

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARACABEY (BURSA) HAVZASININ HİDROJEOLOJİ VE
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

İhsan Selim ERASLAN

**Danışman
Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [İhsan Selim ERASLAN]

TEZ ONAYI

İhsan Selim ERASLAN tarafından hazırlanan "**Karacabey (Bursa) Havzasının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Simge VAROL
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi İ. İskender SOYASLAN
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

İhsan Selim ERASLAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	5
3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması	5
3.2. Çalışma yöntemleri.....	7
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	9
4.1. Stratigrafi.....	9
4.1.1. Torosan formasyonu (Pzkt)	9
4.1.2. Sazak formasyonu (Pzks)	11
4.1.3. Çamlık metagranodiyoriti (Pzç)	12
4.1.4. Karakaya formasyonu (TRkk)	13
4.1.5. Çal formasyonu (TRkç).....	13
4.1.6. Bayırköy formasyonu (Jba)	14
4.1.7. Bilecik formasyonu (Jkb)	15
4.1.8. Kapıdağ granodiyoriti (Tek).....	16
4.1.9. Göbel formasyonu (Tmg)	17
4.1.10. Mesudiye formasyonu (Tmplm)	18
4.1.11. Bayramiç formasyonu (Tplb)	19
4.1.12. Alüvyon (Qal)	19
4.2. Yapısal Jeoloji	20
4.2.1. Faylar	20
4.3. Jeolojik Evrim	23
4.4. Hidroloji	24
4.4.1. Yağış	24
4.4.2. Buharlaşma	30
4.4.3. Akış.....	36
4.5. Hidrojeoloji	38
4.5.1. Su Noktaları	38
4.5.1.1. Akarsular	38
4.5.1.2. Kaynaklar	40
4.5.1.3. Sondaj kuyuları ve sığ kuyular	42
4.5.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri	42
4.5.2.1. Taneli Ortam Akiferi (Akf-1)	43
4.5.2.2. Karstik Akiferi (Akf-2)	45
4.5.2.3. Akitart Ortam-1 (Akt-1).....	45
4.5.2.4. Akitart Ortam-2 (Akt-2).....	45
4.5.2.5. Akifüj Ortam-1 (Akj-1).....	46
4.5.2.6. Akifüj Ortam-2 (Akj-2).....	46
4.6. Su Kimyası	46
4.6.1. Sularının genel kimyasal özellikleri	47

4.6.1.1. Sertlik.....	51
4.6.1.2. Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH).....	52
4.6.1.3. Özgül elektriksel iletkenlik (EC)	53
4.6.2. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması	53
4.6.2.1. Piper ve Chadha diyagramlarına ile suların sınıflaması	53
4.6.2.2. Schoeller (1955)'e göre suların sınıflaması	56
4.6.3. Suların kullanım özellikleri	57
4.6.3.1. Suların içilebilirlik özellikleri	57
4.6.3.2. Suların sulamada kullanım özellikleri	62
4.6.3.3. Suların endüstride kullanım özellikleri.....	68
4.6.4. Sularda kirlilik araştırmaları	71
4.6.4.1. Azot türevleri	72
4.6.4.2. Ağır metaller	74
4.7. Sağlık Risk Değerlendirmesi.....	78
5. TARTIşMA ve SONUÇLAR.....	86
KAYNAKLAR	91
EKLER	98
ÖZGEÇMİş	101

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARACABEY (BURSA) HAVZASININ HİDROJEOLOJİ VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

İhsan Selim ERASLAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

Bu çalışmada Bursa iline bağlı Karacabey ilçesi ve çevresinin jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş ve sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. İnceleme alanında farklı litolojilere ait kireçtaşı, konglomera, şist ve kumtaşı seviyelerinden boşalan çok sayıda kaynak suyu bulunmaktadır. Ova alanında alüvyon ortamda açılmış sondaj kuyularından ise sulama amaçlı su alınmaktadır.

Karacabey ilçesi ve çevresinde bulunan kaynak, kuyu ve şebeke sularından alınan örneklerin kimyasal analizleri yapılarak kullanım alanları açısından değerlendirilmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃'lı sular fasiyesinde olduğu tespit edilmiştir. Mg artışı formasyonlar içerisindeki kumtaşı ve konglomera seviyeleri ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Kaynak sularından içme suyu amacı için de yararlanılmaktadır. İnceleme alanında suların genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-kasyon içerikleri açısından sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Ancak, yeraltısularının As içeriği 9-79.1 µg/l arasında değişmektedir. As artışı genelde volkanik kayalarla ilişkili olarak jeojenik kökenlidir. Bazı lokasyonlarda NO₃, Fe ve Mn içeriklerinin de içmesuyu standart değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu artışların jeojenik ve antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Çalışmada içme suyu sınır değerlerini aşan As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. Su kaynaklarının oral (içme) ve dermal (deri) yolla alım ile gerçekleşebilecek tehlike katsayıları (HQ), tehlike endeksi (HI) ve kanser riski değerleri yetişkin ve çocuk bireyler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Su kaynaklarının içmesuyu olarak uzun süreli kullanımında sağlık için olumsuz etki oluşabileceği tespit edilmiştir. As elementi açısından kanser riski de oluşabilecektir.

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır. İnceleme alanında yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karacabey, hidrojeoloji, hidrojeokimya, sağlık, Bursa
2019, 97 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF KARACABEY BASIN (BURSA)

İhsan Selim ERASLAN

Suleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

In this study, geological, hydrogeological and hydrogeochemical properties of Karacabey district and its surroundings were investigated and health risk assessment was performed. In the study area, there are a large number of spring water discharged from limestone, conglomerate, schist and sandstone levels of different lithologies. Water is taken from the wells drilled in the alluvial environment in the plain.

Chemical analyzes of the water samples taken from the spring, well and tap in the Karacabey district and around were evaluated in terms of their usage areas. Groundwaters are Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and Mg-Ca-HCO₃ facies. The increase of Mg is originated from water-rock interaction related to sandstone and conglomerate levels in different formations. The spring waters are also used for the purpose of drinking water. In the study area, it is observed that the waters do not exceed the limit values in terms of physical properties and anion-cation contents. However, the As content of groundwater ranges between 9-79.1 µg/l. The increase of As is geogenic origin associated with volcanic rocks. In some locations, NO₃, Fe and Mn contents were found to be higher than the drinking water standard values. These increases are thought to be of geogenic and anthropogenic origin. In this study, health risk assessment was made for As, NO₃, Fe and Mn parameters which exceed drinking water limit values. Hazard Quotient (HQ), Hazard Index (HI) and Carcinogenic risk values of the spring waters for oral (drinking) and dermal (skin) intake were calculated by taking into consideration adult and child individuals. It has been determined that the long-term use of water resources as drinking water may have a negative impact on health. The carcinogenic risk may also be caused by the As element.

The US salinity diagram, Wilcox diagram, residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI) and Magnesium hazard (MH) are used to assess the suitability of groundwater for agricultural purposes. Groundwaters are suitable for usage as irrigation water in the basin.

Keywords: Karacabey, hydrogeology, hydrogeochemistry, health, Bursa
2019, 97 pages

TEŞEKKÜR

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim dalı, Hidrojeoloji bilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma 2012-2019 eğitim-öğretim yılında Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ danışmanlığında yapılmıştır.

Tezin tüm aşamalarında emek ve mesai harcayarak bana yardımcı olan, özenli değerlendirmeleri ile çalışmama ışık tutan ve tezimi yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında her türlü bilgi ve belgeye ulaşmamda yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen Jeo. Yük. Müh. Arzu DURA ve Jeo. Yük. Müh. Özgün ÜNVER'e teşekkür ederim.

Son olarak çalışmalarım sırasında bana maddi ve manevi her türlü desteği gösteren babam Necmi ERASLAN, annem Gülhan ERASLAN ve eşim Jeo. Müh. Fatma ERASLAN'a, çalışmalarım sırasında gösterdikleri anlayış ve fedakârlıklarından dolayı kızlarım Cansu Nisa ERASLAN ve Elif Asel ERASLAN'a teşekkür ederim.

İhsan Selim ERASLAN
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	6
Şekil 4.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.....	10
Şekil 4.2. İnceleme alanı ve yakın çevresinin diri fay haritasındaki konumu.....	21
Şekil 4.3. Bursa ili deprem haritası.....	22
Şekil 4.4. İnceleme alanı çevresindeki DMİ'nin konumları.....	27
Şekil 4.5. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Bandırma DMİ).....	28
Şekil 4.6. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Mustafakemalpaşa DMİ).....	29
Şekil 4.7. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp' nin aylık değişim grafiği (Bandırma DMİ).....	32
Şekil 4.8. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp' nin aylık değişim grafiği (Mustafakemalpaşa DMİ).....	35
Şekil 4.9. D03A100 nolu AGİ uzun yıllar aylık ortalama debi grafiği.....	36
Şekil 4.10. D03A100 nolu AGİ uzun yıllar aylık ortalama debi grafiği.....	37
Şekil 4.11. D03A100 nolu AGİ2017 su yılı günlük ortalama seviye grafiği.....	37
Şekil 4.12. Karacabey havzası drenaj ağı haritası.....	39
Şekil 4.13. Doğancı köyü kaynak boşalımı.....	40
Şekil 4.14. Kepekler köyü kaynak boşalımı.....	41
Şekil 4.15. Yumurcaklı köyü kaynak boşalımı.....	41
Şekil 4.16. Örencik köyü kaynak boşalımı.....	42
Şekil 4.17. 58578-58579 nolu kuyulara ait sondaj logları.....	43
Şekil 4.18. Ovahamidiye su örneği alınan kuyu.....	44
Şekil 4.19. Yenisarıbey su örneği alınan kuyu yeri.....	44
Şekil 4.20. Hidrojeokimya haritası (Ekim-2018).....	49
Şekil 4.21. Piper diyagramı.....	54
Şekil 4.22. Chadha diyagramı.....	56
Şekil 4.23. Schoeller içilebilirlik diyagramı.....	61
Şekil 4.24. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.....	63
Şekil 4.25. Wilcox diyagramı.....	64
Şekil 4.26. Kalsiyum denge diyagramı.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Bursa iline bağlı devlet meteoroloji istasyonları	24
Çizelge 4.2. DMİ'lerde ölçülen yıllık ortalama yağış verileri	25
Çizelge 4.3. Manyas- Nilüfer(Bursa)DMİ'lerde ölçülen yıllık ortalama yağış verileri.....	26
Çizelge 4.4. Bandırma meteoroloji istasyonu için hazırlanan Thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu	31
Çizelge 4.5. Mustafakemalpaşa meteoroloji istasyonu için hazırlanan Thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu.....	34
Çizelge 4.6. Yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri (Ekim 2018)	48
Çizelge 4.7. Fransız sertlik sınıflaması	52
Çizelge 4.8. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması.....	52
Çizelge 4.9. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması	57
Çizelge 4.10. İçme suyu standartları	59
Çizelge 4.11. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflaması	62
Çizelge 4.12. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması.....	65
Çizelge 4.13. Suların sulama suyu ve endüstride kullanım parametreleri	66
Çizelge 4.14. RSC'ye göre sulama suyunun sınıflandırılması.....	67
Çizelge 4.15. Suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerinin denge endeksine göre sınıflandırılması	69
Çizelge 4.16. Suların köpürme özelliğine göre sınıflaması	70
Çizelge 4.17. Su içerisindeki SO ₄ (Sülfat) miktarına göre suların beton üzerine etki etme derecesi	71
Çizelge 4.18. İnceleme alanında yeraltısularının ağır metal, F ve NO ₃ analiz sonuçları.....	73
Çizelge 4.19. İçme suyu ve dermal kullanım için varsayılan değerler	81
Çizelge 4.20. Bazı elementlerin Kp, RfD, SF değerleri.....	82
Çizelge 4.21. Su örneklerinin HQ, HI ve Kanser risk değerleri	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ca ⁺⁺	Kalsiyum
Cl ⁻	Klorür
CO ₃ ⁼	Karbonat
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	Elektriksel İletkenlik
ETa	Gerçek Buharlaşma-Terleme
ETp	Potansiyel Buharlaşma-Terleme
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
i	Hidrolik Eğim
K	Hidrolik İletkenlik
K ⁺	Potasyum
mek	miliekivalen
Mg ⁺⁺	Magnezyum
mg	Miligram
µS	Mikrosiemens
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
n	Gözeneklilik
Na ⁺	Sodyum
NH ₃	Amonyak
NO ₃	Nitrat
P	Yağış
pH	Hidrojen İyonu Aktivitesi
Q	Debi
q	Özgül Debi
r	Korelasyon Katsayısı
SO ₄ ⁼	Sülfat
T	Sıcaklık
TSE	Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü
WHO	World Health Organization

1. GİRİŞ

Son yüzyılda nüfus artışı ve sanayileşme ile yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarına olan ihtiyaç artarken, artan insan baskısı mevcut su kaynaklarını kalite ve miktar açısından da olumsuz etkilemiştir. Ülkemizdeki pek çok havzada içme, kullanma ve sulama suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunlar su kaynakları yönetiminin yapılamamış olması ve kirlilik önlemlerinin alınmaması nedenleriyle gerçekleşmiştir.

Su kaynakları yönetimi, doğal çevrim içerisinde suyun insanlar tarafından gerek nicelik gerekse nitelik olarak en verimli şekilde ekonomik, sosyal ve çevresel faydalar içinde sistematik olarak kullanımı anlamına gelmektedir (Meriç, 2004). Su yönetimi ile farklı amaçlar için en uygun miktar ve kaliteye sahip su kaynaklarının kullanılmasının sağlanması yanısıra kaynakların sürdürülebilirliği de sağlanmaktadır.

Günümüzde yüzey suları kolay ulaşılabilir olmaları nedeniyle olumsuz etkilere daha fazla maruz kalmış ve kullanılamaz duruma gelmiştir. Bu durum yeraltısularının farklı amaçlara yönelik su ihtiyaçlarının karşılanmasında büyük yer tutmasına neden olmuş ve yeraltısularının önemi giderek artmıştır. Ancak, yeraltısularına yönelik artan ilgi, aşırı çekim sonucu koruma kullanma dengesinin bozulmasına neden olmakta, insan faaliyetleri ve doğal kökenli kirlilik riskleri de bu kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Su kalitesi mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanımında en önemli özelliklerinden birisidir.

Yeraltısularının kimyasal bileşimi temas ettiği maddelerin fiziksel özelliklerine, bileşim ve temas süresine bağlı olarak değişir ve suyun kökeni ile etkileşimde olduğu ortamlar hakkında da bilgi verir. Yeraltısularını kirleten etkenlerden en önemlisi antropojenik kirlilik olarak tanımlanan tamamen insan faaliyetlerinden (tarım, sanayi, çöp depolama vb.) kaynaklanan kirliliktir. Ancak, doğal olarak da yeraltısularının geçtikleri kayalar içerisinde bünyelerine aldıkları elementlerle (As, Cr, Fe, Mn, Pb vb.) su kalitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Günümüzde su kaynaklarına olan ihtiyacın artması ve yaşanan problemler her havzada ayrıntılı

hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmaların yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Su kaynaklarının optimum koşullarda sürdürülebilir kullanımı bu çalışmaların varlığına bağlıdır.

İnceleme alanı olarak Marmara Bölgesinin güney Marmara bölümünde, Bursa iline bağlı Karacabey ilçesi ve çevresi seçilmiştir. Karacabey ilçesi ve köylerinde içmesuyu amacı ile kullanılabilir su sıkıntısı bulunmaktadır. Bu sıkıntı daha çok kalite problemlerinden kaynaklanmaktadır. Bölgede ayrıntılı hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmalar bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen araştırma sonuçları bilimsel değerinin olması yanı sıra bölge halkı ve yerel yöneticiler açısından da büyük önem taşımaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Karacabey Ovası Türkiye'nin güneybatısında bulunan Susurluk havzası içerisinde yer almaktadır. 2013 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığı ve TÜBİTAK ortaklığında yapılan "*Susurluk Havzası Havza Koruma Eylem Planı*" Karacabey Ovası sıcak nokta olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama Karacabey Ovasının kirlilik riski taşıyan bir bölge olduğunu göstermektedir. Ancak, Karacabey Ovası hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve kirlilik incelemelerinin yapıldığı ayrıntılı bir araştırma bulunmamaktadır. Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada Karacabey (Bursa) Ovası'nın ayrıntılı hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmaların yapılarak yeraltısularının sürdürülebilir kullanımı için gerekli bilgilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada su kalitesi ve kirliliğe yönelik araştırmalar yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından incelenmiş olup jeoloji ve hidrojeoloji ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Ketin (1947), Bu çalışma özellikle Uludağ Masifi'nin jeolojisine ilişkin yapılan ilk önemli ve kapsamlı bir çalışmadır. Ketin çalışmasında masifi oluşturan ve sınırları uyumlu olan A ve B serilerinden söz etmiştir. Uludağ granitinin kontağa yakın yerlerde yassılaştırmış, gnaysik yapı kazanmış olduğunu, zirvenin güneyinde ise tabakalar arasına girerek tamamen gnays özelliği kazandığı ifade etmiş ve iki ayrı granitin var olduğunu açıklamıştır. Granitlerden orta ve iri taneli, bol biyotitli, damar ve çatlakları fazla olanı "kenar graniti", ufak taneli, biyotit ve muskovitli, damar ve çatlakları çok az olanı ise "çekirdek graniti" olarak betimlemiştir. Granitin, şistlerle birlikte kıvrımlandığını ileri süren yazar, kontaklarda epidot, granat, vollastonit ve skapolit minerallerinden oluştuğunu gözlemiştir.

Okay vd. (1991), Araştırmacılar çalışma alanında yüzlek veren Nilüfer formasyonunu ve genel dağılımını tanımlamışlardır. Söz konusu birimi adayayı-önü volkanizması olarak yorumlamışlardır. Kazdağ Masifi'nin üst kesimlerinin Karakaya Kompleksi'ne ait Nilüfer formasyonunun alt kesimlerine karşılık geldiği belirtilmiştir.

Pehlivan ve Yılmaz (1995), Araştırmacıların çalışmasında Marmara Bölgesinde bulunan termomineral kaynakların dağılımı ile kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Termomineral kaynakların içilebilirliği Schoeller diyagramı ve çevre kanunu su kirliliği kontrol yönetmeliği kalite sınıfları diyagramlarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca Marmara Bölgesi termomineral kaynakları Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları (TS)'nin maden ve kaynak sularındaki iyonlar için müsaade ettiği içmesuyu sınır değerleri ile karşılaştırılarak kaynaklarda bulunan iyonların insan sağlığına olumlu ve olumsuz yönde olabilecek etkileri değerlendirilmiştir.

Emre vd. (2009), Bu çalışmada Batı Türkiye'deki diri fay geometrisi ve bölgenin güncel kinematığı elde edilen yeni veriler ışığında tartışılmıştır. Batı Türkiye'nin güncel tektoniğinin Kuzey Anadolu (KAFS) ve Doğu Anadolu (DAFS) transform fay sistemleri arasında Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışı şeklinde gerçekleşen karmaşık tektonik süreçlerin sonucunda şekillendiği ortaya konulmuştur. Yeni bulgular ile Batı Türkiye'nin kuzeyden güneye doğru KAFS, Kuzeybatı Anadolu Geçiş Zonu ve Ege Açılmalı Tektonik bölgesi olmak üzere üç ana neotektonik bölgeye ayrıldığı belirlenmiştir. Her bölgenin fay geometrisi ve kinematik özellikleri birbirinden farklı olduğu ifade edilmiştir. KB Türkiye'deki güncel deformasyonların büyük çoğunluğunun Avrasya Levhası ile Anadolu Bloğu arasında sınır oluşturan KAFS'nin ana kolu üzerindeki yanal hareketlerden meydana geldiği belirlenmiştir. Kuzey Ege Denizi ile Dokurcun vadisi arasında yaklaşık 500 km uzunluğunda olan KAFS'nin batı kesimi güneye bakan geniş bir büklüm geometrisine sahip olduğu anlatılmıştır. Batı KAFS açılmalı veya sıkışmalı sekme veya büklümlerle birbirinden ayrılan alt fay segmentlerinden oluştuğu açıklanmıştır. Ayrıca çalışma alanında bulunan İnegöl ve Oylat faylarının özellikleri bu kapsamlı çalışma ile ortaya konulmuştur.

M.T.A. (2009), tarafından hazırlanan derleme sonucunda Bursa ili genelinde jeoloji, hidrojeoloji ve doğal afet kaynakları ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmuştur. Geçmişten günümüze kadar Bursa ili için hazırlanmış birçok rapordan yararlanılarak şehrin jeolojik verileri değerlendirilmiş ve yeni yapılan analizlerle güncellenmiştir. Jeolojik araştırmalarda kaya türleri, özellikleri ve nitelikleri açısından tanımlar yapılmıştır. Hidrojeolojik araştırmalarda ise ilde yer alan kaya türlerinin geçirimsizlikleri, gözeneklilikleri ve su tutabilme özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yeraltı ve yüzey sularının niteliklerini belirlemek amacıyla, örnekleme çalışmaları yapılmış ve hidrojeokimyasal özellikler belirlenmiştir. Ayrıca ilin tamamını kapsayacak şekilde ayrıntılı 1/100.000 ve 1/500.000 ölçekli jeolojik haritaları hazırlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

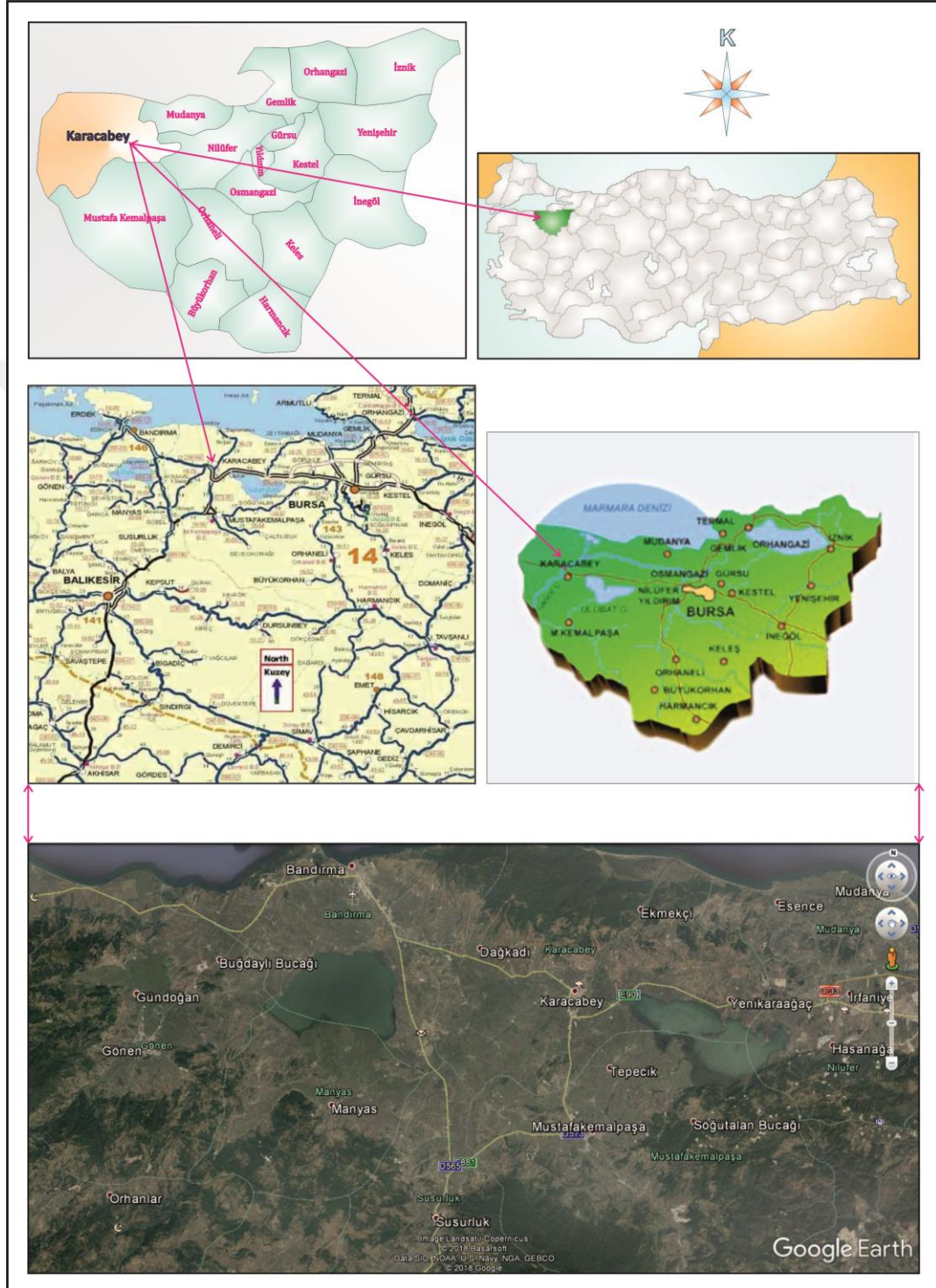
3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

Karacabey, 40. kuzey paralelin 25 km kuzeyinde ve 28. doğu meridyenin 20 km doğusunda yer alır. Karacabey, Marmara Bölgesinin güney Marmara bölümünde, Bursa iline bağlı bir ilçedir. Doğudan Mudanya ve Bursa, güneyden Mustafakemalpaşa, Susurluk, güneybatıdan Manyas, batıdan Balıkesir'in ilçesi Bandırma ve kuzeyden Marmara denizi ile çevrilidir. Bursa- Çanakkale, Bursa – Balıkesir ve İzmir karayollarının kavşak noktasında yer alması ilçenin önemini arttırmaktadır.

Karacabey ovası Kuvaterner döneminde meydana gelen çökmeler ile oluşmuştur. Bu çöküntü oluşunun daha derin olduğu doğu ve batıdaki çukurluklara göller yerleşmiştir. Bu göller doğuda Ulubat, batıda Manyas (Kuş) gölleridir. Karacabey şehrinin olduğu alan eski bir dolgu deposudur. Ortalama yükseltisi (rakım) 24 m'dir. Kıyı şekillerine bakıldığında; Karadağ'ın hemen denizden itibaren yükseldiği, falezli kıyılar oluşturduğu ve bilhassa Malkara-Kurşunlu arasında hilal şekilli küçük koyların bulunduğu görülmektedir. İnceleme alanının kuzeybatısında Kocadere nehrinin denize döküldüğü yerde alüvyonlardan oluşmuş küçük bir delta ovası bulunmaktadır. Bu delta ovası üzerinde akarsuyun her iki yanında iki "Lagün" gölü yer alır. Bu göllerin adları Arap Çiftliği Gölü ve Dalyan Gölüdür. İnceleme alanından geçen en önemli akarsu Simav çayı adıyla Şaphane Dağları'ndan doğan Susurluk ırmağıdır.

