ağırlık kuvvetleridir[14].

Tanecikler kendi ağırlıkları ile dibe çöklerken diğer taneciklerden etkilenmezler ve sürtünme kuvveti yerçekimi kuvvetine eşit oluncaya kadar çökme hızı artar, sürtünme kuvveti yer çekimi kuvvetine eşit hale gelince tanecik sabit hızla çökmeye başlar [14].

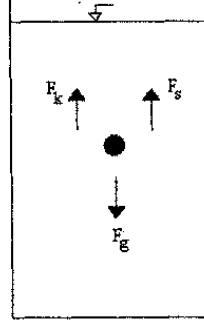


Şekil 26. Taneli çökme işleminin şematik gösterimi [14].

#### 1.12.1.1. Serbest ve Taneli Çökelmenin Prensibi

Serbest tanecik ağırlık etkisiyle çöklerken yukarıda da dediğimiz gibi, taneciğe üç kuvvet etki etmektedir (Şekil 27).

Bu kuvvetler, yerçekimi kuvveti, suyun kaldırma kuvveti ve sürtünme kuvvetleridir [14].



Şekil 27. Serbest çökme anında bir taneciğe etki eden kuvvetler[14].

Çökelen taneciğin hacmi ( $V$ ), yoğunluğu ( $\rho_s$ ) ise taneciğin kütlesi,

$$M_s = V \cdot \rho_s \text{ olur.} \quad (1)$$

Yerçekimi kuvveti ise,

$$F_g = M_s \cdot g \quad (2)$$

Bu bağıntıda,

$g$  = Yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

Su tarafından taneciğe kaldırma kuvveti ( $F_k$ ) uygulanmaktadır. Suyun taneciğe uygulandığı kaldırma kuvveti ise,

$$F_k = V \cdot \rho_w \cdot g \quad (3)$$

Taneciğin su içindeki net yerçekimi kuvveti ( $F_i$ ),

$$F_i = F_g - F_k$$

$$F_i = V \cdot \rho_s \cdot g - V \cdot \rho_w \cdot g$$

$$F_i = (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot V \quad (4)$$

Taneciğe etki eden diğerk kuvvet sũrtũnme kuvvetidir ve sũrtũnme kuvveti ( $F_s$ ) Newton eşitliği ile ifade edilmektedir [11].

$$F_s = C_D \cdot \frac{\rho_w}{2} \cdot S^2 \cdot A \quad (5)$$

Bu bağıntılarda,

$C_D$  : Sũrũkleme katsayısısnı,

$S$  : Taneciğin çøkeme hızını (m/sn),

$A$  : Taneciğin çøkeme yũnũne dik gelen kesit alanını ( $m^2$ ),

$\rho_w$  : Suyun yoğunluğunu ( $kg/m^3$ ),

$F_s$  : Sũrtũnme kuvvetini ( $kg.m/sn^2$ ),

$F_i$  : Net yer çekim kuvvetini ( $kg.m/sn^2$ )

ifade etmektedir.

Net çekim kuvveti ile sũrtũnme kuvveti birbirlerine eşit hale geldiği zaman, tanecik sabit hızla çøkelmeye başlar. Taneciğin sabit hızına çøkeme hızı denir ve aşağıda verilen eşitliklerden yararlanarak hesaplanır [14].

$$F_i = F_s$$

durumunda taneciğin çøkeme hızı sabittir. (4) ve (5) eşitlikleri yerine konursa,

$$(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot V = C_D \cdot \frac{\rho_w}{2} \cdot S^2 \cdot A$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda gerekli dũzenlemeler yapılırsa,

$$S = \sqrt{\frac{2}{C_D} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \cdot g \cdot \frac{V}{A}} \quad (6)$$

bağıntısı elde edilir.

Çøkelen tanecik kũre şeklinde olduğu kabul edilirse ve



$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3, A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (\text{Çökme yönüne dik olan dairenin alanı})$$

alınırsa ve (6) denkleminde yerine konursa

$$S = \sqrt{\frac{4}{3C_D} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \cdot g \cdot d} \quad (7)$$

bağıntısı bulunur.

(7) bağıntısında belirtilen sürtünme katsayısı ( $C_D$ ) aslında sabit değildir ve çökme şartlarında ( $Re$ ) sayısına bağlıdır[14].

$$Re = \frac{s \cdot d}{\gamma} \quad (8)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Bu bağıntıda,

$Re$  = Reynolds sayısını,

$s$  = Partikülün çökme hızını (mm/sn),

$d$  = Partikülün dane çapını (mm),

$\gamma$  = Kinematik viskoziteyi (10 ° C için,  $1,31 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/sn),

göstermektedir (Sıcaklığa bağlı kinematik viskozite değerleri Tablo 11'de verilmiştir).

Tablo 11. Sıcaklığa bağlı viskozite değerleri [20].

t, (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$\gamma$ , (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /sn)	1,79	1,52	1,31	1,15	1,01	0,90	0,80	0,73	0,66

Laminer akış koşullarında, yani  $Re < 1$  değerleri için, sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ),

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (9)$$

değeri alınmaktadır.

Laminer ve türbülanslı akım koşullarının dışında, geçiş bölgelerinin geçerli olduğu durumlarda, yani  $1 < Re < 2000$  olduğu koşullarda, ampirik bir değer olarak,  $C_D$ ,

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad (10)$$

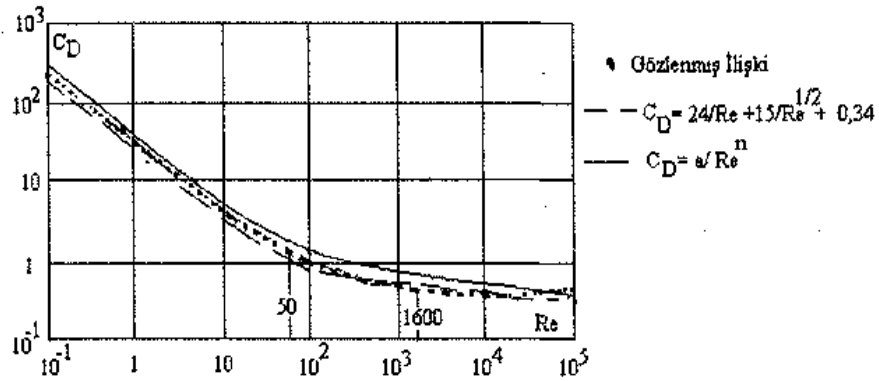
bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Türbülanslı akım şartlarında, yani  $Re > 2000$  olduğu durumlarda

$$C_D = 0,40$$

olarak alınmaktadır.

(Re) sayısına bağlı,  $(C_D)$  değerinin pratik yöntemlerle hesaplanabilmesi için (Re) değerlerine karşılık,  $(C_D)$  değerlerini ifade eden grafikler geliştirilmiştir [14], (Şekil 28).



Şekil 28. Küresel partiküller için Re ve  $C_D$  arasındaki ilişki [20].

Ancak, belli aralıktaki (Re) sayıları dikkate alınarak, hız denklemi tekrar düzenlenirse, aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

(Re) sayısının belli değerleri için  $(C_D)$  değerlerini hesaplamak mümkündür [20].

$$Re < 1 \rightarrow S = \frac{1}{18} \cdot \frac{g}{\gamma} \cdot \left( \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) \cdot d^2 \quad (11)$$

$$1 < Re < 50 \rightarrow S = \frac{1}{10} \cdot \frac{g^{0,8} \cdot (\rho_s - \rho_w)^{0,8}}{\gamma^{0,6} \cdot \rho_w} \cdot d^{1,4} \quad (12)$$

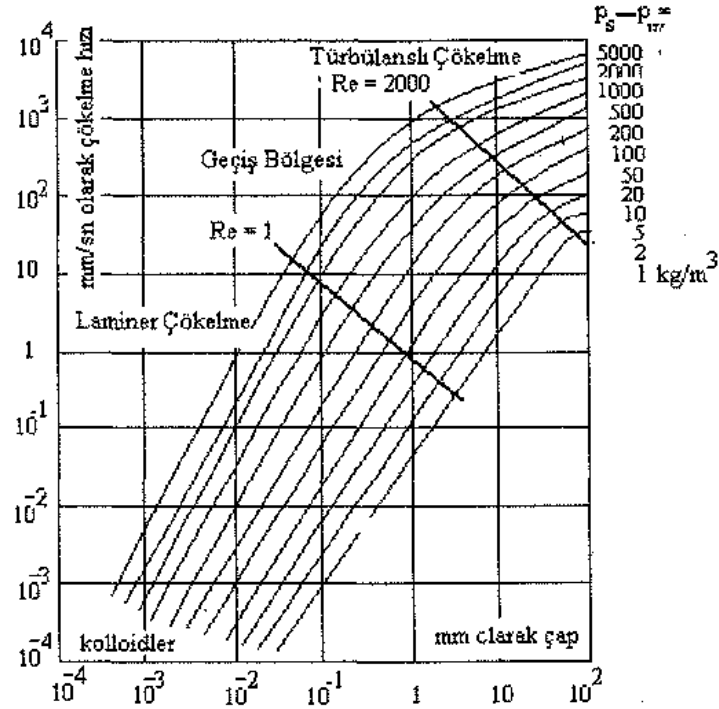
$$50 < Re < 1600 \rightarrow S = \frac{1}{2,13} \cdot \frac{g^{0,6} \cdot (\rho_s - \rho_w)^{0,6}}{\gamma^{0,2} \cdot \rho_w} \cdot d^{0,8} \quad (13)$$

$$1600 < Re \rightarrow S = 1,83 \cdot g^{0,5} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_w)^{0,5}}{\rho_w} \cdot d^{0,5} \quad (14)$$

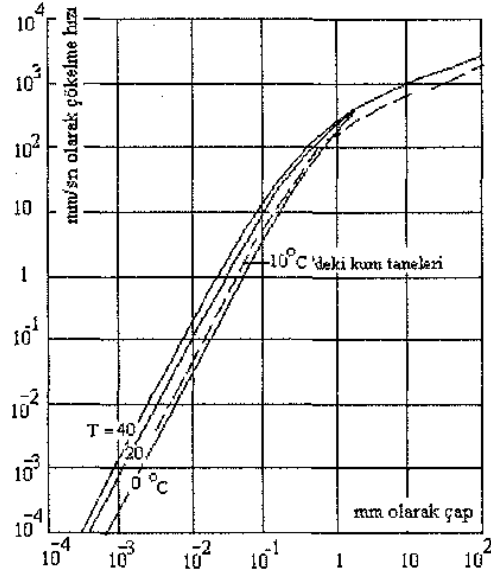
bağıntıları elde edilir [20].

Partiküllerin çökme hızlarına partikül yoğunluğu, partikül çapı ve suyun sıcaklığı gibi parametreler etkilemektedir.

Şekil 29'da yoğunluk farkı, tane boyutu ve çökme hızı arasındaki ilişkiler verilmektedir. Şekil 30'da, tane boyutu, suyun sıcaklığı ve çökme hızları arasındaki bağıntılar grafiksel olarak sunulmuştur:



Şekil 29. Yoğunluk farkı, tane boyutu ve çökme hızları arasındaki ilişki [21].

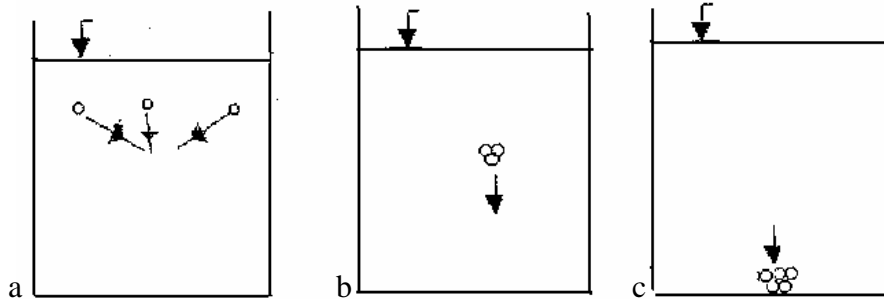


Şekil 30. Tane boyutu, suyun sıcaklığı ve çökme hızları arasındaki ilişki [21].

### 1.12.2. Floklu Çökme

Floklu çökme işleminde, su veya atıksu ortamında bulunan tanecikler, ortamdaki doğal karışmanın etkisiyle veya koagülant - flokülant madde ilavesiyle yumaklaşmaya başlar kütleleri artar ve hızlı bir biçimde çökmeye başlarlar. Bu çökme türüne en güzel örnek, kimyasal yumaklaştırma prosesini takiben taneciklerin kimyasal olarak çöktürülmesi işlemidir. Bunun yanında, su ve atıksu ortamında bulunan AKM'nin birincil çöktürme tanklarında çöktürülmesi işlemi de yumaklı çökme prosesine örnek olarak verilebilmektedir [14].

Kolloid halde bulunan tanecikler koagülant ilavesi ile yumaklaşmaya başlarlar, çökdikçe hem yumaklaşırlar hem de çökme anında hızları artar (Şekil 31).



Şekil 31. Floklu (yumaklı) çökme işleminin şematik gösterimi [14].

Yukarıda belirtildiği gibi floklu çökeltmede taneler serbest çökeltmeyip , çökeltme anında floklaşarak çökeltirler. Floklaşma oranı ve çökeltme verimi, yüzeysel hidrolik yüke, flokların derişimine, oluş şartlarına, bekleme süresine ve flokların çökeltme hızına bağlıdır. İstenen verimde bir flokülasyon tankı boyutlandırmak için pilot ölçekte çökeltme deneyleri yapılması gerekmektedir [14].

### 1.13. Boyutlandırma Esasları

İçme suyu tasfiye tesislerinde kullanacakları çöktürme havuzlarını boyutlandırmadan önce, laboratuarda yapılacak deneyler ile asılı maddelerin çökme özelliklerini tespit edilir.

Çökeltme hadisesi üzerine suyun ve ihtiva ettiği asılı maddelerin özellikleri tesirli olmaktadır. Mesela, su sıcaklığı, dane yoğunluğu, çapı, şekli gibi.

Boyutlandırmada bir fikir vermesi bakımından durgun sudaki kum ve şilt daneciklerin çökeltme hızları Tablo 13’de verilmiştir [8].

Görüldüğü gibi sudan ayrılması istenen danenin çapı çöktürme havuzunun hesabında mühim bir rol oynamaktadır. Çünkü hesaba esas alınacak yüzey yükü  $s_0$  ( $m^3/m^2$  saat) değeri buna bağlıdır. Aynı şekilde su sıcaklığı da ehemmiyetlidir. Viskozite sıcaklıkla değiştiğinden çökeltme hızları da sıcaklıkla değişmektedir [8].

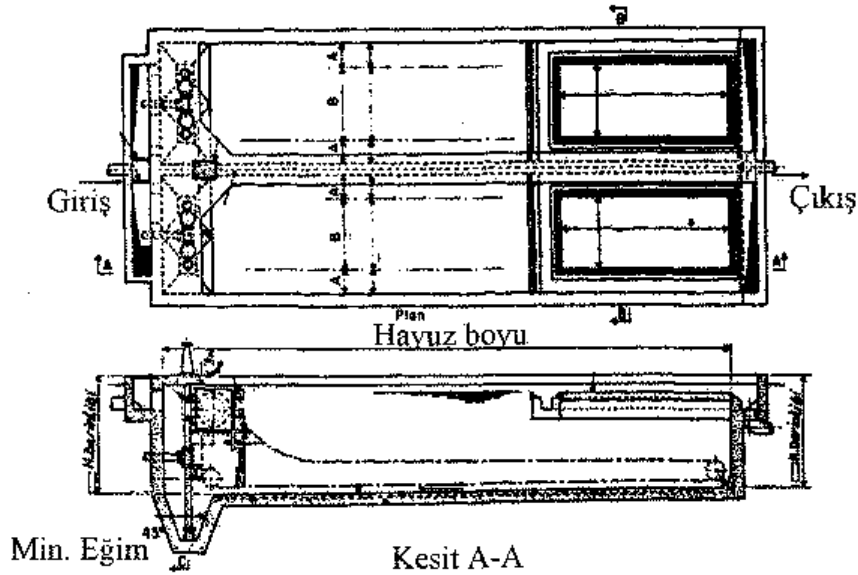
Tablo 12. Kum ve şilt daneciklerin sudaki çökeltme hızları [8].

Dane çapı	Sınıflandırma	Çökeltme Hızı	Yüzey yükü
mm		mm/sn	$m^3/m^2.st$
10.0	Çakıl	1000.0	3600
1.0		100.0	360
0.6		63.0	227
0.4	İri Kum	42.0	152
0.2		21.0	76
0.1		8.0	29
0.06		3.8	14
0.04	ince Kum	2.1	7.58
0.02		1.62	2.22
0.01		0.154	0.555
0.004	Silt	0.0247	0.088

Havuz boyutlandırılırken tasfiye edilecek su sıcaklığı azaldıkça çökeltme hızı, dolayısıyla yüzey yükü azalmaktadır. Yüzey yükünün azalması, gerekli havuz yüzey alanının artması demek olacağından, su sıcaklığının çöktürme havuzlarının boyutlandırılmasında çok önemli bir parametre olduğu unutmamak gerekir[8].

