



**ERGENE HAVZASI HAYRABOLU BÖLÜMÜNÜN YERALTI SULARININ
İÇME SUYU VE TARIMSAL SULAMA İÇİN UYGUNLUĞUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Çiğdem BAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Çiğdem BAL
31/01/2025

ERGENE HAVZASI HAYRABOLU BÖLÜMÜNÜN YERALTI SULARININ İÇME SUYU VE TARIMSAL SULAMA İÇİN UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Çiğdem BAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

Dünyada kişi başına düşen kaliteli su miktarının her yıl azalması, su kıtlığı meydana getirmekte ve sağlıklı suya erişimi zorlaştırmaktadır. Yeraltı suları milyonlarca insan tarafından içme, kullanma ve sulama gibi amaçlar için kullanılmakta olup bu suların kimyasal durum ve miktarının tespiti büyük önem arz etmektedir. Bu duruma katkı sağlamak amacıyla bu tez çalışmasında Ergene Havzası Hayrabolu bölümünden yağışlı ve kuru dönem olmak üzere iki dönem alınan toplam 49 adet kuyu ve kaynak suyunun kalite incelemesi yapılmıştır. Alınan numunelerde laboratuvar ve arazide analizi yapılan pH, Elektriksel İletkenlik, Toplam Çözünmüş Katı, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , NH_4^+ , HCO_3^- , NO_3^- , CO_3 , sertlik, Demir, Mangan, Bor parametreleri incelenmiştir. İçme suyu olarak kullanılabilişliğini belirlemek amacıyla bu parametreler TS 266, WHO ve AB Standartlarında belirlenen azami sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Alınan numunelerin sulama suyu açısından kullanılabilişliğini değerlendirmek amacıyla sodyum absorpsiyon oranı (SAR), artan sodyum karbonat (RSC), %Na değerleri hesaplanarak elde edilmiştir. Ayrıca ABD Tuzluluk Diyagramı ve IWQI modeli kullanarak sulama suyu sınıflandırılması yapılmıştır. Birinci ve ikinci dönem analizi yapılan numunelerden 9 tanesi incelenen parametreler bakımından TS 266, WHO ve AB Standartlarında belirtilen azami değerlerin altında kalmıştır. Diğer numuneler en az bir parametrenin (genel olarak TDS, Na ve Fe) sınır değerinin üzerinde tespit edilmesiyle içme suyu için uygun olmadığı belirlenmiştir. ABD Tuzluluk Lab. Diyagramlarına göre ise “C₂S₁” sınıfından “C₄S₄” sınıfına kadar değişken kalitede sınıflarda yer aldığı görülmektedir. IWQI modelinde hesaplanan indekse göre ilk dönem 12 numune, ikinci dönem 19 numunenin LR (düşük kısıtlama), NR (kısıtlama yok) ve MR (orta kısıtlama) sınıfında yer alırken İlk dönem 11 numunenin, ikinci dönem 5 numunenin HR (yüksek kısıtlama) ve SR (ciddi kısıtlama) sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. IWQI modeli ile diğer değerlendirme parametrelerinde paralel sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 90330
Anahtar Kelimeler : Hayrabolu, yeraltı suyu, sulama suyu, içme suyu, IWQI
Sayfa Adedi : 71
Danışman : Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

ASSESSMENT OF THE SUITABILITY OF GROUNDWATER OF THE HAYRABOLU
SECTION OF ERGENE BASIN FOR DRINKING WATER AND AGRICULTURAL
IRRIGATION

(M. Sc. Thesis)

Çiğdem BAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2025

ABSTRACT

The amount of quality water per person in the world is decreasing day by day. In our country, where there is water scarcity, access to healthy water is becoming more difficult day by day. Groundwater is used by millions of people for purposes such as drinking, use and irrigation. In this regard, determining the chemical state and amount of groundwater is of great importance. In order to contribute to this situation, in this thesis study, a total of 49 well and spring water quality studies were conducted, taken from the Hayrabolu section of the Ergene Basin in two periods, rainy and dry. The parameters of pH, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , Cl^{-} , SO_4^{-2} , NH_4^{+} , HCO_3^{-} , NO_3^{-} , CO_3 , hardness, Iron, Manganese, Boron were examined in the laboratory and in field analysis of the samples taken. In order to determine its usability as drinking water, these parameters were compared with the maximum limit values determined in TS 266, WHO and EU Standards. In order to evaluate the usability of the samples taken for irrigation water, sodium absorption rate (SAR), increased sodium carbonate (RSC), and %Na values were calculated. Additionally, irrigation water was classified using the US Salinity Diagram and the IWQI model. 9 of the samples analyzed in the first and second periods were below the maximum values specified in TS 266, WHO and EU Standards in terms of the examined parameters. Other samples were determined to be unsuitable for drinking water as at least one parameter (generally TDS, Na and Fe) was detected above the limit value. USA Salinity Lab. According to the diagrams, it can be seen that it is in classes of varying quality, from "C₂S₁" class to "C₄S₄" class. According to the index calculated in the IWQI model, it was determined that 12 samples in the first period and 19 samples in the second period were in the LR (low restriction), NR (no restriction) and MR (moderate restriction) classes, while 11 samples in the first period and 5 samples in the second period were in the HR (high restriction) and SR (severe restriction) classes. It was observed that parallel results were obtained with the IWQI model for other evaluation parameters.

Science Code : 90330

Key Words : Hayrabolu, groundwater, irrigation water, drinking water, IWQI

Page Number : 71

Supervisor : Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyiminden faydalandığım danışmanım Sayın Prof. Dr. Aysel Çağlan Günel başta olmak üzere yüksek lisansım boyunca ders aldığım tüm değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Ergene Alt Havzası-Hayrabolu Bölümü Hidrojeolojik Etüt Çalışma verilerini tezimde kullanmama izin veren Devlet Su İşleri Yeraltısuları Dairesi Başkanlığına, analizlerin yapılmasında emeği geçen mesai arkadaşlarım Çınar Çevre Laboratuvarı personeli ve yönetimine teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Yeraltı Sularının Genel Özellikleri	5
2.2. İçme ve Kullanma Suyu Kalite Kriterleri	6
2.2.1. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH)	8
2.2.2. İletkenlik	8
2.2.3. Toplam çözünmüş katı (TDS).....	8
2.2.4. Sertlik	9
2.2.5. Nitrat	9
2.2.6. Sülfat	10
2.2.7. Klorür	11
2.2.8. Sodyum	11
2.2.9. Kalsiyum	11
2.2.10. Amonyum.....	11
2.2.11. Demir	12

	Sayfa
2.2.12. Mangan.....	12
2.3. Sulama Suyu Kalitesinin Belirlenmesi.....	13
2.3.1. Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)	13
2.3.2. Yüzde sodyum (%Na).....	14
2.3.3. Kalıcı sodyum karbonat (RSC)	15
2.3.4. Bor.....	15
2.3.5. ABD tuzluluk diyagramı	16
2.3.6. Sulama suyu kalite indeksi modeli (IWQI).....	18
2.4. Önceki Yapılan Çalışmalar	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Çalışma Alanı.....	25
3.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	26
3.3. Yöntem.....	31
3.4. Laboratuvar Analizleri	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1. İçme Suyu Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bulgular	39
4.1.1. Yerinde ölçülen parametreler.....	39
4.1.2. Temel anyon ve katyon parametreleri.....	41
4.1.3. Metal sonuçları.....	43
4.1.4. Sertlik değerleri.....	47
4.2. Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bulgular	49
4.2.1. Bor sonuçları	52
4.2.2. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramlarına göre sınıflandırma	54
4.2.3. Sulama suyu kalite indeksi model (IWQI) bulguları	57
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	67

ÖZGEÇMİŞ..... 71



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yeraltı sularının yapısını oluşturan ana elementler	5
Çizelge 2.2. TS, AB ve WHO standartları.....	7
Çizelge 2.3. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre suların sertlik dereceleri	9
Çizelge 2.4. Sodyum adsorpsiyon oranına göre suların sınıflandırılması	14
Çizelge 2.5. Yüzde sodyum değerine göre suların sınıflandırılması	15
Çizelge 2.6. RSC ye göre suların sınıflandırılması.....	15
Çizelge 2.7. Bor içeriklerine göre değerlendirme.....	16
Çizelge 2.8. Su kalite parametreleri ağırlık değerleri	19
Çizelge 2.9. Kalite ölçümleri için parametre sınır değerleri.....	19
Çizelge 2.10. Su kalite indeks kategorileri	20
Çizelge 3.1. Birinci dönemde alınan numune bilgileri	32
Çizelge 3.2. İkinci dönemde alınan numune bilgileri	33
Çizelge 3.3. Laboratuvar analizlerinde kullanılan metot ve cihazlar.....	36
Çizelge 4.1. Birinci dönem yerinde ölçülen parametre sonuçları	39
Çizelge 4.2. İkinci dönem yerinde ölçülen parametre sonuçları.....	40
Çizelge 4.3. Birinci dönem temel anyon- katyon sonuçları.....	41
Çizelge 4.4. İkinci dönem temel anyon- katyon sonuçları.....	42
Çizelge 4.5. Birinci dönem metal sonuçları.....	43
Çizelge 4.6. İkinci dönem metal sonuçları.....	44
Çizelge 4.7. Sınır Değeri Aşan Parametreler	46
Çizelge 4.8. Birinci dönem sertlik değerleri	47
Çizelge 4.9. İkinci dönem sertlik değerleri	48
Çizelge 4.10. Birinci dönem SAR, RSC, %Na değerleri ve sınıfları.....	50
Çizelge 4.11. İkinci dönem SAR, RSC, %Na değerleri ve sınıfları	51
Çizelge 4.12. Birinci dönem sularına ait bor sınıflandırılması	52

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.13. İkinci dönem sularına ait bor sınıflandırılması	53
Çizelge 4.14. Birinci dönem alınan numunelerin ABD tuzluluk lab sınıfları	54
Çizelge 4.15. İkinci dönem alınan numunelerin ABD tuzluluk lab sınıfları	55
Çizelge 4.16. Birinci dönem IWQI modeli su kullanım kısıtlama sınıfı	58
Çizelge 4.17. İkinci dönem IWQI modeli su kullanım kısıtlama sınıfı	59



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Küresel su çekiminin oransal dağılımı	2
Şekil 2.1. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı	18
Şekil 3.1. Çalışma alaninin tektono-stratigrafik kolon kesiti.....	29
Şekil 4.1. Birinci dönem ABD laboratuvarı tuzluluk diyagramı	56
Şekil 4.2. İkinci dönem ABD laboratuvarı tuzluluk diyagramı	57



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Çeşmedere memba numune alım noktası	35
Resim 3.2. Laboratuvarda kullanılan IC cihazı	37
Resim 3.3. Laboratuvarda kullanılan ICM-MS cihazı.....	37



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Çalışma alanı.....	25
Harita 3.2. Çalışma alanı yağış dağılım haritası	26
Harita 3.3. Meriç-Ergene Havzası ölçeklendirilmiş nehir ağı haritası.....	27
Harita 3.4. Çalışma alanı yükseklik haritası	28
Harita 3.5. Göletleri ve barajları gösterir harita	30
Harita 3.6. Numune alınan noktaların gösterimi.....	34
Harita 4.1. İlk döneme ait numunelerin su kullanım kısıtlaması	60
Harita 4.2. İkinci döneme ait numunelerin su kullanım kısıtlaması	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
$\mu\text{s/cm}$	Mikrosimens/santimetre
B	Bor
CaCO_3	Kalsiyum karbonat
Cl	Klorür
EC	Elektriksel İletkenlik
Fe	Demir
H_2SO_4	Sülfürik Asit
IWQI	Sulama Suyu Kalite İndeksi
m^3	metreküp
meq/L	miliekivalent/ Litre
Mg	Magnezyum
mg/L	miligram/Litre
Mn	Mangan
NaCl	Sodyum Klorür
NO_3	Nitrat
RSC	Kalıcı Sodyum Karbonat
SAR	Sodyum Absorpsiyon Oranı
SO_4	Sülfat
TDS	Toplam Çözünmüş Katı

Kısaltmalar	Açıklamalar
AB	Avrupa Birliği
BM	Birleşmiş Milletler
ÇŞİDB	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DKM	Doğa koruma merkezi
DSİ	Devlet Su İşleri

Kısaltmalar**Açıklamalar****FAO**

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

İC

İyon Kromatografi

ICP-MS

Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrofotometresi

TAGEMTarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel
Müdürlüğü**TOB**

Tarım ve Orman Bakanlığı

TS

Türk Standardı

TÜRKAK

Türk Akreditasyon Kurumu

WHO

Dünya Sağlık Örgütü

YAS

Yeraltı Suyu

1. GİRİŞ

Su, dünyanın varoluşundan itibaren en temel yaşam kaynağıdır. Ancak gün geçtikçe sağlıklı suya erişim oldukça zor hale gelmektedir (TAGEM, 2021). Dünya yüzeyinin dörtte üçü sularla kaplı olmasına rağmen, insan kullanımına uygun tatlı su miktarı oldukça sınırlıdır. Mevcut suyun %1'inden daha az bir kısmı ekosistem ve insan kullanımına elverişli tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır (DKM, 2020).

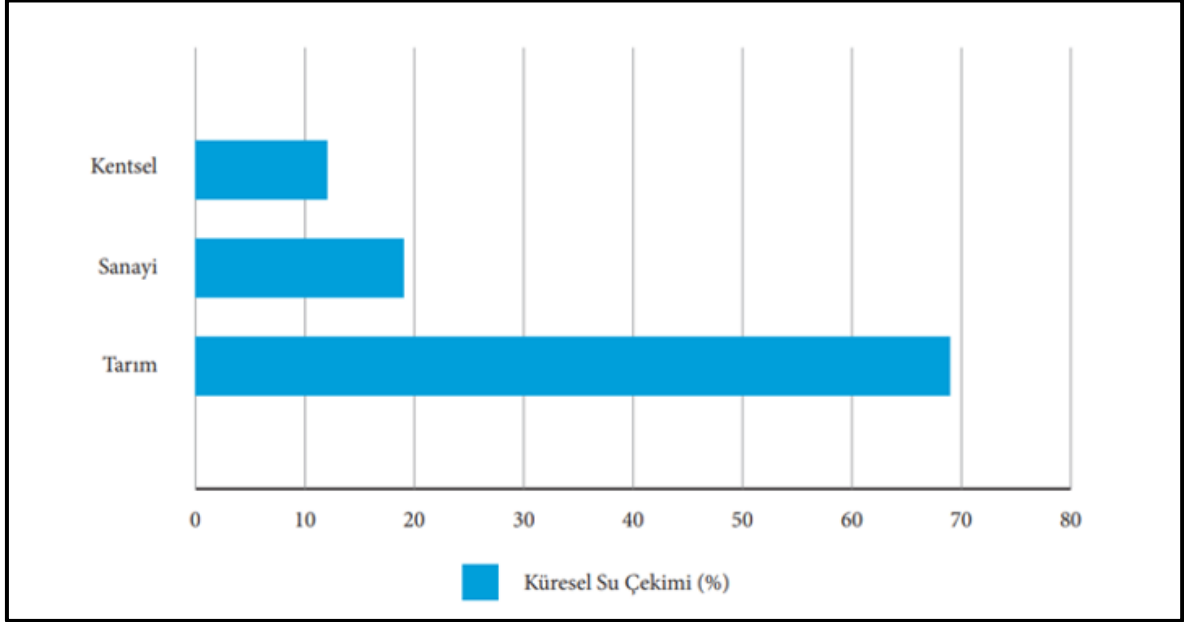
Türkiye'nin yıllık ortalama yağış hacmi 450 milyar m³ olup, yıllık tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli toplamı 112 milyar m³'tür. Ülkenin toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesinden sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarının geliştirdikleri projeler neticesinde çeşitli maksatlara yönelik yıllık su tüketimi 54 milyar m³'e (%48,2) ulaşmıştır (DSİ, 2018). Bu suyun 40,0 milyar m³'ü (%74) sulama, 7 milyar m³'ü (%13) içme-kullanma, 7 milyar m³'ü (%13) sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmakta iken bu oranlar dünyada %70, %22, %8, Avrupa'da ise %33, %51 ve %16'dır (Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Ülkeler, Falken Mark indikatörüne (su kıtlığı indeksi) göre, kişi başına düşen yıllık tatlı su miktarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmada kişi başına düşen su miktarı 1700 m³ ve üstü ise su stresi yok, 1700- 1000 m³ arasında ise su stresi, 1000-500 m³ ise su kıtlığı olarak nitelendiriliyor. 2050 yılında Türkiye nüfusunun yaklaşık 104 milyon ve 2070 yılında 107 milyon olması beklenmektedir. 2023 yılında kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su kaynağı 1287 m³ iken 2030 yılında bu değer 1200 m³ ve 2050 yılında 1069 m³ olacağı tahmin edilmektedir. Bu verilere göre ülkemiz su stresi altındadır ve gelecekte su kıtlığı çeken bir ülke konumuna geleceği aşikârdır (TOB,2023).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre 2025 yılında su stresi yaşayan ülkelerin oranı %34'e, su kıtlığı yaşayan ülkelerin oranı ise %15'e ulaşabilir. Ayrıca 2050 yılında 9,4 milyara ulaşması öngörülen dünya nüfusunun %40'ı su sıkıntısı çekebileceği belirtilmektedir (Çorba, 2021).

Birleşmiş Milletler 'in 2021 yılında yayınladığı su raporuna göre dünya genelinde tarımda kullanılan su miktarı toplam su kullanımının %69'unu oluşturmaktadır. Ancak bu kullanım içerisinde hayvancılık ve su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılan su da yer almaktadır. Bu

oran bazı gelişmekte olan ÷lkelerde %95'e kadar çıkabilmektedir. Sanayi kullanımı (enerji ve elektrik üretimi dahil) %19'unu oluştururken, kalan %12 ise kentsel kullanım amaçlıdır (şekil 1.1) (TAGEM, 2021).



şekil 1.1. Küresel su çekiminin oransal dağılımı (BM, 2021)

Tüketilen suyun 40,68 milyar m³ 'ü (%70) yerüstü sularından, 17,03 milyar m³ 'ü (%30) ise yeraltı sularından sağlanmaktadır (TOB, 2021). Yerüstü sularının içme suyu için yeterli veya kullanılabilir olmadığı durumlarda yeraltı suları oldukça önemli bir içme suyu kaynağı oluşturur. Yeraltı suları, tatlı su talebini karşılamak için önemli ve güvenilir bir kaynaktır ve milyonlarca insan içme, sanayi ve sulama amaçlı kullanım için yeraltı sularına ihtiyaç duymaktadır (Ateş, 2021). Ülkemizde yeraltı sularının %67'si İçme, Kullanma ve Sanayide; %33 ü sulamada kullanılmaktadır (TOB, 2021).

Küresel olarak, sulu tarım verimi kuru tarımdan (yağmura bağlı) yaklaşık 2,7 kat daha fazladır. Bu durum gelecekte daha fazla sulu tarıma açılma ihtimalini güçlendirmektedir. Dünyada sulu tarım yapılan arazi miktarı 1970'lerde 170 milyon hektar iken, 2008'de 304 milyon hektara çıkmıştır (FAO, 2011).

Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanan rapora göre 2000-2030 yılları arasında gelişmekte olan ÷lkelerde tarımsal üretimin %67 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Mevcut su potansiyeli ile bu artışın karşılanamayacağı ve tarımda verimlilik artışı ile tarımsal su

ihtiyacı artışının %14 düzeyinde tutularak öngörülmektedir. Bu durumda tarım sektörü daha fazla tarımsal ürünü daha az su kullanarak üretmek zorunda kalacaktır (Wwap, 2006).

Yeraltı sularının insan yaşamı ve tarımda bu derece hayati öneme sahip olmasından dolayı ulusal olarak birtakım tespit ve koruma çalışmaları yapılmaktadır. Ülkemizde tüm su kaynakları gibi yeraltı suyu kaynaklarının su kütlelerinin tespiti, korunması, aşırı ve kontrolsüz su çekimlerinin engellenmesi, su kalitesinin tespiti ve kirliliğinin önlenmesi gibi çalışmaları DSİ ve Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü önderlik etmektedir.

Ülkemizde, yeraltı suyu kütlelerinin değerlendirilmesi ile ilgili münferit çalışmalar mevcut olmakla birlikte, yeraltı sularının kimyasal durum ve miktarının tam olarak belirlenememesinin, yeraltı sularının iyi duruma ulaştırılması için hedeflerin konulmasının önünde bir engel olarak görülmektedir. Bu durum, yeraltı sularımızın kalite ve miktar açısından koruma-kullanma dengesi içerisinde sürdürülebilir kullanımını ve entegre bir şekilde yönetimini de sıkıntılı hale getirmektedir (Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Bu çalışmada Türkiye sınırları içinde 2466 km²'lik yüzey alanına sahip diğer bölgelere göre nispeten çalışmanın az yapıldığı Ergene Alt Havzası-Hayrabolu Bölümü seçilmiştir. Ergene Havzasında yeraltı sularının çeşitli yayılı ve noktasal baskılara maruz kaldığı kirlilik yükünün en fazla olduğu iller Tekirdağ, Kırklareli ve Edirne'dir. Sanayinin ve buna bağlı olarak kirlenmenin en yoğun olduğu Tekirdağ ilindeki Lüleburgaz ve Muratlı bölgeleridir (TOB,2022). Malkara ve Babeski yeraltı suyu kütlelerine sahip, havzanın orta bölgesinde yer alan Hayrabolu Bölümü yeraltı sularının kirlenmesi açısından stratejik öneme sahip bu alanları kapsamaktadır.