İnceleme alanında Akdeniz ikliminin az da olsa Karadeniz iklimine geçiş özelliği gösteren şekli görülür. Yazlar Akdeniz kadar kurak ve sıcak olmaz. Kışlar ılık ve yağışlıdır. Yine enlemin etkisiyle Akdeniz'e göre kış sıcaklıkları daha düşüktür. Karacabey'in kurulduğu alanın deniz seviyesinden yüksekliği 41 - 45 m'dir. Ovanınki ise 13 - 14 m dolayındadır. Karacabey, Güney Marmara'nın iklimini tam olarak yansıtmaz. Bunun en önemli sebebi is nemli hava kütlelerinin yağışa dönüşmesine

imkan sağlayacak yükseltilere sahip olmayışdır. Karacabey, çevresine göre daha az yağış almaktadır.



Şekil 3.1. İnceleme alanının yerbulduru haritası

Toprakları yüksek verimli Karacabey Ovası'nda en çok buğday, arpa, mısır, fasulye, bezelye, şekerpancarı, pamuk, ayçiçeği ve tütün yetiştirilir. Ayrıca patates ve soğan üretiminde gelişen ilçede, sebzeçilik ve meyvecilik de gelişmiştir.

Hayvancılığın ileri düzeyde geliştiği Karacabey; salça ve un fabrikaları yanında dünyaca ünlü Süttaş markasını yaratmıştır. Mahlaç peyniri ile de ünlü Karacabey'in at ve koyun yetiştiriciliği ile ünlü harası ilçenin önemli markalarından biri konumundadır. Türkiye'nin en iyi yarış atları bu harada yetiştirilmektedir.

3.2. Çalışma Yöntemleri

Karacabey Ovasında yeraltısuyu kalitesini belirlemek amacıyla yapılan araştırmalar; jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal çalışmalar olmak üzere 4 ana başlık altında yapılmıştır. Çalışma alanı 1/100000 ölçekli Bandırma H-20, paftasının tamamını kapsamaktadır.

Jeoloji: Çalışmada inceleme alanının ayrıntılı jeoloji haritası önceki çalışmalardan ve arazi çalışmalarından yararlanarak 1/100000 hassasiyetinde hazırlanmıştır. İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler ayrıntılı olarak tanımlanmıştır.

Hidroloji: İnceleme alanı ve çevresinde bulunan Karacabey, Mustafakemalpaşa, Susurluk, Bandırma, Manyas ve Nilüfer Devlet Meteoroloji İstasyonlarından alınan uzun yıllara ait ölçüm verileri değerlendirilmiştir. Bu veriler yardımıyla eklenik sapma grafikleri ile yağışın yıllara göre dağılım grafikleri hazırlanmıştır. Buharlaşmanın çalışma alanındaki potansiyel ve gerçek buharlaşma değerlerini hesaplamak için ise Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır.

Hidrojeoloji: Çalışmanın bu bölümünde inceleme alanında bulunan su noktaları araştırılmış, jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek hidrojeoloji haritası hazırlanmış ve bölgedeki akiferler tanımlanmıştır.

Hidrojeokimya: Bu bölümde, yeraltısularının kimyasal yapısı ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla ova bazında farklı kuyu ve kaynaklardan alınan su

örneklerinin kimyasal analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Laboratuvarı ve Bureau Veritas (Acme-Kanada) Analitik Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti. laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Ayrıca, suların elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri su örneği alımı sırasında arazide Hanna marka çok parametrelili ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar farklı diyagramlar ve haritalar üzerinde yorumlanarak çeşitli kullanım alanları açısından uygunluğu değerlendirilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Stratigrafi

Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından Sakarya Kıtası veya Okay vd. (1989) tarafından Sakarya Zonu olarak adlanan kuşak içerisinde yer alan bölgede birbiriyle tektonik ilişkili, genel olarak KD-GB uzanımlı Üst Paleozoyik ve Triyas yaştaki birimler temel kayalar olarak yüzeylenmektedir (Şekil 4.1).

PALEOZOYİK

Paleozoyik birimler Kalabak Grubu adı altında toplanmıştır. Kalabak grubu olarak adlandırılan bu metamorfik istifin alttaki bölümü Torasan formasyonu, üstteki bölüm ise Sazak formasyonu olarak adlandırılmıştır. Torasan formasyonu ile tektonik ilişkili gözlenen metagranodiyoritler ise Çamlık metagranodiyoriti olarak ayırtlanmıştır.

4.1.1. Torasan formasyonu (Pzkt)

Birim ilk kez Okay (1988) tarafından Karakaya Kompleksi içerisinde Torasan metamorfikleri olarak adlandırılmıştır. Birim genel olarak gri, yeşilimsi kahverenkli, iyi yapraklanmalı, farklı yörelerde değişik metamorfizma derecesinden (düşük yeşilşist –yüksek yeşilşist) etkilenmiş fillat, kuvars-mika şist ve bunlar arasında bantlar halinde görülen mermerlerden oluşmaktadır. Mermerler koyu gri-beyaz renkli olup kıvrımlanmanın yoğun olduğu kesimlerde blok görünümlü mercekler halindedir. Kuvars-albit-klorit-serisit şist, kuvars-albit-muskovit şist kuvarsit gibi petrografik tanımlamaları olan Torasan formasyonunun alt sınırı çalışma alanında görülmemiştir (Pehlivan vd., 2011).

Üstte ve yanalda Sazak formasyonu ile geçişli olan birim yaklaşık 500-750 m kalınlıkta olup Devoniyen yaştaki Çamlık metagranitoyidi tarafından kesilir. Tektonik dilimler halinde daha ince seviyeler olarak Sazak formasyonu içerisinde Torasan formasyonu litolojileri sıkça görülür. Torasan formasyonunun yaşı, inceleme

alanında tektonik ilişkili olmasına rağmen Sakarya Zonu'nun başka bölgelerinde Çamlık metagranodiyoriti tarafından kesilmiş ilişkisi göz önüne alınarak Geç Permiyen-Devoniyen ve/veya öncesi olarak kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

Mermer Üyesi (Pzktm); Torasan formasyonu içerisinde değişik seviyelerdeki gri-beyaz renkli mermer bantları üye mertebesinde haritalanmıştır. Şist ve fillatlarla uyumlu mermer bantları blok görünümlü mercekler halindedirler. Paleontolojik herhangi bir bulgu ile yaş elde edilememiştir (Pehlivan vd., 2011).

4.1.2. Sazak formasyonu (Pzks)

İlk kez Okay (1988) tarafından Karakaya Kompleksi içerisinde Torasan metamorfitlelerinin Sazak üyesi olarak adlandırılmıştır. Formasyon daha sonraki çalışmalarda tanımlanan Nilüfer birimi (Okay vd., 1990) içerisinde incelenmiştir. Formasyon inceleme alanının kuzeyinde geniş alanlarda güneyde ise Boğazpınar ve Soğuksu köyleri güneyinde küçük bir alanda görülmektedir (Pehlivan vd., 2011).

Metatüf, metavolkanit, klorit-aktinolit şist, epidot-aktinolit şist, glokofan-klorit şist gibi petrografik tanımlamaları olan Sazak formasyonu Torasan formasyonunun üst ve yanal kesimlerinde bu birimle geçiş gösterir. Birimin kalınlığı yaklaşık 1000-2000 m'dir. Yeşil, sarımsı yeşil renkli metatüflerle başlayan birim, metavolkanit ve mermer aradüzeylerini de barındırarak devam eder. Mermer ara düzeyleri beyaz renkli olup, birkaç metreden 50-100 m kadar kalınlığa ulaşabilmektedir. Ayrıca birim içerisinde tektonik mercekler halinde daha genç yaşta olabilecek serpantinitle ve bir lokasyonda da (Yenice yakın güneyi) eklojit görülür. Birim içerisinde yer yer rastlanılan granatlı-andaluzitli litolojiler, birimin bu kesimlerinin bir ısıtıcı nedenle düşük basınç-yüksek sıcaklık metamorfizmasına uğradığını gösterir. Volkanosedimanter bir istifin yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış karşılığı olarak görülen Sazak formasyonu altta ve yanalda Torasan formasyonu ile geçiş göstermesi dışında diğer birimlerle olan ilişkisi tektoniktir (Pehlivan vd., 2011).

Mermer Üyesi (Pzksm): Sazak formasyonu içerisinde farklı seviyelerde beyaz renkli mermer bantları üye mertebesinde haritalanmıştır. Birkaç metreden 50-100 metreye varan kalınlıklar sunan mermerler merceksel görünüm sunarlar. Birimde yaş verecek herhangi bir fosil izine rastlanmamıştır (Pehlivan vd., 2011).

4.1.3. Çamlık metagranodiyoriti (Pzç)

Metagranodiyorit, gnays ve metariyolitten oluşan birim Okay vd. (1990) tarafından Çamlık metagranodiyoriti olarak tanımlanmıştır. Birim inceleme alanında kuzeyde Seyran köyü güneyinde, Akçakoyun civarı ve Kıranlar kuzeyinde gözlenmektedir (Pehlivan vd., 2011).

Metamorfik granitik kayaların alterasyon rengi kahverengimsi olup yer yer gnaysik doku gösterirler. Daha taze, yönlenme kazanmamış ve daha açık renkli bazı dayklar bir öncekileri kesmiş olarak görülürler. Bu daykların Devoniyen-Karbonifer dönemindeki birbirini takip eden farklı fazlara ait granitik kayalar mı, yoksa bölgede tespit edilen Eosen yaştaki granitlerin bir parçası mı olduğu tartışma konusudur (Pehlivan vd., 2011).

Çamlık Metagranodiyoritinin yaşı, Okay vd. (1996) tarafından zirkon buharlaştırma yöntemiyle 399 ± 13 My olarak, Bingöl vd. (1982) ve Bingöl vd. (1992) tarafından radyometrik 232-365 My yaşları bulunmuştur. Çalışma alanında Akçakoyun civarından tarafımızca alınan granit örneğinden Rb/Sr yöntemiyle $336,8\pm 4,2$ My (M.Satır) yaşı bulunmuş, ayrıca aynı yöreden A. Okay (sözlü görüşme, 2012) Devoniyen-Karbonifer olarak kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

TRİYAS

4.1.4. Karakaya formasyonu (TRkk)

Karakaya kompleksinin kireçtaşı bloklu detritik, metadetritikli ünitesi Karakaya formasyonu olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanında Çavuşköy ve çevresi ile Doğruca köyü güneyinde gözlenmektedir.

Birim genel olarak boz, yeşilimsi gri, kahverenkli alterasyon renkli kumtaşı, metakumtaşı, şeyl, çamurtaşı, metakonglomera, seyrek olarak tüflü seviyeleri olan Karbonifer ve Permiyen yaştaki kireçtaşı bloklarını içeren bol makaslmalı, kaotik bir görünüm sunar. Ayrıca birim içerisinde moloz akması ve slamp yapıları gibi sedimanter yapılarda görülür. Kireçtaşı olistolitlerinden ve tektonik hatlardan uzaktaki kesimlerde parçalar halinde iç düzenini korumuş kumtaşı-şeyl ardalanması halinde görülen kesimler olağandır. Yeşil şist fasiyesinin düşük mertebesinde metamorfizma geçiren birimin, metamorfizmadan kurtulan veya az etkilenen kesimlerinin dışında kuvars-serisit şist, kuvars-albit-klorit şist gibi metamorfik kayalar örneklerinin geliştiği kesimleri de görülür (Pehlivan vd., 2011).

Karbonifer, Permiyen kireçtaşı-kristalize kireçtaşı bloklarını içeren, inceleme alanında 200-250 m kalınlık gösteren Karakaya formasyonunun yaşı yeni bir bulgu elde edilememesine rağmen, tüm eski çalışmalar göz önüne alınarak Triyas olarak düşünülmektedir (Pehlivan vd., 2011).

4.1.5. Çal formasyonu (TRkç)

İlk kez Blanc (1965) tarafından Çalköy serisi olarak adlandırılan birim daha sonra Okay vd. (1990) tarafından Çal birimi, Akyürek vd. (1984) tarafından da Ankara civarında Ortaköy formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birimin tipik özellikleri Yenice Çan (Çanakkale) ilçeleri arasındaki Çal köyü ve çevresinde görülür. İnceleme alanında Karacabey kuzeydoğusunda küçük bir alanda gözlenmektedir.

Birim mor renk ayrışmalı spilitik bazalt, diyabaz, tuf, volkanojenik kumtaşı ve bunlar içerisindeki kireçtaşı ara seviyeleri ile Üst Permiyen yaştaki kireçtaşı bloklarından oluşur. Bu çalışmada çok sınırlı bir alanda (Tophisar köyü hemen kuzeyi) görülen Çal formasyonu özelliklerini sunan litolojilerin arasındaki (?) kireçtaşları Tophisar üyesi olarak adlandırılmıştır (Pehlivan vd., 2011).

Tophisar Üyesi (TRkçt): Birim Ankara civarında Akyürek vd. (1984) tarafından Ortaköy formasyonunun İmrahor üyesi, çalışma alanında ise Ergül vd. (1986) tarafından Tophisar formasyonu olarak adlandırılmıştır. Gri-beyaz renkteki kireçtaşı ve kırıntılı kireçtaşından oluşan birim volkanojenik kırıntılılarla geçişli olarak görülür. Orta katmanlı kireçtaşları arasında yer yer daha ince katmanlı çörtlü mikritik kireçtaşları da gözlenir. Tophisar civarında üye içerisinde Ergül vd. (1986) tarafından tespit edilen fosil kapsamına göre yaşı Orta-Geç Triyas olarak kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

Kireçtaşı blokları (Pk): Karakaya formasyonu ile Çal formasyonu içerisinde Sakarya Zonu boyunca çok sayıda görülen siyahımsı, gri, bej renkli, kalsit damarlı yer yer kristalize olmuş küçüklü-büyükü kireçtaşı bloklarıdır. Bu bloklar tektonik hareketlenmelere eşlik etmiş platform veya deniz tepeleri tipi sedimanter kökenli olistolit ve olistostromlar olarak yorumlanabilir. Derlenen örnekler ve önceki çalışmalardaki (Ergül vd., 1986; Duru vd., 2007) kireçtaşı bloklarından elde edilen yaş Geç Permiyen'dir (Pehlivan vd., 2011).

JURA

4.1.6. Bayırköy formasyonu (Jba)

Birim ilk kez Bilecik civarında Granit ve Tintant (1960) tarafından Bayırköy kumtaşı olarak, daha sonra da Altınlı (1973) tarafından Bayırköy olarak tanımlanmıştır. Bölgede Ergül vd. (1986) aynı birim için Karakoca Formasyonu adını kullanmıştır.

Çalışma alanında Taşlık, Akçakoyun, Harmanlı, Seyran güneyi ve Çavuşköy civarında görülen birim genel olarak kırmızımsı sarı renkli konglomera, kahverengimsi sarı renkli kumtaşı, silttaşı, kiltası ve kırmızı-bej renkli killi kireçtaşlarından oluşur. Konglomera ve kumtaşlı seviyeler kalın-orta tabakalı, silttaşı ve kiltalı seviyeler ile killi kireçtaşları orta-ince tabakalıdır. Yaklaşık 50-100 m kalınlık gösteren birim üstte keskin bir dokanakla Bilecik formasyonuna geçer. Bu dokanak bir paralel uyumsuzluğa da karşılık gelebilir. Birim Akçakoyun, Harmanlı civarında granitler üzerine, Çavuşköy kuzeyinde ve kuzeybatısında Karakaya formasyonu üzerine açılmal uyumsuzlukla gelir (Pehlivan vd., 2011).

Konglomeralar içerisindeki çakıllar, temeldeki birimlerden ve çoğunlukla da granitten türemiştir. Çakıllar iyi yuvarlanmış ve bağlanmış. Konglomeralar üstte doğru kumtaşı-silttaşı ağırlıklı seviyelere ve giderek killi kireçtaşlarına geçer. Killi kireçtaşı aralarında şeyl seviyeleri de görülür. Bol makro fosilli bu seviyelerde pelesipoda ve brakiyopoda kavrıkları ile ammonit fosilleri vardır. Karacabey kuzeyi Akçakoyun köyü yaklaşık 4 km kuzeybatısında H20-b4 paftasında (koordinat 13.2-60.2) derlenen örneklerde görülen *Agerinamartanum* (Faranacci), *Involutinaliassica* (Jones), *Lingulina sp.*, Lageniidae, Nodosariidae, *Ammodiscus sp.*, gibi fosillere dayanarak Hettanjiyen-Pliyensbahiye yaşı tespit edilmiştir. Sakarya Zonu içerisinde birimin genel yayılım ve konumu düşünülerek, birimin yaşı Liyas olarak kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

4.1.7. Bilecik formasyonu (JKb)

Sakarya Zonu içerisinde yaygın olarak yüzeyleyen Geç Jura-Erken Kratese yaştaki kireçtaşlarından oluşan birim ilk kez Bilecik yöresinde Altınlı (1973) tarafından Bilecik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Daha sonra birçok araştırmacı tarafından aynı adla anılan birim çalışma alanında Ergül vd. (1986) tarafından Akçakoyun formasyonu adı altında incelenmiştir. Bilecik formasyonu inceleme alanında Taşlık, Harmanlı, Çavuşköy, Yeşilçömlü, Ayaz, Kıranlar güneyi, Bayrak Tepe güneyi, Çördük doğusu ve civarlarında yüzlekler verir.

Kalın-orta tabakalı, gri-bej-beyaz renkli oolitik, biyoklast ve intraklast içeren sparitik kireçtaşlarından oluşan birim Bayırköy formasyonu üzerine uyumlu keskin bir dokanakla gelir. Platform tipi karbonatları temsil eden birimin tabakaları yanal yönde değişimler göstererek kalın tabakalardan orta tabakalara, oolitik-sparitik kireçtaşlarında az da olsa radyolaryalı mikritik kireçtaşlarına geçişler gösterir. Ayrıca birimin farklı seviyelerinde yer yer ince-orta kalınlıkta ara seviyeler veya yumrular halinde çörtlere rastlanması Bilecik formasyonunun genel tanımına göre bu yörede bazı farklı litolojik özelliklerin de birim içerisinde var olduğuna işaret eder. İnceleme alanında birimin kalınlığı 250-300 m civarındadır. Birimin yaşı Sakarya Zonu'ndaki genel kabulüne uygun olarak Kalloviyen-Hotriviye olarak kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

EOSEN

4.1.8. Kapıdağ granodiyoriti (Tek)

Kapıdağ Yarımadası'nda tipik olarak gözlenen birim ilk kez Ketin (1946) tarafından Kapıdağ graniti olarak adlandırılmıştır. Birim Streckeisen (1976) üçgen diyagramında granodiyorit alanında yer aldığından Kapıdağ granodiyoriti adı benimsenmiştir (Ercan ve Türkecan, 1984). İnceleme alanında Örencik köyü kuzey-kuzeydoğusunda ve Ekmekçi köyü kuzeydoğusunda gözlenmektedir.

Granodiyoritik ve granitik türde bir sokulum olan bu plüton, dış yüzeyleri oldukça ayrılmış, iç kısımlarında temiz ve sağlam olarak gözlenmektedir. Kapıdağ plütünü kalkalkalin niteliktedir. Kenar zonlarında lamprofir, mikrokristalin granit, pegmatit ve aplit oluşumları mevcuttur. Kapıdağ granodiyoritinin yaşı ile ilgili Delaloye ve Bingöl (2000), biyotit yaşlandırmalarıyla 38-42 My arası yaşlar tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da bu yaşlandırmaya uyularak metamorfite kesen Kapıdağ granodiyoriti Eosen yaşta kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

MİYOSEN

4.1.9. Göbel formasyonu (Tmg)

İnceleme alanında Mustafakemalpaşa güneyi, güneydoğusu ve güneybatısında yaygın olarak yüzeyleyen birim çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, killi kireçtaşı gibi litoloji topluluklarının yanal ve düşeyde birbirleriyle girik olduğu bir istif sunmaktadır. Temel kayalar (Kalabak grubu, Bilecik formasyonu gibi) üzerine açısız uyumsuzlukla gelen birim temelden türeyen çakılların yoğun olduğu ve kumlu ara seviyelerin eşlik ettiği örgülü akarsu çökelleri ile başlar. Üstte doğru çakıltası mercekli kumlu seviyeler baskın litoloji topluluğunu oluşturur. Buraya kadar birimin rengi kırmızı, kahverengi, kirli sarı görünümündedir. Kanal dolgusu ve çapraz tabakalanmalı sedimanter yapılar çokçadır. Birim daha üst ve yanalda giderek ince-orta tabakalı bej-sarımsı beyaz renkli killi kireçtaşları ve bunlarla ardalanmalı gri, yeşilimsi, kirli beyaz renkli kıltaşı ile silttaşlarına geçer. Menderesli akarsu ve gölsel ortama geçişe işaret eden bu seviyelerde arazi alanı dışında (daha güneyde) kömür ve bor gelişimleri vardır. Bu çökel kayalarla yaşıt olduğunu düşündüğümüz andezit, dasit ve yer yer bazaltik volkanik kayalar çökellerle girik olarak görülür. Fazla kalın olmayan gölsel kireçtaşlarında silisifiye olmuş kesimlere rastlanır (Pehlivan vd., 2011).

Göbel Formasyonu, temel kayalar üzerine açısız uyumsuzlukla gelir. Üzerine Geç Miyosen-Pliyosen ve/veya Kuvaterner birimleri diskordansla gelir. Ergül vd. (1986) çalışmalarında fosil bulgularıyla Orta Miyosen yaşı tespit etmişlerdir. Yaş elde edilen seviyelerin birimin alt kesimlerini temsil etmesi dolayısıyla, birimin yaşı Orta-Geç(?) Miyosen olarak kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

Birim içerisinde ve yer yer üzerinde görülen andezit, dasit, bazalt, tuf ve aglomeralardan oluşan seviyeler Mudamköy volkanit üyesi olarak ayrılanmıştır.

Mudamköy Volkanit Üyesi (Tmgm) : Andezit, dasit ve bazalt ile seyrek olarak bulunan tuf ve aglomeralardan oluşan birim dağınık mostralarda halinde Göbel formasyonu içerisinde ve üstünde görülür. Göbel formasyonunun üst düzeylerinde bu

volkanitlere ait çakılların görülmesi çökellerle volkanitlerin ilişkisinde eş yaşlı olmanın yanında bir yandan da aşınmalı karasal ilişkiye işaret eder. Karasal çökeller üzerine-arasına gelen lav akıntıları üzerine konglomera ve kumlu seviyeler devam eder (Pehlivan vd., 2011).

Lavlar genellikle açık renkli asidik özelliklidir. Andezit, dasit ve riyodasit olarak adlandırılan kayalar kirlili sarı, pembemsi ve kahverengimsi renkler sunarlar. Bu özellikteki kayalar Mudamköy, Derecik, Ocaklı, Soğuksu ve Yeniköy civarında yüzlekler verir. Mudamköy volkanit üyesine dahil edilen daha koyu renkli bazaltik volkanitler Kirazlı ve Çavuşköy civarında yüzlekler verir. Bu kayalar farklı bir volkanizmayı işaret etmesine rağmen benzer konumları dolayısıyla aynı formasyon içerisine katılmışlardır (Pehlivan vd., 2011).

Yaklaşık 200-250 m kalınlık sunan birimin üzerine Geç Miyosen-Pliyosen ve/veya Kuvaterner birimleri diskordansla gelir. Göbel formasyonunda ara ve üst düzeylerinde yer alması dolayısıyla birimin yaşı Geç Miyosen olarak kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

4.1.10. Mesudiye formasyonu (Tıplm)

Birim inceleme alanında Ulubat gölü kuzeyinde gözlenmektedir. Temel birimler üzerine konglomera ve kumtaşları ile diskordan olarak gelen birim inceleme alanı doğu-kuzeydoğusunda kıltaşı-marn ara katkılı gölsel killi kireçtaşlarına geçer. Bu kireçtaşları ince-orta tabakalanmalı beyaz-sarı renklidir. Ostrakod ve Gastropod fosilleri içerirler (Pehlivan vd., 2011).

Konglomera-kumtaşı ağırlıklı seviyelerde çapraz tabakalanma, kanal dolgusu yapıları yaygın olarak görülür. Varol vd. (1997) birim içindeki gölsel kireçtaşlarından Geç Miyosen olarak bahsederler. Birimin genel stratigrafisini de göz önüne alarak Geç Miyosen-Pliyosen yaşı uygun görürler. Birimin yaşı Geç Miyosen-Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

PLİYOSEN

4.1.11. Bayramiç formasyonu (Tplb)

Formasyon kırmızı-kahve renkli konglomera, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan alüvyon yelpazesi, örgülü ve menderesli akarsu karakterindeki litoloji topluluklarından oluşur. Gevşek tutturulmuş, ayrışma-aşınmaya kolay uğrayan birimde kanal dolgusu ve çapraz tabakalanma gibi sedimanter yapılar yaygın olarak görülür. Çakıllar bölge temelindeki bütün birimlerden gelen çok çeşitlilik gösteren, iyi yuvarlanmış özelliktedir. Bayramiç formasyonu çökelleri içinde erozyonal taban yüzeyli konglomeralar ile başlayıp, kumtaşlarına ve çamurtaşlarına geçen yukarı doğru incelen istifler gözlenir. Ayrıca bu çökeller yanal büyüme yüzeylerine sahip nokta barları da oluştururlar (Pehlivan vd., 2011).

Bayramiç formasyonu kendinden önce gelişen tüm birimler üzerine uyumsuz olarak yer alır. Pliyo-Kuvaterner yaşta olduğu söylenen flüviyal çökeller, çalışma alanında geniş yayılım gösteren Karacabey Kuvaterner çökellerinin alt kesimlerinde ve diskordans ilişkili görüldüğü göz önüne alınarak Pliyosen yaşta kabul edilmiştir (Pehlivan vd., 2011).

KUVATERNER

4.1.12. Alüvyon (Qal)

Karacabey-Mustafakemalpaşa-Kuşgözü (Manyas) üçgeninde geniş yayılım gösteren, ovayı dolduran tutturulmamış yer yer az tutturulmuş çakıl, kum, silt, ve çamurdan oluşur. Birim temel ve en genç Bayramiç formasyonu üzerine diskordansla yer alan kalın bir akarsu tortul istifi oluşturur (Pehlivan vd., 2011).

