

İÇEL İLİ SAHİL YERLEŞİM BÖLGELERİNDE  
İÇME VE KULLANMA SUYUNDA  
KİRLİLİK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ VE  
MODEL BİR ÇALIŞMA

Mutlu YALVAÇ

67184

ME.Ü.

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERSİN  
OCAK-1997

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu çalışma jürimiz tarafından, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

14.13.1977

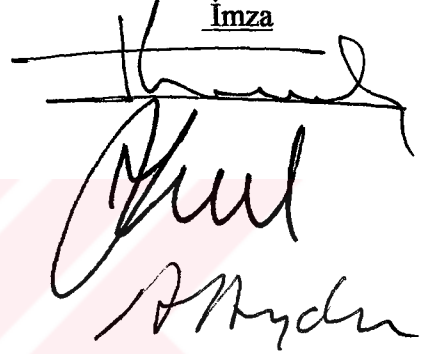
Adı-Soyadı

Başkan Doç. Dr. Halil KUMBUR

Üye Prof. Dr. Fadime TANER

Üye Yrd. Doç. Dr. Adnan AYDIN

İmza



ONAY

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12.12.1977 gün ve 97-17-7 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Nevzat KULCÜ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER	I
ÇİZELGE LİSTESİ	III
ŞEKİL LİSTESİ	V
ÖZ	VI
ABSTRACT	VII
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem	1
1.2 Çalışma Alanı	2
1.3 Kapsam	3
1.4 Küçük Kapasiteli Su Arıtma Sistemleri	6
2. Yumuşatma İşlemleri	9
2.1 Çöktürme ile Yumuşatma	10
2.1.1 Çamur Üretimi	15
2.1.2 Rekarbonizasyon	17
2.2 İyon Değişirme ile Yumuşatma	18
2.2.1 İyon Değişirici Reçine Tipleri	26
2.2.2 Rejenerasyon ve Çalkalama	35
2.2.3 İyon Değişirici Reçine Kolonlarının Boyutlandırılması	37
3. FİLTRASYON	37
3.1 Tek Ortamlı Filtreler	38
3.2 Çok Ortamlı Filtreler	44
3.3 Çift Ortamlı Filtreler	44
3.4 Karışık Ortamlı Filtreler	46

3.5 Filtrasyon Sisteminin Ayrıntıları	46
3.5.1 Su Uygulamalarında Filtrasyon	46
3.6 Yavaş Kum Filtreleri	49
3.7 Hızlı Kum Filtreleri	51
4. KİRLETİCİLERİN SU ORTAMINDA BULUNMALARI DURUMUNDA MEYDANA GETİRDİKLERİ OLUMSUZLUKLAR	51
5. MATERYAL VE METOD	56
5.1 Materyal	56
5.1.1 Cihazlar	61
5.2 Metod	61
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇLAR	65
6.1 İçel İli Sahil Yerleşim Yerlerinde İçme ve Kullanma Suyunda Kirlilik Parametreleri Analiz Sonuçları	65
6.2 Geliştirilen Sertlik Giderme Modeli	72
6.3 Amberlite IR 120 Kuvvetli-Asit Katyon Değiştirici Reçineye Ait Atılım Eğrisi	75
6.4 İçme ve Kullanma Amaçlı Kullanılan Kuyu Sularından Sertliğin Giderilmesini Sağlayan Sistem	78
7. SONUÇ VE TARTIŞMA	81
ÖZET	93
SUMMARY	95
KAYNAKLAR	97
TEŞEKKÜR	102
ÖZGEÇMİŞ	103
EK	104
Ek I Pilot Model Sistemde Yeralan Fiber-Glass Ekipmanın 1:3 Ölçekli Çizimi	

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1. Yumuşatma İçin Gerekli Kimyasal Madde Miktarı	15
Çizelge 2. Yumuşatmada Çamur Üretimi	16
Çizelge 3. Polystyrene Katyon Değişirici Reçine İçin Çeşitli Katyonların Relatif Afinitesinin Değişim Derecesine Etkisi	23
Çizelge 4. Polystyrene Kuvvetli-Baz Anyon Değişirici Reçineler İçin Çeşitli Anyonların Relatif Afiniteleri	24
Çizelge 5. İyon Değişirici Reçinelerin Kimyasal Sınıflaması	28
Çizelge 6. Su Arıtımı İçin Tek Ortamlı Filtre Ortamı Özellikleri	47
Çizelge 7. Çift Ortamlı Filtrelerin Özellikleri	48
Çizelge 8. Su Ortamında Kullanılan Karışık Ortamlı Filtrelerin Özellikleri	48
Çizelge 9. Hızlı Kum Filtreler ile Yavaş Kum Filtrelerin Karşılaştırılması	49
Çizelge 10. Örnekleme Yapılan Alanlar ve Özellikleri	56
Çizelge 11. Model Sistemde Yeralan Kum Filtrede Kullanılan Kuvars Kumun Elek Analizi Sonuçları	58
Çizelge 12. Örnekleme Kapları ve Kullanılan Örnek Hacimleri	60
Çizelge 13. İçel İli Sahil Yerleşim Birimlerinde pH, Sıcaklık ve Alkalinite Verileri	65
Çizelge 14. İçel İli Sahil Yerleşim Yerlerinde Kalsiyum, Magnezyum ve Toplam Sertlik Analizi Sonuçları	67
Çizelge 15. İçel İli Sahil Yerleşim Yerlerinde İçme ve Kullanma Sularında Nitrit, Nitrat, Deterjan ve Fosfat Analizleri Sonuçları	69
Çizelge 16. Tez Çalışmasında Analizi Yapılan Parametrelere Ait Bazı Standartlar	71
Çizelge 17. Atılım Eğrisi Deney Sonuçları	76
Çizelge 18. Model Pilot Sistemin Sentetik Su ve Kuyu Suyu İçin Denenmesinden Elde Edilen Sonuçlar	79

Çizelge 19. Koy-Tür Tatil Sitesine Ait Veriler	87
Çizelge 20. Koy-Tür Tatil Sitesi İçin Geliştirilen Model Sistemde Yeralan Ekipman ve Malzemelerin Fiyatı	90



**ŞEKİL LİSTESİ**

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Basamaklı Yumuşatma ve Rekarbonizasyon	13
Şekil 2. İki Basamaklı Yumuşatma ve Rekarbonizasyon	14
Şekil 3. Genelleştirilmiş İyon Değişim İzotermi	21
Şekil 4. Hızlı Kum Filtrasyonu Yatak Detayları	38
Şekil 5. Basınçlı Filtreler	39
Şekil 6. Yatay Basınçlı Filtre Kesiti	39
Şekil 7. Sıkışabilen Katıların Yüzeyde Tutulması Durumunda Yük Kaybı ile Filtrat Hacmi Arasındaki İlişki	41
Şekil 8. Tutulmanın Daha Derinlerde Meydana Geldiği Durumlarda Yük Kaybı ile Filtrat Hacmi Arasındaki İlişki	42
Şekil 9. Floklaşmış Süspans Katılar Filtre Yüzeyinde ve Derin Kısımlarda Tutulduğu Durumlarda Yük Kaybı İle Filtrat Hacmi Arasındaki İlişki	42
Şekil 10. Değişik Filtrelerin Por Boyutları ve Yatak Dizilişleri	45
Şekil 11. Sertlik Giderme Amaçlı Model Sisteme Ait Hidrolik Akım Şeması	72
Şekil 12. Kum Filtre ve Reçine Kolonu Ön ve Yan Görünüş Krokisi	74
Şekil 13. Atılım Eğrisinin Çıkarıldığı Deney Düzeneyi	75
Şekil 14. Amberlite IR 120 Kuvvetli-Asit Katyon Değiştirici Reçineye Ait Atılım Eğrisi	76
Şekil 15. Model Sistem Detayları	78
Şekil 16. Koy-Tür Tatil Sitesi Model Sistem Hidrolik Akış Diyagramı	92

## ÖZ

Çalışma İçel ili sahil yerleşim beldelerinden Mezitli, Davultepe, Tece, Kargıpınarı, Çeşmeli, Tömük, Arpaçbahşiş, Erdemli ve Limonlu kasabalarında yürütülmüştür. Beldelerde yer alan tatil sitelerinin içme ve kullanma suyu elde etmek için kullandıkları derin su kuyularından ve belediye şebekelerine su sağlayan kuyu ve depolardan alınan su örneklerinde pH, sıcaklık, toplam sertlik, kalsiyum, magnezyum, nitrit, nitrat, deterjan ve fosfat analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu su kaynaklarının bazılarında sertliğe neden olan iyonların derişiminin yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek çıkan sertliğin giderilmesi için su yumuşatma işlemleri incelenmiştir. Kum filtre ve iyon seçici reçineden oluşan, bir model sistem geliştirilmiştir. Küçük kapasiteli su arıtma cihazı laboratuvarında sentetik olarak hazırlanan sulardaki sertliği gidermede denenmiştir. Ayrıca pilot sistemin kullanılabilirliğine örnek oluşturması için Davultepe Koy-Tur Tatil Sitesi'ne ait artezyen kuyusunda da deneme yapılmıştır.



## ABSTRACT

The study area includes nine neighboring coastal municipalities (Mezitli, and Limonlu) located to the west of Mersin city. Water samples from the deep wells operated by individual holiday resorts and from the other municipal wells and service reservoirs were analyzed for various properties and constituents, namely, pH, temperature, hardness, calcium, magnesium, nitrit, nitrate, detergent and phosphate. The results indicate that high hardness values corresponds to high ion concentration in those samples. A review of softening processes required to lower such high values are summarized. A model system consisting of sand filter and ion selective resin is introduced. This small- scale water purifier was tested in the laboratory using standart water samples. The model was also tested at a prototype scale in the purification of water from , artesian well owned by Davultepe Koy-Tur Holiday Resort.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Problem

Türkiye hızla büyümekte ve endüstrileşmektedir. Avrupa'nın en genç toplumuna sahip ülkemizin nüfusu 2000 yılında 65-70 milyona ulaşacak ve ülkemiz Avrupa'nın ikinci en kalabalık ülkesine sahip olacağı tahmin edilmektedir. Büyüme, çevre kirliliği sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Su kirliliği günümüzde karşılaşılan çevre sorunlarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Su insan hayatının önemli bir kaç gereksiniminden biridir. Çoğu tarihsel yerleşimler, doğal su kaynakları etrafında kurulmuş, içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan yerleşimler günümüze değin süregelebilmiştir. Günümüzde ise ekonomik büyümenin ve gelişmenin temel göstergelerinden biri de içme, kullanma ve sanayi suyu tüketimidir.

İnsan sayısı hızla artarken, temel yaşam ihtiyacını karşılayan doğal kaynaklar yenilenemeyecek şekilde azalmakta veya mevcut potansiyel korunmaktadır. Bu daha çok ortak demektir. Dünyanın pek çok yerindeki savaşların temelinde yatan bu paylaşım sorunu su için çözülmesi güç bir düğüm oluşturmakta örneğin Orta Doğu'da petrol görüntüsünün altında yatan gerçek neden olarak karşımıza çıkmaktadır. Su kaynaklarını korumak ve bunlardan en verimli şekilde yararlanmak için uzun vadeli işletme planları gereklidir. Bunun sağlanabilmesi için kirleticilerin kaynakları, yayılma mekanizmaları ve etkilerinin bilinmesi gerekir. Bu tür planlar ancak hidrojeolojik etüdler yapılarak, söz konusu havzalarda yerüstü ve yeraltı yıllık kullanılabilir su rezervlerinin hesaplanarak kombine kullanımın tasarlanmasıyla ortaya çıkar. Bu planlar belli amaçlarla kullanılacak suyun doğal veya suni nedenlerle standart dışı özelliklerinin giderileceği varsayımına dayanır. Bu nedenle, herhangi bir kaynak kullanım planı olmayan bir bölgede yürütülen bu çalışma, suyu tüketim noktasında iyileştirmeye yönelik nokta çözümler önermektedir. Ancak hirojeolojik etüdü yapılmayan bir bölgede, doğal kaynaklı istenmeyen özelliklerin değişebileceği ve hatta

kaynağın toptan kuruyabileceği, dolayısıyla önerilen çözümlerin oldukça kısa vadeli olduğu vurgulanmalıdır.

## 1.2 Çalışma Alanı

1984 yılı nüfus sayımına göre İçel'in nüfusu 1 034 085, 1990 nüfus sayımına göre 1 266 995 kişidir. 2000'li yıllarda nüfusun 2 000 000 kişiye ulaşacağı tahmin edilmektedir.

İçel İli'nin nüfusu son yıllarda doğu ve güney doğu Anadolu'dan aldığı göçlerle hızla artmaktadır. Türkiye genelinde ortalama nüfus artışı %2,2 iken bu rakam İçel İli sınırları içerisinde %4,1, şehir merkezinde ise %6,2'lere kadar yükselmektedir.

Turizm ve tarımsal faaliyetler İçel İli'nin batı kısmında, İçel-Antalya karayolu üzerinde, sanayi ve ticaret faaliyetleri ise ilin doğu kısmında Adana-İçel karayolu üzerinde, denizden 0-15 km uzaklıklarda yoğunluk kazanmıştır. SEKA hariç diğer büyük sanayi kuruluşları bu bölgede yer almaktadır. Serbest Bölge ve hemen yanında yer alan Mersin Limanı, İçel'in ve Türkiye'nin dış ticarete açıldığı önemli bir kapıdır. İçel-Antalya karayolu üzerinde Silifke'ye kadar yer alan dar sahil bandında son on yıl içerisinde yoğun bir yapılaşma oluşmuştur. Tarım arazileri ve narenciye bahçeleri sahilden dağlık arazinin eteklerine çekilirken, yerlerini çok katlı tatil siteleri almıştır. Çoğunlukla yaz sezonunda kullanılmak amacıyla ikinci konut olarak inşa edilen siteler, nüfusun şehrin batı kısmına kayması ile birlikte sürekli konut olarak kullanılmaya başlanmıştır.

İnsanların üretim ve tüketim işlevlerinin nedeni yaşamsal ve ekonomiktir. Düzensiz ve hızlı yapılaşma nedeniyle bu bölgede alt yapı hizmetleri, çevre düzenlemesi ve belediye tarafından getirilmesi gereken hizmetler hızlı imarın gerisinde kalmıştır. Bir inşaat sezonu içerisinde hızla inşa edilen siteler tarım arazilerinin içerisinde kalmakta, böylece yaşamsal işlevler ve tarımsal faaliyetler içiçe bir görünüm alarak, birbirlerinin etki alanlarına girmektedir.

İçel İl Tarım Müdürlüğü kayıtlarına göre, İçel'de 1 582 279 hektarlık alanın yaklaşık 388 779 hektarı (% 24,5) tarım arazisidir. Bunun 141 586 hektarı (% 8,9) 1., 2., 3. sınıf olup tarıma uygun arazidir. İçel'de tarımsal faaliyetler sonucu yoğun bir tarım ilacı ve gübre kullanımı mevcuttur. 1990 yılı rakamlarına göre tüketilen tarım ilacı 5033 ton, gübre ise 26 804 tondur.

İçel İli'nde içme, kullanma, tarım ve sanayi amacı ile kullanılabilir başlıca su kaynakları DSİ 8. Bölge Müdürlüğü verilerine göre; Berdan, Göksu, Lamas, Dragon, Efrenk, Deliçay ve diğer akarsularıdır. Bu su kaynaklarının akış değeri;  $7,2 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/yıldır.

İçel Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü Ocak 1994 verilerine göre içme suyu götürülen 1 131 köy ve üniteden 577'si (%51) yeterli, 402'si (%35,5) yetersiz olmak üzere toplam 979 köy ve yerleşim birimi içme suyuna sahip, 152 köy ve yerleşim birimi (%13,5) ise içme suyuna sahip değildir.

### 1.3 Kapsam

İçel-Antalya karayolu üzerinde dar sahil bandı boyunca yer alan küçük belediyelerin olanakları son 10-15 yıl içerisinde hızla yapılaşan bölgenin ihtiyaçlarını karşılamaktan uzaktır. Bu bölgede yer alan belediyelerin hemen hiç birinde kanalizasyon şebekesi ve atıksu arıtma tesisi bulunmamakta, denize sıfır uzaklıktaki çok katlı tatil siteleri atıksularını kendi arazileri içerisinde inşa ettikleri küçük atıksu arıtma tesislerinde arıttıktan sonra denize vermektedirler. Tatil sitelerinin alanları içerisinde yer alan bu tesislerin kontrolü zordur. Ayrıca alıcı ortam olarak denize deşarj edilen tesis çıkışı suların istenen standartta olması hemen hemen imkansızdır. Yerleşim birimlerinin en büyük problemlerinden biri de içme ve kullanma suyu ihtiyacıdır. Belediyeler mevcut içme suyu şebekesinin yetersizliği nedeni ile her siteye ancak bir musluk ile su vermektedir. Bu da ihtiyacı karşılamaktan çok uzaktır. Bu nedenle her site kendi arazisi içerisinde açtığı derin su kuyularından (kuyu derinlikleri 50-200 m arasında değişmektedir) yüksek debide su çekmektedir. Denize çok yakın mesafelerde açılan su kuyularında zamanla kireçlenme ve tuzlanma problemlerinin

ortaya çıkması olasıdır. Bozulan su dengesi denizden kuyulara olan akımı hızlandırarak, doğal olarak gerçekleştiğinde toprak katmanlarından filtre edilerek geçecek olan su, bu süreci tamamlamadığından kuyu sularında tuzlanma artacaktır.

Tez çalışması İçel-Antalya karayolu üzerinde Silifke İlçesi'ne kadar yer alan Mezitli, Davultepe, Tece, Kargıpınarı, Tömük, Arpaçbahşiş, Çeşmeli, Erdemli ve Limonlu kasabalarında yürütülmüştür (Çizelge 10). Dar bir sahil bandında yer alan kasabalarda çok sayıda büyük tatil sitesi yer almaktadır. Mersin'e daha yakın olan Mezitli ve Davultepe kasabalarındaki siteler ulaşım kolaylığı ve şehre yakın olmaları nedeni ile ikinci konut olarak adlandırılan şekilde yapılmış olmalarına rağmen bu konutların yaz-kış kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Belediyelerin imkanları bu yerleşim birimlerinin içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kaldığından, site bazında uygulanabilecek arıtma sistemleri geliştirmek için model tasarımı ve deneyleri bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu nedenle çalışmada ilk basamak olarak adı geçen kasabaların içme ve kullanma suyunda, belirlenen içme suyu parametrelerinin analizleri yapılmıştır.

Mezitli Belediyesi İçel-Antalya karayolu üzerinde, İçel İli'ne bağlı, ve şehir merkezinden 17 km uzaklıkta yer almaktadır. Mezitli, çalışmanın yapıldığı yerler arasında şehir merkezine en yakın mesafede olanıdır. İmara açık alanı tamamen dolmuş olan belde de 4 871 daireden oluşmuş 36 site bulunmaktadır. 1990 sayımına göre 17 800 kişi olan nüfusu mevcut belediye kayıtlarına göre 50 000 kişiyi bulmaktadır. Kış aylarındaki bu nüfus, yaz aylarında yazlık sitelerdeki doluluk oranının artması ile 100 000 kişiye ulaşmaktadır. Mezitli beldesinin sahil uzunluğu 7 km'dir. Beldede şehre yakın olması nedeni ile hızlı bir kentleşme görülmektedir.

Davultepe beldesi İçel-Antalya karayolu üzerinde, İçel İli'ne bağlı, Mersin'den 16 km uzaklıkta, 1990 nüfus sayımına göre 4 550 nüfusa sahip bir yerleşim yeridir. Yazın sahilde yer alan yazlık sitelerin dolması ile bu nüfus yaklaşık 30 000 kişiye çıkmaktadır. Kış aylarında ise tarım arazilerinde çalışmak üzere gelen tarım işçilerinin neden olduğu önemli bir nüfus artışı görülmektedir. Sahil uzunluğu 3 km olan beldede bu alan üzerinde imara açık bölgede yer alan yazlık tatil sitesi sayısı 60'dır.

Tece, İçel İli'ne baęlı ve Őehir merkezinden 17 km uzaklıkta yer alan bir sahil beldesidir. Sahil uzunluęu 3,5 km olan beldede 27 yazlık tatil sitesi bulunmaktadır. Tece'nin nűfusu 1990 sayımına gűre 10 000 kiŐi olmakla birlikte yazın sitelerin dolması, kışın ise tarım arazilerinde çalıŐmak űzere belde dıŐından iŐçilerin gelmesi ile bu nűfus 20 000 kiŐiyi bulmaktadır.

ÇeŐmeli, İçel İli'ne baęlı ve Mersin'den 23 km uzaklıkta, İçel-Antalya karayolu űzerinde yer alan bir sahil beldesidir. Sahil uzunluęu 2 800 m ve yazlık tatil sitesi sayısı 5 olan eŐmeli'de 1990 nűfus sayımına gűre 4 200 kiŐi yaŐamakta bu rakam yaz aylarında 6 000 kiŐiye ulaŐmaktadır.

Kargıpınarı beldesi 2,5 km sahil uzunluęuna sahip İçel-Antalya karayolu űzerinde yer alan, 1990 nűfus sayımına gűre 7 697 nűfusa sahip bir beldedir. Yaz aylarında belde sınırları içerisinde yer alan 650 dairelik 12 sitenin dolması, kış aylarında ise tarım arazilerinde çalıŐmak űzere gelen iŐçi sayısı ile bu rakam 20 000'i bulmaktadır. Kargıpınarı Mersin'den 25 km uzaklıkta yer almaktadır.

Tűműk, İçel-Antalya karayolu űzerinde, Őehir mekezinden 30 km uzaklıkta 4 km sahil uzunluęuna sahip bir yerleŐim yeridir. Tűműk'de 1990 nűfus sayımına gűre 10000 kiŐi yaŐamakta bu rakam yaz aylarında sahil ve sahile yakın bűlgelerde yer alan 70 adet yazlık tatil sitesinin dolması ile 30 000 kiŐiye ulaŐmaktadır. Tűműk beldesinin Őehir merkezi dięer beldelerden farklı olarak sahilden içeride daę tarafında yer almaktadır.

ArpaçbahŐiŐ beldesi İçel İli'ne baęlı, Őehir merkezinden 30 km mesafede yer alan 1990 nűfus sayımına gűre 4 440 nűfusa sahip bir yerleŐim beldesidir. Yaz aylarında belde sınırları içerisindeki 25 adet yazlık tatil sitesinin dolması ile bu sayı 30 000'e kadar yűkselmektedir. ArpaçbahŐiŐ beldesinin sahil uzunluęu 700 m'dir.

Erdemli iesi İçel İli'ne bağlı, Mersin'den 35 km uzaklıkta yer alan eski bir yerleŐim birimidir. Sahil uzunluğu 8 km olan Erdemli'de 1990 nűfus sayımına gűre 60 000 kiŐi yaŐamaktadır. Erdemli'de yazlık tatil sitesi sayısı 20'dir.

Limonlu Belediyesi İçel-Antalya karayolu űzerinde yer alan, sahil uzunluęu 4 km, 1990 nűfus sayımına gűre 3 720 nűfusa sahip, sınırları içerisinde 30 adet yazlık

tatil sitesi bulunan İçel İli'ne bağlı ve Mersin'den 42 km uzaklıkta yer alan bir yerleşim alanıdır. Nüfus; yaz aylarında sitelerin doluluk oranlarının %100'e yaklaşması, kışın ise beldeye çalışmak için gelen tarım işçileri nedeni ile 35 000 kişiyi bulmaktadır. Bu bilgiler her belediyenin kendine ait belediye kayıtlarından alınmıştır.

Analizlenen içme ve kullanma suyu parametreleri pH, sıcaklık, kalsiyum, magnezyum, toplam sertlik, nitrat, nitrit, fosfat ve deterjandır. Analiz sonuçları TS 266 ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen standartlarla karşılaştırılmış, yüksek çıkan toplam sertlik, kalsiyum ve magnezyum derişimlerinin standartlarda önerilen değerlere düşürülebilmesi için model bir sistem geliştirilmiştir. Model sistemin oluşturulmasında düşük maliyet, kullanım kolaylığı ve elde edilecek verim göz önünde tutulmuştur. Bu tip sistemlerin pratikte uygulanması ile içme ve kullanma suyu sorununa bir ölçüde çözüm getirmek mümkündür. Küçük kapasiteli su arıtma sistemleri içme ve kullanma amaçlı sularda istenilen standartların tamamının sağlanmasında yeterli değildir. Ancak bu sistemler özellikleri içme ve kullanma suyu olmak için uygun fakat içerisinde bir veya iki kirlilik oluşturan parametrenin giderileceği su kaynakları için kullanılabilir (Cleasby , 1984).

#### **1.4 Küçük Kapasiteli Su Arıtma Sistemleri**

ABD'de 1980 istatistiklerine göre küçük kapasiteli su arıtma sistemleri 10 000 veya daha az sayıda kişiye su sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. ABD'de bu şekilde düzenlenmiş küçük kapasiteli su arıtma sistemleri ile 42 milyon kişinin içme ve kullanma suyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu sistemlerin çoğu düşük su hızı ve sınırlı bütçeye sahip yerlerde bulunmakta; düşük işletme gideri, düşük maliyet ve eğitilmiş bir operatörle sistemler rantabl bir şekilde işletilebilmektedir (Concord, 1986).

Küçük kapasiteli su arıtma sistemleri sınırlı sayıda kişiye su sağladıklarından ve maliyetleri düşük olduğundan devlet tarafından desteklenmeleri yerine, bu sistemden su sağlayacak kişi ve küçük işletmelerin girişim ve yatırımları ile işletilebilirler. Büyük yerleşim yerlerinden uzakta bulunan işletmeler ve yerleşim birimleri için önerilen

küçük kapasiteli su arıtma sistemleri profesyonel anlamda bilgi, işletmeci ve finansal destek gerektirmektedir.

İçel İli sahil yerleşim birimlerinde yer alan siteler için, içme ve kullanma suyu sağlamak amacıyla planlanan, küçük kapasiteli su arıtma sistemlerinde sertliğin giderilmesi hedeflenmiştir. Bu sistemlerin, birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

Kimyasal çökelme işlemi kullanılarak gerçekleştirilen yumuşatma işleminde, sistem hızlı karıştırıcı ve çökelme ünitesi içermektedir. Bazı sistemler bu iki üniteyi tek bir üniteye toplayacak şekilde tasarlanmıştır. Çökelme süresi, tanecik boyutu ve özgül ağırlığa bağlı olup, çoğu çökelme tankında çökelme işleminin hızını arttırmak için boyut büyültücü polimer maddeler ortama eklenir.

Buna rağmen çökelme işleminin tamamlanabilmesi 2-4 saatlik bir süre gerektirir. Ayrıca işlem tamamlandıktan sonra yumuşatılmış suyun nötralizasyonu gereklidir. pH'ın ayarlanabilmesi için rekarbonizasyon işlemi uygulanarak 2,5 m derinliğindeki tanklarda 15 dakikalık temas süreleri içerisinde işlem gerçekleştirilir. Weber (1972)'e göre; iyon değişimi işlemi suların yumuşatılmasında çok daha ekonomik olmaktadır. Özellikle renk ve bulanıklık içermeyen, sertlikle birlikte alkalinite problemi olmayan ve değişen seviyelerde sertlik içeren suların iyon değişimi ile arıtımı önerilmektedir (Benefield ve ark, 1982).

Gıda sektöründe de tamamen yumuşatılmış suyun kullanıldığı spesifik alanlar bulunmaktadır. Küçük kapasiteli su arıtma sistemleri için tasarlanan içme ve kullanma suyunun yumuşatılması işleminde, iyon değiştirici reçine kolonlarına girecek olan suyun askıda katı ya da kolloid içermemesi gerekir. İyon değiştirici reçinenin bulunduğu ünitenin giriş kısmında bir yatay ya da düşey akışlı kum filtresinin konulması önerilmiştir (Benefield ve ark, 1982).

Kimyasal olarak çökelme işleminin uygulanacağı su kaynaklarının debisi yüksek olmalıdır. Proses içerisinde daha kompleks ve birbirinden farklı üniteler içeren bu işlem için maliyet yüksek olduğundan, su ihtiyacının fazla olduğu durumlarda kurulması uygun görülmektedir. Küçük kapasiteli su arıtma sistemlerinin tercih



edilmelerinin nedeni, düşük debide su ihtiyacı olan bölgeler için yüksek olmayan bir maliyetle içme ve kullanma su ihtiyacının karşılanmasıdır. Bu nedenle küçük yerleşim yerlerinde, kısmi olarak planlanmış su kuyularından elde edilen ve sınırlı bir ihtiyacı karşılayacak olan su için yumuşatma işlemi uygulanmak isteniyorsa, bu ancak küçük kapasiteli su arıtma sistemlerinden birinin kurulması ile mümkün olabilir (Env. Prot. Agency, 1990).

Küçük kapasiteli su arıtma sistemleri tam arıtım yapmak için uygun değildir. Bu sistemler genel durumu iyi olup içerisinde giderimi istenen az sayıda kirletici bulunan sular için uygulanabilir.