Yapılan bu çalışmada yağışlı ve kuru dönem olmak üzere iki dönem bölgeden alınan toplam 49 adet numunenin kalite incelemesi yapılmıştır. Analizi yapılan 17 parametre üzerinden yeraltı suyunun içme ve sulama suyu açısından kullanılabilirliğini değerlendirmek amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yeraltı Sularının Genel Özellikleri

Yeraltı suları hidrolojik çevrimin önemli bir parçasıdır. Yeraltına süzülen su ilk önce hava ve kısmen suyun yer aldığı doymamış bölgeden geçer. Bunun altında yer alan doymuş bölge ise tamamen su ile doludur. Bu su yeraltı suyu olarak adlandırılır (DSİ, 2001).

Bütün yeraltı sularının kaynağı yağıştır. Yüzeğe düşen yağış zemini ıslatarak yerçekimi etkisi ile doymamış bölgeden geçerek aşağıya doğru hareket eder. Su seviyesi olarak adlandırılan doymuş bölgenin üst sınırına ulaşıncaya akifer dediğimiz su taşıyan tabakalarda depolanmış olan yeraltı sularını beslemektedir. Yeraltı suları akifer içinde çok yavaş olarak hareket eder. Çatlaklarda ölçülen akım hızı metre/gün veya metre/yıl mertebesinde olup metre/saniye mertebesindeki nehir akımları ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür.

Yağmurun yere düştüğü, süzülmenin başladığı, suyun toprak ve kayalık boşluklarından geçtiği anda; su temas ettiği bazı maddeleri eritir. Böylece yerçekimine bağlı olarak aşağıya doğru süzülen suya mineraller eklenir (DSİ, 2001).

Yeraltı suyunda erimiş olarak bulunan ana elementlerin sayısı sınırlıdır. İçinden geçtikleri organik maddelerin ve minerallerin karmaşıklığına ve aynı zamanda geçirdikleri kimyasal reaksiyonların kompleksliğine rağmen yeraltı suyunda sadece 9 element kimyasal yapının çoğunluğunu oluşturur. Yer altı suyunun %95' i ise 6 ana iyon oluşmaktadır. Bu iyonlar Çizelge 2.1' de gösterilmiş olup; Sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg) ve kimyasal bileşik halinde bulunan Klorür, Bikarbonat ve Sülfat 'tan oluşmaktadır (DSİ, 2001).

Çizelge 2.1. Yeraltı sularının yapısını oluşturan ana elementler

Katyonlar	Anyonlar
Sodyum (Na)	Klorür
Kalsiyum (Ca)	Bikarbonat (HCO ₃)
Magnezyum (Mg)	Sülfat (SO ₄)

2.2. İçme ve Kullanma Suyu Kalite Kriterleri

Suyun kalitesinin bilinmesi su kirliliğinin kontrolünde büyük önem arz etmektedir. Su kalitesi, belli başlı kullanımlar ile ilgili su kaynağı veya su kütlelerinin durumunu göstermekte olup ve nitel veya nicel olarak tarif edilebilmektedir. Suyun en dinamik şekilde kullanımını etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin tamamı su kalitesini oluşturmaktadır. Bu nedenle suyun kalitesine etki eden bu parametrelerin tamamının tespit edilmesi gerekmektedir (Topkaya ve Şen,1995). Su kalite sınıflarının tespit edilmesi su kalitesi kriterleri ile belirlenmektedir. Kalite kriterleri tamamıyla kullanıma has olarak ve bilimsel verilerden hareketle bulunmaktadır (Gürel, 2011).

Yeraltı sularının içme ve kullanma suyu olarak kullanılmasına yönelik ülkemizde bazı yönetmelikler yürürlüğe girmiştir. 7 Nisan 2012 tarih ve 28257 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik” ile de iyi durumda olan yeraltı sularının mevcut durumunun korunması, yeraltı sularının kirlenmesinin ve bozulmasının önlenmesi ve bu suların iyileştirilmesi için gerekli esaslar belirlenmiştir.

Ülkemizde 30823 sayılı kanun ile Temmuz 2019 da İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, içme suyu temin edilen veya temin edilmesi planlanan suların kalite kategorisi, suların dâhil olduğu kategoriye göre uygulanacak arıtma sınıfları, bu sulara izlenmesi gereken parametreler için numune alma ve analiz sıklıkları ile içme suyu arıtma tesislerinin arıtma veriminin tespitine ilişkin hususları kapsar. İçme ve kullanma suyu temin edilen veya temin edilmesi planlanan suların; kategorilere göre verilmiş olan arıtma sınıflarında arıtıldıktan sonra nihai olarak, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ile belirlenmiş olan içme suyu standartlarını sağlaması esastır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte yer almayan parametreler için ise çıkış suyu kalitesinin A1 sınıfına getirilmesi esastır.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, insani tüketim amaçlı suların teknik ve hijyenik şartlara uygunluğu ile suların kalite standartlarının sağlanması, kaynak suları ve içme sularının istihsalı, ambalajlanması, etiketlenmesi satışı, denetlenmesi ile ilgili usul ve esasları kapsar.

İçme sularının fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özellikleri standartlarla belirlenmiştir. TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular (TS 266, 2005) bunlardan biridir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği (AB) gibi kurumlar insani kullanım amacıyla içme suyu standartları belirlemektedir.

Çizelge 2.2 de bu çalışmada analizi yapılan parametrelerin TS 266, WHO ve AB tarafından izin verilen azami değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. TS, AB ve WHO standartları

Standartlar	TS 266/T3 (Türk Standartları Enstitüsü, 2022)	AB (Avrupa Birliği, 2020)	WHO (Dünya Sağlık Örgütü,2015)
Kimyasal Parametreler	İzin verilen azami değerler (mg/L)		
pH	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2500	2500	2500
TDS	500	-	500
Nitrat	50	50	50
Sodyum	175	200	200
Potasyum	12	-	-
Kalsiyum	200	-	100
Magnezyum	50	50	-
Amonyum	0,5	0,5	1,5
Sülfat	250	250	250
Klorür	250	250	250
Demir	0,2	0,2	0,3
Mangan	0,05	0,05	0,1
Bor	1	2	2
Sertlik (CaCO_3)	-	-	500

2.2.1. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH)

Suyun asitlik veya bazlık durumunu gösteren logaritmik bir ölçüdür. PH değeri içerisinde bulunan hidrojen iyonları derişiminin negatif logaritmasıdır. Suda çözülmüş halde bulunan H^+ iyon derişimini ifade etmektedir. pH düşüklüğü asit, yüksekliği ise baz özelliğini gösterir. Sularda pH değeri 7 olduğunda nötr olarak, 7'nin altında ise asidik, 7 değerinin üzerinde ise bazik olarak kabul edilmektedir. Düşük pH suda acı metal bir tada ve korozyona sebep olurken, yüksek pH değerleri ise suda kaygan hisse, soda tadına ve tortulara neden olur.

İçme suyu olarak kullanılacak ham suda pH değeri 4 ve 9 arasında olması beklenmekle birlikte, karşılaşılan değerler daha çok 5,5 ve 8,6 arasındadır. Karbonat ve bikarbonatların sudaki derişimlerine göre pH değerinin 7'den büyük olması beklenir. Dünya Sağlık Örgütü'nün azami izin verdiği değer 9,5 dur.

2.2.2. İletkenlik

Su kirliliği hakkında bilgi veren iletkenlik su için önemli bir parametredir. Elektriksel iletkenlik suyun elektrik akımını iletme kapasitesi veya çözeltilinin elektrik akımını geçirmeye karşı göstermiş olduğu direnç olarak adlandırılır. Bu özellik suyun içinde iyonize olan maddelerin toplam konsantrasyonuna ve sıcaklığına bağlıdır, iyonların yer değiştirme hızı üzerine sıcaklığın etkisi vardır (Güler, 1997).

Suyun analiz sonuçları 25 °C'de mikromho/cm veya mikrosiemens/cm ($\mu S/cm$) olarak ifade edilir. Suların EC'leri suda çözülmüş toplam madde (TDS) miktarına, suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayaçların türüne, çözünlüklerine, iklime, bölgedeki hidrolojik koşullara ve suyun sıcaklığına bağlıdır (Hem, 1985).

2.2.3. Toplam çözülmüş katı (TDS)

Yeraltı sularında toplam çözülmüş katı maddeler esas olarak inorganik tuzlar (özellikle bikarbonatlar, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K, Na, SO_4^{-2} , Cl) ve çözülmüş organik madde ile ilgilidir. Tuzlar jeojenik kaynaklı (kayaçların ayrışması) olabileceği gibi antropojenik kaynaklı (evsel/endüstriyel atıksu deşarjı, su taşıma hattında boru malzeme özelliği) da olabilir (Raju vd., 2015).

2.2.4. Sertlik

Sert su, yüksek mineral içeriğine sahip sudur ve suyun sertliği çözünmüş Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} gibi bazı metal katyonların derişimi ile ilgilidir. Bu iyonlar, su tutan gözenekli toprak ya da jeolojik oluşumlarda bulunan minerallerin bir miktar çözünmeleriyle suya geçerler. Sert su, büyük ölçüde kalsiyum ve magnezyum karbonatlardan, bikarbonatlardan ve sülfatların çözülmesiyle oluşur. Sertlik, geçici sertlik (karbonat sertliği) ve kalıcı sertlik (karbonat olmayan sertlik) olmak üzere iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Geçici sertlik, suyun ısıtılması suretiyle giderilebilir. Suyun sertliği, Alman, Fransız ve İngiliz sertlik dereceleri ile ifade edilebilir.

- 1 Alman sertlik derecesi = 10 mg CaO/L
- 1 Fransız sertlik derecesi = 10 mg CaCO_3 /L
- 1 İngiliz sertlik derecesi = 14,26 mg CaCO_3 /L dir (Eroğlu, 2008).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) sertlik derecesi için herhangi bir sınır belirlemezken WHO sertlik üst sınır değerini 500 mg CaCO_3 /L olarak belirlemiştir. Çizelge 2.3 de WHO tarafından yapılan sertlik derecelendirme sınıfları verilmiştir.

Çizelge 2.3. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre suların sertlik dereceleri

Suyun Sertlik Derecesi	CaCO_3 (mg/L)
Yumuşak Sular	0-60
Orta Sert Sular	60-120
Sert Sular	120-180
Çok Sert Sular	180 ve üstü

2.2.5. Nitrat

Nitrat, yer altı sularına doğal kökenli unsurlardan daha çok antropojen kökenli olarak alıcı ortamlarda azotta önemli artışlara sebebiyet verir. Hatta gübreler, hayvan atıkları, kentsel ve endüstriyel atıklar yer altı suyunda nitrat kirliliğinin önemli kaynağı olarak düşünülür.

Nitrat, yeraltı sularında, en problemlili, en yaygın ve büyük miktarda bulunan potansiyel kirleticilerden biridir. Yeraltı sularında nitratın kaynağı başlıca dört kategoride sıralanabilir: Doğal kaynaklar, atıklar, gübreleme ve sulu tarım. Nitrat pek çok doğal su ortamlarında makul konsantrasyonlarda bulunur; ancak gerek atık suların deşarjı ve gerekse gübre kullanımına bağılı olarak nitrat konsantrasyonu yeraltı sularında yüksek değerlere çıkarak zararlı bir kirletici halini alabilir.

Tarımda bilinçsizce kullanılan azotlu gübreler ve arıtılmadan deşarj edilen atıksular yer altı sularında ve yüzeysel sularda nitrat kirliliğinin artmasına neden olmuştur. Nitrat; bulunduğu su kaynaklarının rengine, kokusuna veya tadına herhangi bir değişikliğe neden olamamaktadır. Bu nedenle bu yollarla kirlenmenin fark edilmesi imkânsızdır (Serin, 2014).

Kanserojen etkilerinin yanı sıra kalıtsal bozukluğa, yetişkinler de yüksek tansiyona ve özellikle altı aydan küçük bebeklerde çoğunlukla ölümlle sonuçlanan mavi bebek hastalığına neden olur (Bilim ve Teknik, 2019). Sorun nitratın bazı bebeklerin üst sindirim sisteminde bulunan nitrat indirgeyici bakteriler ile nitrite indirgenmesinden kaynaklanır. Nitrit kanda bulunan hemoglobin ile reaksiyona girerek kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır. Böylece bebeklerin rengini maviye dönüştür (DSİ,2001).

2.2.6. Sülfat

Sülfat doğal sularda bulunan en önemli anyonlardan biridir. Fakat içme suyunda bulunabilecek fazla sülfat suyun tadını acılaştırır ve bazen mide ve bağırsak sorunlarına yol açabilir (Bilim ve Teknik, 2019).

Su kaynaklarındaki sülfat, genellikle sülfat içeren toprak yapısından, tarım arazilerinde kullanılan sülfatlı gübrelerden, atık kâğıt, H₂SO₄, ilaç sanayi, şeker fabrikası ve süt endüstrisi atıklarının alıcı su ortamına ulaşmasından kaynaklanmaktadır.

Sülfat özellikle su canlıları açısından incelenmesi gereken parametrelerden biridir. Sülfat iyonu bitki beslenmesi için esas olduğundan, bütün sulama sularında mevcut olmalıdır.

2.2.7. Klorür

Klorür iyonu insan sağlığına zararlı olmayıp klorür tuzlarının çözünlüğü fazla olduğundan sulara en çok bulunan iyonlardan birisidir. Klorür değerlerinin yüksek oluşu, tuzluluk ve buna bağlı olarak da elektriksel iletkenliğin yüksek olduğunu gösterir. Klorür iyonlarının miktarı sağlıklı bir içme suyu için gösterge bir parametredir. Bu sebeplerden ötürü su kalite çalışmalarında önemli parametrelerden birisidir. Klorür konsantrasyonu 250 mg/L'yi aşarsa suya tuzlu bir tat verir ve aşındırıcı özellik gösterir (Güloğlu,2023). Klorür içeren suyun uzun süreli içilmesi halinde böbrek ve yüksek tansiyon problemleri oluşabilir.

Hemen hemen bütün doğal sulara bulunan klorür, mineral tuz yataklarından süzülen ve deniz suyunun etkisi altında bulunan sulara yüksek miktarlarda mevcuttur. Çünkü deniz suyunda, erimiş halde bulunan NaCl iyon konsantrasyonunun yarısından fazlasını klorür oluşturmaktadır.

2.2.8. Sodyum

Fazlası tat problemi oluşturur. Tuzluluk hissi verir. Sudaki sodyum fazlalığı evsel ve endüstriyel kirlenme, toprak yapısı ve deniz katkısından kaynaklanabilir.

2.2.9. Kalsiyum

Topraktaki alçı ve kalkerlerin yağmur suları ile çözünmesi yoluyla suya karışmaktadır. Su içerisindeki fazla sertlik; soğuk kireç-soda, sıcak kireç-soda ve katyon reçine değiştirici reçineler yöntemleriyle giderilmektedir.

2.2.10. Amonyum

Amonyum doğal ortamda su kaynaklarında bulunabilir. Çok küçük derişimlerde bile suyun tadını ve kokusunu bozabilir. İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etkisi vardır. Endüstriyel ve evsel atıklardan sızan amonyum azotu aracılığıyla suya karışabilir. Karaciğer ve böbrek sorunlarına, solunum problemlerine yol açabilir.

2.2.11. Demir

Demir yerkürede en çok bulunan metallere biridir. Doğada çözünmeyen Fe^{+3} ve çözünen Fe^{+2} şeklinin her iki formunda da bulunur. İki değerlikli demir özellikle yeraltı sularında bulunur. Bunlar oksijene maruz bırakıldıklarında da okside olarak iki değerlikli demir, üç değerlikli demire dönüşür. Demir içme sularında yüksek konsantrasyonlarda olmasının bazı sorunlar yaratır. Suyun iletiildiği borularda demir bakterilerinin çoğalmasına sebep olur. Bu bakteri kütleleri, borularda kesit daralmasına, ayrıca zaman zaman koparak içme suyunun kirlenmesine ve boru, vana, su saati gibi aksamın tıkanmasına sebep olmaktadır. Bundan başka zamanla çürüyen bu bakteri kütleleri suya kötü bir tat ve koku vermektedir (Eroğlu, 2008).

Demir insan beslenmesinde temel bir elementtir. Günlük minimum demir gereksinimi yaşa cinsiyete fizyolojik duruma bağlı olmakla birlikte 10-50 mg/gün arasında değişir. Yeraltı sularında genellikle 0,5 -10 mg/L olması beklenirken 50 mg/L konsantrasyonlara ulaştığı görülür (WHO, 2003).

2.2.12. Mangan

Mangan, yeraltı sularında en çok bulunan metallere biridir. Demir metaliyle birlikte görülme olasılığı yüksektir. Suya siyahımsı bir renk verir ve bulanıklığa neden olur. Sularda 1 mg/L'yi aşan derişimlerde oksijensiz ortamda bakterilerin aktivasyonu söz konusu olabilir.

İçme suyunda Mn bulunmasının su kaynaklarında görülen ortalama konsantrasyon değerlerinde insan sağlığına bir zararı olmadığı kabul edilmektedir. Ancak solunum ile vücuda giren manganın Parkinson hastalığına benzer nörolojik rahatsızlıklara sebep olduğu bilinmektedir. Bu araştırmalara dayanarak izin verilen azami miktar 0,2 mg/L'dir. Fakat bu değer estetik sebeplerle kabul edilmiş olan 0,05 mg/L sınırının üstündedir (Awwa,1999).

Diğer bir taraftan su içinde çözülmüş halde Mn iyonlarının varlığında suyun dezenfeksiyonunda kullanılan serbest klor ile MnO_2 (Mn^{4+}) çökeltilerinin oluşmasına sebep olarak su borularının tıkanmasına sebep olmaktadır. Mn varlığının belli standart değerler üzerinde olduğu zaman hem iyon halinde olan hem de çökelti halinde olup sürüklenerek taşınan manganın bazı işlemlere tabi tutularak su yapısından uzaklaştırılmaları

gerekmektedir. Bunlar için genelde iyon değişimi, kireçleme, oksitleme-yumaklaştırma-çöktürme-filtreleme gibi bazı işlemler uygulanarak giderimi sağlanmaktadır (Akğiray, 2003).

2.3. Sulama Suyu Kalitesinin Belirlenmesi

Üretim, ekin kalitesi, toprak verimliliğinin korunması ve doğanın korunması için sulama suyu kalitesi oldukça önemlidir. Çözünmüş anyon ve katyonların derişimi sulama suyu kalitesini belirler. Sulama suyunun kalitesini belirlemede dört temel parametre bulunmaktadır. Bunlar sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), suyun iletkenliği (EC) ve artık sodyum karbonatlardır (RSC).

Tarımsal sulama suyunda sodyum fazlalığı ve iyon toksisitesi en önemli sorunlardır. Özellikle yağışın az olduğu kurak bölgelerde mahsulün kök bölgesinde tuz birikimi meydana gelecektir. Bu tip durumlarda, topraktaki tuz içeriğindeki değişim ve sulama suyu kalitesi yakından takip edilmelidir. Sulama suyunda sodyum fazlalığı, toprak yapısının bozulmasına neden olacak ve suyun toprağa nüfuz etmesini engelleyecektir. Toksisite; sodyum, klorür, bor vb. diğer eser elementlerin kritik konsantrasyonunu ifade eder.

Ülkemizde sulama suyu kalitesi ile ilgili olarak TS 7739 Standardı bulunmakla birlikte sulama suyu kalitesinin sınıflandırılmasında ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı ve yeni geliştirilen Su Kalite İndeksleri başı çekmektedir.

