

**DOĞAL KAYNAK SULARINDA SERTLİK,  
İLETKENLİK VE ASKIDA KATI MADDE  
GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Berkay AVCI**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL KAYNAK SULARINDA SERTLİK, İLETKENLİK  
VE ASKIDA KATI MADDE GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Berkay AVCI**

0000-0003-0509-8599

Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021

## TEZ ONAYI

Berkay AVCI tarafından hazırlanan “Doğal Kaynak Sularında Sertlik, İletkenlik ve Askıda Katı Madde Gideriminin Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ

**Başkan :**Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ  
0000-0001-7050-6742  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Prof. Dr. Taner YONAR  
0000-0002-0387-0656  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Dr.Öğr. Üyesi Aşkın BİRGÜL  
0000-0002-7718-0340  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
Enstitü Müdürü   
07/01/2021

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**07/01/2021**

**Berkay AVCI**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DOĞAL KAYNAK SULARINDA SERTLİK, İLETKENLİK VE ASKIDA KATI MADDE GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

**Berkay AVCI**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Bölümü

**Danışman:** Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ

Yerkürede jeolojik süreçlerin devamlılığı sonucunda doğal kaynak suları meydana gelmektedir. Doğal kaynak suları, kendiliğinden ya da bazı teknik metotlarla yeryüzüne çıkmaktadır. Jeolojik katmanlarda ilerlerken birçok kayaçları çözerek yapılarına; kalsiyum, magnezyum, florür, bikarbonat vb. bileşikleri dahil etmektedirler. Doğal kaynak suları genel olarak pet, polikarbonat ve cam gibi ambalajlarla satışa sunulurlar.

Bu tez çalışmasında, Balıkesir'in Edremit ilçesindeki bir doğal kaynak suyunda sertlik, iletkenlik ve askıda katı madde (AKM) giderimi incelenmiştir. Doğal kaynak suyu; debi dengeleme ve klorlama tankı, kum ve granüle aktif karbon tankı, kartuş filtrasyon ve ters osmoz membran filtrasyon gibi ünitelerden geçmektedir. Bu ünitelerin çıkışlarından alınan numuneler üzerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Sonuç olarak sertlik, iletkenlik ve AKM parametrelerindeki giderimlerin sırasıyla %100, %90,4 ve %100 olduğu görülmüştür. Ünitelerin çıkış suyunun üretim maliyeti 0,968 €/m<sup>3</sup>'tür.

**Anahtar Kelimeler:** Arıtma, askıda katı madde, doğal kaynak suyu, sertlik, iletkenlik  
**2021, vii + 37 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **INVESTIGATION OF HARDNESS, CONDUCTIVITY AND SUSPENDED SOLIDS REMOVAL IN NATURAL SPRING WATERS**

**Berkay AVCI**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Melike YALILI KILIÇ

Natural spring waters are formed as a result of the continuity of geological processes in the world. Natural spring waters emerge spontaneously or with some technical methods. By dissolving many rocks while advancing in the geological layer; calcium, magnesium, fluoride, bicarbonate, etc. they include the compounds. Natural spring waters are generally offered for sale in packages such as plastic, polycarbonate and glass.

In this thesis, hardness, conductivity and suspended solid (SS) removal in a natural spring water in Edremit district of Balıkesir city were investigated. Natural springwater; flow rate balancing and chlorination tank, sand and granulated activated carbon tank cartridge filtration and reverse osmosis membrane filtration units. Physical, chemical and biological analyzes were made on the samples taken from the outlets of these units and the results obtained were discussed. As a result, it was seen that the removals in the hardness, conductivity and SS parameters were 100%, 90,4% and 100%, respectively. The production cost of the units' effluent is 0,968 €/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Treatment, suspended solid, natural spring waters, hardness, conductivity.

**2021, vii + 37 pages.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca tüm desteğini veren, tez araştırmam ve çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Melike YALILI KILIÇ'a,

Tez çalışmam için analiz çalışmalarımda bana laboratuvarımı kullanmama izin veren Pınar Su İçecek ailesine,

Çalışmalarım sürecinde bana manevi güç veren annem Dilek AVCI'ya,

Tez çalışmam ve tüm hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Berkay AVCI

**07/01/2021**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Sularda Askıda Katı Madde Parametresi.....	3
2.2. Sularda Sertlik Parametresi.....	5
2.3. Sularda İletkenlik Parametresi.....	9
2.4. Doğal Kaynak Sularından İstenmeyen Maddelerin Giderimiyle İlgili Çalışmalar.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. İçecek Üretim Tesisinin Tanıtımı.....	16
3.2. Manastır Çayının Karakterizasyonu.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Debi Dengeleme ve Klorlama Tankı.....	21
4.2. Kum ve Granüle Aktif Karbon Tankı.....	22
4.3. Kartuş Filtrasyon.....	23
4.4. Ters Osmoz Membran Filtrasyon Sistemi.....	25
4.5. İçecek Tesisinde Bulunan Ünitelerin Yatırım ve İşletme Maliyetleri.....	30
5. SONUÇ.....	32
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	37



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
Fe	Demir
Mn	Mangan
K	Potasyum
Na	Sodyum
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
SO <sub>4</sub>	Sülfat
Cl	Klor
pH	Hidrojenin Gücü
\$	Dolar
µm	Mikrometre
Å	Ångström
CaCO <sub>3</sub>	Kalsiyum Karbonat, Kireçtaşı
CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Kalsiyum Bikarbonat
CaO	Kalsiyum Oksit
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Amonyum
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrit
NaCl	Tuz
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AKM	Askıda Katı Madde
TKM	Toplam Katı Madde
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
UÇM	Uçucu Çözünmüş Madde
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
MCDI	Membran Kapasitif Deiyonizasyon
CDI	Kapasitif Deiyonizasyon
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Poli Etilen

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Su ve Atıksulardaki Katı Maddelerin Boyutları.....	5
Şekil 2.2. Sert Yeraltı Sularında Sertlik Giderim Akım Şeması.....	8
Şekil 2.3. Çok Sert Yeraltı Sularında İki Kademeli Sertlik Giderim Akım Şeması.....	8
Şekil 2.4. Sert Yeraltı Sularında İyon Değişirme Metoduyla Sertlik Giderim Akım Şeması .....	9
Şekil 2.5. İletkenlik Ölçer Cihazı .....	10
Şekil 3.1. Çalışmanın Yapıldığı Balıkesir'in Haritadaki Yeri.....	16
Şekil 3.2. Balıkesir'in Edremit İlçesi'nin Haritadaki Yeri .....	16
Şekil 3.3. İçecek Üretim Tesisinin Su Temini Akım Şeması.....	18
Şekil 4.1. Debi Dengeleme ve Klorlama Tankı.....	21
Şekil 4.2. Kum ve Granüle Aktif Karbon Tankı.....	22
Şekil 4.3 Mikron Por Çaplı Kartuş Filtre .....	24
Şekil 4.4 Mikron Por Çaplı Kartuş Filtrelerin Bulunduğu Hausing .....	24
Şekil 4.5. Ters Osmoz Membran Filtrasyon Sistemi.....	26
Şekil 4.6. Paslanmaz Krom Su Deposu .....	28
Şekil 4.7. Toplam Sertliğin Ünitelerdeki Değişimi .....	28
Şekil 4.8. İletkenliğin Ünitelerdeki Değişimi.....	29
Şekil 4.9. AKM Konsantrasyonunun Ünitelerdeki Değişimi .....	29

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Ülkemizde Geçerli İçme Suyu Standartları (TS-266) .....	3
Çizelge 2.2. Sulardaki Katı Madde Türleri.....	4
Çizelge 2.3. Sulardaki CaCO <sub>3</sub> Konsantrasyonuna Göre Sertlik Dereceleri .....	6
Çizelge 2.4. Ülkelerin Kendi Sertlik Standartları.....	7
Çizelge 2.5. Ülkelerin Standartlarına Göre Sertlik Derecelerinin Sınıflandırılması ve Karşılaştırılması .....	7
Çizelge 2.6. Dünyada ve Türkiye’deki Sertlik veya Kalsiyum Giderimiyle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	15
Çizelge 3.1. Ham Suyun Periyodik Olarak Ölçülmüş Fiziksel ve Kimyasal Parametreleri .	19
Çizelge 3.2. Ham Suyun Periyodik Olarak Ölçülmüş Mikrobiyolojik Parametreleri .....	19
Çizelge 3.3 Ham Suyun Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Ortalama Değerleri.....	20
Çizelge 4.1 Kum ve G.A.K. Tankının Çıkış Suyunun Periyodik Olarak Ölçülmüş Fiziksel ve Kimyasal Parametreler.....	23
Çizelge 4.2. Kum ve G.A.K. Tankının Çıkış Suyunun Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Ortalama Değerleri .....	23
Çizelge 4.3. 1 Mikron Por Çaplı Kartuş Filtre Çıkış Suyunun Periyodik Olarak Ölçülmüş Fiziksel ve Kimyasal Parametreleri .....	25
Çizelge 4.4. 1 Mikron Por Çaplı Kartuş Filtre Çıkış Suyunun Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Ortalama Değerleri.....	25
Çizelge 4.5. Ters Osmoz Membran Filtrasyon Sistemi Çıkış Suyunun Periyodik Olarak Ölçülmüş Fiziksel, Kimyasal Parametreleri .....	26
Çizelge 4.6. Osmoz Membran Filtrasyon Sistemi Çıkış Suyunun Periyodik Olarak Ölçülmüş Mikrobiyolojik Parametreleri.....	27
Çizelge 4.7. Ters Osmoz Membran Filtrasyon Sistemi Çıkış Suyunun Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Ortalama Değerleri.....	27
Çizelge 4.8. İçecek Tesisindeki Ünitelerin 2000 Yılı ve Günümüzdeki Yatırım Maliyetleri .....	31
Çizelge 4.9. İçecek Tesisindeki Ünitelerin Günümüzdeki İşletme Maliyetleri.....	31

## 1. GİRİŞ

Su, canlıların hayatı için vazgeçilmez bir maddedir. Tüm canlılar, besin almadan belli bir müddet dayanabilmesine rağmen, susuzlukla karşı karşıya kaldıklarında ancak birkaç gün yaşayabilmektedir. Tükettiğimiz besinlerin sindirimi, hücresel emilimi ve hücrelerde taşınımı; hücrelerin, dokuların, organ ve sistemlerin çalışması, metabolik reaksiyonlar nihayetinde ortaya çıkan zararlı maddelerin transferi ve uzaklaştırılması; vücudun sıcaklığının kontrolü gibi birçok yaşamsal olaylar suyun sayesinde olmaktadır. Suyun temini ve korunması günümüz koşullarında hayati önem taşımaktadır. Dünyada tatlı su rezervinin korunması ve paylaşımının planlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Tatlı su türleri arasında en değerli olanlar ise doğal kaynak sularıdır (Akın ve ark. 2007).

Yeryüzünde gün geçtikçe nüfusun artması suya olan ihtiyacı artırırken, küresel iklim değişikliği ile birlikte temiz su kaynaklarının haddinden fazla tüketilmesine yol açmıştır. Bu durum, devletler arası gerilimleri de beraberinde getirir. Günümüze dek petrol, maden vb. maddeler için yapılan savaşlar, yerini önümüzdeki yıllarda su savaşlarına bırakacaktır (Yılmaz ve ark. 2013).

Dünyadaki bütün su varlığını incelemek gerekirse, yaklaşık olarak 1650 milyon km<sup>3</sup> ya da kişi başına 0,25 km<sup>3</sup> civarında hesaplanmaktadır. Fakat bu miktarın %97'si tuzlu sudur ve insanların tüketimine uygun değildir. %3'lük tatlı suyun da %87'si erişilebilir ve kullanılabilir özellikte değildir. Sürekli yükselen dünya nüfusu nedeniyle kişi başına düşen toplam su miktarı tatlı ve tuzlu su ile beraber 1995 senesinde 6840 m<sup>3</sup>'tür. 2025 senesinde ise 4692 m<sup>3</sup>'e azaltacağı öngörülmektedir. Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği'nin (TÜSİAD) "Türkiye'de Su Yönetimi, Sorunlar ve Öneriler" raporuna göre, ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1500-1735 m<sup>3</sup>'tür. Bu veriler ele alındığında, ülkemizin ilerleyen zamanda su problemi yaşayacak devletlerin arasında olacağı öngörülmektedir (Yılmaz ve ark.2013).