İyon değiştirici reçine kullanılarak sertliğin giderilmesi işleminde reçinenin iyon değiştirme kapasitesine bağlı olarak suyun sertliği tamamen giderilmektedir. İçme ve kullanma suyunda belirli oranlarda sertlik olması istendiğinden, gerekli olan minimum sertlik değerinin sağlanması için, reçineden geçirilen suyun, hamsu ile yeniden belirli oranlarda karıştırılarak şebekeye verilmesi gerekir. Düşük debili su kaynakları için önerilen bu tür sistemlerde suyun tamamının reçineden geçirilmesi zorunluluğu da olmadığından reçine uzun süre rejenere edilmeden kullanılabilir. İyon değiştirici reçinelerin gerçek kullanım alanları endüstriyel amaçlı olup, buhar kazanlarına gidecek olan suyun sertlikten arındırılmasını sağlamaktadır.

İçel sahil yerleşim yerlerinde yer alan siteler içerisinde bütünü örnekleyecek şekilde seçilen sitelerin, kuyu suları analizlenmiş ve yüksek çıkan kirlilik parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler arasında toplam sertlik, kalsiyum ve magnezyum derişimlerinin pek çok analiz noktasında standartların üzerinde çıktığı gözlenmiş ve küçük kapasiteli arıtma tesisine model olarak laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen sistemde bu parametrelerin arıtımı sağlanmıştır. Model pilot sistemde İçel İli sahil yerleşim birimlerinde içme ve kullanma suyunu derin su kuyularından sağlayan siteler için küçük kapasiteli su arıtma tesislerinin teknolojik ve ekonomik yönden yapılabilme şartları araştırılmıştır. Geliştirilen pilot model sistem bir basınçlı kum filtre ve iyon değiştirici reçineden oluşmaktadır. Laboratuvar da hazırlanan sentetik su ve Davultepe beldesinde bulunan Koy-Tür Tatil Sitesi kuyu suyu için

sistem denenmiştir. Denemelerde giriş-çıkış sertlik, kalsiyum, magnezyum ve bulanıklık parametreleri belirlenmiştir.

Çalışmanın yapıldığı Mezitli, Davultepe, Tece, Kargırcı, Tömük, Arpaçbaşı, Çeşmeli, Erdemli ve Limonlu kasabalarında ayrıca belediyelerin içme ve kullanma suyu temin ettiği memba, derin su kuyusu, artezyen kuyuları ve keson kuyular ile iletim hattı üzerinde yer alan içme ve kullanma suyu depoları ve son kullanma noktası için de aynı analizler yapılarak suyun nitelikleri incelenmiş ve tarım ve yerleşim alanlarından geçen iletim hattına bir sızmanın olup olmadığının belirlenmesine çalışılmıştır.

## 2. YUMUŞATMA İŞLEMLERİ

Yumuşatma suda sertliğe neden olan iyonların giderimidir. Sertlik kalsiyum ve magnezyum iyonlarının bulunmasından ileri gelir. Bazen demir, mangan, stronsiyum ve alüminyum iyonları da sertliğe neden olur. Sertlik yıkama, ısıtma ve dolaşım işlemlerinde fazla sabun kullanımına, pompa, kazan ve borularda çökelmeye neden olur. Sertlik, su ortamında bulunan, bütün çok değerlikli iyonların toplamıdır (Davis, 1991). Su içerisindeki metalik katyonların konsantrasyonuna bağlı olarak sert veya yumuşak olarak adlandırılır. Bunlardan en yaygın olanları iki değerlikli katyonlar kalsiyum ve magnezyum'dur. Bu nedenle sertlik, kalsiyum ve magnezyum katyonlarının  $\text{CaCO}_3$  eşdeğeri mg/L birimi cinsinden toplam derişimi ile ifade edilir. Yerleşim birimleri için su eldesinde 300-500 mg/L'den fazla sertlik önerilmemekle birlikte, 150 mg/L'den fazla sertlik içeren sular estetik olarak içilebilme özelliği taşımamaktadır.

Sert sular bileşiminde bulunan sodyum ve potasyumun tamamı, kalsiyum ve magnezyumla yer değiştirdikten sonra köpürür. Kalsiyum ve magnezyum karbonat sıcak su kazanlarında ve sıcak su borularında çökelme eğilimindedir. Kazanda oluşan kireç tortusu ısı iletimini engelleyerek, kazanın dış yüzeyinin aşınmasına ve daha çabuk eskimesine buna bağlı olarak ısıtma maliyetinin artmasına neden olur. Ayrıca kireç

tortusunda oluşan çatlaklarla suyun birden temas etmesiyle aşırı ve ani buhar oluşumundan kazalara neden olabilir. Boru içinde çökelen kalsiyum ve magnezyum karbonat ise boru çeperini daraltarak akımı engeller ve pompaj maliyetini arttırır. (Davis ve ark, 1991).

Halkın sertlik tercihleri alışkanlıklara bağlı olarak büyük farklılıklar göstermesine rağmen 60-120 mg/L CaCO<sub>3</sub> eşdeğeri arasında değişen düzeyler genellikle damak tadına hitap etmektedir (Salvato ve Dee, 1992). Sulama suyu yönünden sert su (kalsiyum ve magnezyumca zengin) , yumuşak suya (sodyumca zengin) daima tercih edilir (Salvato ve Dee, 1992).

Sert sular ısıtma işlemleri için uygun değildir. Buhar elde etmede kullanılan sularda sertlik sınırı oldukça keskindir (Rainwater ve ark, 1960). 0-10,54 kgf/cm<sup>2</sup> basınçlı kazanlarda kazan besleme suyunun toplam sertliğinin 80 mg/L CaCO<sub>3</sub> eşdeğeri olması istenirken, 28,12 kgf/cm<sup>2</sup> den daha yüksek basınçla çalışan kazanlarda toplam sertliğin 2 mg/L CaCO<sub>3</sub> eşdeğeri olması gerekir (Rainwater , 1960).

Sert suyun balıkların toksik metallere karşı hassasiyetini azalttığı diğer taraftan buzağı ve civcivlerde yapılan çalışmalarda sert suyun yumuşak suya nazaran daha iyi sonuç verdiği kaydedilmektedir (Rainwater, 1960). Sert sular pişirme işlemleri için de uygun değildir. Karbonat sertliği yiyecek ve içeceklerin tadını bozar. Dokuma sanayinde kullanılan sert sular boyaların dokuma içerisine nüfuz etmesini güçleştirir (Eroğlu, 1986). Sert suyun insan sağlığı üzerinde kötü bir etkisi yoktur. Sert suları içen bölgelerde kalp damar hastalıkları ölümlerinin, yumuşak suları içen bölgelere kıyasla daha düşük bulunduğunu gösteren tıbbi istatistikler vardır (Eroğlu, 1986).

Yumuşak su elde etmek için çöktürme ve iyon değiştirme yöntemleri bulunmaktadır.

## 2.1 Çöktürme ile Yumuşatma

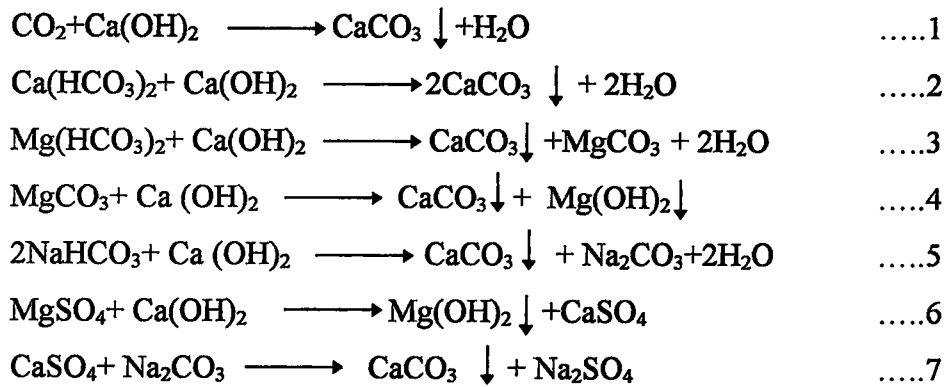
Kireç veya soda tuzları ile çöktürme yöntemi ile sertlik kabul edilebilir seviyelere düşürülebilmektedir. Kireç ilave edilen ham suda kalsiyum oksit, kalsiyum bikarbonat ve magnezyum bikarbonat sıra ile çöktürülür. Kalsiyum ve magnezyumun

bikarbonatın dışındaki anyonlarla yaptıkları bileşiklerden kaynaklanan karbonat olmayan sertlik soda ile giderilebilir. Rekarbonizasyon, suyun bütün sertliği giderildikten sonra, CO<sub>2</sub> kullanılarak pH'nın 7 civarına yaklaştırılması işlemidir. Bu yolla suyun korozif etkisi giderilir. Kireç soda yumuşatması ile toplam sertliği 30-40 mg/L kalsiyum karbonat ve 10 mg/L magnezyum hidroksit, eşdeğeri kalsiyum karbonat derişimine indirmek mümkündür (Davis ve ark, 1991).

Hemen hemen tüm doğal sulardaki sertlik, ortamda bulunan kalsiyum ve magnezyum iyonlarından ileri gelmektedir. Diğer 2+ değerlikli iyonlar, stronsiyum, demir ve mangan doğal suların pH aralığında, sınırlı çözünürlüğe ve dolayısı ile düşük derişime sahip olduğundan düşük derecelerde sertliğe sebep olabilir.

Ham suda alkalinite tayini ile karbonat sertliği ölçülür. Fakat bazı ham sularda ve yumuşatılmış sularda alkalinite; eğer toplam alkalinite toplam sertlikten yüksekse sodyum alkalinitesini verir. Karbonat olmayan sertliğin giderilmesi için kullanılan sodyum karbonat ile kireç reaksiyona girdiği için, sodyum alkalinitesi sık sık negatif karbonat olmayan sertlik olarak adlandırılır. Karbonat olmayan sertlik toplam sertlik ile karbonat sertliğinin arasındaki farkın ölçülmesi ile bulunur ve soda ile giderilir. Eğer su sodyum alkalinitesi içermiyorsa alkalinite ile karbonat olmayan sertliğin toplamı toplam sertliğe eşittir (Reh, 1978).

Su yumuşatma prosesini, kalsiyum ve magnezyum tuzlarını içeren suya kireç ve soda eklendiğinde oluşan kimyasal reaksiyonların gösterilmesi ile açıklamak mümkündür. Bu reaksiyonlar şöyledir;

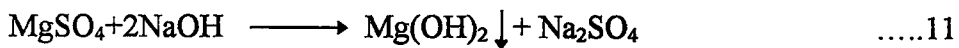
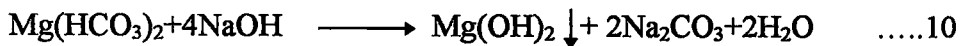
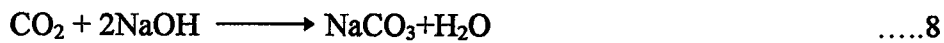


Bu eşitlikler, kireç soda proseslerine tabi tutulan su içinde bulunan karbonat ve karbonat olmayan sertliğin giderilmesi reaksiyonlarındaki bütün eşitlikleri göstermektedir. Birinci eşitlikte yer alan karbondioksit su içindeki kireç ve çamuru tükettiğinden kireç miktarının kontrol edilmesinde kullanılır. Benzer şekilde 5' nolu eşitlikte sodyum bikarbonat kireç tüketecektir. İlk dört eşitlik karbonat sertliğinin giderilmesini göstermektedir. Bir molekül kalsiyum karbonatı gidermek için bir molekül kirece ihtiyaç varken, bir molekül magnezyum bikarbonatı gidermek için iki molekül kireç gerekmektedir. Diğer eşitlikler karbonat olmayan sertliğin giderilmesini göstermektedir.

Bu reaksiyonlardan; serbest karbondioksit, bikarbonat (genellikle toplam alkalinitedir) magnezyum sertliği ile karbonat olmayan sertlik derişimlerinden yararlanılarak suyu yumuşatmak için gerekli olan kireç ve soda miktarları hesaplanır. İşlemlerde saf kimyasal bileşikler temel alınmıştır. Yüksek kalsiyum içeren

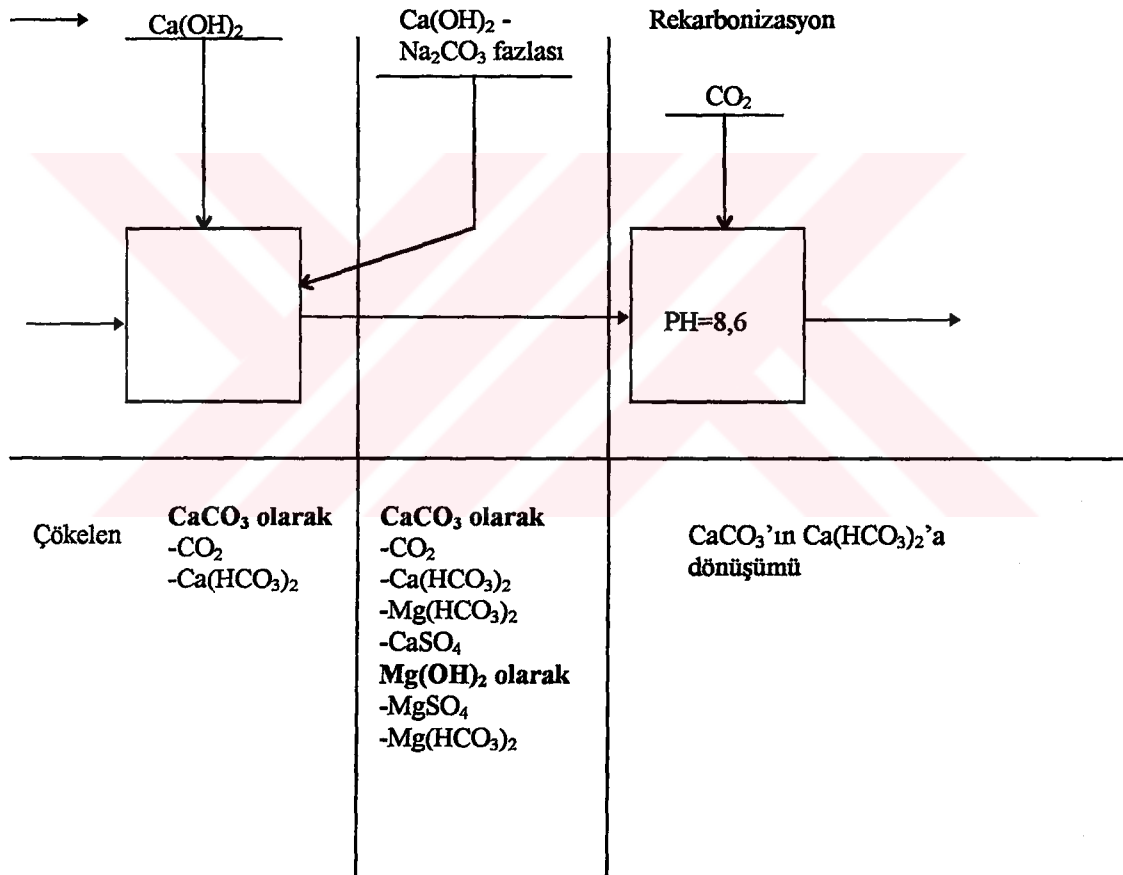
sönmemiş kireç bileşiminde, yaklaşık %88-95 oranında kullanılabilir CaO bulunur. Yüksek kalsiyum içeren sulu kireç %68-70 oranında CaO içerir. Teknik soda %99-100 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> içerir. Isı, reaksiyonların tamamını etkiler. Hesapla bulunan değerlerin daha üzerinde veya altında değerler bulunmasına neden olur (Ferguson ve Giva, 1979).

Alternatif diğer bir metod da kireç-soda prosesleridir. Bu işlemde soda yerine kostik soda kullanılır. Karbonat ve karbonat olmayan sertliğin kostik soda ile reaksiyonları şu şekildedir.



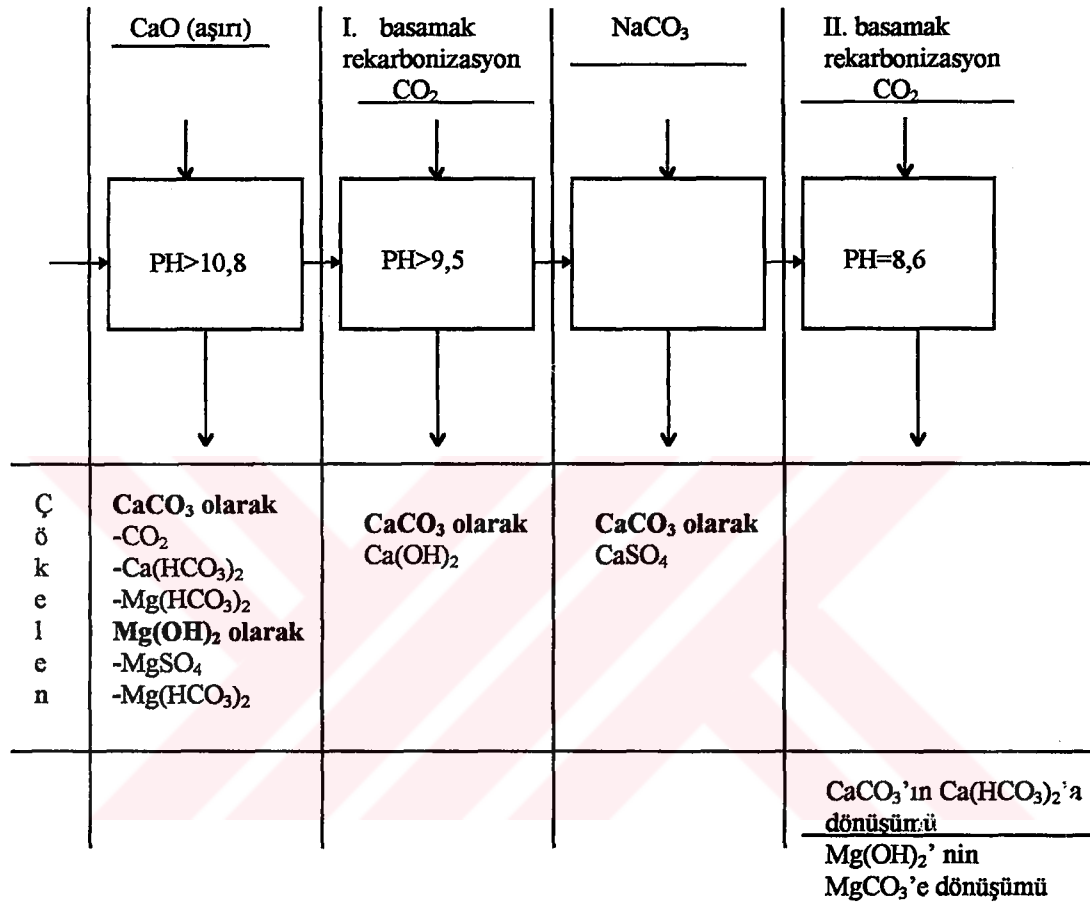
### 1.2.1.2 Kireç Soda Sertlik Giderme İşlemleri

Kalsiyum ve magnezyum sertliğini gidermek için baş vurulan yumuşatma yöntemlerinden biri de kireç soda sertlik giderme işlemidir. Bu yöntemle su içerisindeki magnezyum sertliğinin giderilmesi kalsiyum sertliğinin giderilmesine göre daha zordur. Magnezyum gideriminde aşırı kireç ilavesi yapmak zorunludur. Karbonat olmayan sertliğin giderilmesi isteniyorsa soda kullanılmalıdır.  $\text{Ca(OH)}_2$  (kireç) ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (soda) yerine  $\text{NaOH}$  (kostik soda) kullanılabilir. Bu yöntemle yumuşatılmış suyun filtrelenmeden önce stabilize edilmesi gerekir.



Şekil 1. Basamaklı Yumuşatma ve Rekarbonizasyon (Reh, 1978)

Kalsiyum karbonat, magnezyum karbonat ve karbonat olmayan sertliğin giderilebilmesi ilave edilen kimyasal maddenin çeşidine ve miktarına bağlıdır.



Şekil 2. İki Basamaklı Yumuşatma ve Rekarbonizasyon (Reh, 1978)

Bu düzenleme magnezyum sertliğinin giderilmesine ve çıkış karakteristiklerinin yüksek oranda kontrol edilmesine olanak verir. Bu aynı zamanda çıkışta sertliğin en düşük düzeyde olmasını sağlar. Magnezyum sertliği ana akıma fazla kireç besleme ile giderilebilir. Yumuşatılmış ve yumuşatılmamış su, stabil su sağlamak için gerekli olan minimum miktarda karbondioksit ilavesi ile rekarbonize olması için karıştırılır. Karbondioksit ilavesi için sık sık bu proses akışına başvurulur.

Diğer modifikasyonlar spesifik problemler için kullanılır. Sertliği gidermek için en etkili nerede kireç ilave etmek gerektiği ve maksimum giderilebilecek sertliğin belirlenebilmesi için üç kademeli prosesler önerilir (Ferguson ve Giva, 1979). Bu proseslerde ilk aşama aşırı kireç ilavesi ile kalsiyum karbonat çöktürülmesi, ikinci aşamada  $Mg(OH)_2$ 'nin çöktürülmesi ve son aşama rekarbonizasyondur. Bu işlem basamaklarında yer almamasına rağmen yumuşatma proseslerinin bir bölümünü oluşturan havalandırma işlemide hesaba katılmalıdır. Yukarıda mekanizması ve reaksiyonu anlatılan işlemler Şekil 1 ve Şekil 2'de şematize edilmiştir.

Yumuşatma proseslerinde kimyasal madde seçimine etki eden parametreler Çizelge 1' de verilmiştir.

**Çizelge 1. Yumuşatma İçin Gerekli Kimyasal Madde Miktarı (Corbitt, 1990)**

<b>Gerekli Kimyasal Madde Miktarı</b>			
<b>Kireç-Soda ile Yumuşatma</b>			
	<b>CaO (mg/L)</b>	<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(mg/L)</b>	<b>NaOH(mg/L)</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	1,06	-	1,51
<b>CaCH</b>	0,46	-	0,66
<b>MgCH</b>	0,93	-	1,33
<b>MgNCH</b>	0,46	0,88	0,66
<b>CaNCH</b>	-	0,88	-
<b>Na alkalitesi</b>	0,46	-	-

CH: Karbonat sertliği

NCH: Karbonat olmayan sertlik

### 2.1.2 Çamur Üretimi

Toplam çözünmüş katı derişimi kostik kullanımı ile artar. Çünkü bütün reaksiyonlar çözünebilir soda ( $Na_2CO_3$ ), sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) veya sodyum klorür ( $NaCl$ ) üretir.



Kostik soda ve kireç soda proseslerinde çamur üretim miktarları karşılaştırmalı olarak Çizelge 2' de verilmiştir.

**Çizelge 2. Yumuşatmada Çamur Üretimi (Corbitt, 1990)**

Kıatı olarak (mg/L)		
	Kireç-soda (mg/L)	NaOH (mg/L)
<b>CO<sub>2</sub></b>	1,89	-
<b>CaCH</b>	1,66	0,83
<b>MgCH</b>	1,66	0,48
<b>MgNCH</b>	1,31	0,48
<b>CaNCH</b>	0,83	0,83
<b>Na alkalinitesi</b>	0,83	-

Dizayn Faktörleri;

Yumuşatma proseslerine etki eden faktörler şunlardır;

- 1- Kimyasal maddelerin dağılma oranları
- 2- Çökemenin oranı
- 3- Giderilebilecek boyutlarda çökebiyen maddelerin oluşma oranı
- 4- Çökebiyen flok oranı

Çökeme oranı tanecik boyutunun ve oluşan tanecik miktarının bir fonksiyonudur. Tanecik boyutunun ve tanecik miktarının artması çökemenin artmasını sağlar. Düşük sıcaklıkta suyun yoğunluğunun artması yumuşatma işleminde oluşan CaCO<sub>3</sub> oranının azalmasına neden olur. Düşük sıcaklıkta yapılan uygulamalarda flok yoğunluğunu ve boyutunu arttırmak için daha büyük çökeme tankları ve yardımcı koagülantlar kullanılmalıdır (Corbitt, 1990).

Kireç soda yumuşatma yöntemini kullanan proseslerde çamur ile birlikte bir çok problem ortaya çıkmaktadır. Çamuru uzaklaştırmak için önerilen yöntemlerden bazıları şunlardır (Corbitt, 1990);

- 1-Su yataklarına boşaltmak

- 2-Kanalizasyona boşaltmak
- 3-Havuzlara veya göllere boşaltmak
- 4-Vakum filtre ile filtreledikten sonra oluşan kekle arazi doldurmak
- 5-Suyunu uzaklaştırarak kuru çamur haline getirmek

### 2.1.3 Rekarbonizasyon

Kireçle yumuşatma tesislerinde rekarbonizasyon iki amaçla kullanılır;

1- pH' ı ayarlamak ve

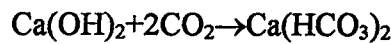
2- Birinci tank çıkışında, yüksek magnezyum içeren suyun yumuşatılması için kullanılan fazla kirecin neden olduğu  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in çöktürülmesi ve nötralizasyonu

Su düşük magnezyum içerdiğinde kireç miktarı artırılır. Bu durumda su  $\text{CaCO}_3$ 'a aşırı doygunudur ve  $\text{pH}=10,4$  veya daha yüksektir. Bu su filtrelenmeden önce pH'ı düşürülmeli ve filtrelerde kabuk oluşumuna neden olacak  $\text{CaCO}_3$ 'ün çökmesi engellenmelidir. Bu problemin çözümü için suya  $\text{CO}_2$  gazı verilmelidir.  $\text{CO}_2$  sonuçta istenen pH'a bağlı olarak çökelemeyen kalsiyum karbonatı çözülmüş bikarbonat formuna çevirir. Bu reaksiyon;

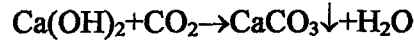


şeklinde gerçekleşir.

Eğer magnezyum hidroksitinin de çökebilmesine yetecek kadar kireç ilave edilmiş ise hidroksit alkalitesi de bikarbonata dönüşecektir.



Fazla kireç metodu rekarbonizasyonu takiben kullanılırsa çökmeden sonra ortamda bulunan fazla  $\text{Ca(OH)}_2$  çözünebilir bikarbonata dönüşür ve gereksiz olarak sertliğin artmasına neden olur. Bu nedenle suya  $\text{CO}_2$  ilavesi ile bu fazladan oluşan sertlik de engellenmiş olur.



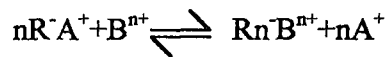
Bazı durumlarda birinci ile ikinci tankın arasındaki rekarbonizasyon tankında ilave edilen CO<sub>2</sub> ile karbonatın bikarbonata dönüştürülmesi mümkündür. Böylece pH'da istenilen duruma getirilmiş olur. Fakat çökebilen kalsiyum karbonatın bir kısmının çözünmeme tehlikesi nedeni ile en iyisi son rekarbonizasyonla çıkış pH'ının ayarlanmasıdır (Salvato ve ark, 1992).

## 2.2 İyon Değişirme ile Yumuşatma

İyon değişirme işlemi genel olarak; sert suların yumuşatılması yani suda bulunan çok değerlikli katyonların arıtılmasında, evsel atıksulardan azot ve fosforun giderilmesinde, deiyonize su eldesinde, endüstriyel atıksular içerisinde bulunan spesifik iyonik kimyasalların arıtılmasında kullanılır (Benefield ve ark, 1982).

İyon değişimi olarak adlandırılan işlem, pozitif veya negatif yüklü iyonların kimyasal olarak eşdeğer miktarda farklı yüklü iyon içeren elektrolit içerisinde geçirilerek giderilmesi istenen iyonlarla yer değiştirmesidir. Bu işlem reçinede yapısal olmayan bir değişimle meydana gelir. Çözelti içerisindeki iyonlar değişimin meydana geldiği yerde reçinenin moleküler ağı içerisinde hızla yayılırlar. Değiştirilen iyonlar çözelti içerisinde ilerler.

Katyon değiştirici reçinede A ve B iyonlarının değişimi için genel reaksiyon yazılışı;



Burada; R<sup>-</sup> iyon değiştiricide bağlanan anyonik grubu, A<sup>+</sup> ve B<sup>+</sup> ise çözültideki iyonları gösterir.

Bu reaksiyon için denge sabiti;

$$K_{A^+}^{B^{n+}} = \frac{(R_n^- B^{n+})(A^+)_S^n}{(R^- A^+)_R^n (B^{n+})_S}$$

Burada;

$(R_n^- B^{n+})_R$  : Reçinedeki  $B^{n+}$ 'nin aktivitesi

$(B^{n+})_S$  : Çözeltideki  $B^{n+}$ 'nin aktivitesi

$(R^- A^+)_R$  : Reçinedeki  $A^+$ 'nin aktivitesi

$(A^+)_S$  : Çözeltideki  $A^+$ 'nin aktivitesi

$K_{A^+}^{B^{n+}}$  ifadesi gerçekte bir sabit olmayıp deneysel şartlara bağlıdır. Daha doğrusu; seçicilik katsayısı olarak adlandırılır. Bu eşitlik, aktivite yerine derişime bağlı olarak modifiye edilebilir.

$$K'_{A^+}^{B^{n+}} = \frac{[R_n^- B^{n+}]_R [A^+]_S^n}{[R^- A^+]_R^n [B^{n+}]_S}$$

Seyreltik çözelti durumunda, çözelti fazlarındaki aktivite katsayısı sıklıkla ihmal edilir. Reçine içerisindeki iyon derişimi yüksektir. Sonuçta  $K'_{A^+}^{B^{n+}}$  değerinin düşük derişim aralıkları için kullanılması uygundur. Bununla birlikte, son eşitlikteki ilişkiler kullanılarak yer değiştirecek iyonların yaklaşık miktarı ve çözeltiden giderilecek olan iyon miktarına göre reçine miktarına karar verilir.