2.3.1. Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)

Sodyum adsorpsiyon oranı sulama sularının tarım alanlarında kullanıma uygun olup olmadığını belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. SAR değeri %10-15 değerinin geçtiğinde toprağı işlemek güçleşir, bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenir. Toprak üstünde yağmur ve sulama sularının birikmesine neden olurken toprağın derinliklerine ve dolayısıyla bitki köklerine suyun ulaşması zorlaşır. Sularda bulunan sodyum iyonunun konsantrasyonunun kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonuna oranını ifade eder ve aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır. Hesaplama parametrelerin meq/L değerleri kullanılmaktadır. Suların SAR değerlerine göre sınıflandırması Çizelge 2.4'te verilmiştir.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}} \quad (2.1)$$

Çizelge 2.4. Sodyum adsorpsiyon oranına göre suların sınıflandırılması (TS 7739)

SAR	Sulama Suyu Sınıfı	Su Kalitesi
SAR<10	Mükemmel	1. Sınıf
10<SAR<18	İyi	2. Sınıf
18<SAR<26	Şüpheli	3. Sınıf
25<SAR	Uygun Değil	4. Sınıf

2.3.2. Yüzde sodyum (%Na)

Sulama suyu kalitesinde doğrudan etkili olan en önemli bir katyon olan Na toprakta baskın duruma geçtiğinde, fiziksel bozulmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Na toprakta varlığı strüktür oluşumunun zayıflaması, hava ve su geçirgenliğinin azalmasına ve toprak pH'nın yükselerek alkali duruma geçmesine neden olmaktadır. Böylece bitkilerin besin maddelerinin almaları güçleşir. Ayrıca ozmotik basıncın artması ile bitkinin ortamda var olan suyu alamamasına ve fizyolojik kuraklık çekmesine neden olarak verim kayıplarına sebep olmaktadır. Sulama suyundaki yüzde sodyum (%Na) değeri, toprağa ve bitkiye zararlı olmaması için %60'tan daha büyük olmaması gerekmektedir. %Na değerinin hesaplanmasında aşağıda verilen eşitlik 2.2 kullanılmakta olup, hesaplamada parametrelerin meq/L değerleri kullanılmaktadır. Suların sulamaya uygunluklarına ait sınıflandırma Çizelge 2.5' de verilmiştir.

$$Na\% = \left(\frac{Na^++K^+}{Ca^{+2}+Mg^{+2}+Na^++K^+} \right) \quad (2.2)$$

*100

Çizelge 2.5. Yüzde sodyum değerine göre suların sınıflandırılması (TS 7739)

% Na	Sulama Suyu Sınıfı
% Na <20	Mükemmel
20 < % Na <40	İyi
40 < % Na <60	İzin Verilebilir
60 < % Na <80	Şüpheli
80 < % Na	Kullanılamaz

2.3.3. Kalıcı sodyum karbonat (RSC)

Sulama suyunda var olan kalıcı sodyum karbonat bitki gelişimi için kritik öneme sahiptir. Sulama sularındaki karbonat ve bikarbonatın su kalitesi üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılmaktadır. Sulama suyundaki karbonatın varlığı bikarbonatın toprağın pH değeri üzerindeki etkisini artırır. Karbonat, pH değeri 8.0 veya daha yüksek olan sularda bulunur. RSC değeri eşitlik 2.3 ile hesaplanmaktadır. Hesaplama parametrelerin meq/L değerleri kullanılmaktadır. Çizelge 2.6 da RSC sınıflandırılması verilmiştir.

$$RSC = (HCO_3 + CO_3) - (Ca + Mg) \quad (2.3)$$

Çizelge 2.6. RSC ye göre suların sınıflandırılması (Eaton;1950)

RSC	Sulama Suyu Sınıfı
RSC <1,25	İyi
1,25 < RSC <2.5	Şüpheli
2,5 < RSC	Kullanılamaz

2.3.4. Bor

Bor, tüm bitkilerin normal büyümesi için gereklidir, ancak gereken miktar çok düşüktür. Ürüne bağlı olarak belirli bir tolerans seviyesini aşarsa bor zarar verir. Birçok mahsul için bor eksikliği ve toksisitesi arasındaki aralık dardır.

Çeşitli şekillerde çevreye yayılan bor ve bor bileşikleri yağmur sularının etkisiyle yer altı sularına veya doğrudan akarsulara karışarak bu suların kalitesi üzerinde olumsuz etkiler

yapabilmektedir. Sulama sularındaki bor fazla miktarda bulunduğu zaman bitkiler için son derece zararlıdır. Toprakta veya sulama suyundaki bor derişimin belirli sınırları aşması durumunda bitki yaprağında sararma, yanma ve yarılmalar, olgunlaşmış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile üründe verimin azaldığı gözlenmektedir (Demirtaş, 2005). Bor, fotosentez miktarını, hormon faaliyetlerinde şekerin etkisini, köklerin büyüüp gelişmesini, hücre büyümesini ve havadan emilen CO₂ miktarının artmasına neden olur (Garrett, 1998). Çizelge 2.7 de Bor parametresi için bitki yapısına göre değerlendirme gösterilmiştir.

Çizelge 2.7. Bor içeriklerine göre değerlendirme (Anonim;1954)

Değerlendirme	Suyun Bor İçeriği (mg/L)		
	Hassas Bitkiler	Orta Hassas Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler
Yok (Çok İyi)	0-0,32	0-0,66	0-0,99
Az (İyi)	0,33-0,66	0,67-1,32	1,00-1,99
Orta (Kullanılabilir)	0,67-0,99	1,33-1,99	2,00-2,99
Fazla (Şüpheli)	1,01-1,25	2,00-2,50	3,00-3,75
Çok Fazla (Kullanılamaz)	1,25'den fazla	2,25'den fazla	3,75'den fazla

2.3.5. ABD tuzluluk diyagramı

Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Laboratuvarı tarafından geliştirilen bu sistem ülkemizde olduğu gibi pek çok ülke tarafından kullanılmaktadır. Bu sisteme göre sulama suları EC ve SAR değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmektedir. Her iki kriter dört sınıf altında toplanmıştır. Tuzluluk zararı C₁-C₄ arasında, sodyumluluk zararı ise S₁-S₄ arasında belirtilmektedir (Şekil 2.1). Sistemde sulama suyu sınıfları yatay ekseninde EC ve dişey ekseninde ise SAR değerleri işaretlenerek bulunur. Bu diyagram şöyle yorumlanır:

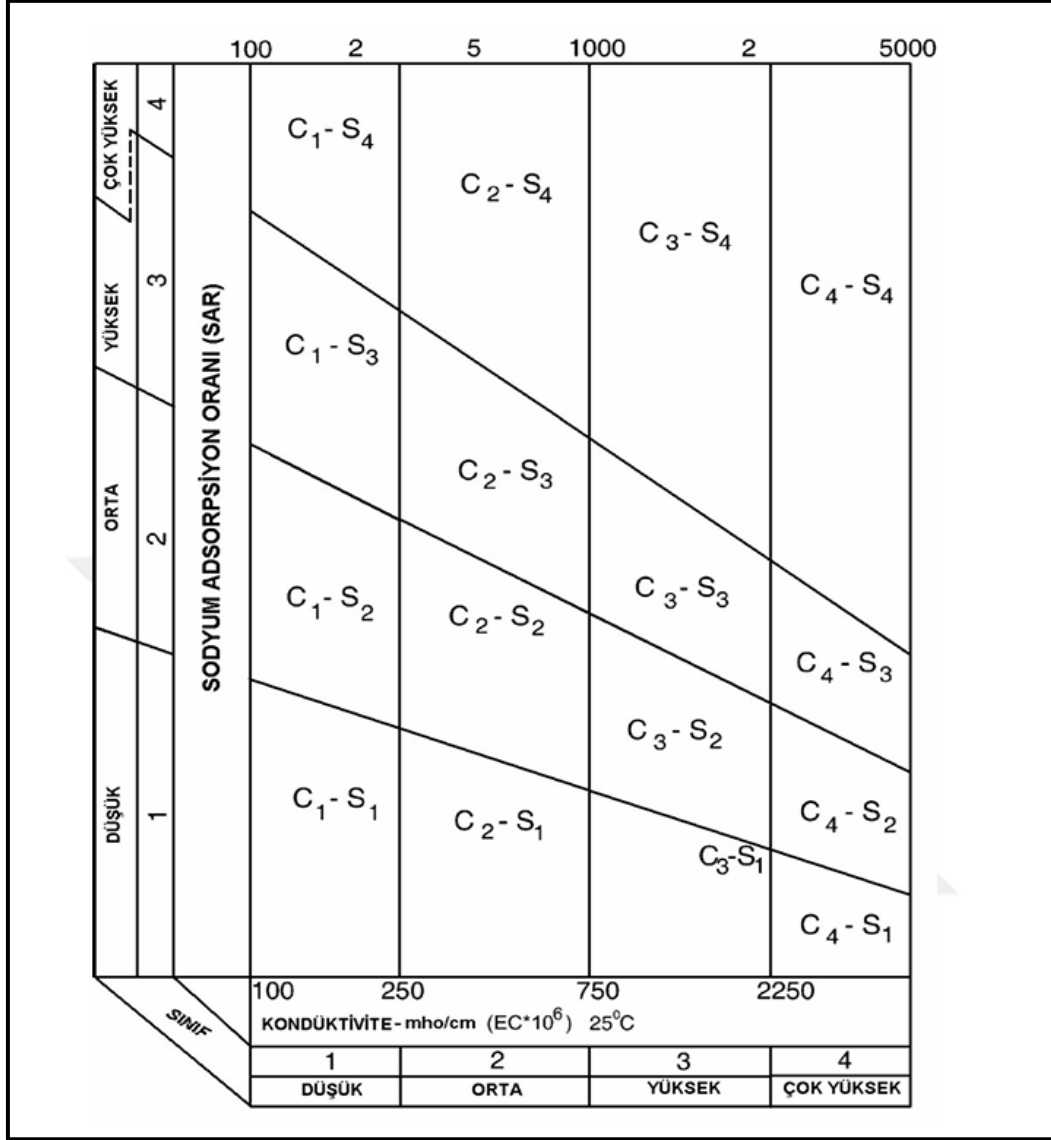
Genel tuzluluk özellikleri

- C₁ (EC 250 µS/cm'den az), düşük tuzlu sular: Tuzluluk problemi oluşturmadan, her tür toprak ve bitki için uygun olup sürekli güvenli bir şekilde kullanılabilir,

- C₂ (EC 250-750 μ S/cm), orta tuzlu sular: Bitkilerde, tuza orta düzeyde duyarlı olanlar için sorun yaratmadan kullanılabilir. Ancak, tuza hassasiyeti olan bitkilerde yıkamaya özen gösterilmelidir,
- C₃ (EC 750-2250 μ S/cm), fazla miktarda tuz içeren sular: Tuzluluk problemi olmaması için devamlı yıkama yapma ve özel toprak işleme uygulaması yapılarak sürekli kullanılmaları sağlanabilir. Tuzluluğa dayanıklılığı olan bitkiler yetiştirilebilir,
- C₄ (EC 2250 μ S/cm'den fazla), çok yüksek tuzlu sular: Normal şartlarda bu tür sular sulamaya uygun değildir. Kullanılmaları halinde çok özel şartları sağlamak gerekmektedir.

Genel sodyum tehlikesi özellikleri

- S₁ düşük sodyumlu sular: Bütün topraklarda sodyum tehlikesi oluşturmadan kullanılabilir,
- S₂, orta sodyumlu sular: yüksek geçirgenlikte ve kaba bünyeli topraklarda kullanılabilir. Yıkama yaparak toprağın tuzluluk miktarı azaltılıyorsa, özellikle bu tür sular kullanılmalıdır,
- S₃ yüksek sodyum içeren sular: Geçirgenliği yüksek olan topraklarda kullanılabilir. Tuzluluğun da düşük olması gerekir. Genellikle uygun drenaj şartları, fazla yıkama veya organik madde ilave etme gibi programlar uygulanmadıkça kullanılmaları sakıncalıdır.
- S₄ çok yüksek sodyum içeren sular: Bu sular sulama yapmak için uygun değildir. Ama suyun toplamda tuz miktarı düşük ise, yıkama ile birlikte ve kimyasal ıslah maddelerinin kullanılması koşulu ile sulamada kullanılabilirler.



Şekil 2.1. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

2.3.6. Sulama suyu kalite indeksi modeli (IWQI)

Bu Modelde Sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde ayrı ayrı her bir parametreyi değerlendirmek yerine bazı önemli parametreler birlikte değerlendirilerek su kalite indeksi hesaplanmaktadır. EC, SAR, Na, HCO₃ ve Cl değerleri kullanılarak eşitlik 2.4 yardımı ile q_i kalite değeri hesaplanır. Bu hesaplamada Çizelge 2.8'deki ağırlık değerleri ve Çizelge 2.9 da ki parametre sınır değerleri kullanılır. Eşitlik 5 kullanılarak da su kalite indeks değerleri hesaplanır.

$$q_i = q_{max} \left(\frac{[(x_{\bar{o}} - x_i) x q_{i\max}]}{x_{amp}} \right) \quad (2.4)$$

$$IWQI = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (2.5.)$$

Eşitlik 2.5'te;

- Q_{max}: Her bir parametre için sınıf aralıklarına ait maksimum değer
- X_ö: Ölçülen değer
- X_i: Her bir sınıf aralığı için en küçük değer
- q_{imap}: Sınıflara ait aralık değerleri
- x_{amp}: Parametrelere ait sınıf aralık değerleri
- w_i: Parametrelerin ağırlık değerleri
- IWQI: Sulama suyu kalite indeksi

Çizelge 2.8. Su kalite parametreleri ağırlık değerleri (Meireles vd., 2010)

Parametre	w _i
EC	0,211
Na	0,204
HCO ₃	0,202
Cl	0,194
SAR	0,189
Toplam	1

Çizelge 2.9. Kalite ölçümleri için parametre sınır değerleri (Ayers ve Wescot,1999)

q _i	EC(us/cm)	SAR(meq/L) ^{1/2}	Na(meq/L)	Cl(meq/L)	HCO ₃ (meq/L)
85-100	200 ≤ EC < 750	2 ≤ SAR < 3	2 ≤ Na < 3	1 ≤ Cl < 4	1 ≤ HCO ₃ < 1.5
60-85	750 ≤ EC < 1500	3 ≤ SAR < 6	3 ≤ Na < 6	4 ≤ Cl < 7	1,5 ≤ HCO ₃ < 4.5
35-60	1500 ≤ EC < 3000	6 ≤ SAR < 12	6 ≤ Na < 12	7 ≤ Cl < 10	4,5 ≤ HCO ₃ < 8.5
0-35	EC < 200 EC ≥ 3000	SAR < 2 ya da EC ≥ 12	Na < 2 ya da Na ≥ 12	Cl < 1 ya da Cl ≥ 10	HCO ₃ < 1 ya da HCO ₃ ≥ 8,5

Sulama Suyu Kalite İndeksi Çizelge 2.10'da gösterildiği gibi 5 farklı kategoride sınıflandırılmıştır. IWQI değeri 85-100 arasında olan sular için hiçbir kısıtlama olmaz ve güvenle kullanılabilirken 40-55 değeri arasında olan sular için ciddi ve yüksek kısıtlama bulunmaktadır. 55-70 IWOI değerine sahip sular orta hassas bitkilerde kullanılabilirken, 70-

85 değere sahip suların duyarlı bitkilerde sakınılması gerektiği belirtilmiş ve düşük kısıtlama olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.10. Su kalite indeks kategorileri (Ayers and Wescot,1999)

IWQI	Su Kullanımı Kısıtlaması	Öneriler	
		Toprak	Bitki
85-100	Kısıtlama yok (NR)	Güvenle Kullanılır	Güvenle Kullanılır
70-85	Düşük kısıtlama (LR)	Hafif Bünyeli Topraklarda Kullanılabilir	Duyarlı bitkilerde Sakının
55-70	Orta kısıtlama (MR)	Orta seviye yıkama ile	Orta hassas bitkiler
40-55	Yüksek kısıtlama (HR)	EC si 2 ve SAR 7 yukarısı için önerilmez	Tuza ve orta ve yüksek dayanıklı bitkilerde, özel tuzluluk kontrolü ile birlikte düşük Na, Cl ve HCO ₃ değerlerine sahip sular hariç
0-40	Ciddi kısıtlama (SR)	Normal şartlarda sulamada kullanılmamalıdır. Özel durumlarda düşük tuzluluk ve yüksek SAR değerlerine sahip sularda jips uygulanmalıdır. Yüksek tuza sahip sularda ise permeabilite olan topraklarda yıkama suyu ile birlikte kullanılmalıdır.	Sadece tuza yüksek toleranslı bitkilerde ve düşük Na, Cl ve HCO ₃ değerlerine sahip sular hariç

2.4. Önceki Yapılan Çalışmalar

Çalışma bölgesinde çok sayıda akademik çalışma bulunmamakla birlikte yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Alpullu – Babaeski Alt Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu (DSİ, 1958) çalışma kapsamında sahadan 40 adet numune alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre su numunelerinin sıcaklıkları 13-20°C arasında değiştiği, pH değerlerinin ise 7,0–7,8 arasında değiştiği, Ergene Nehri'nin pH değerinin ise 8,5 civarında olduğu belirtilmiştir. EC değerleri ise Kuzeyde Kızılcıkdere köyünden Güneyde Ergene nehrini de kapsayacak şekilde Susuz Müsellim köyüne kadarlık dar bir şerit boyunca tuzlu – orta tuzlu ($> 750 \mu\text{ohm/cm}$, 25°C) olarak belirtilmiştir. Söz konusu bölge içerisinde kalan Karakavak köyündeki artezyenden alınan numunede $4300 \mu\text{ohm/cm}$, 25°C EC değeri ölçülmüştür. Bu bölgenin dışında kalan sular az tuzlu (orta) ve çok az tuzlu (iyi) sular grubundadır. SAR (sodyum adsorpsiyon oranı) değerleri incelendiğinde Karakavak köyündeki artezyen ile Dambaslar köyündeki köy ortası artezyeni yüksek sodyumlu su sınıfındadır. Diğer tüm sular az sodyumlu iyi su sınıfında değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Havzada önceki dönemlerde yapılan çalışmalara ek olarak DSİ 11. Bölge Müdürlüğü'nün 2015 yılından itibaren gerçekleştirdiği mevsimsel kalite izleme çalışmaları bulunmaktadır. Ergene Alt Havzası - Hayrabolu Bölümü'nde 11.Bölge Müdürlüğü tarafından 36 noktada fizikokimyasal parametreler, majör anyon-katyon ve metal olmak üzere toplamda 37 parametre izlemesi yapılmaktadır. Bu izlemelere ek olarak Nehir Havza Yönetim Planları kapsamında (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018) havzadaki mevcut kuyulardan 3 tanesi seçilerek izleme programına alınmış ve bu noktalarda 167 pestisit, 46 hidrokarbon ve 24 ağır metal olmak üzere toplamda 271 parametre izlenmesi yapılmıştır. Bu parametrelerden pH, BOİ, O-PO₄ ve TKN parametrelerinin kütle üzerinde kalite açısından etkisi olduğu belirtilmiştir.

Meriç Ergene ve Kuzey Marmara (Trakya Kesimi) Havzası Master Plan çalışmaları kapsamında 35 kuyudan yeraltı suyu numunesi alınarak analizleri yaptırılmıştır. Söz konusu analiz sonuçlarına bakıldığında, sulama suyu kalitesi açısından tuzluluğun çok önemli bir parametre olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Tuzluluk göstergesi olarak ölçülmüş olan elektriksel iletkenlik değerleri (EC) incelendiğinde arazide ölçülen EC değeri 750'den büyük

olan 11 adet kuyu olduğu belirlenmiştir EC değeri 750'den büyük olan bu kuyular sulama suyu kalitesi açısından C₃ sınıfındadır. Kuyulardan üç adedinde arazide ölçülen pH değerlerinin 8,5'ten büyük olduğu görülmektedir. Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametrelerine bakıldığında analizleri gerçekleştirilen 35 kuyunun suları EC açısından iyi ve kullanılabilir su sınıflarına uymaktadır. Yürürlükteki İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te verilen kriterlere göre EC değeri 2500'den küçük ve pH değeri 6,5–9,5 arasında olan kaynak sularının içilebileceği görülmektedir. Dolayısı ile içme suyu açısından bu parametrelere bakıldığında bir sorun görülmemekle birlikte, kullanım öncesi diğer parametrelerin de birkaç kez ölçümü yapılmalıdır. Diğer yandan sulama yapılırken sulanan bitki türleri ve bu türlerin tuza karşı hassasiyetleri dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (Plan, 2018).

Çebi (2020) çalışmasında Tekirdağ genelinde 22 adet sulama amaçlı açılan kuyu suyunda çalışmıştır. Yapılan çalışmada sulama suyu açısından önemli olan anyon ve katyonlar, SAR, RSC parametreleri incelenmiştir. İnceleme sonunda yüksek tuza sahip sekiz kuyu, orta tuza sahip on üç kuyu, Na zararına sahip beş adet kuyu tespit edilmiştir. RSC değerinin yüksek olmasından dolayı yedi adet kuyunun sulama açısından uygun olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca iki kuyuda bor, bir kuyuda nitrat ve üç kuyuda da klorür derişimleri açısından bitkilere zarar verebileceği tespit edilmiştir. Tuzluluk ve SAR açısından değerlendirme yapıldığında da altı kuyunun kullanılmasının sakıncalı olduğunu ve altı adet kuyunun da bazı özel şartların sağlanabildiğinde kullanılabilir seviyeye gelebileceği tespit etmiştir.

Deniz (2021) Tekirdağ ve Malkara arasında kalan 111 adet hidrojeoloji amaçlı kuyuda yeraltı su seviyesi ölçmüştür. Yağışlı ve kurak dönemi temsil edecek şekilde 122 adet su numunesi alınmış ve bu verilere göre yeraltı suyu akış modeli yapmıştır.

Sulama suyu ve içme suyu kalitesinin belirlenmesine yönelik çalışılan bölge dışında da ülkemizde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalara örnekler aşağıda sunulmuştur.

Yenigün (2022) Kızıltepe ovasında yeraltı sularının kalitesini belirlemek amacıyla 11 aylık dönemde dört mevsim boyunca ovanın genelini temsil eden 10 ayrı numune için kuyular belirlemiştir. Bu kuyulardan her mevsim numune almış ve bu numunelerde Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄⁻², NO₂⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, karbonat, Toplam Kjeldahl Azotu (TKA), toplam katı madde (TKM), toplam azot (TN), sertlik, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam

çözünmüş katı madde (TDS), bulanıklık parametrelerini analiz etmiştir. Sodyum absorpsiyon oranı (SAR), artan sodyum karbonat (RSC), %Na değerleri hesaplayarak elde etmiştir. Çalışmanın analiz, ölçüm ve hesaplama sonuçları, içme suyu kalitesi, tarımsal sulama suyu kalitesi açısından ve hidrojeokimyasal fasiyes açısından sınıflamalara tabi tutmuştur.