Evlerimizde ve sanayi kuruluşlarında kullandığımız sular; genellikle banyo, bulaşık, temizlik ve endüstriyel faaliyetler için gerekmektedir. Tüketilen bu suların, insan sağlığına zarar veren mikroorganizmalar, bakteriler, ağır metaller, sertliği oluşturan iyonlar, askıda katı madde (AKM) parametrelerden arındırılmış olması gerekir. Bu

maksatla içme ve kullanma suyu mutlaka çeşitli arıtma işlemlerinden geçmelidir. Endüstriyel sularda da amacına göre yine uygun arıtma metodu belirlenmeli ve uygulanmalıdır (Şirin ve ark. 2007).

Doğal kaynak suları, çeşitli organik maddeleri, atmosferdeki gazları ve minarelleri çözerek yapısına dahil etme özelliğine sahiptir. Kaynaktan çıkış yapan veya yüzeyde ilerleyen su, bu maddelerle etkileşim halinde olabilir ve yapısında bozulmalar meydana gelebilir. Bu etkileşim, suyun tat, koku, bulanıklık gibi estetik parametrelerini belirlemektedir. Suyun tadında tuzluluk veya acılık algılandığında bünyesinde mineral konsantrasyonu yüksek olduğu anlamına gelir. Metalik tatlar algılandığında ise demir veya mangan iyon konsantrasyonu yüksek demektir (Anonim1995).

Doğal kaynak suyu, dünyada jeolojik koşullar çerçevesinde jeolojik yapıların içerisinde doğal olarak meydana gelen, bir veya birden fazla noktadan yeryüzüne kendiliğinden çıkan ya da çeşitli teknik yöntemlerle çıkartılan ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'teki 36 ncı maddede müsaade edilenler dışında her hangi bir işleme tabi tutulmaksızın gerekli özellikleri taşıyan, etiketleme ihtiyacını sağlayan ve satış hedefiyle ambalajlanarak piyasaya sunulan yer altı sularını ifade eder. Doğal kaynak suları bünyesinde kalsiyum, magnezyum, florür, bikarbonat ve daha birçok mineral barındırır. Doğal kaynak suları dünyada toplam su rezervinin %0,58'i kadar paya sahiptir. Bu durum doğal kaynak sularını değerli kılar. Doğal kaynak suları genellikle pet, cam ve polikarbonat vb. ambalajlarda özel dolum tesislerinde ambalajlanmaktadır(Anonim 2000).

Bu çalışmada, Balıkesir'in Edremit ilçesinde yer alan bir doğal kaynak suyunda sertlik, iletkenlik ve AKM giderimi araştırılmıştır. Tesiste kurulu olan debi dengeleme ve klorlama tankı, kum ve granüle aktif karbon tankı, kartuş filtrasyon ve ters osmoz membran filtrasyon sistemi ünitelerinden geçirilen doğal kaynak suyundan belirli periyotlarda alınan numuneler fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

İçme sularının bünyesinde bulunan bazı mineraller ve bu minerallerin etkilediği parametreler kritik bir şekilde önem taşımaktadır. Bu parametrelerin tolerans aralığı belirlenmiştir. Su kaynaklarında analizler yapıldıktan sonra ölçülen değerlerin tolerans aralığında olup olmadığı incelenmektedir. Sonuçlara göre içilebilir veya içilemez diye karar verilmektedir. Tolerans dışında kalan parametreler uygun giderim metotlarıyla artırılarak su kaynağı içilebilir duruma getirilebilmektedir. Ülkemizde geçerli içme suyu standartları Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Ülkemizde geçerli içme suyu standartları (Anonim 1997a).

	<b>Parametreler</b>	<b>Önerilen Minimum Değer</b>	<b>İzin Verilen Maksimum Değer</b>
İçilebilme Özelliğine Etki Yapan Maddeler	İletkenlik	400 µS/cm	2000 µS/cm
	Toplam Tuz	500 mg/L	1500 mg/L
	Demir (Fe)	0.3 mg/L	1 mg/L
	Mangan (Mn)	0.1 mg/L	0.5 mg/L
	Potasyum (K)	10 mg/L	12 mg/L
	Sodyum (Na)	20 mg/L	175.0 mg/L
	Kalsiyum (Ca)	75 mg/L	200 mg/L
	Magnezyum (Mg)	50 mg/L	150 mg/L
	Sülfat (SO <sub>4</sub> )	200 mg/L	400 mg/L
	Klorür (Cl)	200 mg/L	600 mg/L
	pH	7.0 – 8.5	6.5 – 9.2
Kirlenmeyi Belirten Maddeler	Toplam Organik Madde	3.5 mg/L	-

### 2.1. Sularda Askıda Katı Madde Parametresi

Toplam katı madde parametresi, sularda mevcut olan organik ve inorganik maddelerin tümünü ifade eder. Genel olarak sediment maddeler, taş parçacıkları, koloidal organik maddeler ve mikroskobik canlılardan oluşur. İnsan faaliyetleri neticesinde yüzeysel su kaynaklarında AKM konsantrasyonu artabilmektedir. Ayrıca tarımsal sahalarda oluşan toprak kayması ve erozyonun da bu duruma etkisi pozitif yöndedir. Toplam AKM konsantrasyon seviyesinin artması belirli bir noktadan sonra suların fiziksel açıdan kirlenmelerine neden olmaktadır. Bu durum suyun bulanıklığının, yoğunluğunun ve

toksitesinin artmasına neden olmaktadır. Diğer yandan suyun ışık geçirgenliğini ve çözülmüş oksijen konsantrasyonunu azaltmaktadır. Bu olayların gerçekleşmesi sonucu su ortamındaki flora ve fauna zarar görmektedir. AKM'nin tesir etkisi bu maddelerin çeşidine, konsantrasyonuna, sudaki canlıların türlerine ve büyüklüklerine göre değişmektedir (Anonim 2013).

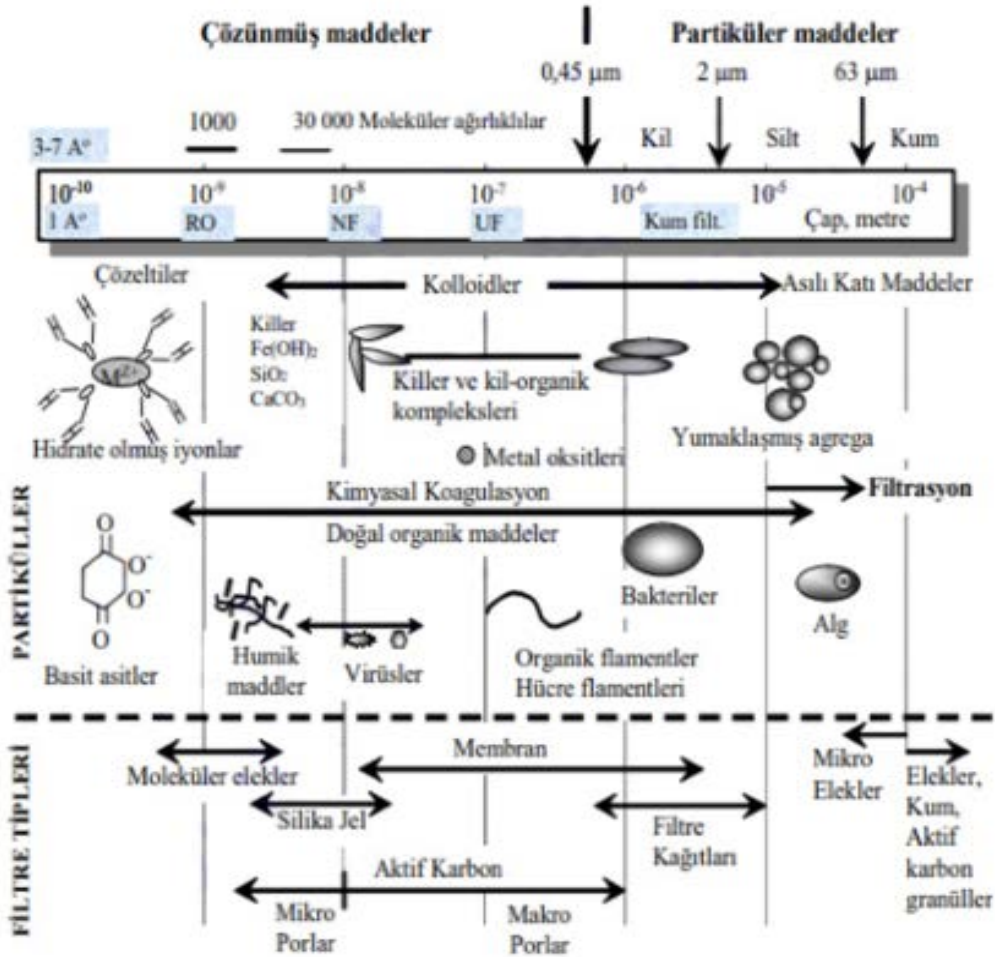
Bilimsel olarak toplam AKM, birim hacimde alınan su numunesinin, 103-105 °C sıcaklıkta suyunun buharlaştırıldıktan sonra geriye kalan maddelerin ağırlığıdır. Bu maddelerin bir bölümü filtrasyonda tutulur, diğer bölümü ise filtrasyonda tutulamaz. 0,45µ por çaplı filtre kağıdının üstünde kalan maddeler AKM, filtre kağıdında tutulmayan maddeler ise çözülmüş madde olarak tanımlanır. AKM ve çözülmüş maddelerin içme sularındaki varlığı, tat ve koku problemlerine yol açarak suyun kalitesini bozmaktadır. Bu maddelerin tayininde kullanılan yöntemler genellikle ampiriktir. Ayrıca bu yöntemler toplam katı madde ve diğer katı madde türlerinde tür ayrımı yapmamaktadır. Katı maddelerin türleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Sol sütunda gösterilen yöntemlerin uygulanması birçok etkene bağlıdır. Filtrelerin por çapı, alanı, malzemesi ve kalınlığı bunlara örnek olarak sayılabilir(Mihelcic1997).

**Çizelge 2.2.** Sulardaki katı madde türleri (Mihelcic1997)

	<b>Toplam Katı Madde</b>			
	Çözülmüş		Çökebilin AKM	
	İnorganik	Organik	İnorganik	Organik
Buharlaştırma 130-105°C	Toplam Katı Madde (TKM)			
Süzme			Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)	
Yakma 550-600°C		UÇM		UAKM
İletkenlik	Toplam Çözülmüş Madde (TÇM)			

Su ve atıksularda, organik ve inorganik kısımdan oluşan katı maddelerin partikül boyutları 0,001 µm ile 100 µm aralığında değişiklik göstermektedir. Genellikle katı madde analizleri yapılırken 0,45 µm por çaplı filtre kağıtları kullanılır. Filtrasyon esnasında filtre kağıdından süzülenler çözülmüş katı maddelerdir. Çözülmüş maddelerin en büyük partikül çapı 11 Å kabul edilir. Partikül çapı 10 µm'den az olan maddeler ise kolloid olarak adlandırılır. Kolloidlerin en küçük partikül çapı ise 0,001 µm'dir. Partikül çapı 1 µm'den az olan maddeler çökeltme tanklarında bekletme süresi

uzun olsa dahi çökmezler. Çünkü bu maddelerin birim ağırlıkları başına yüzey alanları yüksektir. Katı maddelerin partikül boyutları Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Metcalf&Eddy 1991).



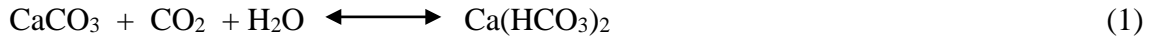
Şekil 2.1. Su ve atıksulardaki katı maddelerin boyutları (Günay A. ve ark. 2009)

## 2.2. Sularda Sertlik Parametresi

Doğal kaynak sularında sertlik, toprak alkali metaller ve demirin varlığından dolayı oluşmaktadır. Genellikle toprak alkali metallere kalsiyum ( $\text{Ca}^{+2}$ ) ve magnezyum ( $\text{Mg}^{+2}$ ) ana kayaçlarından ayrılıp suyun geçtiği yerlerde çözünerek sertliğin oluşumunda pozitif etki göstermektedir. Sularda, sertliğe katkısı az olan stronsiyum ve baryum iyonları da bulunabilir. Kireçtaşı ( $\text{CaCO}_3$ ) ve dolomit [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] diye adlandırılan kayaçlar yer altı ve yer üstünde bolca mevcuttur. Bu halleriyle sudaki çözünürlüğü fazla değildir. Su, karbondioksiti ( $\text{CO}_2$ ) çözdüğü zaman asidik karakterli bir yapıya dönüşür.