İyon değiştirici olarak kullanılacak maddenin belirlenmesinde, her bir iyon için ayırma faktörünün ( $Q_s$ ) bilinmesi gerekir.



reaksiyonundan;

$$Q_S = \frac{\left[ R_n^- B^{n+} \right]_R \left[ A^+ \right]_S}{\left[ R^- A^+ \right]_R \left[ B^{n+} \right]_S}$$

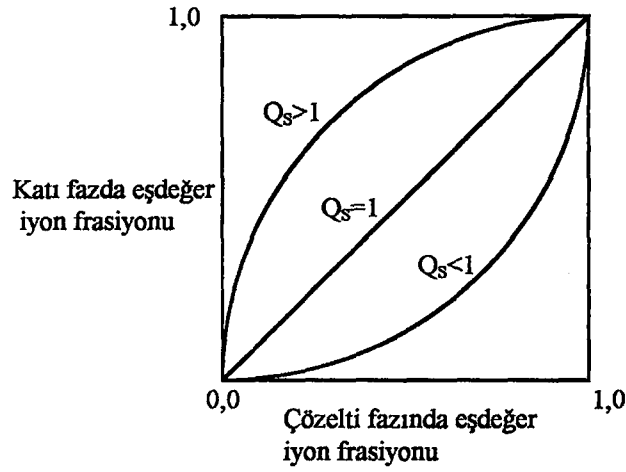
elde edilir.

Seçicilik katsayısı ( $K'_{A^+} B^{n+}$ ) ile ayırma faktörü ( $Q_S$ ) arasındaki ilişki şöyledir;

$$K'_{A^+} B^{n+} = Q_S \left[ \frac{\left[ A^+ \right]_S}{\left[ R^- A^+ \right]_R} \right]^{n-1}$$

Monovalent değiştiriciler için  $n=1$  dir ve bu durumda seçicilik katsayısı ile ayırma faktörü birbirine eşittir.

Ayırma faktörü, iyon değiştiricide bir iyonun bir diğerine karşı tercih edilip edilmeyeceğini belirlemek için kullanılır.  $Q_S$  değeri birden büyük olduğunda  $B^{n+}$  iyonu  $A^+$  iyonuna tercih edilir. Ayırma faktörü birden küçük olduğunda reçine  $A^+$  iyonlarını  $B^{n+}$  iyonlarına tercih eder.  $Q_S=1$  olduğunda herbir iyon için öncelik eşittir (Benefield ve ark, 1982).



Şekil 3. Genelleştirilmiş iyon değişim izotermi

(Environmental Protection Agency, 1975) .

Çizelge 3 ve 4’ de farklı seçicilik katsayıları verilmiştir. Ayırma faktörleri;

$$K'_{A^+}^{B^{n+}} = Q_S \left[ \frac{[A^+]_S}{[R^- A^+]_R} \right]^{n-1}$$

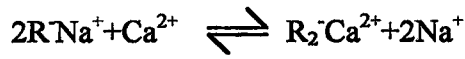
eşitliği kullanılarak bu değerlerle ilişkilendirilir. K değerleri kullanılarak

$K'_{A^+}^{B^{n+}}$  değerini Çizelge 3’ den bulmak mümkün değildir.

Bunun yerine;

$$K_{A^+}^{B^{n+}} = \frac{K_{H^+}^{B^{n+}}}{\left( \frac{K_{H^+}^{A^+}}{H^+} \right)^2}$$

eşitliği kullanılır. Univalent-divalent değişimi için seçicilik katsayısının kullanılması gerekir.



$$K'_{Na^+}^{Ca^{2+}} = \frac{[R_2^- Ca^{2+}][Na^+]^2}{[R^- Na^+]^2 [Ca^{2+}]}$$



$$K'_{Na^+}^{K^+} = \frac{[R^- K^+][Na^+]}{[R^- Na^+][K^+]}$$



$$K'_{K^+}^{Ca^{2+}} = \frac{K'_{Na^+}^{Ca^{2+}}}{K'_{Na^+}^{K^+}}$$

$$K'_{K^+}^{Ca^{2+}} = \frac{[R_2^- Ca^{2+}][K^+]^2}{[R^- K^+]^2 [Ca^{2+}]}$$

**Çizelge 3. Polystyrene Katyon Değişirici Reçine İçin Çeşitli**

Katyonların Relatif Afinitesinin Değişim Derecesine Etkisi

(Abrams ve ark.,1967)

% Divinylbenzene			
İyon	4	8	12
<b>+1 Değerli Katyonlar</b>			
H	1,00	1,00	1,00
Li	0,90	0,85	0,81
Na	1,30	1,50	1,70
NH <sub>4</sub>	1,60	1,95	2,30
K	1,75	2,50	3,05
Rb	1,90	2,60	3,10
Cs	2,00	2,70	3,20
Cu	3,20	5,30	9,50
Ag	6,00	7,60	12,00
<b>+2 Değerli Katyonlar</b>			
Mn	2,20	2,35	2,50
Mg	2,40	2,50	2,60
Fe	2,40	2,55	2,70
Zn	2,60	2,70	2,80
Cu	2,70	2,90	3,10
Cd	2,80	2,95	3,30
Ni	2,85	3,00	3,10
Ca	3,40	3,90	4,60
Sr	3,85	4,95	6,25
Hg	5,10	7,20	9,70
Pb	5,40	7,50	10,10
Ba	6,15	8,70	11,60

Not:  $K_{H^+}^{A^+}$  ve  $K_{H^{n+}}^{B^+}$ , dan  $K_{A^+}^{B^+}$ , yı hesaplamak için  $K_{A^+}^{B^+} = \frac{K_{H^+}^{B^+}}{K_{H^{n+}}^{A^+}}$

formülü kullanılır.



**Çizelge 4. Polystrene Kuvvetli-Baz Anyon Değişirici Reçineler İçin Çeşitli Anyonların Relatif Afiniteleri (Abrams ve ark, 1967).**

Relatif Afinite		
İyon	I. Tip	II. Tip
Hidroksit	1,0	1,0
Benzen sülfonat	500,0	75,0
Salisilat	450,0	65,0
Sitrat	220,0	23,0
İyodit	175,0	17,0
Fenoksid	110,0	27,0
Bisülfat	85,0	15,0
Klorat	74,0	12,0
Nitrat	65,0	8,0
Bromit	50,0	6,0
Bromat	27,0	3,0
Nitrit	24,0	3,0
Klorit	22,0	2,3
Bikarbonat	6,0	1,2
İyodat	5,5	0,5

Not:  $K_{OH^-}^{A^-}$  ve  $K_{OH^{n-}}^{B^-}$ , dan  $K_{A^-}^{B^-}$ , yı hesaplamak için  $K_{A^-}^{B^-} = \frac{K_{OH^-}^{B^-}}{K_{OH^{n-}}^{A^-}}$

formülü kullanılır.

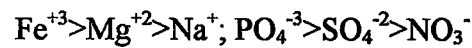
$K_A^B$  ve  $K'_A^B$  sayısal olarak eşit olmamakla birlikte, bu terimler pek çok

durumda birbirlerinin yerine geçebilirler.

Seçicilik katsayısının temeli, iyon değıştirici için iyonların relatif afinitesinin kantitatif olarak değeriendirilmesidir. Benzer değeriikli iyonlar için seçicilik katsayısının aynı kabul edilmesi önerilmektedir.

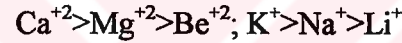
Helms (1973), reçineler için iyon afinitesini genelleştirilmiş kanunlar haline getirmiştir.

1. Genelde yüksek değeriikli iyonlar, düşük değeriikli iyonlar ile yer değıştirirler. İyon değeriilerinin artması ile değışim reaksiyonunun derecesi artar.



Böylece çözeltilinin toplam iyonik konsantrasyonunda azalma görülür.

2. Islak yarıçapın azalması ve atom numarasının artışı ile benzer değeriikli iyonlar için değışim reaksiyonunun değeri artar.



Bu durum sonucunda reçine içerisinde basınç yükselir. Reçine içerisinde basıncın artması ile iyonların (hidratlanmış) yarıçapları artar ve bu tür iyonlar için reçinenin afinitesi azalır.

3. Toplam iyonik konsantrasyonu yüksek olan çözeltili için değışim reaksiyonunun derecesi genel bir kural değildir ve sıklıkla değışir. Bu özellik rejenerasyonun temelidir.

4. Değışimin derecesi ve hidratlanmış iyonun büyüklüğü arasındaki ilişki değışim reaksiyonunun derecesini etkiler. Eğer reçinelerde karşılıklı geçişin derecesi yüksekse, iyonlar reçine matrisinin içine çok daha derinlemesine girebilir.

Weber (1972), iyon değışimi için yüksek aktiviteli reçine seçiminin avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralamıştır:

- a. Avantajları;
  - Atılım eğrisi keskindir.

- İyon değiştirme kolonu kısadır.
- İyon değiştirme kolonuna yüksek akış hızları uygulanabilir.
- b. Dezavantajları;
  - Yüksek derişimde rejenerasyona ihtiyaç vardır.

### 2.2.1 İyon Değiştirici Reçine Tipleri

Eskiden beri zeolit olarak adlandırılan doğal malzeme iyon değiştirici reçine olarak kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan pek çok iyon değiştirici reçine polimer zincirine bağlanmış çözünür iyonik fonksiyonel gruplar ile polimer matriksten oluşmuş sentetik maddelerdir (genellikle polystrene zincirler divinylbenzene bağları ile bağlanmışlardır).

Reçinedeki fonksiyonel grubun sayısı ve çeşidi reçinenin değişim kapasitesini ve iyon seçiciliğini belirlerken, polimer matriksde reçinenin çözünmesi ve dayanıklılığını belirler. Reçineler genelde küresel yapıda olmalarına rağmen belli bir şekli olmayan reçineler kolonda daha geniş yüzey alanı ve daha fazla boş alan sağlarlar. Boş alan işletme sırasında oluşan kayıpların azalmasını sağlar (Panswad, 1975).

İyon değiştiriciler şu şekilde sınıflandırılırlar;

1. Katyon değiştirici reçine
  - a. Kuvvetli-asit reçineler
  - b. Zayıf-asit reçineler
    1. Anyon değiştirici reçineler
      - a. Kuvvetli-baz reçineler
      - b. Zayıf-baz reçineler




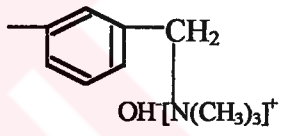
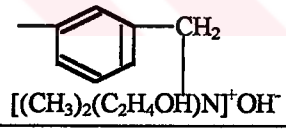
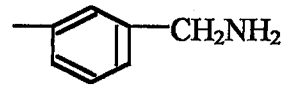
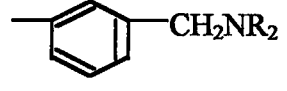
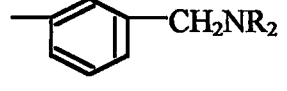
Kuvvetli-asit değiştirici reçineler, kuvvetli asitten türeyen (genellikle  $H_2SO_4$ ) fonksiyonel gruplar içerir. Kuvvetli-asit reçinelerin iyonizasyon dereceleri kuvvetli asitlerle benzerdir (düşük pKa). Bu durum hidrojenin iyonlarına ayrışmasını ve geniş pH aralıklarında değişimi mümkün kılar. Zayıf-asit değiştirici reçineler ise zayıf

asitlerden türemiş (karboksilik veya fenolik formda ) fonksiyonel gruplar içerirler. Bu tip reçineler genellikle daha dar pH aralıklarında kullanılırlar.

Kuvvetli-baz değiştirici reçineler I. ve II. tiplerden türemiş fonksiyonel gruplar içerirken zayıf baz reçineler ise primer, sekonder ve tersiyer amin fonksiyonel grup olarak bağlanır. Kuvvetli-baz reçineler geniş pH aralıklarında kullanılabilirler halde zayıf-baz reçineler sadece belli pH aralıklarında kullanılır. Bu aktif gruplar Çizelge 5’de gösterilmiştir.

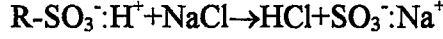


Çizelge 5. İyon Değiştirici Reçinelerin Kimyasal Sınıflaması (Panswad, 1975)

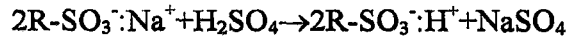
Sınıflama	Aktif grup	Ayrışma sabiti
Katyon değiştirici reçineler		
Kuvvetli-asit	Sülfonik	1 
	Metilsülfonik	1 $-\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}^+$
Zayıf-asit	Karboksilik	4-6 $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{COO-H}^+)\text{CH}_2-$
	Fosforik	2-3  7-8
	Fenolik hidroksil	9-10 
Anyon değiştirici reçineler		
Kuvvetli-baz	Kuaterner amonyum (I. Tip)	13 
	(II. Tip)	- 
Zayıf-baz	Primer amin	6-9 
	Sekonder amin	7-9 
	Tersiyer amin (aromatik matris)	9-11 
	Alifatik matris	- $\begin{array}{c} \text{CHCH}_2\text{NCH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{CH}_2 \end{array}$

Helms (1973), değişik tipteki reçineleri şöyle örnelemiştir;

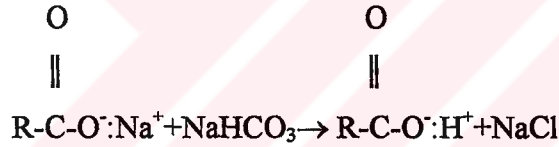
1. Kuvvetli-asit reçineler: Bu reçineler nötr tuzları parçalar ve bu tuza ait asitleri oluşturur.



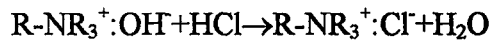
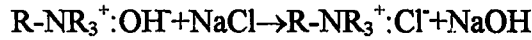
Bu reçineler  $\text{H}_2\text{SO}_4$  veya  $\text{HCl}$  gibi kuvvetli asitlerle rejenere edilirler. Bu tip reçinelerin rejenerasyon verimleri %30-50'dir.



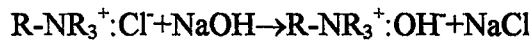
2. Zayıf-asit reçineler: Bu reçineler nötr tuzları parçalayamazlar. Fakat suda alkaliniteye sebep olan bikarbonatı karbonik asit olarak uzaklaştırırlar (eğer bu değişim tepkimesi devam ediyorsa fonksiyonel gruptan daha zayıf bir asit oluşur).



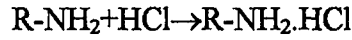
3. Kuvvetli-baz reçineler: Kuvvetli-baz reçineler nötr tuzları parçalayarak ilgili baz formuna çevirirler.



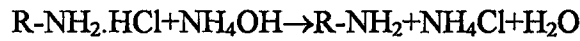
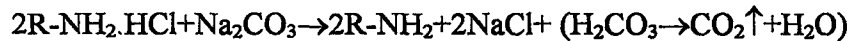
Kuvvetli-baz reçinelerin rejenerasyonu  $\text{NaOH}$  ile yapılır ve verim %30-50 arasında değişir.



4. Zayıf-baz reçineler: Bu reçineler nötr tuzları parçalayamazlar fakat kuvvetli asitleri adsorbsiyon ile uzaklaştırırlar.



Bu tip reçinelerin rejenerasyonunda NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub>OH kullanılır.



Rejenerasyon verimleri %100 olmakla birlikte bu tip reçineler pH=7'de kullanılabilirler.

Tuzların parçalanması deyimiyle kuvvetli-asit veya kuvvetli-baz iyon değiştirici reçinelerden geerirken ilgili asit veya baza çevrilmesi tanımlanmaktadır.

İyon değiştiricide bulunması gereken zellikler:

- Reçinede değişebilen iyon olmalı
- Reçine suda özünmemeli
- Reçine gözenekli yapıda olmalı ve içerisinde iyonların geçebileceği yeterli boşluk olmalıdır.

İyon değiştirme kapasitesi; iyon seçici reçinenin içerisinde veya sistemin dizaynında reçine kapasitesi, sistemin maliyeti ve verimi üzerine olan etkisinden dolayı önemlidir. İyon değiştirici reçinelerin kapasitesi genellikle toplam kapasite (teorik kapasite veya azami kapasite) ve işletme kapasitesi (atılım kapasitesi) olarak iki kısıma ayrılır. Toplam kapasite iyonların toplam miktarının ölçümüdür. Başka bir deyişle reçinede birim kütle veya birim hacim başına teorik olarak değişebilen iyonların toplam miktarıdır. Birim olarak ifadesi, reçineler hacim olarak satıldıkları ve ölçüldükleri için meq/L, eq/L, grain (tanecik) CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, kg grains CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> şeklindedir.

İşletme kapasitesi bazı özel şartlar altında reçine yatağından geçen çözeltideki iyonların değişim kapasitesinin ölçüsüdür. Diğer bir tanımla, reçine içerisinden geçirilen çözeltideki değişen iyon miktarı olarak da ifade edilebilir. Reçine kapasitesi; kolondan akış hızına, yatak derinliğine, seçicilik katsayısına, yer değiştiren iyonun büyüklüğüne, kullanılan rejenerant maddenin miktarına, besleme çözeltisinin derişimine ve bileşimine, sıcaklığa ve çıkış suyu kalitesine bağlıdır. Atılım eğrisinin herhangi bir noktasındaki işletme kapasitesi;

$$X = \frac{Co.Vop}{Vr} - \frac{Co^i}{Vr} \sum_{i=1}^n (Yt.Vt)$$

X: İşletme kapasitesi

Co: Kolona giren suda iyon konsantrasyonu (meq/L)

Ca: Kolondan çıkan suda iyon konsantrasyonu (meq/L)

(Ca/Co)<sub>L</sub>: Çıkış suyunda giderilmesi istenen iyonun bulunması durumundaki oran (Lakeage)

Vop: İşlem boyunca kolon içerisinden geçen sıvı hacmi (mL)

Vr: Kolondaki reçine hacmi (mL)

Vt: t zamanda reçine içerisinden geçen çözelti hacmi (m/L)

$$Yt = Ca/Co$$

İşletme kapasitesi; iyon değiştirici kolon tasarımında kullanılan önemli bir parametredir. Abrams ve ark (1967), ideal koşullar altında kapasite değerlerini belirlemişlerdir. Değişen koşullar için işletme kapasitesi %15-20 düşük kabul edilir.

Andersen (1975)'de geliştirdiği yöntemle kuvvetli-asit katyon değiştirici reçineler ve kuvvetli-baz anyon değiştirici reçinelerin veriminin hesaplandığı bir yöntem geliştirmiştir. Bu metodun temeli, Ca/Co=1 olduğunda giriş suyu



giderilmesi istenen iyonun derişiminin, kolon çıkışındaki derişimine eşit olduğu ve sızmanın (leakage) %100 olmasına dayanır.

Denge halindeki reçinenin bileşimi iki şekilde açıklanır;

1- İyon değiştirici kolonun sınırlı işletme kapasitesi

2- İyon değiştirici kolonun spesifik derişimde rejenerant çözelti ile rejenerasyon seviyesinin belirlenmesi.

Bu metod kullanılarak teorik olarak hesaplanan reçinelerin uygulamaya konulduklarında aynı işletme kapasitesinde çalışmalarını mümkün olmamakla birlikte elde edilen değerler yaklaşık olarak uygulamada kullanılabilirler.

Anderson (1975),

$$K'_{A^+}^{B^{n+}} = \frac{[R\bar{n} B^{n+}]_R [A^+]_S^n}{[R^- A^+]_R^n [B^{n+}]_S}$$

eşitliğini yeniden düzenleyerek, seçicilik katsayısını, derişimle ilgili olarak, eşdeğer kısım olarak ifade etmiştir.

a. C: Çözeltinin toplam anyonik veya katyonik derişimi, (eq/L)

$$b. X_{A^+} = \frac{[A^+]_S}{C}$$

$X_{A^+}$ : Çözeltideki  $A^+$  iyonunun eşdeğer fraksiyonu

$$c. X_{B^+} = \frac{[B^+]_S}{C}$$

$X_{B^+}$ : Çözeltideki  $B^+$  iyonunun eşdeğer fraksiyonu

$$d. X_{A^+} + X_{B^+} = 1$$

$$e. \bar{X}_{A^+} = \frac{[R^- A^+]_R}{\bar{C}}$$

$\bar{X}_{A^+}$ : Reçinede  $A^+$  iyonunun eşdeğer fraksiyonu

$\bar{C}$  : Reçinenin toplam iyonik konsantrasyonu

$$f. \bar{X}_{B^+} = \frac{[R^- B^+]_R}{\bar{C}}$$

$\bar{X}_{B^+}$ : Reçinede  $B^+$  iyonunun eşdeğer fraksiyonu

$$g. \bar{X}_{A^+} + \bar{X}_{B^+} = 1$$

Yukarıda verilen eşitlikler

$$K'_{A^+} = \frac{[R_n^- B^{n+}]_R [A^+]_S^n}{[R^- A^+]_R^n [B^{n+}]_S} \text{ eşitliğinde yerine konulursa;}$$

$$K'_{A^+} = \frac{(\bar{C} \bar{X}_{B^+}) \left( C X_{A^+} \right)}{(\bar{C} \bar{X}_{A^+}) \left( C X_{B^+} \right)}$$

$$K'_{A^+} = \frac{(\bar{X}_{B^+}) + \left( X_{A^+} \right)}{(\bar{X}_{A^+}) + \left( X_{B^+} \right)}$$

$$X_{A^+} + X_{B^+} = 1$$

$$\bar{X}_{A^+} + \bar{X}_{B^+} = 1$$

eşitlikleri tekrar düzenlenirse;

$$X_{A^+} = 1 - X_{B^+} \quad \bar{X}_{A^+} = 1 - \bar{X}_{B^+}$$

$$X_{A^+} + \bar{X}_{A^+}$$

$$K'_{A^+B^+} = \frac{(\bar{X}_{B^+}) + (X_{A^+})}{(\bar{X}_{A^+}) + (X_{B^+})} \text{ eşitliğinde yerine konulursa,}$$

$$K'_{A^+B^+} = \frac{(1 - X_{B^+}) \cdot \bar{X}_{B^+}}{(1 - \bar{X}_{B^+}) \cdot X_{B^+}}$$

$$\left[ \frac{X_{B^+}}{1 - X_{B^+}} \right] \cdot K'_{A^+B^+} = \frac{\bar{X}_{B^+}}{1 - \bar{X}_{B^+}}$$

Bu eşitlik tamamen iyonize olmuş reçinelerde monovalent katyon veya anyonların değişimi için geçerlidir. Anderson (1975), bu eşitlikte üç önemli noktayı vurgulamıştır:

1.  $\frac{\bar{X}_{B^+}}{1 - \bar{X}_{B^+}}$  terimi; değişim kolonunda giriş ve çıkış iyon derişimlere birbirine

eşit olduğu noktada reçinenin durumunu gösterir.

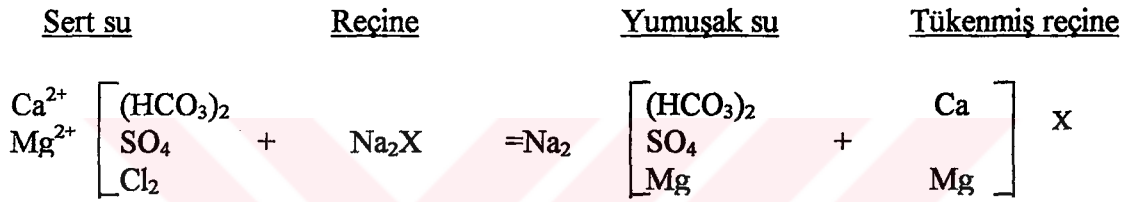
2.  $\bar{X}_{B^+}$  terimi; reçine  $X_{B^+}$  çözeltisi ile denge halinde iken, reçinenin  $B^+$  formuna dönüştürdüğü miktarı gösterir.

3.  $\bar{X}_{B^+}$ ,  $X_{B^+}$ 'nin rejenerant çözelti ile yenilenebilen maksimum rejenerasyon dercesini gösterir.

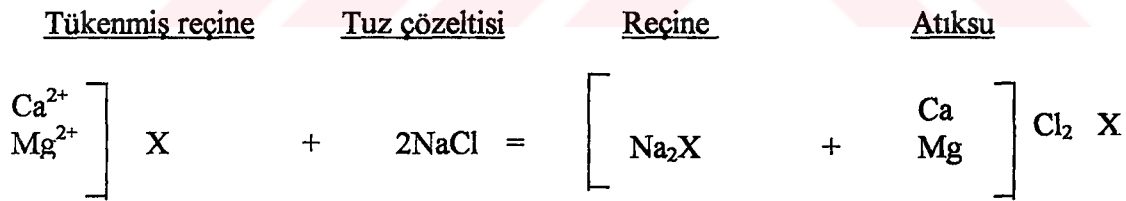
### 1.2.2.3 İyon Değiştirici Reçineler ile Su Yumuşatma

İyon değişimi ile suların yumuşatılma işlemi renk, bulanıklık ve askıda katı madde bulandırmayan sular için uygulanır.

Su yumuşatma için uygulanan en yaygın iyon değiştirici reçine sistemi sodyum formunda kuvvetli katyonik reçine bulunduran sürekli akışlı-sabit yataklı reçine kolonlarıdır. Sodyum katyon değiştirici yumuşatma prosesi iki ya da daha fazla yüklü katyonları sodyum iyonları ile değiştirir. Böylece sertlik içeren su, iyon değiştirici reçineden geçerken, yatak içerisindeki sodyum iyonları sertlik içeren iyonlar ile yer değiştirir. Bu şekilde çıkış suyu sıfır sertliğe yakın bir değere ulaşır (Keskinler, 1994).



Tükenen reçinenin %30-50 verimle kuvvetli tuz çözeltisi ile rejenerasyonu şu şekilde olur.



Rejenerasyon işleminden sonra iyon değiştirici reçineler tekrar işletmeye alınmadan önce 10-30 dakika süre ile çalkalama işlemi uygulanarak reçine fazla tuz çözeltisinden temizlenmelidir (Benefield ve ark, 1982).

### 2.2.2 Rejenerasyon ve Çalkalama

İyon değiştirici reçine sistemlerinin, değiştirme kapasitelerine bağlı olarak bir süre sonra yenilenmeleri gerekir. Yumuşatma işleminde kullanılan bir değiştiricide giriş

suyu sertlik miktarı  $C_0$ , çıkış suyu sertlik miktarı  $C$  ile gösterilirse;  $C=0,05C_0$  durumunda reçinenin rejenerasyonu gerekir (Reynolds, 1982).

Kuvvetli asit değiştirici reçinelerde rejenerant olarak mineral asitler kullanılır. Genellikle reçineler bütün kapasiteleri doluncaya kadar çalıştırılmazlar. Rejenerasyondan sonraki adım olarak rejenerant madde fazlasının kolondan temizlenmesi amacıyla çalkalama işlemi yapılır. Bu amaçla reçine kolonundan 10-40 dakika süre ile geçirilen su, sisteme verilmemelidir. Rejenerasyonda, iyon değiştirme işlemi ile aynı yönde veya ters yönlü akımlar kullanılır (Abrams, 1973; Benefield, 1982).

### 2.2.3 İyon Değiştirici Reçine Kolonlarının Boyutlandırılması

İyon değiştirici reçine kolonlarının boyutlandırılmasında aynı ölçekte büyültme yaklaşımı veya kinetik yöntem kullanılır. Projelendirmenin yapılabilmesi için laboratuvar ölçekli bir test kolonundan atılım eğrisinin elde edilmesi gerekir. Kolondan geçen su hacmi, x eksenine, çıkış suyunun derişimi ise y eksenine yerleştirilerek elde edilecek olan atılım eğrisinin, atılım noktasına kadar olan kısmının üst kısmında kalan alan, reçine tarafından tutulan maddenin miktarını vermektedir. Kolonun uzaklaştırabileceği maksimum miktar ise atılım eğrisinin üst tarafında kalan tüm alana eşittir. Reçine kolonlarında aktif karbon kolonları gibi tamamen tükeninceye kadar çalıştırılmazlar. Reçine kolonunun, atılım noktasına kadar olan performansı ile uzaklaştırdığı miktar, kolonunu atılım noktasından sonra uzaklaştırdığı miktardan daha fazladır (Abrams, 1973; Ellis ve ark, 1992; Keskinler ve ark, 1995).

## 3. FİLTRASYON

İçme suyu arıtımında en çok kullanılan arıtma şekillerinden birisi filtrasyon (süzme) dur. Su arıtımında filtrasyon işleminin amaçları;

1. Suda asılı bulunan küçük tanecikleri sudan ayırmak ve bulanıklığı gidermek
2. Organik maddenin okside olmasını sağlamak (yavaş kum filtreleri)
3. Mikroorganizmaları bir ölçüde sudan uzaklaştırmak

4. Demir ve mangany okside etmek
5. Amonyumu okside etmek
6. Bir sonraki basamak için (iyon değişimi, adsorbsiyon) su arıtımı sağlamak (Eroğlu, 1990)

Katı sıvı ayırma tekniği olarak bilinen filtrasyon ile poroz bir ortam veya geğirimli bir malzeme arasından geçirilen suyun içindeki süspanse katıların uzaklaştırılması mümkündür. Filtrasyon işlemi özellikle içme sularının arıtılmasında yüksek kalitede içme suyu eldesinde kullanılır. Aynı zamanda atıksuların arıtılmasında kimyasal olarak arıtılmış ikinci çıkış suları ile, kimyasal olarak arıtılmış ham atıksuların filtrasyonunda kullanılır.