Çolak (2021) çalışmasında Çorum ilinde 2020 yılında alınan 50 adet yeraltı suyundan örnek olarak çalışmıştır. Alınan numunelerde sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), klor (Cl), karbonat (CO₃), Elektriksel iletkenlik, pH değerlerine bakılmıştır. Sulama suyu açısından değerlendirilmek üzere %Na ve SAR değeri hesaplanmış ayrıca çeşitli indeks değerleri Kelly İndeksi (KI), Magnezyum Oranı (MR), Potansiyel Tuzluluk (PI), Langelier Satürasyon İndeksi (LSI) ve Permeabilite İndeksi (PI) hesaplanmıştır. Alınan örneklerin genel olarak C₃S₁, C₄S₁ ve C₄S₂ sınıflarında yer aldığı ve bazı örneklerin de Tuzluluk Değeri, Kalıcı Sodyum Karbonat ve Sulama Suyu Kalite İndeksi (IWQI) değerlerinin sulama açısından uygun olmadığı tespit etmiştir.

Sezer (2023) Mersin ili Anamur ilçesinin özellikle seralarda sulama amacıyla kullanılan yeraltı sularının kalitesini belirlemek amacıyla Ağustos 2021 tarihinde 51 adet yeraltı su kuyusundan örnek almış ve hidrokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla pH, EC, Na, Mg, K, Cl, SO₄, HCO₃, Ca değerleri tespit etmiştir. Yeraltı sularının sulamada kullanılabilirliğini incelemek amacıyla yüzde sodyum değeri (%Na), PI, RSC, PS, MR, KI, SAR değerleri hesaplamıştır. Çalışma sonucunda alandaki yeraltı sularının EC değerlerinin 0,475 dS/m ile 1,13 dS/m arasında değişim gösterdiği ve alanın %92,03 ünün sulama açısından 3. Sınıf olduğu belirlemiştir. Mg değerleri 7,293 mg/L ile 99,54 mg/L arasında değişim göstermiş ve alanının %9,71 indeki suların Mg açısından sulamaya uygun olmadığı tespit etmiştir. Potansiyel tuzluluk (PS) değerleri 1,375 ile 7,295 arasında değişim göstermiş ve alanının %84,91 sulama açısından orta sınıfta yer almaktadır. Yeraltı sularından K değerleri 0,391 mg/L ile 10,557 mg/L arasında değişim göstermiş ve alanın %68,3 ündeki yeraltı suyunun sulamaya uygun olmadığını belirlemiştir. Alandaki yeraltı suyu kalitesinin sulama açısından çok büyük problemler oluşturacak seviyelerde olmadığı belirlemiştir. Bununla birlikte kıyı bölgesi olması nedeniyle bölgedeki yeraltı suyunun kontrollü şekilde kullanılması gerektiği önermiştir.

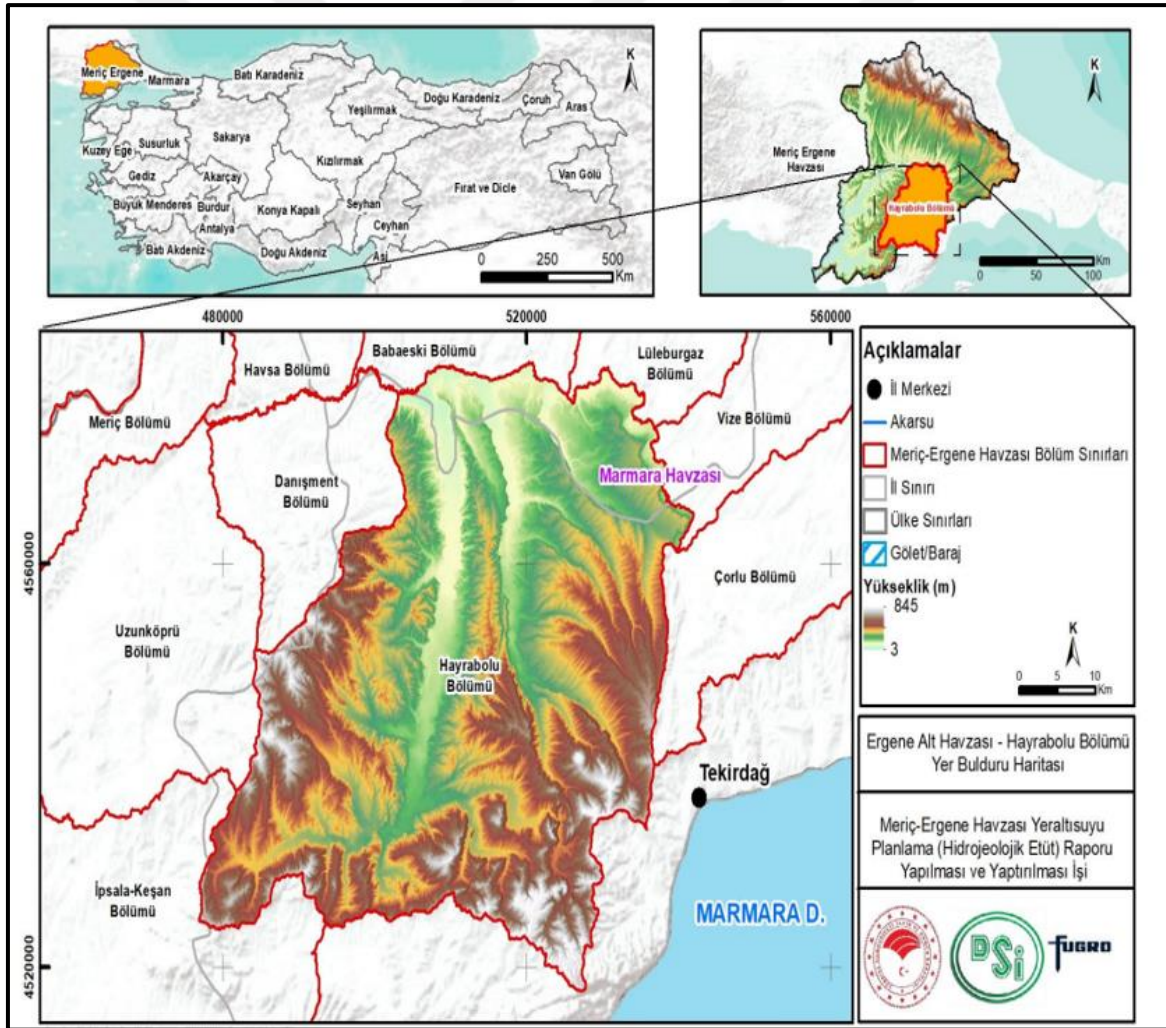
Güler (2023) Kastamonu Alt Havzasında 2020-2022 yılları arasında örneklenen 27 adet su numunesinin sulama açısından uygunluğunu araştırmıştır. 4 dönem boyunca alınan su örneklerinde pH, Elektriksel İletkenlik EC, Anyonlar F^- , Cl^- , SO_4^{2-} Katyonlar Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} Karbonat Bikarbonat CO_3^{2-} , HCO_3^- , Bor parametrelerinin analizini yapmıştır. Sodyum Yüzdesi, Sodyum Adsorpsiyon Oranı, Kalıntı Sodyum Karbonat değerlerini hesaplamıştır. ABD tuzluluk laboratuvarı sınıflandırmasına göre çoğunlukla “C₂S₁” ve “C₃S₁” sınıfında yer aldığını tespit etmiştir. Wilcox (1948) grafik sistemi kullanılarak sulama suyu sınıflandırılmasında suların çoğunlukla “Çok İyi – İyi” ve “İyi Kullanılabilir” sular sınıfında olduğu tespit etmiştir.

Mahmood vd. (2022) Irak'ın merkezindeki Habbaniya Gölü için sulama amaçlı Sulama Suyu Kalitesi İndeksini (IWQI) tahmin etmek için bir çalışma yapmış, 16 istasyondan alınan numuneleri Fiziko-kimyasal parametre açısından incelemiştir. Çalışma suyu örneklerinin %68,75'inin on bir istasyonda düşük kısıtlama kategorisi (LR) sulama suyuna girdiğini ve %25'inin dört istasyonda kısıtlama kategorisi (NR) sulama suyuna girdiğini göstermiştir. Bu arada, çalışma alanının küçük bir kısmı, su örneklerinin %6,25'ini temsil eder, bir istasyonda orta kısıtlama (MR) sulama suyu olarak sınıflandırmıştır. Buna göre, bu kategoriler, orta derecede tuz içeriğinin belirli toleransı için bir tür bitki ile yalnızca düşük ila orta geçirgenliğe sahip toprakta kullanıma uygun olduğunu tespit etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Ergene Alt Havzası – Hayrabolu Bölümü Türkiye sınırları içinde 2.466 km²'lik yüzey alanına sahip olup, Meriç – Ergene Alt Havzası'nın yaklaşık %17'lik kısmını oluşturmaktadır. Ergene Alt Havzası- Hayrabolu Bölümü 35 numaralı boylam diliminde olup UTM 476926 - 541971 boylamlarında ve 4579872 - 4517592 enlemleri arasında yer almaktadır. Havzanın kuzeyinde Babaeski ve Lüleburgaz Bölümleri, güneybatısında İpsala-Keşan Bölümü, batısında Uzunköprü ve Danişment ve doğusunda Çorlu ve Vize bölümleri bulunmaktadır. Çalışma alanı Harita 3.1 de gösterilmektedir (DSİ, 2024).



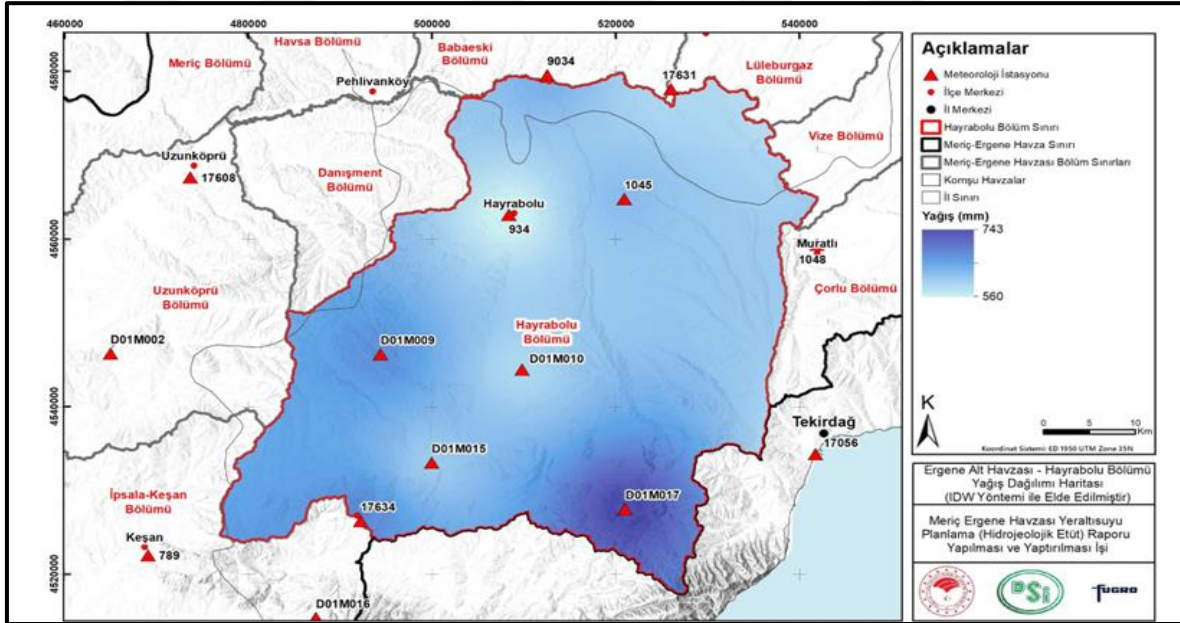
Harita 3.1. Çalışma alanı (DSİ, 2024)

3.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Havza iç kesimlerde yer aldığı için karasal iklim hakimdir. Yazları sıcak, kışları ise yağışlı ve soğuktur (T.C. Çorlu Kaymakamlığı, 2022).

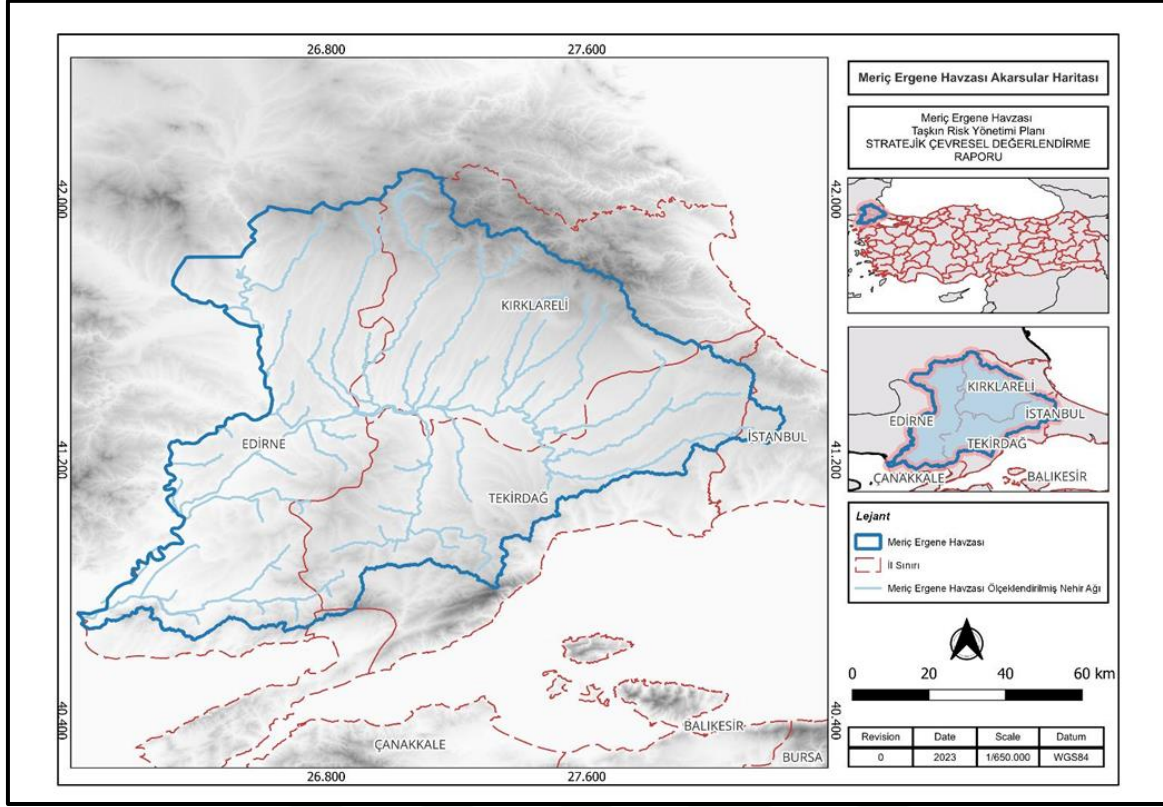
Havzada aylık ortalama minimum sıcaklık değerinin 3°C ile ocak ayında, aylık ortalama maksimum sıcaklık değerinin ise 25°C ile ağustos ayında olduğu belirlenmiştir.

Buna göre havzadaki yağış aralıkları 535 mm/yıl ile 740 mm/yıl arasında değişmekte olup yağış ortalaması yıllık 627 mm'dir. Çalışma alanının yağış dağılımı Harita 3.2 de verilmiştir (DSİ,2024).



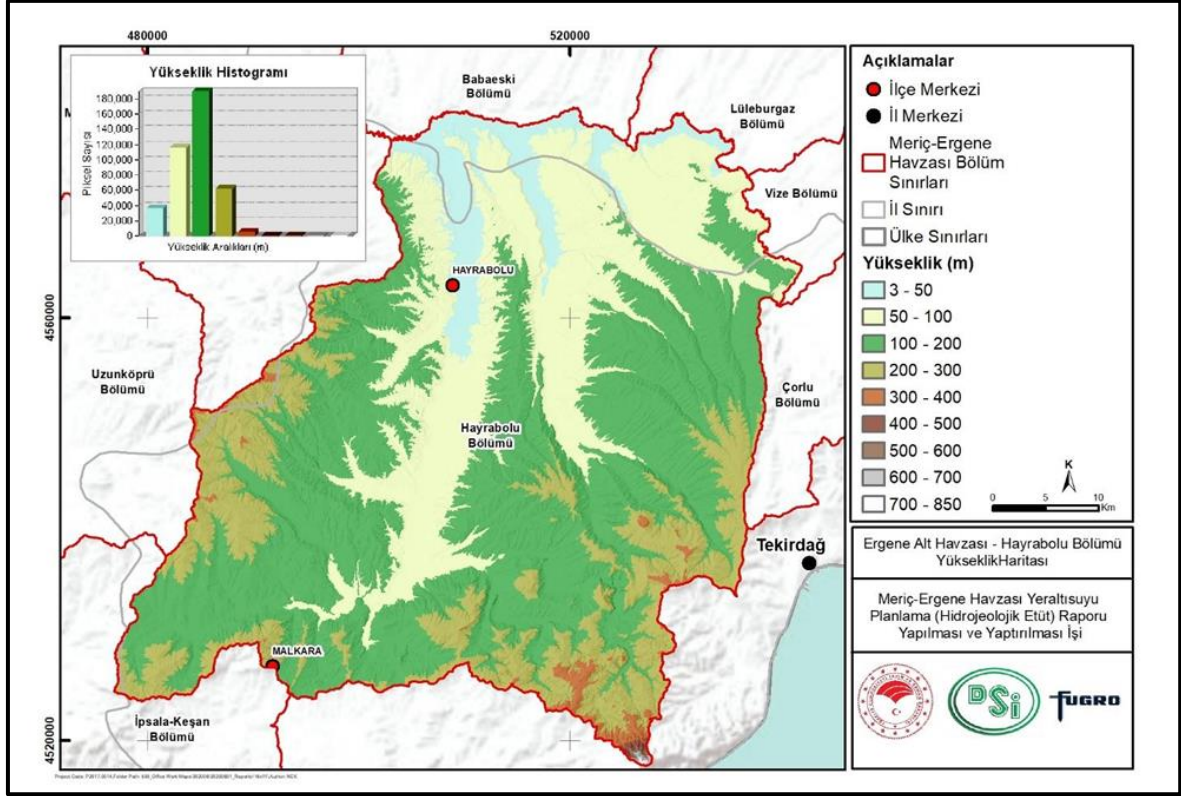
Harita 3.2. Çalışma alanı yağış dağılımı haritası (DSİ 2024)

Havza sınırları içinde en uzun akarsu Ergene Nehri'dir. Bölümde Ergene Nehri'ne katılan yan kollar Hamam Deresi, Kırkmazmak Deresi, Hayrabolu Deresi ve yan kolları olup en uzun akarsu kolu ise Hayrabolu Deresi'dir. Bölümün içerisinde yer aldığı Meriç- Ergene Havzasının nehir ağı Harita 3.3 de gösterilmiştir.



Harita 3.3. Meriç-Ergene Havzası ölçeklendirilmiş nehir ağı haritası (ÇŞİDB,2023)

Havza içerisinde çok fazla dağlık alan bulunmamaktadır. Genel anlamda düzlük olup ortalama yükselti 130 m civarındadır. Fakat güney kısımları oldukça yüksek dağlarla çevrili olduğundan, etrafındaki arazilere göre daha az yağış almaktadır. Çalışma alanının yükseklik dağılımı Harita 3.4 de gösterilmiştir.