4.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanında yüzeyleyen birimler geç tektonik evre (aktif faylar) dışında önemli üç farklı tektonik evreden etkilenmiş olmalıdır. Bu tektonik evrelerden birincisi Geç Paleozoyik yaştaki Kalabak grubuna (özellikle Torasan formasyonu) ait kayaları

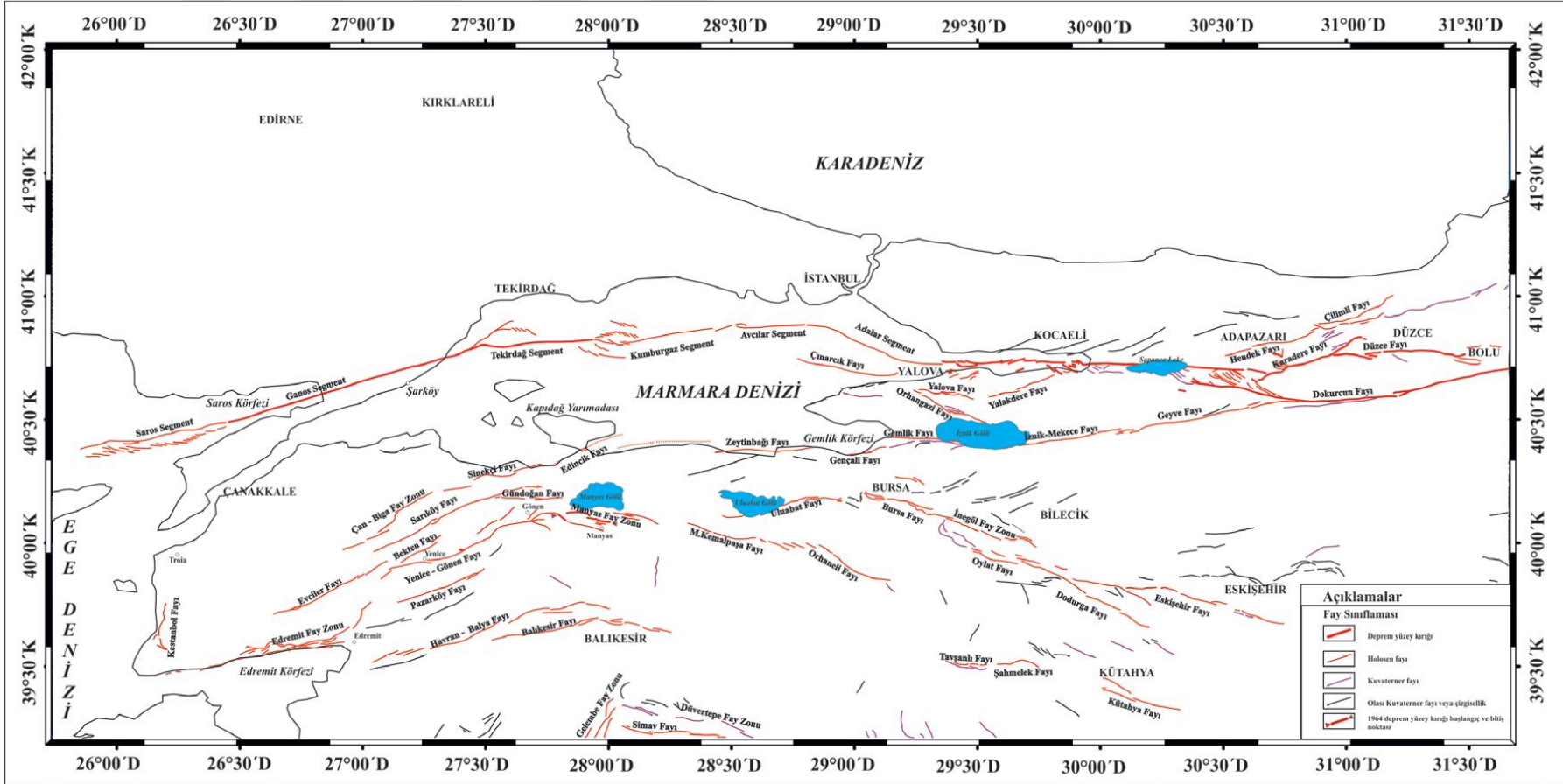
kesen Devoniyen-Karbonifer yaştaki Çamlık metagranodiyoritinin oluşma dönemidir. Hersiniyen orojenik evresine karşılık gelen bu dönemde Kalabak grubuna ait birimler Çamlık metagranodiyoriti ile birlikte (bazı ve/veya birçok bölümleri) metamorfizma – tektoniğe maruz kalmışlardır (Pehlivan vd., 2011).

Tektonik evrelerden ikincisi Geç Triyas dönemidir. Bu dönemde Geç Paleozoyik (Kalabak grubu ve Çamlık metagranodiyoriti) birimleri, üzerine gelişen Triyas yaştaki Karakaya Kompleksine ait birimlerle birlikte Geç Triyas yitim zonuna ait litoloji topluluklarıyla (metaserpantinitler, eklojitler, granatlı şistler gibi) tektonik konumda iç içe girmişlerdir. İnceleme alanında üçüncü tektonik evre ise Eosen zamanındadır. Kapıdağ granitlerinin oluştuğu bu dönemde Devoniyen-Karbonifer'den bu yana dalmasını sürdüren Tetis Okyanusu (güneyde İzmir-Ankara Zonu) kapanımını tamamlamıştır. Çalışma alanı güneydeki kuzeye dalımını tamamlayan zonun kuzeydeki alanlarını karşılar (Pehlivan vd., 2011).

Bölgede çok sayıda diri fay mevcuttur. Bunlar genelde Anadolu'nun batıya kaçma hareketine bağlı gelişen sağ yanal atımlı doğrultu fayları olup Karacabey fayı, Ulubat fayı, Mustafakemalpaşa fayı ve Manyas fayı olarak adlandırılmıştır (Emre vd., 2011).

4.2.1. Faylar

İnceleme alanı deprem potansiyeli taşıyan aktif fayların bulunduğu bölgede yer almaktadır. 6 Ekim 1964'te meydana gelen Manyas-Karacabey depremi (M= 6.9) muhtemelen bu faylardan kaynaklanmıştır. Havza içi ve çevresinde bulunan Karacabey fayı, Ulubat fayı, Mustafakemalpaşa fayı ve Manyas fayı aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır (Şekil 4.2; 4.3).



Şekil 4.2. Çalışma alanı ve yakın çevresinin diri fay haritasındaki konumu (Emre vd., 2011).

dokanak boyunca yer alır. Manyas fayının Beyköy-Azatlı arasındaki ikinci parçası D-B doğrultulu ve 19 km uzunluktadır. Azatlı-Melde çiftliği arasında alüvyonları kesen fay, batıda Yumurcaklı'ya kadar volkanitler ile alüvyonların dokanağı boyunca yer alır. Fay, Yumurcaklı ile Beyköy arasında tamamen alüvyonlar içerisinde izlenir. Beyköy-Kızıkısa köyleri arasında yer alan 20 km'lik parçanın genel gidişi K70B'dir. Fay, Ovaesemen-Karaçalılık arasında alüvyonları keser. Karaçalılık batısında Tersiyer yaşlı birimler ile alüvyon dokanağı boyunca yer alır. Manyas fayının Kepekler-Gönen arasında uzanan 42 km'lik parçası D-B genel gidişlidir. Fay, Ilıcaboğazı-Hamamlı arasında alüvyonları keser. Salur-Deydin köyleri arasında kalan 6 km'lik bölümü, Kuvaterner yaşlı çökeller ve yer yer Tersiyer yaşlı birimler ile alüvyonların dokanağı boyunca yer alır. Fay, Deydin-Salur arasındaki düzlüğü güneyden sınırlar. Manyas fayının Gönen-Salur arasında uzanan 21 km'lik bölümü en belirgin izlenebilen parçasıdır. 1964 Manyas depreminde en çok hasar, bu parça boyunca yoğunlaşmıştır. Manyas fayı, Kemalpaşa çayı ve Canbalı deresini 1 km sağ yönde ötelemiştir. Bu veriler, fayın normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterli olduğunu göstermektedir (Emre vd., 2013).

4.3. Jeolojik Evrim

İnceleme alanındaki en yaşlı formasyonlar Eski Temel Karmaşığı içinde bulunan Uludağ Grubu olarak adlandırılan birimler topluluğudur. Bunu oluşturan çeşitli şistler, gnayslar ve mermerler, detritik kayaçların, killerin ve kireçtaşlarının çeşitli derecelerde metamorfizma geçirmesiyle oluşmuşlardır. Granit intrüzyonu olurken Uludağ'ın çekirdeğini oluşturan kayaçlar antiklinal olarak yükselmeye başlamıştır. Yöredeki bazik ve ultrabazik intrüzyonların eski jeosenkinal safhaya ait olduğu düşünülmektedir. Bundan sonra Antekambriyen fazlarından birinde paroksizmal kıvrımlanma geçiren bölge bugüne kadar koruduğu ana taslağını elde etmiştir.

Antekambriyenden sonra Paleozoik esnasında transgresyon ve regresyonlar ince ve kaba detritiklerle girintili ve merceksel olabilen kireçtaşlarını oluşturmuştur. Bundan sonra bölge Permien devri fazlarından biriyle kıvrımlanarak yükselmiş ve aşınmaya başlamıştır. İnceleme alanındaki Neojen birimler ise karasal ve gösel fasiyestedir.

Neojen devrindeki gölün güney kenarında dağdan inen sel sularının taşıdığı selinti malzemesi birikmiştir. Derin suda durmuş olan marn ile bu selinti malzemesi iç içe bulunmaktadır. Genç Alpin Attik veya daha genç bir faz ile bölge geniş kıvrımlar kazanarak yükselmiş ve çökme sona ererek bölge aşınmaya uğramıştır (Altınlı, 1965).

4.4. Hidroloji

Çalışma alanının ayrıntılı hidroloji araştırmalarının yapılması amacıyla, havzanın içerisinde ve yakın çevresinde bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonlarının uzun yıllara ait ölçümleri değerlendirilerek yağış, buharlaşma ve terleme (evapotranspirasyon) hesaplamaları yapılmıştır.

4.4.1. Yağış

İnceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan yerleşim birimlerinde ortalama yağış, Karacabey-2508 nolu DMİ'de 592.16 mm, 17673 nolu DMİ'de 573.42 mm, Mustafakemalpaşa-699 nolu DMİ'de 706.47 mm, 17675 nolu DMİ'de 680.15 mm, Susurluk-3132 nolu DMİ'de 732.19 mm, 17705 nolu DMİ'de 712.95 mm, Bandırma 17114 nolu DMİ'de 710.46 mm, 17115 nolu DMİ'de 727.04 mm, 17422 nolu DMİ'de 666.78 mm, Manyas DMİ'de 679.09 mm ve Bursa-Nilüfer DMİ'de 606.93 mm olarak hesaplanmıştır. Bu istasyonların bazı özellikleri Çizelge 4.1'de, yıllık yağış miktarları Çizelge 4.2 ve 4.3'de ve konumları Şekil 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bursa iline bağlı devlet meteoroloji istasyonları

İstasyon adı	İstasyon no			Enlem		Boylam			Rakım		
Karacabey	2508		17673	-	40.13	-		28.33	-		15
Mustafakemalpaşa	699		17675	-	40.04	-		28.39	-		60
Susurluk	3132		17705	-	39.91	-		28.16	-		47
Bandırma	17114	17115	17422	40.33	40.32	27.99	27.97	27.95	63	42	13
Manyas			17699		40.04			27.97			50
Bursa-Nilüfer			18386		40.22			28.86			105

Çizelge 4.2. DMI'lerde ölçülen yıllık ortalama yağış verileri (mm)

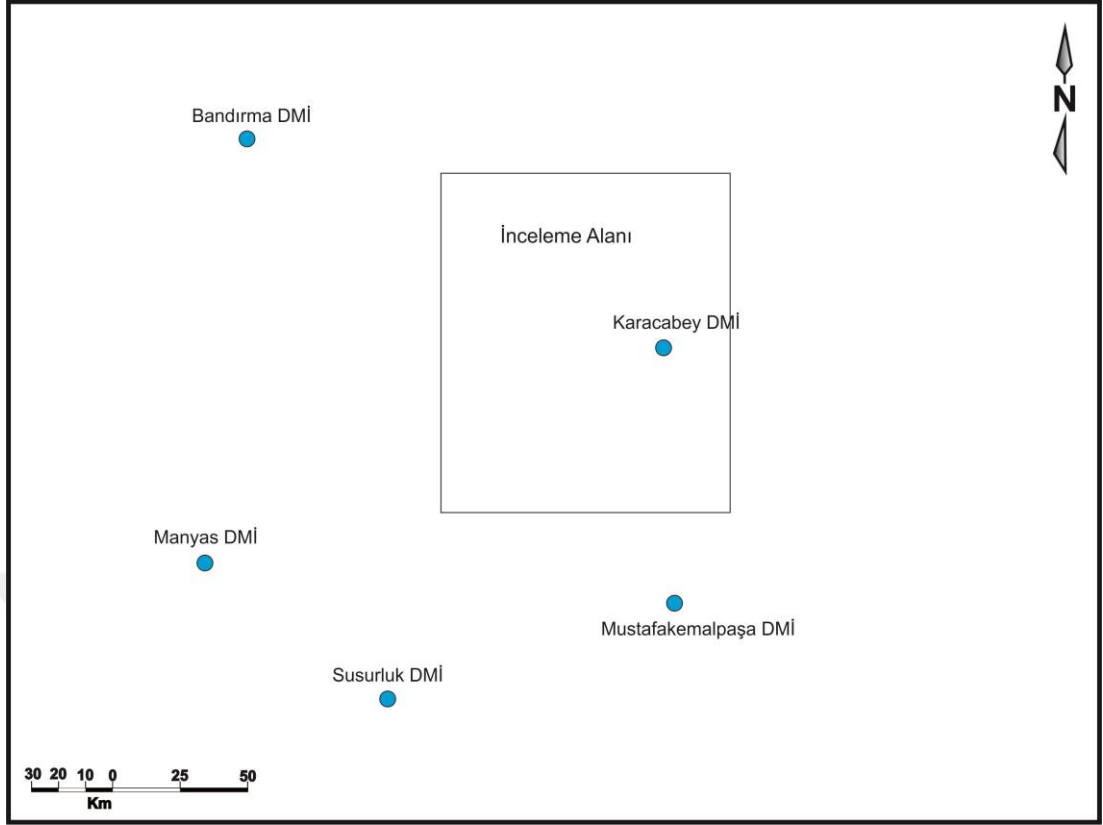
Yıllar	KARACABEY		MUSTAFAKEMAL PAŞA		SUSURLUK		BANDIRMA		
	2508	17673	699	17675	3132	17705	17114	17115	17422
1950							645.1		
1951							653.6		
1952							718.9		
1953							725.1		
1954							600.0		
1955							901.8		
1956							606.6		
1957							446.6		
1958							667.6		
1959							674.2		
1960							707.0		
1961							635.7		
1962							872.3		
1963							854.2		
1964			692.3				591.3		
1965			686.0				921.5		
1966			744.0				812.4		
1967			714.7				633.4		
1968			986.6				867.6		
1969			739.1				670.4		
1970			894.8				755.2		
1971			689.6				672.9		
1972			676.4				681.4		
1973			837.0				599.4		
1974			647.4				591.3		
1975			668.8				870.4		
1976			654.4				621.7		
1977			660.2		742.2		739.2		
1978			783.0		922.6		1086.2		
1979			759.1		846.6		736.9		
1980			924.2				763.5		
1981			910.5		1193.6		1048.1		
1982			584.6		607.7		539.9		
1983			670.2		661.7		696.3		
1984			594.4		668.6		485.6		
1985			582.4		1042.7		644.5		
1986			615.0		687.6		701.4		
1987			962.8		1107.8		746.0		
1988			630.2		720.6		862.6		
1989			596.7		485.2		613.9		
1990			674.2		773.1		629.7		
1991	536.4		571.0		619.8		787.5		
1992	481.4		711.0		493.2		586.2		
1993	458.7		529.8		452.6		516.9		
1994	687.3		678.5		631.4		715.6		
1995	677.0		724.2		692.7		637.0		
1996	543.3		682.5				618.3		
1997	758.7		858.7		549.0		841.1		
1998	685.3		761.3		745.0		853.4		

Çizelge 4.2.'nin devamı

1999	501.3		539.3				593.3		
2000			697.8				540.4		
2001			616.8				734.5		
2002			634.3				589.4		
2003			837.2				773.5		
2004			592.2				590.6		
2005		628.4	658.4	461.0		349.2	817.1		548.4
2006		437.8		471.2		432.4	552.4		333.4
2007		525.2		585.8		563.8	482.6		369.8
2008		517.2		555.2		429.4	599.7		593.8
2009		674.4		899.4		987.8	1028.7	708.4	986.4
2010		866.6		1139.4		1116.4	1022.3	923.4	907.6
2011		392.2		568.2		594.0	876.8	703.8	637.2
2012		466.6		781.6		809.8		776.5	821.2
2013		420.2		660.8		818.2		610.4	640.4
2014		650.6		802.6		804.2		853.1	899.4
2015		612.6		536.4		787.8		612.1	569.3
2016		720.3		686.6		950.6		699.7	759.4
2017		542.4		693.8		624.8		656	601.8
ORT.	592.16	573.42	706.47	680.15	732.19	712.95	710.46	727.04	666.78
YIL	9	13	42	13	20	13	62	9	13

Çizelge 4.3. Manyas- Nilüfer(Bursa) DMİ'lerde ölçülen yıllık ortalama yağış verileri (mm)

Yıllar	MANYAS	BURSA-NİLÜFER
	17699	18386
2005	663.2	
2006	500.7	
2007	583.6	
2008	508.2	
2009	921.0	
2010	962.6	
2011	602.4	
2012	620.6	
2013	619.4	
2014	787.8	741.3
2015	682.7	582.7
2016	658.2	622.8
2017	717.8	480.9
TOPLAM	8828.2	2427.7
ORT.	679.09	606.93
YIL	13	4

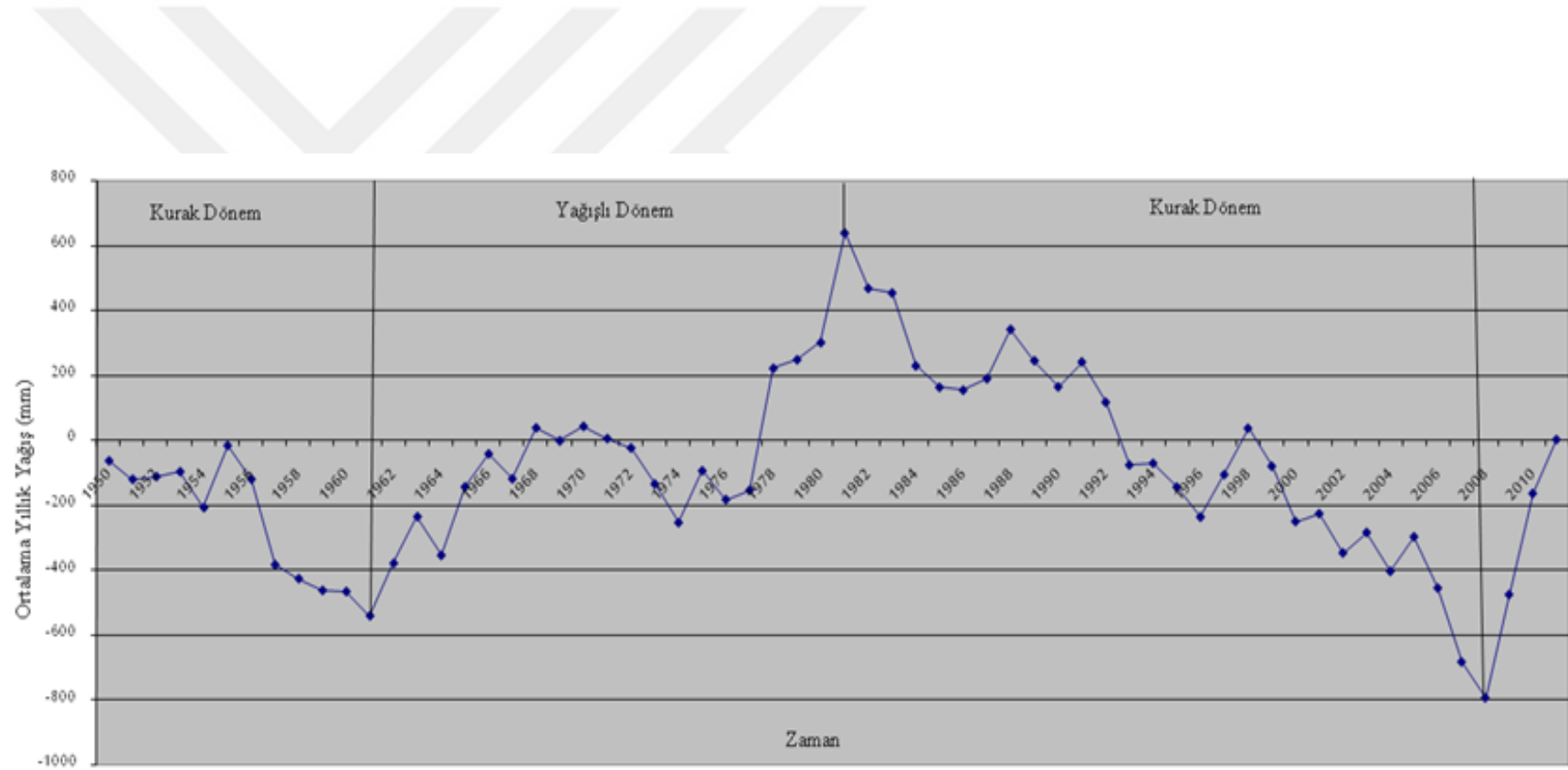


Şekil 4.4. İnceleme alanı çevresindeki DMI'nın konumları

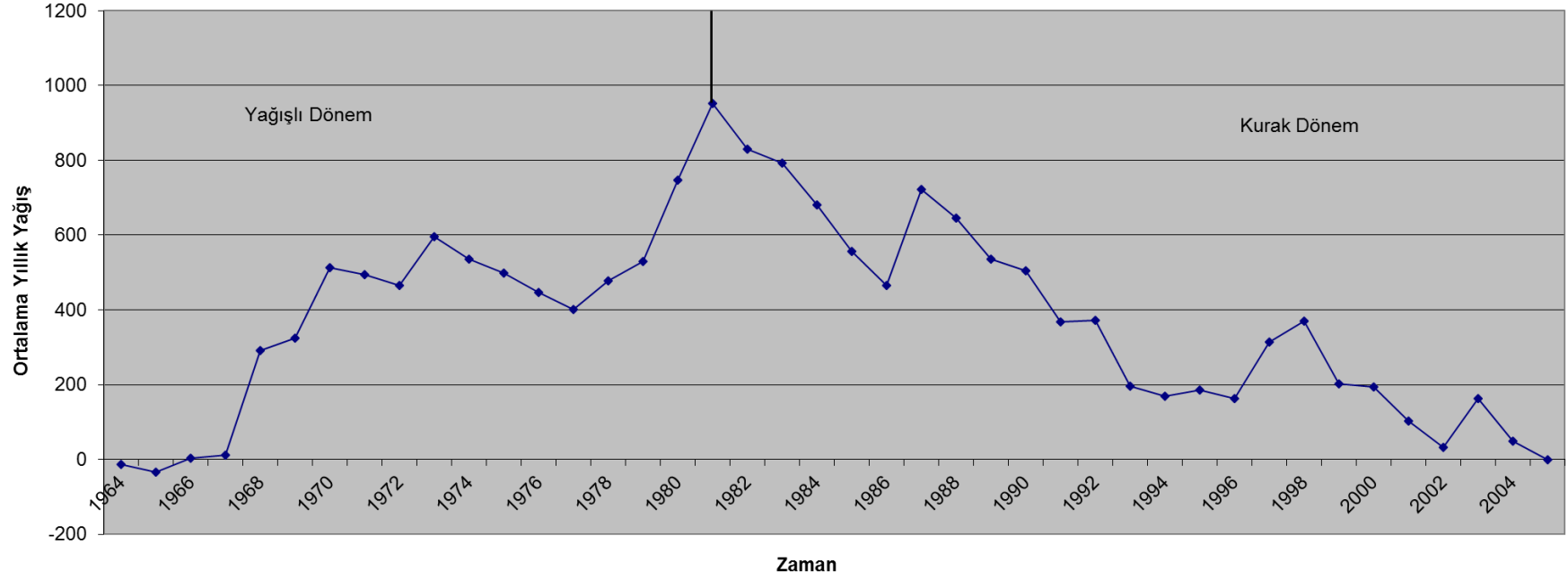
İnceleme alanı ve yakın çevresinde uzun yıllar ölçüm yapılmış olan Bandırma ve Mustafakemalpaşa istasyonları için eklenik sapma grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 4.5, 4.6).

Bandırma istasyonuna ait eklenik sapma grafiğinde, 1950-1962 yılları arası kurak dönem, 1962-1981 yılları arası yağışlı dönem, 1981-2008 yılları arası kurak dönem, 2008-2011 yılları arası yağışlı dönemi temsil etmektedir (Şekil 4.5).