Filtreleri çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Filtrasyon hızına göre yavaş ve hızlı filtreler olarak iki kısımda incelenirler.

İnşaat ve hidrolik şartlara göre sınıflandırma;

1. Yerçekimi ile çalışan filtreler: Bu tip filtrelerin üstleri açıktır. Su yerçekimi ile akar ve filtre çıkışı atmosfer basıncındadır.
2. Yukarı akışlı filtreler: Bu filtrelerde su girişi alttandır.
3. Basıncılı filtreler: Basınca dayanaklı tank şeklinde olan filtrelerde su bir pompa yardımı ile filtre içine basılır.

Filtrasyonun pek çok alanda kullanılmasının temel nedeni yüksek kalitede çıkış suyu elde edilmesidir. Filtreler kullanılan filtre malzemesinin türüne göre üç sınıfa ayrılır.

Tek ortamlı filtreler: Bunlar tek tip filtre ortamına sahip olup genellikle bu ortam kum veya sıkıştırılmış antrasit kömürdür.

Çift ortamlı filtreler: Genellikle kum ve antrasitten oluşan iki filtre ortamına sahiptirler.

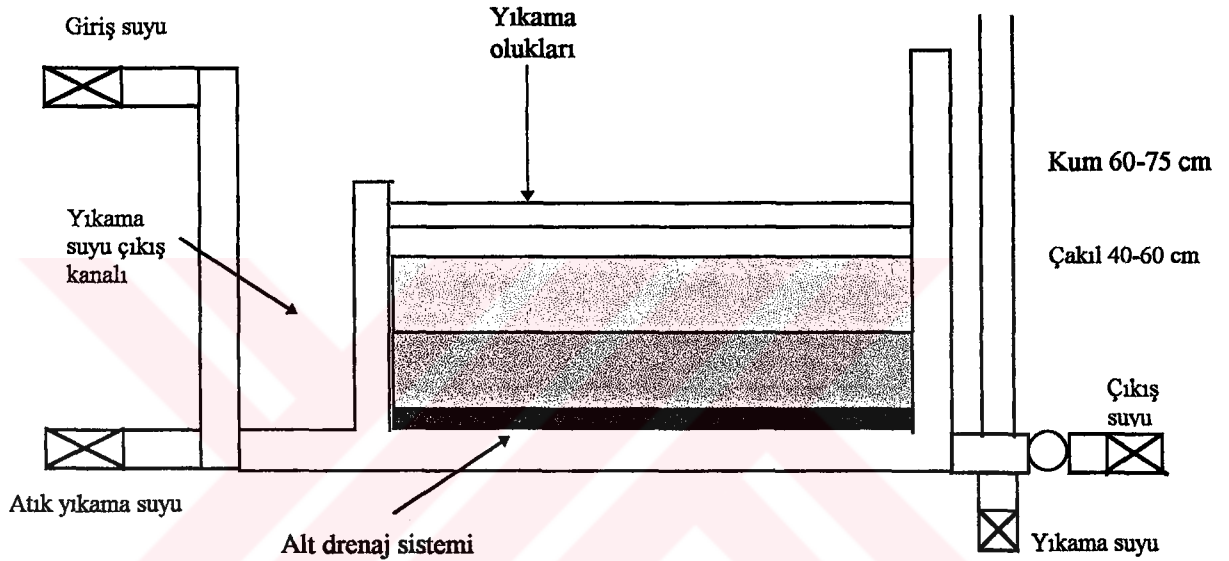
Çok ortamlı filtreler: Bunlar antrasit, kum ve akıldan oluşan üç filtre ortamına sahiptirler.

Su arıtımında yukarıda sıralanan üç tip filtre kullanılır. Fakat çok ve çift ortamlı filtrelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. İleri arıtma ve atıksuların

üçüncül arıtımında kullanılan filtre tipleri çift veya çok ortamlıdır. Genelde su ve atık su arıtımında kullanılan filtrelerin filtrasyon prensipleri aynıdır (Reynolds, 1982).

### 3.1 Tek Ortamlı Filtreler

Atıksu arıtımında kullanılan hızlı kum filtreleri genel olarak ağırlık prensibine göre çalışır ve çoğunlukla açık beton havuzlar şeklinde inşa edilirler. Şekil 4’de hızlı kum filtrasyonuna ait kum çakıl derinlikleri ve alt dren sisteminin detayları verilmiştir.

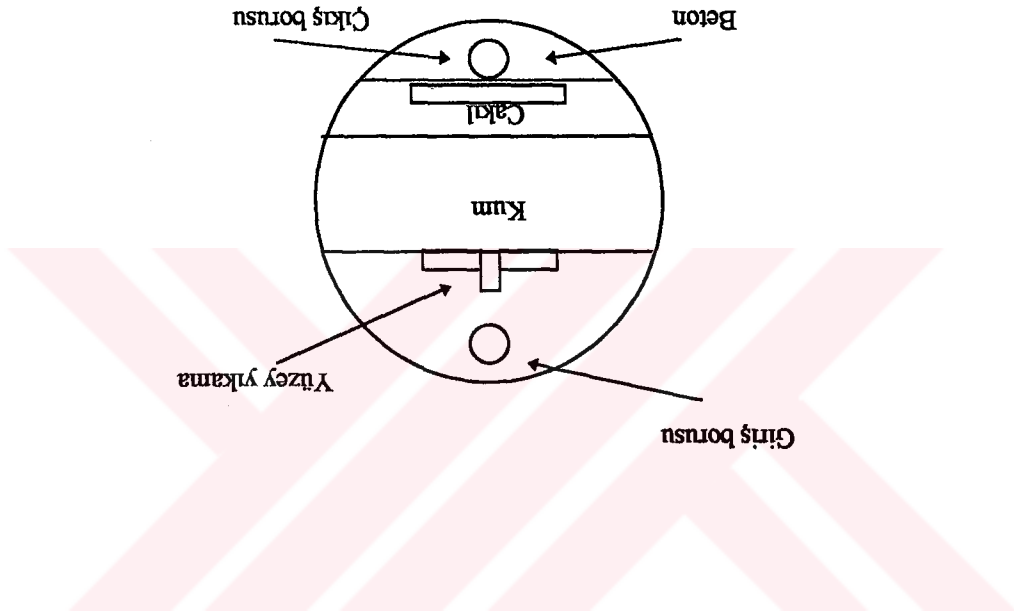


Şekil 4. Hızlı Kum Filtrasyonu Yatak Detayları (Uslu, 1994)

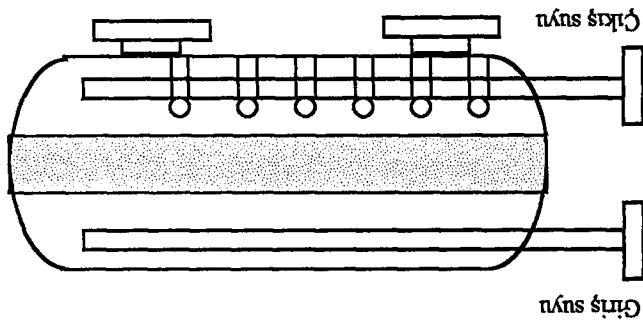
Açık gravite esaslı filtre sistemleri yaygın olarak kullanılmasına rağmen basınçlı filtreler de günümüzde kullanılmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6’da basınçlı filtreler gösterilmiştir (Uslu ve ark, 1994).

Basınçlı filtrelerde filtre malzemesi olarak genellikle kum yerine antrasit kömür veya kuvars kum kullanılır. Kum yatağı genellikle 60-70 cm olup, yatak altında kullanılan çakıl tabakasının yüksekliği ise 35-60 cm arasındadır. Bazı durumlarda çakıl

Şekil 6. Yatay Basınçlı Filtre (kesit) (Uslu ve ark, 1994)



Şekil 5. Yatay Basınçlı Filtreler (Uslu ve ark, 1994)



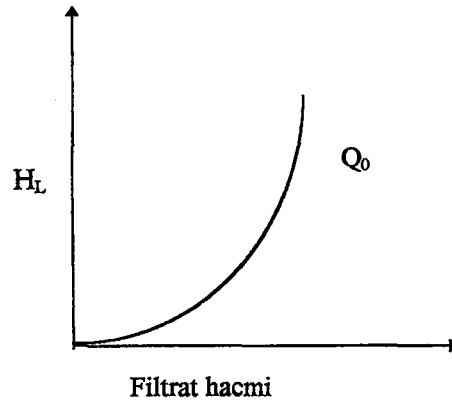


kullanımı gerekli olmakla beraber her zaman kullanılması zorunlu değildir. Filtredeki su seviyesi kum seviyesinin üzerinde olmalıdır (Uslu ve ark, 1994). Su filtre yatağını geçerek alt drenaj sistemi yardımı ile dışarı alınır. Drenaj kanallarından geçen suyun akış debisini kontrol eden vanalar yardımı ile filtrasyon debisi kontrol edilir.

İnce süspanse flokların uzaklaştırılmasında kum kadar kumların üstüste gelmesi ile oluşan porların da rolü büyüktür. Su porlar arasından aşağı doğru hareket ederken, ince süspanse flokların ve kolloidlerin bazıları kum yüzeylerine yapışır. Flokların bir kısmı porlar içerisinde tutulur. Bu durum porlarda daralmalara neden olur. Porlarda tutulan ince floklar yığılma sonucu bir örtü tabakası meydana getirirler. Bu tabaka filtre sisteminde basınç kayıplarına neden olur. Filtrenin çalışması ile birlikte biriken floklar, gözenekli bölgenin küçülmesine yol açar. Oluşan flokların bir kısmı filtrenin daha derin kısımlarına taşınır. Filtre yatağı bir süre sonra geri yıkamaya alınarak temizlenmeli veya filtre ortamı değiştirilmelidir (Tchnobanoglous ve ark, 1986).

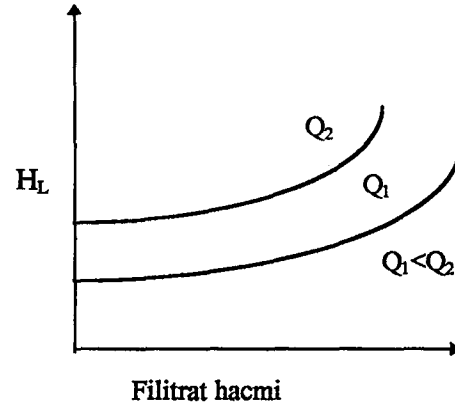
Temiz bir filtre yatağı işletmeye alındığında, başlangıçta yatakdaki flok birikmesi yatağın ilk 10 cm'lik kısmı içerisinde olur. İşletme süresi arttıkça flok birikimi filtre yatağının daha derinlerine iner. Flok birikimleri hidrolik yük kayıplarını artırır.

Temiz bir filtrede yük kaybı filtrasyon debisine bağlı olarak 15-45 cm arasındadır. Ancak filtre çalıştıkça yük kayıpları artar. Daha ileri yük kayıplarında istenmeyen negatif basınçlar ortaya çıkar. Uygulamada yük kaybı 180-240 cm olduğunda yatak geri yıkamaya alınır. Gerekli yıkama suyu miktarı filtrelenen suyun %1-5'ı kadardır. En fazla kullanılan yıkama suyu miktarı filtrelenen suyun %2-3'ü arasında olmalıdır. Özel bir filtre için filtrat hacminin yük kaybı ile ilişkisi Şekil 7'de verilmiştir.

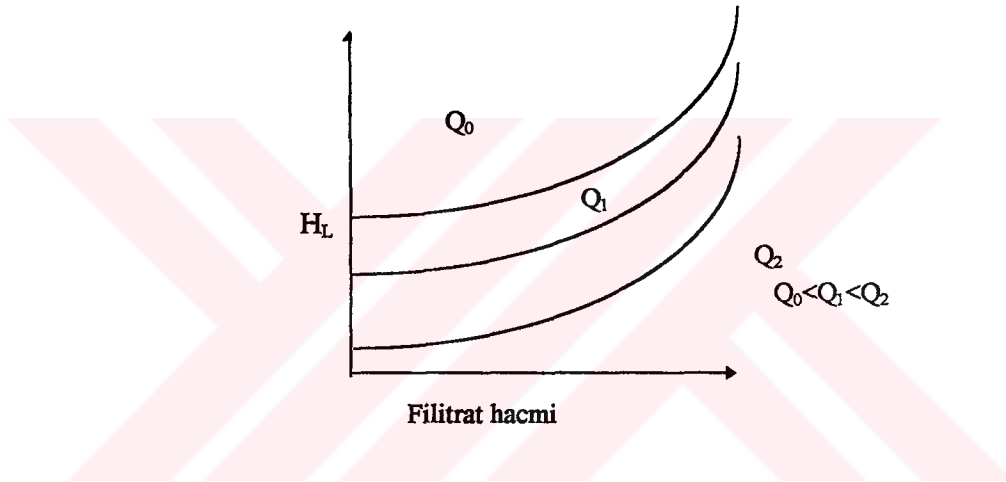


**Şekil 7. Sıkışabilen Katıların Yüzeyde Tutulması Durumunda  
Yük Kaybı ile Filtrat Hacmi Arasındaki İlişki  
(Metcalf ve ark, 1991)**

Bu tip eğriler düşük filtrasyon hızlarında ve ince taneli ortamlarda görülür. Filtrede flokların tutulması daha derinlerde meydana gelirse yük kaybı ve filtrat hacmi arasındaki ilişki Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu tip eğriler yüksek filtrasyon hızlarında granüler filtrelerde ortaya çıkar. Floklaşmış süspanse katılar hem filtre yüzeyinde hem de filtrenin derin kısımlarında tutuluyor ise yük kaybı ve filtrat hacmi arasındaki ilişki Şekil 9'daki gibi olur. Şekil 9'da da görüldüğü gibi düşük filtrasyon hızlarında ( $Q_0$ ), yüzeyde tutulma daha fazladır ve eğri Şekil 6'da görülen eğriye benzer. Genellikle hızlı kum filtrasyonundaki filtrasyon hızlarında floklar, filtre derinlerinde tutuldukları için yük kaybı eğrileri düzleşir.



**Şekil 8.** Tutulmanın Daha Derinlerde Meydana Geldiği Durumlarda Yük Kaybı ile Filtrat Hacmi Arasındaki İlişki (Metcalf, 1991)



**Şekil 9.** Floklaşmış Süspans Katılar Filtre Yüzeyinde ve Derin Kısımlarda Tutulduğu Durumlarda Yük Kaybı ile Filtrat Hacmi Arasındaki İlişki (Metcalf, 1991)

Besleme suyu yüksek bulanıklık ve büyük floklara sahipse floklar yüzeyde tutulur. Bu durumda filtre çok çabuk tıkanır ve yük kayıpları kısa sürede limitleri aşar. Besleme suyu düşük bulanıklık ve küçük floklara sahipse flokların daha derinde tutulması ile filtre ömrü uzar.

Filtrelerde kullanılan kumlar üniformluk katsayısı ve etkin boyut parametresi ile tanımlanırlar. Etkin boyut kumun %10'unun geçtiği elek boyutu, üniformluk katsayısı kumun %60'nın geçtiği elek boyutunun %10'unun geçtiği elek boyutuna oranıdır. Hızlı kum filtrelerinde etkin boyutu 0,35-0,50 mm olan kum kullanılır. Bununla birlikte filtrasyon işleminde etkin boyutu 0,7 mm olan kum kullanılmaktadır. Üniformluk katsayısı genellikle 1,3-1,7 arasındadır (Drinking Water Units and Related Products, 1990; Desing Standarts for Small Public Drinking Water Systems, 1986).

Çakıl, kum yatağına destek sağlamak amacıyla kullanılır. Bu tabaka bir kaç tabakadan oluşur. Toplam çakıl derinliği 15-60 cm arasında değişmekle birlikte, en çok kullanılan derinlik 45 cm' dir. Kum tabakası üzerinde yer alan çakılın boyutu, kum boyutuna bağlıdır.

Alt drenaj sistemi filtrasyon esnasında yataktan filtrelenmiş suyun toplanmasına ve sistemden suyun dışarı alınmasına yardımcı olur. Ayrıca yatağın geri yıkanması süresince, geri yıkama suyunun dağıtımında görev alır. Alt drenaj sistemi genel olarak iki tiptir.

1. Delikli boru tipli dağıtıcı
2. Delikli taban tipli

Standart filtrasyon debisi 80 L/min-m<sup>2</sup> dir. Bu değer hızlı kum filtrelerinin çalıştırılmasında kullanılan en yaygın filtre debisidir (Eroğlu, 1990; Metcalf, 1991; Uslu, 1994).

Filtre sistemi işletimi optimum durumda ise, izin verilen maksimum yük kaybı, izin verilen çıkış suyu bulanıklığı ile aynı anda meydana gelir. Bu yüzden filtrenin çalışmasının durdurulması maksimum yük kaybı veya yüksek çıkış suyu bulanıklığından birine ulaşıldığında yapılır. Filtrenin çalışma ömrü besleme suyu kalitesine bağlıdır. Filtre ortamı geri yıkama durumuna alındığında, filtre yatağı içerisindeki ve üzerindeki birikmiş floklar uzaklaştırılır. Geri yıkama debisi 610-810 L/min-m<sup>2</sup> olmalıdır. Yatak genişlemesi tabandaki kum tanelerinin %20-50'sinin süspanse olarak asılı kalmasına izin verilir. Geri yıkama işlemi temiz su elde edilinceye kadar devam eder (Eroğlu, 1990; Uslu, 1994; Metcalf, 1991).

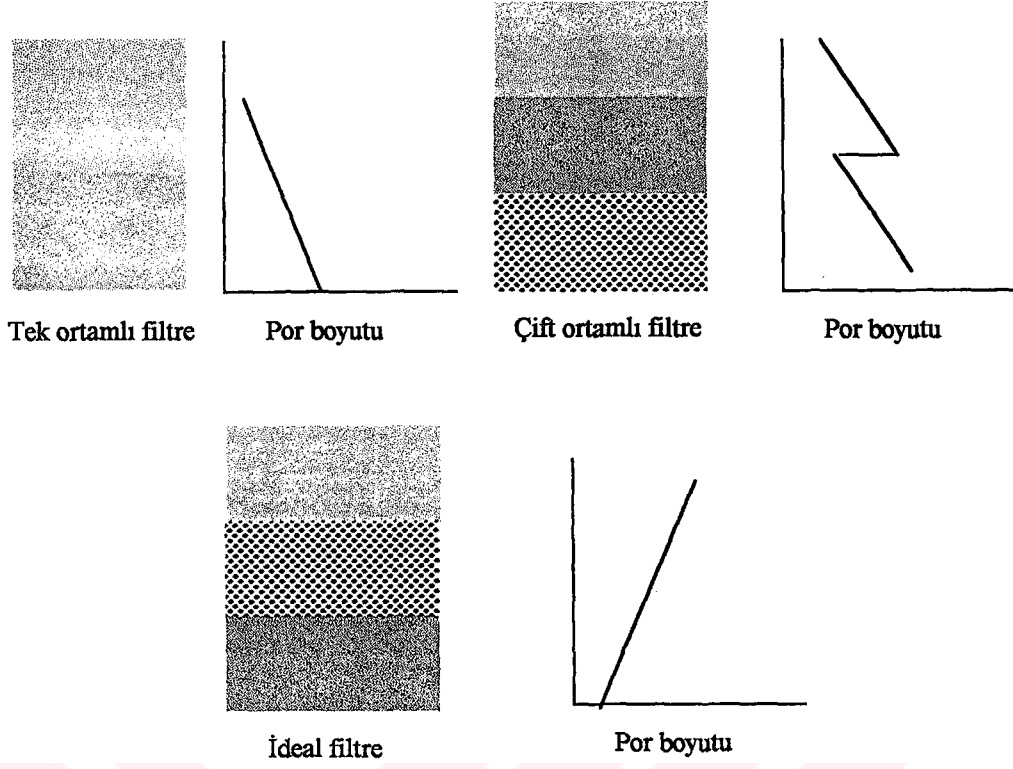
### 3.2 Çok Ortamlı Filtreler

Bu filtreler birden fazla filtre ortamına sahiptir ve kullanımları son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle ileri ve üçüncül atıksu arıtımında bu filtreler başarı ile kullanılmaktadır. Çok ortamlı filtre yataklarında genellikle antrasit ve kum kullanılır. Bununla birlikte aktif karbon ve kumun kullanıldığı sistemler de vardır. Bu tip filtre ortamları çözülmüş organik maddeleri uzaklaştırma yeteneğine de sahiptir. Çok ortamlı filtreler tek ortamlı filtrelere göre bazı avantajlara sahiptir. Çok ortamlı filtrelerde işletme süreleri daha uzun, filtrasyon hızları daha yüksektir. Ayrıca çok ortamlı filtrelerde yüksek bulanıklık ve süspansiyon katı madde içeren suların filtrelenmesi mümkündür. Tek ortamlı filtrelerde katıların tutunması için kullanılabilen por hacminin büyük bir kısmı, filtre yatağının en üst kısımlarında yer alır. Çok ortamlı filtrelerde ise, yararlanılabilir por hacmi yatağın derinliklerine kadar uzanır.

Tek ortamlı filtreler atıksu ve ileri atıksu arıtımında nadiren kullanılırlar. Bu tip filtrelerin çalışma ömrü kısadır (Joseph ve ark, 1992; Aral, 1993).

### 3.3 Çift Ortamlı Filtreler

Çift ortamlı filtrelerde ince kum tabakasının üstünde kaba antrasit tabakası bulunur. Bu tür filtre yerleşimi por hacmini artırır.



**Şekil 10. Değişik Filtrelerin Por Boyutu ve Yataktaki Dizilişleri**  
(Uslu ve ark, 1994)

Çeşitli filtre ortamları Şekil 10'da gösterilmiştir. Çift ortamlı filtrelerin kullanılabilir por hacmi, tek ortamlı filtrelerin por hacimlerinden daha büyüktür. İdeal bir filtre yatağında por hacmi filtrenin en üstünde maksimum olmalıdır. İdeal filtrelerde por hacmi dibe gidildikçe azalır.

### 3.4 Karışık Ortamlı Filtreler

İdeal filtrelerde en büyük boyutlu malzeme yatağın en üstünde, en küçük boyutlu malzeme en altında yer alır. Bu nedenle yatağın üstünde por boyutu maksimum olur ve tabana gidildikçe por hacmi dereceli olarak azalır. İdeal filtrelere çift ortamlı filtreler ile yaklaşmak mümkündür. Bu durumda kumun yukarısına ezilmiş antrasit kömürü ve kumun altına ise çok yoğun üçüncü bir ortamın yerleştirilmesi gerekmektedir. Geri yıkama esnasında ortamlar arasında bir karışma meydana geleceğinden karışık ortamlı filtreler oluşur (Joseph ve ark, 1992; Uslu ve ark, 1994).

### 3.5 Filtrasyon Sisteminin Ayrıntıları

Genellikle ağırlık filtreleri betonarme olarak inşa edilir ve ihtiyaç duyulan minimum filtre sayısı iki adettir. Ancak 4 adet olması tercih edilir. Bu filtreler yanyana yerleştirilirler ve paralel olarak çalışırlar. Soğuk iklimlerde filtreler kapalı olarak inşa edilirler. Basınçlı filtreler genellikle silindirik biçimde yapılırlar.

1. Elle kontrol
2. Tam otomatik kontrol

Tam otomatik kontrol sistemleri yük kaybı ve çıkış suyu bulanıklığı parametrelerinin ölçülmesi ile sistemi kontrol eder. İzin verilen maksimum yük kaybı veya bulanıklık değerine ulaşıldığında, otomatik olarak geri yıkama başlatılır. Bu sistemlerde tüm vanalar, akış düzenleyiciler otomatik olarak kontrol edilirler (Eroğlu,1990) .

#### 3.5.1 Su Uygulamalarında Filtrasyon

Hızlı kum filtreleri genellikle kimyasal koagülasyon, flokülasyon ve sedimentasyondan sonra kullanılır. Su arıtımında kullanılan filtreler genellikle tek ortamlı olup, bir çakıl tabakası üzerine yerleştirilen kuartz kumdan oluşur. Bu tip filtrelerde 5-10 birim bulanıklılığa sahip suların %90-98 oranında arıtılması mümkündür. Yavaş kum filtreleri genel olarak 80 L/min-m<sup>2</sup> filtrasyon debisine

sahiptir. Yüksek hızlı filtrelerde bu değer 120-200 L/min-m<sup>2</sup>'ye kadar çıkabilmektedir. Su arıtımında kullanılan tek ortamlı filtrelerin özellikleri Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 6. Su Arıtımı İçin Tek Ortamlı Filtre Ortamı Özellikleri**  
(Uslu ve ark., 1994)

Değer		
Özellik	Aralık	Tipik değer
<b>Kum ortam</b>		
Derinlik (cm)	60-76	70
Etkili boyut (mm)	0,35-0,70	0,60
Üniformluk katsayısı	<1,70	<1,70
Filtrasyon debisi (L/min-m <sup>2</sup> )	80-200	160
<b>Antrasit ortam</b>		
Derinlik (cm)	60-76	70
Etkili boyut (mm)	0,70-0,75	0,75
Üniformluk katsayısı	<1,75	<1,75
Filtrasyon debisi (L/min-m <sup>2</sup> )	80-200	180

Çift ve tek ortamlı filtrelerin gelişmesi ile birlikte çoğu arıtma tesisinde bu tip filtrelerin kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu filtrelerin esas avantajları daha uzun süre ve yüksek filtrasyon hızlarında çalışmalarıdır. Çizelge 7 ve Çizelge 8'de sırası ile çift ve çok ortamlı filtrelerin özellikleri verilmiştir.



**Çizelge 7. Çift Ortamlı Filtrelerin Özellikleri (Uslu ve ark., 1994)**

Değer		
Özellik	Aralık	Tipik değer
<b>Antrasit ortam</b>		
Derinlik (cm)	45-60	60
Etkili boyut (mm)	0,90-1,10	1,00
Üniformluk katsayısı	1,60-1,80	1,70
<b>Kum ortam</b>		
Derinlik (cm)	15-20	15
Etkili boyut (mm)	0,45-0,55	0,50
Üniformluk katsayısı	1,50-1,70	1,60
Filtrasyon debisi (L/min-m <sup>2</sup> )	120-320	200

**Çizelge 8. Su Ortamında Kullanılan Karışık Ortamlı Filtrelerin Özellikleri (Uslu ve ark., 1994)**

Değer		
Özellik	Aralık	Tipik değer
<b>Antrasit ortam</b>		
Derinlik (cm)	42-54	46
Etkili boyut (mm)	0,95-1,00	1,00
Üniformluk katsayısı	1,55-1,75	<1,75
<b>Kum ortam</b>		
Derinlik (cm)	15-23	23
Etkili boyut (mm)	0,45-0,55	0,50
Üniformluk katsayısı	1,50-1,65	1,60
<b>Garnet</b>		
Derinlik (cm)	8-12	8
Etkili boyut (mm)	0,20-0,35	0,20
Üniformluk katsayısı	1,60-2,00	<1,60

Filtrasyon işlemi sırasında kirliliğin giderilmesinde birbirinden farklı olarak aşağıdaki olaylar meydana gelir;

1. Mekanik süzme
2. Çökelme
3. Adsorbsiyon
4. Kimyasal reaksiyon
5. Biyolojik faaliyet (Eroğlu, 1990)

**Çizelge 9. Hızlı Kum Filtreler ile Yavaş Kum Filtrelerin Karşılaştırılması**  
(Eroğlu, 1990).

Karşılaştırılan özellikler	Hızlı kum filtreler	Yavaş kum filtreler
Filtre hızı ( m <sup>2</sup> /h)	5-15	0,10-0,50
Kumun tane çapı (mm)	0,50-2	0,15-0,35
Üniformluk katsayısı $U=d_{60}/d_{10}$	<1,50	2-3
Yatak kalınlığı (m)	0,50-2	0,60-1,20
Su yüksekliği (m)	0,25-2	1,00-1,50
Temizleme şekli	Geri yıkama	Sıyırma
Filtrede etkili bölge	Bütün hacim	Üst yüzey
İnşa maliyeti	Düşük	Yüksek
İşletme masrafları	Yüksek	Düşük
Tesis ömrü	Kısa	Uzun
Yetişmiş eleman ihtiyacı	Fazla	Az

### 3.6 Yavaş Kum Filtreleri

Yavaş kum filtrelerinde su kendi ağırlığı ile ince taneli kum tasakasından düşük su hızı ile süzülür. Filtre hızı 0,1 ile 0,4 m<sup>2</sup>/h arasında değişir. Efektif tane çapı 0,15-0,35 mm arasındadır. Süspansiyon ve kolloid maddeler filtrenin yüzeyinde birikir. Filtre malzemesinin tane çapları küçük olduğundan filtrenin derinliklerine ilerleyemezler. Filtrenin tıkanması halinde üst kısımdaki bir kaç cm kalınlığındaki

tabaka sıyrılır. Filtrede kum tabakası kalınlığı 0,6-1,2 m, su yüksekliği 1,0-1,5 m'dir. Kışı soğuk geçen ve don olayının görüldüğü bölgelerde yavaş kum filtreleri üzeri kapalı şekilde inşa edilmelidir. Bazı durumlarda alg büyümesini önlemek, rüzgar nedeni ile doğabilecek kirlenmelerden korumak amacı ile de filtrenin üstü kapalı yapılır.