Yapısındaki çözülmüş CO<sub>2</sub> varlığıyla su, bu kayaçları çözer ve bikarbonatlar oluşur. Bu reaksiyon denklemi (1)'de gösterilmiştir(Oruç 1972).



Sertliği 200-300 ppm'den düşük konsantrasyonlardaki sulara Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup> metallерinin ana sebebi kireçtaşı ve dolomit kayaçlarıdır. Bu metallерin sebep olduğu sertliğe, karbonat sertliği ya da geçici sertlik adı verilir. Kalıcı sertlik ya da sülfat sertliğine Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup> iyonlarına bağlanmış sülfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) ve klorür (Cl<sup>-</sup>) iyonları neden olur. Kalıcı sertlik, genellikle kalker veya jips gibi yapıların bulunduğu tuz kayaçlarından geçen sulara mevcuttur. Bu özellikteki suların sertliği 100 ppm konsantrasyonunda dahi olabilir. Kalıcı sertlik, toplam sertlikten geçici sertliğin cebirsel olarak çıkarılmasıyla bulunur (Oruç 1972).

Suların bünyesindeki kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) konsantrasyonuna göre sertlik derecesi Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Ayrıca ülkelerin kendi standardına göre sınıflandırmaları da Çizelge 2.3'de mevcuttur. Ülkeler, kendi birimlerine göre belirli bir miktar sudaki CaCO<sub>3</sub> veya kalsiyum oksit (CaO) konsantrasyonuna göre farklı sınıflandırma yollarına gitmişlerdir. Ülkelerin standartlarına göre sertlik derecelerinin sınıflandırılması ve karşılaştırılması ise Çizelge 2.4'te gösterilmiştir (Boysan ve ark. 2009).

**Çizelge 2.3.** Sulara CaCO<sub>3</sub> konsantrasyonuna göre sertlik dereceleri (Boysan ve ark. 2009)

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

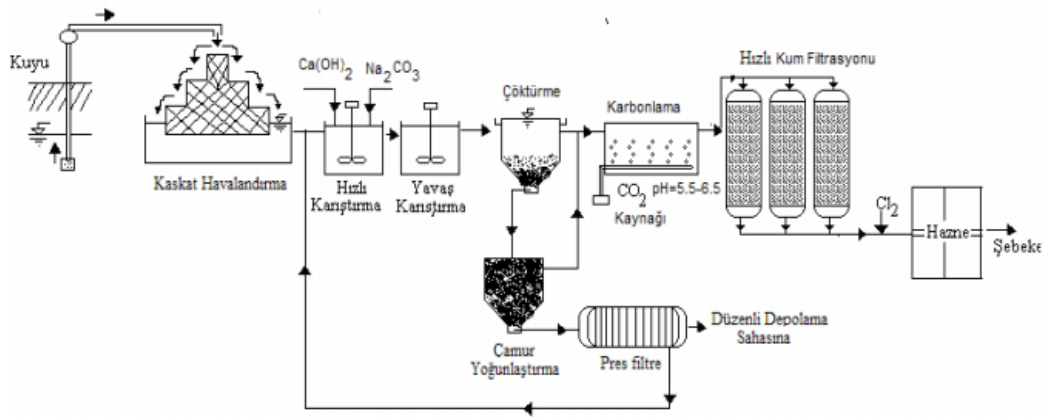
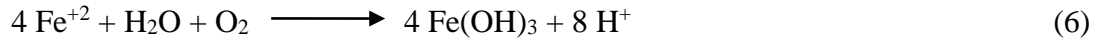
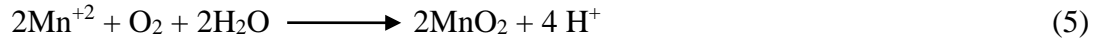
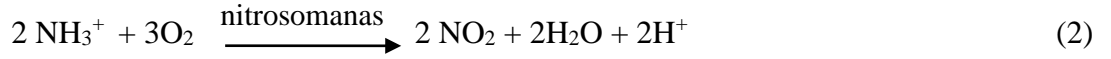
**Çizelge 2.4.** Ülkelerin kendi sertlik standartları (Boysan ve ark. 2009)

Ülke Sertlik Derecesi	Çözücü Su Hacmi	Çözünen CaCO <sub>3</sub> veya CaO kütlesi
1 Fransız Sertlik Derecesi	100 mL	1 mg CaCO <sub>3</sub>
1 Alman Sertlik Derecesi	100 mL	1 mg CaCO
1 İngiliz Sertlik Derecesi	700 mL	10 mg CaCO <sub>3</sub>
1 Amerikan Sertlik Derecesi	100 mL	0,1 mg CaCO <sub>3</sub>

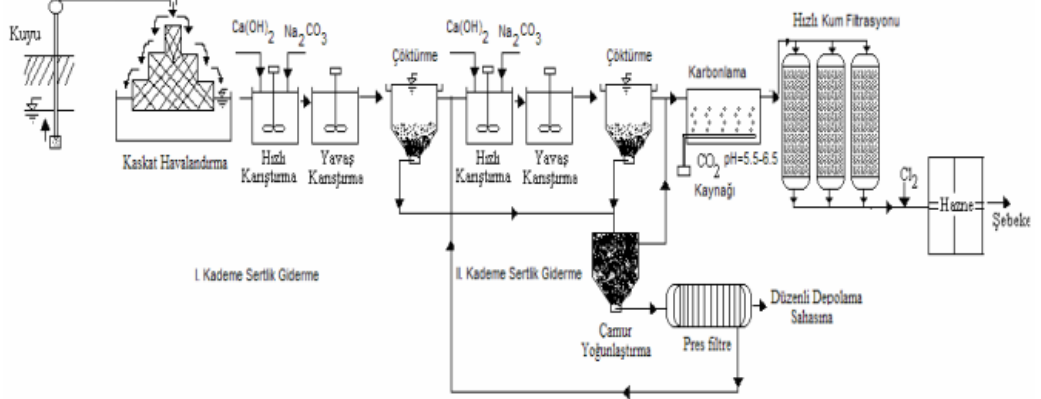
**Çizelge 2.5.** Ülkelerin standartlarına göre sertlik derecelerinin sınıflandırılması ve karşılaştırılması (Boysan ve ark. 2009)

Suyun Sertlik Derecesi	Fransız	Alman	İngiliz
Çok Yumuşak	0-4	0-7,2	0-5
Yumuşak	5-8	7,3-14,2	6-10
Orta Sert	9-12	14,3-21,5	11-15
Oldukça Sert	13-18	21,6-32,5	16-22,5
Sert	19-30	32,6-54,0	22,5-37,5
Çok Sert	30'dan yüksek	54'ten yüksek	37,5' ten yüksek

Yer altı sularında çeşitli sertlik giderim yöntemleri mevcuttur. İçme suyu arıtma tesislerinde farklı üniteler kullanılarak sertlik giderimi yapılmaktadır. Kuyulardan pompa yardımıyla su kaskat havalandırma sistemine gönderilir. Havalandırma ünitesinde 2, 3, 4, 5, 6 nolu denklemlerde gösterildiği gibi NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Mn<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup> iyonları oksijen ve bakteriler sayesinde okside olurlar. Koagülasyon ve flokülasyon ünitelerinde flokların oluşması eklenen koagülant ve polielektrolit maddeleriyle gerçekleşir. Çöktürme ünitesinde ise floklar çöker, dip çökeltisi çamur olarak çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitelerine aktarılır. Üst faz, karbonizasyon ünitesinde CO<sub>2</sub> verilerek pH=5,5-6,5 civarına getirilir ve hızlı kum filtrasyon ünitesine aktarılır. Hızlı kum filtrasyonundan geçen su, son dezenfeksiyonu yapılarak su haznesine ve isale hattına gönderilir. Son dezenfeksiyon genellikle içme suyu arıtma tesislerinde klorla yapılır. Şekil 2.2'de sert sular için tek kademeli ve Şekil 2.3'de ise çok sert sular için çift kademeli olarak arıtma prosesi akım şemaları gösterilmiştir (Kestioğlu ve ark. 2003).

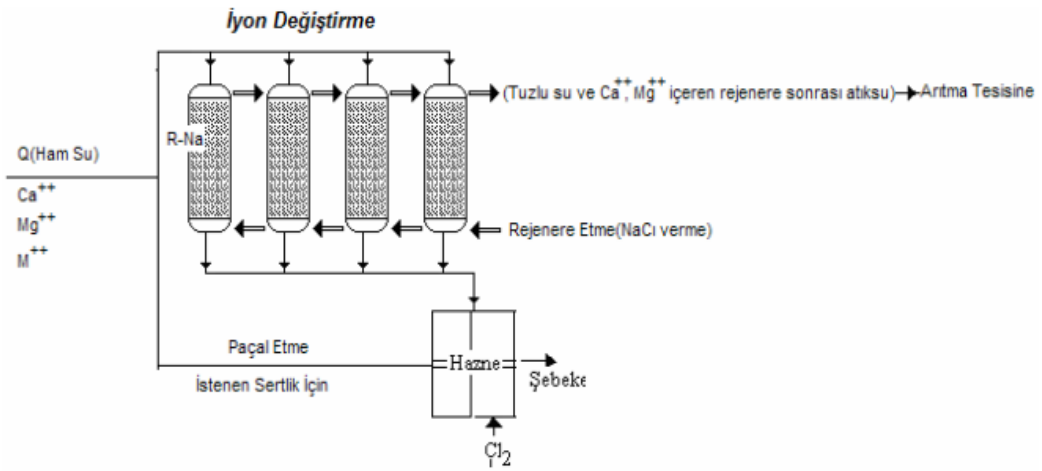


Şekil 2.2. Sert yeraltı sularında sertlik giderim akım şeması (Kestioğlu ve ark. 2007)



Şekil 2.3. Çok sert yeraltı sularında iki kademeli sertlik giderim akım şeması (Kestioğlu ve ark. 2007)

Sertlik giderimi aynı zamanda iyon değiştirme prosesiyle de m¼mk¼nd¼r. İyon değiştirme ünitesinde ham sudaki  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  ve  $Mn^{++}$  iyonları bir reğine vasıtasıyla tutulur ve atıksu olarak sistemi terk eder. Bu reğinenin zamanla bloke olmaması için iyonla zenginleştirme, rejenere etme işlemi yapılmalıdır. Rejenere işlemi NaCl (tuz) ile sağlanır. Reğineden s¼z¼len çıkış suyu haznede klor eklenerek son dezenfeksiyon yapılır ve isale hattına beslenir. İstenilen sertlik konsantrasyonunu ayarlamak adına sistemin en başından bir paçal hattıyla hazneye bağlantı da yapılabilir. İyon değiştirme ile sertlik giderim akım şeması şekil 2.4'te g¼sterilmiřtir (Kestioğlu ve ark. 2003).



**şekil 2.4.** Sert yeraltı sularında iyon değiştirme metoduyla sertlik giderim akım şeması (Kestioğlu ve ark. 2007)

### 2.3. Sularda İletkenlik Parametresi

Elektrik akımını iletme özelliğinin ölç¼s¼ elektriksel iletkenliktir. Sulardaki iletkenlik ise öz¼nm¼ř negatif veya pozitif iyonların bulunmasından etkilenmektedir. Tuz konsantrasyonu, suda iletkenliğin artmasına yol açar. İletkenliğin sıcaklık parametresinden etkilendiği için 25 °C'de standart olarak ölç¼m d¼zeltmesi yapılır. İletkenlik ölç¼mede kullanılan cihazların proplarında elektrotlar arası elektriksel gerilim (voltaj) uygulanır. Uygulanan voltaj, suyun direnciyle karşılaştığından dolayı azalır. Suyun 1 santimetredeki iletkenliğinin hesaplanması için bu voltajın d¼řme miktarı kullanılır. şekil 2.5'te g¼sterilen cihazların monit¼r¼ bu değeri ( $\mu S/cm$ ) birimiyle g¼sterir (Anonim, 1997b).