Harita 3.4. Çalışma alanı yükseklik haritası (DSİ,2024)

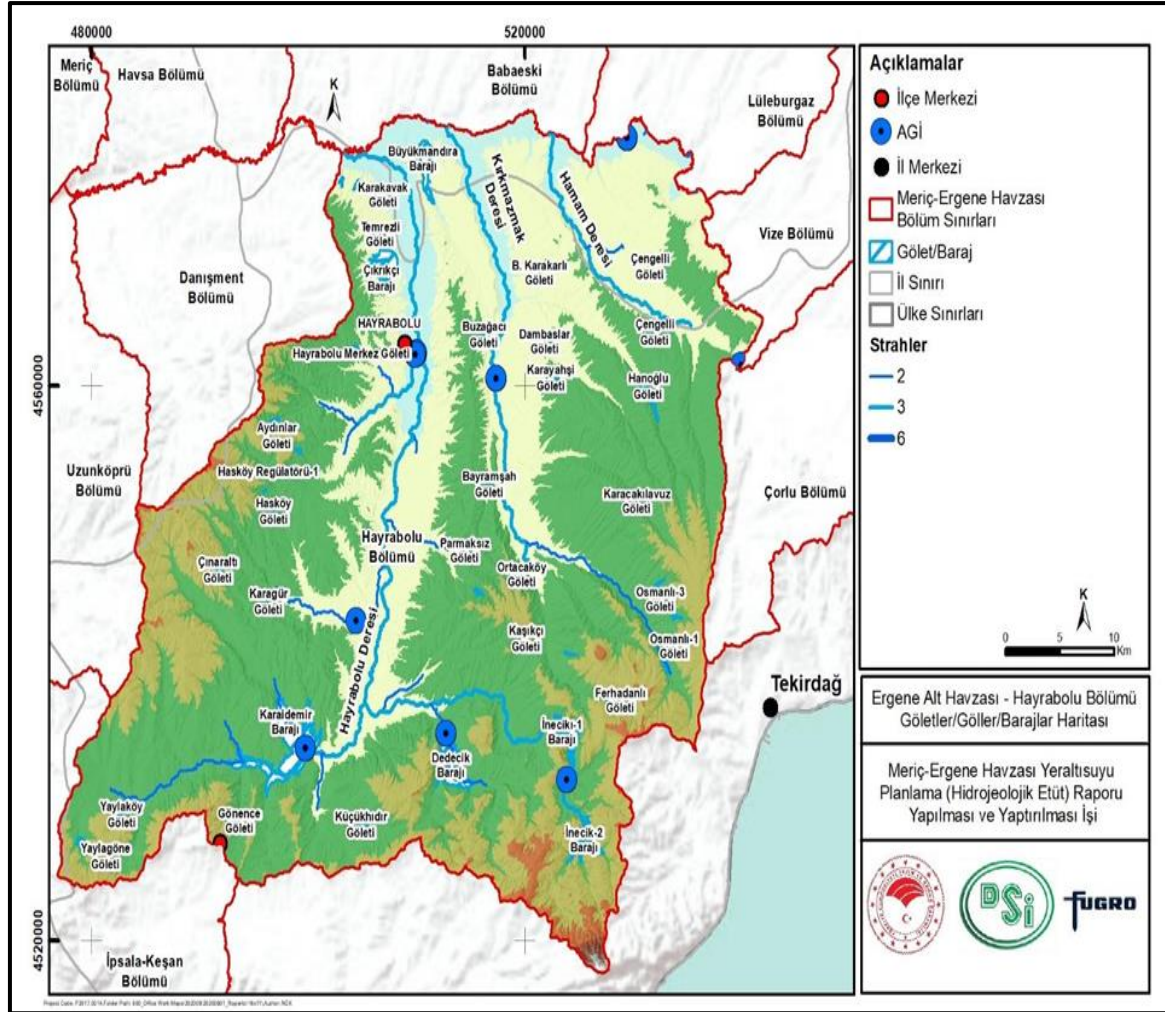
Tekirdağ İlinde jeolojik yapı gençtir. Tekirdağ'da kuzeydoğuda Palezoik yaşlı metamorfitler, güneydoğuda ise Üst Kretase yaşlı Yeniköy Karışığı yüzeylenmektedir. Bu temel kayalar üzerine Orta Eosen'den günümüze değin benzer özellikler sunan çökel kayalar yüzeylenmektedir. Kırklareli arazileri, genel olarak paleozoik ve IV mesozoik döneme ait Yıldız Masifi'nin çekirdek ve örtü kayaları ile tersiyere ait sedimanter, metamorfik, magmatik kayalardan oluşmuştur (ÇŞİDB, 2023).

Bölümün güneyinde Eosen-Holosen yaş aralığında meydana gelmiş Trakya Tersiyer birimleri bulunmaktadır. Trakya Tersiyer birimleri çoğunlukla klastiklerden oluşmakta olup şelf alanlarına ait karbonatları içermektedir. Çalışma alanının tektono-stratigrafik kolon kesiti Şekil 3.1 de gösterilmektedir.

ZAMAN	DÖNEM	DEVRE	GRUP	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK (m)	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN	-	Alüvyon	-	-	Qal		Alüvyon; çakıl, kum, çamur
	NEOJEN	PLİYOSEN	-	Karatepe Bazaltı	-	>50	Qk		Siyah olivinli alkali bazalt
				Babaeski	-	160-200	TPb		Killi ince kumve ince çakıl aratabakalı siltli kil
				Çorlu	-	350	TPç		İri kum, ince kum, çakıl ve kumlu kil araldanması
	PALEOJEN	OLİGOSEN	Yenimuhacir Grubu	Hisarlıdağ	-	800	Toh		Riyodasitik tuf, andezit, andezitik tuf, bazalt
				Danışmen	Armutburnu	100	Toda		Kırmızı, kahve renkli kumlu-killi çakıltaşı
					1000	Tod		Sarı-gri kumtaşı ve yeşil-gri laminalı kıltaşı araldanması	
				Mezardere	Teslimköy	400	Tomt		İnce şeyl katkılı kalın tabakalı kumtaşı
					>2500	Tom		Şeyl, marn, tüfit	
				EOSEN	-	Fıçıtpe	-	500-800	Tef

Şekil 3.1. Çalışma alaninin tektono-stratigrafik kolon kesiti (DSİ, 2024)

Çalışma sahasında 6 adet baraj ve 36 adet gölet bulunmaktadır.



Harita 3.5. Göletleri ve barajları gösterir harita (DSİ, 2024)

Hayrabolu Bölümü YAS sistemine yılda ortalama 1531 hm^3 yağış düşmekte ve bu yağışın %41'i buharlaşmaya ayrıldıktan sonra fazla su olarak geriye kalanın yaklaşık %90'ı yüzey akışına, %10'u da yeraltı suyu beslenimine gitmektedir. Çalışma alanının gölet ve barajları Harita 3.5 de gösterilmektedir.

Hayrabolu Bölümü'nde üç farklı akifer tanımlanmış olup toplam yeraltısuyu potansiyeli $92.03 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Emniyetli YAS verimi beslenimin %70'i olarak kabul edilmiş olup havzadaki toplam emniyetli verim $64.4 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ olarak bulunmuştur (DSİ,2024).

3.3. Yöntem

Numunelerin alınması ve bazı parametrelerin arazide ölçümü DSİ tarafından Meriç Ergene Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu Hazırlanması işi kapsamında yaptırılmıştır.

Numunelerin alınması, korunması ve analizleri 21.02.2015 tarihli ve 29274 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Yerüstü Suları, Yeraltı Suları ve Sedimentten Numune Alma ve Biyolojik Örnekleme Tebliği”, “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz metotları Tebliği (Resmî gazete: 27372, tarih: 10.10.2009)” hükümleri esas alınarak yapılmıştır.

Numune alınımında, 2 adet 1 L, 1 adet 0,25 L ve 0,1 L özel şişelere doldurulup, özel koruma yöntemleri ile aynı gün içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır. Toplanan bu numunelerin ölçüm hassasiyetlerini arttırmak için Hach Lange çoklu parametre ölçer cihazı ile yerinde sıcaklık (°C), özgül elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), çözünmüş oksijen ve pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Numune analizleri TÜRKAK Akreditasyon sertifikasına sahip Çınar Çevre Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda 1 yağışlı ve 1 kurak dönem olmak üzere numuneler alınmıştır.

- Birinci Dönem (kurak) çalışmalar; 17/10/2022 – 08/11/2022 tarihleri arasında,
- İkinci Dönem (yağışlı) çalışmalar 08/04/2023 – 17/04/2023 tarihleri arasında yürütülmüştür.

İlk dönem 17 adet kuyu ve 5 adet kaynaktan yeraltın suyu ve 1 adet yüzey suyu olmak üzere 23 adet lokasyondan; 2. dönem ise ilave 3 kuyu suyu ile birlikte 26 adet lokasyondan kalite izlemesi yapılmıştır.

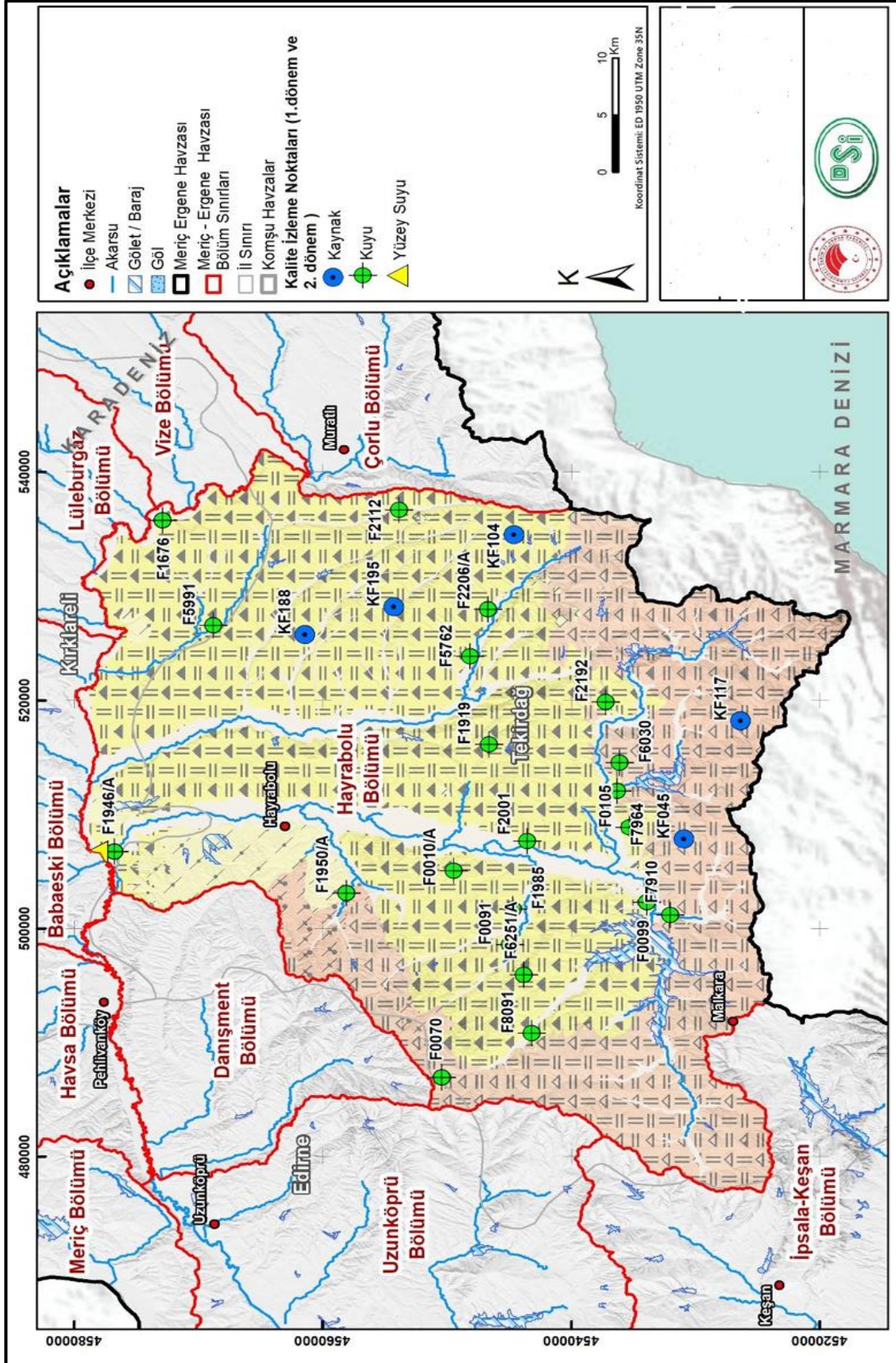
Çizelge 3.1 ve 3.2’de, Birinci ve ikinci dönemde alınan numunelerin bilgileri verilmiştir. Harita 3.6 da numune alım noktaları ve Resim 3.1 de numune alım noktasına örnek gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Birinci dönemde alınan numune bilgileri

Örnek No	Numune Kodları	Adı	Tür	Zon	X(UTM)	Y(UTM)	İl	İlçe
1	F0010/A	TESKİ	Kuyu	35N	505069	4549452	Tekirdağ	Hayrabolu
2	F0070	Mestanlar Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	486971	4550413	Tekirdağ	Malkara
3	F0091	Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi	Kuyu	35N	498579	4544949	Tekirdağ	Malkara
4	F0099	Evrenbey Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	502306	4533889	Tekirdağ	Malkara
5	F0105	İbribey Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	508889	4535289	Tekirdağ	Malkara
6	F1676	Kayabeyli Köyü Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	535783	4572884	Kırklareli	Lüleburgaz
7	F1946/A	TESKİ	Kuyu	35N	506755	4576756	Kırklareli	Hayrabolu
8	F1985	Şalgamlı Sulama Kooperatifi	Kuyu	35N	501721	4544699	Tekirdağ	Hayrabolu
9	F2001	Kurtdere Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	507654	4543556	Tekirdağ	Hayrabolu
10	F2192	Selçuk Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	519879	4537217	Tekirdağ	Merkez
11	F5762	İlhami Yiğit	Kuyu	35N	523858	4548119	Tekirdağ	Merkez
12	F5991	Caner Şişman	Kuyu	35N	526581	4568788	Kırklareli	Lüleburgaz
13	F6030	TESKİ Genel Müdürlüğü	Kuyu	35N	514530	4536089	Tekirdağ	Merkez
14	F6251/A	Yenişehir Gıda Teks. San. Tic. Ltd. Şti	Kuyu	35N	495957	4543801	Tekirdağ	Malkara
15	F7910	Kağanlar mandıra	Kuyu	35N	501191	4532018	Tekirdağ	Malkara
16	F7964	MTA araştırma kuyusu	Kuyu	35N	512085	4536284	Tekirdağ	Merkez
17	F8091	MTA araştırma kuyusu	Kuyu	35N	490833	4543158	Tekirdağ	Malkara
18	KF045	Çeşmedere Membası	Kaynak	35N	507858	4530936	Tekirdağ	Malkara
19	KF104	Sütlüklü kaynağı	Kaynak	35N	534521	4544630	Tekirdağ	Merkez
20	KF117	Ören Çeşmesi	Kaynak	35N	518231	4526371	Tekirdağ	Merkez
21	KF188	Yurtbekler	Kaynak	35N	525771	4561455	Tekirdağ	Muratlı
22	KF195	Karacakılavuz	Kaynak	35N	528225	4554289	Tekirdağ	Merkez
23	YUS2	Ergene Nehri	Yüzey Suyu	35N	506726	4578099	Kırklareli	Babaeski

Çizelge 3.2. İkinci dönemde alınan numune bilgileri

Örnek No	Numune Kodları	Adı	Tür	Zon	X(UTM)	Y(UTM)	İl	İlçe
1	F0010/A	TESKİ	Kuyu	35N	505069	4549452	Tekirdağ	Hayrabolu
2	F0070	Mestanlar Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	486971	4550413	Tekirdağ	Malkara
3	F0091	Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi	Kuyu	35N	498579	4544949	Tekirdağ	Malkara
4	F0099	Evrenbey Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	502306	4533889	Tekirdağ	Malkara
5	F0105	İbribey Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	508889	4535289	Tekirdağ	Malkara
6	F1676	Kayabeyli Köyü Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	535783	4572884	Kırklareli	Lüleburgaz
7	F1919	Emiryakup Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	516162	4546633	Tekirdağ	Hayrabolu
8	F1946/A	TESKİ	Kuyu	35N	506755	4576756	Kırklareli	Hayrabolu
9	F1951	TESKİ	Kuyu	35N	503116	4558092	Tekirdağ	Hayrabolu
10	F1985	Şalgamlı Sulama Kooperatifi	Kuyu	35N	501721	4544699	Tekirdağ	Hayrabolu
11	F2001	Kurtdere Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	507654	4543556	Tekirdağ	Hayrabolu
12	F2112	Aydinköy Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	536697	4553854	Tekirdağ	Muratlı
13	F2192	Selçuk Muhtarlık Kuyusu	Kuyu	35N	519879	4537217	Tekirdağ	Merkez
14	F2206/A	Ümit ve Osman Cengiz	Kuyu	35N	527967	4546695	Tekirdağ	Merkez
15	F5762	İlhami Yiğit	Kuyu	35N	523858	4550000	Tekirdağ	Merkez
16	F5991	Caner Şişman	Kuyu	35N	526581	4568788	Kırklareli	Lüleburgaz
17	F6030	TESKİ Genel Müdürlüğü	Kuyu	35N	514530	4536089	Tekirdağ	Merkez
18	F6251/A	Yenişehir Gıda. San. Tic. Ltd. Şti.	Kuyu	35N	495957	4543801	Tekirdağ	Malkara
19	F7910	Kağanlar Mandıra	Kuyu	35N	501191	4532018	Tekirdağ	Malkara
20	F7964	MTA Araştırma Kuyusu	Kuyu	35N	512085	4536284	Tekirdağ	Merkez
21	F8091	MTA Araştırma Kuyusu	Kuyu	35N	490833	4543158	Tekirdağ	Malkara
22	KF045	Çeşmedere Membası	Kaynak	35N	507858	4530936	Tekirdağ	Malkara
23	KF104	Sütlüklü kaynağı	Kaynak	35N	534521	4544630	Tekirdağ	Merkez
24	KF188	Yurtbekler	Kaynak	35N	525771	4561455	Tekirdağ	Muratlı
25	KF195	Karacakılavuz	Kaynak	35N	528225	4554289	Tekirdağ	Merkez
26	YUS2	Ergene Nehri	Yüzey Suyu	35N	506726	4578099	Kırklareli	Babaeski



Harita 3.6. Numune alınan noktaların gösterimi (DSİ, 2024)



Resim 3.1. Çeşmedere memba numune alım noktası

Alınan numuneler arasında bölümün en yüksek debili kaynağı Çeşmedere membasıdır. Yaklaşık 3l/s debiye sahiptir. Tekirdağ Malkara ilçesinde yer alan kaynak köy çeşmesi olarak kullanılmaktadır. Bölümdeki diğer kaynak noktaları 1,5 l/s debi altında yer almaktadır (DSİ,2024).

3.4. Laboratuvar Analizleri

Laboratuvara getirilen numunelerin analizleri için kullanılan Metot ve Cihaz bilgileri Çizelge 3.3 de verilmiştir. Kullanılan ICP-MS duyarlılığı çok düşük, aynı anda birçok parametreyi birkaç dakikada ölçebilen bir cihazdır. İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma (ICP) ve kütle spektrofotometresi (MS) olarak iki üniteden oluşmaktadır. Numuneler ilk olarak ICP kısmında yüksek sıcaklıktaki argon plazmada iyonlaştırıldıktan sonra kütle spektroskopisine gönderilmiş ve burada istenen bileşenin kütle/yük oranlarına göre ayrılarak ölçülmüştür. Kullanılan ICP-MS cihazı Resim 3.3 de gösterilmiştir.

İyon Kromatografi (IC) cihazı sabit ve hareketli faz etkileşimleri kullanılarak iyonları ayıran bir yöntemdir. Ölçülmek istenen anyonlar bir kolondan geçirilir. Kolon geçişi sırasında kolon içerisinde bulunan reçineye bağlı olarak iyonlar farklı hızda hareket ederler. Bu sayede kolondan farklı sürelerde ayrılan iyonlar bir detektöre iletilerek kromatogramları çizilir. Kromatogram yardımıyla derişimler ölçülür. Kullanılan IC cihazı Resim 3.2 de gösterilmiştir.

Karbonat ve bikarbonat iyonları titrasyon tekniği ile analiz edilmiştir. Titrasyon yönteminde hazırlanan standart çözelti aranan analit ile reaksiyona girer ve bir indikatör varlığında dönüm noktası tayin edilir. Dönüm noktasında harcanan titrantın hacmi belirlenerek istenen analitin derişimi hesaplanır. Sülfürik asit ve sodyum karbonat çözeltilerinin birbiri ile tepkimeye girerek bromocresol yeşili indikatörü varlığında titrasyon işlemi yapılmıştır.

Sertlik tayini sırasında kalsiyum ve magnezyum iyonu verileri kullanılmıştır. Bu veriler ile hesaplama yapılarak numunelerin sertlik değerleri mg CaCO₃/L biriminde tayin edilmiştir.

Çizelge 3.3. Laboratuvar analizlerinde kullanılan metot ve cihazlar

Parametre	Metot	Cihaz
Sodyum	TS EN ISO 17294-1,2	ICP-MS 7700e Agilent
Potasyum	TS EN ISO 17294-1,2	ICP-MS 7700e Agilent
Kalsiyum	TS EN ISO 17294-1,2	ICP-MS 7700e Agilent
Magnezyum	TS EN ISO 17294-1,2	ICP-MS 7700e Agilent
Demir	TS EN ISO 17294-1,2	ICP-MS 7700e Agilent
Mangan	TS EN ISO 17294-1,2	ICP-MS 7700e Agilent
Bor	TS EN ISO 17294-1,2	ICP-MS 7700e Agilent
Klorür	SM4110B	IC 1100 Dionex
Sülfat	SM4110B	IC 1100 Dionex
Amonyum	SM4500-NH ₃ B,C	Titratör
Nitrat	SM4110B	IC 1100 Dionex
Karbonat	SM2320B	Titratör
Bikarbonat	SM2320B	Titratör
Sertlik	SM 3500Ca / SM 3500 Mg	Hesaplama Yöntemi



Resim 3.2. Laboratuvarda kullanılan IC cihazı



Resim 3.3. Laboratuvarda kullanılan ICM-MS cihazı



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İçme Suyu Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bulgular

Alınan numunelerin içme suyu açısından uygunluğunun değerlendirilmesi için analizi yapılan parametreler yerinde ölçülen parametreler, temel anyon ve katyonlar ve metaller olarak sınıflandırılmıştır.

4.1.1. Yerinde ölçülen parametreler

Yerinde ölçülen parametrelerin analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve 4.2 verilmiştir. multiparametre cihazları kullanılarak DSİ tarafından ölçüm yaptırılmıştır. Kullanılan ekipman sayesinde elektriksel iletkenlik değerleri otomatik 25 °C deki elektriksel iletkenlik değerleri olarak düzeltilerek verilmektedir.