Yavaş kum filtreleri özellikle sudan mikroorganizmaların giderilmesi işleminde kullanılır. Daha çok içme suyu eldesinde kullanılan bu sistemler iyi bir verimle çalıştırıldıklarında E.coli için azalma faktörü ( $R=C_0/C$ ), 1 000-10 000 değerine ulaşır (Levis ve ark., 1991).

Yavaş kum filtrelerinin çabuk tıkanmasının engellenebilmesi için ortalama bulanıklığın 10 mg/L'nin altında ( $SiO_2$ ) olması gerekir. Bulanıklılığının bu değerden büyük olduğu durumlarda aşağıdaki ön işlemlerden biri uygulanır;

1. Çöktürme
2. Biriktirme ve gerektiği durumda alglerin uzaklaştırılması amacıyla mikro elekten geçirme
3. Hızlı kum filtresi
4. Çöktürme ve hızlı kum filtresi
5. Yumaklaştırma, çöktürme, hızlı kum filtresi

Yavaş kum filtreleri, işletmelerinin kolay, yetişmiş eleman ihtiyacının az olması, çıkış suyu kalitesinin iyi olması nedeni ile özellikle küçük yerleşim birimleri için uygun bir arıtma şeklidir. İnşaatı zor olmadığından yeni gelişmekte olan yerlerde de uygulanabilir.

Yavaş kum filtrelerinin sakıncaları büyük alanlara gerek olması ve ilk yatırım maliyetinin fazla olmasıdır. Fakat işletme masrafları hızlı kum filtrelerine göre daha düşüktür.

Yavaş kum filtreleri çıkış suları kalitesi bakteriyolojik bakımdan hızlı kum filtrelerine oranla daha iyidir. Bu nedenle özellikle küçük yerleşim yerlerinde arazinin uygun ve ucuz olduğu bölgelerde yavaş kum filtrelerinin kullanımı daha uygundur. Fakat ham suyun bulanıklığı fazla ise bu durumda ön arıtım gereklidir. Yavaş kum filtresinden önce hızlı kum filtresi kullanılabilir. Hızlı kum filtresinin kullanılma amacı

içme suyu için uygun kalitede su elde etmekten daha çok bir sonraki işlemin yükünü azaltmaktır. Böylece bir sonraki işlemde daha yüksek verim alınması sağlanmış olur.

### 3.7 Hızlı Kum Filtreleri

Filtrede, filtre yatağının üzerinde bir durgun su sütunu bulunmaktadır. Burada çökme işleminde olduğu gibi bazı tanecikler filtre yatağının üzerine çöker. Çökme havuzlarında, çökelen maddeler tabanda birikirler. Fakat filtrelerde, filtre yüzeyine ek olarak taneciklerin toplam yüzey alanı da söz konusudur. Yatağın porozitesi ( $p$ ), tane çapı ( $d$ ) ile gösterilirse  $1 \text{ m}^3$  hacimdeki küre şeklindeki kum malzemenin toplam yüzey alanı ;  $\frac{6}{d}(1-p)$ ,  $\text{m}^2$  olarak hesaplanabilir.  $p=0,4$  ,  $d=0,8$  mm alınırsa  $1 \text{ m}^3$  filtre malzemesinin yüzey alanı  $4 500 \text{ m}^2$  bulunur. Süzülme sırasında çökelen maddeler, gözenek hacmini azaltır, suyun geçtiği kesit daraldığından su hızı artar, filtre yüzeyinde çöken maddeler artan su hızı ile aşağı taşınır, filtre yatağı kalınlığı sınırlı olduğundan çıkış suyu kalitesi bozulur. Bu durumlarda hızlı kum filtrelerinin geri yıkanması gerekir (Keskinler ve ark, 1994).

## 4. KİRLİTİCİLERİN SU ORTAMINDA BULUNMALARI DURUMUNDA MEYDANA GETİRDİKLERİ OLUMSUZLUKLAR

Sudaki kirleticilerin olumsuz etkileri, kirleticinin türüne göre büyük farklılıklar göstermektedir. Sinerji, kirleticilerin birarada bulduklarında, tek tek buldukları duruma oranla daha zararlı olmalarıdır. Kirleticileri su ortamlarında yaptıkları etkilerin belirlenebilmesi ve somut bir biçimde ifade edilmesi için, su kalitesini tanımlayan bir dizi fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametreler kullanılır.

Yeraltı sularının kirlilik parametrelerini içermesinin temel nedenlerini büyük başlıklar altında toplamak mümkündür. Bu nedenlerle en önemlisi kentsel ve endüstriyel atıkların arıtılmadan su ortamlarına verilmesidir. Katı, sıvı ya da gaz atıklar çevreye verildikten sonra, iklim durumuna, toprağın yapısına, atığın cinsine ve zamana bağlı olarak yeraltısularına taşınır. Yeraltısuyunun kirlenmesinin diğer önemli

nedenlerinden biri de aşırı çekimdir. Tarım ilaçlarında son yıllarda kirletici etmen olarak büyük önem kazanmıştır. Genelde bitki besin maddeleri ve tarımsal mücadele ilaçlarının suya karışması iki yolla olmaktadır. Birincisi yüzey sularının, yeraltı sularına ve taban suyuna karışmaları, ikincisi ise erozyondur. Her iki durumda da kirlilik lokal olarak sınırlanmakta, suyun doğal dolanımına girerek diğer su kaynaklarına yayılmaktadır .

Ülkemizde en önemli kirlenme nedenlerinden biri, evsel atıkların doğrudan toprağa verilmesidir. Kanalizasyon sisteminin olmadığı yerlerde büyük uygulama alanı bulan septik çukurlardan sızan sular yeraltı sularına sızabilmektedir. Mikroorganizmalar, yeraltı sularına taşınım sırasında doğal olarak temizlenmeye uğrar. Ancak deterjan gibi parçalanmaya karşı dayanıklı bileşikler yeraltı suyuna ulaşarak içme suyu açısından sorun yaratabilmektedir. Septik sistemlerden çıkan diğer bir önemli kirletici de nitrattır.

Yeraltı suyu kalitesinde bozulmaya yol açan tarımsal faaliyetler pestisit ve gübre kullanımı ile hayvansal atıkların doğrudan toprağa atılmasıdır. Derin olmayan akiferlere bu maddeler kolaylıkla taşınabilmekte ve önemli sonuçlara yolaçmaktadır. Gübre kullanımı ve atıkların doğrudan çevreye verilmesi sonucu nitrat derişiminde artış olduğu görülmektedir.

Akiferlerden izin verilen en büyük çekimlerden daha fazla su alınması da kirlenmeye yol açmaktadır. Özellikle deniz kıyısı bölgelerde aşırı çekim su basıncının düşmesine ve deniz suyunun kara içerisinde ilerlemesine neden olmaktadır (Uslu ve ark, 1987).

Yeraltı sularında bulunan fosfatın kaynağı yüzeysel sulardır. Bir drenaj alanından yüzeysel suya verilen fosfor miktarının, yöredeki nüfus yoğunluğuna, tarımsal gübreleme yöntemi ve gübreleme sıklığına, hayvancılığa, bitki örtüsüne, toprağın pedolojik karakterine ve atıksu toplama ve arıtma sistemlerine bağlı olduğu bilinmektedir. Kişi başına dışkı ve idrarla günlük olarak atılan ortalama fosfor miktarı 1,5 gramdır. Temizlik işlerinde kullanılan ve atıksularla alıcı su ortamlarına ulaşan deterjanlarda yeraltı sularındaki fosfor derişimine etki etmektedir (Uslu, 1987). Fosfat

formundaki yüksek fosfor konsantrasyonları; nitrat ve organik karbon ile birlikte su ortamında bulduklarında, yüksek akuatik büyümeye neden olmaktadır. Bu durum fosfatın su ortamındaki en büyük etkisini oluşturur. En önemli fosfat kaynakları gübreler ve deterjanlardır. Herhangi bir bulaşmaya uğramamış doğal sularda 10-30µg/L toplam fosfat bulunabilmektedir. Fosfatın bu değerlerden daha yüksek derişimlerde bulunması yeraltısu kaynaklarına yüzeysel sulardan ve septik tanklardan bulaşma olduğunun bir göstergesidir. Sert suların buhar kazanlarında kireç taşı oluşturmaması için, fosfat bileşikleri sıklıkla kullanılır (Salvato ve ark, 1992). İçme ve kullanma suyu olarak kullanılmaya uygun I. kalite su kaynakları için verilen fosfat derişimi 0,07 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P/L dir. TS 266 içme suyu standartlarında fosfat için sınırlayıcı bir değer verilmemiştir. İçme ve kullanma sularına korozyonu engellemek amacıyla polifosfatlar eklenebilir. Aynı zamanda bazı su yumuşatma işlemlerinde fosfat kullanılarak kalsiyum karbonatın ortamdan çökeltilerek uzaklaştırılması sağlanır. Fosfat bileşikleri buhar kazanlarında kireç tabakası oluşumunu kontrol için kullanılmaktadır (Şengül ve ark, 1995).

İçme ve kullanma sularında giderek artan derişimlerde deterjana rastlanması bu maddelerin toksisitesi konusunda pek çok soruyu gündeme getirmiştir. Evsel atıkların yeraltı sularına ulaşması durumunda ayrışmaya uğramayan deterjanlar olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalarda yöresel olarak bakılan bazı içme sularında Dünya Sağlık Örgütünc saptanan sınırın 140 katına ulaşan miktarlarda deterjan bulunduğunu ortaya koymuştur (Uslu ve ark, 1987).

TS 266 İçme Suyu Standartlarında ABS için verilen 0,5 mg/L değer diğer pek çok ülkede de kabul edilen standarttır (TS 266, 1986).

Yeraltı suyunda belirlenen en önemli kirlilik parametrelerinden biri olan azot çoğunlukla nitrat şeklinde bulunur. Yeraltı suyunda nitrat derişimi tarımsal faaliyetler ve evsel atıksuların toprağa ya da toprak altına verilmesi ile giderek artmaktadır. Çözünmüş azotun yeraltı suyunda en sık rastlanan formu nitrat olmakla birlikte, amonyum (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), azot (N<sub>2</sub>), azot oksit (N<sub>2</sub>O) ve organik azot şeklinde de bulunabilmektedir. Yeraltı sularında azotça zengin bileşiklerin bulunduğu toprak

katmanlarından gelmesine karşın, bazı durumlarda toprak yüzeyindeki gübre ve atıklardan kaynaklanmaktadır.

Yeraltı suyunun yükseltgen olduğu ortamlarda çözünmüş azotun kararlı şekli nitrat olmaktadır. Geçirgen ya da çatlaklı kayalarda bulunan ve pek derinde olmayan yeraltı suları, çoğunlukla yüksek oksijen derişimi içerir. Böyle bir hidrojeolojik ortamda nitrat girdi alanından çok uzaklara taşınabilir.

İçme suları ile vücuda alınan nitrat bağırsak kanalında 4-12 saat içerisinde absorbe olur ve böbrek aracılığı ile vücuttan atılır. Bu mekanizmanın yanı sıra nitrat tükrük bezlerinde konsantre olabilir. Bunun sonucu ağız içerisindeki anaerobik ortamda nitrite indirgenirler. Nitratın toksikolojik etkisini üç aşamada incelemek mümkündür. Primer toksik etkisinde, içme sularında nitrat derişimleri 500 mg NO<sub>3</sub>/L değerini aşması halinde yetişkinlerde bağırsak, sindirim ve idrar sistemlerinde iltihaplanmalar görülmektedir. Sekonder toksisite; İçme sularındaki yüksek nitrat derişimi bebeklerde Methaemoglobinemi hastalığına neden olmaktadır. Altı aydan küçük bebeklerde mide asitleri oluşmamaktadır. Bu ortamda nitrat nitrite indirgenmekte, sindirim sisteminde oluşan nitrit kandaki hemoglobinle reaksiyona girerek methemoglobin oluşmaktadır.

Bu arada hemoglobinin içerdiği demir yükseltgenmekte ve böylece kandaki oksijen taşınım işlevini yitirmektedir. Bunun sonucu bebeklerde boğularak ölüme rastlanmaktadır. İlerleyen yaşlarda bu durum midedeki asiditenin artması sonucu ortadan kalkmaktadır. Tersiyer toksisite nitritlerin asit ortamında sekonder ve tertiyer aminler, alkil amonyum bazlar ve amidlerle reaksiyona girmeleri sonucunda ortaya çıkar. Bunun sonucunda nitrosaminler ve nitrosamidler oluşur. Son yıllarda yapılan araştırmalarla bu bileşiklerin kuvvetli kanserojen etkileri saptanmıştır (Fericola ve ark., 1989 Terplache, 1991)

Yeraltı sularından nitrat uzaklaştırılmasında yukarı akışlı anaerobik reaktörler kullanılmıştır. Denitrifikasyon olayının veriminin artırılması için ortama karbon kaynağı olarak etanol eklenmektedir. Ancak bu tür reaktörlerin verimlilik kapasiteleri sular yüksek sertlik içeriyorsa daha düşük olmaktadır ( Green ve ark., 1994).

Yüksek nitrat içeren yeraltı sularında genellikle tuzluluk ve toplam sertlik parametreleri de yüksek bulunmaktadır. Nitrat konsantrasyonu dikey (profil) derinlik artıkça azalma göstermektedir. Günümüzde nitrat uzaklaştırılmasında uygulanan ters ozmoz, elektrodializ, iyon değişimi, kireçtaşı ve sülfür muamelesi geçerli yöntemlerdir (Ozha ve ark., 1993). Yeraltı sularında Florid ile birlikte bulunan nitrat konsantrasyonları dental, kemik ve eklem deformasyonlarına neden olmaktadır (Ozha ve ark., 1993). Polonya'da 34 yeraltı suyu ve 21 adet yüzey suyunda yapılan örneklemelelerde Lindane, Chlorfenvinfos ve Metoksiklor kalıntıları ile birlikte nitrat, nitrit, amonyum iyonları, sülfat ve üre bulunmuştur ( Galamon ve ark., 1987).

Demir boru ile dağıtım yapılan su sistemlerinde korozyonun önlenmesi için istenilen toplam alkalinite 30-100 mg CaCO<sub>3</sub>/L dir. 500 mg CaCO<sub>3</sub>/L' ye kadar olan alkalinite miktarının pH, sertlik, karbondioksit ve çözünmüş oksijen derişimleri üz rine bir etkisi yoktur (WHO, 1984). Alkalinite halk sağlığı açısından önemli bir parametre değildir. Yüksek alkalinite içeren sular çoğunlukla tatsızdır ve içme tadına uygun olmadıklarından tercih edilmezler.



## 5. MATERYAL ve METOD

### 5.1 Materyal

Çalışma İçel il merkezi Mersin'den 12-42 km uzaklıkta İçel-Antalya karayolu üzerinde yer alan 9 sahil beldesinde yapılmıştır. Bu beldeler şehir merkezine olan uzaklıklarına göre en yakın olan Mezitli'den başlayarak Davultepe, Tece, Çeşmeli, Kargıpınarı, Tömük, Arpaçbaşı, Erdemli ve Limonlu'dur. Her bir beldeden örnekleme yapılan alanlara ait özellikler Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 10. Örnekleme Yapılan Alanlar ve Özellikleri

Örnek alınan belde	Örneklemenin yapıldığı alan	Örnekleme noktasına ait bilgi
Mezitli	Kuyuluk Mevkii	125 m derinlikte artezyen kuyusu ve 2000 ton kapasiteli depo
	Merkez Mahallesi	5-6 m derinlikte keson kuyu
	Belediye şebeke suyu	
	Soli Tatil Sitesi	80 m derinlikte artezyen kuyusu
	Denizhan I Tatil Sitesi	80-90 m derinlikte artezyen kuyusu
Davultepe	Anayurt Mahallesi	60 m derinlikte artezyen kuyusu
	Fatih Mahallesi	70 m derinlikte artezyen kuyusu
	Belediye şebeke suyu	
	Oktay Tatil Sitesi	160 m derinlikte artezyen kuyusu
	Koy-Tur Tatil Sitesi	80-90 derinlikte artezyen kuyusu
Tece	İçme suyu deposu	1990-91 yılından itibaren kullanılan 1000 ton kapasiteli depo (depo suyu Dedekavak Membasından alıyor)
	Belediye şebeke suyu	
	Altın Yunus Tatil Sitesi	35 m derinlikte artezyen kuyusu
	Nil Tatil Sitesi	40 m derinlikte artezyen kuyusu
	Çaltana Tatil Sitesi	100 m derinlikte artezyen kuyusu

Çeşmeli	Karaoğlan Memba I	Kaynak suyu
	Mezarlık mevki merkez içme suyu deposu	1000 tonluk depo 1988 yılında tamamlanmış
	Asuhan Tatil Sitesi	15 m derinlikte artezyen kuyusu
	Şirinkent Tatil Sitesi	105 m derinlikte artezyen kuyusu
	Belediye şebeke suyu	
Kargıpınarı	Merkez Mahallesi Çıkacak mevki içme suyu deposu	Depoya su Dedekavak Membasından geliyor. Depo 900 ton kapasiteli ve kaynaktan 7 km uzaklıkta yer alıyor.
	Göçmen Mahallesi Elvanlı mevki içme suyu terfi merkezi	Terfi merkezine su Dedekavak membasından geliyor. Membadan 3 km uzaklıkta yer alan terfi merkezi klorlama noktası olarak kullanılıyor
	Çukurova Tatil Sitesi	30-40 m derinlikte artezyen kuyusu
	Gama Tatil Sitesi	100 m derinlikte artezyen kuyusu
	Belediye şebeke suyu	
Tömük	Elvanlı mevki merkez depo	1984-86 yılında yapılan 400 ton'luk depoya su Dedekavak Membasından geliyor. Kaynaktan uzaklığı 3 km.
	Dedekavak Memba	Kaynak suyu
	Tömük Tatil Sitesi	30 m derinlikte artezyen kuyusu
	Gondal Tatil Sitesi	100 m derinlikte artezyen kuyusu
	Belediye şebeke suyu	
Arpaçbahşiş	Merkez Mahallesi Yıldız Tepe Mevkii	Depoya su 6 km uzaklıktaki Dedekavak Membasından geliyor.
	Karapınar mevki içme suyu deposu ve artezyen	1950 yılında Köy İşleri tarafından yapılmış 300-400 ton kapasiteli depo
	Güneş Tatil Sitesi	70 m derinlikte artezyen kuyusu
	Yıldız Taş Tatil Sitesi	80 m derinlikte artezyen kuyusu
	Belediye şebeke suyu	
Erdemli	Kocahasanlı-Erdemli içme suyu kuyusu ve ana depo	2,5 m derinlikte artezyen kuyusu
	Limonlu Deresi	
	Kızılalan Mevkii	1989 yılında yapılmış 4000 ton

	içme suyu deposu	kapasiteli içme suyu deposu. Su ana depodan geliyor.
	Erdemkent Tatil Sitesi	65 m derinlikte artezyen kuyusu
	Erdemli şebeke suyu	
Limonlu	Merkez Mahallesi Sülüklü mevki I nolu artezyen kuyusu	50 m derinlikte artezyen kuyusu
	Yeni Mahalle, Tepesi Delik Mevkii	İçme suyu kuyusu ve deposu
	Tuncel Tatil Sitesi	65 m derinlikte artezyen kuyusu
	Belediye şebeke suyu	

Her bir örnek alma noktasından iki kere örnekleme yapılmıştır. Farklı tarihlerde alınan örneklerde kalsiyum, magnezyum, toplam sertlik, deterjan, nitrit, nitrat, fosfat parametreleri analizlenmiştir. Hataları azaltmak ve standart sapmayı hesaplamak amacıyla her örnek 5 paralel olarak çalışılmıştır.

Yüksek çıkan sertliğe neden olan iyonların derişimini yerel-uluslararası standartlarda önerilen değerlere düşürmek amacıyla pilot sistem geliştirilmiştir. Pilot sistem birbirine seri bağlı kum filtre ve iyon değiştiriciden oluşmaktadır. Kum filtre ve iyon değiştirici fiber glass malzemedir yapılmıştır ve yüksek basınca dayanıklıdır. Kum filtrede dolgu malzemesi olarak kullanılan kuvars kumun elek analizi sonuçları Çizelge 11’de verilmiştir.

**Çizelge 11. Model Sistemde Yeralan Kum Filtrede Kullanılan Kuvars Kumun Elek Analizi Sonuçları**

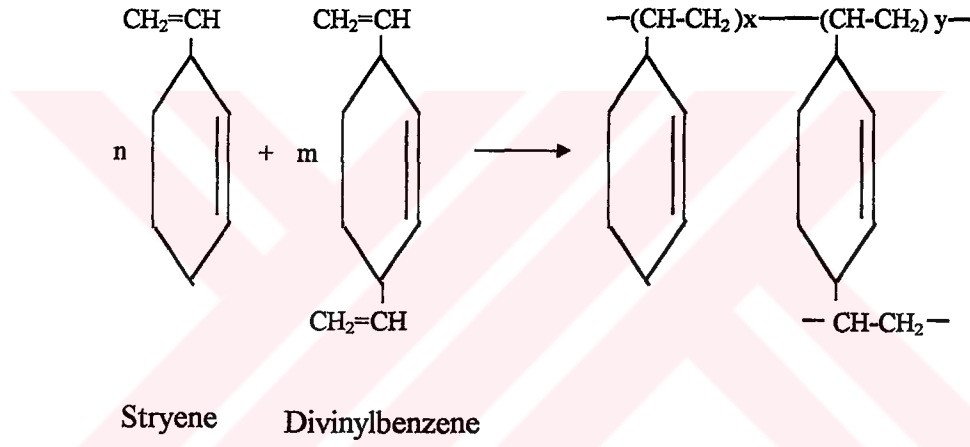
Kuvars Kum	
%10’nun geçtiği elek açıklığı, mm	0,60
%60’ın geçtiği elek açıklığı, mm	1,18
Etkin tanecik boyutu	0,60
Uniformluk katsayısı	1,96

Model sistemde kullanılan iyon değiştiricide dolgu malzemesi olarak kullanılan, Rohm and Hass European Region firmasına ait iyon değiştirici reçine katoloğunda yer alan Amberlite IR 120 kuvvetli asit katyon değiştirici reçineye ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Reçinenin ticari adı: Amberlite IR 120 kuvvetli-asit katyon değiştirici reçine ( Rohm and Hass European Region )

Seçilen Reçinenin Özellikleri:

\* Matrix ..... Stryene-divinylbenzene copolymer



- \* Fonksiyonel grup ..... Sülfonat (R-SO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
- \* Fiziksel formu ..... Amber tanecik
- \* İyonik formu ..... Na<sup>+</sup>
- Tanecik boyutu :0,3-1,2 mm (%90'ı için)
- \* Toplam değiştirme kapasitesi ..... 2 eq/L (Na<sup>+</sup> formunda)
- \* Nem tutma kapasitesi ..... % 44-48 (Na<sup>+</sup> formunda)
- \* Spesifik ağırlığı ..... yaklaşık 1,26
- \* İşletme pH'ı ..... 0-14

## Reçine için önerilen işletme şartları

* Maksimum işletme sıcaklığı	..... 120 °C
* Minimum yatak derinliği	..... 700 mm
* İşletme debisi	..... 5-40 m <sup>3</sup> /h
* Maksimum işletme hızı	..... 50 m/h

* Rejenerasyon	<u>HCl</u>	<u>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></u>	<u>NaCl</u>
Seviye	30-150 g/L	40-24 g/L	50-250 g/L
Debi	2-5 m <sup>3</sup> /h	2-40 m <sup>3</sup> /h	2-8 m <sup>3</sup> /h
Derişim	% 5-8	% 0,7-6	% 10
Minumum temas süresi	..... 30 dakika		

Analizi yapılan içme ve kullanma suyu örnekleri klorlama işlemi uygulanmadan önce alınmıştır.

Çalışmada yer alan örneklerin toplanmasında kullanılan numune kapları analiz edilecek maddelerin özelliklerine göre seçilmiştir (TS 5089). Örnek hacimlerinde aynı şekilde seçilmiştir (American Public Health Association, 1981; Türk Standartları, 1987).

**Çizelge 12.** Örnekleme Kapları ve Kullanılan Örnek Hacimleri

(Standart Methods, 1981; TS 5090, 1987)

Analiz	Örnek hacmi (mL)	Kap
Alkalinite	50	P
Kalsiyum	50	P
Magnezyum	50	P
Fosfat	100	C
Nitrit	50	C veya P
Nitrat	50	C
Deterjan	100	C
Bulanıklık	50	P veya C

C: Cam, P: Polietilen

### 5.1.1 Cihazlar

Nitrit, nitrat, deterjan ve fosfat analizlerinde Shimadzu marka 160-A model UV-VIS Spektrofotometre kullanılmıştır. UV-VIS Spektrofotometrede ışık yolu 2 cm'dir. Model sistemde TEE General Motor marka sıvı pompası kullanılmıştır. Hidrofor tipi santrifüj, sarı fanlı pompanın gücü 0,5 BG'dür. Pompa dakikada 2800 devir yapmaktadır. Pompa motorunun verimi %62,3'dür. 220 amper ile çalışan pompa saatte 0,6 KW elektrik kullanmaktadır. Özellikleri sayılan pompa ile 10 m<sup>3</sup>'ye 1 saatte 3 ton, 20 m<sup>3</sup>'ye 1 saatte 2,2 ton, 30 m<sup>3</sup>'ye 1 saatte 1,6 ton, 40 m<sup>3</sup>'ye 1 saatte 0,8 ton ve 45 m<sup>3</sup>'ye 1 saatte 0,6 ton su basmak mümkündür.

Sistemin iç basıncının izlenebilmesi için sistem üzerine 2,5 bar'lık sıvı manometresi monte edilmiştir.

### 5.2 Metod

pH ve sıcaklık parametreleri örnekleme yapıldığı noktalarda belirlenmiştir.

Toplam alkalinite analizinde standart asit çözeltisi (0,2 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ile titrasyon metodu kullanılmıştır. İndikatör olarak fenolftalein ve metil oranj kullanılmış, alkalinite derişimi mg CaCO<sub>3</sub>/L olarak bulunmuştur.

Su içerisindeki kalsiyum derişiminin analizlenmesinde EDTA ile titrasyon yöntemi kullanılmıştır. pH değeri 10'a ayarlanan suya EDTA (Etilendiamintetra asetik asit) ilave edildiğinde kalsiyum ve magnezyum iyonları EDTA ile kompleks yapar. pH=12-13'de ise yalnızca kalsiyum iyonları kompleks oluşturur. Bu özellikten yararlanarak pH 10'da örnek EDTA ile titre edilerek toplam sertlik (kalsiyum+magnezyum) ve pH 12-13'de de kalsiyum derişimi tayin edilir. Kalsiyum analizinde indikatör olarak amonyum purpurat (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>N<sub>6</sub>O), toplam sertlik tayinin de Eriochrome Black T (C<sub>20</sub>H<sub>112</sub>N<sub>3</sub>NaO<sub>7</sub>S) kullanılmıştır. pH=10' da bulunan kalsiyum ve magnezyum toplam derişiminden kalsiyum derişimi çıkarılarak örnek içerisindeki magnezyum derişimi belirlenmiştir (Standart Methods, 1981; TS 266, 1986).

Nitrit, nitrat, deterjan ve fosfat analizleri spektrofotometrik olarak yapılmıştır.

Suda nitrit derişimi, nitritin düşük pH'larda (2,0-2,5), N-(1-Nafil)-etilendiamin dihidroklorit (NED dihidroklorit) ile diazotlanmış olan sülfanilik asidin vermiş olduğu kırmızı renkli azo boyalarının oluşması ile belirlenir. Bu metodun 1µg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N/L'den daha düşük NO<sub>2</sub><sup>-</sup> içeren örneklerin analizinde kullanılması uygundur. Lambert-Beer Kanunu 543 nm dalga boyunda ve 180 µg N/L'ye kadar geçerlidir. Bakteri faaliyetleri ile nitritin, nitrat ve amonyağa dönüştürülmesi mümkün olduğundan nitrit analizi yeni alınmış örnekte zaman geçirmeden yapılmalıdır. NO<sub>2</sub><sup>-</sup> analizi yapılacak örneklere kesinlikle asit ilave edilmemelidir. Örnekleri 1-2 gün -20 °C'de veya 40 mg HgCl<sub>2</sub>/L ilavesi ile 4°C'de saklamak mümkündür. Nitrit tayininde ana stok nitrit çözeltisi sodyum nitritten (NaNO<sub>2</sub>) hazırlanmıştır. Bu çözeltinin 1 mL'si 250 µg nitrit azotu içermektedir. Her 50 mL örneğe 1 mL sülfanilamid reaktifi ilave edilip, reaksiyonun oluşması için 2-8 dakika beklenmiş, daha sonra etilen diamin dihidroklorit çözeltisinden 1 mL ilave edilmiştir. 10 dakika ile 2 saat arasında UV-VIS Spektrofotometrede 543 nm dalga boyunda okuma yapılmıştır. Nitrit tayin metodu ile tayin edilebilecek en düşük nitrit derişimi 2 µg/L'dir (Standart Methods, 1981).