Şekil 2.5. İletkenlik ölçer cihazı

Tuzluluk ve toplam çözünmüş madde ölçümü yapan iletkenlik ölçüm cihazları da mevcuttur. İletkenlik değerlerinin, 0,55-0,90 aralığında değişen birimsiz faktörlerle matematiksel olarak çarpılarak toplam çözünmüş madde konsantrasyonu (mg/L) bulunur. Arıtılmış suların elektriksel iletkenliği 0,5–3 µS/cm değerleri arasında olur. İçme sularının iletkenlik değerleri ise 150–500 µS/cm aralığında olması uygundur (USEPA,1997).

#### 2.4. Doğal Kaynak Sularından İstenmeyen Maddelerin Giderimiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Doğal kaynak sularından sertlik giderimiyle ilgili yapılan çalışmalardan membran kapasitif deiyonizasyon (MCDI) prosesi çalışmasında, sertliği giderilmiş su ve kullanılacağı alan incelenerek, çok sert su sınıfında olan, farklı konsantrasyonlarda Ca<sup>2+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> ihtiva eden su numuneleri kullanılmıştır. Ham su, MCDI prosesiyle arıtılarak endüstriyel amaçlı üretimde kullanılacak su üretilmiştir. Ayrıca aynı ham su ve proses ile içme suyu üretimi yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda 300 mgCaCO<sub>3</sub>/L konsantrasyonundaki ham su, endüstriyel amaçlı üretimde kullanım amacıyla %90-97

verimle artırılmış; içme suyu üretimi amacıyla ise %71-82 verimle artırılmıştır. Çalışmada aynı zamanda enerji ve maliyet hesabı da yapılmıştır. Endüstriyel amaçlı üretimde kullanılacak su için maliyetin 0,01–0,02 \$/m<sup>3</sup> civarında olduğu görülmüştür. İçme suyu üretimi için bu maliyet 0,009–0,016 \$/m<sup>3</sup> olarak değişkenlik göstermektedir (Uzun ve ark.2019).

Kapasitif deiyonizasyon (CDI) çalışmasında da su yumuşatma uygulamalarında, suyun sertliğinin giderimi araştırılmıştır. CDI prosesinde, aktif karbon kumaşının ıslanabilirliği ve por yapısı, kompozit elektrotların yüzeyinin morfolojik ve elektrokimyasal özellikleri gözlemlenmiştir. Sürekli bir arıtma sisteminde daha fazla ıslanabilen elektrot yüzeyinde, iyonların daha hızlı adsorpsiyon ve desorpsiyon gerçekleştirdiği görülmüştür. Ayrıca sertlik veren iyonları seçici olarak uzaklaştıran sistem, analizlerde iki değerlikli iyonlara, bir değerlikli iyonlardan daha fazla seçicilik göstermiştir. Na<sup>+</sup> iyonlarının güçlü bir şekilde Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup> iyonlarıyla rekabet ederek yer değiştirdiği görülmüştür. Seçici olarak 2 değerlikli iyonların uzaklaştırılmasının, iyon seçiciliği ve elektrotlardaki por karakterizasyonuna bağlı olduğu gözlemlenmiştir (Seo ve ark. 2009).

Bursa Ulaştırma Okul Komutanlığı bölge sınırı içinde mevcut yeraltı sularında yapılan çalışmada; kimyasal arıtma ve iyon değiştirme yöntemlerinin sertlik giderimi üzerindeki etkileri, su tedariki ve kullanımı araştırılmıştır. Kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları neticesinde; 250 mgCa(OH)<sub>2</sub>/L kireç ve 50 mgNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/L soda konsantrasyonlarına sahip numuneler kullanılmış ve sırasıyla bu numunelerde %54 ve %80 sertlik giderim verimleri elde edilmiştir. Yer altı suyuna iyon değiştirme yöntemi uygulandığında ise %100 sertlik giderim veriminin elde edilebileceği öngörülmüştür. Çalışmada Türkiye şartlarında kimyasal arıtma tesis ve iyon değiştirici kolonlu yumuşatma tesisi tasarlandığında yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. 1 metreküp arıtılan su için kimyasal arıtma tesisi ilk yatırım maliyeti 54 \$/m<sup>3</sup>, işletme maliyeti 0,164 \$/m<sup>3</sup>; iyon değiştirici sistemin ilk yatırım maliyeti manuel sistem için 52 \$/m<sup>3</sup>, otomatik sistem için 29,6 \$/m<sup>3</sup> ve işletme maliyetleri de her iki sistem için 0,001 \$/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (Solmaz ve ark. 2004).

Demir elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesi çalışmasında, içme suyundan sertlik giderimi performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada, farklı

koşullardaki sulara demir elektrotlar kullanılarak elektrokoagülasyonun etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Kullanılan numunelerin pH'ları 3.0, 7.0 ve 10.0, bu numunelere uygulanan elektriksel potansiyel ise 6 V, 12 V ve 24 V ve reaksiyon süresi 10 dk., 20 dk. ve 30 dk. dır. Maksimum verimin olduğu koşullar ise pH=10, elektriksel potansiyel 12 V ve reaksiyon süresi 60 dk.'dır. Reaksiyon süresi belirtilen şartlardan daha fazla uzatılarak yüksek verim elde edilmiştir. Kalsiyum ve toplam sertlik için giderim verimleri sırasıyla %98,2 ve %97,4 olarak hesaplanmıştır. Böylece artan pH'ın, uygulanan potansiyelin ve reaksiyon süresinin giderim verimini etkilediği görülmüştür (Malakootian ve ark. 2010).

Elektromembran prosesi çalışmasında ise, musluk suyundaki sertliğe sebep olan iyonların giderimi ve sistemin performansı incelenmiştir. Çalışmada; 6 adet 12,5cm x 8,0 cm elektrot alanına sahip elektrodializ (ED), ters elektrodializ (EDR), ve ters elektrodeiyonizasyon (EDIR) hücreleri kullanılmıştır. ED hücresinde, katyon değişim membranının yüzeyinde kireçlenme oluşumu gözlenirken; EDR ve EDIR hücresinde kireç oluşumu görülmemiştir. EDIR ve EDR hücrelerinde direnç ve güç tüketimi ED hücresine göre düşük olduğu görülmüştür. Çalışmada kısaca su yumuşatma işlemi için EDIR ve EDR hücrelerinin uygulanabilir nitelikte olduğu görülmüştür (Park ve ark. 2005).

Scheap ve ark. (1998) tarafından gerçekleştirilen nanofiltrasyon çalışmasında da yer altı sularının yumuşatılması araştırılmıştır. Çalışmada yapılan üç adet ticari nanofiltrasyon membranı kullanılmıştır. Su sıcaklığının, süzüntü akısı ve iyon tutulmasına olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca daha yüksek su geri kazanım oranları test edilmiş ve %70'e kadarki geri kazanımlar karşılaştırılmıştır. Çok değerlikli iyonların %90'ı filtrelerde tutulurken, tek değerlikli iyonların %60 ile %70 oranında tutulumu gerçekleşmiştir. Kalsiyum iyonlarının %94 oranında giderimi sağlanmıştır. Son olarak membranların kirlenmesi, tıkanması incelemek için deneyler yapılmıştır. Membranlardaki tıkanıklığı gidermede hidroklorik asit ve sülfirik asit kullanımı karşılaştırılıp, ultrafiltrasyon ön arıtımının su akışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Nanofiltrasyonun sertlik gideriminde etkili bir proses olduğu kanısına varılmıştır.

Doğal materyaller kullanılarak kalıcı sertliğin giderildiği bir başka çalışmada ise herhangi bir enerji ve kimyasal kullanılmamıştır. Nar kabuklarının suların

yumuşatılmasında efektif bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Çalışmada bir kolonun içine konulan nar kabuklarının dört güne kadar en az 100 ml kalsiyum iyonlarını içeren sert bir suyu verimli bir şekilde yumuşattığı görülmüştür. Taze nar kabuklarının kuru nar kabuklarına göre su yumuşatma işleminde daha etkili olduğu gözlenmiştir. Prosesin avantajları: kimyasal kullanılmaması, çevre dostu, uygun maliyetli, basit ve kullanışlı olmasıdır. Kullanılan kolonun çapı arttıkça sertlik gideriminin de arttığı tespit edilmiştir. Araştırmada nar kabuğunun dışında havuç, elma, portakal, salatalık, muz, domates kabuğu ve kadife çiçeği, gül yaprağı, haşhaş yaprakları da kullanılmıştır. Tüm kullanılan materyalleri aynı yükseklikte ve çapta kolona yerleştirilerek 700 ppm kalıcı sertlik içeren su beslemesi yapılmıştır. İçlerinde nar kabuğu sertlik giderim verimi %90, havuç kabuğunda ise %60 olarak ölçülmüştür. Burada sertlik giderim veriminin, kullanılan materyallerin yapısındaki fenolik bileşiklerin varlığıyla doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar tarafından böyle bir yöntemin yakın bir gelecekte kullanılması ve yaygınlaşması öngörülmektedir (Lzaod ve ark. 2020).

Sri Lanka'nın Anuradhapura Bölge'sindeki bir yer altı suyu için su arıtma tesisinin tasarlanacağı çalışmada, sürekli akışlı elektroliz prosesiyle yeraltı sularından akışlı elektroliz prosesi (ELC) çalışmasında yer altı sularından florür, sertlik ve alkalinite giderimi incelenmiştir.  $F^-$ , sertliğe neden olan  $Mg^{+2}$  ve  $Ca^{+2}$  ve alkaliniteye neden olan  $(CO_3)^{-2}$  ve  $(HCO)^-$  iyonlarını gidermek için korozif olmayan platin anot ve paslanmaz çelikten üretilmiş katot kullanılmıştır. Sentetik yer altı suyunda iyon giderim mekanizmaları, uygulanan elektriksel yük ve başlangıç iyon konsantrasyonu gibi iki değişken açısından araştırılmıştır. Uygulanan elektriksel yük ile önemli miktarda  $F^-$  iyonu giderimi, kalsit ( $CaCO_3$ ) ile amorf  $Mg(OH)_2$ 'in beraber çökeltimi sağlanmıştır. Başlangıçta 10 mg/L  $F^-$ , 100 mg/L  $Mg^{+2}$ , 100 mg/L  $Ca^{+2}$  ve 9,42 mmol/L ( $HCO_3^- + CO_3^{-2}$ ) bulunan suya 500-1500 C/L aralığında farklı elektriksel yükler uygulanmıştır. Bu iyonların giderim verimleri sırasıyla %57  $F^-$ , %61  $Mg^{+2}$ , %94  $Ca^{+2}$  ve %82 ( $HCO_3^- + CO_3^{-2}$ ) olarak ölçülmüştür (Amarasooriya ve ark. 2019).

Elektrokoagülasyon (EC) sistemiyle bulanıklık, sertlik ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gideriminin incelendiği çalışmada ters osmoz membranlarının kireçlenmesini ve kirlenmesini engellemek amaçlanmıştır. Pilot ölçekli (EC) sistem bir ön arıtım olarak planlanmıştır. Ön çalışmalarda pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi kirletici madde



giderimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Proseste %85,81 sertlik, %66,64 KOİ ve %93,80 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Giderimin yapıldığı optimum koşullar pH: 7,36, uygulanan akım yoğunluğu 5,90 mA/cm<sup>2</sup>, reaksiyon süresi 30,94 dk ve dozajlanan koagülant Fe<sup>+3</sup> iyonu konsantrasyonu 23,76 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu şartlarda üretilmiş suyun membran sistemine girdiğinde süzöntü akınının 22 L/m<sup>2</sup>.h ve su geri kazanım oranı %87,83 olduğu gözlenmiştir (Zhao ve ark. 2014).

İçme suyundan sertlik ve (SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup> giderimi için yapılan çalışmada düşük pH'ta üretilen Mg ve Al oluşan çift nano katmanlı hidroksit (nLDHs) kullanılmıştır. Araştırmadaki hazırlanan adsorban nano boyutta olup, herhangi bir alkali madde eklenmeksizin üretilen hidrolizi ile hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) varlığında gerçekleşmiştir. Çalışmada üç değişkenin oluşturduğu optimum koşullar pH: 5,57, reaksiyon süresi 119,9 dk, uygulanan adsorban konsantrasyonu ise 10 g/L olarak tespit edilmiştir. Bu koşullarda sertlik ve (SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup> giderim verimleri sırasıyla %65,1 ve %69,2'dir (Sepehr ve ark. 2014).