Çizelge 4.1. Birinci dönem yerinde ölçülen parametre sonuçları

Numune No	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)
1	8,39	926	464
2	7,58	705	352
3	7,26	639	320
4	8,55	1300	648
5	7,31	773	387
6	8,06	444	222
7	8,51	1488	744
8	8,33	731	366
9	7,8	826	413
10	7,18	958	478
11	7,22	1134	568
12	8,55	652	326
13	7,25	856	428
14	7,6	559	280
15	8,84	3860	1940
16	8,52	1371	687
17	7,75	790	396
18	7,32	719	360
19	6,99	1242	621
20	7,33	735	369
21	7,18	1484	742
22	6,99	968	485
23	7,44	4420	2210

1. Dönemde ölçülen tüm pH değerlerin 6,5 ve 9,5 aralığında yer almıştır. pH değerleri açısından içme suyuna uygundur.

15 ve 23 nolu numunelerin EC değerleri azami değer olan 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. İçme suyu açısından uygun değildir. 4, 7, 11, 15, 16, 19 ve 23 nolu numunelerin TDS değerleri azami değer olan 500 mg/L değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. TDS parametresi açısından içme suyuna uygun değildir.

Çizelge 4.2. İkinci dönem yerinde ölçülen parametre sonuçları

Örnek No	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)
1	8,39	1141	571
2	8,05	956	478
3	7,48	941	471
4	8,7	1581	790
5	7,32	906	453
6	8,27	574	287
7	7,58	1028	515
8	8,39	1807	904
9	8,44	790	395
10	8,09	947	474
11	7,85	1022	512
12	7,5	1165	583
13	7,34	1168	588
14	7,38	208	1042
15	7,42	1223	609
16	8,76	729	365
17	7,33	1004	501
18	7,92	678	339
19	8,32	3850	1930
20	8,67	1627	814
21	7,74	990	493
22	7,35	829	414
23	7,22	1439	720
24	7,36	1810	906
25	7,17	1159	578
26	7,83	2999	1500

İkinci dönem ölçülen tüm pH değerlerin 6,5 ve 9,5 aralığında yer almıştır. pH değerleri açısından içme suyuna uygundur. 19 ve 26 nolu numunelerin EC değerleri azami değer olan 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. İçme suyu açısından uygun değildir. İkinci dönem alınan 26 adet numuneden 16 sının TDS değerleri azami değer olan 500 mg/L

değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. EC değerlerinin F7910 kodlu kuyu ve Ergene Nehri'nden alınan YUS2 kodlu numunede iki dönemde de sınır değeri aştığı görülmektedir.

Bu bölgeye yakın lokasyonlarda daha önce yapılan çalışmalarda analiz edilen numunelerin orta ve yüksek tuzlu sular kategorisinde yer alması ve Ergene Nehri'nin yüksek derişimlerde TDS içermesi yönünden benzerlik göstermektedir.

4.1.2. Temel anyon ve katyon parametreleri

İlk dönem alınan numunelerin analiz edilen anyon ve katyon sonuçları Çizelge 4.3'te ikinci dönem sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Birinci dönem temel anyon- katyon sonuçları

Numune No	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)
1	190	0,55	1,76	0,76	<0.021	54,2	66,4	<0.45	291	42,8
2	95,8	2,62	27,4	22,68	<0.021	28,8	36,7	2,6	280	18
3	20,6	1,97	91,6	27,84	<0.021	25,5	39,4	10,5	314	<10
4	320	1,42	2,87	1,96	<0.021	13,7	131	<0.45	462	50,8
5	33,5	1,79	79,3	32,27	<0.021	107	42,8	<0.45	274	<10
6	88,9	0,52	8,75	4,44	<0.021	18,7	26,4	9,17	157	17,6
7	309	1,32	11,5	3,89	0,031	54,8	273	0,79	299	29,6
8	155	1,06	11,0	2,72	<0.021	40,2	47,3	0,80	259	14,8
9	176	1,36	9,84	5,75	<0.021	20,1	57,6	0,54	312	22,4
10	39,5	1,50	77,1	65,88	0,534	118	42,7	1,0	385	<10
11	93,1	0,33	83,7	44,29	<0.021	71,3	77,3	97,3	354	<10
12	143	0,45	2,13	0,57	<0.021	19,6	22,4	0,90	225	38
13	57,3	1,26	73,0	26,30	0,764	48,5	18,5	<0.45	357	<10
14	60,6	2,09	30,8	15,52	<0.021	12,4	42,3	1,32	204	10,4
15	786	3,27	25,3	17,56	7,44	7,56	1182	<0.45	292	69,2
16	317	1,53	2,88	1,50	1,65	20,1	174	3,18	437	40
17	111	2,81	30,9	21,44	<0.021	67,8	42,5	0,97	284	<10
18	13,6	0,47	90,3	18,86	<0.021	52,0	15,7	113	232	<10
19	84,8	0,26	112	30,03	<0.021	46,3	183	81,8	280	<10
20	10,5	4,47	60,4	50,0	<0.021	28,5	8,3	39,6	333	<10
21	125	0,16	125	43,38	<0.021	215	207	102	239	<10
22	51,8	2,47	99,4	33,28	<0.021	48,0	76,6	70,4	314	<10
23	832	32,5	87,2	19,46	15,09	79,1	1032	1,69	699	<10

1, 4, 7, 15, 16 ve 23 nolu numunelerin sodyum değerlerinin azami değer olan 175 mg/L değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. 23 nolu numunenin potasyum, amonyum ve klorür parametreleri azami değerlerin üzerindedir. 15 ve 16 nolu numunelerin amonyum

değeri, 15 nolu numunenin klorür değeri, 19, 20 ve 21 nolu numunelerin nitrat değerleri azami değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. İkinci dönem temel anyon- katyon sonuçları

Numune No	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)
1	217	0,69	2,49	0,94	<0.021	75,2	87,3	<0.45	322	27,6
2	64,4	3,34	41,8	33,2	0,16	55,8	59,5	2,91	296	<10
3	27,8	2,18	94,2	26,4	<0.021	43,8	58,5	14,5	317	<10
4	302	1,38	8,24	11,9	<0.021	19,6	168	<0.45	470	74
5	31,4	1,81	85,3	39,2	0,295	153	58,9	0,61	287	<10
6	90,8	0,66	11,5	5,79	<0.021	32,6	40,6	19,2	163	17,2
7	68,3	1,71	60,4	34,3	<0.021	19,5	108	13,4	340	<10
8	308	1,42	39,5	34,3	<0.021	165	358	5,31	336	28,8
9	124	1,80	10,7	10,7	<0.021	45,3	60,3	<0.45	230	23,2
10	160	1,18	18,1	3,35	<0.021	64,9	80	3,12	264	20,4
11	177	1,45	10,5	6,28	<0.021	30,6	74	3,05	348	<10
12	46,7	0,64	83,2	49,6	<0.021	33,8	149	23,7	359	<10
13	37,1	1,61	79,9	60,5	0,414	163	51,3	<0.45	402	<10
14	171	5,80	149	133	<0.021	281	251	485	449	<10
15	85,8	0,44	72,5	48,9	<0.021	81,9	90,3	130	362	<10
16	140	0,49	1,98	3,66	<0.021	27,8	29,3	<0.45	249	50
17	64,0	1,32	72,0	51,1	0,439	125	60,7	<0.45	392	<10
18	64,2	2,27	31,7	19,4	0,251	21,6	52,7	<0.45	231	<10
19	739	3,50	82,7	100	2,890	9,75	1449	0,66	289	89,2
20	305	1,64	8,82	7,54	<0.021	25,6	213	<0.45	429	66,4
21	114	3,12	38,8	20,5	2,425	123	69,9	0,49	291	<10
22	11,07	0,51	101	18,2	<0,021	69,8	16,5	143	234	<10
23	87,2	0,35	116	53,8	<0.021	68,1	231	130	302	<10
24	136,5	0,14	139	60,5	<0.021	335	281	12,8	261	<10
25	52,3	2,29	156	22,9	<0.021	66,0	102	82,2	334	<10
26	518,8	24,1	99,5	29,9	12,80	148	789	5,58	500	<10

2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 16, 18 ve 20 nolu numunelerin temel anyon ve katyon parametre sonuçlarının tümü belirlenen azami değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir. Diğer numunelerin en az bir parametresi azami değerlerin üzerinde kaldığından içme suyu için uygun değildir.

Yeraltı sularında temel anyon ve katyon parametreleri, suların kimyasal bileşimini ve kalitesini değerlendirmek için önemlidir. Hayrabolu Deresi'nin mabdan mansabına kadar

alınan numunelerde sodyum ve klorür değerlerinin birlikte sınır değeri aştığı gözlenmektedir. Dere çevresinde alınan numunelerde sodyum ve klorür değerleri bazı dönemlerde sınır değeri aşmasa da sınır değere oldukça yakındır. Ortalama değerler de göz önüne alındığında bu kuyularda kalıcı bir kirlilik olduğu söylenebilmektedir. Yeraltı sularında bulunan azotun nitrate ya da amonyuma dönüşümü toprak pH'ı, sıcaklık, oksijen seviyesi ve bakteri aktivitesi gibi faktörlere göre değişmektedir. Sonuçlardan görüleceği üzere amonyum parametrelerinin farklı bölgelerde ve farklı jeolojik ortamlarda sınır değeri aşmaktadır.

4.1.3. Metal sonuçları

Metal olarak numunelerin demir, mangan ve bor parametreleri analiz edilmiştir. Birinci dönem analiz sonuçları Çizelge 4.5 de, ikinci dönem sonuçları Çizelge 4.6 de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Birinci dönem metal sonuçları

Numune No	Fe ($\mu\text{g/L}$)	Mn ($\mu\text{g/L}$)	B (mg/L)
1	15,6	5,81	0,25
2	63,2	10,	0,08
3	46	<0.5	0,03
4	65,2	5,09	0,89
5	426	54,8	0,12
6	<5	2,8	0,13
7	117	54,2	0,47
8	259	39,6	0,48
9	<5	<0.5	0,32
10	2209	37,55	0,03
11	14,6	1,37	0,15
12	274	17,8	0,30
13	386	19,4	0,19
14	19,7	19,8	0,05
15	95,6	6,64	1,30
16	23,5	9,43	1,49
17	186	26,3	0,11
18	<5	<0.5	0,04
19	<5	0,63	<0.02
20	<5	<0.5	0,08
21	10,9	1,28	0,03
22	14,0	18,8	<0.02
23	616	436	0,74

5, 8, 10, 13 ve 17 nolu numuneler bölgenin güneyinde yer almaktadır. 7 ve 12 nolu numuneler demir parametresinde hem yüksek değerler ölçülmüş hem de diğerlerine göre bölgenin kuzeyinde yer almakta ve I-A ve I-B maden sahalarına yakın bölgededir. Yeraltı suyunda farklı dönemlerde ölçülen demir içeriği hidrolojik döngü ve bu döngünün su kalitesi üzerindeki etkileri hakkında bilgi verebilir. Antropojenik faktörlerin kirlilik kaynağı olmadığı durumlarda, yağış ve beslenme koşullarına bağlı olarak yüksek demir konsantrasyonları çevrede demir içerikli formasyonlardan kaynaklanabilmektedir.

5, 7 ve 23 nolu numunelerde mangan değerleri, 15 ve 16 nolu numunelerin bor değerleri azami sınırların üzerinde yer almıştır. Metal yönünden bu sular içme suyuna uygun değildir.

Çizelge 4.6. İkinci dönem metal sonuçları

Numune No	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	B (mg/L)
1	15,9	5,00	0,311
2	182	17,35	0,030
3	7,20	<0.5	0,053
4	132	6,03	0,930
5	42	55,0	0,113
6	27,6	6,96	0,127
7	<5	<0.5	0,060
8	417	28,6	0,438
9	20,8	6,98	0,069
10	1035	50	0,402
11	<5	<0.5	0,319
12	<5	0,59	0,048
13	1707	39,8	0,084
14	33,8	4,0	0,062
15	9,78	1,12	0,176
16	105	15,8	0,329
17	397	19,19	0,201
18	34,8	20,9	0,038
19	135	105	1,554
20	13,8	7,63	1,732

Çizelge 4.6. (devam) İkinci dönem metal sonuçları

Numune No	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	B (mg/L)
21	206	32,9	0,119
22	<5	<0,5	0,069
23	<5	1,64	0,027
24	21,5	2,89	0,044
25	31,1	61,2	0,049
26	1381	528	0,460

İkinci dönemde Ergene Nehri ve beş adet kuyu suyu numunesinin demir değerleri azami sınırların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. 5, 19, 25 ve 26 nolu numunelerin mangan değerlerinin azami sınır değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. 19 ve 20 nolu numunelerde bor parametresi azami sınırların üzerinde yer almıştır.

Yeraltı suyunda farklı dönemlerde ölçülen demir içeriği hidrolojik döngü ve bu döngünün su kalitesi üzerindeki etkileri hakkında bilgi verebilir. Antropojenik faktörlerin kirlilik kaynağı olmadığı durumlarda, yağış ve beslenme koşullarına bağlı olarak yüksek demir konsantrasyonları çevrede demir içerikli formasyonlardan kaynaklanabilmektedir. Metalik parametrelerde antropojenik faaliyetlerin etkisiyle yeraltı sularında kirlilik beklenebilir. Bölümde kuyuların açıldığı kayaçlar çeşitli oranlarda demir oksit minerali içerebilirler. Bu minerallerin kurak dönemlerde oksitlenmesi ve yağışlı dönemlerde yüzey akışından süzölmeye geçerek yeraltı suyunu demirce zenginleştirmesi beklenebilir.

Birinci ve ikinci dönem analiz edilen numunelerin sınır değeri aşan parametreleri Çizelge 4.7 de özet olarak gösterilmiştir. Alınamayan numuneler için '-' kullanılmıştır.

Çizelge 4.7. Sınır Değeri Aşan Parametreler

Sıra No	Adı	Sınır Değeri Aşan Parametre (1.Dönem)	Sınır Değeri Aşan Parametre (2.Dönem)
1	TESKİ	Na	Na
2	Mestanlar Muhtarlık Kuyusu	Yok	TDS
3	Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi	Yok	Yok
4	Evrenbey Muhtarlık Kuyusu	TDS, Na	TDS, Na
5	İbribey Muhtarlık Kuyusu	Fe, Mn	Mn
6	Kayabeyli Köyü Muhtarlık Kuyusu	Yok	Yok
7	TESKİ	TDS, Na, Cl, Mn	TDS, Na, Cl, Fe
8	Şalgamlı Sulama Kooperatifi	Fe	Fe
9	Kurtdere Muhtarlık Kuyusu	Yok	TDS
10	Selçuk Muhtarlık Kuyusu	Fe	TDS, Mg, Fe
11	İlhami Yiğit	TDS	TDS, Na
12	Caner Şişman	Yok	Yok
13	TESKİ Genel Müdürlüğü	Fe	TDS, Mg, Fe
14	Yenişehir Gıda	Yok	Yok
15	Kağanlar mandıra	EC, TDS, Na, NH ₄ , Cl, B	EC, TDS, Mg, NH ₄ , Cl, Mn, B
16	MTA araştırma kuyusu	TDS, Na, NH ₄ , B	TDS, B
17	MTA araştırma kuyusu	Yok	NH ₄ , Fe
18	Çeşmedere Membası	Yok	Ca, NO ₃
19	Sütlüklü kaynağı	TDS, NO ₃	TDS, Ca, Mg, NO ₃
20	Ören Çeşmesi	Yok	-
21	Yurtbekler	NO ₃	TDS, Ca, Mg, Cl
22	Karacakılavuz	NO ₃	TDS, NO ₃ , Ca, Mn
23	Ergene Nehri	EC, TDS, Na, K, NH ₄ , Cl, Fe, Mn	EC, TDS, Na, K, NH ₄ , Cl, Fe, Mn
24	Emiryakup Muhtarlık Kuyusu	-	TDS
25	TESKİ	-	Yok
26	Aydıncık Muhtarlık Kuyusu	-	TDS
27	Ümit ve Osman Cengiz	-	TDS, Ca, Mg, SO ₄ , Cl, NO ₃

4.1.4. Sertlik değerleri

Analizi yapılan numunelerin kalsiyum ve magnezyum iyonu sonuçlarından yararlanılarak sertlik değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.8 de değerler verilmiştir.

Çizelge 4.8. Birinci dönem sertlik değerleri

Numune No	Sertlik Değeri (mgCaCO ₃ /L)	Sertlik Sınıfı
1	7,5	Yumuşak
2	162	Orta Sert
3	343	Çok Sert
4	15	Yumuşak
5	331	Çok Sert
6	40	Yumuşak
7	45	Yumuşak
8	39	Yumuşak
9	48	Yumuşak
10	463	Çok Sert
11	391	Çok Sert
12	7,6	Yumuşak
13	290	Çok Sert
14	141	Sert
15	135	Sert
16	13	Yumuşak
17	165	Sert
18	303	Çok Sert
19	404	Çok Sert
20	357	Çok Sert
21	492	Çok Sert
22	385	Çok Sert
23	298	Çok Sert

İlk dönem analiz edilen tüm su numunelerinin sertlik değerleri WHO Standardında içme suyu için belirtilen azami sınır değer olan 500 mg/L nin altında yer aldığı tespit edilmiştir. Suların sertlik değerleri 7,5 ile 492 mg CaCO₃/L arasında yer almaktadır. WHO tarafından

belirlenen Sertlik Sınıfına göre 1, 4, 6, 7, 8, 9, 12 ve 16 nolu su numuneleri Yumuşak sınıfta yer alırken 2 nolu numune orta sert sınıfta yer almıştır. Diğer 14 numunenin sert ve çok sert su sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. İkinci dönem sertlik değerleri

Numune No	Sertlik Değeri (mg CaCO ₃ /L)	Sertlik Sınıfı
1	10	Yumuşak
2	241	Çok Sert
3	344	Çok Sert
4	70	Orta Sert
5	374	Çok Sert
6	53	Yumuşak
7	292	Çok Sert
8	240	Çok Sert
9	71	Orta Sert
10	59	Yumuşak
11	52	Yumuşak
12	412	Çok Sert
13	448	Çok Sert
14	921	Çok Sert
15	382	Çok Sert
16	20	Yumuşak
17	390	Çok Sert
18	159	Çok Sert
19	619	Çok Sert
20	53	Çok Sert
21	181	Çok Sert
22	327	Çok Sert
23	511	Çok Sert
24	597	Çok Sert
25	483	Çok Sert
26	371	Çok Sert

İkinci dönem analiz edilen 14, 19, 23 ve 24 nolu su numunelerinin sertlik değerleri WHO Standardında içme suyu için belirtilen azami sınır değer olan 500 mg/L nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Suların sertlik değerleri 10 ile 921 mg CaCO₃/L arasında yer almaktadır. WHO tarafından belirlenen Sertlik Sınıfına göre 1, 6, 10, 11 ve 16 nolu su numuneleri Yumuşak sınıfta yer alırken 4 ve 9 nolu numune orta sert sınıfta yer almıştır. Diğer 19 numunenin sert ve çok sert su sınıfta olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bulgular

Tüm numunelerin sulama suyu amacıyla kullanımına uygunluğunun tespiti amacıyla SAR, RSC ve %Na değerleri hesaplanmış ve izelge 4.10 ve izelge 4.11'de hesaplanan değerler gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Birinci dönem SAR, RSC, %Na değerleri ve sınıfları

Numune No	SAR	SAR Sınıfı	RSC	RSC Sınıfı	%Na	% Na Sınıfı
1	30,14	Uygun Değil	6,05	Kullanılamaz	98,05	Kullanılamaz
2	3,28	Mükemmel	1,95	Şüpheli	55,79	İzin Verilebilir
3	0,48	Mükemmel	-1,56	Şüpheli	11,48	Mükemmel
4	35,72	Uygun Değil	8,96	Kullanılamaz	97,61	Kullanılamaz
5	0,80	Mükemmel	-1,97	Şüpheli	17,95	Mükemmel
6	6,10	Mükemmel	2,36	Şüpheli	82,57	Kullanılamaz
7	20,04	Şüpheli	4,99	Kullanılamaz	93,51	Kullanılamaz
8	10,83	İyi	3,96	Kullanılamaz	89,36	Kullanılamaz
9	11,02	İyi	4,90	Kullanılamaz	88,44	Kullanılamaz
10	0,80	Mükemmel	-2,80	Kullanılamaz	15,59	Mükemmel
11	2,05	Mükemmel	-1,86	Şüpheli	34,07	İyi
12	22,53	Şüpheli	4,80	Kullanılamaz	97,42	Kullanılamaz
13	1,46	Mükemmel	0,20	İyi	29,89	İyi
14	2,22	Mükemmel	0,87	İyi	47,84	İzin Verilebilir
15	29,35	Uygun Değil	4,38	Kullanılamaz	92,44	Kullanılamaz
16	37,77	Uygun Değil	8,23	Kullanılamaz	97,83	Kullanılamaz
17	3,75	Mükemmel	1,51	Şüpheli	58,78	Şüpheli
18	0,34	Mükemmel	-2,10	Şüpheli	8,89	Mükemmel
19	1,83	Mükemmel	-3,34	Kullanılamaz	31,30	İyi
20	0,24	Mükemmel	-1,52	Şüpheli	5,94	Mükemmel
21	2,46	Mükemmel	-5,78	Kullanılamaz	35,61	İyi
22	1,15	Mükemmel	-2,40	Şüpheli	22,49	İyi
23	20,96	Şüpheli	5,66	Kullanılamaz	84,19	Kullanılamaz

İlk dönem su numunelerinden sadece 13 ve 14 nolu numuneler hem SAR hem de RSC ve %Na açısından Mükemmel, İyi ve İzin verilebilir sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Diğer numuneler en az bir parametresinin yüksek olması sebebiyle sulama suyu amacıyla kullanılma uygun değildir.