Mustafakemalpaşa istasyonuna ait eklenik sapma grafiğinde, 1973-1977 yılları arası yağışların azalmasına rağmen genel olarak 1964-1981 yılları arasında yağışlı dönem gözlenmiştir. 1982-2005 yılları arasında ise kurak dönem hakimdir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Bandırma DMİ)



Şekil 4.6. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Mustafakemalpaşa DMİ)

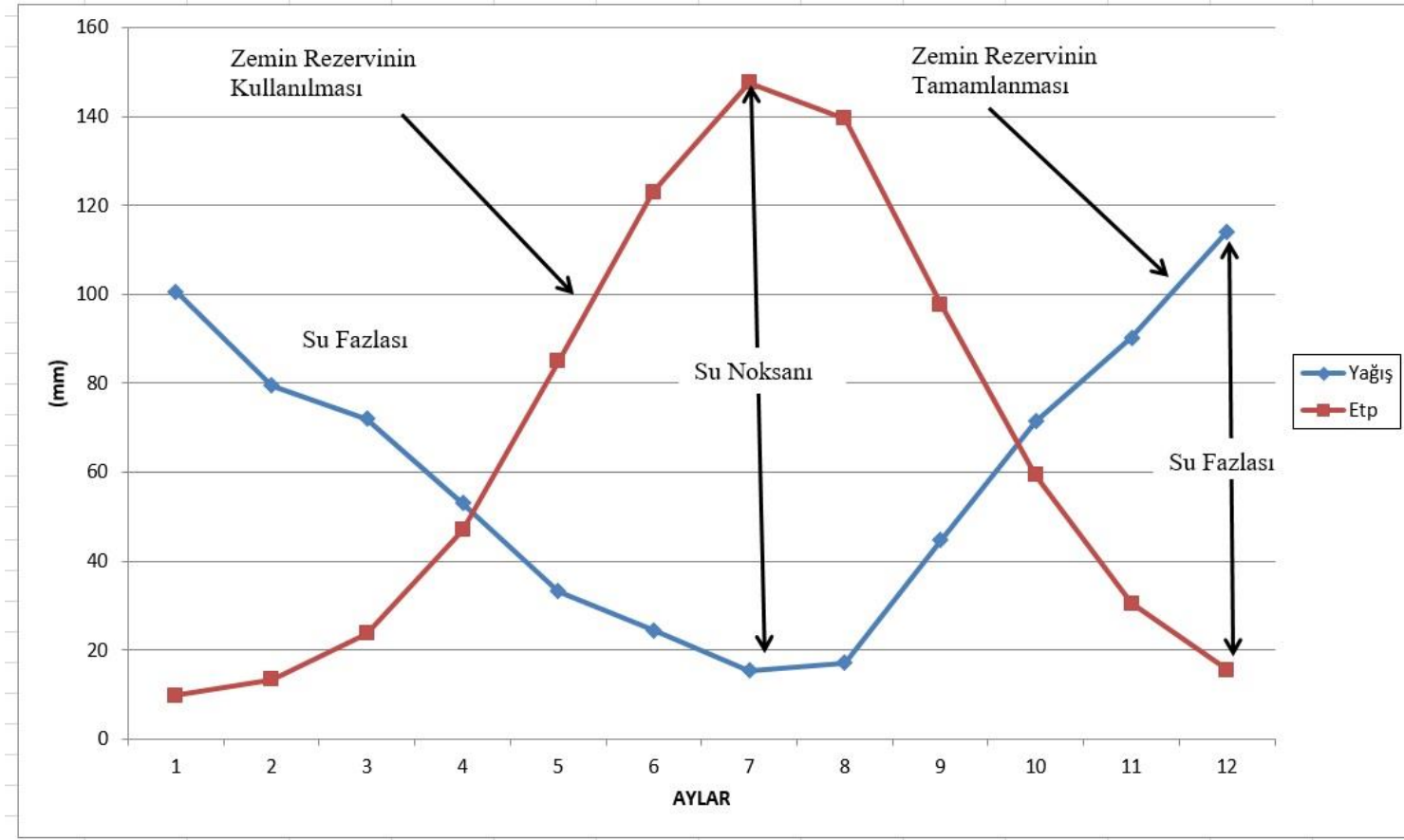
4.4.2. Buharlaşma

Buharlaşma yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının en önemli boşalım elemanıdır. Bir havzada tüm atmosferik, bitki örtüsü ve toprak özellikleri dikkate alınarak hesaplanan buharlaşmaya *potansiyel buharlaşma* (Etp) denilmektedir. *Gerçek buharlaşma* (Etr) ise yağış ve zeminde bulunan su toplamının buharlaşma terlemeye verebileceği su miktarıdır. Buharlaşma hesaplamalarında en yaygın olarak Thornthwaite yöntemi kullanılmaktadır. İnceleme alanı için buharlaşma hesaplamasında en çok veri bulunan Mustafakemalpaşa ve Bandırma istasyonlarında ölçülen aylık yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır.

1950-2011 yılları arasında ölçüm verileri kullanılarak Bandırma DMİ'na ait Thornthwaite denestirmeli su bilançosu verilerine göre, toplam ortalama yıllık yağış miktarı (P) 715.9 mm, potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 467.2 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 388.35 mm olarak hesaplanmıştır. Bandırma istasyonuna ait yağış ve Etp değişim grafiğinde genel olarak yağış miktarları, Nisan ayı sonuna kadar Etp değerlerinden fazladır (Şekil 4.7). Bu nedenle, bu dönemde Etp, Etr'e eşittir ve gerçekleşen buharlaşmalardan sonra geriye kalan miktar su fazlası olarak kaydedilmiştir. Mayıs ayında yağış Etp miktarından azdır ve Mayıs ayı başlarında 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervinden kullanılmaya başlanmıştır. Zemin rezervi kasım ayından itibaren tamamlanmaya başlamıştır. Su fazlası değeri 327.55 mm, su noksanı ise 78.85 mm'dir. (Çizelge 4.4; Şekil 4.7).

Çizelge 4.4. Bandırma meteoroloji istasyonu için hazırlanan Thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Aylık Sıcaklık (°C)	5.36	6.62	8.33	12.41	17.00	21.55	24.02	24.30	20.90	15.90	11.32	7.39	175.10
Aylık Endeks (i)	1.11	1.53	2.17	3.96	6.38	9.13	10.76	10.95	8.72	5.76	3.45	1.81	65.72
Etp (mm)	10.96	13.37	20.89	33.53	51.31	65.57	74.26	69.80	52.91	37.16	22.87	14.57	467.2
Yağış (mm)	100.6	79.5	72.00	53.00	33.3	24.5	15.4	17.1	44.7	71.5	90.2	114.1	715.9
Zemin Rezervi (mm)	100.00	100.00	100.00	100.00	81.99	40.92	0.00	0.00	0.00	34.34	100.00	100.00	-
Etr (mm)	10.96	13.37	20.89	33.53	51.31	65.57	56.32	17.1	44.7	37.16	22.87	14.57	388.35
Z. Rezerv Değişimi (mm)	-	-	-	-	-18.01	-41.07	-40.92	-	-	34.34	65.66	-	-
Su Noksanı (mm)	-	-	-	-	-	-	17.94	52.7	8.21	-	-	-	78.85
Su Fazlası (mm)	89.64	66.13	51.11	19.47	-	-	-	-	-	-	1.67	99.53	327.55
Enlem Düz. Katsayısı	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81	-

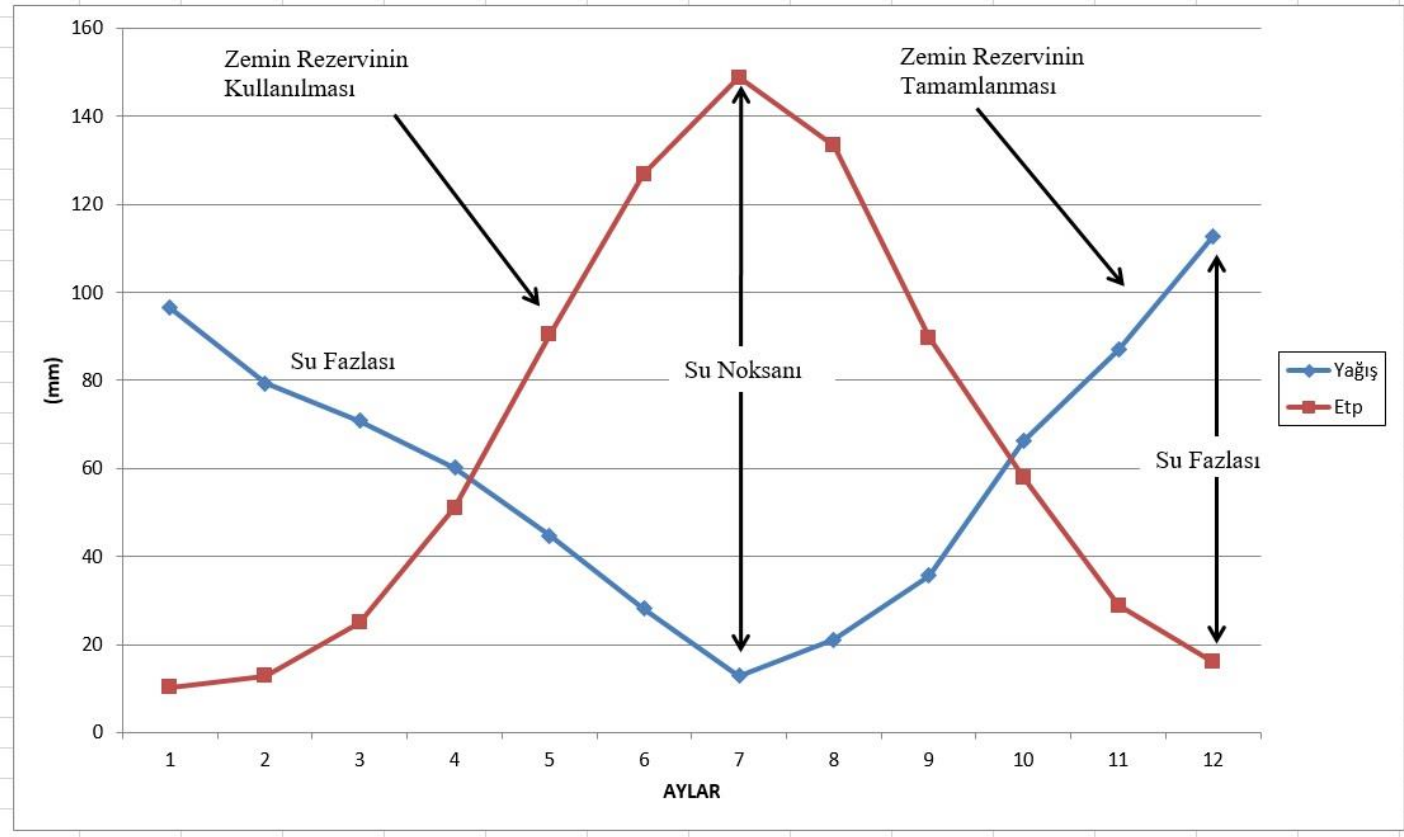


Şekil 4.7. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp' nin aylık değişim grafiği (Bandırma DMİ)

1964-2005 yılları arasında ölçüm verileri kullanılarak Mustafakemalpaşa DMİ'na ait Thornthwaite deneştirmeli su bilançosu verilerine göre, toplam ortalama yıllık yağış miktarı (P) 716.5 mm, potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 791.33 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 445.73 mm olarak hesaplanmıştır. Mustafakemalpaşa istasyonuna ait yağış ve Etp değışim grafiğinde genel olarak yağış miktarları, Nisan ayı sonuna kadar Etp değeriyle fazladır (Şekil 4.8). Bu nedenle, bu dönemde Etp, Etr'e eşittir ve gerçekleşen buharlaşmalardan sonra geriye kalan miktar su fazlası olarak kaydedilmiştir. Mayıs ayında yağış Etp miktarından azdır ve Mayıs ayı başlarında 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervinden kullanılmaya başlanmıştır. Zemin rezervi kasım ayından itibaren tamamlanmaya başlamıştır. Su fazlası değeri 270.77 mm, su noksanı ise 345.6 mm'dir. (Çizelge 4.5; Şekil 4.8).

Çizelge 4.5. Mustafakemalpaşa meteoroloji istasyonu için hazırlanan Thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Aylık Sıcaklık (°C)	5.42	6.34	8.54	13.01	17.6	21.88	24.06	23.49	19.67	15.55	10.83	7.45	173.84
Aylık Endeks (i)	1.13	1.43	2.25	4.25	6.72	9.35	10.79	10.41	7.95	5.57	3.22	1.83	64.9
Etp (mm)	10.22	12.82	25.01	51.11	90.39	126.85	148.9	133.39	89.77	57.97	28.92	15.98	791.33
Yağış (mm)	96.5	79.3	70.8	60.2	44.8	28.2	12.90	22.1	35.7	66.2	87.00	112.8	716.5
Zemin Rezervi (mm)	100.00	100.00	100.00	100.00	54.41	0.00	0.00	0.00	0.00	8.23	66.31	100.00	-
Etr (mm)	10.22	12.82	25.01	51.11	90.39	82.61	12.90	22.1	35.7	57.97	28.92	15.98	445.73
Z. Rezerv Değişimi (mm)	-	-	-	-	-45.59	-54.41	-	-	-	8.23	58.08	-	-
Su Noksanı (mm)	-	-	-	-	-	44.24	136	111.29	54.07	-	-	-	345.6
Su Fazlası (mm)	86.28	66.48	45.79	9.09	-	-	-	-	-	-	-	63.13	270.77
Enlem Düz. Katsayısı	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81	-

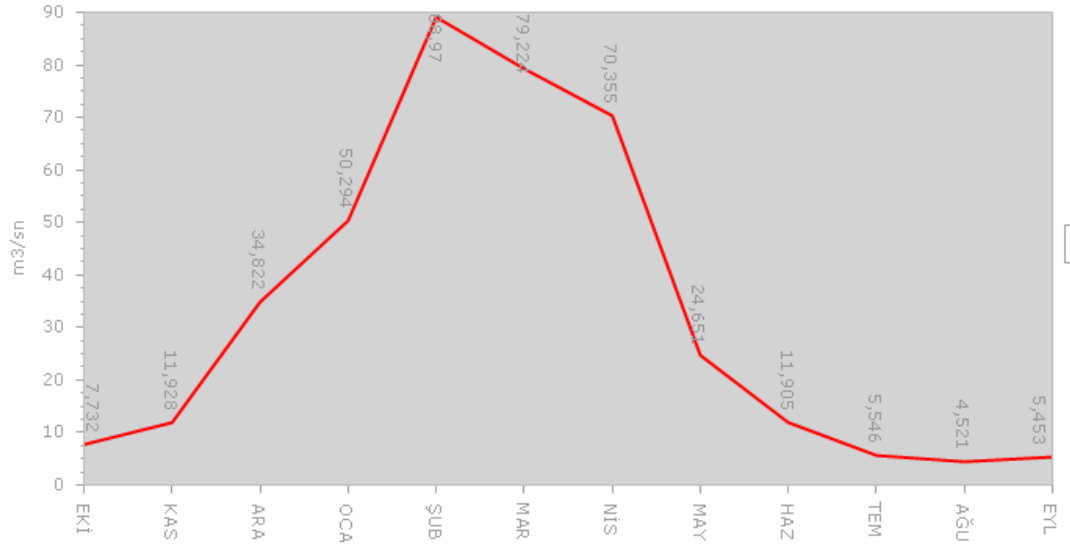


Şekil 4.8. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp' nin aylık değişim grafiği (Mustafakemalpaşa DMİ)

4.4.3. Akış

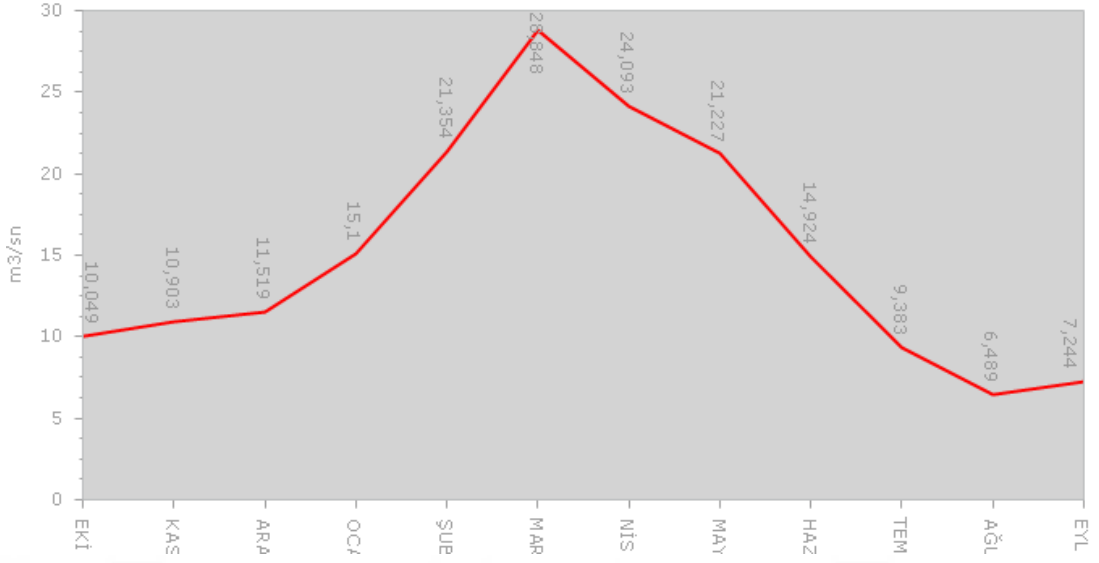
İnceleme alanının en önemli akarsuyu Simav'dan doğan ve Susurluk ırmağı adı ile Marmara Denizine boşalan deredir. Karacabey Ovası içerisinde bu dere farklı isimler almaktadır. İnceleme alanında iki adet akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan bir tanesi Karacabey ilçesinin 500 m güneyinde Çapaz dere üzerinde bulunan D03A100 nolu Canbolu-Susurluk çayı akım gözlem istasyonudur. İstasyon 1994 yılında açılmış ve 2012 yılında kapatılmıştır. İstasyonda ölçülen ortalama akım değeri 32.6 m³/s'dir. İstasyonda ölçülen uzun yıllar aylık ortalama değerleri grafiği Şekil 4.9'da sunulmuştur.

Diğer istasyon ise Karacabey-Bandırma yolu Sultaniye köyü sapağında bulunan DOA115 nolu İsmetpaşa-Karadere akım gözlem istasyonudur. İstasyon Susurluk çayı üzerinde Çapaz dere'ye bağlanan Karadere üzerinde 1997 yılında açılmıştır. İstasyon halen faal durumdadır. İstasyonda ölçülen ortalama akım değeri 16.5 m³/s'dir. İstasyonda ölçülen uzun yıllar aylık ortalama değerleri grafiği ve 2017 su yılı günlük ortalama seviye grafiği Şekil 4.10 ve 4.11'de sunulmuştur.

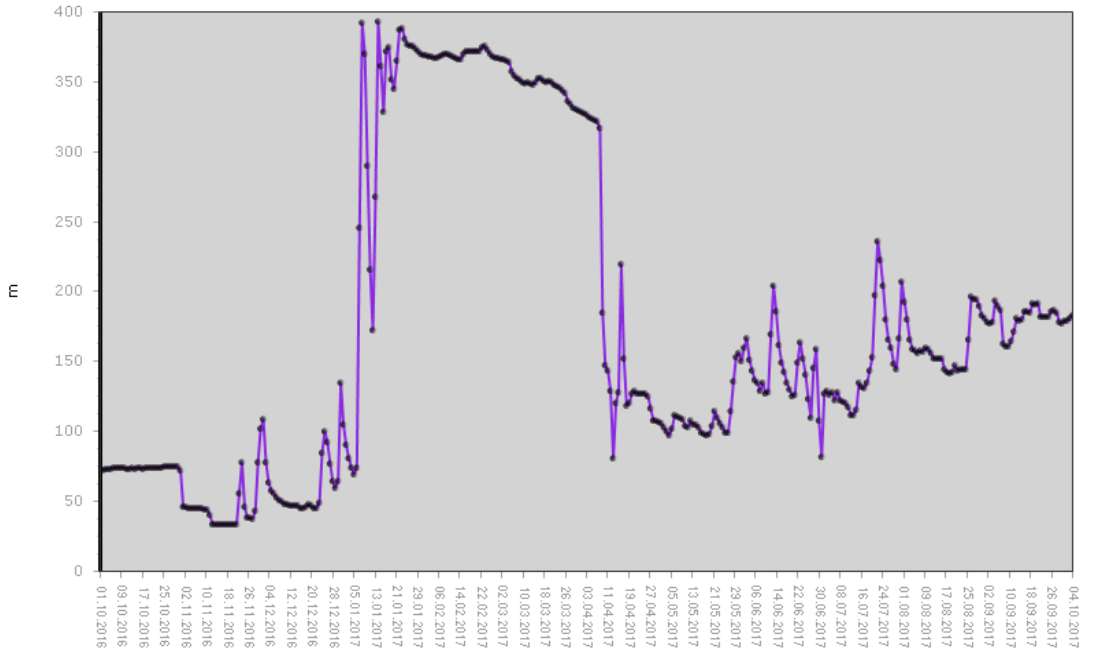


Şekil 4.9. D03A100 nolu AGİ uzun yıllar aylık ortalama debi grafiği

(<http://svtbilgi.dsi.gov.tr>)



Şekil 4.10. D03A100 nolu AGİ uzun yıllar aylık ortalama debi grafiği
(<http://svtbilgi.dsi.gov.tr>)



Şekil 4.11. D03A100 nolu AGİ2017 su yılı günlük ortalama seviye grafiği
(<http://svtbilgi.dsi.gov.tr>)

4.5. Hidrojeoloji

Bu bölümde su noktaları ve litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri ele alınmaktadır.

4.5.1. Su noktaları

İnceleme alanında bulunan önemli yüzeysel akışlar ve kaynaklar aşağıda ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, hidrojeoloji amaçlı araştırmalarda kullanılan sondaj kuyularına ait teknik özellikler ve kuyu logları verilmiştir.

4.5.1.1. Akarsular

İnceleme alanında çok sayıda sürekli ve mevsimlik dere bulunmaktadır (Şekil 4.12).

Susurluk nehri: Simav çayı adıyla Susurluk havzasına giren dere Karacabey ovasında Hanefidere, Çapaz dere ve Karacabeyin kuzeyinde ise Kocası çayı isimlerini alır. Dere Karacabey ovasını geçtikten sonra doğudan Nilüfer Çayını, batıdan Karadere'yi alır. Susurluk nehri adı ile bir delta ovası oluşturarak Marmara Denizi'ne dökülür. Nehrin uzunluğu 321 km'dir.

Nilüfer çayı: Uludağ'dan inen birçok derelerle beslenir. Missi köyü yakınında, üzerine Bursa'nın içme suyunu karşılayan Doğancı Barajı kurulmuştur. Bursa ovasını geçtikten sonra batıya döner. Mudanya tepelerine paralel bir şekilde Susurluk nehrine karışır.

Karadere: Yine Şaphane dağlarına yakın bir alandan doğar. Manyas Gölü'ne girer çıkar. Karacabey ovasından menderes çizerek akar. Çalı mahalle yakınlarında Susurluk nehri'ne karışır. Uzunluğu 160 km'dir. Mustafakemalpaşa deresi ve Orhaneli çayı, Ulubat Gölü'ne dökülür. Ulubat Gölü'nden bir ayak Ulubat Deresi adıyla Susurluk Nehrine karışır.

4.5.1.2. Kaynaklar

İnceleme alanında 5 adet su kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynakların suları içme ve evsel ihtiyaçların karşılanması için kullanılmaktadır. Doğancı köyü civarında bulunan kaynak Ulubat fay zonundan boşalmakta ve Bilecik formasyonu kireçtaşlarından beslenmektedir (Şekil 4.13). Yeşilçomlu köyü civarından boşalan kaynak da yine Bilecik formasyonundan beslenmektedir. Dokanak kaynağı şeklinde boşalmaktadır. Yumurcıklı ve Kepekler köyleri civarında bulunan su kaynakları Göbel formasyonunun kumtaşı ve konglomera seviyelerinden boşalmaktadır (Şekil 4.14; Şekil 4.15). Örencik köyü güneyinde bir kısmı depoya alınarak içmesuyu ihtiyacı için kullanılan kaynak ise Sazak formasyonuna ait şist seviyeleri ve mermer üyesinden boşalmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.13. Doğancı köyü kaynak boşalımı



Şekil 4.14. Kepekler köyü kaynak boşalımı



Şekil 4.15. Yumurcaklı köyü kaynak boşalımı



Şekil 4.16. Örencik köyü kaynak boşalımı

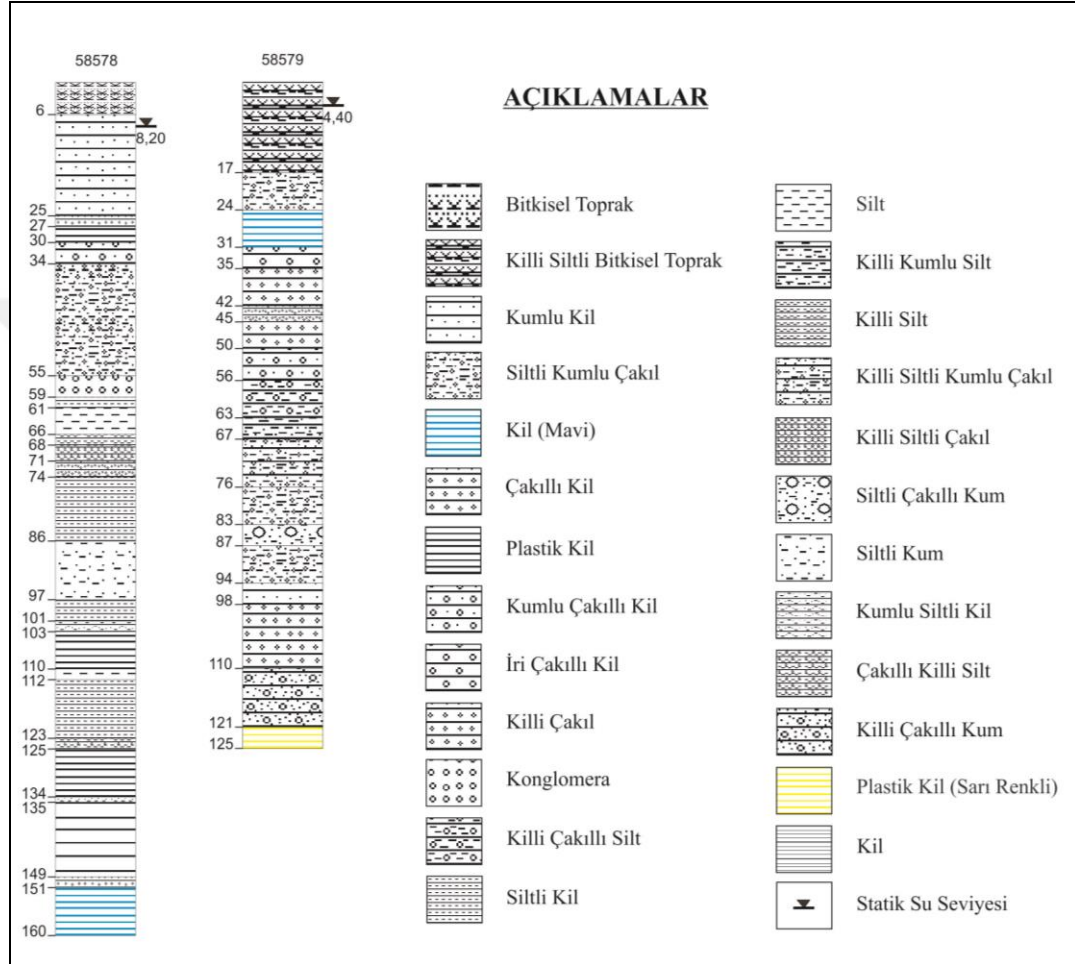
4.5.1.3. Sondaj kuyuları ve sığ kuyular

İnceleme alanında çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. İnceleme alanında açılan sondaj kuyuları içme ve sulama amaçlı olup tamamı alüvyon akifer üzerindedir. Bu kuyulardan sadece iki tanesinin logları elde edilebilmiştir. Bu loglarda kuyuların tamamen alüvyon akiferde açıldığı ve derinliklerinin 160-125 m olduğu, yeraltısuyu seviyelerinin ise 8.20 ve 4.40 m olduğu görülmektedir (Şekil 4.17). Bu çalışmada Ovahamidiye ve Yenisarıbey’de bulunan iki kuyudan örnek alınmıştır (Şekil 4.18; 4.19).