Atık sülfon polimerli plastik kullanılarak sertlik giderimi çalışmasında beyaz polistirenden üretilmiş atık kahve fincanları heterojen sülfonasyon ile adsorbana dönüştürülmüştür. Sülfonasyon işlemi doğrulamak için Infra Red tekniği kullanılmış olup, sülfonasyon derecesi ve kation değişim kapasitesi titrasyonla belirlenmiştir. Sentetik sert suyu hazırlamak için Mg ve Ca içeren tuzlar, saf suda çözündürülerek kullanılmıştır. Sülfonasyon işlemiyle modifiye edilmiş polimerin, geleneksel olarak kullanılan adsorbanlarla karşılaştırıldığında yüksek oranda sertlik giderimi sağladığı tespit edilmiştir. 150 mg/L Mg<sup>+2</sup> ve Ca<sup>+2</sup> içeren suda sertlik giderimi %93 olarak elde edilmiştir (Abbes ve ark. 2007).

Yurtdışında ve Türkiye'de yer altı suları, musluk suları ve sentetik hazırlanan sularda yapılan çalışmalar Çizelge 2.6'te incelendiğinde sertlik veya kalsiyum giderimi oldukça yakın oranlardadır. Bu çalışmalarda sertlik giderimi olurken iyon giderimi olduğu için iletkenliğin düşürülmesi de söz konusu olmuştur.

**Çizelge 2.6.** Dünyada ve Türkiye’deki sertlik veya kalsiyum giderimiyle ilgili yapılan çalışmalar

<b>Uygulanan Proses</b>	<b>Sertlik Giderimi (%)</b>	<b>Kalsiyum İyonu Giderimi (%)</b>	<b>Çalışmanın Yapıldığı Su</b>	<b>Araştırmacılar</b>
Membran kapasitif deiyonizasyon	90-97		Doğal kaynak suyu	Uzun ve ark. (2019)
Kimyasal arıtım	80		Yer altı suyu	Solmaz ve ark. (2004)
Elektrokoagülasyon	98,2		İçme suyu	Malakootian ve ark. (2010)
Nanofiltrasyon		94	Yer altı suyu	Scheap ve ark. (1998)
Nar kabuğu kolonu	90		Sentetik hazırlanan su	Lzaod ve ark. (2020)
Elektrokoagülasyon	85,81		Atıksu	Zhaove ark. (2014)
Çift nano katmanlı hidroksit (nLDHs)	65,1		İçme suyu	Sepehr ve ark. (2014)
Atık sülfon polimerli plastik	93		Sentetik hazırlanan su	Abbes ve ark. (2007)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. İçecek Üretim Tesisinin Tanıtımı

İçecek üretiminin yapıldığı tesis Balıkesir'in Edremit İlçesi'ndeki Altınoluk Mahallesi'nde yer almaktadır. Tesisin ülkemizdeki konumu Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Tesisin günlük ortalama üretim kapasitesi 250.000 şişe ürün/gün'dür. Tesiste üretilen ürünler, hem yurt içi hem de yurt dışında alıcı bulmaktadır. Yurt dışından genellikle ortadoğu ülkelerinden ürün talebi gelmektedir. Doğal kaynak suyunun kullanıldığı tesiste, meyveli ve meyve aromalı, gazlı veya gazsız her türlü içecek üretilmektedir. Ayrıca tesisin doğal zengin mineralli maden suyu kaynağı da mevcut olup, maden suyu üretimi de yapılmaktadır. Doğal kaynak suyunun tesiste kullanımı Devlet Su İşleri'nin yerel şubelerinden izinli olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmanın yapıldığı Balıkesir'in haritadaki yeri

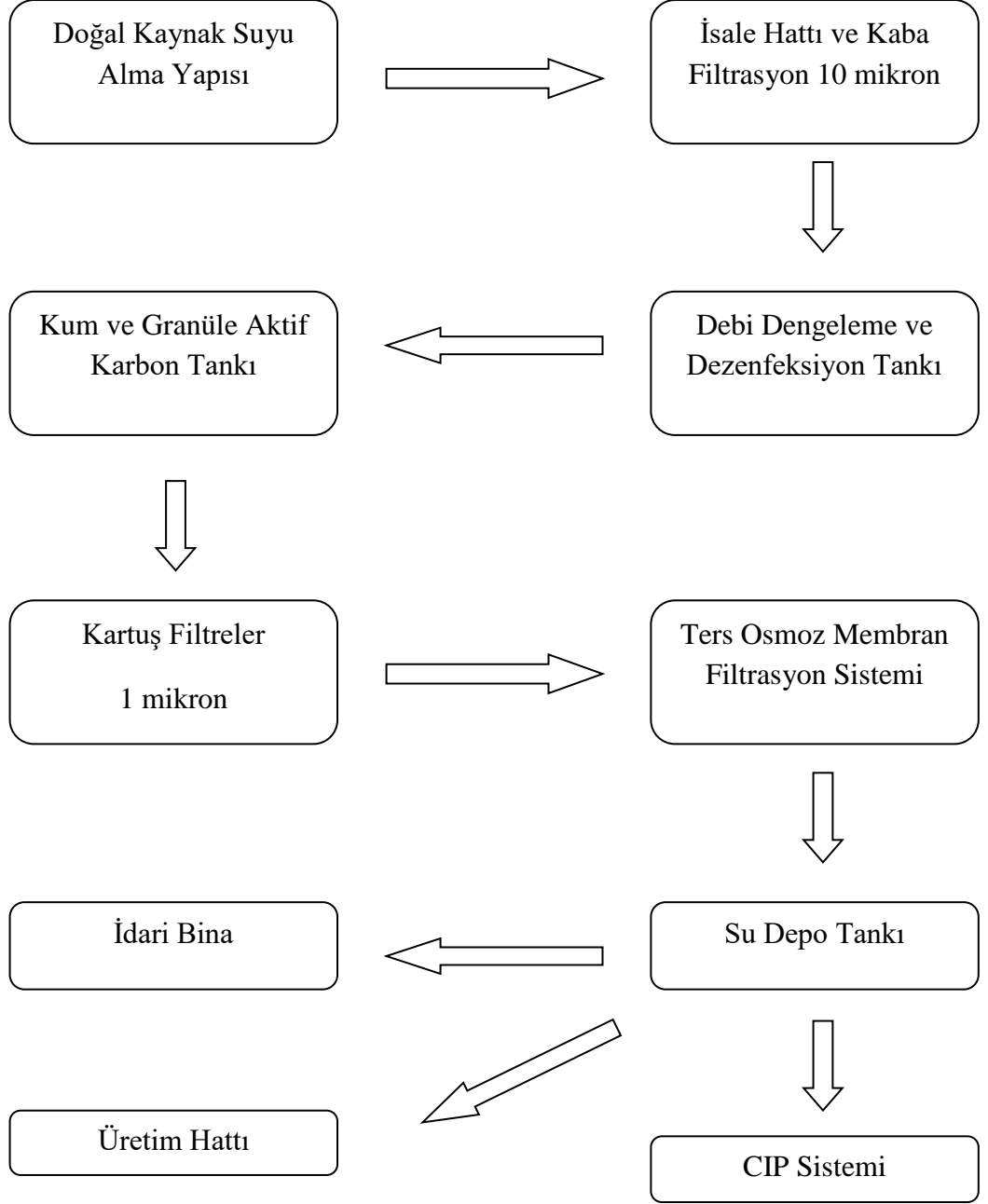


Şekil 3.2. Balıkesir'in Edremit İlçesi'nin haritadaki yeri

Her türlü içeceğin üretiminden sonra; üretim hatlarının, şurup tanklarının, boru ve dolmuş sistemlerinin, ürünün ve suyun temas ettiği tüm yüzeylerin yıkanması, sanitasyonu gereklidir. Sanitasyon işlemi, üretim hatlarının sökülmeden kapalı bir devrede suyun ve kimyasal solüsyonların sirkülasyonu yaptırılmasıyla olan temizlik işlemidir. Bu işlem, gıda sektöründe CIP (Clean In Place) kelimesi yerinde temizlik olarak adlandırılır (Öksüztepe ve ark 2019). CIP işlemi yapılmadığı takdirde, üretim hatlarında mikrobiyal üreme, kireç birikimi, ürünlerin aromalarının birbirlerine karışması ve üretilen ürünlerin yapısının değişmesi, bozulması gibi istenmeyen durumlar meydana gelir. Bu nedenle CIP işlemi gıda sektöründe üretim şartlarının sağlıklı ilerlemesi için zorunludur. Tesise giriş yapan doğal kaynak suyu belirli ünitelerden geçtikten sonra, CIP solüsyonunu hazırlama ve durulama işlemi için kullanılır. CIP işleminde akışkanların geçtiği tüm hatlara otomatik olarak sodyum hidroksit (NaOH), nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ve perasetik asit (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) solüsyon halinde sirkülasyon yapılır ve sonrasında durulama işlemi uygulanır. Ayrıca tesiste limonata, gazoz, kola gibi asitli meşrubatların üretimi ve tesisin idari binasının su ihtiyacını karşılamak için de doğal kaynak suyu çeşitli giderim ünitelerinden geçtikten sonra kullanılır. Asitli meşrubatların üretiminde sert sular kullanmak ürüne eklenen sitrik asit sarfiyatını artırmaktadır. Bu nedenle bu gibi ürünler yumuşak, hatta saf suya yakın sularla üretilir.

Tesise isale hattıyla iletilen doğal kaynak suyunun üretim, CIP ve idari binada kullanılması için; yapısındaki AKM, sertlik oluşturan iyonların giderimi ve nihayetinde iletkenliğinin düşürülmesi gerekmektedir. Mevcut doğal kaynak suyu Balıkesir İli, Edremit İlçesi, Altınoluk Sementi'nde Kaz Dağları'nın zirveye yakın bir yerde yeraltından doğmaktadır. Manastır Çayı olarak adı geçen doğal kaynak suyunun debisi kış aylarında yaklaşık 2,5 m<sup>3</sup>/s ve yaz aylarında 0,35 m<sup>3</sup>/s ortalama debileriyle akmaktadır. Çayın tesise 3 km uzaklıkta, yerleşim yerlerinin olmadığı bir noktadan küçük bir su alma yapısı kurulmuştur. 8 cm boru çaplı yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) isale hattına 1 lt/sn ortalama debisiyle su girişi yapılmaktadır. İsale hattı ile gelen ham doğal kaynak suyu 10 µ por çaplı torba filtreden geçerek AKM, sertlik ve iletkenlik giderimi için; debi dengeleme ve klorlama tankı, kum ve granüle aktif karbon tankı, 1 µ por çapına sahip kartuş filtrasyon, ters osmoz membran filtrasyon sistemi ünitelerinden geçmektedir. Su alımı, stokta üretilen su 20 m<sup>3</sup> olduğunda sistem

tarafından durdurulmakta ve gelen doğal kaynak suyu tesise alınmadan doğaya tekrar geri verilmektedir. Şekil 3.3'te içecek üretim tesisinin su temini akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.3. İçecek üretim tesisinin su temini akım şeması

### 3.2. Manastır Çayının Karakterizasyonu

Tesiste tüm su ve içecek analizlerinin yapıldığı bir laboratuvar mevcuttur. Genel olarak sertlik, pH, iletkenlik, AKM, mikrobiyolojik analiz ekipmanları ve içecek analizlerinde kullanılan cihazlar mevcuttur. Manastır Çayı'ndan farklı günlerde alınan ham doğal kaynak suyu numuneleri üzerinde yapılan analizlerin ortalama değerleri Çizelge 3.1'de fiziksel ve kimyasal parametreler ve Çizelge 3.2'de mikrobiyolojik parametreler ayrıntılı verilmiştir. Çizelge 3.3'de ise özet olarak tüm parametreler mevcuttur.