Bir diğer parametre danenin yoğunluğudur. Danenin özgül ağırlığı arttıkça çökeltme hızı artmaktadır [8].

Bugün inşa edilen çöktürme havuzlarının tamamı sürekli akım esasına göre çalışmaktadır. Çamurların da sürekli olarak alınması esastır (Şekil 32). Çöktürme havuzunun boyutlandırma parametresi olan yüzey yüküne bağlı olarak, yüzey alanı, bekleme süresine bağlı olarak havuzun derinliği, havuzun en kesit alanına bağlı olarak ise yatay su hızı hesaplanabilir [8].



Şekil 32. Mekanik çamur sıyırıcısı bulunan dikdörtgen çöktürme havuzu[8].

Esas boyutlandırma kistası, yüzey yükü  $s_0$  olduğundan bu değer uygun seçilmesi gerekir. Eğer havuz ideal bir havuz ise yüzey yükü, ayrılması istenen en küçük danenin çökeltme hızına eşit alınır. Ancak tatbikatta durum değişiktir, ideal havuzlar bahis mevzu değildir. Bu sebeple en küçük danenin çökme hızından bulunan yüzey yükleri 0,60 ile 1,00 arasında bir değerle çarpılmak suretiyle azaltılır. Bekleme müddetleri de 1,0-1,75 arasındaki bir değerle çarpılarak artırılır. Münferit danelerin bahis mevzu olduğu hallerde yüzey yükü azaltma faktörünün 0,8 ila 1,0, bekleme müddeti artırma katsayısının 1,0 ila

1,25 arasında alınması tavsiye edilmektedir. Yumaklı çökelme durumlarında bu katsayıların yüzey yükü için 0,60 ile 0,80, bekleme müddeti için 1,25-1,75 arasında alınması uygundur [8].

### 1.13.1. Yüzey Yükü

Projelendirmede esas alınacak yüzey yükleri, çöktürme havuzunun kullanılma maksadına göre çeşitli çalışmalardan elde edilen neticelerden alınabilir. Tablo 14'de çeşitli maksatlara hizmet eden çöktürme havuzları için yüzey yükleri, ( $s_0 = Q/A$ ) değerleri verilmiştir.

Tablo 13. Çöktürme havuzlarında yüzey yükleri [8].

Suyun cinsi	Tasfiye şekli	Yüzey yükü, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> , s t
Yüzey suyu	Alum ile yumaklaştırma	0,6-1,0
Yüzey suyu veya yeraltı suyu	Kireç ile yumuşatma	0,9-3,4
	Yukan akışlı duralama havuzları	1,8-2,5 (soğuksu) 2,5-4,5 (sıcak su)
	Yukarı akışlı yumuşatma havuzları	Yüzey sularında 3,0 e kadar Kuyu sularında 4,4 e kadar Genel olarak 1,8-6,0 arasında

Görüldüğü gibi yüzey yükü için geniş aralıklarda değerler verilmektedir. Tablo 14'de bir başka kaynak tarafından tavsiye edilen değerler gösterilmiştir. Bu tablo da verilen değerlerin büyük tesisler için olduğu belirtilmiş olup, orta büyüklükteki tesisler için bu değerlerin % 15-20 kadar azaltılması, küçük tesisler için ise daha da fazla azaltılmasının uygun olacağı tavsiye edilmektedir. Orta büyüklükteki tesis olarak günlük ortalama debisi  $Q = 130 - 250$  lt/sn olan tesisler düşünülmektedir.

Tablo 14. Yumaklaştırma sonundaki çöktürme havuzlarındaki yüzey yükleri [8].

Tasfiye Şekli		Yüzey yükü, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .st
Kireçle yumuşatma	Düşük Magnezyum	3,4
	Yüksek Magnezyum	2,7
Alum ile yumaklaştırma	Bulanıklık giderme	2,0
	Renk giderme	1,5-1,7

### 1.13.2. Derinlik ve Bekleme Müddeti

Münferit danelerin çökmesinde derinliğin fazla bir rolü yoktur. Ancak yumaklı çökmede havuz derinliği de mühim bir parametredir [4].

Çöktürme havuzunun hacmi yüzey alanı ile ortalama derinliğin çarpımına eşittir.  $V=A.H$ . Teorik bekleme müddeti ise havuz hacminin, debiye oranından bulunabilir. Yani:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{A.H}{Q}$$

A ve Q sabit olarak kabul edilirse, bekleme müddetinin derinliğe bağlı olduğu söylenebilir. Bekleme süresi havuzun kullanma gayesine göre seçilir. Çöktürme havuzları ekseriya yüzey sularındaki bulanıklığın yumaklaştırma ile giderilmesi veya yeraltı sularının kireç—soda usulü ile yumuşatılması işlemlerinde kullanılmakta olup, bu durumlarda bekleme müddetleri 2-4 saat arasında seçilmektedir [8].

### 1.13.3. Yatay Hız

Çökeltme havuzlarındaki yatay hızlar 2,5 ila 15 mm/sn civarında alınmalıdır [8].

### 1.13.4. Giriş ve Çıkış Şartları

Çökeltme havuzlarının giriş yapıları, debileri her bir havuza eşit olarak ve havuzun en kesiti boyunca üniform olarak dağıtılacak şekilde projelendirilmelidir. Giriş şeklinin, havuzun verimliliği bakımından ehemmiyeti, çıkış yapısından daha fazladır. Giriş kanallarındaki hızlar, yumakların parçalanmasını önlemek için 0,15 -0,60 m/sn gibi düşük değerlerde tutulmalıdır. Çöktürme havuzu girişindeki küçük bir değişiklik çöktürme havuzunun verimini değiştirebilir [8].



### 1.13.4.1. Çökeltim Havuzları Giriş Yapıları

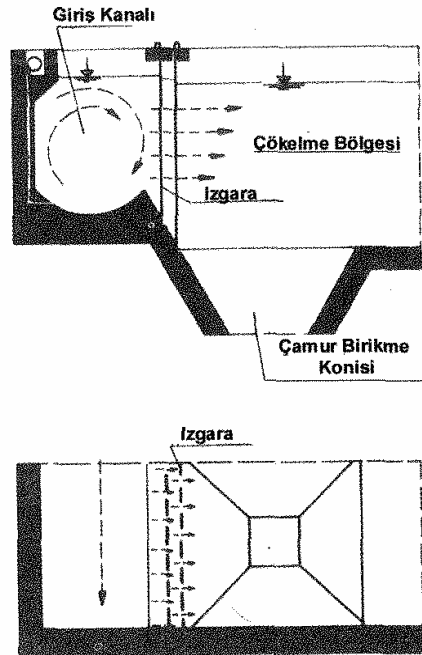
Çökeltim tanklarında istenen verimde bir çökeltme elde edilebilmesi için, çökeltim tanklarına giriş ve çıkış yapıları ilave edilir. Giriş yapıları, hızlı su girişini, türbülans oluşumunu, yoğunluk tabakalanmasını önlerler.

Tatbikatta kullanılan giriş şekilleri aşağıdaki gruplar halinde toplamak mümkündür.

#### 1-Izgara şeklindeki giriş tertibatı

Burada delik ve yarıklardan oluşan perde, giriş ağızlarınının 1 ~ 2 m. ötesine konur. Arıtma tesisine gelen suyun üniform olarak dağıtılması ve sakinleştirilmesi amacıyla arıtma tesisinde ızgara tipi giriş yapısı güvenle kullanılır. Izgara şeklindeki giriş tertibatı, şaşırtmalı olarak birbirine dikey olarak konulmuş iki seri yassı çubuktan meydana gelir. Yaklaşım yapısından gelen su, birinci ızgaranın yarıkları arasından ikincisine ve oradan da havuza geçer.

Bu ızgaralar genellikle dairesel çöktürme havuzlarında kullanılırlar.

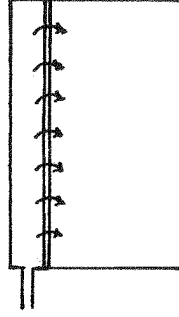


Şekil 33. Izgara şeklindeki giriş yapısı [15]

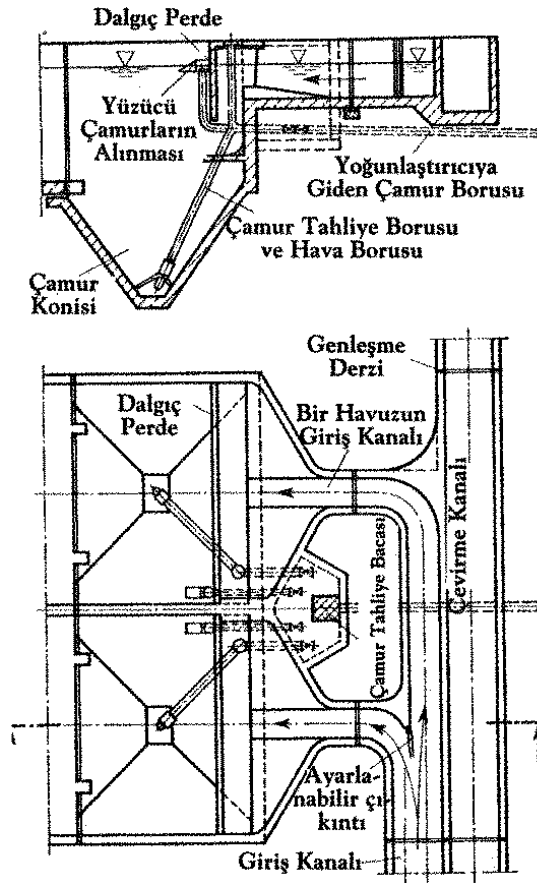
#### 2-Savak şeklinde giriş tertibatı

Savak şeklinde giriş tertibatı Şekil 34'de verilmiştir. Giriş tarafına konulacak bir savak ile üniform bir dağılım elde edilebilir. Bu tip girişler fazla kullanılmamaktadır.

Savak şeklindeki girişin özel bir şeklini dalgıç perdeli giriş tertibatları oluşturur. Burada derin bir perde çevirme engel olur. Bu tip giriş yapısının sakıncası perdenin arkasında ölü bölgenin oluşmasıdır (Şekil 35).



Şekil 34. Savak şeklindeki giriş tertibatı [22].



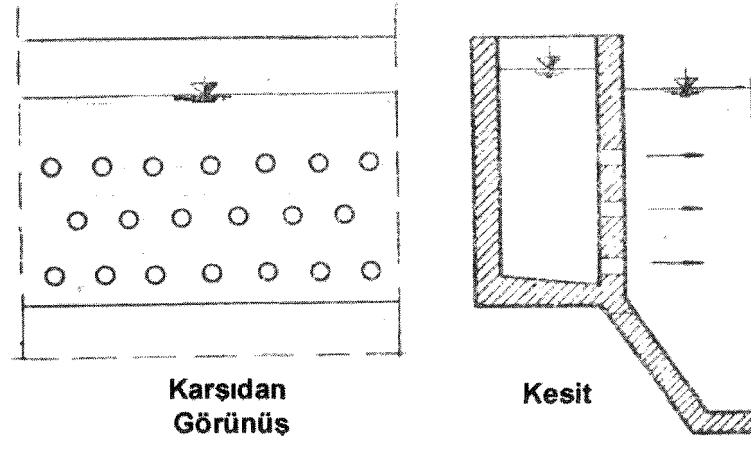
Şekil 35. Dikdörtgen bir çökeltim havuzunda emscher birliği tipi dalgıç perdeli giriş tertibatı [19].

### 3) Borulardan meydana gelen gelen giriş

Burada;

- Borulardan suyu havuzdaki akış istikametinde havuza sevk eden
- Borulardan suyu havuzdaki akış istikametinde ters yönde havuza sevk eden şeklindedir.

Bu tip giriş yapısında delikler, ya bir elek gibi bütün enkesit üzerine dağıtırlar yada su derinliğinin yarısında tertip edilirler. Geri akışlı giriş tertibatında ise sular, havuz üstünde asılı vaziyette duran bir kanaldan, çökeltme havuzunun alın duvarına doğru yöneltilmiş paralel borular vasıtasıyla akış yönüne zıt yönde havuza girerler (Şekil 36).



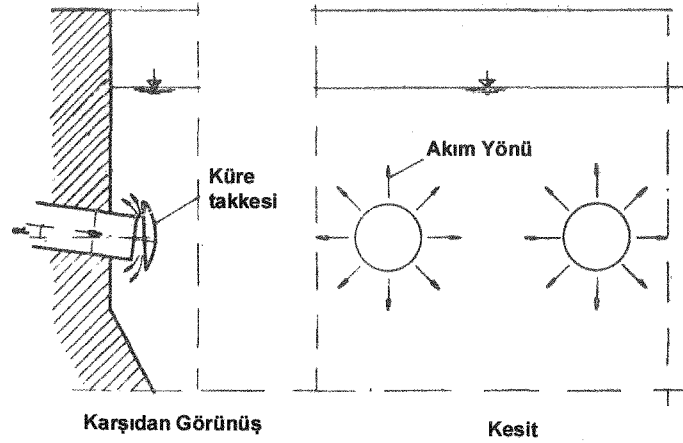
Şekil 36. Borulardan meydana gelen gelen giriş tertibatının özel bir şekli [22].

### 4) Su jetlerinin yön değiştirmesi prensibine göre yapılmış giriş tertibatı

#### (a) Stengel Giriş Tertibatı

En çok kullanılan giriş tertibatıdır ancak çok değişken debiler için bu tip giriş tertibatı uygun değildir. Çünkü giriş borusunda hız çok büyük olursa, küre kapağı önündeki su yastığı etkili bir şekilde enerji kırmak için yeterli olmaz.

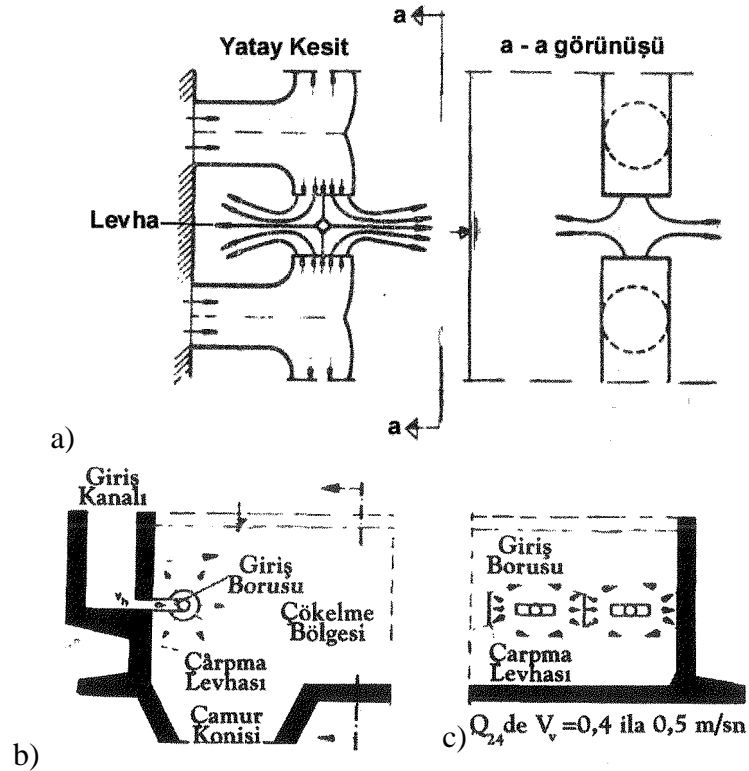
Stengel giriş tertibatı hem dikdörtgen, hem de dairesel havuzlar için kullanılır (Şekil 37).



Şekil 37. Stengel sistemi giriş [22].

#### (b) Geiger Giriş Tertibatı

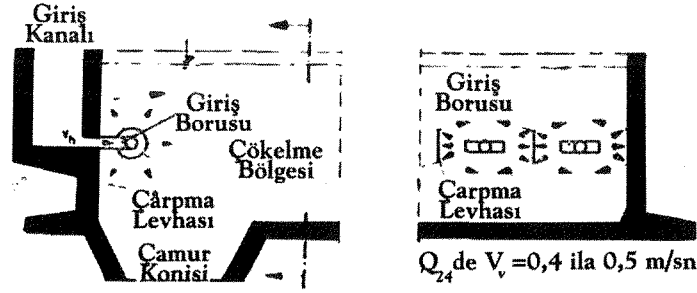
Bu tip giriş tertibatı, yatay olarak konulmuş T borularından meydana gelir. Ancak T borusunun kollarından çıkan su jetleri ortada bulunan çarpma levhasından geri dönerek büyük bir türbülansa sebep olurlar (Şekil 38).