Nitrat derişiminin bulunması için kullanılan metod sadece düşük organik madde içeriğine sahip sulara nitrat kirliliğini belirlemek amacıyla kullanılır. Bu metod kullanılarak kirletilmemiş doğal sular ile içilebilir su kaynaklarında nitrat derişimi belirlenir.

220 nm dalga boyunda UV absorpsiyonunun ölçülmesi NO<sub>3</sub><sup>-</sup> derişiminin belirlenmesini sağlar. Nitrat çalışma eğrisi 11 mg/L'ye kadar Lambert Beer Kanununa uyar. Bu nedenle çalışma sırasında yüksek nitrat derişimine sahip örnekler Lambert Beer Kanununa uyan aralığa girecek şekilde seyreltilmiştir. Örneklerin, hemen analiz edilemeyecekse, 1 L'ye 10 mL %10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilavesi ile 1-2 gün korunması mümkündür. Nitrit ve nitrat analizi için alınan örneklerde biyolojik aktivite nedeni ile azot dengesinin değişmesinden nitrit-nitrat-amonyak dönüşümünün etkilenmemesi için en uygun yol numunelerin alındığı gün analizlenmesidir (TS 266 ,1986). Bu nedenle alınan örneklerde nitrit, nitrat, deterjan ve fosfat analizleri hiçbir saklama metoduna başvurulmadan alındıkları gün içerisinde en kısa zamanda yapılmıştır. Nitrat analizinde

önce su örneğinin varsa bulanıklığı filtrasyon işlemi uygulanarak giderilir. Böylece su içerisindeki süspanse partiküllerin girişim yapması engellenir. 1 N HCl ile asitlendirme, 1000 mg/L'ye kadar karbonat derişimi ve hidroksit derişiminden kaynaklanacak girişimi önlemek için yeterlidir. Nitrat tayininde çalışma eğrisinin oluşturulduğu standartlar 105 °C'de 24 saat kurutulmuş potasyum nitrattan ( $KNO_3$ ) hazırlanmıştır. Bu çözeltinin 1 mL'si 100  $\mu g$   $NO_3^-$ -N içermektedir. 50 mL örneğe 1 mL 1 N HCl ilave edilir. İlk 2 saat içinde UV-VIS Spektrofotometrede 220 nm dalga boyunda deiyonize suya karşı okunmuştur. Bu metodla tayin edilebilecek minimum nitrat derişimi 500  $\mu g$   $NO_3^-$ -N/L' dir (Standart Methods, 1981).

Fosfat analizinde Molibdofosforik asit metodu kullanılmıştır. Molibdofosforik asit kalay klorürü indirgeyerek molibden mavisi renginin oluşması sağlar. Bu metod vanadomolibdo fosforik asit kalorimetrik metoduna göre daha duyarlıdır ve bu metodla 7  $\mu g$  P/L (21,45  $\mu g$   $PO_4^-$ /L)'den az fosfor derişimlerinin belirlenebilmesi mümkündür. 100  $\mu$  /L P'den daha fazla fosfor içeren örneklerin daha güvenilir sonuç vermesi ve girişimlerinin engellenmesi için ekstraksiyona tabi tutulması gerekir. Fosfat analizinde kullanılan cam malzeme yüzeyde tutulan düşük derişimlerdeki fosfatın temizlenebilmesi için seyreltik HCl içeren sıcak destile su ile yıkanmıştır. Fosfatın cam yüzeylerde absorblanması nedeni ile fosfat bulaşması olabilir. Ticari deterjanlar fosfat içerdiğinden cam malzeme temizliğinde kullanılmamalıdır.

Standart fosfat çözeltisi 219,5 mg susuz potasyum dihidrojenfosfatın ( $KH_2PO_4$ ) 1 L deiyonize suda çözülmesi ile elde edilmiştir. Bu çözeltinin 1 mL'si 50 $\mu g$   $PO_4^{3-}$ -P içermektedir. 100 mL'lik örnek alınarak 4 mL molibdat ayırıcı ilave edilir. İyice karıştırıldıktan sonra 0,5 mL kalay II klorür ayırıcı ilave edilmiştir. 10 dakika reaksiyonun oluşması için beklendikten sonra oluşan mavi rengin şiddeti UV-VIS Spektrofotometrede 690 nm dalga boyunda aynı işlemlerden geçirilmiş deiyonize suya karşı okunmuştur (Standart Methods, 1981).

Deterjan tayininde metilen mavisi kullanılmıştır. Metilen mavisi aktif maddeler, sulu çözeltide bulunan ve katyonik bir boya olan metilen mavisini dengede karışmayan organik sıvı haline getirirler. Bu reaksiyon metilen mavisi içeren aktif maddenin



(MBAS) anyonu ile metilen mavisi katyonu arasında iyon çiftinin oluşması ile meydana gelir. Sonuçta organik fazda oluşan mavi rengin yoğunluğu ile MBAS ölçülür. Anyonik yüzey aktif maddeler metilen mavisi aktivitesi gösteren doğal ve sentetik pek çok maddenin en belirgin olanıdır. MABS metodu su ve atıksu içerisindeki anyonik yüzey aktiflerin tayini için kullanılır. İşlemden önce örneğin içerisine birkaç damla fenolftalein damlatılır. Pembe renk görülünceye kadar 1 N NaOH ilave edilir. Oluşan bu renk giderilinceye kadar 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenerek pH düzeltilmesi yapıldıktan sonra metilen mavisi çözeltisi ilave edilir. Daha sonra asitli ortamdaki metilen mavisi kloroform (CHCl<sub>3</sub>) ile üç kez ekstrakte edilir. Geri yıkama yapıldıktan sonra kloroform içerisindeki metilen mavisi derişimi, örnekle aynı işlemlerden geçirilmiş deiyonize suya karşı UV-VIS Spektrofotometrede 652 nm dalga boyunda okunmuştur.

Deterjan tayininde ana stok çözelti 0,250 g sodyum dodesil sülfatın 1 L deiyonize suda çözülmesi ile elde edilmiştir. Bu çözeltinin 1 mL'si 1 mg yüzey aktif madde içerir. Stok çözeltinin hazırlanabileceği bir diğer madde LAS standart maddesidir. 1 g LAS standart maddesinin 1 L deiyonize suda çözülmesi ile elde edilen çözelti 1000 mg/L yüzey aktif madde içerir. Standartların hazırlanmasında sodyum dodesil sülfat kullanılmıştır. Deterjan tayininde belirlenebilecek en düşük derişim 10 µg MBSA/L'dir (Standart Methods, 1981).

Deterjan, nitrit ve fosfat analizlerinde UV-VIS spektrofotometre ile tayin edilebilecek limitin altında kalan örneklere standart ekleme yöntemi uygulanmıştır.

Bulanıklık tayininde silisyum dioksit metodu kullanılmıştır. Bulanıklık kalorimetrik yöntemle ışık enerjisinin dağıtılması esasına göre ölçülür. Ana stok çözelti çöktürülmüş, kurutulmuş, 200 nolu elekten elenmiş kilden 1 g alınıp, 1 L deiyonize suda çözülerek elde edilmiştir. Bu çözeltinin bulanıklığı 1000 birimdir. Örnek ve standartlar UV-VIS Spektrofotometrede 420 nm dalga boyunda okunmuştur.

Tez çalışmasında yapılan bütün analizlerde deiyonize su kullanılmıştır.

## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇLAR

### 6.1 İçel İli Sahil Yerleşim Yerlerinde İçme ve Kullanma Suyunda Kirlilik Parametreleri Analiz Sonuçları

İçel İli Sahil Yerleşim Yerlerinde İçme ve Kullanma Suyunda Kirlilik Parametrelerinin Belirlenmesi ve Model Bir Çalışma konulu tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. İçel İli Sahil Yerleşim Yerlerinde İçme ve Kullanma Suyunda Kirlilik Parametrelerinin Belirlenmesi kısmında çalışmanın yapıldığı alanlar Çizelge 10'da verilmiştir. Sıcaklık ve pH verileri örnekleme noktasında belirlenmiştir. Alınan örneklerde toplam alkalinite ve fenolftalein alkalinitesi analizleri yapılmış, hiçbir örnekte fenolftalein alkalinitesi bulunamamıştır. Örneklere ait pH, sıcaklık ve alkalinite verileri Çizelge 13'de verilmiştir.

Çizelge 13. İçel İli Sahil Yerleşim Birimlerinde pH, Sıcaklık ve Alkalinite Verileri

Örnek alınan belde	Sıra No	Örneklemenin yapıldığı alan	Sıcaklık °C	pH	Toplam Alkalinite mg CaCO <sub>3</sub> /L
Mezitli	1	Artezyen	19,30	7,65	120
	2	Merkez Mahallesi	19,10	7,65	120
	3	Belediye şeb. suyu	17,50	7,63	120
	4	Soli Tatil Sitesi	18,70	7,62	120
	5	Denizhan I Tatil Sitesi	19,20	7,58	110
Davultepe	6	Anayurt Mahallesi	20,10	7,49	110
	7	Fatih Mahallesi	20,40	7,48	110
	8	Belediye şebeke suyu	16,20	7,43	100
	9	Oktay Tatil Sitesi	13,50	7,42	100
	10	Koy-Tur Tatil Sit.	11,60	7,38	100
Tece	11	İçme suyu deposu	14,90	7,46	110
	12	Belediye şebeke suyu	15,20	7,44	100
	13	Altın Yunus Tatil Sitesi	18,70	7,45	110
	14	Nil Tatil Sitesi	17,40	7,41	100
	15	Çaltana Tatil Sitesi	11,00	7,47	110

<b>Çeşmeli</b>	<b>16</b>	Karaoğlan Memba I	16,70	7,65	120
	<b>17</b>	Merkez içme suyu deposu	17,50	7,65	120
	<b>18</b>	Asuhan Tatil Sitesi	18,50	7,63	120
	<b>19</b>	Şirinkent Tatil Sitesi	20,00	7,65	125
	<b>20</b>	Belediye şebeke suyu	17,70	7,65	120
<b>Kargıpınarı</b>	<b>21</b>	Merkez Mahallesi Çıkacak mevki içme suyu deposu	16,30	7,70	130
	<b>22</b>	Göçmen Mahallesi Elvanlı mevki içme suyu terfi merkezi	16,20	7,68	125
	<b>23</b>	Çukurova Tat. Sit.	17,60	7,68	120
	<b>24</b>	Gama Tatil Sitesi	19,50	7,70	110
	<b>25</b>	Belediye şeb. suyu	16,80	7,69	125
<b>Tömük</b>	<b>26</b>	Merkez depo	15,60	7,67	125
	<b>27</b>	Dedekavak Memba	15,50	7,71	125
	<b>28</b>	Tömük Tatil Sitesi	16,50	7,71	120
	<b>29</b>	Gondal Tatil Sitesi	17,30	7,69	120
	<b>30</b>	Belediye şeb. suyu	16,20	7,66	120
<b>Arpaçbahşiş</b>	<b>31</b>	Merkez Mahallesi Yıldız Tepe Mevkii	16,30	7,52	110
	<b>32</b>	Karapınar mevki içme suyu deposu ve artezyen	16,50	7,52	110
	<b>33</b>	Güneş Tatil Sitesi	14,30	7,52	100
	<b>34</b>	Yıldız Taş Tatil Sitesi	15,20	5,50	-
	<b>35</b>	Belediye şebeke suyu	14,30	7,52	110
<b>Erdemli</b>	<b>36</b>	Kocahasanlı- Erdemli içme suyu kuyusu ve ana depo	17,30	7,51	100
	<b>37</b>	Limonlu Deresi	12,30	7,53	110
	<b>38</b>	Kızılalan Mevkii içme suyu deposu	16,80	7,50	110
	<b>39</b>	Erdemkent Tatil Sitesi	15,20	7,51	110
	<b>40</b>	Talas Tatil Sitesi	19,30	7,51	110
	<b>41</b>	Erdemli şebeke suyu	16,77	7,51	100

Limonlu	42	I nolu artezyen kuyusu	16,10	7,50	100
	43	Yeni Mahalle içme suyu kuyusu ve depo	16,10	7,52	100
	44	Tuncel Tatil Sitesi	15,30	7,50	100
	45	Belediye şeb. suyu	16,50	7,50	100

Tez çalışması kapsamında alınan örneklerde belirlenen kalsiyum, magnezyum, toplam sertlik sonuçları Çizelge 14’de, nitrit, nitrat, fosfat ve deterjan sonuçları Çizelge 15’de verilmiştir.

**Çizelge 14. İçel İli Sahil Yerleşim Yerlerinde Kalsiyum, Magnezyum ve Toplam Sertlik Analizlerine Ait Sonuçlar**

Örnek alınan belde	Sıra No	Kalsiyum mgCaCO <sub>3</sub> /L	Magnezyum mgCaCO <sub>3</sub> /L	Toplam Sertlik FS
Mezitli	1	266,8±1,1	179,0±1,1	44,6±1,1
	2	341,5±1,2	160,6±0,9	50,2±0,2
	3	217,3±1,7	158,6±0,9	37,6±0,1
	4	315,5±1,4	121,1±1,1	43,8±0,1
	5	293,9±1,4	423,7±1,8	71,7±0,1
Davultepe	6	154,7±1,8	193,4±1,1	34,8±0,1
	7	113,8±1,4	178,6±1,7	29,2±0,2
	8	149,8±1,4	176,6±0,9	32,6±0,2
	9	274,4±1,8	306,8±0,9	58,1±0,1
	10	193,7±1,4	162,2±1,4	35,4±0,1
Tece	11	234,8±1,1	54,9±1,8	29,0±0,1
	12	230,1±1,6	48,1±1,4	27,8±0,1
	13	241,6±1,5	304,0±0,9	54,6±0,2

	14	283,6±1,4	239,9±0,9	52,3±0,1
	15	125,8±1,4	155,8±1,7	28,2±0,1
<b>Çeşmeli</b>	16	221,3±1,7	62,1±1,4	28,4±0,3
	17	233,2±1,7	63,7±1,7	29,7±0,1
	18	183,7±1,4	316,4±1,4	50,0±0,2
	19	613,5±1,7	1083,4±22,6	171,3±0,1
	20	237,6±1,4	67,7±1,7	30,6±0,1
<b>Kargıpınarı</b>	21	234,8±0,9	100,9±1,8	33,5±0,1
	22	229,7±1,4	58,1±1,4	28,8±0,1
	23	252,4±1,1	104,5±0,9	35,7±0,1
	24	190,9±1,8	183,0±2,3	37,3±0,1
	25	231,2±1,6	103,7±0,9	33,5±0,1
<b>Tömük</b>	26	231,6±1,4	62,9±1,1	29,5±0,5
	27	236,8±1,1	54,9±1,1	29,2±0,1
	28	217,3±1,7	180,2±1,4	39,6±0,1
	29	200,0±1,6	225,1±1,1	42,5±0,1
	30	231,6±1,4	52,9±1,1	28,5±0,1
<b>Arpaçbahşiş</b>	31	236,4±1,8	56,9±1,1	29,4±0,2
	32	246,8±1,1	110,1±1,4	37,5±0,1
	33	242,8±1,1	82,9±1,1	32,6±0,1
	34	231,6±1,4	85,3±1,1	31,7±0,1
	35	237,6±1,4	77,3±1,1	31,5±0,2
<b>Erdemli</b>	36	244,4±3,6	46,1±4,5	28,9±0,2
	37	100,6±1,1	76,1±1,4	17,7±0,1
	38	297,2±2,2	16,6±2,4	31,7±0,5
	39	125,0±1,1	164,2±1,4	28,9±0,1
	40	249,6±1,4	141,4±1,1	39,1±0,1

	41	228,5±1,1	109,3±1,1	33,8±0,1
<b>Limonlu</b>	42	320,7±1,1	131,0±1,6	45,2±0,2
	43	317,5±1,4	58,9±1,1	37,7±0,2
	44	145,8±1,4	276,7±3,6	42,4±0,2
	45	321,5±1,4	83,7±1,7	40,6±0,1

WHO Standartlarına göre sertlik sınıflaması;

Toplam sertlik mg CaCO<sub>3</sub>/L

0-60

61-120

121-180

>180

Sertlik sınıflaması

Yumuşak

Orta sert

Sert

Çok sert

**Çizelge 15. İçel İli Sahil Yerleşim Yelerinde İçme ve Kullanma Sularında ,  
Nitrit, Nitrat, Deterjan ve Fosfat Analizleri Sonuçları**

Örnek alınan belde	Sıra No	Nitrit µg/L	Nitrat mg/L	Fosfat µg/L	Deterjan µg/L
<b>Mezitli</b>	1	2±0	86,750±0,384	12±0	19±1
	2	7±0	120,517±0,095	7±1	2±1
	3	5±0	69,629±0,233	35±1	4±0
	4	3±0	89,727±0,228	15±1	2±0
	5	3±0	93,222±0,718	56±1	2±0
<b>Davultepe</b>	6	1±0	7,093±0,004	34±0	5±0
	7	9±0	9,412±0,005	43±0	3±0
	8	1±0	8,328±0,010	13±1	3±0
	9	1±0	67,899±0,214	6±1	5±0
	10	1±0	54,872±0,039	16±1	5±0
<b>Tece</b>	11	1±0	4,622±0,004	49±1	2±0
	12	1±0	4,598±0,008	37±0	3±0
	13	1±0	85,422±0,144	22±1	2±0
	14	2±0	85,487±0,184	12±2	2±0

	15	1±0	40,884±0,122	61±0	3±0
<b>Çeşmeli</b>	16	1±0	8,133±0,009	38±1	5±0
	17	1±0	8,081±0,008	25±2	7±0
	18	1±0	51,972±0,061	15±1	8±0
	19	3±0	2,143±0,435	8±0	19±1
	20	1±0	8,143±0,009	18±1	2±0
<b>Kargıpınarı</b>	21	19±2	6,412±0,002	55±1	11±1
	22	18±1	6,246±0,004	48±0	4±1
	23	16±1	29,004±0,061	6±1	21±1
	24	16±0	35,033±0,074	7±1	14±1
	25	17±0	6,182±0,015	47±1	19±1
<b>Tömük</b>	26	17±0	6,146±0,004	44±0	2±0
	27	17±0	6,000±0,020	31±4	4±0
	28	16±0	33,905±0,093	23±1	2±0
	29	16±0	42,072±0,101	31±1	2±0
	30	17±0	6,081±0,020	42±1	2±0
<b>Arpaçbahşiş</b>	31	16±0	4,277±0,015	32±1	11±0
	32	1±0	6,521±0,020	3±0	7±0
	33	2±0	4,141±0,022	13±1	7±0
	34	4±0	4,146±0,030	1±0	10±0
	35	17±0	4,158±0,030	12±1	10±0
<b>Erdemli</b>	36	1±0	12,801±0,072	25±0	18±0
	37	4±0	4,339±0,019	22±2	5±0
	38	1±0	14,379±0,058	12±0	7±1
	39	2±0	11,128±0,067	1±0	12±1
	40	21±0	44,729±0,111	6±0	16±0
	41	1±0	13,732±0,068	18±2	29±0

<b>Limonlu</b>	<b>42</b>	20±1	19,055±0,073	32±1	4±0
	<b>43</b>	3±0	3,145±0,014	29±2	8±0
	<b>44</b>	3±0	0,983±0,013	25±1	22±0
	<b>45</b>	2±0	2,923±0,022	16±0	15±0

Analizi yapılan parametreler ait ülkemizde ve dünyada kullanılan bazı standartlar Çizelge 16'da verilmiştir.

**Çizelge 16. Tez Çalışmasında Analizi Yapılan Paarmetrelere Ait Bazı Standartlar**

Parametre	TS 266		WHO		USPHS		DWA	
	Önerilen	İzin ver. max	Std.	Hedef	Std	Hedef	Std	Hedef
pH	7,0-8,5	6,5	6,5-9,2	7,0-8,5	-	-	-	-
Kalsiyum, mgCaCO <sub>3</sub> /L	187	500	500	187				
Magnezyum, mgCaCO <sub>3</sub> /L	200	600	600	125	-	-	-	-
Toplam Sertlik, FS	50	-	-	-	-	-	-	50
Nitrit, mg/L				-			0,1	-
Nitrat, mg/L	-	45	45	-	45	-	100	
Fosfat, mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Deterjan mg/L	0,5	1,0	1	0,2	0,5		-	-

TS 266 : Türk Standartları İçme Suyu

WHO : World Health Organization

USPHS : United States Public Health Standarts

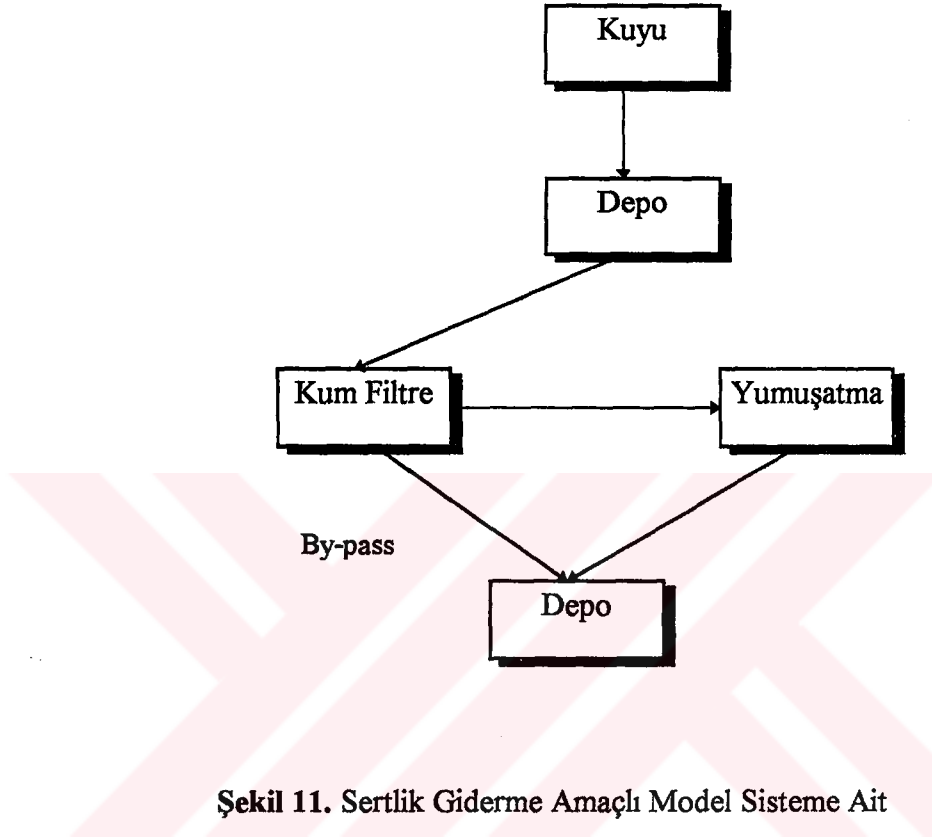
DWA : Dutch Water Standarts

- : Herhangi bir veri verilmemiş



## 6.2 Geliştirilen Sertlik Giderme Modeli

Sertlik giderme amaçlı geliştirilen modele ait hidrolik akım şeması Şekil 11’de verilmiştir.

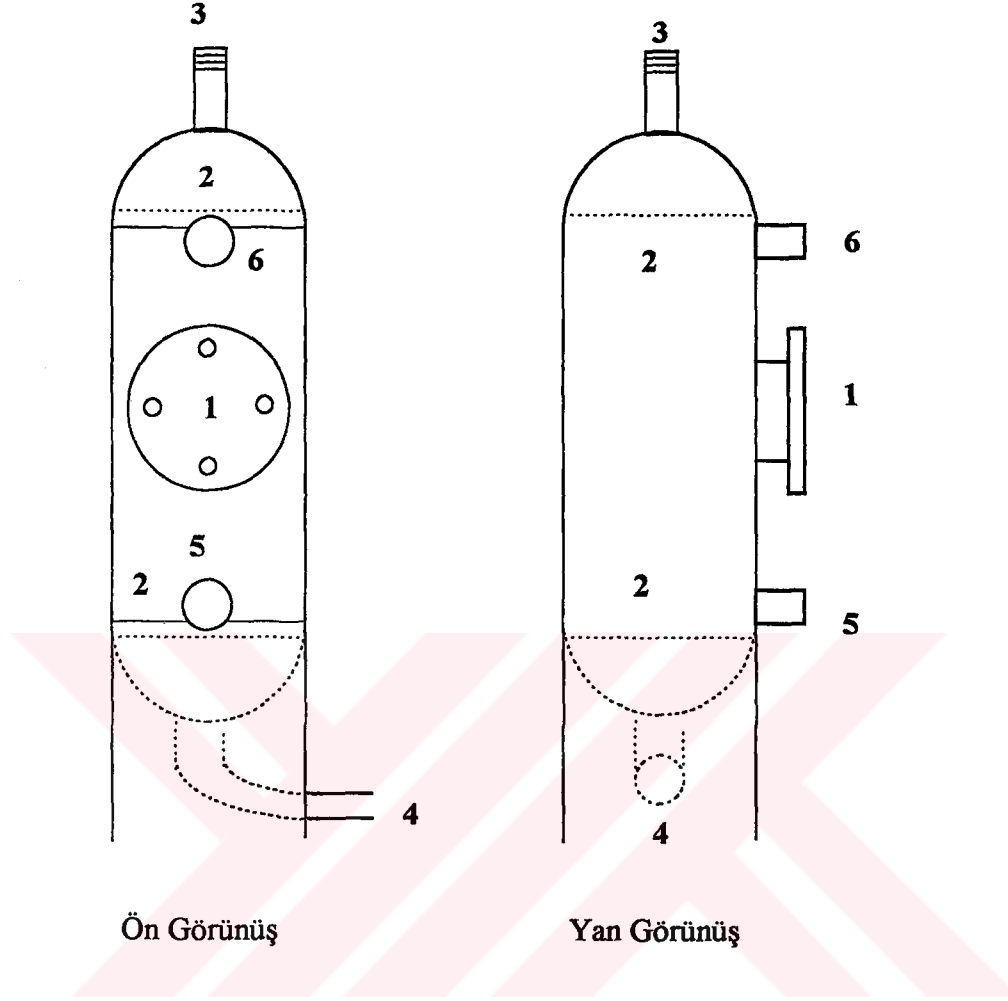


**Şekil 11. Sertlik Giderme Amaçlı Model Sisteme Ait Hidrolik Akım Şeması**

Model sistemde 18 atm basınca dayanıklı fiber-glassdan yapılan iki sistem yer almaktadır. Dış görünüş olarak birbirinin aynı olan ve tüp şekilli cihazlara ait detaylar Şekil 12’de verilmiştir. Sistemlerden kum filtre olarak işlev gören tüp içerisine Çizelge 11’de elek analizi sonuçları verilen kuvars kumdan doldurulmuştur. Kum yüksekliği 50 cm ve yaklaşık yoğunluğu  $3 \text{ g/cm}^3$ ’dür. Reçine kolonu olarak kullanılan tüp içerisine konulan reçinenin hacmi 20 L, yoğunluğu  $1,26 \text{ g/cm}^3$ ’dür. Kullanılan reçine kütlesi 25,2 kg ve reçine kolonu içerisindeki yüksekliği 40,7 cm’dir. İşletme sırasında basınç değişimleri ile reçinenin ve kumun yataktan sürüklenmesini engellemek amacıyla 0,2 cm delik çapına sahip ve yaklaşık 10 000 adet

delik bulunduran levhalardan tüpler içerisine girişte ve çıkışta olmak üzere iki tane konulmuştur. Kum filtre üzerine monte edilen 2,5 atm'lık sıvı manometresi ile iç basınç izlenmiştir. Filtre ve reçine kolonunda ikisi su akışı için ikisi de geri yıkama yapılması amacıyla konulan dört çıkış vardır. Ayrıca her iki tüp üzerinde de malzeme koymak ve yenilemek amacıyla birer besleme kapağı yer almaktadır. Kum filtre ve reçine kolonu kalın hortumlar vasıtası ile birbirlerine bağlanmışlardır. Bağlantılarda çelik kelepçeler kullanılmıştır. Sistem içerisine sentetik ve kuyu suyu basmak amacıyla özellikleri 5. kısımda verilen sıvı pompası kum filtre su girişine bağlanmıştır. Sisteme verilecek su akışını kontrol amacıyla pompa çıkışına bir adet, by-pass edilecek su miktarını ve iç basıncı ayarlamak amacı ile de kum filtre çıkışında bir adet olmak üzere iki vana kullanılmıştır. Kum filtre çıkışındaki vana iki yolludur. Pompa içerisindeki suyun boşalmaması amacıyla emme borusu ucuna çek-valf konulmuştur.