**Çizelge 3.1.** Ham suyun periyodik olarak ölçülmüş fiziksel ve kimyasal parametreleri

Numunenin Alındığı Tarih	Toplam Sertlik (1 Alman Sertliği=1dH°) (1dH°=17,8 ppm CaCO <sub>3</sub> )	AKM (mg/L)	pH	İletkenlik (µS/cm)
03.01.18	7	9	8,30	332
04.01.18	8	7	8,20	332
05.01.18	6	8	8,20	332
06.01.18	7	12	8,28	330
07.01.18	7	12	8,32	335
08.01.18	6	8	8,30	335
09.01.18	7	11	8,30	347
10.01.18	7	10	8,25	325
11.01.18	8	13	8,32	327
12.01.18	7	10	8,10	325
Ortalama	7,7	10	8,26	332

**Çizelge 3.2.** Ham suyun periyodik olarak ölçülmüş mikrobiyolojik parametreleri

Numunenin Alındığı Tarih	Toplam Jerm (22 °C kob/ml)	Toplam Jerm (22 °C kob/ml)	ToplamK oliform (kob/ml)	E.Koli (kob/ml)	Pseudomonas Aeruginosa (kob/ml)	Küf (kob/ml)	Maya (kob/ml)
03.01.18	0	1	3	0	0	2	8
04.01.18	2	0	5	0	0	2	9
05.01.18	5	2	1	0	0	0	1
06.01.18	4	0	5	0	0	1	5
07.01.18	8	0	7	0	0	2	4
08.01.18	0	4	0	0	0	1	3
09.01.18	6	1	2	0	0	2	8
10.01.18	1	0	2	0	0	0	5
11.01.18	4	2	3	0	0	0	5
12.01.18	0	0	2	0	0	0	2
Ortalama	3	1	3	0	0	1	5

**Çizelge 3.3.** Ham suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik ortalama değerleri

<b>Parametre</b>	<b>Birim</b>	<b>Ortalama Değerler</b>
Toplam Sertlik (1 Alman Sertliği=1dH°= 17,8 ppm CaCO <sub>3</sub> )	1dH°	7,7
AKM	mg/L	10
pH	-	8,26
İletkenlik	µS/cm	332
Toplam Jerm 37 °C	kob/ml	3
Toplam Jerm 22 °C	kob/ml	1
Toplam Koliform Bakterileri	kob/100ml	3
E.Koli Bakterileri	kob/100ml	0
Pseudomonas Aeruginosa	kob/100ml	0
Küf	kob/ml	1
Maya	kob/ml	5

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğal kaynak suyundan alınan ham numunelerin ortalama değerleri ve akarsu şartları göz önüne alındığında, tesisin giriş kısmında 10 µ por çapına sahip torba filtre ve dezenfeksiyon ünitesi gerekmektedir. Dezenfeksiyon ünitesi ayrıca gelen su debisini dengelemektedir. Dezenfeksiyon işleminin ilk önce yapılmasının sebebi kullanılacak suyun içecek üretiminde kullanılmasıdır. İsale hatlarındaki gibi kullanım suyunda herhangi bir bakiye klor kalması ve klorun üretilen ürüne geçmesi durumunda, oksidant olduğu için ürünün rengini açmakta ve yapısını bozmaktadır. Ayrıca en son ünite olan ters osmoz membran filtrasyon ünitesine klor zarar vermektedir. Bu nedenle dezenfeksiyon işlemi önce yapılmalı ve klorun aktif karbon ünitesinde giderimi sağlanmalıdır.

### 4.1. Debi Dengeleme ve Klorlama Tankı

Ham doğal kaynak suyu tesise 8cm boru çaplı isale hattı ile giriş yapar ve 10 µ torba filtreden geçerek 4 m<sup>3</sup> hacmindeki debi dengeleme ve klorlama tankına gelmektedir. Torba filtrasyonda çok büyük çaplı yaprak, taş, yabancı maddeler ve 10 µ üzeri partiküller tutulur. Debi dengeleme tankında çökebilir katı maddelerin bir kısmı çökebilmektedir. Ayrıca bu tankta dezenfeksiyon işlemi klor dozajlanarak gerçekleşir. Klor dozaj pompası ile 3 ppm ortalama konsantrasyonunda serbest klor olacak şekilde otomatik dozajlama yapılır. Böylece risk oluşturacak mikroorganizma yükü inhibe edilir. Dengeleme tankında ihtiyaç olduğu zaman su alımı yapacak şekilde otomatik vana sistemi mevcuttur. İhtiyaç olmadığı zamanlar su tesise girmeden by-pass olmaktadır.



Şekil 4.1. Debi dengeleme ve klorlama tankı



Şekil 4.1'deki tank haftada bir kez tamamen boşaltılıp dip çökeltisi temizlenir. Bu üniteden sonra su, pompa ile kum ve granüle aktif karbon materyallerini iki katman halinde bulunduran üniteye geçiş yapmaktadır.

#### 4.2. Kum ve Granüle Aktif Karbon Tankı

Debi dengeleme tankında klorlanmış su, pompa yardımıyla 2 m<sup>3</sup> toplam hacmindeki kum ve GAK materyallerinin bulunduğu tanka üst kısımdan giriş yapmaktadır. Su ilk önce 0,7 m yükseklikteki 1-3 mm çaplı kum katmanından geçmektedir. Burada filtrasyon hızı yaklaşık 10 m/sa'dır. Bu kısım 5 µ büyük çaplı AKM'nin giderilmesi için tasarlanmıştır. Kum katmanından sonra su, yine 0,7 m yükseklikteki 1-3 mm çaplı GAK katmanından süzülerek geçer. Bu kısımda, dengeleme ve klorlama tankındaki dozajlanan klorun giderimi, uygunsuz tat ve kokuya sebep olan organik bileşiklerin giderimi sağlanmaktadır. GAK tabakasının altında 3 cm çaplı çakıl taşları bulunmaktadır. Çakıl taşları 3 mm gözenek çaplı çelik bir süzgecin üstünde yer almaktadır. Şekil 4.2'de gösterilen bu ünite, filtrasyonun uygun bir şekilde gerçekleşmesi için tıkanma riskine karşı her gün geri yıkama yapılmaktadır.



Şekil 4.2. Kum ve granüle aktif karbon tankı

GAK katmanından süzülen su, 1 µ por çaplı kartuş filtrelerin bulunduğu üniteye geçer. Kum ve GAK tankının çıkış suyundan alınan numuneler üzerinde yapılan analizlerin ortalama değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Çizelgelerdeki değerler incelendiğinde AKM konsantrasyonunun %21 düştüğü görülmüştür. Bu durum, kum

filtresi ve GAK ünitesinde AKM'nin bir kısmının tutulabildiğini göstermektedir. Ayrıca GAK ünitesinde tat, koku ve bir önceki üniteye dozajlanan klorun giderimi de yapılmıştır. Ünitenin çıkış suyunda klor konsantrasyonu 0 ppm olarak ölçülmüştür.

**Çizelge 4.1.** Kum ve GAK tankının çıkış suyunun periyodik olarak ölçülmüş fiziksel ve kimyasal parametre değerleri

Numunenin Alındığı Tarih	Toplam Sertlik (1 Alman Sertliği=1dH°) (1dH°=17,8 ppm CaCO <sub>3</sub> )	AKM (mg/L)	pH	İletkenlik (µS/cm)
08.01.18	7	8	7,86	322
09.01.18	7	7	7,80	335
10.01.18	8	8	7,85	330
11.01.18	7	7	7,90	325
12.01.18	7	8	8,00	338
13.01.18	8	8	8,00	340
14.01.18	6	9	7,85	337
15.01.18	7	7	7,95	324
16.01.18	6	9	7,95	335
17.01.18	7	8	7,85	322
Ortalama	7,7	7,9	7,86	330,8

**Çizelge 4.2.** Kum ve GAK tankının çıkış suyunun fiziksel ve kimyasal parametrelerin ortalama değerleri

Parametre	Birim	Ortalama
Toplam Sertlik (1 Alman Sertliği=1dH°= 17,8 ppm CaCO <sub>3</sub> )	1dH°	7,7
AKM	mg/L	7,9
pH	-	7,86
İletkenlik	µS/cm	330,8

### 4.3. Kartuş Filtrasyon

Kum ve GAK ünitesinden geçen su, 1 µ por çaplı kartuş filtre ünitesine iletilmektedir. Şekil 4.4'te gösterilen housingin içinde 12 tane kartuş filtre bulunmaktadır. Bu üniteye su, Şekil 4.3'te gösterilen kartuş filtrelerin dışından merkezine doğru giriş yaparak filtrelenir. Kartuşların bulunduğu housingin toplam iç hacmi 300 litredir. Burada 1 µ çapından büyük tüm AKM ve önceki ünitelerde tutulamayan ölü mikroorganizmaların büyük bir bölümünün tutulması sağlanır. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'teki değerler incelendiğinde, başlangıçtaki ham sudaki AKM'nin, bu ünite çıkışına gelene kadar %60

giderildiği grlmŖtr. Diğer parametrelerde bir deđiŖim olmamıŖtır. Bu nitede sudaki giderilemeyen sertlik, iletkenlik ve 1  $\mu$  altındaki partikül maddeler bir sonraki ünite olan ters osmoz membran filtrasyon ünitesinde giderilir.



**Ŗekil 4.3.** 1 mikron por çaplı kartuŖ filtre



**Ŗekil 4.4.** 1 mikron por çaplı kartuŖ filtrelerin bulunduğu hausing

**Çizelge 4.3.** 1 mikron por çaplı kartuş filtre çıkış suyunun periyodik olarak ölçülmüş fiziksel ve kimyasal parametreleri

Numunenin Alındığı Tarih	Toplam Sertlik (1 Alman Sertliği=1dH°) (1dH°=17,8 ppm CaCO <sub>3</sub> )	AKM (mg/L)	pH	İletkenlik (µS/cm)
14.01.18	6	8	7,70	331
15.01.18	7	3	7,75	330
16.01.18	7	4	7,80	335
17.01.18	8	6	7,85	334
18.01.18	8	5	7,90	325
19.01.18	7	5	7,70	328
20.01.18	6	3	7,80	332
21.01.18	8	8	7,90	332
22.01.18	6	9	7,80	337
23.01.18	7	7	7,70	322
Ortalama	7	4	7,79	329,6

**Çizelge 4.4.** 1 mikron por çaplı kartuş filtre çıkış suyunun fiziksel ve kimyasal parametrelerin ortalama değerleri

Parametre	Birim	Ortalama
Toplam Sertlik (1 Alman Sertliği=1dH°= 17,8 ppm CaCO <sub>3</sub> )	1dH°	7
AKM	mg/L	4
pH	-	7,79
İletkenlik	µS/cm	329,6

#### 4.4. Ters Osmoz Membran Filtrasyon Sistemi

Kartuş filtrelerden çıkış yapan su, 500 litrelik bir balans tankına gelir ve buradan bir pompa yardımıyla 2,5-3 bar basınçla Şekil 4.5'te gösterilen ters osmoz sistemine beslenir. Bu ünite de suda bulunan, yaklaşık 1 nanometre boyutunun üstündeki tüm katı maddeler ve çözünmüş iyonların büyük bir kısmı tutulur. Bu sisteme giriş yapan suyun %70'i çıkış yaparak su deposunda depolanır. Diğer %30'luk kısmı konsantre atıksu olarak sistemi terk etmektedir. Sistemin kapasitesi 8 L/m<sup>2</sup>.h'dir. Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 incelendiğinde başta kalsiyum ve magnezyum gibi birçok bileşik ve iyonların giderimi yapılmıştır. Bunun sonucunda ham suya göre toplam sertlik %86 oranında ve iletkenlik ise %88-90 oranında düşmüştür. Ayrıca yapılan mikrobiyolojik analizler sonucu petri kaplarında herhangi bir canlı üremesi olmadığı görülmüştür.



**Şekil 4.5.** Ters osmoz membran filtrasyon sistemi

Çıkış suyundaki iletkenliğin  $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'e kadar düşmemesinin nedeni; atıksu oranının %35 ve ham sudaki mangan konsantrasyonunun tamamen giderilememiş olmasıdır. Ham suda ve ters osmoz membran filtrasyon sistemi çıkış suyunda mangan konsantrasyonu  $0,07 \text{ mg}/\text{L}$  olduğundan çıkış suyu iletkenliği  $32 \mu\text{S}/\text{cm}$  olduğu düşünülmektedir. Mangan konsantrasyonu çok düşük olduğu için üretilen ürünlerde herhangi bir problem teşkil etmemektedir.