Şekil 38. (a) Geiger girişinin prensibi, (b) Dikdörtgen çökeltme havuzu için Geiger giriş tertibatı, (c) Clifford giriş tertibatı [22].

## (c) Clifford Tipi Giriş

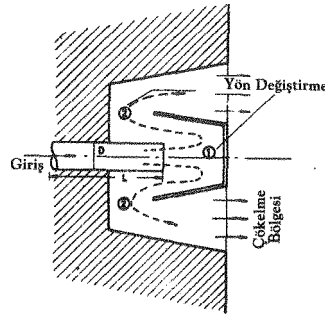
Bu giriş tertibatının bir dezavantajı; girişteki türbülansın tamamen kırılmamasıdır. Bunu ortadan aldirmek için Clifford, T borularının kollarını düşey olarak yerleştirmiş ve tabanda bir su yastığı meydana getirmiştir. Yukarı yönelen jet su yüzeyinde, aşağı yönelen jet ise tabandaki silindirik çukur içerisinde bulunan su yastığında yansıyor giriş bölgesinde bir araya gelirler ve böylece türbülansın sadece bu bölgede tutulması sağlanmış olur.



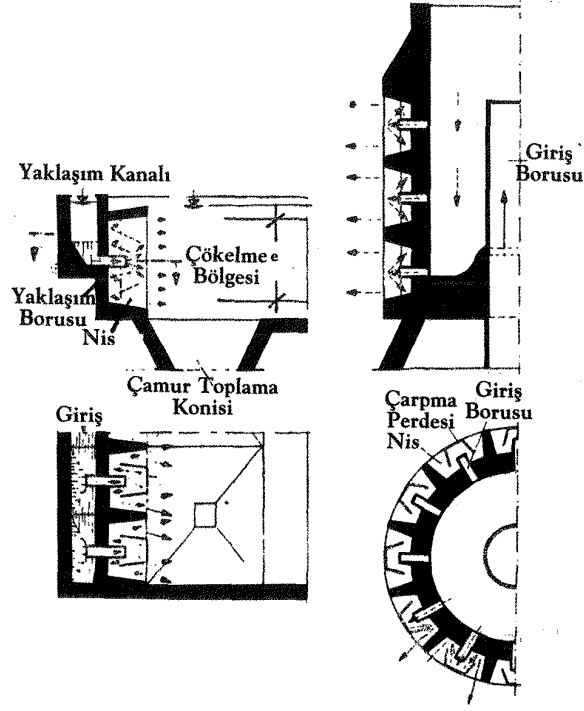
Şekil 39. Dikdörtgen bir çökeltim havuzunda Clifford tipi giriş ve kesiti [22].

## (d) Stuttgart Tipi Giriş

Bu giriş tipinde Clifford tarafından tavsiye edilen yansıma prensibi iki defa uygulanmıştır. Burada akım birbiri ardına iki defa yön değiştirmekte ve bu sırada akış kesiti devamlı olarak büyümektedir. Çarpma perdesi yatay veya daha iyisi düşey olarak tertibi mümkündür (Şekil 40).



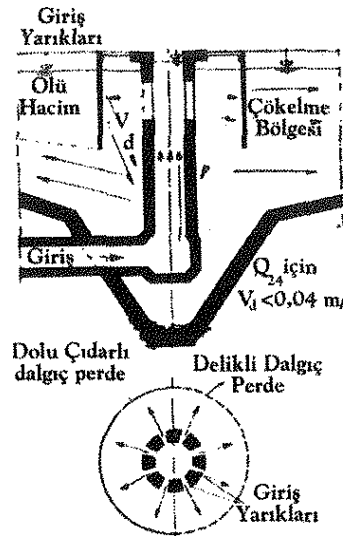
Şekil 40. Stuttgart tipi giriş tertibatının prensibi [15]



Şekil 41. Dikdörtgen ve dairesel çökelme havuzlarında Stuttgart giriş tertibatı [15].

##### 5) Delik ve yarıklardan meydana gelen giriş tertibatı

Burada sular dikdörtgen planlı çökelim havuzlarında havuzun alın duvarlarından açılmış deliklerden veya dairesel planlı çökelim havuzlarında giriş kuyusu duvarı üzerinde bulunan yarıklardan alınır.

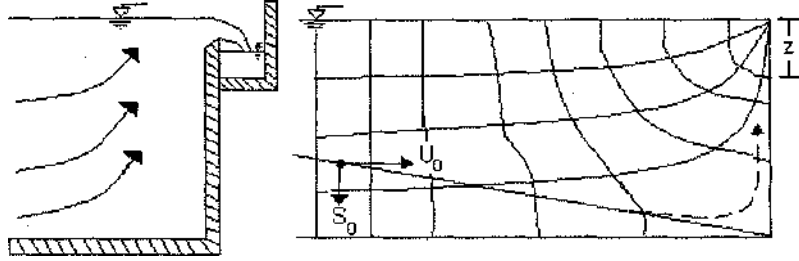


Şekil 42. Dairesel çökelim havuzlarının yarıklı giriş tertibatı [15]

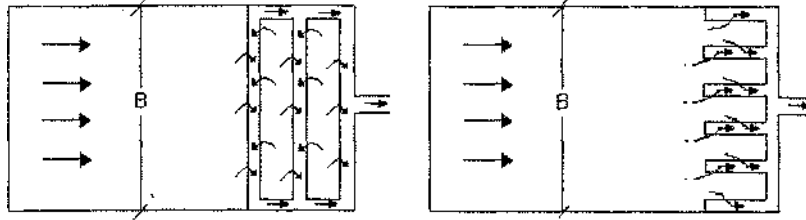
### 1.13.4.2. Çökeltim Havuzlarının Çıkış Yapıları

Su ve atıksu arıtma sistemlerinde kullanılan çökeltim tanklarında, çıkış suların hızını ayarlayan çıkış yapıları inşa edilmektedir. Çıkış yapıları çıkış suyundaki yatay hızı ayarlamakla, aynı zamanda, çökelen maddelerin tekrar hareketlenmesine de engel olduklarından arıtma verimine artırırlar[14].

Yatay akışlı dikdörtgen havuzlarda genelde tek savak yeterli, olmaktadır. (Şekil 43) Savak yükü ( $m^3/m.sn$ ) çok yüksek olursa dibe çökelen maddeler tekrar yükselir ve çökeltim verimi düşer[14].



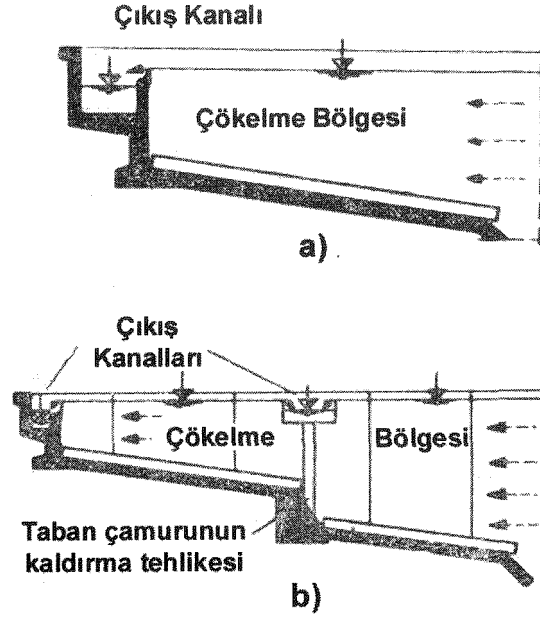
Şekil 43. Çöktürme tanklarında tek çıkış savağı[20].



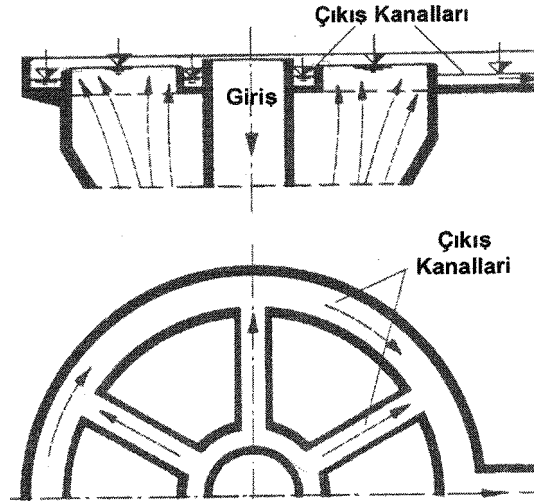
Şekil 44.Çöktürme havuzunda birden çok çıkış savağının bulunması[20].

Çıkış kanalları dikdörtgen ve dairesel planlı sığ çökeltme havuzlarında havuzun dışına tertip edilir. Savak uzunluğu artırılmak isteniyorsa, iki taraftan beslenen çıkış kanalları da yapılabilir (Şekil 45).

Dairesel planlı konik havuzlarda çıkış kanalları Şekil 46'da görüldüğü gibi düzenlenirse suların düşey istikamette üniform olarak akması sağlanır.



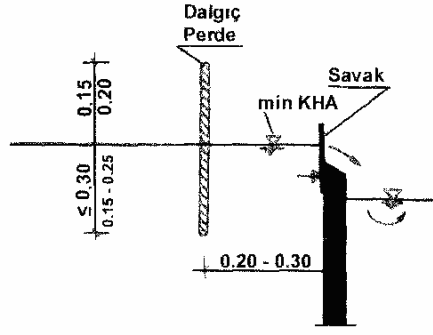
Şekil 45. (a) Çökeltme bölgesinin dışında teşkil edilmiş çıkış kanalı, (b) Çökeltme Bölgesinin oldukça iç kısmında teşkil edilmiş çıkış kanalı [15].



Şekil 46. Dairesel planlı konik havuzlarda çıkış kanalları [15]

Yağ ve gres gibi yüzücü maddelerin çökeltme havuzundan çıkış kanalına geçmesini önlemek için Şekil 47'de görüldüğü gibi bir dalgıç perde öngörülebilir.





Şekil 47. Dalgıç perdelerin tertip şekli [15].

### 1.13.5. Çökeltim Havuzları Savak Yapıları

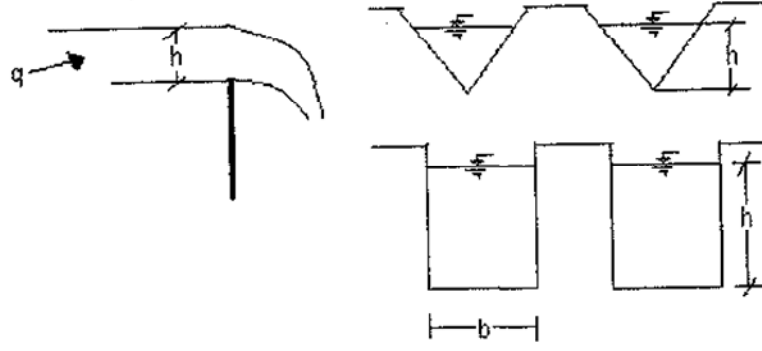
Çöktürme havuzlarındaki su seviyesi, genellikle çıkış savakları ile kontrol edilir. Çıkış savakları, ekseriya V savağı şeklinde yapılır. Çıkış savaklarına yakın yerde tabana çökelen malzemenin tekrar suya karışmaması için savak yüklerinin belli bir değeri geçmemesi icab eder. Uygun savak yükleri Tablo 16’de verilmiştir.

Tablo 15. Çöktürme havuzlarının savak yükleri[8].

Havuzun inşa maksadı	Savak Yükleri		
	l/sn.m	m <sup>3</sup> /st.m	m <sup>3</sup> /gün.m
Suyun durulanması	<7,2	<26	<622
Su Tasfiyesi, Hafif alum yumakları (Az bulanık sular)	1,6—2	5,8—7,2	138-170
Oldukça ağır alum yumakları (Çok bulanık sular)	2—3	7,2—11	170-260
Kireçle yumuşatmadan meydana gelen çok ağır yumaklar	3-3,7	11—13	260-320

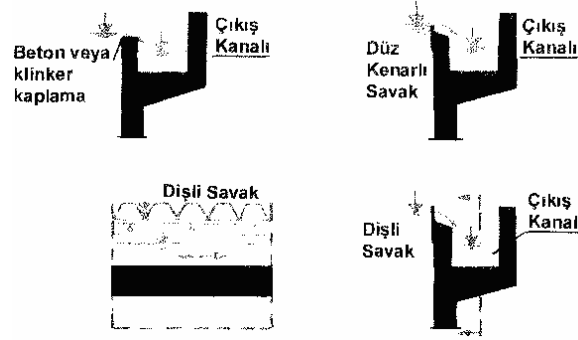
Su ve atıksuların arıtımında, genel olarak savak yükleri  $(2-3) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m.sn}$  mertebelerindedir. Bu savak yükleri, düz savaklarda çok küçük bir yükseklik oluşmasına neden olurlar. Örneğin, savak üstünde 10-14 mm'lik bir su yüksekliğini oluştururlar. Savak üstü su yüksekliklerinde 1 mm'lik bir sapma, debilerde %10- %15'lik bir değişikliğe neden olur. Bu nedenle genelde üçgen veya dikdörtgen kesitli savaklar tercih edilmekte ve dairesel çökeltim havuzlarının üzerinde çelik yapı olarak inşa edilmektedir [14].

Üçgen ve dikdörtgen kesitli savaklarda, değişik debide meydana gelen değişme oranlarda, savak üstündeki su yüksekliği değişmelerine neden olmaktadır (Şekil 48).



Şekil 48. Üçgen ve dikdörtgen kesitli savaklar [20].

Çıkış kanallarına gelen su savaklardan geçerek akar. Bu savakların Şekil 49'de görüldüğü gibi tertip şekilleri vardır.



Şekil 49. Çıkış savaklarının tertip şekli [15].

### 1.13.6. Çamurların Sıyırılması

Çöktürme havuzlarının tabanı normal olarak çamurun toplandığı çukura doğru eğimli olarak yapılır. Çökelen çamurlar ekseriya hidrolik olarak çamur toplama çukuruna doğru hareket eder. Çamur sıyırma tertibatının gayesi, çamurların çökeltme havuzu tabanına yapışmasını önlemek ve çamurun akışına yardım etmektir. Eğimli taban ve çamur çukura, çamurun zaman zaman uzaklaştırılacağı dikkate alınarak uygun hacimde yapılmalıdır. Çamur temas havuzlarında olduğu gibi, bazı hallerde çamurun devrettirilmesi faydalı olabilir. Çamur sıyırıcılarının hızları çok düşük olmalıdır. Aksi halde çökelen çamur tekrar suya karışabilir veya en azından çökeltme engellenebilir. Bu yüzden sıyırıcıların hızı  $0,30 \text{ m/dk} = 5 \text{ mm/sn}$  den daha küçük olmalıdır. Dairevi havuzların kullanılması halinde bazı

sıyırıcılarda çok hafif ve yeknesak maddeler için lastik kenarlı sıyırıcılar yerine vakumla emme yapan borular bulunur [8].

#### 1.14. Projelendirme Esasları

Ham suyun özellikleri ve tatbik edilen tasfiye şekli çökeltme havuzlarında daneciklerin çökme özelliklerine tesir eder. Çöktürme havuzları, en büyük akım sırasında dahi çökeltmiş suyun özellikleri bozulmayacak şekilde kâfi derecede bir kapasiteye sahip olmalıdır [8].

Suda asılı katı maddelerin miktarı, suyun sıcaklığı ve debisi mevsimden mevsime değişir. Mesela, bazı hallerde soğuk mevsimdeki daha düşük debiler, sıcak mevsimdeki yazlık debiden daha gayri müsait (kritik) olabilir. Çünkü kış aylarında su sıcaklığı azaldığından suyun viskozitesi artar, böylece çökme hızları azaldığından kış aylarındaki daha düşük debiler, yazlık debiye göre kritik olabilir [8].

Havuz sayıları, toplam debiyi karşılayacak şekilde ve işletmede arzu edilen esnekliği ve tesis maliyetleri göz önünde tutularak tespit edilir. Havuzlardan birisinin tamir, bakım ve temizlik gibi sebeplerle işletme dışı kalabileceği düşünülerek tesiste en azından iki adet paralel havuz yapılır. Çok büyük tesislerde ise havuz sayısı, bir havuzun en büyük boyutu dikkate alınarak bulunabilir. Ancak çok sayıda havuz seçilmesi halinde, havuzlardan birisinin herhangi bir sebeple işletme dışı bırakılması durumunda, çöktürmenin verimi üzerinde kayda değer kötü bir tesir meydana gelmez [8].