4.5.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri

İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre yeniden değerlendirilmiş ve bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Ek-2). Litolojik birimler fiziksel özellikleri ve akifer olabilme potansiyellerine göre akifer, akitard ve akifüj ortamlar olarak sınıflandırılmıştır. İnceleme alanı içerisinde geniş alanlarda yüzeyleyen alüvyon *Taneli Ortam Akiferi* (Akf-1); Bilecik formasyonu, Tophisar üyesi ve Permien kireçtaşı birimleri *Karstik Akifer* (Akf-2); Bayramiç formasyonu, Mesudiye formasyonu, Göbel formasyonu, Bayırköy formasyonu *Akitart Ortam-1*

(Akt-1); Sazak ve Torasan formasyonları *Akitart Ortam-2* (Akt-2); Karakaya formasyonu ve Çal formasyonu *Akifüj Ortam-1* (Akj-1); Mudamköy volkanit üyesi, Kapıdağ granodiyoriti ve Çamlık metagranodiyoriti ise *Akifüj Ortam-2* (Akj-2) olarak ayırtlanmıştır (Ek-2).



Şekil 4.17. 58578-58579 nolu kuyulara ait sondaj logları

4.5.2.1. Taneli ortam akiferi (Akf-1)

Geniş alanlarda yüzeyleyen alüvyon birim inceleme alanındaki en önemli akifer birimdir. Gevşek tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundaki malzemeden ve bunların farklı kombinasyonlarından oluşan birim özellikle çakıl ve kumlu seviyelerinde yeraltısuyu bulundurabilmektedir. Karacabey havzasına inen birçok akarsuyun taşıdığı çeşitli boyda detritik malzemenin çökmesiyle oluşmuştur.

Genellikle mermer, granit ve metamorfik çakılları içermektedir. Bölgede içme, sulama ve kullanma suyunun bir kısmı farklı kurum ve şahıslar tarafından bu birim içerisinde açılmış sondaj kuyularından sağlanmaktadır.



Şekil 4.18. Ovahamidiye su örneği alınan kuyu



Şekil 4.19. Yenisarıbey su örneği alınan kuyu yeri

4.5.2.2. Karstik akifer (Akf-2)

İnceleme alanında bulunan Bilecik formasyonu, Tophisar üyesi ve Permiyen kireçtaşı birimleri yeraltısuyu bulundurabilme özelliğine sahip oldukları için karstik akifer olarak tanımlanmıştır. Kireçtaşlarından yayılım, kalınlık, birbirini kesen kırık-çatlak sistemlerinin yoğunluğuna bağlı olarak önemli miktarda yeraltısuyu bulundurabilmekte ve suyun hareketine izin verebilmektedir. İnceleme alanında farklı yaş ve adlandırmalara sahip kireçtaşları, benzer litolojik özellik taşımalarından dolayı aynı birim içerisinde ele alınmıştır. Birimler içerisinde açılmış sondaj kuyuları bulunmamaktadır. Ancak, mevsimsel olarak soğuk su kaynak boşalımları gerçekleşmektedir.

4.5.2.3. Akitart ortam-1 (Akt-1)

Genel olarak konglomera, kumtaşı ve kiltası litolojilerinin araldanmasından oluşan Bayramiç, Mesudiye, Göbel ve Bayırköy formasyonları su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikler taşıdıkları için *Akitart Ortam* olarak ayırtlanmışlardır. Konglomera ve kumtaşı birimleri kalınlıkları ve yayılımlarının artışı oranında yeraltısuyu bulundurabilmektedir. Bu nedenle, çok düşük hidrolik iletkenliğe sahip yarı geçirimli litolojileri tanımlayan akitart ortam ismi verilmiştir. İnceleme alanında bu birimlerden kaynak boşalımları mevcuttur. Ancak, bu birim üzerinde açılmış sondaj kuyusu bulunmamaktadır.

4.5.2.4. Akitart ortam-2 (Akt-2)

Metatüf, metavolkanit, şist, fillat, kuvars, mikaşist ve mermer litolojilerinden oluşan Sazak ve Torasan formasyonları içerdikleri litolojilerin yeraltısuyu bulundurma kapasitelerinin sınırlı olması nedeniyle akitart ortam olarak tanımlanmıştır. Sazak ve Torasan formasyonları içinde üye olarak ayırtlanabilen mermer birimleri birbirini kesen kırık çatlak sistemlerinin varlığı oranında su bulundurabilmektedir. Ancak, mermerlerin metamorfizma geçirmiş olması ve inceleme alanında çok küçük alanlarda bantlar şeklinde yüzeylenmeleri su bulundurma özelliklerini

kısıtlamaktadır. Ancak inceleme alanında Örencik civarında Sazak formasyonu şistleri ve mermer üyesinden beslenen su kaynağı bulunmaktadır.

4.5.2.5. Akifüj ortam-1 (Akj-1)

Metakumtaşı, kumtaşı, şeyl, çamurtaşı, metakonglomera seviyelerinden oluşan Karakaya formasyonu ile spilitik bazalt, diyabaz, tuf ve volkanojenik kumtaşlarından oluşan Çal formasyonu aynı birim içerisinde ele alınmıştır. Triyas yaşlı Karakaya kompleksi içerisinde bulunan ve benzer hidrojeolojik özellikler gösteren bu formasyonlar geçirimsiz özelliktedir.

4.5.2.6. Akifüj ortam-2 (Akj-2)

Metagranodiyorit, gnays ve metariyolitlerden oluşan Çamlık metagranodiyoriti, Kapıdağ granodiyoriti ile andezit, bazalt ve dasitlerden oluşan Mudamköy volkanit üyesi *Akifüj ortam-2* birimi olarak adlandırılmıştır. Bu formasyonlar içerisindeki litolojik birimlerin akifer olabilme kapasitelerinin olmaması nedeniyle geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

4.6. Su Kimyası

Karacabey havzasında yeraltısuyu kalitesi ve kullanım koşullarının belirlenebilmesi amacıyla akiferi genel olarak temsil eden noktalarda sondaj kuyularından Ekim 2018 döneminde su örnekleri alınmıştır. Örnek alınırken 1 lt'lik polietilen şişe kullanılmıştır. Su örneklerinin anyon, katyon, nitrat, nitrit, amonyak ve ağır metal analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeotermal Enerji Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Laboratuvarı ve Bureau Veritas (ACME) Analitik Laboratuar Hizmetleri Ltd. Şti. laboratuarlarında yaptırılmıştır. Elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve sıcaklık değerleri Hanna marka çok parametrelili ölçüm cihazı ile arazide ölçülmüştür. Kimyasal analiz sonuçları farklı harita ve diyagramlar üzerinde gösterilerek yorumlanmıştır.

4.6.1. Sularının genel kimyasal özellikleri

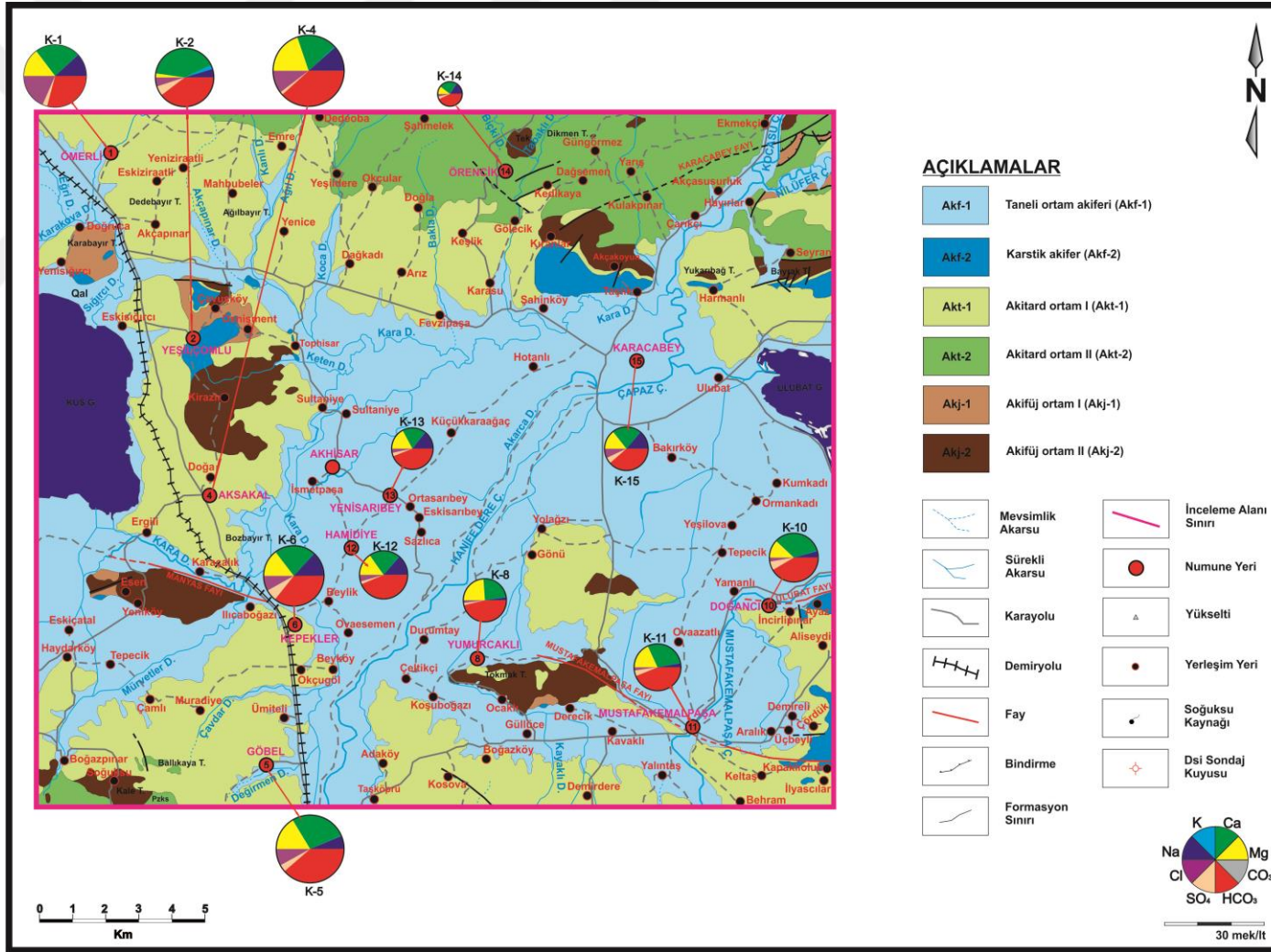
Çalışma alanında yeraltısuyunun kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla alınan su numunelerinin kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılmıştır. Kimyasal analizlerde; katyonlar (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+), anyonlar (Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^-), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), sodyum yüzdesi (%Na), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sertlik gibi kimyasal özellikler tespit edilmiştir. Ekim 2018 döneminde alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

İnceleme alanının tamamını temsil edecek şekilde K5, K11 ve K15 nolu örnekler şebeke suyundan, K12 ve K13 nolu örnekler kuyu suyundan diğer örnekler ise kaynak sularından alınmıştır. Ayrıca, su örneklerinde genel olarak anyon ve katyon dağılımını görmek amacıyla hidrojeokimya haritası hazırlanmıştır (Şekil 4.20). Haritada her su örneğine ait toplam iyon konsantrasyonlarına göre belirlenen daireler üzerinde örneğe ait anyon ve katyon değerleri yerleştirilmiştir. İyon içeriği fazla olan su örneğine ait dairenin çapı büyümektedir.

Kalsiyum (Ca^{+2}): Kalsiyum mağmatik ve metamorfik kaya minerallerinde bulunmaktadır. Yeraltısularındaki kalsiyumun kökeni, kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jipstir (Şahinci, 1991). İnceleme alanında tespit edilen Ca^{+2} değerleri kaynak sularında 35.99-163.03 mg/l, kuyu sularında 45.32-62.88 mg/l ve şebeke sularında 59.80-126.34 mg/l değerleri arasında değişmektedir. İnceleme alanında karstik akiferden boşalan kaynak sularının Ca^{+2} içeriklerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri (Ekim 2018)

Bölge	Örnek No	Na ⁺ (mek/l)	K ⁺ (mek/l)	Ca ⁺⁺ (mek/l)	Mg ⁺⁺ (mek/l)	Cl ⁻ (mek/l)	SO ₄ ⁼ (mek/l)	HCO ₃ ⁻ (mek/l)	Sertlik Fr ^o	EC μS/cm	pH	Su Sınıfı
Ömerli	K1	2.345	0.180	2.314	1.451	3.304	0.425	5.2	18.8	940	7.66	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl
Yeşilçomlu	K2	0.947	0.450	4.076	0.224	0.777	0.822	6.1	21.47	1120	7.14	Ca-HCO ₃
Aksakal	K4	2.632	0.077	2.072	2.254	2.115	0.271	7.8	21.63	1550	7.57	Mg-Ca-HCO ₃
Göbel	K5	1.467	0.045	3.159	1.903	1.433	0.598	6.9	25.31	1140	7.31	Ca-Mg-HCO ₃
Kepekli	K6	2.853	0.046	2.363	1.569	1.223	0.920	5.4	19.66	1100	7.64	Ca-Mg-HCO ₃
Yumurcaklı	K8	0.328	0.052	1.610	1.649	0.246	0.210	5.7	16.29	530	8.00	Mg-Ca-HCO ₃
Doğancı	K10	0.676	0.074	2.590	0.938	0.375	0.805	5.8	17.64	830	7.84	Ca-HCO ₃
Mustafakemalpaşa	K11	0.422	0.041	2.111	1.333	0.303	0.534	6	17.22	750	8.36	Ca-Mg-HCO ₃
Ovahamidiye	K12	2.074	0.064	1.572	1.153	0.629	0.261	6.1	13.63	620	8.25	Ca-Mg-HCO ₃
Yenisarıbey	K13	1.820	0.060	1.133	1.083	0.422	0.330	5.5	11.08	770	8.38	Ca-Mg-HCO ₃
Örencik	K14	1.273	0.048	0.900	0.419	0.238	0.248	3	6.59	370	7.50	Ca-Mg-HCO ₃
Karacabey	K15	1.933	0.044	1.495	1.002	0.868	0.558	4.8	12.48	550	8.55	Ca-Mg-HCO ₃



Şekil 4.20. Hidrojeokimya haritası (Ekim-2018)

Magnezyum (Mg^{+2}): Yeraltısularında bulunan magnezyumun kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolit mineralleridir (Şahinci, 1991). İnceleme alanında tespit edilen Mg değerleri kaynak sularında 5.44-54.77 mg/l, kuyu sularında 26.34-28.03 mg/l ve şebeke sularında 24.36-46.24 mg/l değerleri arasında değişmektedir. Mg^{+2} artışı Bayramiç ve Göbel formasyonları ile ilişkili olan lokasyonlarda gözlenmektedir.

Sodyum (Na^+): Sodyum, alkali metaller (Li, K, Rb, Cs) arasında yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerdendir. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler, evaporitler Na^+ içeren başlıca kayaç ve minerallerdir (Şahinci, 1991). Na değerleri kaynak sularında 7.55-65.61 mg/l, kuyu sularında 41.86-47.71 mg/l ve şebeke sularında 9.70-44.45 mg/l değerleri arasında değişmektedir. Na^+ artışı Bayramiç ve Göbel formasyonları ile ilişkili olan lokasyonlarda gözlenmektedir.

Potasyum (K^+): Potasyum, esas olarak feldispatlarda, mikalarda, feldispatoyidlerde ve kil minerallerinde bulunur. Genellikle sodyumla birlikte bulunan potasyum nemli ve kurak iklimlerde asidik yıkanma şeklinde, kayaları tümüyle bozunuma uğratarak üst seviyelere göç etmektedir (Şahinci, 1991). K^+ değerleri kaynak sularında 0.70-17.61 mg/l, kuyu sularında 2.33-2.52 mg/l ve şebeke sularında 1.60-1.74 mg/l değerleri arasında değişmektedir.

Karbonat (CO_3^{2-})-Bikarbonat (HCO_3^-): Yeraltısularındaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının büyük bir kısmı atmosfer ve topraktaki CO_2 'den ayrıca karbonatlı kayaçların erimesi ile ortaya çıkmaktadır. (Şahinci, 1991). HCO_3^- içeriği kaynak sularında 183.0-475.80 mg/l, kuyu sularında 335.50-372.10 mg/l ve şebeke sularında 292.80-420.90 mg/l değerleri arasında değişmektedir.

Klorür (Cl^-): Magmatik kayalarda klorun önemli kaynakları arasında feldispatoyid grubu mineraller, klorapatit, mikalar ve hornblend sayılabilmektedir. Ancak, klorun asıl kaynağını sedimanter kayalar ve bunlar arasında da özellikle evaporitler oluşturmaktadır. Klorür doğal sularında sadece Cl^- formunda bulunmaktadır.

Yeraltısularındaki klorür fazlalığı litolojik etkileşimin olmadığı alanlarda evsel, endüstriyel veya tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğin nedeni olarak tanımlanmaktadır. İnceleme alanındaki su kaynaklarının Cl⁻ iyonu konsantrasyonu kaynak sularında 8.44-117.16 mg/l, kuyu sularında 14.95-22.31 mg/l ve şebeke sularında ise 10.74-50.81 mg/l arasında değişim göstermektedir. Kaynak sularında Cl artışı olan lokasyonların Bayramiç ve Göbel formasyonları ile ilişkili olduğu görülmektedir. Antropojenik kökenli kirliliğin gözlenmediği bu lokasyonlarda Cl artışının kaya-su etkileşimi kökenli olduğu düşünülmektedir.

Sülfat (SO₄²⁻): Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozdukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşur ve bu iyonlar suya geçmektedir. Kükürdün göçü çoğunlukla SO₄²⁻ şeklindedir. Oldukça büyük iyon yarıçapına sahip olan SO₄²⁻ çok hareketlidir. Sülfat iyonunun sulara bulunmasındaki başlıca doğal kaynaklar, volkanlar, pirit mineralinin oksitlenmesi, jips ve anhidritlerin çözünmesi, atmosferdeki H₂S gazlarının fotokimyasal olarak oksitleşmesi, deniz sularının buharlaşması ve rüzgar etkisiyle atmosfere taşınması şeklinde olurken ayrıca dış kökenli olarak kimyasal ilaçlar, yapay gübre ile evsel ve endüstriyel atıklar gibi çeşitli kirletici kaynaklardan toprağa ve suya karışması sayılabilir (Şahinci, 1991). İnceleme alanında su kaynaklarının SO₄²⁻ iyonu konsantrasyonu kaynak sularında 10.10-44.18 mg/l, kuyu sularında 12.52-15.86 mg/l ve şebeke sularında ise 25.65-28.63 mg/l arasında değişim göstermektedir.

4.6.1.1. Sertlik

Suların sertliği başta kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve az miktarda da demir, alüminyum ve stronsiyum iyonlarından ileri gelmektedir. Ülkemizde suların sertliği için 'Fransız Sertlik Derecesi (Fr^o)' kullanılmaktadır. 1 Fransız sertlik derecesi 1 lt suda. 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya buna eşit miktarda diğer sertlik verici iyonların bulunmasıdır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Suların Fransız sertliğinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Formülde r mek/l'yi tanımlamaktadır.

$$\text{Toplam sertlik} = 5(\text{rCa} + \text{rMg}) \quad (4.1)$$

İnceleme alanında yeraltısularının sertliği Kasım-2018 döneminde 6.59-25.31 Fr° arasında değişmektedir (Çizelge 4.6). İnceleme alanında K12, K13, K14, K15 nolu örnekler *Yumuşak*, K5 örneği dışındaki diğer yeraltısuları *Az sert*, K5 ise *Oldukça sert* su sınıfı sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Fransız sertlik sınıflaması (Şahinci, 1991)

Konsantrasyon	Sertlik Derecesi
0.0 – 7.2	Cok yumusak
7.2 – 14.5	Yumusak
14.5 – 21.5	Az sert
21.5 -32.5	Oldukca sert
32.5 – 54	Sert
54 <	Cok sert

4.6.1.2. Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH)

pH, su içindeki H⁺ ve OH⁻ iyonu içeriklerine bağlı olarak değişmektedir. Yeraltısuları genel olarak pH<7 olan asit özelliği fazla sulardır. Yerüstü suları ise pH>8 olan bazik özellikte sulardır. Su içindeki hidrojen iyon konsantrasyonunun tanım aralığı Çizelge 4.8’de verilmiştir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Bu sınıflamaya göre inceleme alanında yeraltısularının pH değeri 7.14-8.55 arasında değiştiği için “*Bazik karakterli*” olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.8. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

pH	
>8.5	Bazik
8.5 – 7	Bazik karakterli
7	Nötr
7 – 4.5	Asit karakterli
4.5	Asidik

4.6.1.3. Özgül elektriksel iletkenlik (EC)

Özgül elektriksel iletkenlik, +25 C°'deki 1 cm³ suyun iletkenliğidir (Erguvanlı ve Yüzer. 1987). İçme ve sulama suları sınıflandırmasında bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Suların elektriksel iletkenlikleri, sudaki iyon varlığına, toplam derişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır (Şahinci, 1991). İnceleme alanında kaynak sularının EC değeri 370-1550 µS/cm, şebeke sularının 550-1140 µS/cm ve kuyu sularının 620-770 µS/cm arasındadır (Çizelge 4.6).

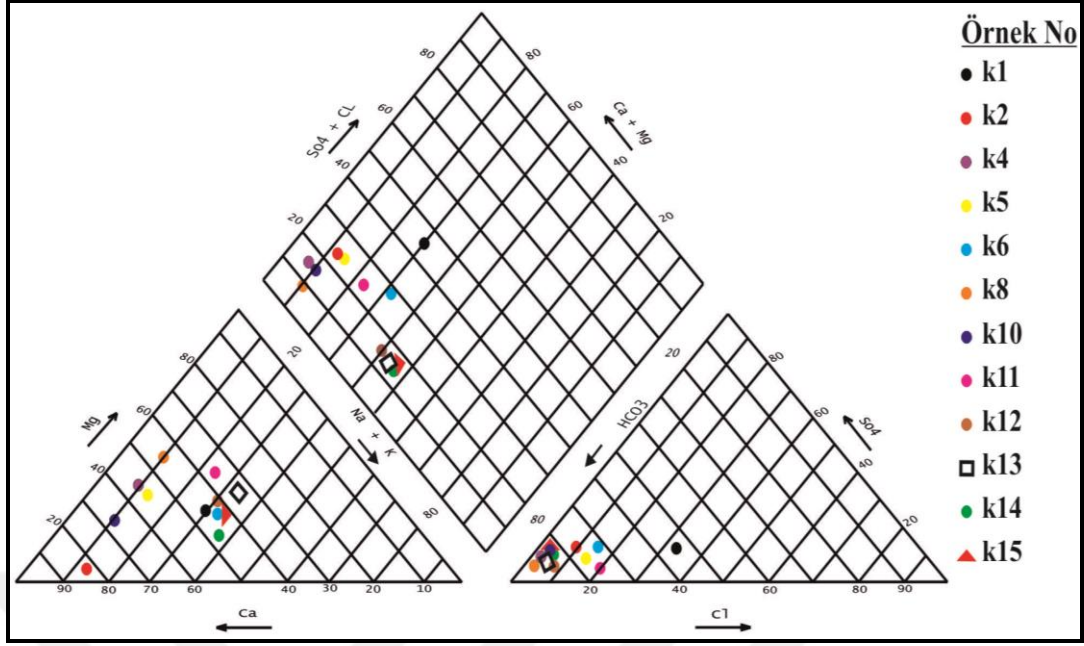
4.6.2. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması

Suların majör anyon ve katyon içerikleri kullanılarak yapılan farklı sınıflamalar ile kullanım amaçlarına yönelik değerlendirmeler yapılabilmektedir. Bu sınıflandırmalar hidrojeolojik araştırmalarda benzer özellikteki suların değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. İnceleme alanında kaynak, kuyu ve kullanım suyu olarak değerlendirilen şebeke sularından alınan su örnekleri farklı sınıflandırmalar ile incelenmiştir.

4.6.2.1. Piper ve Chadha diyagramları ile suların sınıflaması

Piper diyagramı:

İnceleme alanında kuyu, kaynak ve şebeke sularından alınan su örneklere ait kimyasal analiz sonuçları Piper (1944) diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Genel olarak yeraltısu örnekleri alkali toprak elementlerinin (Ca⁺²+Mg⁺²), alkali elementlere (Na⁺+K⁺) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO₃⁻²+HCO₃⁻) güçlü asit köklerinden (SO₄⁻²+Cl⁻) fazla olduğu, karbonat sertliği %50'den fazla olan suları temsil etmektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Piper diyagramı

İnceleme alanının batısında Yeşilçomlu (K2) ve doğusunda Doğanlı (K10) köyleri civarında bulunan kaynak suları Piper diyagramına göre Ca-HCO₃'lü sular fasiyesindedir. Bu kaynaklar kireçtaşı akiferinden beslenmektedir. Kaynak sularının yüksek Ca⁺² ve HCO₃⁻ içeriği bu durumu doğrulamaktadır. K4 ve K8 nolu örnekler Mg-Ca-HCO₃'lü sular sınıfındadır. Bu kaynaklar Pliyosen yaşlı Bayramiç ve Miyosen yaşlı Göbel formasyonları içerisinde bulunan kumtaşı ve konglomera seviyelerinden boşalmaktadır. Bu kaynak sularındaki Mg⁺² artışı kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Yeraltısularında bulunan magnezyumun kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit vb.) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolit gibi mineralleridir (Şahinci, 1991). İnceleme alanındaki diğer kaynak ve kuyu suları ise Ca-Mg-HCO₃'lü sular sınıfındadır.