**Çizelge 4.5.** Ters osmoz membran filtrasyon sistemi çıkış suyunun periyodik olarak ölçülmüş fiziksel ve kimyasal parametreleri

Numunenin Alındığı Tarih	Toplam Sertlik (1 Alman Sertliği= $1\text{dH}^\circ$ ) ( $1\text{dH}^\circ=17,8 \text{ ppm CaCO}_3$ )	AKM (mg/L)	pH	İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
17.01.18	1	0	6,95	28
18.01.18	1	0	6,9	36
19.01.18	1	0	6,95	31
20.01.18	1	0	6,85	34
21.01.18	1	0	6,88	33
22.01.18	1	0	6,86	29
23.01.18	1	0	6,85	33
24.01.18	1	0	6,88	33
25.01.18	1	0	6,83	37
26.01.18	1	0	6,85	26
Ortalama	1	0	6,88	32

**Çizelge 4.6.** Ters osmoz membran filtrasyon sistemi çıkış suyunun periyodik olarak ölçülmüş mikrobiyolojik parametreleri

Numunenin Alındığı Tarih	Toplam Jerm 37 °C (kob/ml)	Toplam Jerm 22 °C (kob/ml)	Toplam Koliform (kob/ml)	E.Koli (kob/ml)	Pseudomonas Aeruginosa (kob/ml)	Küf (kob/ml)	Maya (kob/ml)
17.01.18	0	0	0	0	0	0	0
18.01.18	0	0	0	0	0	0	0
19.01.18	0	0	0	0	0	0	0
20.01.18	0	0	0	0	0	0	0
21.01.18	0	0	0	0	0	0	0
22.01.18	0	0	0	0	0	0	0
23.01.18	0	0	0	0	0	0	0
24.01.18	0	0	0	0	0	0	0
25.01.18	0	0	0	0	0	0	0
26.01.18	0	0	0	0	0	0	0
Ortalama	0	0	0	0	0	0	0

**Çizelge 4.7.** Ters osmoz membran filtrasyon sistemi çıkış suyunun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik ortalama değerleri

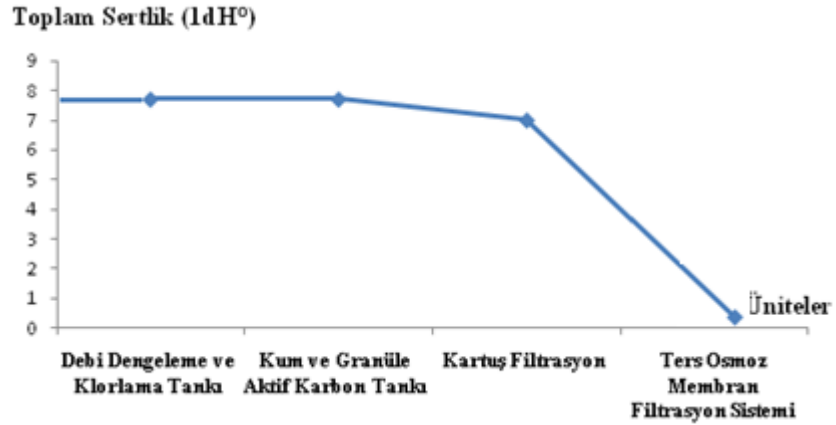
Parametre	Birim	Ortalama Değerler
Toplam Sertlik (1 Alman Sertliği=1dH°= 17,8 ppm CaCO <sub>3</sub> )	1dH°	0
AKM	mg/L	0
pH	-	6,88
İletkenlik	µS/cm	32
Toplam Jerm 37 °C	kob/ml	0
Toplam Jerm 22 °C	kob/ml	0
Toplam Koliform Bakterileri	kob/100ml	0
E.Koli Bakterileri	kob/100ml	0
Pseudomonas Aeruginosa	kob/100ml	0
Küf	kob/ml	0
Maya	kob/ml	0

Su, ters osmoz membran filtrasyon ünitesinden sonra üretimde, tesisin idari binasında ve cıp işleminde kullanmak amacıyla 18 m<sup>3</sup> hacmindeki paslanmaz kromdan üretilmiş Şekil 4.5’te gösterilen depoda biriktirilir.



**Şekil 4.6.** Paslanmaz krom su deposu

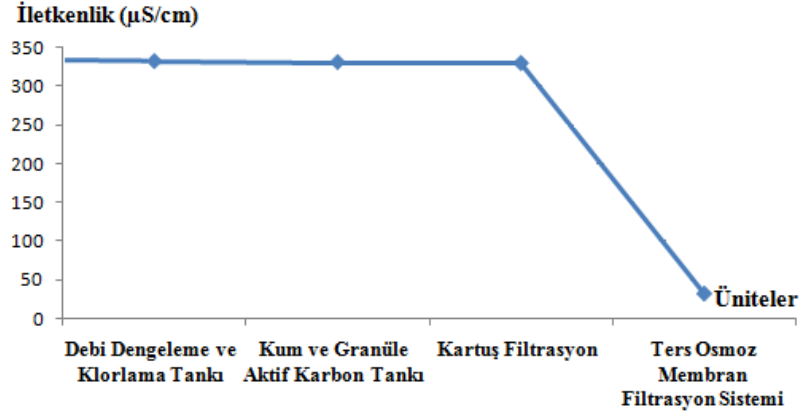
Sertlik parametresi için kartuş filtrasyon ünitesinde başlangıçtaki 7,7 dH° değerine göre %9 giderim verimi gerçekleşmiştir (Şekil 4.7.). Sonraki ünite olan ters osmoz membran filtrasyon sisteminde ise %100 giderim verimi elde edilmiştir. Tesisteki tüm ünitelerden elde edilen sertlik giderim veriminin de %100 olduğu görülmüştür. Son sertlik değeri 0 dH° olarak ölçülmüştür. Bu durum, sertliğe neden olan kalsiyum ve magnezyumlu bileşiklerin ters osmoz membran filtrasyon ünitesinde efektif olarak tutulduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.7.** Toplam sertliğin ünitelerdeki değişimi

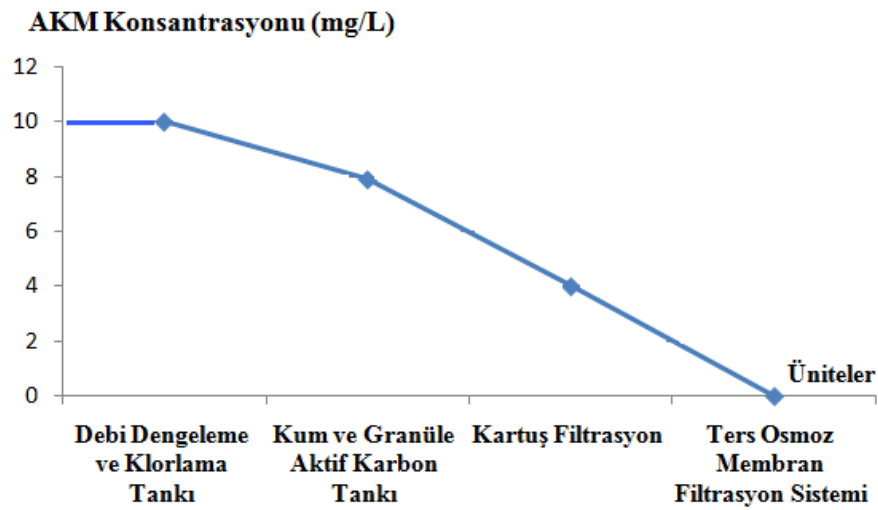
İletkenlik parametresindeki giderimin yalnızca ters osmoz membran filtrasyon sistemi ünitesinde gözlenmiştir. Başlangıçtaki 332  $\mu\text{S}/\text{cm}$  iletkenlik değerine göre bu ünitenin giderim verimi %90,4 olarak elde edilmiştir. Doğal kaynak suyundaki tüm minerallerin ancak bu üniteye tutulduğu mümkün olmuştur. Çünkü 1 nm por çapına sahip

membranlar bakterileri, virüsleri, birçok bileşiği ve iyonları tutmaktadır. Şekil 4.8’de iletkenlik parametresinin ünitelerdeki değişim grafiği gösterilmiştir.



**Şekil 4.8.** İletkenliğin ünitelerdeki değişimi

AKM parametresinde ise ünitelerin hepsi giderim verimine katkıda bulunmuştur. Başlangıçta 10 mg/L olan AKM konsantrasyonu, ünitelerin sonunda %100 giderilerek 0 mg/L olarak ölçülmüştür. Kum ve granüle aktif karbon tankında ise 5 µ’dan büyük AKM’ler tutulmuştur ve %21 AKM giderimi gerçekleşmiştir. Kartuş filtrasyon ünitesinde 1 µ partikül çapından büyük AKM’lerin gideriminin ise %49,4 olduğu görülmüştür. Şekil 4.9’da AKM parametresinin ünitelerdeki değişim grafiği gösterilmiştir. Son olarak ters osmoz membran filtrasyon sisteminde ise AKM giderimi, tüm ünitelerin toplam giderimindeki gibi %100 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.9.** AKM konsantrasyonunun ünitelerdeki değişimi



Uzun ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada doğal kaynak suyunda MCDI prosesiyle sertlik giderim verimi %90-97 olarak elde edilmiştir. Scheap ve ark. (1998) tarafından yer altı suyunda yapılan başka bir çalışmada ise kalsiyum iyonunun nanofiltrasyon prosesiyle giderim verimi %94 olarak görülmüştür. Solmaz ve ark. (2004) tarafından yapılmış çalışmada yer altı suyundan kimyasal arıtım prosesiyle sertlik giderim verimi %80 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmalardaki sertlik giderimiyle paralel olarak iletkenlik parametresinin düşüşü söz konusudur. Zhao ve ark. (2014) tarafından EC prosesi ile yapılan çalışmada bulanıklık %93,80 giderilmiş, dolayısıyla AKM de bu orana yakın bir şekilde giderilmiştir. Doğal kaynak suyunda yapılan bu çalışmada ise sertlik giderimi; kum ve GAK, kartuş filtrasyon ve ters osmoz membran filtrasyon prosesi ardışık bir şekilde kullanılarak %100 olduğu görülmüştür. AKM giderimi %100 ve iletkenlik giderimi %90,4 olarak sağlanmıştır. Bu parametrelerin diğer çalışmalardaki gibi yüksek olması oldukça önemlidir.

#### **4.5. İçecek Tesisinde Bulunan Ünitelerin Yatırım ve İşletme Maliyetleri**

2000 yılında kurulan içecek tesisinde, debi dengeleme ve klorlama tankı, kum ve granüle aktif karbon tankı, kartuş filtrasyon ve ters osmoz membran filtrasyon sistemi üniteleri mevcuttur. Ünitelerin yatırım maliyetleri 2000 yılındaki verilere göre Çizelge 4.8'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. 2000 yılında kurulan firmanın yatırım maliyeti o yıllardaki malzeme fiyatlarına göre 36.980 € iken, günümüz şartlarında benzer proseslerin bulunduğu tesis için kurulum maliyeti 7.778 €'dur. 2000 yılındaki euronun Türk lirası olarak değeri 0,564 TL'dir (Anonim 2019). 28.12.2020 tarihli euro kurunun değeri ise 9,05 TL'dir (Anonim 2020). Buna göre 2000 yılı yatırım maliyeti Türk lirası olarak 20.856,7 TL iken, günümüz şartlarında benzer proseslerin bulunduğu tesis için kurulum maliyeti 70.391 TL'dir.

Bu tesiste günlük ortalama 30 m<sup>3</sup> işlenmiş su üretimi yeterli olmaktadır. Aylık üretilen su miktarı ise tüm günler tesis içecek üretimi yapmadığından ortalama 780 m<sup>3</sup>'tür. Her ünitenin kendine özgü bir işletme maliyeti mevcuttur. Debi dengeleme ve klor tankı bölümünde sarf malzemesi olarak sıvı sodyum hipoklorit tüketilmektedir. Bunun yanı sıra klor dozaj pompasına ait bir elektrik sarfiyatı söz konusudur. Kum ve granüle aktif karbon tankı ünitesinde iletim pompasının elektrik sarfiyatı mevcuttur. Ayrıca tankın içindeki kum ve granüle aktif karbon yılda bir kez değiştirilmektedir. Kartuş filtrasyon

housinginin içinde bulunan kartuş filtreler 6 ayda bir kez değiştirilmektedir ve bu üniteadaki iletim pompası elektrik sarfettirmektedir. Ters osmoz membran filtrasyon ünitesinde membranlar 5 yılda bir değişmektedir. Bu sisteme suyu besleyen yüksek basınçlı pompanın elektrik sarfiyatı mevcuttur. Tüm ünitelerin günümüzdeki yıllık işletme maliyetleri tesiste bulunan teknik personelden alınarak Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Toplam yıllık işletme maliyeti 9.063 €'dir. 28.12.2020 tarihli euro kurunun değeri 9,05 TL olduğu referans alındığında günümüzdeki işletme maliyeti Türk lirası olarak 82.020,2 TL'dir. (Anonim 2020).