Projelendirmede, tamir ve bakım durumları daima dikkate alınmalıdır. Herhangi bir arıza durumunda havuzların kısa zamanda ve emniyetli bir şekilde boşaltılmaları düşünülmelidir. İş emniyeti ve tamir kolaylıkları, projelendirmede göz önünde tutulacak en mühim hususlardır [8].

Daha önce belirtildiği gibi kullanma maksadına ve asılı maddelerin çökme özelliklerine göre havuzun yüzey yükü  $s_0$  ( $m^3/m^2.st$ ) ve bekleme müddeti  $t_0$  (st) seçilir. Bundan sonra havuzun boyutlarını bulmak kolaydır. Yüzey alanı  $A = Q/s_0$  ve derinlik

$$H = s_0.t_0$$

ifadelerinden hesaplanır.

Havuzun yüzey alanı ve ortalama derinliği belli olunca havuzun geometrik şekli, (yani dikdörtgen, daire veya kare planlı) ve havuz sayısı tespit edilir. Dikdörtgen havuzlarda, en kesit alanı, yatay hız 5-10 mm/sn olacak şekilde bulunur. Sonra havuzun genişliği hesaplanır. Havuzun hakiki genişliğinin seçilmesinde, standart olarak imal edilmiş sıyırıcılar için genişlikler bahis mevzuu ise, bu genişlikler göz önünde tutulur. L/B (Uzunluk / Genişlik) oranı da uygun şekilde seçilerek havuzun taban eğimi tespit edilir. Böylece havuzun giriş ve çıkış kısımlarındaki derinlikler hesaplanır [8].

Daire planlı havuzlarda ise yüzey alanını karşılayacak çap bulunur. Çaplar standart hale getirilmişse, ona yakın standart çap alınır. İnşaatı basitleştirmek için iç çaplar uygun değerlere yuvarlatılır [8].

## **1.15. Kimyasal Çökeltme**

### **1.15.1. Kimyasal Temel İşlemler**

Su ve atıksu tasfiyesinde, kimyasal reaksiyonlar yoluyla bir takım değişmelerin meydana getirildiği işlemlere kimyasal temel işlemler denir [23].

Kimyasal çöktürme suda çözülmüş veya askıda bulunan maddelerin fiziksel durumunu değiştirerek çökelmelerini sağlamak için uygulanan bir arıtma işlemidir [24].

Ekseriya bu sırada sudan bazı maddeler uzaklaştırılırken bazı maddeler de suya ilave edilir. Fiziksel ve biyolojik temel işlemlerde ise daima suyun içindeki katı maddeler uzaklaştırılmaktadır. Bilhassa su tekrar kullanılacaksa veya içilecekse bu çok önemlidir. Fiziksel ve biyolojik temel işlemlerle kimyasal temel işlemler arasındaki en önemli fark budur. Kimyasal temel işlemlerin diğer bir mahzurlu tarafı da, kullanılan maddelerin pahalılığı sebebiyle, işletme masraflarının yüksek olmasıdır [23].

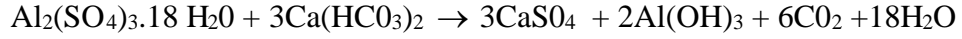
### **1.15.2. Reaksiyon Denklemlerinin Yazılması ve Kimyasal Çökeltmenin Hesabı**

Suyun ve atık suyun içindeki yabancı maddeleri çöktürmek maksadıyla kullanılan kimyasal maddeler ve bunların molekül ağırlıkları Tablo 16'de verilmiştir. Bu kimyasal maddeler, ya normal olarak suda bulunan, yahut da, hususi olarak suya ilave edilen maddelerle reaksiyon yaparlar. Meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ve bunların suların

içindeki yabancı, maddelerin çökeltilmesi ile olan ilişkileri aşağıda her bir madde için ayrı ayrı açıklanacaktır [23].

### 1.15.2.1. Çökeltici Olarak Alüminyum Sülfat Kullanılması

Kalsiyum ve magnezyum bikarbonat alkalinitesine sahip sulara alum ilave edildiği zaman, jelatinimsi, ve suda erimeyen alüminyum hidroksit yumakları meydana gelir. Bunlar suda asılı diğer yabancı maddeleri de üzerlerine toplayarak yavaş yavaş tabana çökeltirler. Bu reaksiyonun kimyasal formülü şu şekildedir [23].



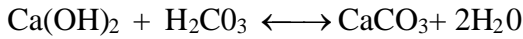
Alüminyum Sülfat                      Kalsiyum bikarbonat                      Kalsiyum sülfat                      Alüminyum hidroksit

Tablo 16. Su ve atıksu tasfiyesinde kullanılan kimyasal maddeler

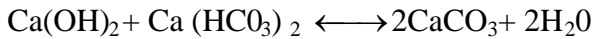
Kimyasal Maddenin İsmi	Kimyasal formülü	Molekül Ağırlığı
Alum	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	
Demir 2 Sülfat (Ferro sülfat)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	278,0
Kireç	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	CaO olarak 56
Demir 3 klorür (Ferri klorür)	$\text{FeCl}_3$	162,1
Demir 3 sülfat (Ferri sülfat)	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	400

### 1.15.2.2. Çökeltici Olarak Kireç Kullanılması Hali

Eğer suyun içindeki yabancı maddeleri çöktmek amacıyla tek başına kireç kullanılıyorsa, aşağıdaki reaksiyon meydana gelir:



Kalsiyum Karbonik hidroksit                      asit                      Kalsiyum karbonat

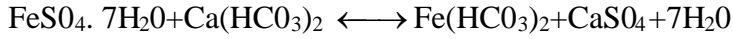


Kalsiyum Hidroksit                      Kalsiyum bikarbonat                      Kalsiyum karbonat

Bu sebeple sudaki serbest karbonik asit ve bikarbonatlarla koagülant olarak rol oynayacak olan kalsiyum karbonatları teşkil etmeye yetecek kadar kirecin suya ilave edilmesi gerekir. Bu maksatla kirecin yanında demir 2 sülfat da ilaveten kullanılırsa, çok daha az kirece ihtiyaç olur. Eğer mineral asitler veya asit tuzları ihtiva eden endüstri artıklarının çökeltilmesi söz konusu ise, bu işlemler tatbik edilmeden önce bu suların nötralize edilmesi gerekir [23].

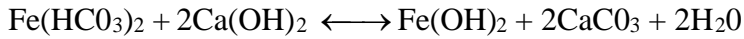
### 1.15.2.3. Çökeltici Olarak Demir 2 Sülfat ve Kirecin Birlikte Kullanılması Hali

Suda erimeyen bir maddenin meydana gelmesi için çoğu kere ferro sülfat (=demir 2 sülfat) tek başına kullanılamaz. Kirecin de birlikte kullanılması gerekir. Demir 2 sülfat yalnız başına kullanılırsa aşağıdaki reaksiyon meydana gelir[23].



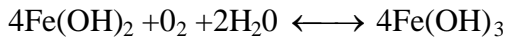
Ferro Kalsiyum		Ferro	Kalsiyum
sülfat bikarbonat		bikarbonat	sülfat

Şimdi kalsiyum hidroksit, yani  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  halinde kireç ilave edilirse, aşağıdaki reaksiyon meydana gelir:



Ferro	Kalsiyum	Ferro	Kalsiyum
bikarbonat	hidroksit	hidroksit	karbonat

Bundan sonra ferro hidroksit suyun içinde çözülmüş bulunan oksijen tarafından oksitlenerek ferri hidroksit haline dönüştürülür. İstenilen son şekil de budur:



Ferri  
hidroksit

Demir 2 sülfatın 10 mg/lt lik bir dozla tatbik edilmesi halinde gerekli alkalilik,  $(10)(100/278)=3,6$  mg/lt ; gerekli kireç,  $(10)(2 \times 56/278)=4,0$  mg/lt ; ve gerekli oksijen  $(10)[32/(4 \times 278)]=0,29$  mg/lt şeklinde hesaplanabilir. Suda erimeyen demir 3 hidroksit

(ferri hidroksit), hafif , çok yer işgal eden, jelatinimsi bir yumak şeklinde olup alum yumaklarına benzer. Demir 3 hidroksitin teşekkülü, çözülmüş oksijenin mevcudiyetine bağlı olduğundan, 15-6 denklemleriyle verilen reaksiyon, septik haldeki atıksular veya oksijen ihtiva etmeyen endüstri artıkları ile gerçekleşemez. Bu halde demir 3 sülfat, demir 2 sülfatın yerini alabilir ve bunun kullanılması, kireç ilavesini ve çözülmüş oksijenin mevcudiyetini gereksiz kılar. Suların ve atıksuların içindeki yabancı maddelerin, çökeltilmesi maksadıyla kullanılan diğer kimyasal maddeler aşağıda açıklanmıştır [23].

Demir 3 Klorür (Ferri Klorür)

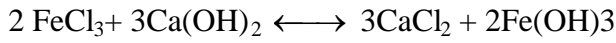


Ferri Su Ferri  
klorür hidroksit



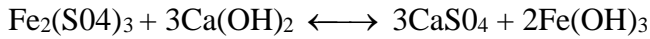
Bikarbonat Karbonik  
asit

Demir 3 Klorür ve Kireç;



Ferri Kalsiyum Kalsiyum Ferri  
klorür hidroksit klorür hidroksi

Demir 3 Sülfat ve Kireç;

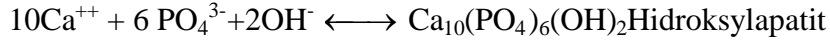


Ferri Kalsiyum Kalsiyum Ferri  
sülfat hidroksit sülfat hidroksit

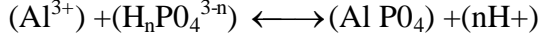
#### 1.15.2.4. Kimyasal Çökeltme Yoluyla Fosfat Giderilmesi

Kalsiyum Ca (II), Alüminyum Al (III) ve Demir Fe (III) iyonları yardımıyla fosfat, kimyasal çökeltme yoluyla sudan uzaklaştırılabilir. Bu esnada meydana gelen reaksiyonların denklemleri aşağıda verilmiştir [23].

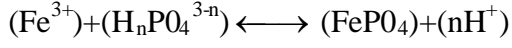
Kalsiyum İyonu ile Çökeltme:



Alüminyum iyonu ile Çökeltme:



Demir İyonu İle Çökeltme:



Kalsiyumla fosfat giderilmesinde, ilave edilen  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , önce suyun tabii alkalinitesi ile birleşerek  $\text{CaCO}_3$  çökeleği meydana getirir. Artan kalsiyum iyonları, yukarıdaki denklemde görüldüğü gibi, fosfatla reaksiyon yapar ve suda erimeyen  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  meydana getirir. Bu sebepten, genel olarak gerekli kireç miktarı, mevcut fosfat miktarından bağımsız olup, kullanılan suyun alkaliliğine bağlıdır [23].



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Boyut Analizi

Çok az sayıdaki akış analitik yöntemlerle tam olarak çözülebildiğinden, akışkanlar mekaniğinin gelişimi deneysel sonuçlara bağlı kalmıştır. Gerçek problemlerin çözümü analiz ve deneylerin birlikte kullanılmasını gerektirir. Önce çözüm oluşturacak basit bir matematik model oluşturulur. Daha sonra deneysel sonuçlar analitik sonuçların kontrolü için kullanılır. Ölçümlere dayanarak analizde gerekli ince ayarlar yapılır[25].

Ancak laboratuarda yapılan deneysel çalışmalar hem çok zaman alır hem de pahalıdır. Bu nedenle en önemli hedef en az deneyle en çok bilgiyi toplamaktır. Boyutsal analiz bu hedefe ulaşmakta önemli bir araçtır [25].

#### 2.1.1. Model Teorisi

Bir model meydana getirilirken modelle prototip arasında geometrik, kinematik ve dinamik olmak üzere üç türlü benzerlikten bahsedilebilir.

Modeldeki uzunluk  $L_m$ , prototipteki bu uzunluğa karşı gelen uzunluk  $L_p$  ise

$L_r = L_m / L_p$  oranı sabit ise, bu iki sistem birbirine geometrik benzerdir denir.  $L_r$  uzunluk ölçeğidir .

Geometrik olarak benzer olan ve model üzerindeki bir noktada hız  $U_m$  ve prototipte bu noktaya tekabül eden noktadaki hız  $U_p$  ise,  $U_r = U_m / U_p$  oranı sabit ise, bu iki sistem arasında kinematik benzerlik vardır denir[26].

Kinematik benzer iki sistem, model ve prototipte birbirine karşı gelen noktalara etkiyen muhtelif menşeli kuvvetler arasında  $F_r = F_m / F_p$  oranı mevcut ise, bu iki sistem dinamik benzerdir denir.

Modelde ölçülen büyüklüklerin prototipe aktarılması, aynı şekilde prototipte ölçülen büyüklüklerin de modele aktarılması istenmektedir. işte model ve prototipten birinden diğerine geçiş için benzerlik şartlarına ihtiyaç vardır. Benzerlik şartları ; Dinamik metot, Boyut analizi ve Diferansiyel denklem metotlarından biri kullanılarak yapılabilir. Bunlardan en basit metot, dinamik metot olup, metotta model ve prototipe etkiyen muhtelif kuvvetlerin oranları aynıdır [26].

İki adet modelleme vardır. Froude sayısına göre ve Reynolds sayısına göre modellemelerdir.

### 2.1.1.1. Froude Sayısına Göre Model

Atalet kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetine oranı Froude sayısı olarak adlandırılır. Serbest yüzeyli akımlarda benzeşimin gerçekleşmesi için genelde model ve prototipdeki Froude sayıları eşit olmalıdır.

Viskoz kuvvetlerin ihmal edilebileceği modeller (bağlamalar, barajlar üzerindeki akım, düşüm yatakları, akarsu düzenlemeleri, v.s.) bu kanuna göre yapılır [26].

$$F_r = \frac{U^2}{g.L} \quad (22)$$

$$F_M = F_P$$

$$L_r = \frac{L_M}{L_P} = \text{Geometrik ölççek} \quad (23)$$

$$U_M = U_P \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^{1/2} = \text{Model yatay akım hızı} \quad (24)$$

$$Q = U . A$$

$$Q_M = Q_P \cdot \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^{5/2} = \text{Model debi} \quad (25)$$

### 2.1.1.2. Reynold Sayısına Göre Model

Reynold sayısı, bir akışkanın, atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlerine olan oranıdır . Basıncılı akımlarda benzeşimin gerçekleşmesi için model ve prototip de Reynold sayıları eşit olmalıdır.

$$\text{Re} = \frac{U_o \times R}{\nu}$$

$$(\text{Re})_m = (\text{Re})_p$$

$$L_r = \frac{L_M}{L_P} = \text{Geometrik ölçek}$$

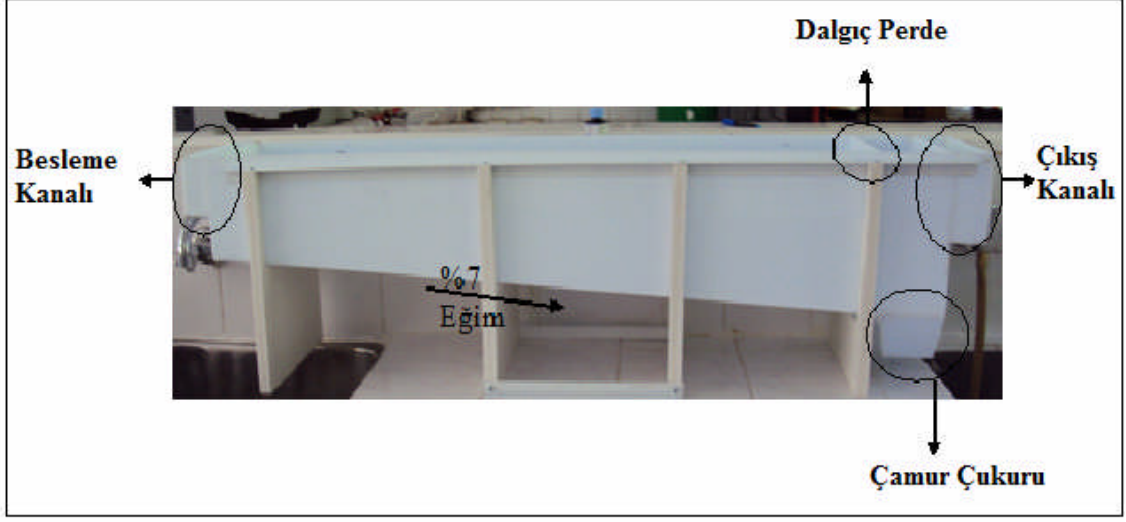
Yukarıda ifade edilen modellemelere göre, model havuzumuzda serbest yüzeyli akış olacağı için Froude sayısı kullanılmıştır ve geometrik ölçek olarak 1/20 seçilmiştir.