Kolon çapı	=25,0 cm
Kolon yüksekliği	=80,0 cm
Delikli levhalar arası yükseklik	=67,0 cm
Malzeme besleme giriş çapı	=10,0 cm
Rejenerasyon giriş-çıkış çapı	=3,0 cm
Su giriş-çıkış çapı	=3,0 cm
Malzeme et kalınlığı	=0,3 cm



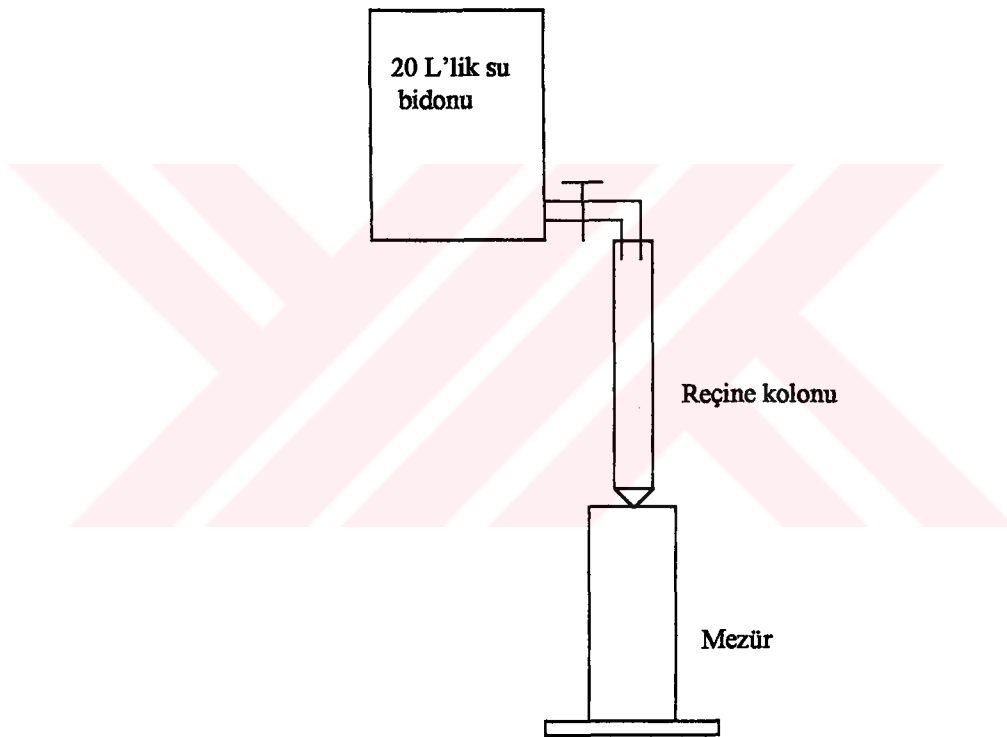
- 1.Malzeme besleme kapağı
- 2.Delikli levha
- 3.İşlem görmüş su çıkışı
- 4.Ham su girişi
- 5.Rejenerasyon giriş
- 6.Rejenerasyon çıkış

Şekil 12. Kum Filtre ve Reçine Kolonu Ön ve Yan Görünüş Krokisi

### 6.3 Amberlite IR 120 Kuvvetli-Asit Katyon Değiştirici Reçineye Ait

#### Atılım Eğrisi

Reçine kolonunda dolgu maddesi olarak kullanılan Amberlite IR 120 kuvvetli-asit katyon değiştirici reçineye ait atılım eğrisi çizilmiştir. Atılım eğrisinin oluşturulabilmesi için 24 g reçine içeren bir kolon hazırlanmıştır. Kolon içerisinden sertliği 330 mg CaCO<sub>3</sub>/L olan su geğirilmiştir. Deneme sũresince debi sabit tutulmuştur. Geçirilen su İçel-Çiftlikkũy kuyu suyudur. Atılım eğrisinin laboratuvar Őartlarındaki deney dũzeneęi Şekil 13'de ȳzetlenmiřtir.



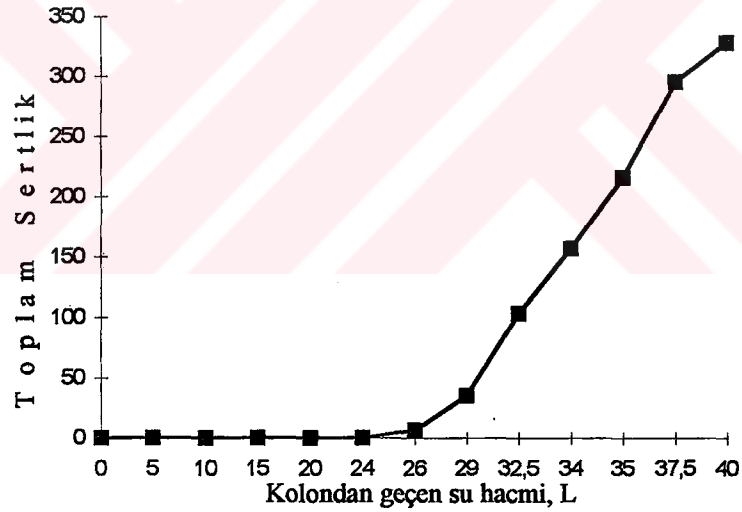
Şekil 13. Atılım Eğrisinin Çıkarıldığı Deney Dũzeneęi

Deney sonuçları Çizelge 17’de verilmiştir.

**Çizelge 17. Atılım Eğrisi Deney Sonuçları**

Reçine kolonundan geçen su hacmi, L	Çıkış suyu toplam sertlik, mg CaCO <sub>3</sub> /L
26,0	6,3
29,0	35,0
32,5	103,0
34,0	157,0
35,0	216,0
37,5	295,0
40,0	328,0

Deney sonuçlarından elde edilen atılım eğrisi Şekil 14’de verilmiştir.

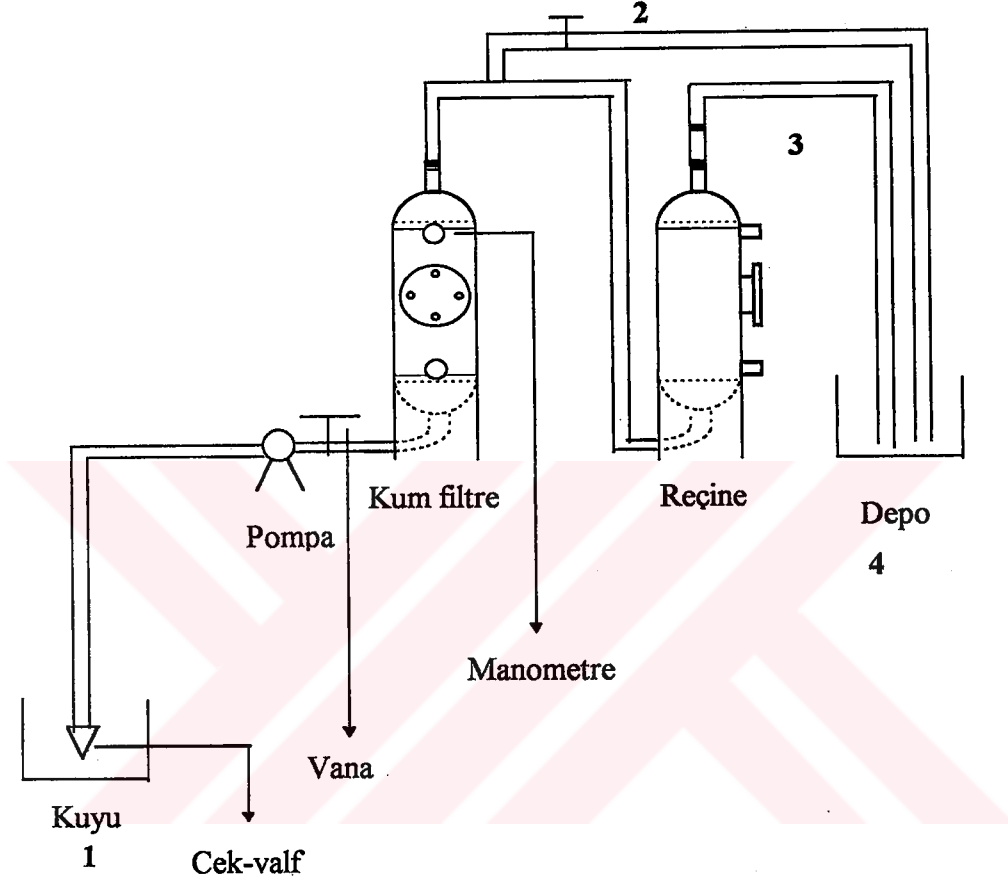


**Şekil 14. Amberlite IR 120 Kuvvetli-Asit Katyon Değişirici Reçineye Ait Atılım Eğrisi**

Reçinenin rejenere edilmesi için  $C=0,05$  Co olması gerekir.  $C=0,05 \times 330=16,5$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  çıkış sertlik derişimine ulaşıldığında rejenerasyon işlemi yapılmalıdır. Atılım eğrisinden 16,5 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ 'ye karşılık gelen su hacmi 27,5 L olarak bulunur. Buradan; yaklaşık 27,5 L su geçirildikten sonra 24 g reçine konulan kolonun rejenere edilmesi gerektiği bulunur. Yapılan denemeler sonucu bu değere yaklaşık 8 saatte ulaşıldığı bulunmuştur. 24 g reçine 27 L , 33 FS derecesinde su geçirildikten sonra rejenere edilirse; pilot sistemdeki 25,2 kg reçinenin 28 350 L ( $28,35 \text{ m}^3$ ), 33 FS derecesinde (kampüs suyu) su geçtikten sonra, geçen bu suyun üçte biri kadar %10'luk NaCl çözeltisi rejenere edilmesi gerekir veya bir başka yöntem olarak %10'luk NaCl çözeltisi ile 30 dakika rejenere edilmesi gerekir (Reçineye ait katalog verileri; Abrams, 1973; Ellis ve ark, 1992; Keskinler ve ark, 1995).



### 6.4 İçme ve Kullanma Amaçlı Kullanılan Kuyu Sularından Sertliğin Giderilmesini Sağlayan Sistem



Şekil 15. Model Sistem Detayları

Geliştirilen model sistem kuyu suyu ve sentetik olarak hazırlanan sert su için denenmiştir. 1,2,3,4 noktalarından alınan örneklerde bulanıklık, kalsiyum, magnezyum ve toplam sertlik analizleri yapılmıştır.

**Çizelge 18. Model Pilot Sistemin Sentetik Su ve Kuyu Suyu İçin Denenmesinden Elde Edilen Sonuçlar**

Örnek Noktası	Analizlenen Madde	Kuyu Suyu	Sentetik Su
1	Ca, FS	20,00	34,00
	Mg, FS	17,00	42,00
	TS, FS	37,00	76,00
	Bulanıklık ,birim	0,50	3,37
2	Ca, FS	20,00	36,00
	Mg, FS	17,00	38,00
	TS, FS	37,00	74,00
	Bulanıklık ,birim	0,10	1,13
3	Ca, FS	5,00	8,00
	Mg, FS	4,00	10,00
	TS, FS	9,00	18,00
	Bulanıklık ,birim	6,87	6,32
4	Ca, FS	16,00	27,00
	Mg, FS	13,00	33,00
	TS, FS	29,00	60,00
	Bulanıklık ,birim	2,10	2,80

Karışım oranı (Reçine-Filtre): ½, işletme basıncı: 2 atm, sıcaklık: 16,2 °C

Kuyu suyu için elde edilen verim;

Çıkış suyunda giderilen kalsiyum =%20

Çıkış suyunda giderilen magnezyum =%23,5

Çıkış suyunda giderilen sertlik =%21,7

Çıkış suyunda giderilen bulanıklık =bulanıklık reçine çıkışında artış göstermektedir



Sentetik su için elde edilen verim;

Çıkış suyunda giderilen kalsiyum =%20,6

Çıkış suyunda giderilen magnezyum =%21,5

Çıkış suyunda giderilen sertlik =%21

Çıkış suyunda giderilen bulanıklık =%17

Reçine çıkışında suyun bulanıklığı artış göstermektedir. Bunun nedeni ise az da olsa bir miktar reçinenin su içerisinde çözünmesidir.



## 7. SONUÇ VE TARTIŞMA

İçme ve kullanma suyu sıcaklığı ortalama olarak 10-15°C arasında değişmesine rağmen analizi yapılan kırk beş noktadan sadece on tanesinde sıcaklık 15°C'den daha düşük bulunmuştur. Otuz iki örnekte su sıcaklığı 15-20°C arasında değiştirmektedir. Üç örnekte ise su sıcaklığı 20°C'nin üzerinde ölçülmüştür. Bu örnekler derin kuyu sularından alınmıştır.

Alınan örneklerden hiçbirinde pH için belirlenen 7,0-8,5 standart aralığı aşılmamış olup, 7,0-8,0 arasındadır. Toplam alkalinite sonuçları incelendiğinde, bulunan en yüksek derişimin 130 mg CaCO<sub>3</sub>/L olduğu görülmüştür. Dört örnekte alkalinite 125 mg CaCO<sub>3</sub>/L, on iki örnekte 120 mg CaCO<sub>3</sub>/L, on sekiz örnekte 110 mg CaCO<sub>3</sub>/L ve on örnekte 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L olarak bulunmuştur.

Alkalinitenin 125-130 mg CaCO<sub>3</sub>/L arasında çıkan örnekler Kargıpınarı, Tömük ve Arpaçbahşiş belediyelerine ait su depolarından alınmıştır. Bu belediyeler şebeke sularını Dedekavak Membası'ndan temin etmektedir.

Analiz edilen kırk beş noktadan, otuz altısında kalsiyum derişimi TS 266 ve WHO standartlarında önerilen 187 mg CaCO<sub>3</sub>/L derişiminden daha yüksek çıkmıştır. Çeşmeli-Şirinkent Tatil Sitesi'ne ait 105 m derinlikteki artezyen kuyusunda yapılan analiz sonucu kalsiyum derişimi 613,5±1,7 mg CaCO<sub>3</sub>/L değerine ulaşarak izin verilen maksimumu aşmıştır. Otuz beş örnek noktasında kalsiyum derişimi 187-500 mg CaCO<sub>3</sub>/L aralığında yer almaktadır.

Magnezyum derişimi sekiz noktada önerilen 200 mg CaCO<sub>3</sub>/L sınırını aşmıştır. Çeşmeli-Şirinkent Tatil Sitesi kuyusunda magnezyum derişimi WHO ve TS 266'da verilen üst sınırı aşmıştır.

Toplam sertlik sonuçları Fransız sertlik birimi olarak verilmiştir. Yedi örnek alma noktasında sertlik derişiminin WHO ve TS 266'da verilen üst sınırları aştığı bulunmuştur. USPHS standartlarında kalsiyum, magnezyum ve toplam sertlik için bir değer bulunmamaktadır. DWA standartlarında, kalsiyum ve magnezyum için bir değer verilmemekle birlikte hedeflenen sertlik 50 FS olarak verilmiştir. WHO standartlarında toplam sertlikle ilgili standarta rastlanmamıştır. Bununla birlikte kalsiyum ve

magnezyum için alt ve üst sınır değerler verilmiştir. WHO'nun magnezyum için verdiği alt sınır değer yirmi örnek noktasında aşılmıştır.

TS 266, WHO ve USPHS standartlarına göre içme sularında nitrit istenmemektedir. DWA standartlarına göre içme sularında 0,1 mg/L nitrit derişimine izin verilmekte fakat hiç olmaması hedeflenmektedir. Örnek noktalarındaki nitrit derişimleri  $\mu\text{g/L}$  olarak verilmiştir. Bütün örnekler içerisinde en yüksek bulunan nitrit derişimi 21  $\mu\text{g/L}$ 'dir. Bu su örneği Erdemli-Talas Tatil Sitesi'nden alınmıştır. On altı örnek noktasında nitrit derişimi  $1 \pm 0 \mu\text{g/L}$  olarak bulunmuştur. Kargıpınarı, Tömük ve Arpaçbahşış beldelerinde belediyeye ait içme suyu depolarında nitrit derişimi 17  $\mu\text{g/L}$  bulunmuştur. Her üç beldede de içme suyu kaynağı olarak Dedekavak Membaı'ını kullanmaktadır. Dedekavak Membaı'ında da yapılan analiz sonucu nitrit derişimi 17  $\mu\text{g/L}$  bulunmuştur.

TS 266, WHO ve USPHS standartlarında içme sularında izin verilebilecek en yüksek nitrat derişimi 45 mg/L olarak verilmiştir. DWA standartlarında ise 100 mg/L derişimine izin verilmektedir. Bütün standartlarda hedeflenen durum; içme ve kullanma suyunda nitrat bulunmamasıdır. Yapılan analizlerde on örnek alma noktasında nitrat derişimi 45 mg/L'yi aşmıştır. En yüksek nitrat derişimine Mezitli beldesinde rastlanmıştır. Mezitli beldesinde içme ve kullanma suyu kuyulardan elde edilmektedir. 120, 517  $\pm 0,095$  mg/L nitrat derişiminin bulunduğu örnek noktası, 5-6 m derinliğe sahip bir keson kuyudur. Yeraltı sularında bulunan nitratın kaynağı nitratça zengin topraklar olabileceği gibi, yeraltına karışan yüzey suları da olmaktadır. Nitrat derişimleri incelendiğinde; sahil bandında yer alan ve denize yakın mesafede bulunan tatil sitelerinin kendi arazileri içerisinde açtıkları kuyu sularında, belediye şebeke suyundan daha yüksek miktarda nitrat içerdiği görülmüştür. Belediyelere su sağlayan kaynaklar dağ tarafında, denizden oldukça uzakta yer almaktadır.

TS 266, WHO, USPHS ve DWA standartlarında fosfat ile ilgili bir değer bulunmamaktadır. İçme ve kullanma suyu olarak kullanılmaya uygun I. kalite sular için verilen fosfat derişimi 0,07 mg  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P /L}$  (0,21 mg  $\text{PO}_4^{3-}\text{/L}$ )'dir (Uslu ve ark., 1987). En düşük fosfat derişimi ise  $1 \pm 0 \mu\text{g/L}$ 'dir. Alınan örneklerin hiçbirinde fosfat 0,21 mg

$PO_4^{3-}/L$  derişimini aşmamıştır. Örnek alma noktalarında en yüksek  $61 \pm 0 \mu g/L$  fosfat derişimine rastlanmıştır.

Deterjan analizleri sonucunda bulunan en yüksek derişim  $29 \pm 0 \mu g/L$ 'dir. TS 266 Türk İçme Suyu Standartlarında  $1,0 \text{ mg/L}$  deterjan derişimine izin verilmektedir. Fakat  $0,5 \text{ mg/L}$ 'yi aşmaması önerilmektedir. WHO standartları  $1,0 \text{ mg/L}$  deterjana izin vermekte, litrede  $0,2 \text{ mg}$  deterjan bulunan durumu ise hedeflemektedir. USPHS standartları  $0,5 \text{ mg/L}$  deterjan derişimini standart kabul etmektedir. Hedeflenen ise içme suyunda deterjan bulunmamasıdır. DWA standartları içme suyunda deterjan bulunmaması durumunu standart ve hedef kabul etmektedir.

İçel İli sahil yerleşim bölgelerinde yeralan dokuz beldeden toplanan içme ve kullanma suyu örneklerinden hiçbirinde deterjan için verilen sınır değerlerin aşılmadığı görülmüştür. I. kalite su kaynağı için verilen fosfat derişimi temel alındığında hiçbir örnekte bu sınıra ulaşılmamaktadır. İçme ve kullanma sularında nitritin hiç olmaması istenmesine rağmen çok küçük derişimlerde, örneklerde nitrit bulunmuştur. Nitrat analizi sonuçlarından, içme ve kullanma su kaynağı olarak kullanılan derin su kuyularında nitrat derişiminin artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Doğal olarak su kaynaklarında bulunma sınırı  $20 \text{ mg/L}$  (IV.Kalite su) (Uslu ve ark.,1987) olan nitratın; su kaynaklarında yüksek derişimlerde bulunması yeraltı su kaynaklarının yüzey sularında sızıntı olduğu ihtimalini doğurmaktadır. Doğal olarak yüzey suları toprak katmanlarından sızarak yeraltı sularına ulaşmaktadır. Bu durumda, sular doğal bir şekilde filtre edilerek temizlenmiş olmaktadır. Örnek alma noktalarının yoğun tarım yapılan araziler içerisinde bulunması içme ve kullanma suyu olarak kullanılan bu kaynaklara tarımsal faaliyetler sonucu kirlenen suların sızdığını göstermektedir. Örneklerin alındığı su kuyularının yoğun tarım yapılan araziler içerisinde bulunması, aynı zamanda alt yapı ve kanalizasyon işlemlerinin bu bölgedeki hızlı imarın çok gerisinde kalmış olması günümüzde içme ve kullanma suyu temin edilen bu kaynakların yakın bir gelecekte kirleneceğinin bir göstergesi olmaktadır. Sahilde yer alan ve birbirlerine çok yakın mesafede, hatta içiçe bulunan tatil siteleri, belediye şebeke suyu yeterli olmadığından, su ihtiyaçlarını kendi arazileri içerisinde açmış

oldukları derin su kuyularından karşılamaktadırlar. Çoğu sitede bulunan hatta bazılarında birden fazla olan yüzme havuzlarının suyu ve bahçe sulama ve yıkama işlemlerinde kullanılan suyun yanı sıra, site sakinlerinin su ihtiyaçları da bu kuyulardan karşılamaktadır. Bu nedenle kuyulardan yüksek debili su çekilmektedir. Zamanla dengesi bozulan sistemin yeniden dengeye gelmesi için deniz suyunun hızlı bir şekilde bu kaynaklara sızması mümkün görülmektedir. Bunun sonucu ilerleyen yıllarda bu kuyularda tuzlanma ve kireçlenme probleminin ortaya çıkması beklenmektedir. Ayrıca bu bölgede kanalizasyon şebekesinin bulunmaması, atık suların her sitenin kendi alanı içerisinde yer alan atık su arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra denize deşarj edilmesi veya yine site alanı içerisinde yer alan fosseptiklere boşaltılması da yeraltı su kaynaklarını tehdit etmektedir. Bu nedenle İçel ili sahil yerleşim beldelerinin bu problemlerine en kısa zamanda çözüm bulunması gerekmektedir. Ancak bu şartlar altında temiz su kaynaklarının korunması mümkündür.

İçel sahil bandı boyunca yer alan çok katlı sitelerin doluluk oranları kış aylarında düşük olmaktadır. Fakat gelecek yıllarda şu andaki sitelerin dolması, inşa halinde olan ve imara açık alanlarda yapılması planlanan siteler de tamamlandığında içme ve kulanma suyu ihtiyacını bugün bile karşılayamayan belediyelerin sınırlı imkanlarının talebi karşılamaktan çok uzak olduğu görülmektedir. Bu nedenle site bazında uygulanabilecek küçük kapasiteli arıtma tesislerine model olacak pilot ölçekli sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen pilot sisteme ait ayrıntılı bilgiler, 4.2 Geliştirilen Sertlik Giderme Modeli başlığı altında verilmiştir. Geliştirilen model sisteme ait denemelerden elde edilen veriler ve literatürde verilen bilgiler kullanılarak şu sonuçlar elde edilmiştir.

Pilot sistem için yapılan denemelerden sistemin düşük verimlerde çalıştırılması gerektiği görülmüştür. Sistem içerisinde yer alan reçineden geçirilecek su hacmi, kum filtreye oranla yarıyarıya daha azdır. Bu durum da reçine ömrü ve rejenerasyon periyotları uzatılmış olmaktadır. Kum filtre çıkışında suyun bir kısmının by-pass edilmesinin nedeni, içme suyu olarak kullanılacak sularda belli bir sertlik derişiminin

bulunmasının istenmesidir. Reçine çıkışından elde edilen su tek başına, içme suyu olarak kullanılmaya elverişli olmamaktadır.

Atılım eğrisi sonuçlarından; 24 g reçine içeren kolondan 27,5 L 33 FS sertliğinde su geçirildiğinde kolonun rejenere edilmesi gerektiği bulunmuştur. Bu veriler kullanılarak pilot sistemdeki 25,2 kg reçinenin 28 350 L, 33 FS sertliği derecesinde su geçtikten sonra geçen suyun üçte biri kadar %10'luk NaCl ile veya aynı çözelti ile 30 dakika rejenere edilmesi gerekmektedir. Rejenerasyon süresinin hesaplanmasından sonra geçen süreye bağlı olarak, reçinenin rejenerasyonunu otomatik olarak yapmak mümkündür. Fakat içme ve kullanma suyu amaçlı kullanılacak olan sistemler için bu yöntem yüksek maliyet oluşturmaktadır. Bunun yerine reçine kolonu çıkışına takılacak olan bir su saati yardımı ile belirlenecek geçen su miktarına bağlı olarak rejenerasyonun yapılacağı sistem çok daha ekonomiktir. Böylece hem rejenerant madde miktarından hem de zamandan tasarruf edilmiş olacaktır.

Sistemin rejenerasyonu için kullanılacak rejenerant çözelti hesabında, reçine katoloğunda reçine için verilen özelliklerin kullanılması uygundur. Çünkü değişik firmalar tarafından üretilen reçinelerin özellikleri de birbirinden farklılıklar göstermektedir. Tek bir reçineye ait olarak hesaplanacak olan rejenerant madde miktarı, reçine değiştirilmesi gerektiğinde yeni duruma uygun olmayabilmektedir. Rohm and Hass firması tarafından üretilen Amberlite IR 120 kuvvetli-asit katyon değiştiriciye ait verilerin bulunduğu kataloktan rejenerasyona ait veriler kullanılarak; 2-8 m<sup>3</sup> çözelti/1 m<sup>3</sup> reçineden 1 saatte geçirilmektedir. Hızlı yıkamada bu aralık 2-12 m<sup>3</sup> olarak da alınabilmektedir. 1 m<sup>3</sup> reçineden 8 m<sup>3</sup> çözelti geçirilirse, 20 L (0,02 m<sup>3</sup>) (kütlesi 25,2 kg) reçineden 0,16 m<sup>3</sup> (160L) %10'luk NaCl çözeltisinin geçirilmesi gerektiği bulunmuştur. %10'luk olarak hazırlanacak olan rejenerant çözelti için gerekli NaCl miktarı 16 kg'dır. Sonuç olarak 160 L su içerisinde 16 kg NaCl çözülerek hazırlanan rejenerant madde yaklaşık bir saat içerisinde reçine kolonundan geçirilmiştir. Sitelerde günlük kullanılan ortalama su miktarına dayalı olarak rejenerasyonun kaç günde bir yapılması gerektiği bulunur. Fakat sistemin uygulanması

düşünülen tatil sitelerinde yaz-kış doluluk oranı büyük farklılıklar göstermektedir. Buna bağlı olarak kişi başına düşen günlük su sarfiyatı kullanılarak seçilecek rejenerasyon periyotları uygun olmayacaktır. Bunun yerine rejenerasyonun doğrudan reçine kolonu üzerine takılacak bir su sayacına göre yapılması daha uygundur.

Geliştirilen model sistemin tatil sitelerinde uygulanmasında ek bir pompa yerine kuyudan su çekmek için kullanılan pompaya bağlanması durumunda sistem maliyetinde düşüş sağlanabilecektir.

Eldeki veriler kullanılarak Davultepe Koy-Tur Tatil Sitesi kuyu suyu için; model sistem tasarlanmıştır.

Atılım eğrisinin (Şekil 14 ) çıkarılmasında kullanılan suyun toplam sertliği 330 mg CaCO<sub>3</sub>/L dir. Teorik olarak kolona giren suyun başlangıç toplam sertliği C<sub>0</sub> , çıkan suyun toplam sertliği C ise, reçinenin ne zaman rejenere edileceği;

$$C=0,05 C_0$$

denkliği ile hesaplanmıştır (Reçineye ait katolg verileri; Abrams, 1973; Ellis ve ark.,1992; Keskinler ve ark., 1995).

$$C=0,05 \times 330 = 16,5 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

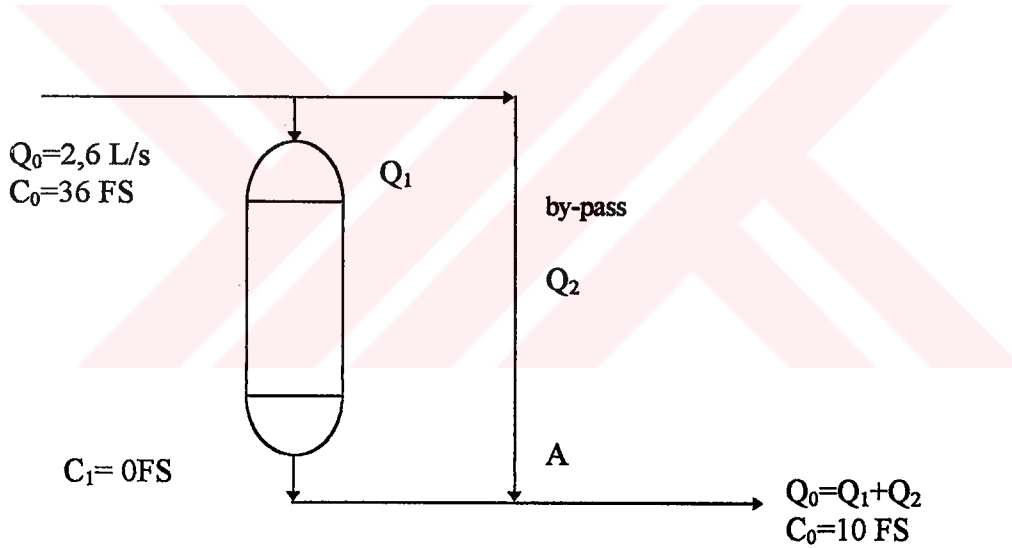
Denemeler sonucu elde edilen atılım eğrisi kullanılarak reçineden geçecek olan su hacmi 27,5 L olarak bulunmuştur. Atılım eğrisinin çıkarıldığı reçine test kolonunda 24 g reçine kullanılmıştır.