Çizelge 4.11. İkinci dönem SAR, RSC, %Na değerleri ve sınıfları

Numune No	SAR	SAR Sınıfı	RSC	RSC Sınıfı	%Na	%Na Sınıfı
1	29,7	Uygun Değil	6,00	Kullanılamaz	97,73	Kullanılamaz
2	1,80	Mükemmel	0,19	İyi	36,30	İyi
3	0,65	Mükemmel	-1,53	Şüpheli	14,85	Mükemmel
4	15,7	İyi	8,78	Kullanılamaz	90,18	Kullanılamaz
5	0,71	Mükemmel	-2,63	Kullanılamaz	15,34	Mükemmel
6	5,44	Mükemmel	2,19	Şüpheli	78,67	Şüpheli
7	1,74	Mükemmel	-0,11	İyi	33,53	İyi
8	8,65	Mükemmel	1,66	Şüpheli	73,48	Şüpheli
9	6,40	Mükemmel	3,12	Kullanılamaz	78,62	Şüpheli
10	9,06	Mükemmel	3,83	Kullanılamaz	85,17	Kullanılamaz
11	10,6	İyi	4,83	Kullanılamaz	87,70	Kullanılamaz
12	1,00	Mükemmel	-2,20	Şüpheli	19,74	Mükemmel
13	0,76	Mükemmel	-2,22	Şüpheli	15,19	Mükemmel
14	2,45	Mükemmel	-10,92	Kullanılamaz	28,61	İyi
15	1,91	Mükemmel	-1,55	Şüpheli	32,74	İyi
16	13,6	İyi	5,35	Kullanılamaz	93,66	Kullanılamaz
17	1,41	Mükemmel	-1,22	İyi	26,21	İyi
18	2,21	Mükemmel	0,77	İyi	46,28	İzin Verilebilir
19	12,9	İyi	-4,69	Kullanılamaz	72,02	Şüpheli
20	18,2	Şüpheli	8,18	Kullanılamaz	92,33	Kullanılamaz
21	3,69	Mükemmel	1,31	Şüpheli	57,26	İzin Verilebilir
22	0,27	Mükemmel	-2,54	Kullanılamaz	6,84	Mükemmel
23	1,68	Mükemmel	-5,13	Kullanılamaz	27,01	İyi
24	2,43	Mükemmel	-7,50	Kullanılamaz	33,19	İyi
25	1,03	Mükemmel	-4,04	Kullanılamaz	18,94	İyi
26	11,7	İyi	0,92	İyi	73,68	Şüpheli

İkinci dönem su numunelerinden sadece 2, 7, 17 ve 18 Nolu numuneler hem SAR hem de RSC ve %Na açısından Mükemmel, İyi ve İzin verilebilir sınıfında yer aldığı tespit

edilmiştir. Diğer numuneler en az bir parametresinin yüksek olması sebebiyle sulama suyu amacıyla kullanıma uygun değildir. İki dönem sonuçları birlikte düşünüldüğünde Hayrabolu bölgesinde yeraltı sularının kullanımı çoğunlukla şüphelidir. Daha önce aynı numunelere ait çalışma bulunmama ile birlikte bölgeye yakın lokasyonlardan alınan numunelerin çalışmalarına bakıldığında yüksek sodyumlu su sınıfında yer alan ve sulamaya uygun çıkmayan birçok sonuç elde edilmiştir.

4.2.1. Bor sonuçları

Çizelge 4.12. Birinci dönem sularına ait bor sınıflandırılması

Numune No	Hassas Bitkiler	Orta Hassas Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler
1	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
2	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
3	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
4	Kullanılabilir	İyi	Çok İyi
5	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
6	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
7	İyi	Çok İyi	Çok İyi
8	İyi	Çok İyi	Çok İyi
9	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
10	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
11	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
12	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
13	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
14	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
15	Kullanılamaz	İyi	İyi
16	Kullanılamaz	Kullanılabilir	İyi
17	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
18	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
19	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
20	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
21	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
22	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
23	Kullanılabilir	İyi	Çok İyi

Çizelge 4.13. İkinci dönem sularına ait bor sınıflandırılması

Numune No	Hassas Bitkiler	Orta Hassas Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler
1	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
2	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
3	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
4	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
5	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
6	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
7	İyi	Çok İyi	Çok İyi
8	İyi	Çok İyi	Çok İyi
9	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
10	İyi	Çok İyi	Çok İyi
11	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
12	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
13	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
14	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
15	Kullanılamaz	İyi	İyi
16	Kullanılamaz	Kullanılabilir	İyi
17	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
18	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
19	Kullanılamaz	Kullanılabilir	İyi
20	Kullanılamaz	Kullanılabilir	İyi
21	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
22	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
23	Kullanılabilir	İyi	Çok İyi
24	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
25	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
26	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi

Alınan numunelerin ilk döneminde sadece 15 ve 16 nolu numuneler hassas bitkiler için kullanılamaz durumda olduğu tespit edilmiştir. Diğer su numuneleri sulama suyu açısından İyi, Çok İyi ve Kullanılabilir sınıfında yer almaktadır.

İkinci dönem 15, 16, 19 ve 20 nolu numuneler hassas bitkiler için kullanılamaz durumda olduğu tespit edilmiştir. Diğer su numuneleri sulama suyu açısından İyi, Çok İyi ve Kullanılabilir sınıfında yer almaktadır. Bor açısından genel olarak sulamaya uygundur.

4.2.2. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramlarına göre sınıflandırma

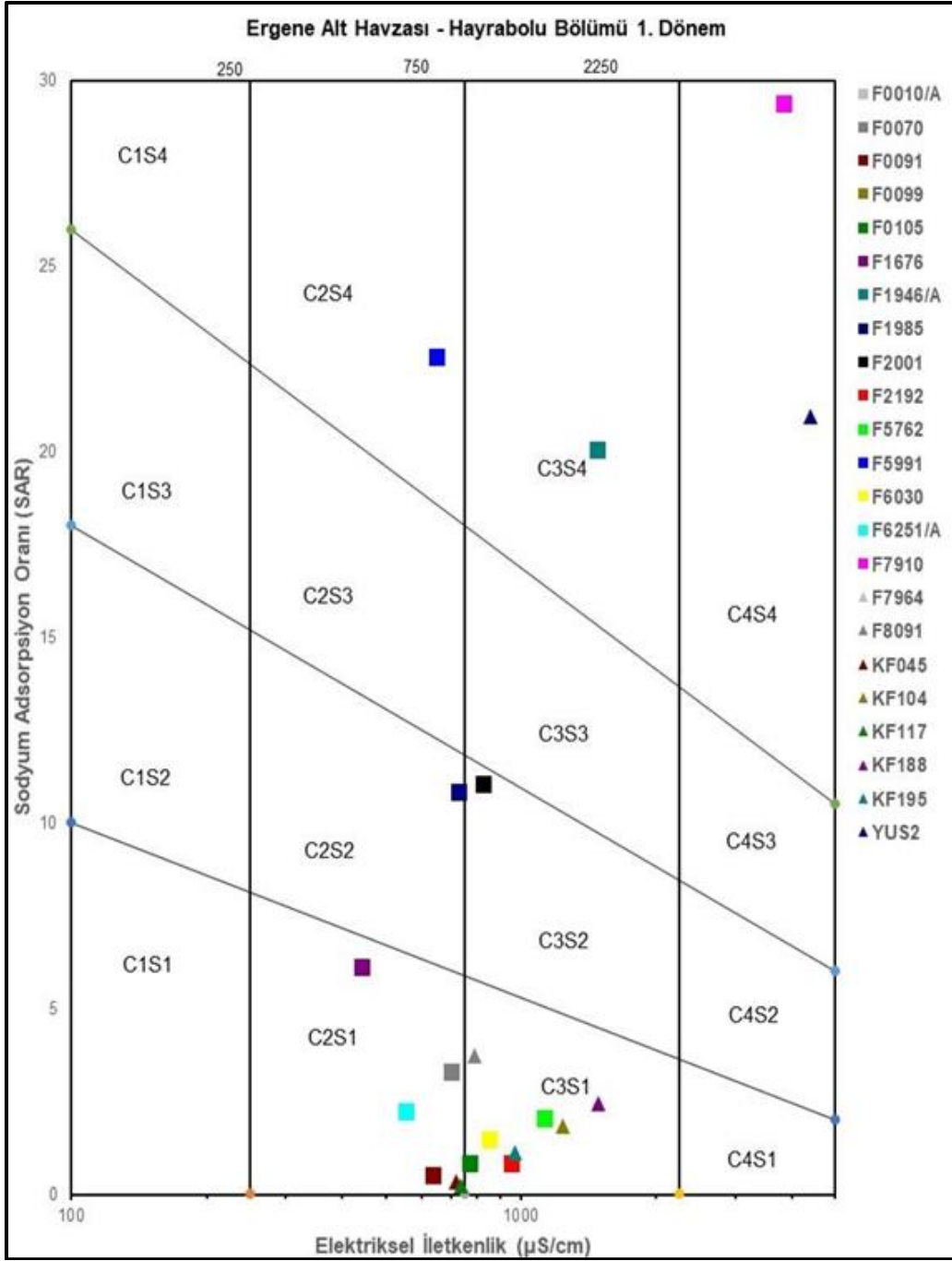
ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları, su örneğinin sodyum ve elektriksel iletkenlik değerlerini baz alır ve sulama amacıyla kullanıma uygunluğunu sınıflandırmak için kullanılır. Çizelge 4.14 ve 4.15’de 1. ve 2. Döneme ait ABD Tuzluluk Lab, Sınıfları, Şekil 4.1 ve 4.2 de Çizilen ABD Lab Tuzluluk diyagramı verilmiştir.

Çizelge 4.14. Birinci dönem alınan numunelerin ABD tuzluluk lab sınıfları

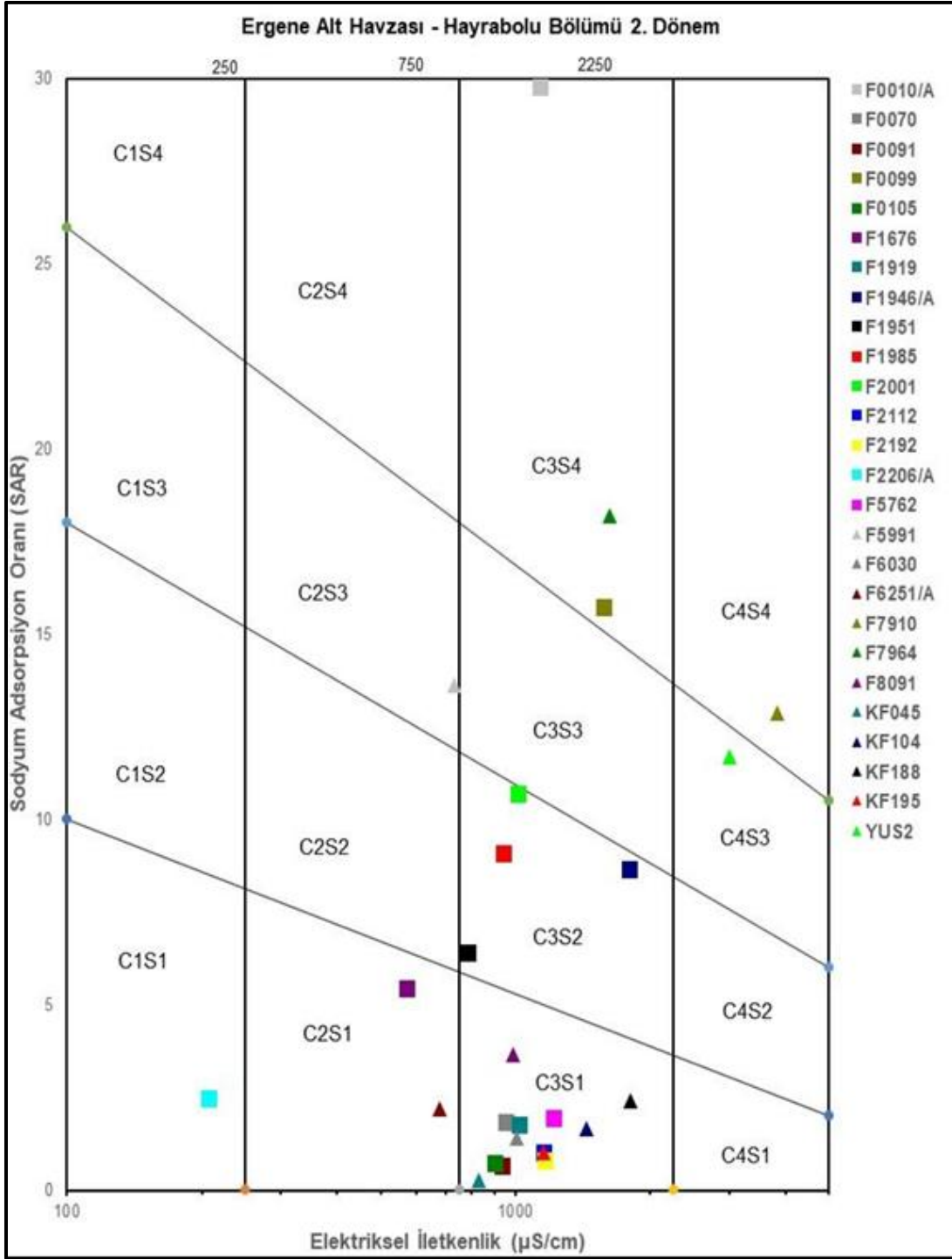
Numune No	Numune Kodu	ABD Tuzluluk Lab Sınıfı (1. Dönem)
1	F0010/A	C ₃ S ₄
2	F0070	C ₂ S ₁
3	F0091	C ₂ S ₁
4	F0099	C ₃ S ₄
5	F0105	C ₃ S ₁
6	F1676	C ₂ S ₁
7	F1946/A	C ₃ S ₄
8	F1985	C ₂ S ₂
9	F2001	C ₃ S ₂
10	F2192	C ₃ S ₁
11	F5762	C ₃ S ₁
12	F5991	C ₂ S ₄
13	F6030	C ₃ S ₁
14	F6251/A	C ₂ S ₁
15	F7910	C ₄ S ₄
16	F7964	C ₃ S ₄
17	F8091	C ₃ S ₁
18	KF045	C ₂ S ₁
19	KF104	C ₃ S ₁
20	KF117	C ₂ S ₁
21	KF188	C ₃ S ₁
22	KF195	C ₃ S ₁
23	YUS2	C ₄ S ₄

Çizelge 4.15. İkinci dönem alınan numunelerin ABD tuzluluk lab sınıfları

Numune No	Numune Kodu	ABD Tuzluluk Lab Sınıfı (2. Dönem)
1	F0010/A	C ₃ S ₄
2	F0070	C ₃ S ₁
3	F0091	C ₃ S ₁
4	F0099	C ₃ S ₁
5	F0105	C ₃ S ₄
6	F1676	C ₂ S ₁
7	F1919	C ₃ S ₁
8	F1946/A	C ₃ S ₂
9	F1951	C ₃ S ₂
10	F1985	C ₃ S ₂
11	F2001	C ₃ S ₂
12	F2112	C ₃ S ₁
13	F2192	C ₃ S ₁
14	F2206/A	C ₁ S ₁
15	F5762	C ₃ S ₁
16	F5991	C ₂ S ₃
17	F6030	C ₃ S ₁
18	F6251/A	C ₃ S ₁
19	F7910	C ₄ S ₄
20	F7964	C ₃ S ₄
21	F8091	C ₃ S ₁
22	KF045	C ₃ S ₁
23	KF104	C ₃ S ₁
24	KF188	C ₃ S ₁
25	KF195	C ₃ S ₁
26	YUS2	C ₄ S ₃



Şekil 4.1. Birinci dönem ABD laboratuvarı tuzluluk diyagramı



Şekil 4.2. İkinci dönem ABD laboratuvarı tuzluluk diyagramı

4.2.3. Sulama suyu kalite indeksi model (IWQI) bulguları

Yeraltı suyunun sulamaya uygunluğunu belirlemek amacıyla sulama suyu kalite indeksi hesaplanmıştır. Elde edilen IWQI değerleri ve su kullanım kısıtlama sınıfı Çizelge 4.16 ve

4.17 de verilmiştir. Kullanım kısıtlama sınıfı Harita 4.1 ve 4.2 de gösterilmiştir. İlk dönem - 3,21 ile 80,46 İkinci dönem 4,23 ile 83,32 arasında değişim göstermiştir.

İlk dönem 7, 15, 16 ve 23 nolu Sularda Ciddi Kısıtlama (SR) Sınıfında yer alırken, 1, 4, 5, 10, 12 ve 18 nolu numuneler Yüksek kısıtlama (HR) Sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Diğer 13 Suyun Orta Kısıtlama (MR), Düşük Kısıtlama (LR) ve Kısıtlama Yok (NR) sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir.

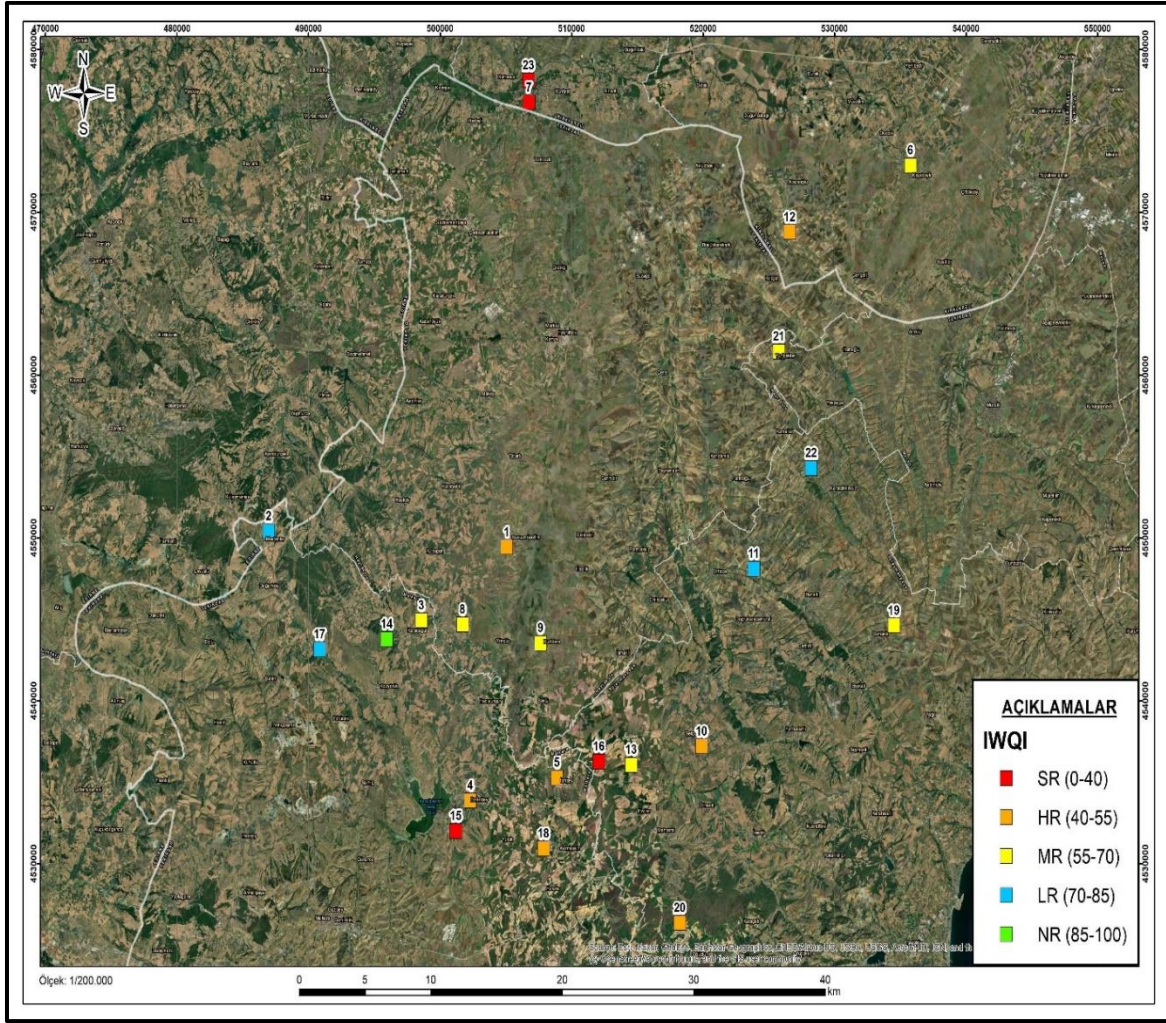
İkinci dönem 19 ve 26 Nolu Sularda Ciddi Kısıtlama (SR) Sınıfında yer alırken, 1, 8, 16 ve 20 Nolu numuneler Yüksek kısıtlama (HR) Sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Diğer 20 Suyun Orta Kısıtlama (MR), Düşük Kısıtlama (LR) ve Kısıtlama Yok (NR) sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.16. Birinci dönem IWQI modeli su kullanım kısıtlama sınıfı