Chadha Diyagramı:

Bu diyagram, Piper diyagramının (1944) değiştirilmiş ve Durov diyagramının (1948) ise genişletilmiş halidir. Farkı ise, iki eşkenar üçgenin çıkarılmış olmasıdır. Dörtgen şeklinde olan Chadha (1999) diyagramı, Piper diyagramındaki baklava dilimi şeklindeki alanın sahip olduğu tüm avantajlara sahiptir ve çeşitli hidrokimyasal

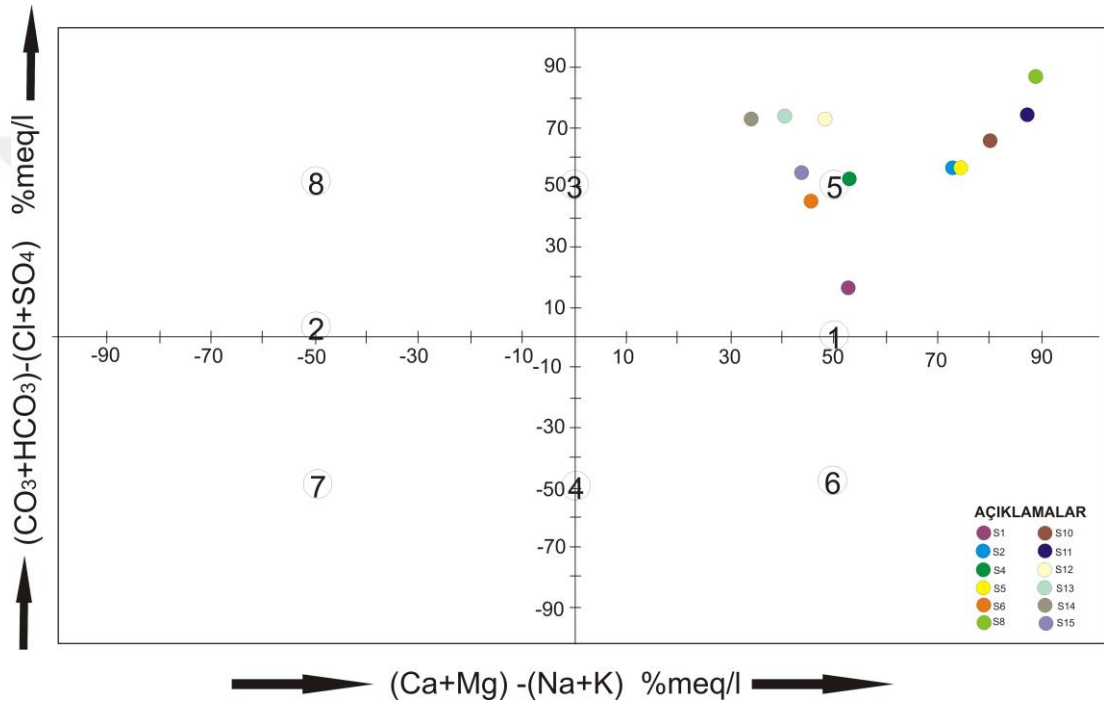
süreçlerle ilgili çalışmalarda kullanılabilir. Özellikle majör katyon değişimi, doğal sularda karışım oranlarının belirlenmesi, sülfat indirgenmesi, tuzlu sular ve ilişkileri gibi konularda yararlı sonuçlar elde edilmektedir. Piper diyagramına göre Chadha diyagramında hidrokimyasal olayların gelişimi daha net görülebilmektedir. Suyun ana karakterini belirlemek amacıyla, dikdörtgen biçimindeki alan, su tiplerini yansıtan 8 alt alana bölünmüştür.

Bu alanlar:

1. Alkali toprak elementleri (Ca^{+2} , Mg^{+2}), alkali elementlerden (Na^+ , K^+) fazladır.
2. Alkali elementler (Na^+ , K^+), alkali toprak elementlerinden (Ca^{+2} , Mg^{+2}) fazladır.
3. Zayıf asit kökleri (CO_3^{-2} , HCO_3^-), güçlü asit köklerinden (SO_4^{-2} , Cl^-) fazladır.
4. Güçlü asit kökleri (SO_4^{-2} , Cl^-), zayıf asit köklerinden (CO_3^{-2} , HCO_3^-) fazladır.
5. Alkali toprak elementleri (Ca^{+2} , Mg^{+2}) ve zayıf asit kökleri (CO_3^{-2} , HCO_3^-) alkali elementler (Na^+ , K^+) ve güçlü asit köklerinin (SO_4^{-2} , Cl^-) her ikisinden ayrı ayrı fazladır. Bu sular geçici sertliğe sahip sulardır. Diyagram üzerindeki noktaların pozisyonu, Ca–Mg– HCO_3^- tip, Ca–Mg–yüksek HCO_3^- tip veya HCO_3^- yüksek Ca–Mg tip suları yansıtmaktadır.
6. Alkali toprak elementleri (Ca^{+2} , Mg^{+2}), alkali elementlerden (Na^+ , K^+) fazladır ve güçlü asit kökleri (SO_4^{-2} , Cl^-), zayıf asit köklerinden (CO_3^{-2} , HCO_3^-) fazladır. Bu sularda kalıcı sertlik ve sulamada kullanıldığında kalıntı sodyum karbonat depolanması gerçekleşmez. Diyagram üzerindeki noktaların pozisyonu, Ca–Mg–Cl tip, Ca–Mg–yüksek Cl tip veya Cl yüksek Ca–Mg tip suları yansıtmaktadır.
7. Alkali elementler (Na^+ , K^+), alkali toprak elementlerinden (Ca^{+2} , Mg^{+2}) fazladır ve güçlü asit kökleri (SO_4^{-2} , Cl^-), zayıf asit köklerinden (CO_3^{-2} , HCO_3^-) fazladır. Bu tür sular, sulama ve içme suyu olarak kullanımda tuzluluk problemi yaratırlar. Diyagram üzerindeki noktaların pozisyonu, Na–Cl tip, Na– SO_4 tip, Na yüksek Cl tip veya Cl yüksek Na tip suları yansıtmaktadır.
8. Alkali elementler (Na^+ , K^+), alkali toprak elementlerinden (Ca^{+2} , Mg^{+2}) fazladır ve zayıf asit kökleri (CO_3^{-2} , HCO_3^-), güçlü asit köklerinden (SO_4^{-2} , Cl^-) fazladır. Bu tür sular sulamada kullanıldığında kalıntı sodyum karbonat

depolanması oluşmakta ve köpürme problemi ortaya çıkmaktadır. Diyagram üzerindeki noktaların pozisyonu, Na-HCO₃ tip, Na yüksek HCO₃ veya HCO₃-yüksek Na⁺ tip suları yansıtmaktadır (Chadha, 1999).

Chadha diyagramına göre, yeraltısuyu örneklerinin tamamının 5. bölgede olduğu görülmektedir (Şekil 4.22). Chadha diyagramında Piper diyagramı ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.22. Chadha diyagramı

4.6.2.2. Schoeller (1955)'e göre suların sınıflaması

Schoeller (1955) suları bileşimindeki klorür, sülfat, karbonat-bikarbonat miktarları ile anyon-kasyon derişim ilişkilerine göre sınıflandırmıştır (Çizelge 4.9). İnceleme alanında yeraltısuları Schoeller (1955)'in klorür sınıflamasına göre, “*Olağan klorürlü sular*”, sülfat sınıflamasına göre, “*Olağan sülfatlı sular*”, Karbonat-Bikarbonat sınıflamasına göre ise Aksakal civarında kaynak suyundan alınan su

örneği dışındaki diğer tüm yeraltısuyu örnekleri “*Olağan karbonatlı sular*” sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Schoeller (1955)’e göre su sınıflaması

Klorür Sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat-Bikarbonat Sınıf.	
Su sınıfı	Klorür miktarı (mek/l)	Su sınıfı	Sülfat miktarı (mek/l)	Su sınıfı	Karbonat-Bikarbonat miktarı (mek/l)
Hiperklorürlü Sular	>700	Hiposülfatlı Sular	>58	Hiperkarbonatlı Sular	>7
Klorotalasik Sular	420-700	Sülfatlı Sular	24-58	Olağan Karbonatlı Sular	2-7
Klorürce zengin sular	140-120	Oligosülfatlı Sular	6-24	Hipokarbonatlı Sular	<2
Orta Klorürlü Sular	40-140	Olağan Sülfatlı Sular	<6		
Oligoklorürlü Sular	15-40				
Olağan Klorürlü Sular	<15				

4.6.3. Suların kullanım özellikleri

İnceleme alanındaki yeraltısuları içme, kullanma ve sulama suyu gibi farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu bölümde suların farklı amaçlar için kullanılabilme özellikleri standartlar ve diyagramlar kullanılarak araştırılmıştır.

4.6.3.1. Suların içilebilirlik özellikleri

Suların içilebilme özelliklerinin değerlendirilmesi için öncelikle suların kimyasal analiz sonuçları Türk İçme Suyu (TSE-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları (Çizelge 4. 10) ile karşılaştırılmıştır. İnceleme alanında şebeke suları ve kaynak suları içmesuyu amacı için kullanılmaktadır.

Sulardaki Cl⁻ ve SO₄⁻² iyon konsantrasyonları için TSE-266 (2005) ve WHO (2011) tarafından içme ve kullanma sularında en fazla bulunabileceği miktar 250 mg/l olarak belirlenmiş olup inceleme alanındaki yeraltısuları sınır değeri aşmamaktadır. Na⁺ için bu değer 200 mg/l olup inceleme alanındaki yeraltısuları bu sınır değeri aşmamaktadır. İnceleme alanında sondaj kuyuları ve kaynak sularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-katyon içerikleri açısından sınır değerleri aşmadığı görülmektedir.

Schoeller'e göre suların içilebilirlik özellikleri

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla Schoeller içilebilirlik diyagramları hazırlanmıştır. Bölgede yeraltısularının genel olarak ***“İyi- çok iyi kaliteli sular”*** sınıfında yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.23).

Çizelge 4.10. İçme suyu standartları (TSE– 266, 2005; WHO, 2011)

Sınıflar			
TS 266 Standard kapsamına giren sular;			
Sınıf 1 - Kaynak (memba) suları.			
Sınıf 2 - Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular olmak üzere iki sınıftır.			
Tipler			
Sınıf 1 sular bir tiptir			
Sınıf 2 sular;			
Tip 1 - İşlem görmüş kaynak (memba) suları,			
Tip 2- İçme ve kullanma suları olmak üzere iki tiptir.			
Özellikler			
1- Organoleptik Özellikler			
2- Mikrobiyolojik Özellikler			
3- Kimyasal Özellikler			
4- Gösterge Özellikleri			
		TSE-266 (2005)	WHO (2011)
ORGANOLEPTİK ÖZELLİKLER			
Özellik	Değer, en çok		
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2	
	Su; berrak, tortusuz, kendine has		
MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLER			
Özellik	Değer, en çok		
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2	
Escherichia coli (E.coli)	0/250 ml	0/100 ml	
Enterococci	0/250 ml	0/100 ml	
Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml	-	
Koloni sayısı, 22°C'ta	100/ml	-	
Koloni sayısı, 37°C'ta	20/ml	-	
KİMYASAL ÖZELLİKLER			
Özellik	Değer, en çok		Maks. izin veril. Kons. ^j (mg/l)
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2	
Antimon	5.0 µg/l	5.0 µg/l	0.02
Arsenik	10 µg/l	10 µg/l	0.01
Baryum			0.7
Benzen	1.0 µg/l	1.0 µg/l	0.01
Bor	1.0 mg/l	1.0 mg/l	2.4
Bromat	10 µg/l	10 µg/l	0.01
Kadmiyum	5.0 µg/l	5.0 µg/l	0.003
Çinko			
Krom	50 µg/l	50 µg/l	0.05
KİMYASAL ÖZELLİKLER			
Özellik	Değer, en çok		Maks. izin veril. Kons. ^j (mg/l)
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2	
Bakır	100 µg/l	2000 µg/l	2.0
Siyanür	50 µg/l	50 µg/l	-
Florür	1.0 mg/l	1.5 mg/l	1.5
Gümüş			-
Kurşun	10 µg/l	10 µg/l	0.01
Cıva	1.0 µg/l	1.0 µg/l	0.006
Nikel	20 µg/l	20 µg/l	0.07
Nitrat	25 mg/l	50 mg/l	50 ⁱ
Nitrit	0.10 mg/l	0.50 mg/l	3

Çizelge 4.10. İçme Suyu Standartları Devamı

Selenyum	10 µg/l	10 µg/l	0.04
Toplam pestisit ^a	0.50 µg/l	0.50 µg/l	
Polisiklik aromatik ^b	0.10 µg/l	0.10 µg/l	
Pestisitler ^c	0.10 µg/l	0.10 µg/l	
Endirin			0.0006
Lindan			0.002
Metoksiklorür			0.02
2,4-D			0.03
2,4,5-T			0.009
Stiren			0.04
Etilbenzen			0.3
DDT			0.001
GÖSTERGE ÖZELLİKLERİ			
Özellik	Değer, en çok		Maks. izin veril. Kons. ^j (mg/l)
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2	
Toplam çöz. katı			500 (2006 yılı)
Alüminyum, en çok	200 µg/l	200 µg/l	
Amonyum, en çok	0.05 mg/l	0.50 mg/l	
Demir, en çok	50 µg/l	200 µg/l	0.3 (2006 yılı)
Mangan, en çok	20 µg/l	50 µg/l	0.05 (2006 yılı)
Sülfat, en çok	25 mg/l	250 mg/l	250 (2006 yılı)
Sodyum, en çok	100 mg/l	200 mg/l	
Klorür, en çok	30 mg/l	250 mg/l	250 (2006 yılı)
Clostridium	0 sayı/100 ml	0 sayı/100 ml	
Renk ^e , en çok	1 mg/l	20 mg/l	
pH ^f	6.5<pH<9.5	6.5<pH<9.5	
Koliform bakteri ^g	0 sayı/100 ml	0 sayı/100 ml	1 sayı/100 ml
Bulanıklık ^h , en çok	5 NTU	5 NTU	
E.İletkenlik, 20°C'ta	650 µS/cm	2500 µS/cm	
Radyoaktivite, en çok			Maks. izin veril.
Radyum 226			1 Bq/l
Stronsiyum 90			10 Bq/l
Uranyum-238			10 Bq/l
Trityum	100 Bq/l	100 Bq/l	10000 Bq/l
Uranyum-234			1 Bq/l
Toryum-230			1 Bq/l
İyot-131			10 Bq/l
Toplam gösterge dozu	0.10 mSv/yıl	0.10 mSv/yıl	
Alfa aktivitesi	0.1 Bq/l	0.1 Bq/l	
Beta aktivitesi	1 Bq/l	1 Bq/l	3

a: Yukarıda belirtilen ve ayrı ayrı tespit edilebilen pestisitlerin derişimleri toplamını ifade etmektedir.

b: Değer, benzo(b)floranten, benzo(k)floranten, benzo(ghi)perilen ve indeno(1,2,3-cd)piren bileşiklerinin derişimleri toplamını ifade etmektedir.

c: Pestisit ifadesi, organik insektisitler, organik herbisitler, organik fungusitler, organik nematositler, organik acarisitler, organik algisitler, organik rodentisitler, organik slimisitler ve ilgili ijrünler (bunlarla birlikte büyüme düzenleyicileri) ile bunların metabolitleri, parçalanma ve tepkime ürünlerini kapsamaktadır. Belirtilen değer, her bir pestisit için ayrı ayrı uygulanır. Suda aldrin, dieldrin, heptaklor ve heptaklor epoksit bulunması hâlinde bu değer 0,030 mg/L olarak uygulanmalıdır.

d: Suyun yüzeyden alınmaması veya yüzey suyundan etkilenmemesi halinde bu özellikler aranmaz.

e: Suyun kendine has renginden fark edilebilir bir sapma gözlenmemelidir.

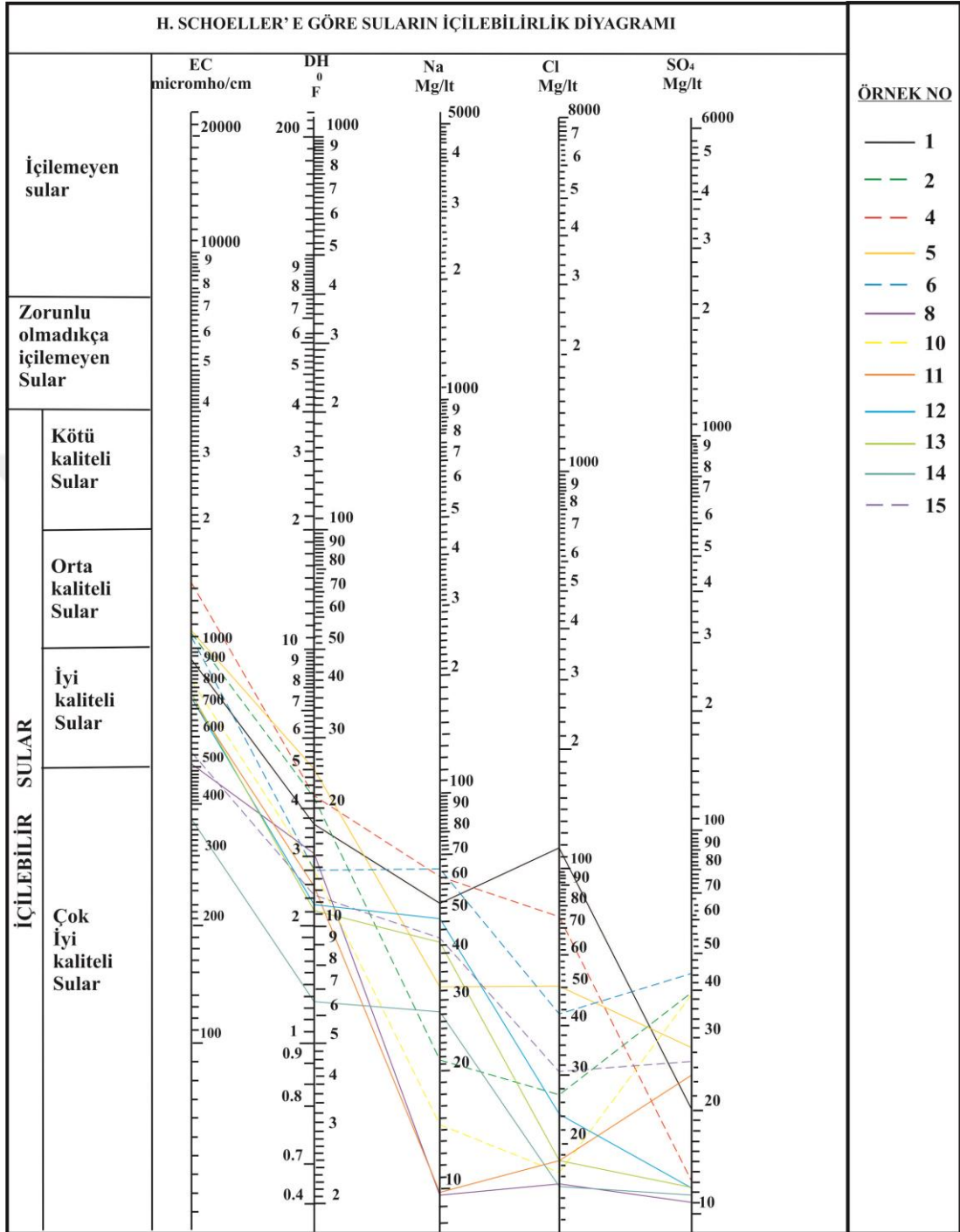
f: Ambalajlı sular için, üst sınır aynı kalmak kaydıyla, en düşük pH değeri 4,5 olarak uygulanmalıdır.

g: Ambalajlı sular için birim, sayı/250 mL olarak uygulanmalıdır.

h: Suyun, yüzey suyunun arıtılması ile elde edilmesi durumunda, bulanıklık en çok 1,0 NTU (Nefelometrik Bulanıklık Birimi) olmalıdır.

i: A.B.D. ve Kanada standartlarına göre NO₃ sınırı 10mg/l olarak ifade edilmektedir. Avrupa standartlarında bu sınır n için 11,3 mg/l; NO₃ için 50mg/l dir.

j: Maksimum izin verilebilir sınırlar sağlık kriterlerine göre belirlenir.



Şekil 4.23. Schoeller içilebilirlik diyagramı

4.6.3.2. Suların sulamada kullanım özellikleri

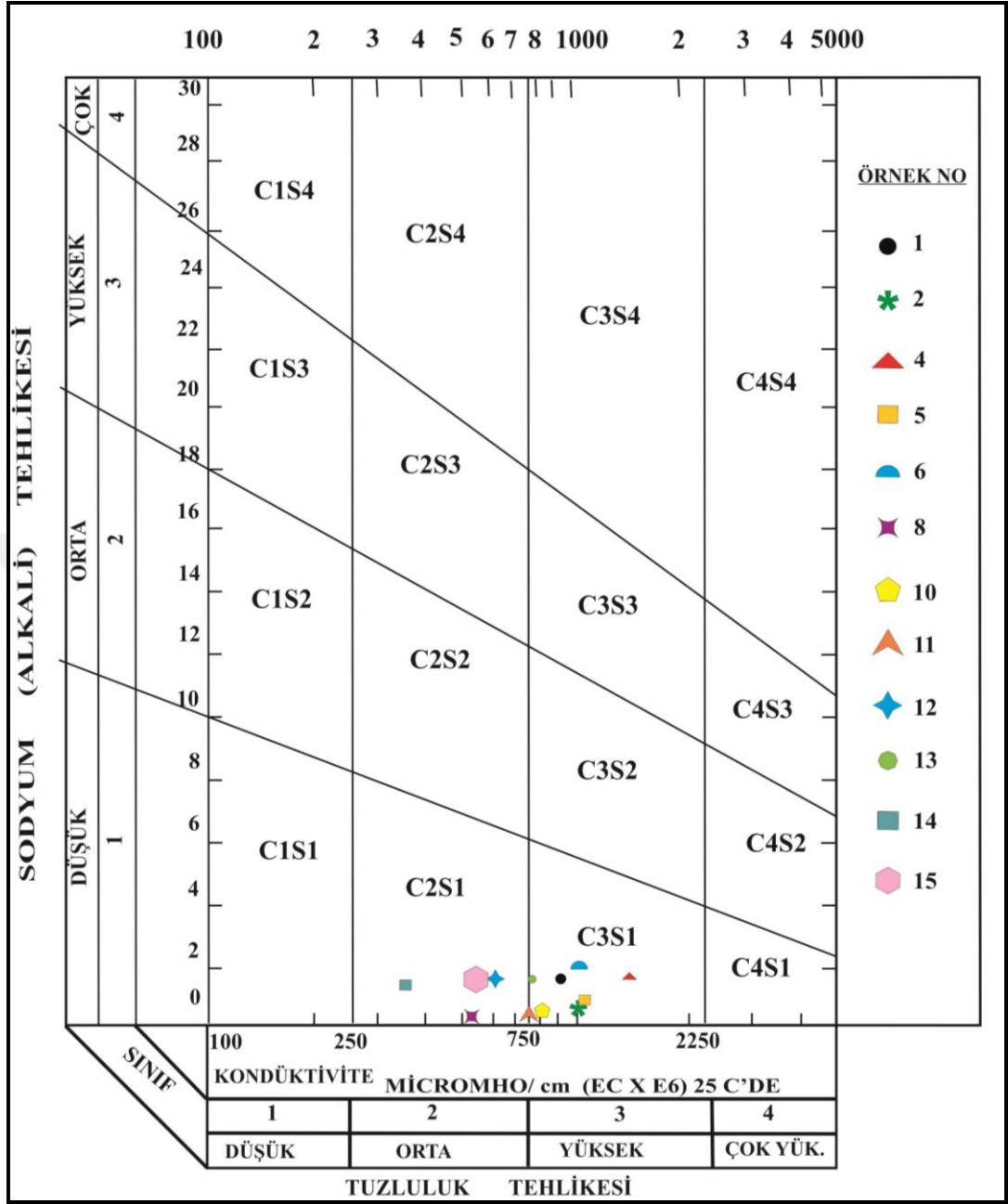
İnceleme alanında yeraltısularının sulama amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde genel olarak ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramından yararlanılmaktadır. Bu diyagramda EC ve SAR değerlerine göre 16 ayrı kategori bulunmaktadır (Çizelge 4.11). Bu diyagrama göre inceleme alanındaki yeraltısuları orta tuzlulukta - az sodyumlu suları temsil eden 'C₂S₁' ve fazla tuzlu-az sodyumlu suları temsil eden 'C₃S₁' sınıflarında yer almaktadır (Şekil 4.24).