## 2.2. Deney Düzenekinin Tanımlanması

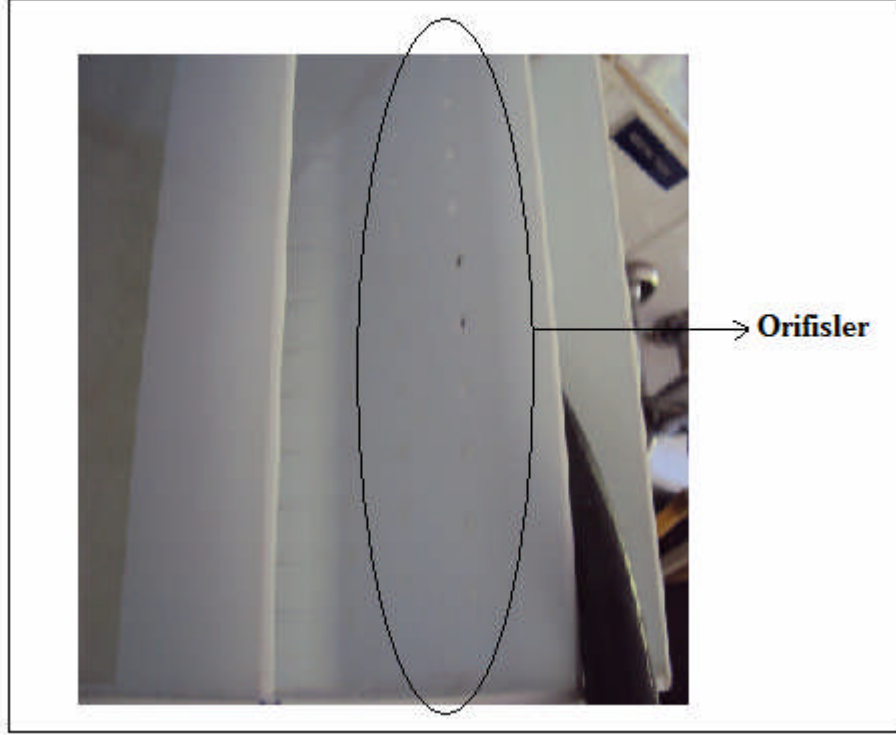
İller Bankasının 2007 tarihinde onaylamış olduğu Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) İçme suyu Arıtma Tesisi Kesin Projesi prototip olarak alınmıştır ve projede kullanılan çökeltim havuzu 1/20 ölçeğinde küçültülerek pleksiglas malzemenin modeli oluşturulmuştur.

### 2.2.1. Çökeltim Havuzunu Oluşturan Parçalar

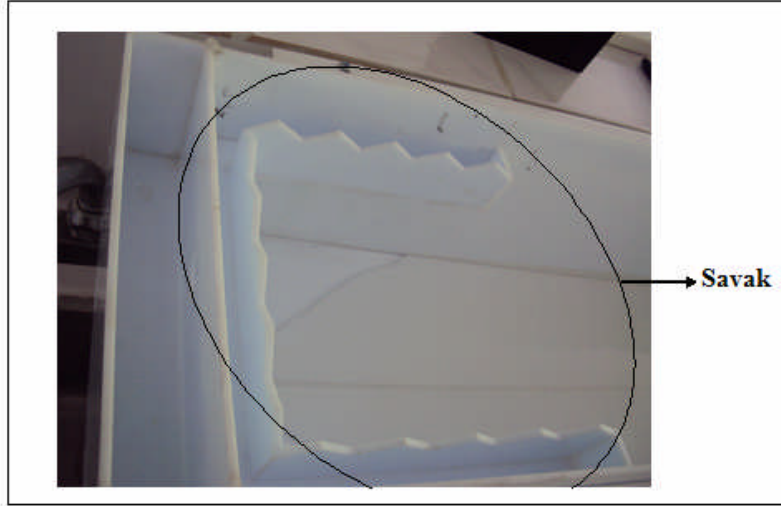
- 1-Besleme kanalı
- 2-Orifisler
- 3-Çamur çukuru
- 4-Dalgıç perde
- 5-Havuz tabanı boyuna eğim %7, enine eğim %10
- 6-Savak
- 7-Çıkış kanalı



Şekil 50. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesinin çökeltim havuzundan uyarlanarak yapılan model



Şekil 51. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesinin çökeltim havuzundan uyarlanarak yapılan modelin orifisleri



Şekil 52. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesinin çökeltim havuzundan uyarlanarak yapılan modelin savağı

### 2.2.2. Havuzun İşleyişi

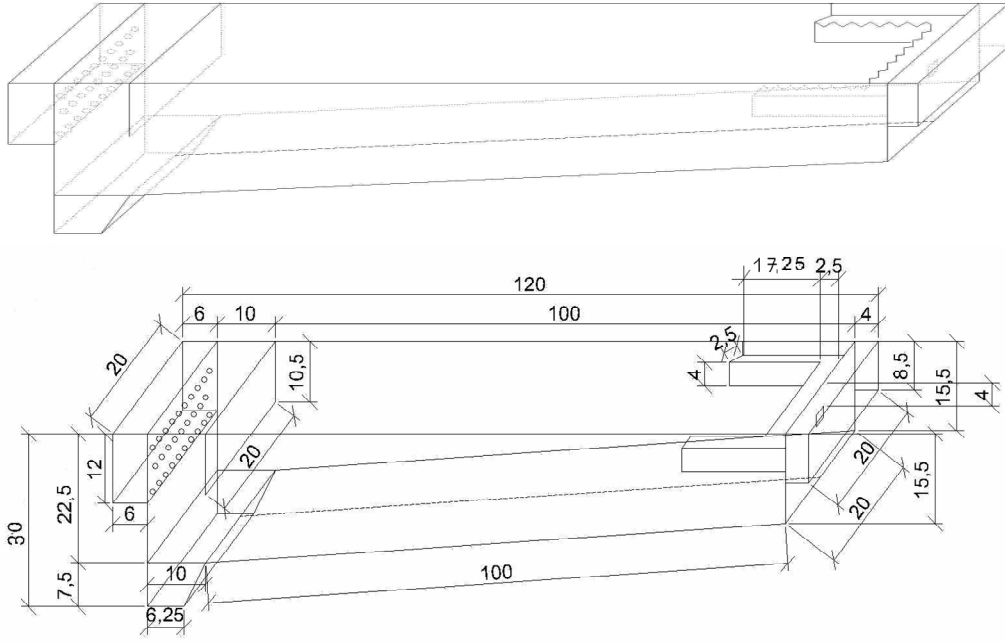
- 1-Su besleme kanalından verilir.
- 2-Su orifislerden geçecektir.
- 3- İçeri giren suyun hızını kırmak için dalgıç perdeler yapılmıştır. Su içeri girdikten sonra bu perdeye çarparak yavaşlayacaktır.
- 4- Giren suyun içindeki daneler çökelecektir.
- 5- Çökelen daneler havuz tabanındaki boyuna yönde %7 eğimle ve enine yönde % 10 eğim vasıtasıyla çamur çukuruna doğru gidecektir.
- 6- Üst kısımda kalan duru su savak vasıtasıyla bırakılan delikten çıkış kanalına gelecektir.
- 7- Çamur çukurunda oluşan çamur bırakılan delikten alınacaktır.

### 2.2.3. Çökeltim Havuz Modelinin Ölçüleri

Projeden hareketle ölçeklerle oynanarak oluşturulan düzenek;

- Giriş derinlik 20 cm,
- Çıkış derinlik 13 cm,
- Ortalama derinlik 15.5 cm

- Havuz uzunluğu 110 cm
- Havuz genişliği 20 cm
- Havuz boyuna eğim %7
- Havuz enine eğim %10
- Çamur çukuru üst açıklık 10x20 cm
- Çamur çukuru alt açıklık 6,25x12,5 cm
- Besleme kanalı 6x20x9,5 cm
- Çıkış kanalı 4x20x8,5 cm
- Savak uzunluğu 54,5(17,25+17,25+15+2,5+2,5)cm
- Orifis çap ve adedi 5 mm ve 29 adet
- Çıkış deliği ebatı 2x2 cm
- Perde ebatları 20x10,5



Şekil 53. Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) içme suyu arıtma tesisi kesin projesinin çökeltim havuzundan uyarlanarak yapılan modelin çizimi

### 2.3. Teorik Hesaplamalar

Modellin hesapları Froude sayısı göre yapılacaktır. Ölçek :1/20, bu ölçeğe göre modellendirilecektir.

$$\frac{L_M}{L_P} = \frac{1}{20} \longrightarrow L_M = \frac{L_P}{20}$$

$$Fr_r = \frac{U}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$$Fr_m = Fr_p$$

### 2.3.1. Yatay Akım Hızı

$$\frac{U_M}{\sqrt{g \cdot L_M}} = \frac{U_P}{\sqrt{g \cdot L_P}} \longrightarrow \frac{U_M}{U_P} = \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^{1/2} \longrightarrow U_M = U_P \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^{1/2}$$

$$U_M = 0,0018 \left( \frac{1}{20} \right)^{1/2} = 4 \times 10^{-4} \text{ m / sn}$$

### 2.3.2. Havuzun Debisi

$$Q = U \cdot A$$

$$Q_M = U_M \cdot A_M \quad Q_P = U_P \cdot A_P$$

$$\frac{Q_M}{Q_P} = \frac{U_M \cdot A_M}{U_P \cdot A_P}$$

$$\frac{Q_M}{Q_P} = \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^{1/2} \left( \frac{A_M}{A_P} \right)$$

$$\frac{Q_M}{Q_P} = \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^{1/2} \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^2$$

$$\frac{Q_M}{Q_P} = \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^{5/2} \longrightarrow Q_M = Q_P \cdot \left( \frac{L_M}{L_P} \right)^{5/2}$$

$$Q_M = 23,75 \cdot \frac{3600}{1000} x \left( \frac{1}{20} \right)^{5/2}$$

$$Q_M = 0,0478 m^3 / saat \cong 0,0133 lt/sn$$

### 2.3.3. Havuzun Yüzey Yüğü

$$S = \frac{Q}{A}$$

$$S = \frac{0,0478}{0,2 \times 1,1} = 0,238 m^3 / m^2 / saat$$

### 2.3.4. Hidrolik Tahkiki

$$Fr = \frac{U_M}{\sqrt{gxR}}$$

$$R = \frac{W + H_{ortalama}}{W + 2xH_{ortalama}}$$

$$R = \frac{0,2 + 0,165}{0,2 + 2 \times 0,165} = \frac{0,365}{0,530} = 0,688 \text{ m}$$

$$Fr = \frac{(4 \times 10^{-4})}{\sqrt{9,81 \times 0,688}} = 1,54 \times 10^{-4} < 1$$

Froude sayısının büyük olması arzu edilir. Büyük olmadığı takdirde havuzda kısa devreler yani yoğunluk farklılıklarından, rüzgardan, giren sıvının ataletinden meydana gelen çevriler de yatay hızın değişmesine yol açan, kısa devreler denilen bu akımlar havuzda göze çarpar Fr sayısı büyük olmadığından , kısa devrelerin oluşumuna engel olmak için havuzda batık savak olacaktır.



### 2.3.5. Çökeltme Tankı Besleme Kanalı

Dağıtım kanalına ulaşan su, bu kanalın karşı perdesinde bırakılan 2x2 cm boyutundaki kapak açıklıktan geçerek, besleme kanalına ulaşır. Besleme kanalındaki orifislerden geçerek üniform bir şekilde çökeltme tankına geçiş yaparlar.

Besleme kanalının boyutları;

$$E_n, w = 0,06 \text{ m}$$

$$\text{Boy, } L = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Derinlik } h = 0,095 \text{ m}$$

Besleme kanalının karşı perdesinde teşkil edilen orifislerin çapı  $\Theta = 5 \text{ mm}$  olup, 3 sıra halinde yerleştirilmiştir. 1. ve 3. sırada 10 adet 2. sırada 9 adet olmak üzere toplamda 29 orifis vardır.

Suyun bu deliklerden geçiş hızları ve yük kayıpları;

$$U_b = \frac{1,327 \times 10^{-5}}{29 \times 0,005} = 9,15 \times 10^{-5} \text{ m/sn}$$

$$h_b = \frac{(9,15 \times 10^{-5})^2}{0,344^2 \times 2 \times 9,81} = 3,6 \times 10^{-9} \text{ m} \approx 0,00 \text{ m}$$

Su tank içinde girişte türbülans yaratmaması için, tank girişinden 0,01 m sonra, su içinde 0,08 m batık şekilde bir dalgıç perde yerleştirilmiştir.

### 2.3.6. Suyun Tank İçinde Bekletilme Süresi

Havuz hacmi;

$$V_h = 0,2 \times 1,1 \times 0,165 = 0,0363 \text{ m}^3$$

$$t_b = \frac{V}{Q} = \frac{0,0363}{0,0478} = 0,76 \text{ saat} = 45,6 \text{ dk} = 2736 \text{ sn}$$

### 2.3.7. Çamur Toplama Konileri

Bu çamur toplama konisinin üst yüzeyi ;0,2x0,1 m ve alt yüzeyi 0,125x0,0625m boyutlarında h=0,075 m derinliğindedir.

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + \sqrt{A_1 \times A_2} + A_2)$$

$$A_1 = 0,2 \times 0,1 = 0,02 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,125 \times 0,0625 = 7,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0,075}{3} (0,02 + \sqrt{0,02 \times 7,8 \times 10^{-3}} + 7,8 \times 10^{-3})$$

$$V = 0,0001 \text{ m}^3$$

### 2.3.8. Çökelmiş Su Toplama Savakları

Birim savak debisi;

Savak uzunluğu;0,545 m

$$q = \frac{0,0478 \times 24}{0,545} = 2,1 \text{ m}^3 / \text{m.st}$$

### 2.3.9. Çökelmiş Su Ana Toplama Kanalı

Çökelme tankı sonunda tertip edilen savak ile toplanan su, kanalın karşı perdede bırakılan açıklıktan geçerek ana toplama kanalına iletilir. Bu açıklığın boyutu 0,02x0,02 m olup, suyun geçiş hızı şöyledir.

$$U_k = \frac{1,33 \times 10^{-5}}{0,02 \times 0,02} = 3,32 \times 10^{-4} = 0,0332 \text{ m/sn}$$

## 2.4. Laboratuvar alışmaları

Bu alışma kapsamında model havuzda ham suyun ilerleyişi gözlemlenerek, giriş ve çıkış suyu verileri analiz edildi.



şekil 54. Dikdörtgen keltim havuz modeli

Düzeneğin deneye hazır hale getirilebilmesi için, devamlı su sirkülasyonunun olması gerekmektedir. Bunun için Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisi laboratuvarında gerekli çalışmalar yapılmıştır.

Öncelikle ham suyumuzun ayt analiz sonuçlarının tespiti için gerekli çalışmalar yapılmıştır.

## 2.5. Deneysel lmler ve alışmalar

### 2.5.1. Bulanıklık lm

Aşağıda görülen alet suyun bulanıklığını ölçen turbidimetredir. Bulanıklık değerleri gelen suyun sürüklemiş olduğu malzemeye göre değişmektedir. Hamsu verilerinde bulanıklık değerleri 4000 NTU - 2 NTU aralığında çıkabilir. Aradaki bu fark mevsimsel şartlar dan ve sürüklenen malzemedan kaynaklanmaktadır. Genelde kişim düşük olan bulanıklık değerleri yazın yüksek olur.

Ham suyumuzun ve duru suyumuzun bulanıklığı bu aletle ölçüldü.



Şekil 55. Turbidimetre (Bulanıklık ölçüm cihazı)

Ham suyun çıkan bulanıklık değerlerine göre ne kadar alüminyum sülfat  $Al_2(SO_4)_3$ , Poli alüminyum klorür (PAC) ve Poli elektrolit uygulaması gerektiği Jar Test deneyi ile tespit edilmiştir.

### 2.5.2. Jar Test Uygulaması ile Dozlama Ölçümü

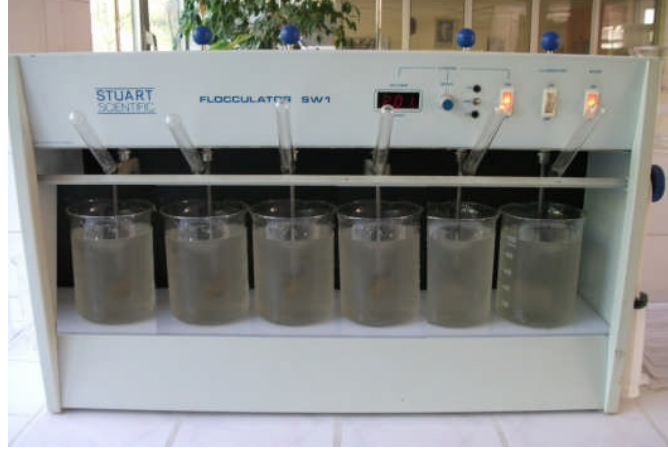
Arıtma tesisi operatörleri ve kimyagerler hem çok kaliteli bir çıkış suyu, hem de iyi bir kimyasal arıtma dengesi kurmak durumundadır. Bunu sağlamaksa çoğu zaman pek kolay değildir, dengeyi sağlamak için konacak kimyasalların sonuçları alınmadan kararlaştırılması durumu, dozaj ve kimyasal seçimi isabetli olmamışsa yeniden kimyasal harcanması, uygun madde ve dozajın seçimi söz konusudur. Teori ve formüller koagülant seçimi ve dozaj hesaplamasında tamamen yardımcı olmadıklarından, bu konuda laboratuvar flokülatörü (jar test) çok faydalı bir araç olmaktadır.