**Çizelge 4.8.** İçecek tesisindeki ünitelerin 2000 yılı ve günümüzdeki yatırım maliyetleri

Ünite ve Ekipman İsmi	2000 yılı Ünite ve Ekipman Maliyeti (€)	2020 yılı Ünite ve Ekipman Maliyeti (€)
Debi Dengeleme ve Klor Tankı	3.540	1.100
Klor Dozaj Pompası	530	110
Kum ve Granüle Aktif Karbon Tankı	4.430	770
Kum ve Granüle Aktif Karbon	890	130
Kartuş Filtrasyon Housingi ve İletim Pompası	1600	88
12 Adet 1 µ Kartuş Filtre	1.240	440
Ters Osmoz Membran Filtrasyon Sistemi	11.500	1660
Yüksek Basınçlı Pompa	4.400	1330
Paslanmaz Krom Su Deposu	5300	1600
İletim Boruları, Seviye Sensörleri	3550	550
Toplam Maliyet	36.980	7.778

**Çizelge 4.9.** İçecek tesisindeki ünitelerin günümüzdeki işletme maliyetleri

Sarf Türü	Yıllık Sarf Miktarı	Yıllık İşletme Maliyeti (€)
Sıvı Sodyum Hipoklorit	160 L	95
1-3 mm Çaplı Silis Kum	400 kg	60
1-3 mm Çaplı GAK	300 kg (2 yılda 1 kez)	35
1 µ Kartuş Filtre	24 adet	185
Ters Osmoz Membranı	1 Modül (5 yılda 1 kez)	660
Elektrik	150.861,4 kW	8.028
	Toplam	9.063

## 5. SONUÇ

Doğal kaynak sularına olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Birçok firma, tüketicilere bu konuda hizmet vermek için özel dolun tesisleri kurmuştur. Bu nedenle değeri her geçen gün artan doğal kaynak sularının yapısındaki istenmeyen bileşiklerin giderimi ve sondaj teknolojileri de gelişmiştir. Günümüz şartlarında spesifik parametreler bile kolaylıkla giderilebilmektedir.

Bu parametrelerden sertlik, iletkenlik ve AKM kritik parametrelerdir. Sertlik ve iletkenlik değerleri yüksek olan sular özellikle içecek sektöründe asitliği sağlayan hammaddelerin fazla kullanımına ve ürün stabilitesinin bozulmasına neden olmaktadır. AKM parametresi yüksek olan sularda ise istenmeyen organik ve inorganik partiküller mevcut olduğundan içecek üretimi öncesi partiküllerin giderimi sağlanmalıdır.

Bu çalışmanın yapıldığı içecek tesisinde; debi dengeleme ve klorlama tankı, kum ve granüle aktif karbon tankı, kartuş filtrasyon ve ters osmoz membran filtrasyon sistemi üniteleri bulunmaktadır. Çalışmada gelen su debisini dengelemek için bir tank kullanılmış ve aynı zamanda bu tankta klorla dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonra kum ve granüle aktif karbon tankında 5 µ boyutundan büyük partiküller, tat, koku ve önceki üniteye dozajlanan klorun giderimi yapılmıştır. Bir sonraki üniteye 1 µ kartuş filtreler kullanılmış ve 1 µ boyutundan büyük partiküllerin giderimi sağlanmıştır. Son olarak ters osmoz membran filtrasyon sisteminde; sertliğin, iletkenliğin büyük bir bölümü ve tüm AKM'nin giderimi sağlanmıştır.

Tesisin tüm ünitelerinin sertlik gideriminin %100 olduğu görülmüştür. İletkenlik giderimi incelendiğinde ise %90,4 oranında bir verim elde edilmiştir. Sertlik ve iletkenliğin gideriminde en etkili ünitenin ters osmoz membran filtrasyon ünitesi olduğu analizler sonucu tespit edilmiştir. Tüm ünitelerin AKM giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir. Bu tesisin günümüzdeki tüm ünitelerinin toplam yatırım maliyeti 7.778 €dur. Tesisin toplam yıllık işletme maliyeti ise 9.063 €dur. Tesisin incelenen ünitelerdeki yıllık su üretimi ortalama 9.360 m<sup>3</sup>/yıl'dır. Böylece ünitelerin çıkışından istenilen karakterde elde edilen suyun üretimi için işletme maliyetinin 0,968 €/m<sup>3</sup> olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada incelenen doğal kaynak suyunun ardışık bir şekilde; debi dengeleme ve klorlama tankı, kum ve granüle aktif karbon tankı, kartuş filtrasyon ve ters osmoz membran filtrasyon sistemi ünitelerinden geçirilmesi ile sertlik, iletkenlik ve AKM parametrelerinde elde edilen verimlerin oldukça yüksek olması, bu proseslerin doğal kaynak sularında rahatlıkla uygulanabileceğini göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Abbes, B., Bayoudh, S., Baklouti, M., 2007.** The removal of hardness of water using sulfonated waste plastic. *Desalination*, 222: 81-86.
- Akın, M., Akın, G., 2007.** Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47: 105-118.
- Amarasooriya, A. A. G. D., Kawakami, T., 2019.** Removal of fluoride, hardness and alkalinity from groundwater by electrolysis. *Groundwater For Sustainable Development*, 9.
- Anonim, 1995.** Aesthetic water quality problems. Water Quality Research Council, 1995., 6 (4): 5-7.
- Anonim, 2013.** Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. *Çevre kimyası ders notları.*, Kayseri. <https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/M4A8NIR5-kati-madde-tayini.pdf> (Erişim Tarihi: 20.12.2020).
- Anonim, 2000.** İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik 2000, Ankara. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050217-3.htm> (Erişim Tarihi: 14.10.2020).
- Anonim, 1997a.** İçme ve kullanma suları. Türk Standartları Enstitüsü. TS 266. ICS 130.60.20 Ankara. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/187678> (Erişim Tarihi: 12.10.2020).
- Anonim, 1997b.** Volunteer stream monitoring: a methods manual, office of water 4503F, monitoring water quality, *United States Environmental Protection Agency, November.*
- Anonim, 2019.** <https://tcmb.gov.tr/kurlar/200003/31032000.xml> (Erişim Tarihi: 12.10.2019).
- Anonim, 2020.** <https://www.bloomberght.com/doviz/euro> (Erişim Tarihi: 28.12.2020).
- Boysan, F., Şengörür, B., 2009.** Su sertliğinin insan sağlığı için önemi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13 (1): 7-10.
- Günay, A., Çetin, M., 2009.** Zeytin karasuyunun aerobik stabilizasyonunda biyo-ayırma kinetiğinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Kestioğlu, K., Naharcı, B., 2007.** Ters ozmos yöntem ile içme suyu elde edilmesinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı, Bursa.
- Kestioğlu, K., Şen, M., 2003.** Su ve atıksu arıtımında fiziksel temel işlemler. Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa. ISBN:9755641408.

- Kim, G. Y., Park, D., Nojima, H., Lee, J., Moon, S. H., 2010.** Investigation on removal of hardness ions by capacitive deionization (CDI) for water softening application. *Water Research*, 44 (7): 2267-2275.
- Lzaod, S., Bedi, P., Chowdhury, D., Santra, S., Pramanik, T., 2020.** A completely environmentally-friendly methodology for removal of permanent hardness of water using natural materials. *Drug Invention Today*, 14 (7): 1127-1132.
- Lzaod, S., Bedi, P., Chowdhury, D., Santra, S., Pramanik, T., 2020.** A completely environmentally-friendly methodology for removal of permanent hardness of water using natural materials. *Drug Invention Today*, 14 (7): 1127-1132.
- Malakootian, M., Mansoorian, H. J., Moosazadeh, M., 2010.** Performance evaluation of electrocoagulation process using rod-iron electrodes for removing hardness from drinking water. *Desalination*, 255: 67-71.
- Metcalf&Eddy, 1991.** Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse third edition. New York, McGrawHillCo., ISBN: 0071008241, 9780071008242., 361-384 pp.
- Mihelcic J. R., 1999.** Fundamentals of environmental engineering., ISBN-13: 978-0471243137, ISBN-10: 0471243132., 140-150 pp.
- Ranville, J. F., Schmiermund, R. L., Macalady, D. L. 1998.** An overview of environmental colloids, Perspectives in environmental chemistry, Oxford University Press, Inc. New York.
- Oruç, N., 1972.** Suda sertliğin önemi, giderilmesi ve tayini. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 187-193.
- Öksüztepe, G., Demir, P., 2019.** Süt işletmelerinde temizlik ve dezenfeksiyon. *Türkiye Klinikleri*, 1: 195-200.
- Park, J. S., Song, J. H., Yeon, K. H., Moon, S. H., 2006.** Removal of hardness ions from tap water using electromembrane processes. *Desalination*, 202: 1-8.
- Seo, S. J., Jeon, H., KwangLee, J., Scheap, J., Bruggen, B. V. D., Uytterhoven, S., Croux, R., Vandecasteele, C., Wilms, D., Houtte, E. V., Vanlerberghe, F. 1998.** Removal of hardness from groundwater by nanofiltration. *Desalination*, 119: 295-301.
- Sepehr, M. N., Yetilmezsoy, K., Marof, S., Zarrab, M., Ghaffari, H. R., Fingase, M., Foroughi, M., 2014.** Synthesis of nanosheet layered double hydroxides at lower pH: Optimization of hardness and sulfate removal from drinking water samples. *Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers*, 45 (5): 2786-2800.
- Solmaz, S. K. A., Yonar, T., Üstün, G. E., Kestioglu, K., Ölmez, R., 2004.** Yeraltı suyunun su temini amaçlı kullanımında sertlik giderimi için kimyasal arıtma ve iyon değiştirme yöntemlerinin karşılaştırılması. *Ekoloji*, 13 (52): 17-22.
- Şirin, G., Demir, Y., 2007.** Çarşamba ovası sol sahilindeki bazı köylerde içme ve kullanma suyu problemleri ve çözümüne ilişkin öneriler. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(3): 248-259.

**Uzun, H. İ., Debik, E., 2019.** Membran kapasitif deiyonizasyon prosesi ile sertlik giderimi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(3): 341-346.

**Yılmaz, M. L, Peker, H. S., 2013.** Su kaynaklarının Türkiye açısından ekono-politik önemi ekseninde olası bir tehlike: su savaşları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3: 57-74.

**Zhao, S., Huang, G., Cheng, G., Wang, Y., Fu, H., 2014.** Hardness, COD and turbidity removals from produced water by electrocoagulation pretreatment prior to reverse osmosis membranes. *Desalination*, 344: 454-462

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Berkay AVCI

Doğum Yeri ve Tarihi : Bakırköy – 17/02/1991

Yabancı Dil : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : İhsan Mermerci Lisesi, 2009

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 2014

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

(2020-halen) : Sultan İçecek & Sedef Gıda Mad. Paz. Tic. Ltd. Şti

(2016-2019) : Pınar Su ve İçecek San. Tic. A.Ş.

(2015-2016) : Sude & Sultan Su Sedef Gıda Mad. Paz. Tic. Ltd. Şti.

İletişim (e-posta) : berkayavci1991@gmail.com

Yayımları :

**Yalılı Kılıç M., Avcı B. 2019.** Doğal Kaynak Sularında Sertlik, İletkenlik ve Askıda Katı Madde Giderimi. *Uluslar Arası Su ve Çevre Kongresi SUÇEV 2018*, Bursa.

**Yalılı Kılıç M., Avcı B. 2019.** Gemi Atıklarından Petrol Türevli Bileşiklerin Geri Kazınımı. *Uluslar Arası Su ve Çevre Kongresi SUÇEV 2018*, Bursa.