Çizelge 4.11. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflaması
(ABD Tuzluluk Lab. Diyagramı; Şahinci, 1991)

C ₁	<i>Az tuzlu su.</i> Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir
C ₂	<i>Orta tuzlulukta su.</i> Orta derecede suya ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılabilir.
C ₃	<i>Fazla tuzlu su.</i> Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.
C ₄	<i>Çok fazla tuzlu su.</i> Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenaj yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetişebilir.
S ₁	<i>Az sodyumlu su.</i> Sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında her türlü tarım için uygun
S ₂	<i>Orta derecede sodyumlu su.</i> Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun.
S ₃	<i>Fazla sodyumlu su.</i> Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir
S ₄	<i>Çok fazla sodyumlu su.</i> Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz

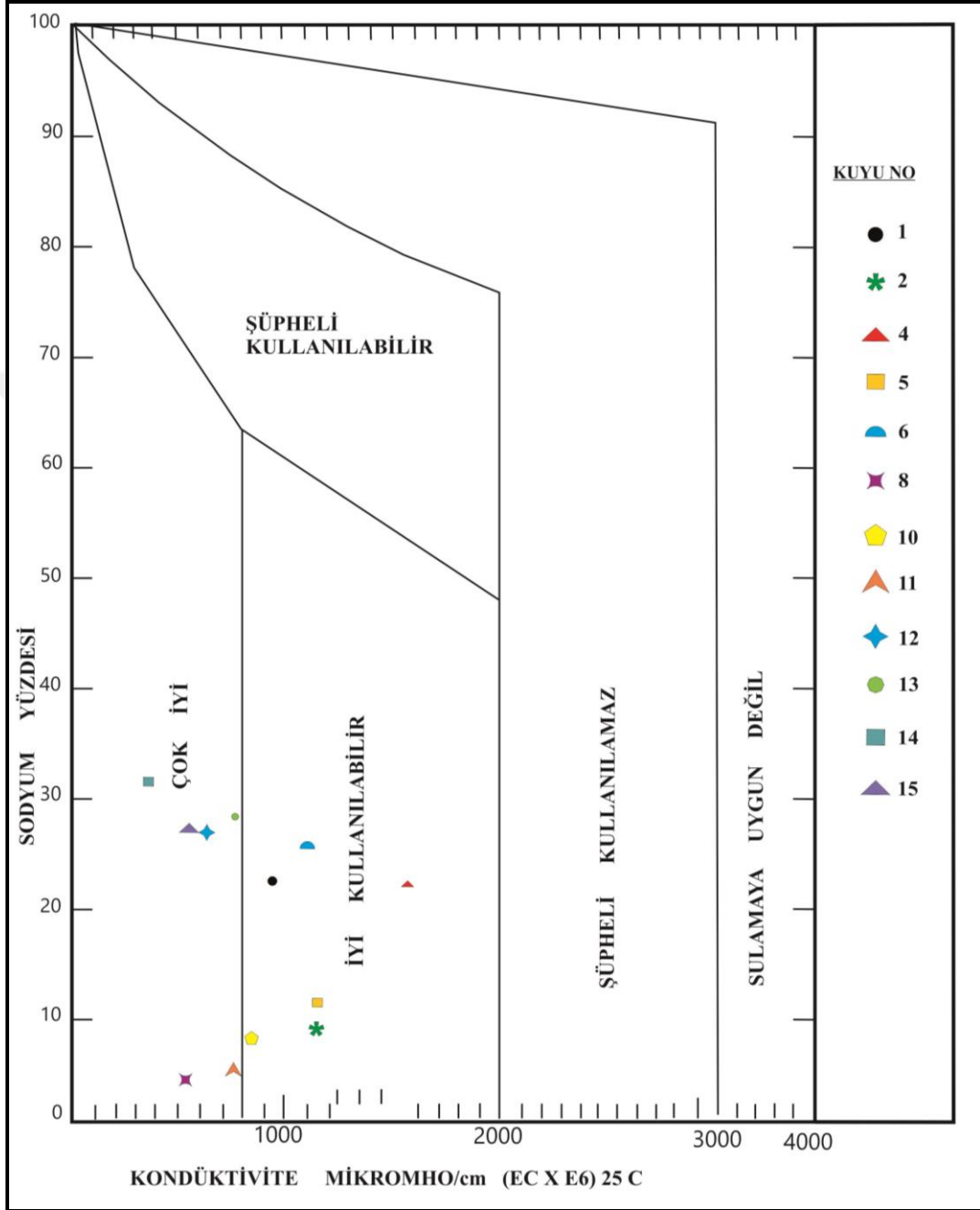


Şekil 4.24. ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramı

Wilcox diyagramı

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemede kullanılan diğer bir diyagram ise Wilcox diyagramıdır. Bu diyagramda suların EC değerleri ile % Na değerleri sınıfların belirlenmesinde kullanılan parametrelerdir. Wilcox diyagramına

göre inceleme alanındaki yeraltı suları “*çok iyi-iyi kullanılabilir sular*” sınıfında yer almaktadır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Wilcox diyagramı

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sulama suyu olarak kullanıma uygunluğun belirlenmesinde en çok yararlanılan ölçütlerden biridir (Çizelge 4.12). Sulama suyu kalitesinin belirlenmesi açısından önemli bir kriter olan sodyum miktarı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltmaktadır. SAR oranı aşağıda verilmiş formül ile hesaplanmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{++} + rMg^{++})/2}} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.12. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması
(Şahinci, 1991; Erguvanlı ve Yüzer, 1987)

SAR	
<10	Çok iyi özellikte sulama suları
10- 18	İyi özellikte sulama suları
18- 26	Orta özellikte sulama suları
> 26	Kötü özellikte sulama suları

İnceleme alanında SAR değerleri yeraltısularında 0.64-2.03 arasında değişmektedir (Çizelge 4.13). İnceleme alanında yeraltısuları SAR değerine göre '***çok iyi özellikte sulama suyu***' sınıfına girmektedir.

Sodyum iyon yüzdesi (%Na)

Sulama suyunda, sodyum, önemli bir yer tutar. Toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltır ve sulamadan sonra soğurulan sodyum, toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuk oluşturur. Bu kabuk bitki köklerinin havalanmasını engeller; ayrıca sodyum, bitkiler için zehirli bir ortam yaratır. Bu nedenlerle, % Na değerinin sınır değerleri aşması istenmemektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). % Na değeri aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$\%Na = \frac{rNa^+}{rNa^+ + rCa^{++} + rMg^{++} + rK^+} \times 100 \quad (4.2)$$

İnceleme alanında % Na değeri yeraltısularında 9.03-48.22 arasında değişmektedir (Çizelge 4.13). Yüksek %Na içerikleri alüvyon ve Pliyosen birimlerle ilişkili olan yeraltısularında gözlenmektedir. Bu lokasyondaki Na artışı kaya-su etkileşimi ile ilişkilidir.

Çizelge 4.13. Suların sulama suyu ve endüstride kullanım parametreleri

Bölge	Örnek No	%Na	SAR	RSC	PI	MT	DI	F
Ömerli	K1	37.281	1.709	-2.32	46.89	38.58	0.16	146.80
Yeşilçomlu	K2	16.623	0.646	-2.48	35.85	5.21	0.23	93.81
Aksakal	K4	37.413	1.790	-0.84	48.13	52.14	0.47	169.17
Göbel	K5	22.316	0.922	-3.21	35.37	37.62	0.33	94.45
Kepekli	K6	41.766	2.035	-2.45	48.36	39.93	0.44	180.43
Yumurcaklı	K8	9.013	0.257	-0.81	39.72	50.63	0.65	24.38
Doğancı	K10	15.802	0.509	-1.24	39.95	26.61	0.74	47.68
Mustafakemalpaşa	K11	10.801	0.322	-0.88	39.33	38.74	1.3	29.34
Ovahamidiye	K12	42.649	1.777	0.66	60.45	42.35	0.95	133.64
Yenisarıbey	K13	44.434	1.730	1.07	66.66	48.92	0.88	117.49
Örencik	K14	48.220	1.568	0.37	76.93	31.79	-0.32	82.70
Karacabey	K15	43.206	1.730	-0.19	59.58	40.17	1.1	123.25

Artıksal sodyum karbonat (RSC)

Toprak infiltrasyon oranı sorununun etkisinin tahmin edilebilmesinde Artıksal (Kalıcı) Sodyum Karbonat (RSC) (Eaton, 1950; Richards, 1954) değeri kullanılmaktadır. RSC değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$RSC = (rCO_3^{-2} + rHCO_3^-) - (rCa^{+2} + rMg^{+2}) \quad (4.3)$$

RSC değerinin pozitif (+) çıkması, ortamda ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) ile birleşmiş halde bulunan ($\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-}$) dışında hala bir miktar karbonat+bikarbonat bulunduğunu göstermektedir. Bu iyonlar Na^+ ile birleşerek sodyum bikarbonat (NaHCO_3) oluşturabilirler. Bu durum, ortamda sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel karbonat ve bikarbonat iyonu bulunduğunu göstermektedir. Eşitliğin negatif (-) çıkması durumunda ise, ortamda sodyum zararının oluşabilmesi olasılığı yok demektir. İnceleme alanında K12, K13 ve K14 örnekleri dışında tüm örneklerin RSC değerleri negatif çıkmıştır. RSC'a göre sulama suyunun sınıflandırılması Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. RSC'ye göre sulama suyunun sınıflandırılması (Arıkan, 2007)

Aralığı	Değerlendirme	Su Sınıfı
< 1.25	çok iyi	I. Sınıf su
1.25-2.5	iyi	II. Sınıf su
> 2.5	kullanılabilir	III. Sınıf su

İnceleme alanına ait RSC değerlerine göre, yeraltısuları çok iyi kaliteye sahip I. Sınıf sulardır (Çizelge 4.13).

Geçirgenlik indeksi (PI)

PI değeri Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1989) tarafından yapılan çalışmalarda sulama suyu için uygunluğun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. PI değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Doneen, 1964; WHO 1989). PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmektedir. >75 değerler sınıf I, $25-75$ arası sınıf II ve <25 değerler ise sınıf III olarak değerlendirilmektedir. I ve II sınıf sular iyi sulama sularıdır (Ragunath, 1987; Aghazadeh ve Mogaddam, 2011; Ramesh ve Elango, 2012).

$$PI=100 \times \left[\frac{r\text{Na}^+ + r\sqrt{\text{HCO}_3^-}}{r\text{Na}^+ + r\text{Ca}^{+2} + r\text{Mg}^{+2}} \right] \quad (4.4)$$

İnceleme alanında PI değerleri yeraltısularında K15 hariç % 35.37-66.66 arasında değişmektedir. K15 örneğinde PI 76.93'dür. Geçirgenlik indeksi değerine göre yeraltısuları genel olarak II. sınıf suları temsil etmektedir (Çizelge 4.13).

Magnezyum Tehlikesi (MT)

Sulama suyunda Mg artışı toprak kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Szabolcs ve Darab (1964)'a göre magnezyum tehlikesinin belirlenmesinde elde edilen MT katsayısının >50 olması durumunda sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir. MT<50 olan sular sulamaya elverişli sulardır. Magnezyum tehlikesi (MT) değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır(Szabolcs ve Darab, 1964).

$$MT=100x [rMg^{+2} / (rMg^{+2} + rCa^{+2})] \quad (4.5)$$

İnceleme alanında yeraltısularının MT değerleri %5.21 ile 52.14 arasında değişmektedir (Çizelge 4.13). MT değeri K4 örneğinde yüksektir. K4 örneği dışındaki bütün su örnekleri MT değeri açısından sulama suyu olarak kullanıma elverişlidir.

4.6.3.3. Suların endüstride kullanım özellikleri

Suların endüstride kullanım özelliklerinin değerlendirilmesinde çürütme, kireçlendirme ve köpürme özellikleri ile beton üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı endüstri türlerinde kullanılacak sularda arana özellikler değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, soğutma suyu olarak kullanılacak suların sıcaklığına dikkat edilirken, kuyu donanımı için kullanılacak suların kimyasal özellikleri değerlendirilmektedir.

Suların çürütme ve kireçlendirme özellikleri

Bazı yeraltısuları kimyasal yapılarındaki asidik özellikler nedeni ile kuyu filtre ve borularını çürütebilir veya karbonatlı sularda olduğu gibi kuyu filtre ve borularını tıkalayabilmektedir. Suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerini belirlemek amacıyla Langelier (1942) tarafından sunulan "***Kalsiyum Denge Diyagramı***" kullanılmıştır. Diyagram üzerinden okunan denge pH'sı (pHs) ile yerinde ölçümlerle belirlenen suyun pH değeri karşılaştırılarak DI denge endeksi aşağıdaki formül ile

hesaplanmıştır. Denge endeksinin yorumlamasında Çizelge 4.15'de verilen değerlendirmeler yapılmaktadır.

$$DI = pH - pH_s \quad (4.6)$$

Çizelge 4.15. Suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerinin denge endeksine göre sınıflandırılması

DI	
DI > + 0.1	suda karbonat çökmesi izlenir
DI = ± 0.1	su karbonatça doygundur
DI < -0.1	su karbonat çözündürebilir

İnceleme alanında yeraltısularında yapılan DI hesaplamalarına göre yeraltısularının genel olarak "**karbonat çökmesinin izleneceği**" ve sadece Örencik civarında Sazak formasyonundan boşalan kaynakta "**karbonat çözündürebilir**" özellikte suların olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.13; Şekil 4.26).

Suların köpürme özelliği

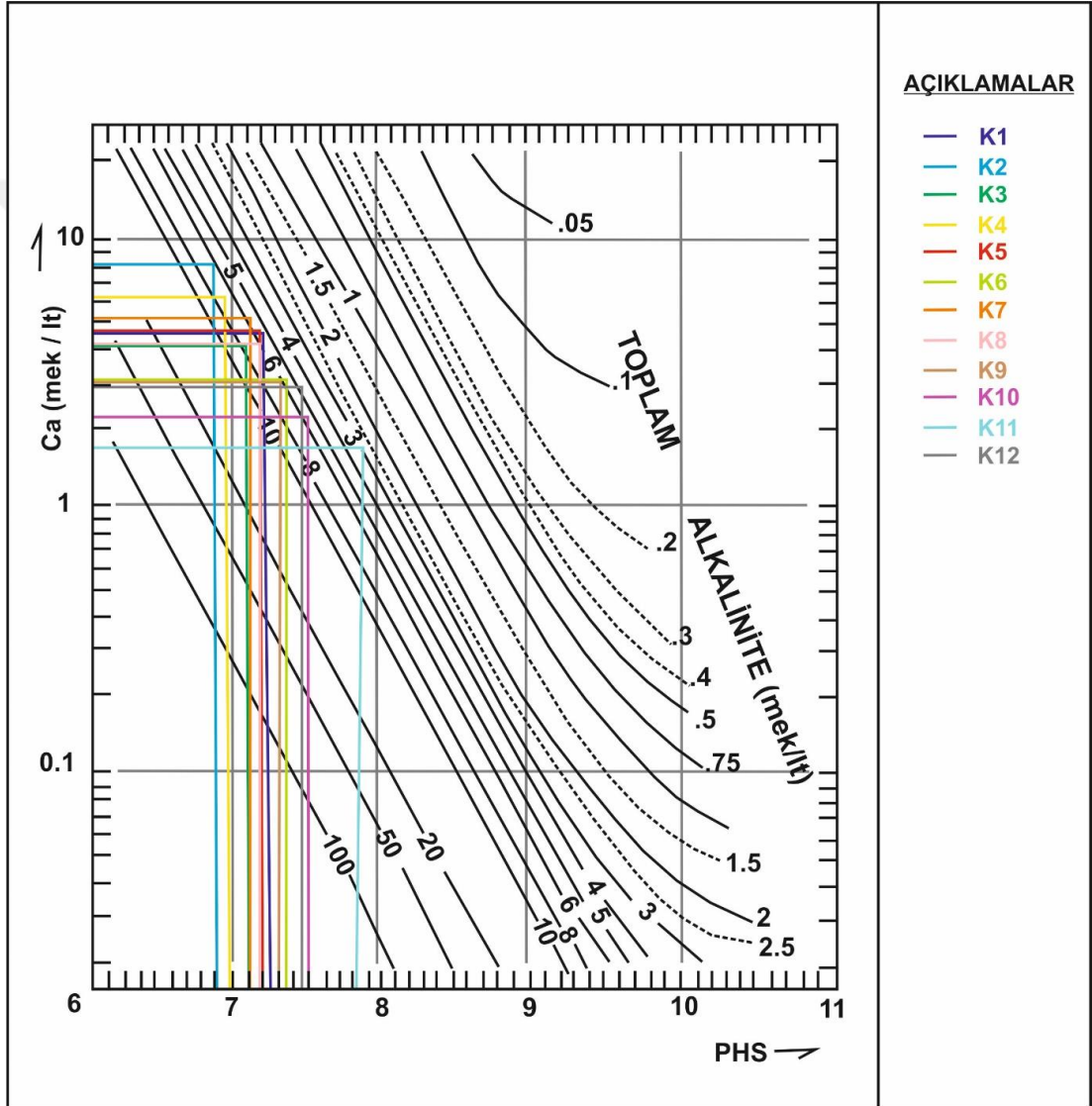
Su içerisindeki potasyum ve sodyum tuzları suların kaynarken köpürmesine neden olmaktadır. Bu durum makinelerin kazan ve borularının cidarlarında çökme ve kabuklanmaya yolaçar. Buna ek olarak çökme ve kabuklanma ısı iletkenliği azalarak yakıt masrafını arttırmaktadır. Suların köpürme özelliğinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$F = 62 r_{Na^+} + 78 r_{K^+} \quad (4.7)$$

Suların köpürme özelliği aşağıdaki sınıflandırma ile değerlendirilmektedir (Şahinci, 1991; Çizelge 4.16). İnceleme alanında yeraltısuları "**kaynarken köpürmeyen**" ve "**kaynarken köpüren**" sular sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.16. Suların köpürme özelliğine göre sınıflaması

F Değeri	
$F < 60$	Kaynarken köpürmeyen sular
$60 < F < 200$	Kaynarken köpüren sular
$F > 200$	Kaynarken çok köpüren sular



Şekil 4.26. Kalsiyum denge diyagramı

Suların beton üzerine etkisi

Yeraltısuyunda betona en çok zarar veren etki sülfat (SO_4^{-2}) iyonlarından kaynaklanmaktadır. Sülfatlı suların beton üzerindeki korozif etkisi iki şekilde ortaya çıkar. Birinci etki sülfat anyonunun çimento hidratasyon ürünü hidrate kireçle tepkimesi sonucu alçıtaşı oluşumudur. Sülfat tuzunun katyon türüne bağlı olarak alçıtaşı ile birlikte teşekkül eden reaksiyon ürünü, NaOH gibi suda eriyen veya $\text{Mg}(\text{OH})_2$ gibi suda erimeyen türde olabilir. Sülfatların asıl önemli etkisi, alçıtaşı ile veya suda erimiş halde bulunan kalsiyum sülfatla çimento bileşeninin (C_3A) reaksiyona girmesiyle ortaya çıkar. Bu durum, betonun boşluk çeperlerinde büyük basınç gerilmeleri oluşturur; önce çatlamlar şeklinde olan hasar ileri yaşlarda ayrılmaya ve parça dökülmeye sebep olur (Uygunoğlu vd., 2006). Suda bulunan sülfat miktarına ve bunun beton üzerinde yaratacağı etkiye göre yapılan sınıflandırma Çizelge 4.17' de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Su içerisindeki SO_4 (Sülfat) miktarına göre suların beton üzerine etki etme derecesi (Şahinci, 1991)

Etkileme Derecesi	Sudaki SO_4 miktarı	
	gr/l	mek/l
Pratik olarak yok	0-0.15	0-3.12
Etkime var	0.15- 1.00	3.12- 20.82
Önemli	1.00-2.00	20.82-41.16
Çok önemli	2.00'den fazla	41.16'dan fazla

İnceleme alanında sülfat miktarı yeraltısularında 0.21-0.92 mek/l arasındadır. Sülfat içeriği ile ilgili bu sınıflamaya göre bölgedeki yeraltısularının beton üzerinde olumsuz etkisi bulunmamaktadır.

4.6.4. Sularda kirlilik araştırmaları

Yeraltısuları değişim ve seyrelme kapasitelerinin çok sınırlı olması nedeniyle kirlenmeye karşı yüzeysel sulardan daha duyarlıdır. Kirletici unsurları jeojenik ve antropojenik kökenli olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Jeojenik kökenli

kirlilik; suların içerisinde geçtikleri kayalarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Su içerisinde bulunan elementlerin miktarı etkileşim süresi ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Yeraltısuyu kirliliğini oluşturan en büyük etkenler ise; antropojenik kökenli olarak ifade edilen, katı-sıvı atıklar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan kirliliktir (Varol vd., 2017).

İnceleme alanında en önemli kirlilik kaynağı yoğun olarak yapılan tarımsal faaliyetler ve hayvancılıktır. Bölgede sıvı ve katı atıkların bertarafı için düzenli bir tesis bulunmamaktadır. İnceleme alanında kirlilik tespiti için Ekim- 2018 döneminde azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.18).

4.6.4.1. Azot türevleri

Yeraltısuyunda yoğun olarak tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan önemli kirleticilerden biri olan azot, çoğunlukla nitrat (NO_3) şeklinde bulunur. NO_3 yeraltısuyunda en sık rastlanan şekli olmasına karşın, çözülmüş azot, amonyum (NH_4), nitrit (NO_2), azot (N_2), azot oksit (N_2O) ve organik azot şeklinde de bulunabilmektedir (Uslu ve Türkman, 1987). Azot bileşikleri suda kolay çözünür ve türevleri NH_4 ve NO_3 bitkilerin soğurması ile sulu ortamı kısa sürede terk eder. Magmatik ve tortul kayalardan gelen yeraltısularındaki nitrat miktarları arasında fark yoktur. Ancak ikincil olarak bozunum ve kirlenmelerden ortaya çıkan nitrat iyonları, yeraltısularını zenginleştirebilmektedir.

Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun antropojenik kökenli kirleticiler tarafından kirletildiğini göstermektedir. Türk içme suyu (TS 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu (WHO, 2006, 2008, 2011) standartlarına göre içme sularında nitrat içeriğinin 50 mg/l'yi aşmaması istenmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin genelinde nitrat içeriğinin 10 mg/l üzerinde bulunması suyun antropojenik kirlenmeye maruz kaldığının göstergesidir. İnceleme alanında nitrat içeriklerinin 0.76-145.86 mg/l arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. İnceleme alanında yeraltısularının ağır metal, F ve NO₃ analiz sonuçları

No	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	F mg/l	NO ₃ (mg/l)
K1	11.2	19	43.99	1.5	16.7	<10	0.65	<0.2	0.5	18.5	0.56	26.04
K2	14.4	63	164.57	1.1	1.7	<10	<0.05	<0.2	<0.2	0.6	0.27	110.39
K4	24.1	61	368.42	1.8	1.3	<10	0.96	<0.2	0.4	1.8	0.65	20.18
K5	22.0	42	429.76	1.5	0.8	<10	<0.05	<0.2	<0.2	0.8	1.01	124.12
K6	25.6	85	118.21	3.5	1.3	<10	2.78	<0.2	<0.2	3.0	0.65	145.86
K8	51.7	77	310.49	1.8	1.1	<10	0.24	<0.2	<0.2	1.3	0.23	23.93
K10	79.1	868	435.26	1.9	0.7	<10	<0.05	<0.2	<0.2	1.1	0.37	30.61
K11	9.0	45	57.99	2.3	2.3	<10	0.21	<0.2	<0.2	12.4	0.99	10.16
K12	52.8	221	155.44	1.3	0.5	262	574.5	1.5	0.3	3.5	0.30	2.71
K13	32.3	321	96.97	1.6	1.6	183	7.75	0.4	<0.2	92.7	0.35	0.76
K14	19.0	13	8.12	1.3	0.4	<10	0.13	<0.2	<0.2	0.6	0.21	6.86
K15	21.4	599	92.93	2.1	5.3	49	4.41	0.2	0.6	47.9	0.40	5.43
TSE 2005	10	1000		50	2000	200	50	20	10	-	1.5	50
WHO 2011	10	2400	700	50	2000	-	--	70	10	-	1.5	50

İnceleme alanında Yeşilçomlu ve Kepekli’de bulunan kaynak suları ile Göbel’de şebekeden alınan sularda nitrat içeriğinin sınır değerin çok üstünde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.18). Bu artış kaynakların beslenme alanlarında antropojenik kökenli kirlenmeler ile ilişkilidir.

4.6.4.2. Ağır metaller

Doğal sularda major iyonlar dışında ikincil ve üçüncül olarak gelişen iyonlar da söz konusudur. Ağır metaller sularda izlenen üçüncül elementlerdir. Bunlar ‘geçiş elementleri’ yada ‘iz elementler’ olarak da tanımlanmaktadır. İz metaller çevre kirlenmesi bakımından yüksek konsantrasyonlu metallere oranla çok daha tehlikelidirler. Doğal minerallerdeki metaller normal olarak çözünmeyen bileşikler halinde olup canlı organizmalara zararsızdırlar. Buna karşılık bunların çözünen türevleri, genellikle organizmalar için toksiktirler. Ağır metaller, su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşimde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yeraltısularına ulaşmasıyla geçerler.

Ağır metallerin su içerisindeki varlığı suyun hangi tür kayalarla etkileşim içerisinde olduğunu bildirmesi yanı sıra su içerisindeki miktarı suyun kalitesini de etkilemektedir. Bu nedenle, inceleme alanındaki sularda birincil (major) iyon analizleri ile birlikte ikincil ve üçüncül iyonların analizleri de yapılmıştır. Bu analizlerde sularda bulunabilecek arsenik (As), bor (B), baryum (Ba), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) iyonlarının analizleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) laboratuvarında yaptırılmıştır (Çizelge 4.18). Değerlendirmede Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları dikkate alınmıştır.

Arsenik (As): Arsenik 200’den fazla mineral türünde bulunmaktadır. Kalkofil bir element olan arsenik, hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe gibi elementlerle, Ni-Cu sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında (Cu, V, U, Ag gibi elementlerle), fosfatlı kayalarda, oksitlerde gözlenmektedir. Element arsenik suda çözünmezken inorganik arsenik tuzları, pH ve iyonik ortama bağlı olarak geniş aralıklı çözünürlükler göstermektedir.

Yeraltısularındaki arsenik seviyesi, volkanik kayalar ve sülfürlü minerallerin depolandığı yerler hariç, ortalama 1-2 µg/l’dir (Şahinci, 1991). Ayrıca, arsenik içeren tarımsal ilaçların

kullanılması toprakta ve süzülme yoluyla geçtiği yeraltısularında tehlike oluşturmaktadır. Madencilik, demir-dışı metallerin eritilmesi ve fosil yakıtların yanması gibi büyük endüstriyel prosesler arseniğin hava, su ve toprağa yayılarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca, inorganik bileşikler içeren tarımsal ilaçların kullanılması ve kereste muhafazasında arsenik kullanılması sulara As kirliliğini artırmaktadır (WHO, 2006).

TSE-266 (2005) ve WHO (2011) standartlarında As için verilen içme suyu sınır değeri 10 µg/l'dir. İnceleme alanında yeraltısularının As içeriği 9-79.1 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.18). Bölgede yeraltısularında As içeriğinin yüksek olduğu bilinmekte ve çoğu kaynak suyu içme suyu amacıyla kullanılmamaktadır. Ancak, analiz sonuçlarına göre şebeke suları ve içmesuyu olarak kullanılan kaynak sularında da As içeriğinin sınır değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. İnceleme alanında yeraltısularında As artışı genelde volkanik kayalarla ilişkili olarak jeojenik kökenlidir. Ancak, tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak antropojenik kökenli etkilerin de olabileceği düşünülmektedir.

Bor (B): Yerkürede az rastlanan (10 mg/l) elementlerden biridir. Mineral ve kayalardaki bor miktarı oldukça değişkendir. Magmatik ve metamorfik kayalarda bor iz element veya bor silikatları şeklindedir. Kireçtaşlarındaki bor miktarı ise içerdikleri kil miktarı ile orantılıdır. Dolomitlerde bor kireçtaşlarına oranla daha fazladır. Tortullardaki bor miktarı, çökeltme ortamının tuzluluğu hakkında bilgi vermektedir. Bor, sulara borik asit (H_3BO_3) şeklinde bulunmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların çözünürlükleri artar. Borik asit sıcak sulara çok, soğuk sulara az çözünmektedir (Şahinci, 1991). Sulama sularını en çok kirlüten elementlerin başında bor gelmektedir. Bor, yeraltısuyunda doğal olarak bulunurken, yüzey sularında endüstriyel kirlenici olarak veya tarımsal yüzeysel akışların ve çürüyen bitki materyallerinin bir ürünü olarak bulunabilmektedir (Uygan ve Çetin, 2004).

İçme suyu standartlarında bor için belirlenen eşik değeri TSE-266 (2005) için 1000 µg/l, WHO (2011) için 2400 µg/l'dir. İnceleme alanındaki yeraltısularında Bor konsantrasyonları 13-868 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.18).

Baryum (Ba): Magmatik kayalarda hiç görülmeyen baryum, ultrabazik ve tortul kayalarda ender olarak bulunmaktadır. Metamorfik kayaların Ba oranı ise değişkendir. Akarsularda ortalama 0.045 mg/l kadar bulunan Ba, genellikle doğal sulara çok az bulunur (Şahinci,

1991). WHO (2011) standardına göre baryumun sınır değeri 700 µg/l'dir. İnceleme alanındaki Ba değerleri 8.12-435.26 µg/l'dir ve içme suyu standartları sınır değerini aşmamaktadır (Çizelge 4.18).