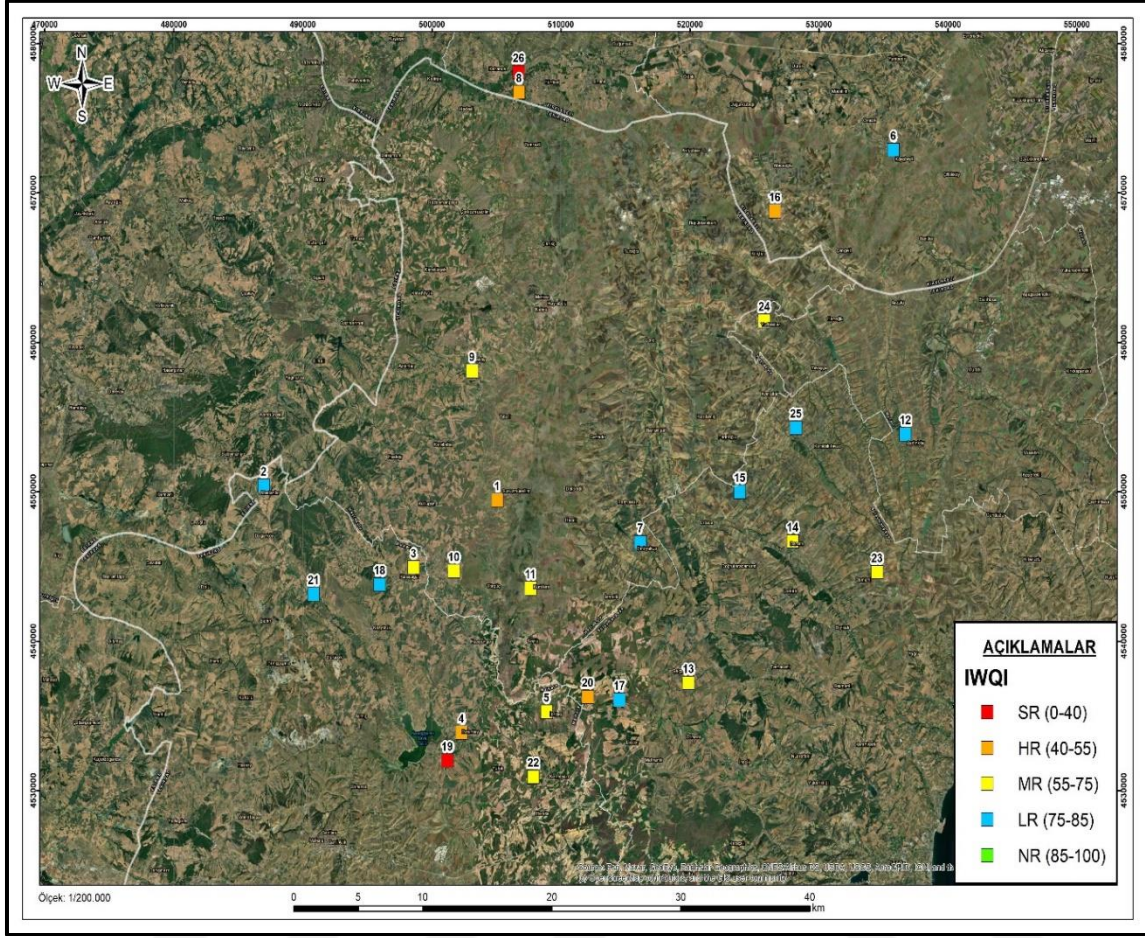
Numune No	EC qi*wi	SAR qi*wi	Na qi*wi	Cl qi*wi	HCO ₃ qi*wi	IWQI	Su Kullanım Kısıtlaması
1	16,62	-3,38	10,31	18,56	1,04	43,14	HR
2	18,11	15,62	15,35	19,36	12,01	80,46	LR
3	18,49	5,03	3,93	19,29	12,01	58,74	MR
4	14,00	-6,46	5,98	16,80	11,30	41,62	HR
5	17,69	3,97	1,93	19,20	6,95	49,73	HR
6	19,60	11,26	15,87	1,74	12,13	60,60	MR
7	12,68	-4,43	6,29	10,50	11,61	36,65	SR
8	17,96	7,54	11,60	19,08	11,44	67,62	MR
9	17,32	7,39	10,84	18,79	12,44	66,78	MR
10	16,39	3,97	1,00	19,20	11,34	51,90	HR
11	15,16	18,76	15,55	18,26	9,83	77,56	LR
12	18,41	0,81	12,04	2,49	9,93	43,68	HR
13	17,11	1,79	21,95	3,24	13,14	57,23	MR
14	18,94	18,28	21,52	19,21	9,84	87,79	NR
15	5,24	-2,95	-6,05	-9,03	13,58	0,79	SR
16	13,50	-7,59	6,07	15,02	11,76	38,76	SR
17	17,57	14,88	14,24	19,21	8,76	74,66	LR
18	18,03	5,49	5,02	3,78	11,86	44,17	HR
19	14,41	0,56	16,17	14,62	13,00	58,76	MR
20	17,94	5,82	5,50	5,20	12,01	46,46	HR
21	12,71	17,60	12,70	13,53	10,51	67,04	MR
22	16,32	2,81	22,68	18,28	12,85	72,94	LR
23	3,87	1,68	-7,25	-6,16	4,65	-3,21	SR

Çizelge 4.17. İkinci dönem IWQI modeli su kullanım kısıtlama sınıfı

Numune No	EC qi*wi	SAR qi*wi	Na qi*wi	Cl qi*wi	HCO ₃ qi*wi	IWQI	Su Kullanım Kısıtlaması
1	15,11	-3,16	6,39	17,98	11,14	47,46	HR
2	16,41	12,24	17,95	18,74	11,68	77,02	LR
3	16,51	12,87	2,82	18,77	11,24	62,21	MR
4	12,32	4,56	6,48	15,29	8,07	46,72	HR
5	16,76	12,84	2,26	18,76	11,86	62,48	MR
6	18,86	11,26	15,73	19,26	11,78	76,88	LR
7	15,90	12,27	17,42	17,40	10,76	73,77	LR
8	11,53	7,54	6,30	6,73	10,85	42,95	HR
9	17,57	7,54	13,27	18,72	10,42	67,52	MR
10	16,47	7,54	10,61	18,18	13,35	66,14	MR
11	15,95	7,54	9,34	18,35	10,60	61,77	MR
12	14,95	12,68	20,30	16,17	10,37	74,47	LR
13	14,92	12,81	1,37	18,97	9,48	57,56	MR
14	20,95	18,28	9,77	11,53	8,51	69,04	MR
15	14,54	12,18	16,10	17,90	10,31	71,02	LR
16	17,97	5,72	12,08	3,99	9,71	49,46	HR
17	16,07	12,45	18,00	18,71	9,69	74,92	LR
18	18,26	18,28	17,98	18,93	8,88	82,32	LR
19	5,27	6,11	-4,84	-14,13	11,82	4,23	SR
20	12,16	3,19	6,38	13,22	8,92	43,86	HR
21	16,17	11,26	14,00	18,46	11,78	71,66	LR
22	17,30	13,08	5,42	5,20	11,66	52,67	MR
23	13,03	12,30	15,99	12,45	11,55	65,32	MR
24	11,52	18,28	12,35	10,13	11,36	63,63	MR
25	14,99	12,66	19,56	17,57	10,89	75,67	LR
26	7,35	7,54	0,86	-1,51	7,45	21,69	SR



Harita 4.1. İlk döneme ait numunelerin su kullanım kısıtlaması



Harita 4.2. İkinci döneme ait numunelerin su kullanım kısıtlaması



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hayrabolu Bölümü'ndeki bir kurak dönem ve bir yağışlı dönem olmak üzere 2 dönem boyunca toplamda 49 adet numune analiz edilmiştir. Analiz edilen suların içme suyu ve sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için su kalite sınıfları incelenmiştir.

Yapılan 17 adet ölçüm ve analiz, örneklerin içme suyu olarak kullanılmasını belirlemek için yeterli olmayıp genel anlamda fikir vermektedir. Değerlendirme referans alınan TS 266, EC ve WHO Standartlarında belirlenen tüm parametrelerin analizi sonrasında nihai uygunluk belirlenebilir.

Değerlendirmede analiz edilen parametrelerin geneli iletkenlik değerinde yükselmeye sebep olabilecek temel anyon ve katyonlarla birlikte yine içme suyu ve kullanma suyu için çok önemli olan Fe, Mn ve Bor parametrelerine bu çalışmada yer verilmiştir.

İçme suyu açısından değerlendirme sonuçlarına bakıldığında 1 ve 2. Dönem sadece 9 adet su numunesinin tüm analiz edilen parametrelerinin Referans Standartlarda belirlenen azami değerlerin altında kaldığı görülmektedir.

Bu çalışmada sulama suyu kullanımına uygunluğun değerlendirilmesi için su numunelerinin SAR, RSC, %Na hesaplanmış değerlendirme kriteri olarak TS 7739 ve Eaton 1950 referans alınmıştır. Bu değerlendirme sonuçlarına bakıldığında su numunelerinin büyük çoğunluğunun sulama amacıyla kullanıma uygun olmayan yüksek sodyum içerikli sular olduğu söylenebilir.

ABD Tuzluluk Lab. diyagramlarına göre ise “C₂S₁” sınıfından “C₄S₄” sınıfına kadar değişken kalitede sınıflarda yer aldığı görülmektedir.

Son yıllarda sulama suyu sınıflandırmasında öne çıkan IWQI modelinin tek bir parametreye göre değil birden çok değişkenin birlikte bir ağırlık değerine göre incelendiği bir hesaplama sistemi olması bütüncül bir değerlendirme yapılmasını sağlamaktadır. Tek bir indeks yoluyla sınıflandırma yapması çok daha pratik bir yol olarak düşünülmektedir.

IWQI modeline göre hesaplanan indekse bakıldığında ilk dönem beş adet, ikinci dönem 9 adet numunenin LR ve NR sınıfında olduğu görülmektedir. Diğer numunelerin kullanımı çoğunlukla şüphelidir. IWQI modeli ile diğer değerlendirme parametrelerinde paralel sonuçlar elde edildiği söylenebilir.

Azami sınır değerleri en çok aşan TDS parametresi 222 ile 2210 mg/L; Elektriksel iletkenlik parametresi 444- 4420 $\mu\text{s}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Yeraltı sularında TDS ve EC'nin artması, çeşitli faktörlere bağlı olarak meydana gelebilmektedir. Tüm bölümde yağışlı dönemde kurak döneme göre EC değerleri yüzey suyu numunesi dışında artması yağışlarla kentsel ve tarımsal alanlardan gelen atıkların suya karışması ve sulama sularındaki yüksek klorür içeriğinin suyun EC sini arttırmasından olabilir, klorür parametrelerindeki artışlarda bunu göstermektedir. Bölümde EC sınır değeri geçen örnekler Hayrabolu Deresi üzerinde ve yakınında bulunmaktadır. Diğer noktalarda ise kurak döneme göre yağışlı döneme göre EC ölçümleri daha az olarak ölçülmüştür, bunun nedeni yağışlar ile birlikte topraktan suya karışan mineral ve kirleticiler olabilir.

Yeraltı sularında temel anyon ve katyon parametreleri, suların kimyasal bileşimini ve kalitesini değerlendirmek için önemlidir. Bu parametrelerin belirli aralıklarda veya miktarlarda bulunması, su kirliliği sorunlarına işaret eder.

Sulardaki klorürün en önemli kaynağı sedimanter kütleler içindeki tuz yataklarıdır. Yüksek sodyum değerinin kaynağı halit, sodyum sülfat, sodyum nitrat, sodyum silikatlar ve volkanik kayalar olabilmektedir. Klorür ve sodyumun birlikte bulunması sodyum klorüre işaret eder.

Analiz edilen numunelerde her iki dönemde de 7 adet numunede Fe ve Mn kirliliği olduğu görülmektedir. Metalik kirlilik endüstriyel faaliyetler, tarım, jeojenik, sanayi ve atık depolama alanları gibi birçok unsurdan kaynaklanabilmektedir. Metaller aynı zamanda endüstriyel aktiviteler, madencilik faaliyetleri ve atık depolama alanlarından sızan kirleticiler ile yeraltı sularına karışabilmektedir.

Çalışma alanı içerisinde çok sayıda DSİ'den ruhsatlı yeraltı suyu kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyuların birçoğu bölgeye içme ve kullanma suyu sağlamaktadır. Bölgedeki yeraltı suyu rezervinin %80'i sulama, içme ve kullanma suyu ya da sanayi amaçlı olarak tahsis

edilmektedir. Bölgedeki sanayi kuruluşlarının önemli bir bölümü su ihtiyacını, yeraltı su kaynaklarından karşıladığı için yeraltı su seviyesinde düşümler olduğu bilinmektedir.

Bölge için hayati öneme sahip olan YAS kalitesi ve miktarı üzerindeki baskılar yayılı ve noktasal kaynaklar olarak ele alınmalıdır. Bu durum bölgede var olan madencilik, endüstriyel, tarımsal ve doğalgaz alanlarında yayılı ve noktasal kirleticilerin kaynakları tespit edilmelidir.

Bölgede Hayrabolu deresine yakın Tekirdağ Malkara Organize Sanayi bölgesindeki endüstriyel faaliyetlerin yeraltı suları üzerinde olumsuz etki oluşturup oluşturmadığı incelenmelidir.

Bölgede birçok I-A, II-A ve I-B grubu maden sahası olduğu bilinmektedir. Bu sahaların metal kirliliğine ne derece etki ettiği incelenmelidir. Madencilik faaliyetleri ile yönetmenliklere uyulup uyulmadığı sık sık kontrol edilmelidir. İzleme ve denetleme çalışmaları yapılmalıdır.

Bölgede sınır değeri aşmış olan parametrelerden kaynaklanacak yeraltı suyu kirliliğinin önlemesi için, öncelikli olarak hayvancılık faaliyetleri hakkında halk bilinçlendirilmelidir. Çünkü halkın uygulamaları konusunda bilinçlendirilmesi hem çevre hem de kendi ekonomik faydaları için çok büyük önem arz etmektedir. Gübre ve pestisit kullanımının belirli koşullar altında kullanılması ve sık sık denetiminin yapılması gerekmektedir.

Arıtma tesisi süreçlerinden sonra açığa çıkan atık sular nehirlere deşarj edilmek yerine derin deniz deşarj yöntemiyle denizlere bırakılabilir. Böylece yeraltı suyu-yüzey suyu etkileşiminden kaynaklı olarak yeraltı sularının kirlenmesi önlenir.

Bölgede taşkınlara bağlı olarak yeraltı ve yerüstü sularının fiziksel ve kimyasal kirliliğe sebep olacak kaygılar mevcuttur. Bu nedenle baraj, regülatör gibi yapılardan bırakılan can suyu miktarları izlenebilir. Dere ve akarsular üzerinde yapılacak yapıların su kaynağının fiziksel özelliklerine uygun olarak inşa edilmesi sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- Ak, Ö. (2019). Okyanuslardaki plastik kirliliği soluduğumuz oksijeni etkiliyor. *Bilim Teknik Dergisi*, 619, 12-13.
- Akgiray, Ö. (2003). İçme suyu kalitesi parametreleri. *Tesisat Dergisi*, 4, 1-12.
- Al-Kubaisi, M. H., Al-Salmani, N. Z., Mohammad, O. J., Fayyadh, A. M. and Orabi, O. H. (2022, September). Evaluation of irrigation water quality index (IWQI) for Habbaniya Lake in Anbar Governorate, Iraq. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. London: IOP Publishing, 120-129.
- American Water Works Association. (1999). *Water quality and treatment: A handbook of community water supplies* (5th Edition). New York: McGraw-Hill Companies, 5-58.
- Ates, N., Dadaser-Celik, F. ve Kaplan-Bekaroglu, S. S. (2021). Evaluation of hydrogeochemical characteristics of groundwater in Mt. Erciyes stratovolcano aquifers. *Geochemistry International*, 59(13), 1368-1384.
- Ayers, R. S. ve Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (2nd edition). Rome: Food and agriculture organization of the United Nations, 174-175.
- Çebi, Ü. (2020). Evaluation of underground water quality in terms of irrigation water in Tekirdağ province. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(6), 1391-1398.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2023). *Meriç-Ergene Havzası taşkın risk yönetim planı hazırlanması için teknik yardım raporu*. Ankara: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 30-31.
- Çolak, M. A. (2021). *Yeraltı sularının sulamaya uygunluklarının matematiksel eşitlikler ve grafiksel yöntemlerle belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun, 3-41.
- Çorba, S. (2021). Gelecekteki tehlike: Su kıtlığı. *TÜBİTAK Bilim Genç Dergisi*, 4, 2-36.
- ÇŞB (2011). *Türkiye çevre durum raporu*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 4-26.
- Demirtaş, A. (2005). Bitkide bor ve etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(2), 217-225.
- Deniz, S. (2021). *Tekirdağ merkez ve Malkara kömür sahaları yeraltı suyu sisteminin modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 14-36.
- Devlet Su İşleri (2001). *Su ve sağlık*. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 5-8.
- Devlet Su İşleri (2018). *Meriç Ergene ve Kuzey Marmara (Trakya kesimi) havzalar master plan raporu*. Edirne: Devlet Su İşleri, 4-41.

- DSİ (2024). *Meriç-Ergene havzası Ergene alt havzası - Hayrabolu bölümü hidrojeolojik etüt nihai raporu*. Ankara: Devlet Su İşleri, 7-21.
- Eroğlu, V. (2008). *Su tasfiyesi* (6. baskı). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 222-223.
- FAO, (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture managing systems at risk*. New York The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Earthscan, 71
- Garrett, D. E. (1998). *Borates: handbook of deposits, processing, properties, and use* (2nd edition). Amsterdam: Elsevier, 12.
- Güler, Ç. (1997). *Su kalitesi*. Ankara: Sağlık Bakanlığı, 4-21.
- Güler, M. S. (2023). *Kastamonu ilinin yeraltı sularının potansiyel kalitesinin incelenmesi, kirletici konsantrasyonlarının tespiti ve yeraltı sularının tarımsal sulama için uygunluğunun değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 2-26.
- Gürel, E. (2011). *Porsuk Çayı su kalitesinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 14-25.
- Güloğlu, (2023). *Adana İli İçme Suyu Kalite İndeksinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 46
- Hem, J.D. (1985) *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. 3rd Edition, US Geological Survey Water-Supply Paper 2254, University of Virginia, Charlottesville, 263.
- Kalkınma Bakanlığı (2018). *Su kaynakları yönetimi ve güvenliği özel ihtisas komisyon raporu*. Ankara: Kalkınma Bakanlığı, 25
- Meireles, A. C. M., Andrade, E. M. D., Chaves, L. C. G., Frischkorn, H. and Crisostomo, L. A. (2010). A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica*, 41(3), 349-357.
- Muluk, C. B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Caliskan, M. A., Balkız, O. ve Zeydanlı, U. (2013). *Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: Çevresel perspektif* İstanbul: Is Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doga Koruma Merkezi, 6-7.
- Raju, N. J., Patel, P., Gurung, D., Ram, P., Gossel, W. and Wycisk, P. (2015). Geochemical assessment of groundwater quality in the Dun valley of central Nepal using chemometric method and geochemical modeling. *Groundwater for Sustainable Development*, 1(1-2), 135-145.
- Regional Salinity Laboratory (US). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (2nd edition). Wasington: US Department of Agriculture, 14-25.
- Serin, A. (2014). *Yeraltı sularında nitrat giderimi*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Urfa, 5-6.

- Sezer, D. (2023). *Mersin ili Anamur ve Aydıncık ilçelerinin yeraltı suyu kalitesinin sulama açısından değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun, 7-38.
- TAGEM (2021). *Tarımsal sulama sektör politika belgesi 2021-2025*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı, 4-32.
- TOBB (2021). *Birinci su şurası: Su kaynaklarının geliştirilmesi grubu çalışma belgesi*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı, 46.
- TOBB (2022) Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, *Meriç-Ergene ve Marmara Havzaları Kuraklık Yönetim Planı Hazırlanması Projesi*, 25.
- TOBB (2023). *Değişen iklime uyum çerçevesinde verimliliği ve strateji belgesi ve eylem planı*. Ankara: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, 19-20.
- Topkaya, B. ve Şen, B. (1995). Su kalitesinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ve su ürünleri açısından önemi. *Doğu Anadolu Bölgesi II. Su Ürünleri Sempozyumu, Erzurum*, 25-41.
- TSE (1989). *7739 sulama suyu standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 19-25.
- WHO (2003) *Iron in drinking water*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2-3.
- World Water Assessment Programme (United Nations). (2009). *The United Nations World water development report* (No. 3). Paris: Unesco Publications, 3-27.
- WWAP (World Water Assessment Programme) (2006). *World water development report 2: Water a shared responsibility*. Paris: Berghahn Books, 2-19.
- Yenigün, A. (2022). *Mardin Kızıltepe ovasının yeraltı suyu kalitesinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Urfa, 4-36.





Gazili olmak ayrıcalıktır