Şekil 56. Jar Test düzeneği

Kısaca Jar Test ham sudaki analiz sonuçlarına göre ne kadar kimyasal madde dozlanması gerektiğini numuneler üzerinde deneyler yaparak bulan alettir.

Jar Testde uygun dozlamayı bulmak için yapılan deney aşağıda ifade edilmektedir.



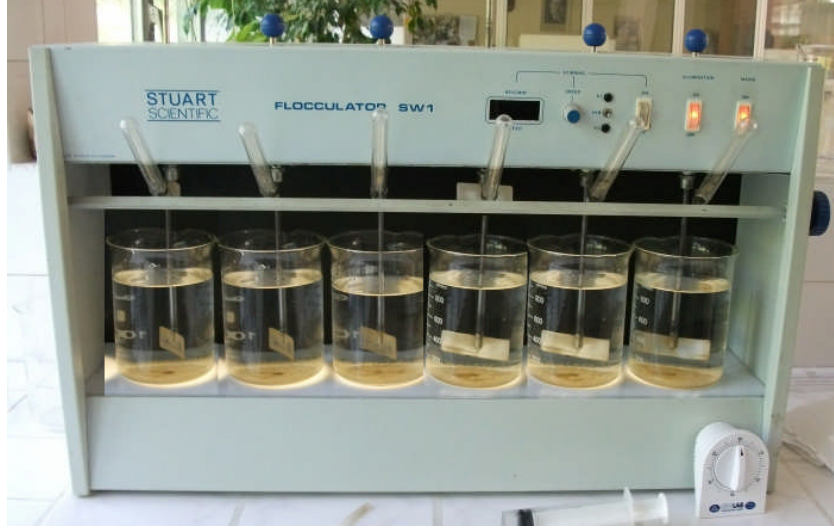
Şekil 57. Jar Testde numunelere dozlama yapılması

1000 ml'te 6 adet beherkabi hamsu ile doldurulur ve farklı değerlerde alüminyum sülfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ), poli alüminyum klorür (PAC), polielektrolit dozlamaları yapılır, dozlama sonrası hızlı karıştırılarak floklaşmanın oluşması sağlanır.



Şekil 58. Floklaşma olan numune örneği

Oluşan flokların çökmesi gerçekleştirildikten sonra duru bir su elde edilir.



Şekil 59. Floklar çökeldikten sonra oluşan duru su

Elde edilen durusu verilerinden hangi dozlamada daha iyi sonuçlar alınıyorsa hamsu bulanıklığını gidermek için o dozlama yapılır. Havuzumuza yapılacak olan dozlama miktarı tespit edildikten sonra, suyun havuza hangi debi ile verileceği tespit edilmelidir.

### 2.5.3. Debi Tayini ve Suyun Havuza Verilişi

Düzeneğe verilecek olan debi ( $Q=0,0133$  lt/sn) miktarının hesapları, teorik hesaplamalar kısmında bulunmuştur. Havuza verilecek olan suyun debisini elde etmek için kronometre tutularak 2 lt lik ölçülü Beher Kabını 150 sn de dolduran suyun, hesaplarda bulunan debi ( $Q=2/150=0,0133$  lt/sn ) değeri ile örtüştüğü görülmüştür.



Şekil 60. Ölçülü beher kabı

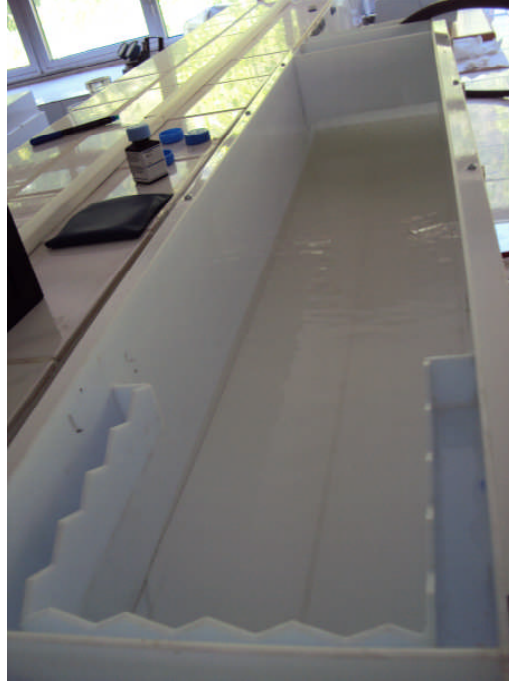
Havuzda 0,0133 lt/sn' lik debi çeşmeden gelen ham sudan hortumla beraber besleme kanalına verildi ve uygun dozda çözelti halindeki alüminyum sülfat ( $Al(SO_4)_3$ ), poli alüminyum klorür (PAC) ve bunlarla birlikte Polielektrolit ayrı ayrı serum şişesine doldurularak dozlandı. Havuzda suyun durumu takip edildi.



Şekil 61. Havuzda su ve dozlama verilmesi



Şekil 62. Besleme kanalından verilen suyun orifislerden içeri girişi



Şekil 63. Suyun havuza girişi



Şekil 64. Ham suyla dolu havuz





Şekil 65. Savaktan çıkış kanalına giden su

Duru su örneği çıkış kanalından alınmıştır. Duru su üzerinde gerekli analizler yapılmıştır.

Giriş ve çıkış sularının analizleri yapıldıktan sonra su havuzdan boşaltıldı. Boş havuzda azda olsa kum birikimi gözlemlendi.



Şekil 66. Havuz içinde biriken kum



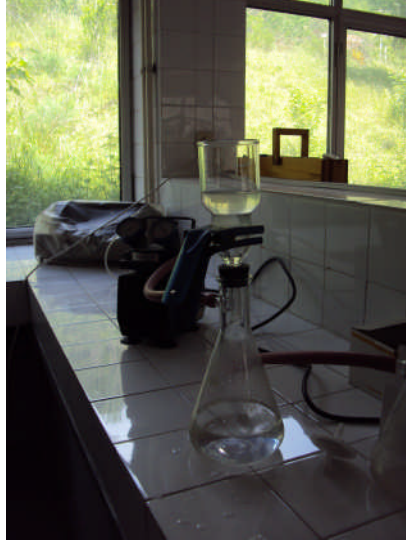
Şekil 67. Çamur çukurunda biriken kum

#### 2.5.4. Askıda Katı Madde Miktarının Ölçümü

Askıda katı madde miktarı şu şekilde tayin edilmiştir; önce bir süzgeç kağıdı alındı, bu kağıdın nemi gitsin diye etüvde 1 saat 120 °C sıcaklıkta bekletildi. Nemi giden kağıt hassas terazide ölçüldü.



Şekil 68. Askıdaki katı madde miktarının tayini için süzgeç kağıdı kullanımı



Şekil 69. Askıdaki katı madde miktarının tayininde süzgeç kağıdına hamsu verilmesi

Kurutulan süzgeç kağıdı şişe üstüne konuldu üzerine hamsu döküldü, askıdaki katı maddeler bu kağıt üzerinde birikti.



Şekil 70. Süzgeç kağıdına biriken askıdaki katı maddeler

Bu kağıt yine etüvde 1 saat  $120^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta bekletildi. Kurutulan kağıt hassas terazide tartıldı. Kağıt boşken olan ağırlığı ile katı madde birikmiş halinin ağırlığı arasındaki fark askıdaki katı madde miktarını verdi.

### 2.5.5. pH Ölçümü

Ham suyun ve duru suyun pH'ı, pH metre ile ölçüldü. Değirmenderenin suyunda çıkan pH değerleri yönetmelikte istenen 6,5-9,5 arasındadır.



Şekil 71. pH metre

### 2.5.6. Sertlik Ölçümü

Edta Titrasyon metodu ile bu deney yapılmaktadır. Kullanılan reaktifler ;

- 1- N/100 lük Edta çözeltisi.
- 2- Tampon -I çözeltisi( $\text{NH}_3+\text{NH}_4\text{Cl}$ ).
- 3- Eriochromeblack-T indikatörü.

İşlemler:

- 1-50 ml numune erlene alınır.
- 2-1ml Tampon -I çözeltisi ilave edilir.
- 3-Bir spatül ucu Eriochromeblack-T indikatörü konur.
- 4-Oluşan pembe renk maviye dönüşünceye kadar N/100 lük Edta çözeltiyle titre edilir.

5-Sarfıyat kaydedilir.

Toplam Sertlik ( $\text{Fs}^0$ ): $\text{SxF}$  olarak hesaplanır.



Şekil 72. Pembe çözelti



Şekil 73. Mavi çözelti

### 2.5.7. Alüminyum Ölçümü

Alüminon metoduyla bu deney yapılmaktadır. Kullanılan reaktifler;

- 1- p- Nitrofenol % 1 lik çözeltisi.
- 2- 0.5 N HCl çözeltisi.
- 3- 5 N  $\text{NH}_3$  çözeltisi.
- 4- Tiyoglikolik asit % 1 lik çözeltisi .(Günlük hazırlanmalıdır.)
- 5- Alüminon çözeltisi.

İşlemler:

- 1- 25 ml numune 50 ml lik balona alınır.
- 2- Üzerine 1 damla p-nitrofenol çözeltisi ilave edilir.
- 3- Eğer sarı renk meydana gelmemişse, sarı renk görülene kadar 5N amonyak çözeltisinden damla damla ilave edilir.
- 4- Sonra, oluşan sarı renk kaybolana kadar 0,5 N HCl çözeltisi damlatılır.

- 5- Üzerine 8 damla tiyoglikolik asit ilave edilir.
- 6- 6 ml alüminon çözeltisi ilave edilir.
- 7- Balonların ağızları kapatılarak, kaynar su banyosunda 15 dak. bekletilir.
- 8- Akan soğuk su altında çabucak 18-20 °C ye kadar soğutulur.
- 9- Saf su ile 50 ml ye tamamlanır.
- 10- 525 nm de şahite karşı absorbands değeri okunur.

### 2.5.8. Demir Ölçümü

Fenantrolin metodu ile bu deney yapılmaktadır. Kullanılan reaktifler;

- 1- Derişik HCl.
- 2- Hidroksilamin hidroklorür çözeltisi (1 ay kararlı).
- 3- Amonyum asetat tampon çözeltisi.
- 4- Fenantrolin çözeltisi(1 ay kararlı).

İşlemler.

- 1- 50 ml lik numuneler 100ml lik behere alınır.
  - 2- 2 ml derişik HCl ilave edilir.
  - 3- 1 ml hidroksilamin hidroklorür ilavesinden sonra içerisine cam boncuğu atılarak numune 15-20 ml kalıncaya kadar buharlaştırılır.
  - 4- Oda sıcaklığına kadar soğutulur ve 50 ml lik balon jojelere aktarılır.
  - 5- 10 ml amanyum esetat ve 2 ml fenantrolin ilave edilir.
  - 6- Saf su ile 50 ml ye tamamlanır.
  - 7- Renk teşekkülü için 15-20 dk beklenir.
  - 8- 510 nm dalga boyunda şahite karşı absorbands değeri okunur.
- Şahit Çözeltisi: Saf su (demirsiz) + Amonyum asetat+ Fenantrolin.

### 2.5.9. Nitrat Ölçümü

Brucine metodu ile bu deney yapılmaktadır. Kullanılan reaktifler;

- 1-Brucine-Sülfonilik asit rektifi.
- 2-Sülfirik asit çözeltisi (1 kısım su +4 kısım H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ).

İşlemler:

- 1-50 ml lik beherlere 2 ml lik numuneler konulur.
- 2-1 ml brucine-sülfonilik asit ilave edilir ve karıştırılır.
- 3-Başka bir behere 10 ml (1+4) lük H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> konulur.
- 4-1. beherdeki çözelti 2. behere boşaltılır ve 10 dak. karanlıkta bekletilir.
- 5-Bu süre sonunda 10 ml saf su ilave edilir.
- 6-Buz banyosuna yerleştirilerek, karanlıkta 20-30 dak. daha soğutulur.
- 7-410 nm de şahite karşı asorbans değeri okunur.

### 2.5.10. Alkalinite Ölçümü

Kullanılan Reaktifler;

1-Standart alkalimetrik çözelti: 0,02 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi.(d=1,84 g/ml ve %98 liksülfürik asitten 0,543 ml alıp damıtık su ile litreye tamamlanır.\*\*H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> üzerine su dökmeyiniz, suyun üzerine asit azar azar ilave edip, çözelti kabını akarsu altında soğutunuz. Bu çözelti sodyum karbonat'a karşı ayarlanır.9

2-Fenol ftalein indiktor çözeltisi: 5 g fenol ftalein 500 ml %95 lik etil alkol 'de çözülür ve 500 ml damıtık su konulur. 0,02 N NaOH çözeltisinde pembe renk görülünceye kadar ilave edilir.

3-Metil oranj indikatör çözeltisi : 0,5 g metil oranj 1 lt damıtık suda çözülür.

İşlemler:

a-F.ftalein Alkalinitesi : Ph değeri 8,3 den büyük çıkan sularda yapılır.

1-50 ml numune alınır.

2-2 damla F.F. ind. Çözeltisi ilave edilir.Pembe renk oluşursa CO<sub>2</sub><sup>-2</sup> var demektir.

3-Pembe renk gidinceye kadar 0,02 N, N/50 lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile titre edilir.Sarfiyat=P

b-M.Oranj Alkalinitesi :

1-50 ml numune alınır.

2-2-3 damla M.O. ind.çözeltisi ilavesiyle renk sarı oluşur.

3-N/50 lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ile, renk portakal rengine dönünceye kadar titre edilir.

Sarfiyat=T

F.F. Alkalinitesi:  $2P \times 20 \times F_{mg} / l \text{ CaCO}_3$

M.O. Alkalinitesi:  $(T - 2P) \times 20 \times f_{mg} / l \text{ CaCO}_3$

### 3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu çalışmada Çökeltim havuzu 1/20 ölçeğinde küçültülerek Modeli oluşturulmuştur. Model üzerinde debi ve hız faktörleri prototipe göre bulunmuştur. Öncelikle değirmen dereden gelen ham suyun analizi yapılmıştır. Bulunan analiz sonuçları aşağıda görülmektedir.

#### 3.1. Değirmen Dere Ham Su Verileri

Bu analiz sonuçlarına göre suya verilebilecek alüminyum sülfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ), poli alüminyum klorür (PAC) ve Poli elektrolit değerleri Jar Test de tespit edilmektedir.

Tablo 17. Bulunan hamsu sonuçları

Bulanıklık	117 NTU
PH	7,8
Sıcaklık	12 °C
Sertlik	6,5 F
Demir	0,08 mg/L
Al	0,06 mg/L
Nitrat	2 mg/L
Askıda katı madde	0,24 mg/L
Alkalinite	64 mg/lit $CaCO_3$

#### 3.2. Jar Test Deney Verileri

6 adet ham su numunesine farklı miktarlarda Alüminyum Sülfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ), Poli Alüminyum Klorür (PAC) ve Polielektrolit dozlaması yapılır, dozlama sonrası bulanıklığı en fazla düşüren dozlama miktarı uygun dozlama olarak tespit edilir.



Tablo 18. PAC dozlaması ile Jar Test Sonuçları

Numuneler	PAC miktarları	Polielektrolit miktarı	Bulanıklık (NTU)
1.Numune	20 ppm	0,03ppm	6,2
2.Numune	25 ppm	0,03ppm	3,8
3.Numune	30 ppm	0,03 ppm	3,5
4.Numune	35 ppm	0,03 ppm	3,3
5.Numune	40 ppm	0,03 ppm	3,1
6.Numune	45 ppm	0,03 ppm	3,0

Aynı ham su sonuçları için  $Al_2(SO_4)_3$  dozlaması yapıldığında gözlenen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Tablo 19.  $Al_2(SO_4)_3$  dozlaması ile Jar Test sonuçları

Numuneler	$Al_2(SO_4)_3$ miktarları	Polielektrolit miktarı	Bulanıklık
1.Numune	30 ppm	0,04ppm	9,6
2.Numune	30 ppm	0,02ppm	8,7
3.Numune	35 ppm	0,04 ppm	14,8
4.Numune	35 ppm	0,02 ppm	10,7
5.Numune	40 ppm	0,04ppm	9,7
6.Numune	40 ppm	0,02ppm	9,0

$Al_2(SO_4)_3$  ve PAC, Poli elektrolit ile birlikte kullanılır. Çünkü poli elektrolit koagülasyon ve floklaşmada yardımcı bağlayıcıdır.