Koy-Tür Tatil Sitesi kuyu suyu için eldeki veriler kullanılarak model sistem geliştirilmiştir. Koy-Tür Tatil Sitesine ait veriler Çizelge 19'da verilmiştir.

**Çizelge 19.** Koy-Tür Tatil Sitesine Ait Veriler

Koy-Tür Tatil Sitesi Daire Sayısı	227
Her dairede 5 kişi yaşadığı kabulü ile toplam nüfus	1135
Bir kişinin günlük su tüketimi 200 L kabulü ile toplam debi	2,6 L/s
Koy-Tür Tatil Sitesi kuyu suyunun toplam sertliği (Çizelge 14)	35±0,1 FS

Model sistem kullanılarak Koy-Tür Tatil Sitesi kuyu suyunun toplam sertliği WHO standartları sertlik sınıflamasına göre orta sert olacak şekilde düşürülecektir. Bu değer 10 FS olarak seçilmiştir. İyon seçici kolondan geçirilen suyun toplam sertliği sıfır olacağından, ne kadar suyun by-pass yaptırılacağı kütle dengeliği kurularak hesaplanmıştır.



(35±0,1 FS≅36 FS olarak alınmıştır)

A noktasına göre kütle dengeliği kurulduğunda;

$$Q_2 = 0,7 \text{ L/s}$$

$$Q_1 = 1,9 \text{ L/s}$$

olarak bulunmuştur. Bunun anlamı, 0,7 L/s debisindeki su kum filtre çıkışında by-pass yapılarak iyon değiştiriciye girmeden sistemden geçirilecektir. İyon değiştiriciye girecek olan suyun debisi 1,9 L/s dir.



Reçine kolonunda kullanılan Amberlite IR 120 kuvvetli asit katyon değiştiriciye ait katoloktan işletme debisi 5-40 m<sup>3</sup>/h olarak verilmiştir. Kuyu suyu nun debisi 1,9 L/s (6,84 m<sup>3</sup>/h) reçine kolonu için uygundur. Atılım eğrisinin hazırlandığı test kolonundan rejenerasyon işleminin gerekeceği kadar geçen süre nin yaklaşık 8 saat olduğu bulunmuştur. Eldeki veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu; Atılım eğrisinin çıkarıldığı test kolonundan Koy-Tr Tatil Sitesi kuyu suyu geçirildiğinde;

$$C=0,05 C_0$$

$$C=0,05 \times 360$$

$$C=18,5 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

su geçirildikten sonra sistemin rejenerasyon edilmesi gerektiği bulunmuştur. 1,5 mg CaCO<sub>3</sub>/L test suyu ile kuyu suyu arasında rejenerasyon için gerekli bir fark vardır.

$$16,5 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$27,5 \text{ L}$$

$$1,5 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$$

$$x$$

$$x=2,5 \text{ L}$$

27,5 m<sup>3</sup>-2,5 = 25 L su geçirildikten sonra test kolonunun rejenere edilmesi gerekir.

Test kolonunda 16,5 CaCO<sub>3</sub>/L'lik çıkış suyu toplam sertliğine yaklaşık 8 saatte ulaşılmıştır. Test kolonunun debisi 9,65x10<sup>-4</sup>L/s' dir. Koy-Tr Tatil Sitesinin kuyu suyundan sisteme girecek debi ise 1,9 L/s' dir. Buradan

$$9,65 \times 10^{-4} \text{ L/s}$$

$$24 \text{ g reçineden geçerse}$$

$$1,9 \text{ L/s}$$

$$x \text{ g reçineden geçerse}$$

$$x=47523 \text{ g} \approx 47,5 \text{ kg}$$

reçine gerekir. Bu durumda Koy-Tr Tatil Sitesinde 47,5 kg'lık reçine kolonu kullanıldığında 8 saatte bir rejenere edilmesi gerekir. Bu süre içerisinde geçen su hacmi 54720 L(54,72 m<sup>3</sup>) dir.

Amberite IR 120 Kuvvetli-Asit Katyon değiştirici reçinenin yoğunluğu reçine katoloğunda  $1,26 \text{ g/cm}^3$  olarak verilmiştir. Koy-Tür Tatil Sitesi için geliştirilen modelde ihtiyaç duyulan reçine hacmi  $37,6 \text{ L}$  ( $\cong 38 \text{ L}$ ) olarak bulunmuştur. Pilot model sistemin reçine konulan kısmının hacmi  $33 \text{ L}$ 'dir ve  $20 \text{ L}$  reçine kullanılmıştır. Koy-Tür Tatil Sitesi Sertlik Giderme Model Sisteminde kullanılacak iyon değiştiricinin reçine kısmının hacmi  $50 \text{ L}$  olarak hesaplanmıştır. Fiber-glass malzemedenden mamül Pilot model sistem 2 ve katları hacimlerinde imal edilebilmektedir. Kolon apı değiştirilmeden yksekklik arttırılarak istenilen hacimde kolonun imalatı mümkündür. Delikli levhalar arası yksekklik  $102 \text{ cm}$  olarak hesaplanmıştır. Laboratuvar lekli yapılan pilot model sistemde su giriş ve çıkış elemanları standartlara uygun olarak yapılmıştır ( $2 \text{ inch} \cong 3 \text{ cm}$ ). Pilot model sistemin yapıldığı fiber-glass malzeme  $18 \text{ atm}$ 'lik basına dayanıklıdır.

Rohm and Hass firması tarafından üretilen Amberite IR 120 Kuvvetli-Asit Katyon değiştirici reçineye ait veriler kullanılarak Koy-Tür Tatil Sitesi kuyu suyunun toplam sertliğinin giderileceği iyon değiştirici kolon için gerekli rejenerant miktarı hesaplanmıştır. Buna göre model sistemde yer alacak reçinenin rejenerasyonu için %10'luk NaCl 1 saatlik süre içerisinde sistemden geçirilir. Rejenerant zelti için gerekli NaCl miktarı  $30,4 \text{ kg}$  dır.  $304 \text{ L}$  olarak hazırlanan çözelti bir saat içerisinde akış yönüne ters yönde sistemden geçirilir (Aynı işlemler pilot model sistemde yapılmıştır. Akış yönüne ters yönde aynı hızla yaklaşık bir saatlik  $160 \text{ L}$  %10'luk NaCl zeltisi ile rejenerasyondan sonra işlem suyu ile yarım saatlik çalkalama yapılmıştır. Bu süre sonunda reçine çıkışından alınan örneklere sertlik bulunamamıştır).

İyon değiştirici ve kum filtreden oluşan sistemden çıkan ve istenilen toplam sertliğe sahip olan su klorlamadan sonra tüketicici kullanımına verilecektir. Sistemde son basamak olarak yer alan temel işlem, klorlama olacaktır. Türk-Henkel A.ř. tarafından üretilen suda bakiye klor oluşturacak 'Fredor' marka klor kullanılmıştır. Klor dozajı üretici firma tarafından 1 ton su için  $1.5 \text{ g}$  olacak şekilde belirlenmiştir. Fredor marka klorun fiyatı  $1 \text{ kg}/6,9 \text{ Mark}$  olarak verilmiştir. Klorlama nitesinde kullanılacak örnek bir sistemin fiyatı belirlenmiştir. Etatron Model HB-RX klor dozaj

pompa sisteminin fiyatı 1500\$ olarak verilmiştir. Sistem bakiye klor esasına göre çalışmaktadır.

Koy-Tür Tatil Sitesi için geliştirilen model sistem Çizelge 20'de özetlenmiştir.

**Çizelge 20. Koy-Tür Tatil Sitesi İçin Geliştirilen Model Sistemde Yeralan Ekipman ve Malzemelerin Maliyeti**

Model sistemde kullanılan ekipman ve malzemeler	Fiyat (TL)
<b>Kimyasal Malzeme</b>	
*Reçine, 38 L	9 880 000
Kuvars kum, 50 L	4 800 000
Teknik NaCl, 30,4 kg (1 aylık kullanım için)	150 480 000
Klor, (1 aylık kullanım için)	5 850 000
<b>Ekipmanlar</b>	
İyon değiştirici kolon (fiber glass)	80 000 000
Kum filtre (fiber glass)	80 000 000
Etatron HB-RX klor dozaj pompa sistemi	195 000 000
2 inch galvanizli boru, 15 m	8 100 000
2 inch dirsek, 10 adet	4 500 000
2 inch üç yollu vana, 6 adet	18 000 000
2 inch çek-valf, 2 adet	5 000 000
<b>İşletme giderleri</b>	
Elektrik sarfiyatı (1 aylık)	10 000 000
Teknik personel, 1 kişi	11 500 000
<b>TOPLAM</b>	<b>583 110 000</b>

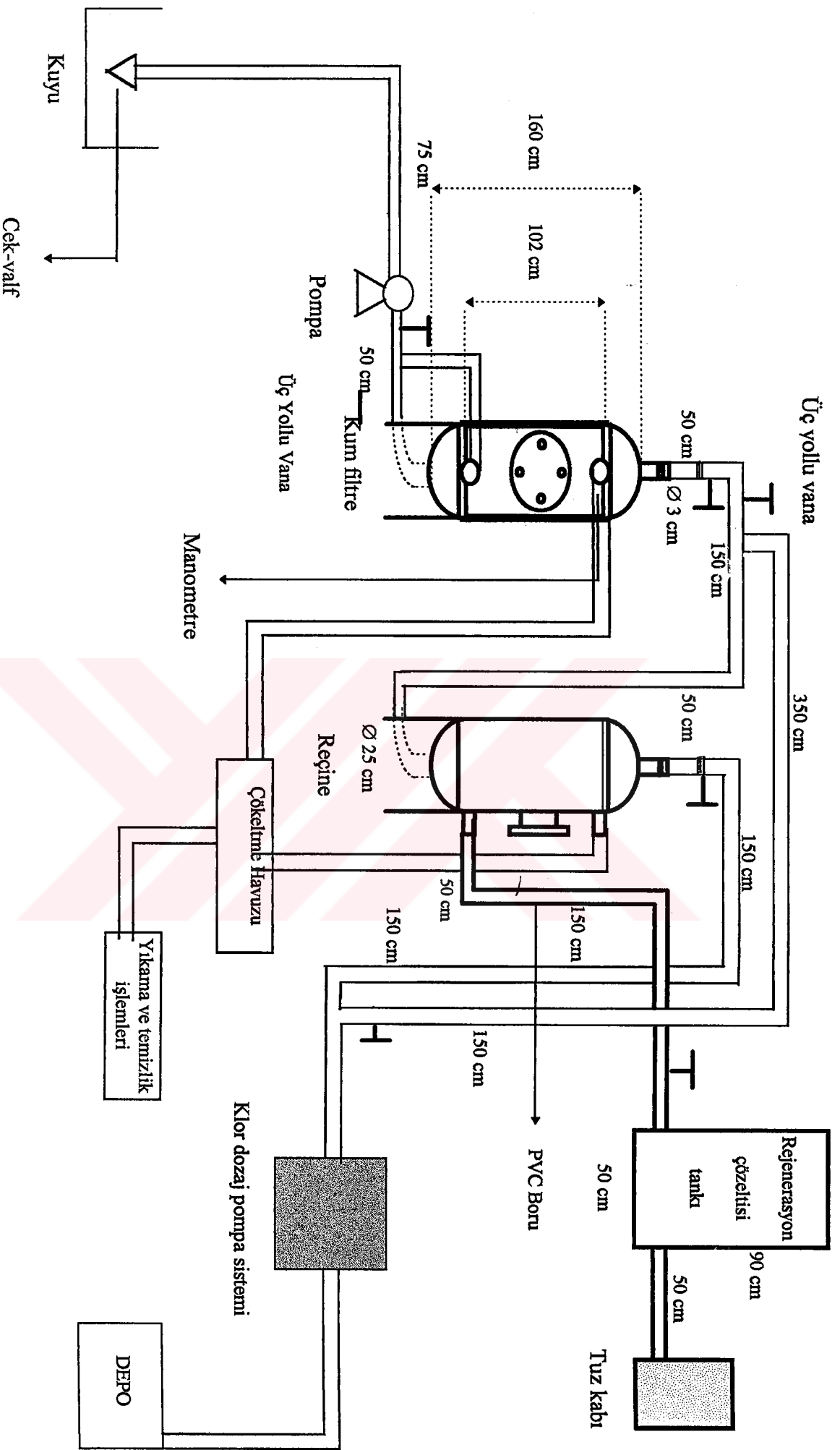
\*Model sistemde kullanılan Amberlite IR 120 marka reçinenin birim fiyatı 2 \$/L dir.

Maliyetlerin hesaplandığı Ocak 1997 tarihinde asgari ücret 11 500 000 TL, 1 KW elektrik 7 600 TL, 1 \$ 130 000 TL dir.

Tasarımı yapılan model sistem her 8 saatte bir rejenere edilecektir. Rejenerasyon için kullanılan tuz ve dezenfeksiyon için kullanılan klor miktarı 8 saat peryotlar için hesaplandıktan sonra aylık fiyatlara çevrilmiştir.

Çalışmanın yürütüldüğü bölgedeki belediyelerin imkanları hızla artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Site sakinlerinin katılımları ve site bazında içme ve kullanma suyu arıtımını sağlayacak küçük kapasiteli su arıtma sistemlerinin finanse edilmesi ile düşük maliyetli içme ve kullanma suyu sağlanması mümkündür. Geliştirilen model, sertlik derecesi yüksek sulardan istenilen sertliğe sahip su elde etmek için kullanılabilir alternatif bir sistemdir. Davultepe Koy-Tür Tatil Sitesi için tasarlanan model sistemde, atılım eğrisinin çıkarıldığı test kolonu ve laboratuvar ölçekli pilot model sistemin denemeleri esas alınmıştır. Koy-Tür Tatil Sitesi model sistem hidrolik akış diyagramı Şekil 16'da verilmiştir.





Şekil 16. Koy-Tür tatlı sisesi model sistem hidrolik akış diyagramı

## Özet

İçel İli'nin nüfusu son yıllarda doğu ve güney doğu Anadoludan aldığı göçlerle hızlı bir artış göstermektedir. Turizm ve tarımsal faaliyetler İçel İli'nin batı kısmında İçel-Antalya karayolu üzerinde yoğunluk kazanmıştır. Bu alan içerisinde Silifke'ye kadar yer alan dar sahil bandında son on yıl içerisinde yoğun bir yapılaşma görülmektedir. Tarım arazileri ve narenciye bahçelerini yerini çok katlı tatil siteleri almıştır. Düzensiz ve hızlı yapılaşma nedeni ile bu bölgede alt yapı hizmetleri, çevre düzenlemesi ve belediyelerce verilmesi gereken hizmetler yetersiz kalmıştır. Belediyelerin olanakları sahil sitelerine içme ve kullanma suyu sağlamaya yetmemekte, her siteye belediye şebekesinden ancak bir muslukla su verilmektedir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde İçel-Antalya karayolu üzerinde yer alan Mezitli, Davultepe, Tece, Kargıpınarı, Çeşmeli Tömük, Arpaçbahşiş, Erdemli ve Limonlu kasabalarından içme ve kullanma suyu örnekleri alınmıştır. Örnekleme her kasabadan beş farklı noktadan yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı Mezitli, Davultepe, Tece, Kargıpınarı, Tömük, Arpaçbahşiş, Çeşmeli, Erdemli ve Limonlu kasabalarında yer alan tatil sitelerinin kendi alanları içerisinde açmış oldukları derin su kuyularından içme ve kullanma suyu örnekleri alınmıştır. Ayrıca belediyelerin içme ve kullanma suyu temin ettiği memba, derin su kuyusu, artezyen kuyuları ve keson kuyular ile iletim hattı üzerinde yer alan içme ve kullanma suyu depoları ve son kullanma noktasından da örnek alınmıştır. Bu örnekler için de sıcaklık, pH, kalsiyum, magnezyum, toplam sertlik, nitrit, nitrat, deterjan ve fosfat analizleri yapılarak tarım ve yerleşim alanlarından geçen iletim hattına bu bölgelerden bir sızmanın olup olmadığının ve suyun niteliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Her örnek alma noktasından farklı zaman aralıklarında en az iki örnek alınmış ve her örnek standart sapmanın da hesaplanabilmesi için beş paralel çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında analiz sonuçları Türk Standartları Enstitüsünde belirlenen İçme Suyu Standartları TS 266 ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen standartlarla karşılaştırılmıştır. Derişimleri belirlenen parametreler arasında toplam sertlik, kalsiyum ve magnezyum derişimlerinin pek çok analiz noktasında standartların

üzerinde çıktığı gözlenmiş ve küçük kapasiteli arıtma tesisine model olarak laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen sistemde bu parametrelerin arıtımı sağlanmıştır. Model pilot sistemde İçel İli sahil yerleşim birimlerinde içme ve kullanma suyunu derin su kuyularından sağlayan siteler için küçük kapasiteli su arıtma tesislerinin teknolojik ve ekonomik yönden yapılabilme şartları araştırılmıştır. Model sistemin oluşturulmasında düşük maliyet, kullanım kolaylığı ve elde edilecek verim göz önünde tutulmuştur. Bu tip sistemlerin pratikte uygulanması ile içme ve kullanma suyu sorununa bir ölçüde çözüm getirilmiştir.

İçel İli sahil yerleşim birimlerinde yer alan siteler için, içme ve kullanma suyu sağlamak amacıyla planlanan, alternatif küçük kapasiteli su arıtma sistemlerinde sertliğin giderilmesi hedeflenmiştir. Bu sistemlerin, birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları araştırılmıştır. Küçük kapasiteli su arıtma sistemleri sınırlı sayıda parametre için iyileşme sağlayabilmektedir. Bu yüzden küçük kapasiteli su arıtma sistemlerinden bütün bir arıtım yerine, yüksek çıkan bir ya da bir kaç parametrenin düşürülmesi planlanmıştır dene.

Model sistemde sentetik olarak hazırlanan suyun sertliği giderilerek sistemin verimliliği test edilmiştir. Sistem Davultepe, Koy-Tür Tatil Sitesine içme ve kullanma suyu sağlayan kuyuda da denenmiştir. Laboratuvar koşullarında denemeler için geliştirilen sistemde kuyu suyu kullanılarak denemeler yapılmıştır.

## SUMMARY

İçel's population has increased during last years because of migration from east and south-east of the Anatolian. Turistic and agricultural activities are condensed in the west region of the city. Land use conflicts and settlement are spread out during last ten years in this region. Multi-floor holiday sites are replaced with agricultural lands and citrus fruit gardens. Unsystematic and rapid settlement in the area give rise to insufficient municipal services like environmental arrangement, infrastructural and sewage systems. Because of inadequate water sources of the municipalities, drinking and usage water is compensated with only one tap, in the each holiday sites.

In the first part of the study, drinking and usage water samples were taken on a representative base from the Mezitli, Davultepe, Tece, Kargıpınarı, Çeşmeli, Tömük, Arpaçbaşı, Erdemli and Limonlu on the highway of İçel-Antalya. For each town five different samples were taken from deep water well. Usage and drinking waters are supplied by municipalities from the spring water well, deep water well, artesian well and keson well. Sampling were done in these points, and from the drinking and usage water tank and also last usage point on the way of conduction line. pH, temperature, calcium, magnesium, total hardness, nitrite, nitrate, detergent, phosphate analysis were carried out for each sample. From the obtained results, water quality and leakage from these region to agricultural and settlement area were being tried to determined.

At least two samples were taken from an each point at different time. Each samples were analyzed by five replicants for calculating standart deviation.

In the second part of the study; results were compared with the TS 266, drinking water quality standarts determined by Turkish Standart Institute and also same comparasion were made according to the World Health Organization (WHO) Standarts. Total hardness, calcium and magnesium concentrations at the most of samples were above the standarts. Model system were designed for the refinement of the hardness in the laboratory condition. Technological and economical aspects of the



model pilot system that constructed in the holiday sites were also investigated. Low cost, usage easiness and yield were evaluated during the construction of the model system.

The aim of the model system is to remove hardness from the water. Advantages and disadvantages of the system with the other hardness treatment systems were compared. Small capacity water treatment systems improve only limited number of parameter. For this reason, only one or a few parameter improvements were planned instead of whole treatment.

Yield of the model system were evaluated by removing hardness from the synthetically prepared hard water. Yield test were carried out by using drinking and usage water well of Davultepe Koy-Tur holiday sites.



## KAYNAKLAR

Abrams, I., M., and Benezra, L., 1967, Ion Exchange Polymers, in Encyclopedia of Polymer Science and Technology, John Wiley and Sons Inc., New York

Abrams, I., M., 1973, Countercurrent Ion Exchange with Fixed Beds, Industrial Water Engineering, 18 (January)

American Public Health Association, Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater. 1981, 15. Edition APHA-AWWA- WPCF. Washington, D.C.

Anderson, R., E., 1975, Estimation of Ion Exchange Process Limits by Selectivity Calculations, AICHE, Symposium Series, 71, 152, 236

Aral, N., 1993, Aeration and Slow Sand Filtration in Small Systems, Journal of Environmental Science and Health, 23,6 Jul., 1249-1260

Benefield, D. L., Judkins, J., F.ve Weand, B.,L. 1982, Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment, Enlwood Cliffs, NJ: Prentice Hall

Cleasby, J., 1984, Effective Filtration Methods for Small Water Supplies, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinati, Oh., EPA- 600/52-84-088,May

Concord, N.H., 1986, Design Standars for Small Puplic Drinking Water Systems The State of New Hampshire, Dept. of Environmental Services

Corbitt, R., A., 1990, Standart Handbook of Environmental Engineering. McGraw-Hill, Inc, New York.

Davis, M.,L., Cornwell, D.,A., 1991, Introduction to Environmental Engineering. Mc Graw-Hill International Editions N.J.

Design Standarts for Small Public Drinking Water Systems, 1986, The State of Hampshire Dept. of Environmental Services, Concord, N. H.

Drinking Water Units and Related Products, Components\ and Materials Standarts Nos, 1990, 42, 44, 53, 58, 62, National Sanitation Foundation, P.O. Box 1468, Ann Arbor, Mich., June 1

Ellis, J., Korth, W., 1993, Removal of Geosmin and Methylisoborned from Drinking Water by Absorbtion on Ultrastable Zeolite-Y, Water Resource, Vol. 27, No. 4, pp 335-339

EPA (Environmental Pollution Control Alternatives), 1990, Drinking Water Treatment for Small Communities EPA/625/5-90/D, 25 April

EPA (Environmental Protection Agency), 1975, Process Design Manuel for Nitrogen Control, EPA, Technology Transfer

Eroğlu, V., 1984, Su Tasfiyesi, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 345

Ferguson, J., F., and Giva, D., N., 1979, Chemical Precipitation in Water Softening and Iron and Manganese Removal, Proceedings, 18th Annual Public Water Supply Engineer's Conference, University of Illinois at Urbana Champaning: Dept. of Civil Engineering

Fernicola, NAGG And Defernicola, NAGG, 1989, Methaemoglobinemia Infalts Caused by Nitrates, Boletin-De-La-Oficina-Sanitaria-Panamericana, 106.1,32-34, 3

Galomon, T., Kozinski, T., 1987, Estimation Of Some Pesticides, Nitrates, Nitrites, Ammonium ions, Sulphate and Urea In Surface and Subsoil Waters As Well As In Some Agricultural Products, Roczn. Panst. Zak. Higieny. 38:6, 516- 522

Green, M., Tarre, S., Schnizer, M., Bogdan, B., Armon, R., Shelef, G. 1994, Groundwater Denitrification Using An Upflow Sludge Blanket Reactor, Water Research, 28.3, 31-637,.

Gürpınar, E., 1992, Çevre Sorunları, 81-91, İstanbul

Helms, P., F., 1973, Evaluation of Ion Exchange for Demineralization of Wastewater, Master's Thesis, University of Colorado, Boulder, CO

Keskinler, B., Çakıcı, A., Yıldız, E., 1994, Çevre Mühendisliği Temel İşlem ve Prosesleri Ders Notları, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 35, 356

Leloğlu, N. 1974, Su Tasfiyesi. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 3132 İstanbul

Levis, M., C., David, H., M., 1991, Light-Scatter Particle Counting. Improving Filtered-Water Quality, Journal of Environmental Engineering Vol 117. March/April

Metcalf and Eddy, 1991, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse, Mc Graw- Hill Book Company, New York

Ozha, DD., Sushila, R., 1993, Distribution of Nitrates In Ground Waters of Arid Zone of Rajasthan, Current-Agricultural, 17:1/2, 13-18

Ozha, DD., Bohra, JL., Jain, PC., 1993, Occurrence of Excessive Flouride In Ground Waters of Western Rajasthan., Current-Agricultural, 17:1/2, 75-78,

Panswad, T., 1975, Ion Exchange Removal of Inorganic and Organic Wastewater Constituents, Ph. D. Diserrtation, University of Colorado, Boulder CO

Progress Report Committe on Quality Tolerances for Industrial Uses J.N.Engl. Water Works., 1940, 54: 271

Rainwater, F.H. ve Thatcher, L.L., 1960, Methods for Collection and Analysis. Printing Office Washington p. 173-178

Reh, C., W., 1978, Lime Soda Processes, in Robert L. Sanks (ed.), Water Treatment Plant Design, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor

Reynolds, D., T., 1982, Unit Operation and Processes in Environmental Engineering, Wadsworth, Inc., Belmont, California

Salvato, A., J., Dee, P., E., 1992, Environmental Engineering and Sanitation., Fourth Edition, John Willey-Interscience Publication, John Willey and Sons Inc, New York

Sawyer, N., C., Mc. Carty L., P., 1978, Chemistry for Environmental Engineering. Third Edition. New York, Mc Graw-Hill Inc., P 532

Şengül, F., Müazzinoğlu, A., 1995, Çevre Kimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 228, İzmir, 243

Tchobanoglous, G., Rowe, R., D., Peavy, H., S., 1986, Environmental Engineering, Mc Graw-Hill Book Company, New York

Terplanche ,APS, 1991, Health Hazards Of Nitrate In Drinking Water, Water-SA, 17:1,77- 82

Türk Standartları, 1977, İçme Suları, TS 266. Necatibey Cad. 112 Ankara, 1986

Türk Standartları, 1977, Suyun Analiz Metodları Numune Alma. TS 2536 Necatibey Cad. 112 Ankara

Türk Standartları, 1987, Su Kalitesi-Numune Alma Kısmı I: Numane Alma Programlarını Hazırlama Kuralları. TS 5089 Necatibey Cad. 112 Ankara

Türk Standartları, 1987, Su Kalitesi-Numune Alma Kısmı II: Numune Alma Teknikleri TS 5090, Necatibey Cad. 112 Ankara

Uslu, O., Özer, A. ve Toprak, H., 1994, Su ve Arıtımında Çökeltme, Yüzdürme ve Mekanik Filtrasyon, Dokuz Eylül Müh. Fak. Yayınları, No: 239, İzmir

Uslu, O. ve Türkman, A., 1987, Su Kirliliği Ve Kontrolü, 98-150, Ankara

Weber, Jr., 1972, Physicochemical Processes for Water Quality Control, Wiley-Interscience, New York

WHO, 1984, Guidelines for Drinking Water Quality, Vol. 2, World Health Organization, Geneva

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı yürüten hocam Doç. Dr. Halil KUMBUR'a teşekkür ederim. Bölüm Başkanım Prof. Dr. Fadime TANER'e ve Çevre Mühendisliği Bölümü elemanlarına gösterdikleri sabır ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Davultepe Belediye Başkanı Recep KELEŞ ve Fen İşleri Müdürü Duran GİLİK'e, Arpaçbahşiş Belediye Başkanı Musa DEMİR'e, Kargıpınarı Belediye Başkanı Halil TOPAK ve Fen İşleri Müdürü Mehmet AYDINOL'a, Tömük Belediye Başkanı Lütfü TOYLU'ya göstermiş oldukları ilgi ve numune toplanmasındaki yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Pilot sistemi yapan Aşut Fiber-glass Tic. San. Ltd. Şirketinden Şerafettin AŞUT, Fahrettin AŞUT ve Fatih AŞUT'a gösterdikleri yakın ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Reçineyi sağlamamda yardımlarını gördüğüm Kimya Müh. Halil AKIN'a teşekkür ederim. Tez çalışmamın laboratuvar aşamasında büyük özveri ile yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Çevre Müh. Elif ERHAN'a ve pilot sistemi bir araya getirmemdeki unutulmaz yardımlarından dolayı kardeşim Makine Müh. Mete YALVAÇ'a, tez yazım aşamasında büyük yardımlarından dolayı kardeşim Melda YALVAÇ'a teşekkürü borç bilirim. Yüksek Lisans öğrenimim boyunca beni destekleyen, ilgi ve sabırları ile güç veren annem Uğur YALVAÇ'a ve babam Metin YALVAÇ'a teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen oda arkadaşım Arş. Gör. Ayşe B. DEĞER'e ve Çevre Müh. Ayşe AKKUŞ'a teşekkür ederim. Pilot sistemi kuyu suyunda denediğim Koy-Tur Sitesi Yönetimi'ne ve Site Müdürü Yüksel ERTAN'a teşekkür ederim.

## ÖZGEÇMİŞ

11.03.1969'da Erzurum'da doğdum. 1992 yılında Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümün'den mezun oldum. 1993 yılında Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladım. Halen aynı bölümde görev yapmaktayım.

T.C. YÜSEKÖĞRETİM  
DOĞRULAMA



**EK**

**Ek I Pilot Model Sistemde Yeralan Fiber-Glass Ekipmanın 1:3 Ölçekli Çizimi**