Bu durumda havuza 45 ppm PAC çözeltisi verildiğinde bulanıklık en düşük değeri olan 3,0 NTU olmakta, 30 ppm  $Al_2(SO_4)_3$  çözeltisi verilerek en düşük bulanıklık değeri olan 8,7 NTU değerini vermektedir. Bu iki durum kıyaslandığında bulanıklık için daha iyi bir sonuç almak istediğimizden 45 ppm PAC verilmesi daha uygun olmaktadır.

### 3.3. Ham Suya PAC Dozlaması Yapıldıktan Sonraki Model Havuz Verileri

Tablo 20. Model havuzda poli alüminyum klorür (PAC) verildikten sonra çıkış değerleri

Yapılan deneyler	Hamsu verileri	PAC dozlama sonucu model havuz verileri
Bulanıklık	117NTU	39 NTU
pH	7,8	7,60
Sıcaklık	12 °C	12 °C
Sertlik	6,5 F	6,2 F
Demir	0,08 mg/L	0,07 mg/L
Al	0,06 mg/L	0,4 mg/L
Nitrat	2 mg/L	2 mg/L
Askıda katı madde	0,24 mg/L	0,17 mg/L
Alkalinite	64 mg/lt CaCO <sub>3</sub>	59 mg/lt CaCO <sub>3</sub>

### 3.4. Ham Suya Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Dozlaması Yapıldıktan Sonraki Model Havuz Verileri

Tablo 21. Model havuzda Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dozlaması yapıldıktan sonra çıkış değerleri

Yapılan deneyler	Hamsu verileri	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> dozlama sonucu model havuz verileri
Bulanıklık	117NTU	58 NTU
pH	7,8	7,60
Sıcaklık	12 °C	12 °C
Sertlik	6,5 F	6,3 F
Demir	0,08 mg/L	0,08 mg/L
Al	0,06 mg/L	0,7 mg/L
Nitrat	2 mg/L	2 mg/L
Askıda katı madde	0,24 mg/L	0,20 mg/L
Alkalinite	64 mg/L CaCO <sub>3</sub>	59 mg/L CaCO <sub>3</sub>

Yukarıdaki tablolar kıyaslandığında bulanıklık ve Al<sup>++</sup> miktarında farklılık olduğu görülmektedir. PAC verilen havuzda bulanıklık daha iyi sonuçlar vermektedir. “Al<sup>+++</sup> miktarı ise” PAC” verilen havuzda daha azdır. Sebebi PAC çok miktarda Al<sup>++</sup> içerdiğinden yumaklaşmayla beraber daha iyi çökeltme sağlamaktadır. Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> verince daha az çökeltme olduğunda çıkış suyunda Al<sup>++</sup> miktarı fazla olacaktır.

### 3.5. Ham Suya PAC Dozlaması Yapıldıktan Sonraki Tesis Havuz Verileri

Tablo 22. Tesis havuzda PAC verildikten sonra çıkış değerleri

Yapılan deneyler	Hamsu verileri	PAC dozlama sonucu tesis havuz verileri
Bulanıklık	117NTU	3,0 NTU
PH	7,8	7,50
Sıcaklık	12 °C	12 °C
Sertlik	6,5 F	5,2 F
Demir	0,08 mg/L	0,01 mg/L
Al	0,06 mg/L	0, 2 mg/L
Nitrat	2 mg/L	1 mg/L
Askıda katı madde	0,24 mg/L	0,02 mg/L
Alkalinite	64 mg/L CaCO <sub>3</sub>	60 mg/L CaCO <sub>3</sub>

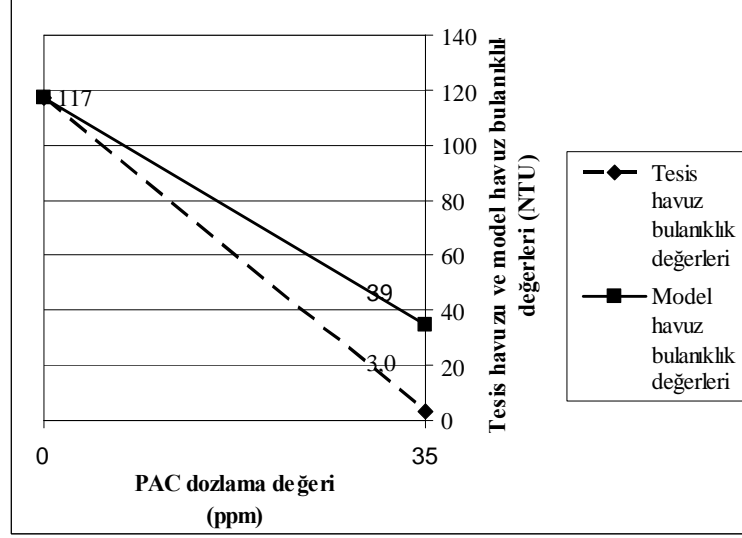
### 3.6. Ham Suya Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Dozlaması Yapıldıktan Sonraki Tesis Havuz Verileri

Tablo 23. Tesis havuzda Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> verildikten sonra çıkış değerleri

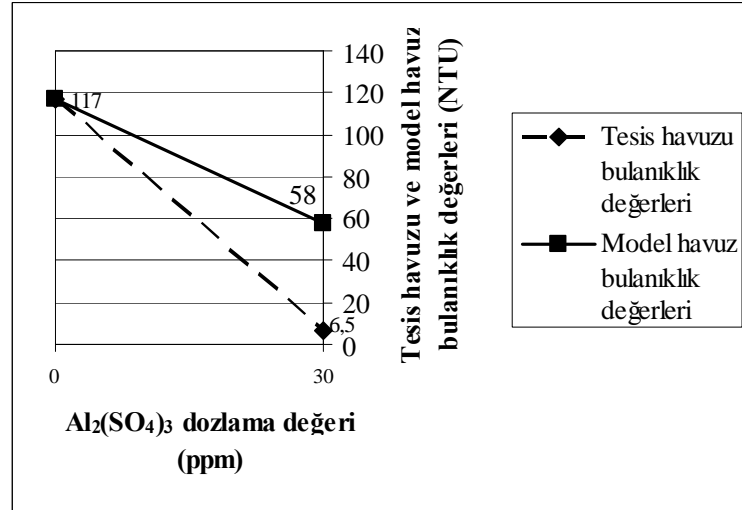
Yapılan deneyler	Hamsu verileri	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> dozlama sonucu tesis havuz verileri
Bulanıklık	117NTU	6,5 NTU
PH	7,8	7,50
Sıcaklık	12 °C	12 °C
Sertlik	6,5 F	5,7 F
Demir	0,08 mg/L	0,03 mg/L
Al	0,06 mg/L	0,3 mg/L
Nitrat	2 mg/L	1 mg/L
Askıda katı madde	0,24 mg/L	0,03 mg/L
Alkalinite	64 mg/L CaCO <sub>3</sub>	60 mg/L CaCO <sub>3</sub>

Tesis havuz verilerine bakıldığında PAC dozlaması yapılırken alınan sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki tesis havuzu ve model havuz sonuçlarına ait bulanıklık verileri aşağıda grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 74. PAC dozlaması ile tesis havuzu ve model havuzun bulanıklık değerleri

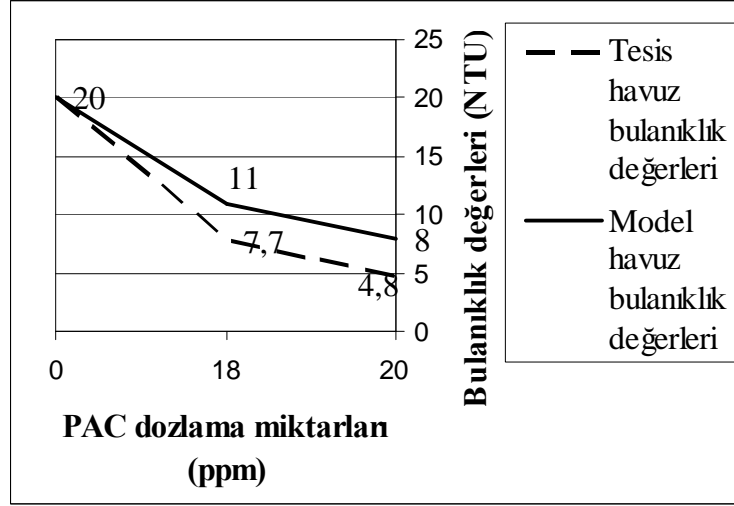


Şekil 75. Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dozlaması ile tesis havuzu ve model havuzun bulanıklık değerleri

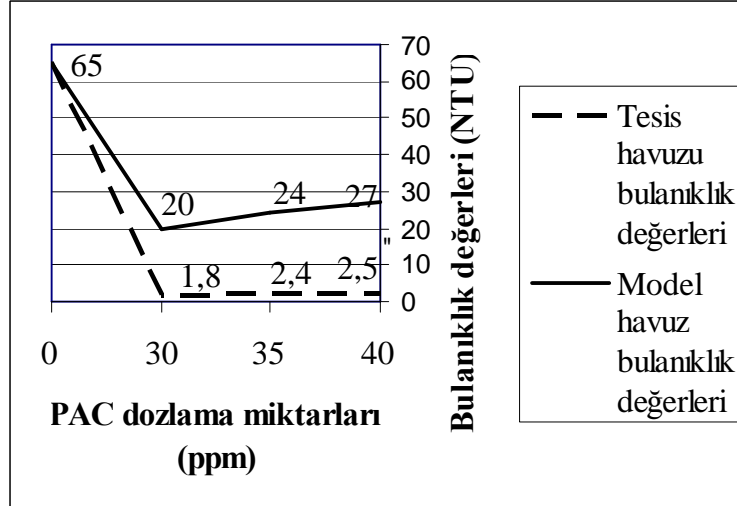
Yukarıdaki verilere bakıldığında model havuz tesis havuzu ile kıyaslandığında bulanıklık verileri dışında diğer verilerin aşağı yukarı aynı olduğu gözlenmiştir. Tesis havuzundaki bulanıklık değerlerine bakıldığında 3,0-6,5 NTU olurken model havuzda bu değerler 39-58 NTU arasında kalmıştır. PAC ile daha iyi sonuçlar alındığı deney sonucu gözlenmiştir.

### 3.7. Tesis Havuzu ve Model Havuzun Bulanıklık Verileri

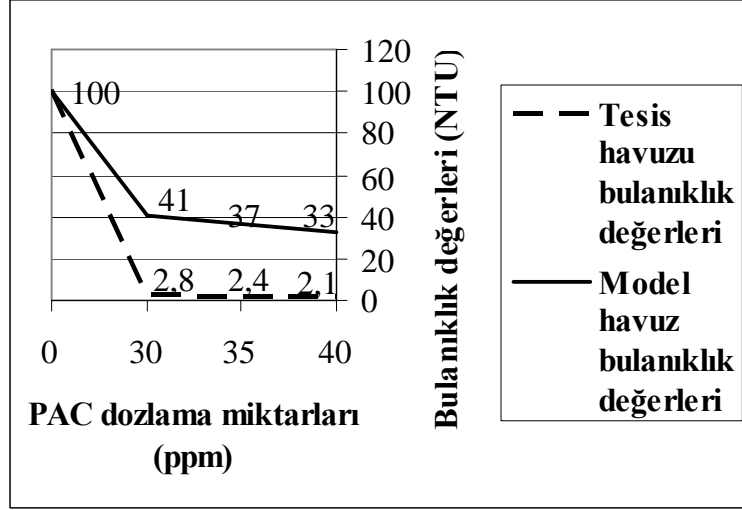
Aşağıda tesis havuzda ve model havuzda yapılan bulanıklık ölçümlerine ait veriler görülmektedir. Bu verilere yapılan dozlamalar Jar Testden tespit edilerek yapılmaktadır.



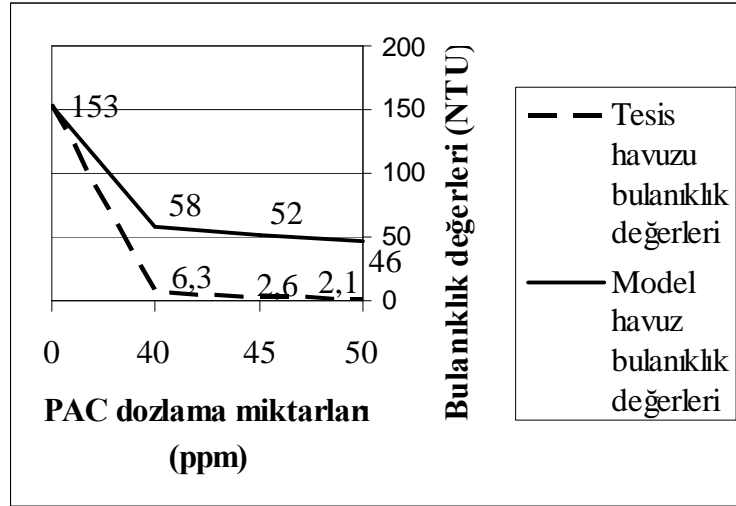
Şekil 76. Bulanıklık 20 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri



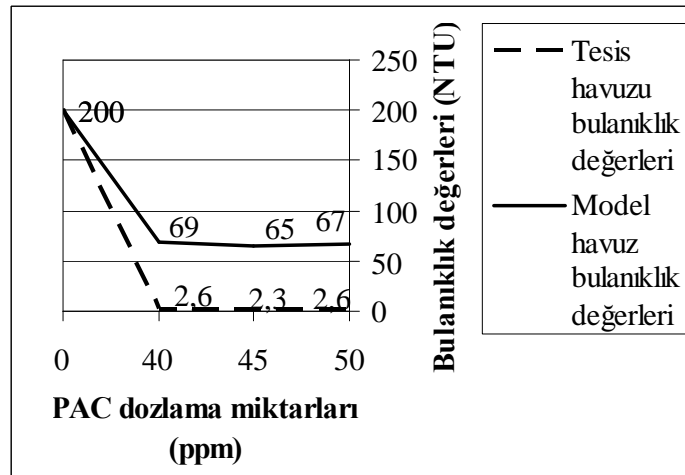
Şekil 77. Bulanıklık 65 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri



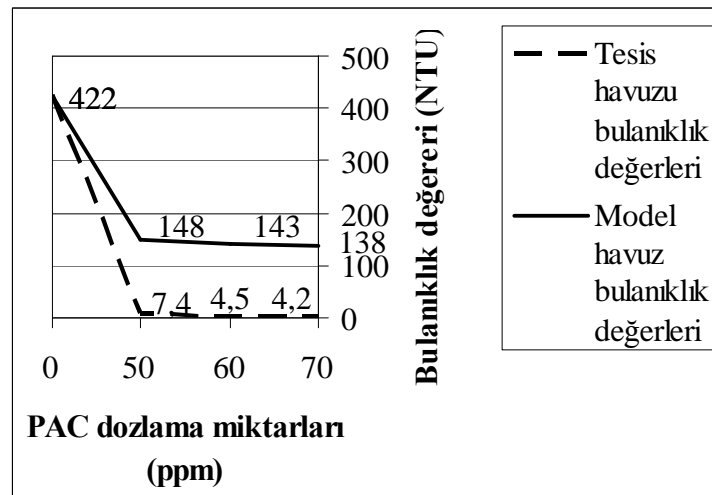
Şekil 78. Bulanıklık 100 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri



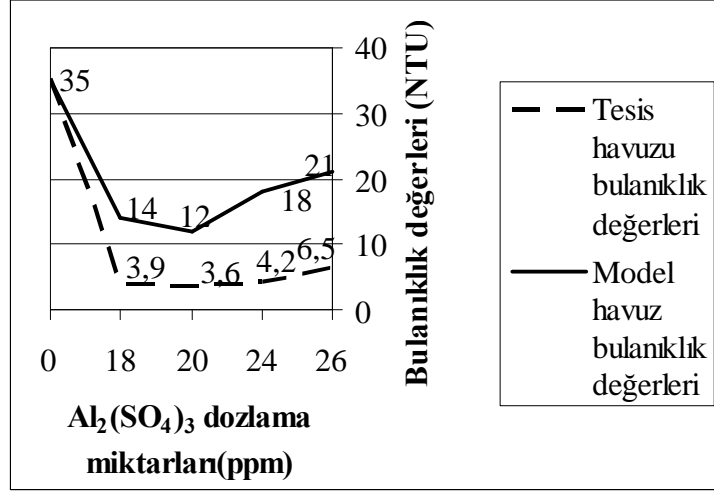
Şekil 79. Bulanıklık 153 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri



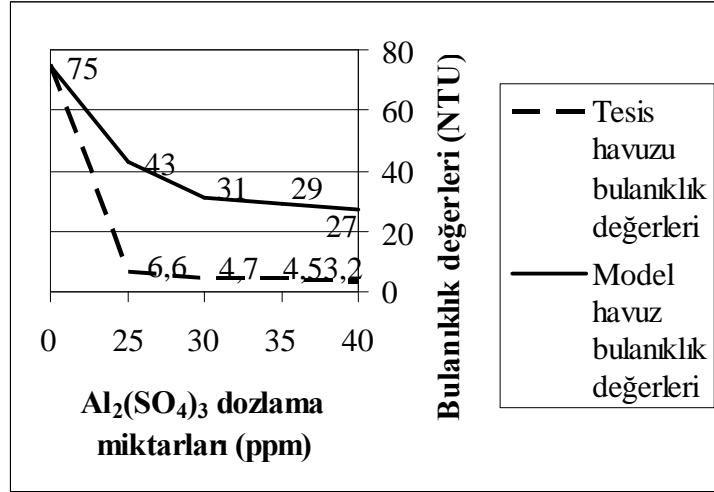
Şekil 80. Bulanıklık 200 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri



Şekil 81. Bulanıklık 422 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri

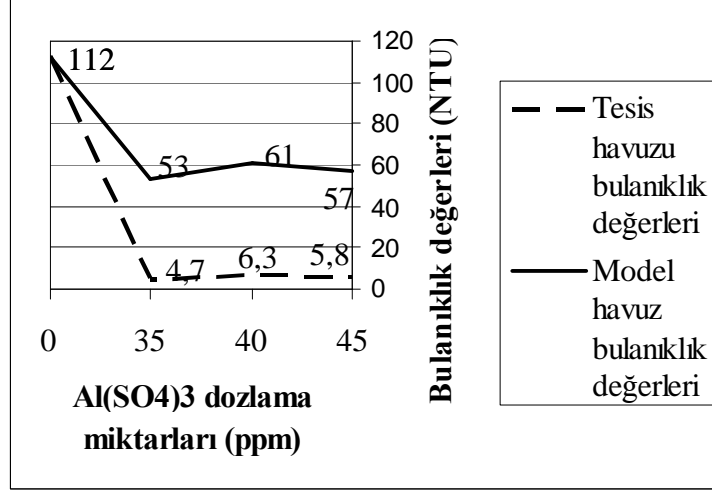


Şekil 82. Bulanıklık 35 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri

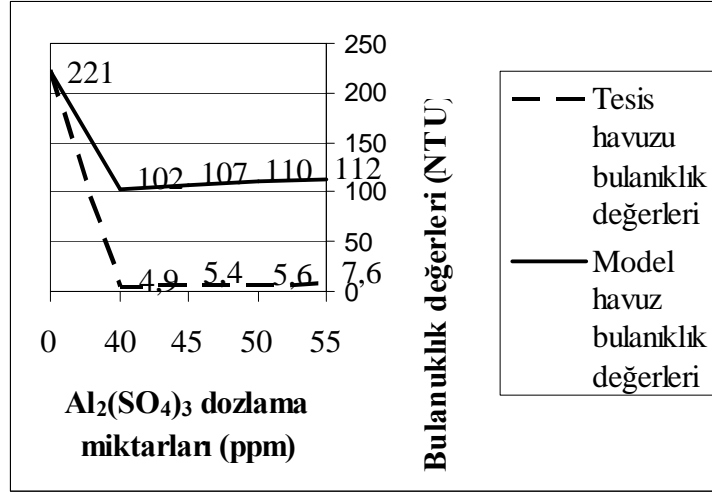


Şekil 83. Bulanıklık 75 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri

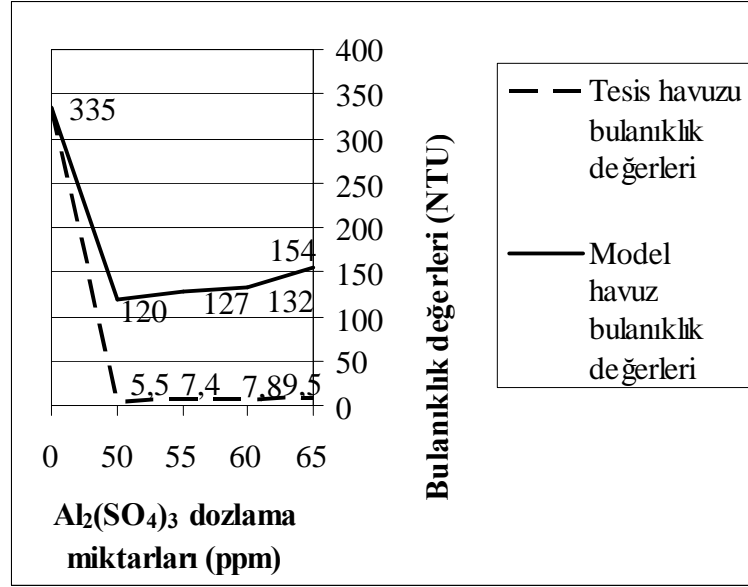




Şekil 84. Bulanıklık 112 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri



Şekil 85. Bulanıklık 221 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri



Şekil 86. Bulanıklık 335 NTU için dozlama yapılması sonucu bulunan bulanıklık değerleri

Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü gibi tesis havuzu ve model havuzda farklılıklar vardır. Bunun sebebi;

- Debilerinin farklı olması
  - Bekleme sürelerinin farklı olması
  - Havuz boyutlarının farklı olması ,model havuz verilerini olumsuz etkilemiştir.
- Tüm bu farklılıklara rağmen model havuzumuzda bulanıklık değerlerine bakıldığında % 50-70 verim elde edildiği görülmüştür.

### 3.8. Trabzon İçmesuyu Arıtma Tesisindeki Çökeltim Havuzu ile Model Havuzun Kıyaslaması

1- Tesis havuzunda bir durultucuya gelen debi 347 lt/sn iken model havuza 0,0133 lt/sn kadar bir debi gelmektedir.

2- Tesis havuzunun bekleme süresi 135 dk iken model havuzun bekleme süresi 45 dak.dır.

3- Tesis havuzu 30 m uzunluğunda 6 m derinliğindedir. Prototip havuz 22 m uzunluğunda 3,3 m ortalama derinliği vardır. Model havuz 1,1 m uzunluğunda 0,165 m ortalama derinliği vardır.

4- Tesis havuzunun tabanında eğim yoktur. Model havuz enine % 10, boyuna %7 eğime sahiptir.

5- Tesis havuzunda çamur sıyrıcı mekanizması vardır, Model havuzda yoktur.

6- Tesis havuzunda suyun havuza girişi threelent (üçlü dağıtım ) boruları yardımı ile tabana yakın yerden iletilir. Model havuzda ise su öncelikle besleme kanalından verilir, buradan havuz içine girişi orifislerle olur.

7- Tesis havuzunda suyun hızını kırmak, üniform akışı sağlamak için threelentler yani üçlü dağıtım borularıyla hız ayarlanır, Model havuzda ise suyun üniform girişi orifislerle sağlanır ve arkasından dalgıç perdede hızı kırmak için kullanılır.

8- İşletme bakımından kıyasladığımızda ise tesis havuzunun işletmesi daha zordur. Çünkü threelentler de çamur kısa zamanda dolmaktadır sık sık temizlenmesi gerekir. Çamur sıyrıcıda işlevin düzgün görebilmesi için sık sık temizlik ve bakıma ihtiyacı vardır.

9- Tesis havuzunda çamur sıyrıcılar vasıtasıyla çamur çukurlarına iletilirken, Model havuzda tabandaki enine ve boyuna eğimler yardımıyla çamur çukuruna iletilir.

### **3.9. $Al_2(SO_4)_3$ Dozlaması ile PAC Dozlamasının Karşılaştırılması**

- 1-  $Al_2(SO_4)_3$ , PAC' a göre daha ucuzdur.
- 2- Çöktürücü olarak PAC daha iyi sonuçlar vermektedir.
- 3- PAC,  $Al_2(SO_4)_3$ ' a göre daha kısa sürede çökelme işlemini gerçekleştirir.

### **3.10. PAC'ın Avantajları**

- Daha az dozaj
- Çamur oluşumunda azalma
- Daha yüksek artım derecesi
- Soğuk sularda yüksek performans
- Filtre çalışma kolaylığı
- Daha hızlı flok oluşumu
- Daha az kalıntı alüminyum

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları şu şekilde sıralanabilir.

1. Havuza PAC ve  $Al_2(SO_4)_3$  dozlaması yapılarak yumaklaşma sağlandıktan sonra çökelme gerçekleşmiştir.
2. Havuza PAC ve  $Al_2(SO_4)_3$  dozlaması yapılmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında PAC'ın bulanıklıkta daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.
3. PAC dozlaması yapıldıktan sonra havuz suyu çıkış verilerindeki  $Al^{++}$  değeri  $Al_2(SO_4)_3$  dozlaması yapıldıktan sonraki havuz suyu çıkış verilerindeki  $Al^{++}$  değerinden daha az olmaktadır. Sebebi PAC verilen havuzda daha iyi floklaşma olacağı için hamsuda var olan  $Al^{++}$  değerleri çökelecektir.
4. Havuza yapılacak olan dozlama miktarları Jar Test deneyleri ile tespit edilir.
5. Bulanıklık verilerini en iyi düşüren dozlama istenilen dozlama miktarını verir.
6. Model havuzda, hamsu bulanıklık verilerine PAC dozlaması yapıldığında verim %60-70 olmaktadır.
7. Model havuzda, hamsu bulanıklık verilerine  $Al_2(SO_4)_3$  dozlaması yapıldığında verim %50-60 olmaktadır.

## **5. ÖNERİLER**

1-Dairesel çökeltim havuzunun modellenmesi yapılabilir.

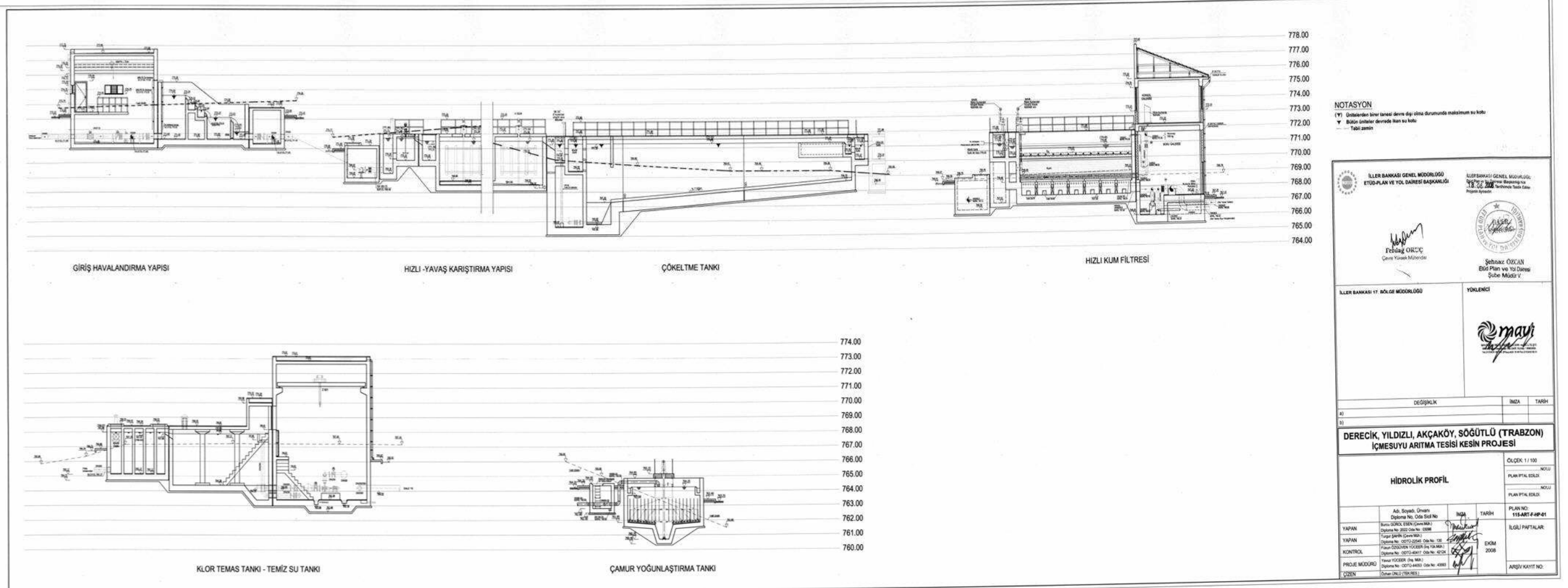
2-Dikdörtgen çökeltim havuzundan farklı ebatlarda modellemeler tasarlanarak aralarındaki farklılıklar gözlemlenebilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. <http://www.tuik.gov.tr>, Çevre ve Enerji, Çevre İstatistikleri, Belediye Su İstatistikleri Dönemi 20 Nisan 2010.
2. <http://www.dersfizik.com/>, Fizikte Modelleme ve Matematiğin Yeri, 25 Nisan 2010.
3. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) İçme Suyu Arıtma Tesisi Kesin Projesi A Etapı, Ankara, 2007.
4. İller Bankası Genel Müdürlüğü, İçme Suyu Projesine Ait Şehir ve Kasaba İçmesuyu Projelerinin Hazırlanmasına Ait Yönetmelik, Ankara, 2008.
5. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Derecik, Yıldızlı, Akçaköy, Söğütlü (Trabzon) İçme Suyu Arıtma Tesisi Kesin Projesi C Etapı, Ankara, 2007.
6. <http://rega.basbakanlik.gov.tr>, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, 15 Nisan 2010.
7. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi , Samsun, 2009.
8. Eroğlu, V., Su Tasfiyesi, 5. Baskı, İ.T.Ü. yayınları, Ankara, 2008.
9. Peker İ., Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler, İstanbul, 2007.
10. Eroğlu, V., Su Tasfiyesi, 4. Baskı, İ.T.Ü. yayınları, İstanbul, 1995.
11. Türk İçmesuyu Standartları, TS 266, Ankara, 1984.
12. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Trabzon Kenti İçme Suyu Arıtma Tesisi Proje Raporu, Ankara 1985.
13. Muslu, Y., Çöktürme Ders Notları, İ.T.Ü. İstanbul, 1972.
14. Kestioğlu K., Su ve Atıksu Arıtımında Fiziksel Temel İşlemler, Bursa, 2003.
15. Samsunlu A., Atık Suların Arıtılması, İstanbul, 2006.
16. Abwassertechnik (ATV-Handbuch), "Mechanische Abwasserreinigung", Band III., Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1997.
17. Öy, E., "Yüzücü cisimlerin ayrılması", İller Bankası, Yayın No:7, Ankara, 1974.
18. Metcalf & Eddy, "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", Tchobanoglous, G. And Burton, F.L. (Editörler), Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, 2003.

19. Bischof, W., "Abwassertechnik" B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1998.
20. Huisman, L., "Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration", Delf University of Technology, 1973.
21. Uslu, O. ve Şengül, F., "Endüstride Su Arıtımı" SAGEM Yayını, D.E.Ü., İzmir, 1984.
22. Muslu Y., "Atıksuların Arıtılması", İTÜ Yayınları, İstanbul, 1994.
23. Muslu Y., "Çözümlü Problemlerle Temel Prosesler", İstanbul, 2000.
24. Peker İ., "Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler", İstanbul, 2007.
25. Ertürk, Ş.N., "Akışkanlar Mekaniği Ders Notları 7.Bölüm Boyut Analizi ve Benzerlik", İstanbul, 2003.
26. Ilgaz, C., "Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik Problemleri" İstanbul, 2000.

## 7. EKLER





## ÖZGEÇMİŞ

1978'de Trabzon'da doğdu.1995 yılında Trabzon Lisesini bitirdi.1996 yılında KTÜ Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı.2000 yılında mezun oldu 2003-2006 yılları arasında Ankara'da Asrın Yapı Denetim Şirketinde çalıştı.2006-2009 yılları arasında Ankara'da İller Bankası Genel Müdürlüğü Etüd Plan Yol Dairesi Başkanlığında çalıştı.2009 yılında Kültür ve Turizm Bakanlığı Trabzon Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü'ne İnşaat Mühendisi olarak atandı.2010 yılında bu görevinden ayrılarak Trabzon Afet ve Acil Durum Müdürlüğüne İnşaat Mühendisi olarak atandı. Halen bu görevini sürdürmekte olan Selva SALTOĞLU orta derecede İngilizce bilmektedir.