Krom (Cr): Doğal sularda çok az çözünebilen krom, çok oksitleyici ve asidik ortamlarda kromat iyonu şeklinde bulunabilmektedir (Şahinci, 1991). Krom elementi için TSE-266 (2005) ve WHO (2011) tarafından sınır değer 0.05 mg/l (50 µg/l) olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının Cr içeriği 1.1-3.5 µg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Bakır (Cu): Bakır yerkabuğundaki kayaçlarda doğal bakır veya bakır içeren sülfür (kalkopirit, kalkosit) ve karbonat mineralleri (malahit, azurit) şeklinde bulunmaktadır (Goldschmidt, 1958). Bakırın sınır değeri TSE-266 (2005) ve WHO (2011)'da 2000 µg/l'de olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında bakır konsantrasyonu 0.4-16.7 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.18).

Demir (Fe): Yerkabuğunda oldukça bol miktarda bulunan demirin jeokimyasal özellikleri oksijen, kükürt ve karbona bağlıdır. Fiziksel ve kimyasal ayrışma, tortullaşma, diyajenez ve redoks tepkimelerinin farklılığı, demirin kayalarda bulunuş miktarını etkiler (Şahinci, 1991). Fe için TSE-266 (2005) içme suyu standardında belirlenen sınır değer 200 µg/l'dir. İnceleme alanında yeraltısularının Fe içeriği <10-262 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.18). Ovahamidiye'de sondaj kuyusundan alınan örnekte Fe içeriği sınır değerinin üzerindedir. Yine Yenisarıbey'de sondaj kuyusundan alınan örnekte de Fe içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu lokasyonlardaki Fe artışlarının tarımsal faaliyetlerle ilişkili antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.

Mangan (Mn): Mangan yerkabuğunda 950 mg/l, ultrabazik kayaçlarda 1.6×10^3 mg/l, bazik kayaçlarda 1.6×10^3 mg/l civarında bulunmaktadır. Sularda karbonat ve sülfat derişimi yüksek ise (1000 mg/l) $MnHCO_3$ veya $MnSO_4$ bileşikleri izlenebilir. Yeraltısularında ise genellikle 0.2 mg/l'den az miktarda mangan bulunmaktadır (Şahinci, 1991). TSE-266 (2005) içme suyu standartlarında Mn için sınır değer 50 µg/l olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının Mn içeriği <0.05 -574.50 µg/l arasında değişmektedir. Kuyu suyu örneğinde tespit edilen en yüksek Mn değerinin antropojenik (tarım ve hayvancılık) kökenli olduğu düşünülmektedir.

Nikel (Ni): Nikel daha çok ultrabazik ve bazik kayaç mineralidir. Ancak asidik kayaçlarda da çok az miktarlarda bulunmaktadır. Nikel içme suyuyla temas halinde olan boru ve tesisattan metallerin sızması sonucu da karışabilmektedir. Nikelin bilinen biyolojik fonksiyonu olmamakla birlikte orta seviyede zehirleyici özelliği söz konusudur. Doğada nikel, doğal olarak bulunabileceği gibi insan aktiviteleri sonucu da karşımıza çıkmaktadır. Nikelin organik formu, inorganik formundan daha zehirleyici özelliğe sahiptir (Şahinci, 1991; Kartal vd., 2004). TSE-266 (2005) içme suyu standardına göre Ni için belirlenen sınır değeri 20 µg/l, WHO (2011) tarafından belirlenen değeri ise 70 µg/l'dir. İnceleme alanında yeraltısularının Ni konsantrasyonu <0.2-1.5 µg/l, arasındadır (Çizelge 4.18).

Kurşun (Pb): Kurşun elementinin magmatik ve tortul kayaçlarda bulunma oranı değişkendir. Antropojenik kökenli kurşun kirliliği özellikle araçların egsoz gazlarından ve fabrika ile konutlarda yakılan kömürlerden kaynaklanabilmektedir (Şahinci, 1991). Kurşun hava, su ve toprak aracılığıyla, solunum şeklinde veya besinlere karışmak suretiyle biyolojik sistemlere girmektedir. Ayrıca, su borularında kullanılan kurşun içme suyuna karışabilmektedir (Kahvecioğlu vd., 2004). Kurşun için TSE- 266 (2005) ve WHO (2011) içme suyu standartlarında belirlenmiş olan sınır değeri 10 µg/l'dir. İnceleme alanı sularında Pb konsantrasyonu yeraltısularında <0.2-0.6 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.18). İnceleme alanında yeraltısularının Pb için verilen sınır değeri aşımadığı görülmektedir.

Çinko (Zn): Mağmatik kayaçlarda ortalama olarak 70 mg/l oranında çinko bulunurken, ultrabazik ve bazik kayaçlarda bu oran (mafik kayaçlarda: 100 mg/l, ara kayaçlarda: 60 mg/l) daha da yüksektir. Doğal sularda fazla miktarda çinko çökmesi bakteriler tarafından sülfatların indirgenmesi ile gerçekleşmektedir (Şahinci, 1991). TSE-266'da Zn için sınır değeri verilmemiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2006 yılındaki standardında Zn için sınır değeri 5000 µg/l olarak verilmiştir. Ancak, 2011 yılı WHO standardında suların Zn içeriğine ait sınır değeri verilmemiştir. İnceleme alanında yeraltısularının Zn içeriği 0.6-92.7 µg/l arasındadır (Çizelge 4.18).

4.7. Sağlık Risk Değerlendirmesi

İnsan sağlığı risk değerlendirmesi, şimdi veya gelecekte kirli çevre ortamlarında kimyasal maddelere maruz kalabilecek insanlarda olumsuz sağlık etkilerinin doğasını ve olasılığını tahmin etme sürecidir. Küresel ölçekte, içme suyunun patojenik kirlenmesi insanlar için en önemli sağlık riskini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, insan sağlığı için önemli riskler, sularda genellikle her yerde bulunan patojenik olmayan, toksik kirletici maddelere maruz kalmaktan da kaynaklanabilir (USEPA 2013).

İnceleme alanında en önemli tehlike kuyu ve kaynak sularında tespit edilen yüksek As içeriğidir. Ayrıca, bazı kaynak sularında NO₃ içeriğinin içme suyu standart değerlerini aştığı görülmektedir. Sulama suyu olarak kullanılan K12 kuyu suyu örneğinde de Fe ve Mn içeriklerinin de içme suyu sınır değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Arseniğin sağlık etkileri: İçme sularındaki yüksek As konsantrasyonlarının insanlarda kanser riskini arttırdığı bilinmektedir (Chatterjee ve Mukherjee, 1999). İçme suyunda arseniğe uzun süre maruz kalmak deride, akciğerlerde, mesanede ve böbreklerde kanser riskini artırır (WHO, 2011). Arsenikli suların düzenli ve uzun süreli kullanımında cilt hastalıkları özellikle de pigmentasyon değişiklikleri (melanosis) ve keratosis görülmektedir. Nadir de olsa cilt kanseri oluşumu bildirilmiştir (Varol vd., 2008). İnorganik arsenik bileşikleri 60 ppm üzerindeki konsantrasyonlarda oral yolla vücuda alındığında insanlar için sonuç ölümdür. Akut arsenik zehirlenmesi toksik miyokardit yapabilir. Kronik olarak arseniğe maruz kalma neticesinde de, küçük damar hastalığı ve fibrozisle birlikte olan ve interstisyel inflamasyonla karakterize olan kardiyomiyopati oluşabilir (Hall ve Harruf, 1989). İçme suyu ile yüksek konsantrasyonlarda arseniğe maruz kalma neticesinde koroner arter hastalığı, periferik arter hastalığı ve QT uzamasına bağlı olarak hayatı tehdit edici ölümcül kardiyak aritmiler oluşabilmektedir (Mumford, vd., 2007; Yıldız vd., 2008; Varol vd., 2009). İnsan sağlığı etkilerine ek olarak, sulama sularındaki yüksek arsenik konsantrasyonları, bitkiler ve kültür bitkileri için de toksiktir. Arsenikle kirlenmiş sular sulama amaçlı kullanıldığında bitki dokularında birikme eğilimindedir (Badruk, 2003; Zhang vd., 2002; Aksoy vd., 2009).

Nitratın sağlık etkileri: Nitrat muhtemelen gastrointestinal sistemin, azot oksit ve asitlenmiş nitritin antibakteriyel özelliklere sahip olması nedeniyle, çeşitli gastrointestinal patojenlere karşı korunmasında rol oynamaktadır. Diğer yararlı fizyolojik rollere de sahip olabilir. Bu

nedenle, eksojen nitrat alımının bir yararı olabilir ancak potansiyel risklerin potansiyel faydalarla dengelenmesi gerekmektedir (WHO 2011). Nitrat alımının birincil olarak mide kanserleri ile ilişkisi üzerine önemli sayıda epidemiyolojik çalışma yapılmıştır. Her ne kadar epidemiyolojik verilerin tüm kanserler ile ilgili kesin sonuçlara varmak için yeterli olmadığı düşünülse de, herhangi bir kanser bölgesi ile nedensel bir ilişkiye dair inandırıcı bir kanıt yoktur. Kanıt ağırlığı, içme suyunda mide kanseri ile nitrat arasında nedensel bir ilişki olma ihtimalinin olmadığını gösterir. İçme suyu nitratı, biberonla beslenen bebeklerde metaemoglobinaemi için önemli bir risk faktörü olabilir, metanemoglobinaemi riskinin öncelikle eşzamanlı gastrointestinal enfeksiyonların varlığında arttığı yönünde kanıtlar vardır (WHO 2011; Davraz vd., 2016).

Manganın sağlık etkileri: Mn insanlar ve hayvanlar için vazgeçilmez bir unsurdur. Her ne kadar içme suyunda çok yüksek seviyelere maruz kalmanın ardından olumsuz nörolojik etkileri bildiren epidemiyolojik çalışmalar yapılmış olsa da, bu çalışmalarda bazı önemli potansiyel rahatsız edici faktörler vardır ve diğer bazı çalışmalar maruz kalmanın ardından olumsuz etkileri gözlemleyememiştir (WHO 2011).

Demirin sağlık etkileri: Vücutta demir depolanma hastalığında yani hemakromatozis’de en sık ölüm sebebi kalp yetmezliği ve aritmilerdir. Histolojik olarak kalp hücreleri içinde çok yoğun miktarda demire rastlanır (Selinus vd., 2005). Vücutta demirin fazla olması damar sertliğine, hücrelerin erken yaşlanmasına ve yağlanmasına, karaciğer, pankreas ile eklemlerde ağır tahribatlara neden olabiliyor.

Risk değerlendirmesi, çeşitli kirletici maddelere maruz kalmaktan kaynaklanan insan sağlığı için olası riskleri belirleme ve ölçme çabasıdır. İnsanların maruz kaldığı kimyasallar için toksisite verilerinin değerlendirilmesini ve potansiyel maruz kalma seviyelerinin tahmin edilmesini içerir (O’Rourke vd., 1999; Kavcar vd., 2009; Varol ve Davraz, 2016; Davraz vd., 2016).

Kronik kanser dışı tehlike indeksi (HI) yaklaşımı

Birden fazla kimyasalın yol açtığı kanserojen olmayan etkiler için genel potansiyeli değerlendirmek amacıyla USEPA'nın (1986) “*Kimyasal Karışımların Sağlık Risk Değerlendirmesi Kılavuzları*”na dayanarak bir tehlike indeksi (HI) yaklaşımı geliştirilmiştir.

Bu yaklaşım, birkaç kimyasal maddeye eşzamanlı alt eşik değer maruziyetinin olumsuz bir sağlık etkisi ile sonuçlanabileceğini varsaymaktadır. Bu yaklaşımda, kirlenici maddenin vücuda alınma yolu, maruz kalma süresi, yoğunluğu ve sıklığı dikkate alınarak ortalama günlük doz (ADD) hesaplanır.

İnsanın metallere maruz kalması üç ana yolla gerçekleşebilir; doğrudan yutma, ağız -burun yoluyla solunma ve deriye maruz kalma. İçme suları için yutma ve deri absorpsiyonu genel maruziyet durumlarıdır (USEPA, 2004; De Miguel vd., 2007; Wu vd., 2009; Li ve Zhang, 2010).

Bir bireyin günlük maruziyetini tahmin etmek için, USEPA (2005) tarafından *Yaşam Boyu Ortalama Günlük Doz (ADD)* maruziyet hesabı önerilmiştir (Kavcar vd., 2009; Varol ve Davraz, 2016). Yutma ve deri yoluyla günlük alım dozu (ADD) USEPA (2004) tarafından verilen aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır (Kavcar vd., 2009; Nguyen vd., 2009; Li vd., 2007; Liu vd., 2009; Davraz vd., 2016; Varol ve Davraz, 2016; Şener vd., 2017). Bu formüllerde kullanılan simgeler farklı çalışmalarda değişiklik göstermektedir.

$$ADD_{\text{oral}} = (C_i \times L \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (4.8)$$

$$ADD_{\text{dermal}} = (C_i \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times 10^{-3}) / (BW \times AT) \quad (4.9)$$

Formüllerde;

C_i : içme suyundaki bir (i) kirlenici konsantrasyonu (mg/l), L : günlük su alım oranı (l/gün), EF : maruziyet sıklığı (gün/yıl), ED : maruziyet süresi (yıl; kanserojen olmayan risk için 30 yıl, kanserojen olan için 70 yıl), BW : vücut ağırlığı (kg), AT : ortalama maruziyet zamanı (gün, kanserojen olmayan risk için 30 yıl x 365 gün/yıl, kanserojen olan için 70 yıl x 365 gün/yıl), SA : maruz kalan deri alanı (cm²), ET : maruziyet zamanı (saat/gün). İçmesuyu ve dermal (banyo vb. ile deri absorpsiyonu) kaynaklı ortalama günlük dozun (ADD) hesaplanması için yukarıda belirtilen parametrelere ait USEPA (2001) tarafından önerilen değerler Çizelge 4.19'da verilmiştir. K_p değeri sudaki dermal geçirimsizlik katsayısı (cm/saat) olarak tanımlanmaktadır. Bazı inorganik elementlere ait varsayılan geçirgenlik sabitleri USEPA'da (2004) verilmiştir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.19. İçme suyu ve dermal kullanım için varsayılan değerler (USEPA, 2001)

Parametreler	Yetişkin	Çocuk
L (<i>l/gün</i>)	2	1
EF (<i>gün/yıl</i>)	365-oral 350-dermal	365-oral 350-dermal
ED (<i>yıl</i>)	30	6
BW (<i>kg</i>)	70	15
AT (<i>gün</i>)	10950	2190
SA (<i>cm²</i>)	18000	6600
ET (<i>s/gün</i>)	2.6	1

Farklı yollarla ortama günlük doz (ADD_{oral} , ADD_{dermal}) tahmininden sonra bu etkinin kanserojenik olup olmadığını tespit etmek için farklı formüller kullanılmaktadır. Potansiyel kanserojen olmayan riski belirten Tehlike katsayısı (HQ) eşitlik 4.10 ile hesaplanmaktadır. RfD değeri referans doz olarak tanımlanmıştır.

$$\text{Tehlike katsayısı (HQ)} = \text{ADD} / \text{RfD} \quad (4.10)$$

Eğer hesaplanan, HQ değeri 1'den büyükse ($HQ > 1$), kanserojen olmayan etkiler için endişe edilebileceği belirtilmektedir. HQ'nun yüksek değerleri kanserojen olmayan etki olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir (USEPA 1989; Khan et al. 2008; Muhammad et al. 2011; Qaiyum et al. 2011). HQ değeri tek başına değerlendirmede kullanılabileceği gibi, araştırma yapılan alana bağlı olarak herhangi bir kirleticinin içmesuyu (yutma) kullanımı ve deri yoluyla alımında karşılaşılabilecek olumsuz etkileri belirleyebilmek için her bir maruziyet türü için elde edilen tehlike katsayıları (HQ) toplanarak toplam tehlike indeksi (HI) ile değerlendirilebilir. USEPA'ya göre hesaplanan HI değeri 1'den büyük ise kirleticilerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etki edebileceği belirtilmiştir (USEPA 2001; USEPA, 2004).

Kanserojen risk, bir bireyin yaşam boyu kanserojen tehlikelere maruz kalmasından dolayı herhangi bir kanser türü geliştirme olasılığı olarak tanımlanmıştır. İçme suyundaki kirleticinin yaşamboyu kullanımında kanser riski oluşturup oluşturmayacağını tespit etmek için aşağıdaki formül kullanılmaktadır. Kabul edilebilir veya tolere edilebilir risk 10^{-6} ile 10^{-4} arasındadır (Rodriguez-Proteau ve Grant, 2005; Lim vd., 2008; Li ve Zhang, 2010).

$$\text{Kanser risk} = \text{ADD} \times \text{SF} \quad (4.11)$$

Formülde;

Kanser riski birimsizdir ve içme suyunda kansere neden olan kirletici riski tanımlar. SF, kirletici için eğim faktörü (kg d/mg); ADD kirletici için kronik günlük alım miktarıdır (mg/kg d) (Li vd., 2007; Liu vd., 2009). Eğim faktörü (SF) potansiyel insan kanserojen risklerini değerlendirmek için en yaygın olarak kullanılan katsayıdır (USEPA, 1989). SF ve RfD değerleri EPA Entegre Risk Bilgi Sistemi (IRIS, 2005) çevrimiçi veritabanından ve EPA Sağlık Etkileri Değerlendirme özet tablolarından (HEAST) elde edilebilir (Çizelge 4.20; USEPA, 2013).

Çizelge 4.20. Bazı elementlerin Kp, RfD, SF değerleri (IRIS, 2005; USEPA, 2013)

	Kp (cm/h)	RfD-oral (mg/kg/d)	RfD-dermal (mg/kg/d)	SF-oral (kg d/mg)	SF-dermal (kg d/mg)
As	1E-03	3E-04	1.23E-04	1.5	3.66
Fe	1E-03	0.3	0.14		
Mn	1E-03	0.14	1.84E-03		
NO ₃		1.6	0.8		

Bu çalışmada içme suyu sınır değerlerini aşan As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. İnceleme alanında analizleri yapılan su kaynaklarının As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için oral ve dermal yolla alım ile gerçekleşebilecek tehlike katsayıları (HQ), tehlike endeksi (HI) ve kanser riski değerleri yetişkin ve çocuk bireyler dikkate alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.21).

Yetişkin

İçme suyu olarak kullanımda yetişkinler için Fe ve Mn elementleri için hesaplanan tehlike katsayısı değerlerinin tamamı 1'den küçüktür. Bu durum Fe ve Mn elementleri açısından içme suyu olarak kullanımda su kaynaklarının olumsuz etki yaratmayacağını göstermektedir. NO₃ içeriği açısından Yeşilçomlu kaynak suyu (K2), Kepekler kaynak suyu (K6) ile Göbel'de şebeke suyundan (K5) alınan örneklerin HQ değerleri 1'den büyüktür ve içme suyu olarak kullanımda NO₃ içeriği bu bölgelerde riskli olabilecektir. As elementi için yapılan tehlike katsayısı (HQ) hesaplamasında Mustafakemalpaşa'dan alınan şebeke suyu örneği dışındaki bütün su örneklerinin içmesuyu olarak kullanımda risk oluşturacağı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.21. Su örneklerinin HQ, HI ve Kanser risk değerleri

No	Yetişkin-HQ _{oral}						Yetişkin-HQ _{dermal}					
	As	Fe	Mn	NO ₃	HI	As-Kan.R.	As	Fe	Mn	NO ₃	HI	As-Kan.R.
1	1,07E+00	8,57E-05	1,33E-04	4,65E-01	1,53E+00	4,80E-04	5,00E-04	1,24E-05	6,79E-04	6,26E-02	6,38E-02	2,26E-07
2	1,37E+00	8,57E-05	1,02E-05	1,97E+00	3,34E+00	6,17E-04	6,43E-04	1,24E-05	5,23E-05	2,65E-01	2,66E-01	2,90E-07
4	2,30E+00	8,57E-05	1,96E-04	3,60E-01	2,66E+00	1,03E-03	1,08E-03	1,24E-05	1,00E-03	4,85E-02	5,06E-02	4,86E-07
5	2,10E+00	8,57E-05	1,02E-05	2,22E+00	4,31E+00	9,43E-04	9,83E-04	1,24E-05	5,23E-05	2,98E-01	2,99E-01	4,43E-07
6	2,44E+00	8,57E-05	5,67E-04	2,60E+00	5,04E+00	1,10E-03	1,14E-03	1,24E-05	2,91E-03	3,51E-01	3,55E-01	5,16E-07
8	4,92E+00	8,57E-05	4,90E-05	4,27E-01	5,35E+00	2,22E-03	2,31E-03	1,24E-05	2,51E-04	5,75E-02	6,01E-02	1,04E-06
10	7,53E+00	8,57E-05	1,02E-05	5,47E-01	8,08E+00	3,39E-03	3,53E-03	1,24E-05	5,23E-05	7,36E-02	7,72E-02	1,59E-06
11	8,57E-01	8,57E-05	4,29E-05	1,81E-01	1,04E+00	3,86E-04	4,02E-04	1,24E-05	2,20E-04	2,44E-02	2,51E-02	1,81E-07
12	5,03E+00	2,50E-02	1,17E-01	4,84E-02	5,22E+00	2,26E-03	2,36E-03	3,60E-03	6,01E-01	6,52E-03	6,13E-01	1,06E-06
13	3,08E+00	1,74E-02	1,58E-03	1,36E-02	3,11E+00	1,38E-03	1,44E-03	2,51E-03	8,10E-03	1,83E-03	1,39E-02	6,51E-07
14	1,81E+00	8,57E-05	2,65E-05	1,23E-01	1,93E+00	8,14E-04	8,49E-04	1,24E-05	1,36E-04	1,65E-02	1,75E-02	3,83E-07
15	2,04E+00	4,67E-03	9,00E-04	9,70E-02	2,14E+00	9,17E-04	9,56E-04	6,73E-04	4,61E-03	1,31E-02	1,93E-02	4,31E-07
No	Çocuk-HQ _{oral}						Çocuk-HQ _{dermal}					
	As	Fe	Mn	NO ₃	HI	As-Kan.R.	As	Fe	Mn	NO ₃	HI	As-Kan.R.
1	4,98E-01	4,00E-05	6,19E-05	2,17E-01	7,15E-01	1,12E-03	3,84E-02	2,71E-06	1,49E-04	1,37E-02	5,23E-02	1,73E-05
2	6,40E-01	4,00E-05	4,76E-06	9,20E-01	1,56E+00	1,44E-03	4,94E-02	2,71E-06	1,15E-05	5,82E-02	1,08E-01	2,23E-05
4	1,07E+00	4,00E-05	9,14E-05	1,68E-01	1,24E+00	2,41E-03	8,27E-02	2,71E-06	2,20E-04	1,06E-02	9,35E-02	3,73E-05
5	9,78E-01	4,00E-05	4,76E-06	1,03E+00	2,01E+00	2,20E-03	7,55E-02	2,71E-06	1,15E-05	6,55E-02	1,41E-01	3,40E-05
6	1,14E+00	4,00E-05	2,65E-04	1,22E+00	2,35E+00	2,57E-03	8,78E-02	2,71E-06	6,37E-04	7,69E-02	1,65E-01	3,96E-05
8	2,30E+00	4,00E-05	2,29E-05	1,99E-01	2,50E+00	5,18E-03	1,77E-01	2,71E-06	5,50E-05	1,26E-02	1,90E-01	8,00E-05
10	3,52E+00	4,00E-05	4,76E-06	2,55E-01	3,77E+00	7,93E-03	2,71E-01	2,71E-06	1,15E-05	1,61E-02	2,87E-01	1,22E-04
11	4,00E-01	4,00E-05	2,00E-05	8,47E-02	4,85E-01	9,02E-04	3,09E-02	2,71E-06	4,82E-05	5,36E-03	3,63E-02	1,39E-05
12	2,35E+00	1,16E-02	5,47E-02	2,26E-02	2,44E+00	5,29E-03	1,81E-01	7,90E-04	1,32E-01	1,43E-03	3,15E-01	8,17E-05
13	1,44E+00	8,13E-03	7,38E-04	6,33E-03	1,45E+00	3,24E-03	1,11E-01	5,52E-04	1,78E-03	4,01E-04	1,14E-01	5,00E-05
14	8,44E-01	4,00E-05	1,24E-05	5,72E-02	9,02E-01	1,90E-03	6,52E-02	2,71E-06	2,98E-05	3,62E-03	6,88E-02	2,94E-05
15	9,51E-01	2,18E-03	4,20E-04	4,53E-02	9,99E-01	2,14E-03	7,34E-02	1,48E-04	1,01E-03	2,86E-03	7,74E-02	3,31E-05

İnceleme alanındaki bütün su örneklerinin As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için hesaplanan toplam tehlike indeksi (HI) değerleri 1'den büyüktür. Bu durum inceleme alanında analiz edilen su örneklerinin içmesuyu olarak kullanımda sağlık için olumsuz etki edebileceğini göstermektedir. Yetişkinler için hesaplanan kanser riski değerlerinin 1.03×10^{-3} ile 9.43×10^{-4} arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanında K4, K8 ve K10 nolu kaynak suları, K6 nolu şebeke suyu ve K12, K13 nolu kuyu sularının kanser riski değerleri kabul edilebilir değer olan 10^{-4} 'den daha büyüktür (Çizelge 4.21). Bu durum, bu suların yaşam boyu içme suyu olarak kullanımında kanser riski oluşturabileceğini göstermektedir.

Su kaynaklarının kullanımı ile deri yoluyla maruziyete bağlı olarak As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için hesaplanan tehlike katsayıları (HQ_{dermal}) ve toplam tehlike indeksi (HI) değerleri 1'den küçüktür (Çizelge 4.21). Bu parametrelerin deri yoluyla vücuda alınmasında riskin olmadığını belirtmektedir. Dermal yolla hesaplanan kanser riski değerleri 1.04×10^{-6} ile 6.51×10^{-7} arasında değişmektedir. 10^{-6} 'dan yüksek olan K8, K10 ve K12 örnekleri dışındaki suların dermal yolla maruziyette kanser riski oluşturabileceğini göstermektedir.

Çocuk

İçme suyu olarak kullanımda çocuk için Fe ve Mn elementleri için tehlike katsayısı (HQ_{oral}) değerlerinin tamamı yetişkinlerde olduğu gibi 1'den küçüktür. Sudaki Fe ve Mn içerikleri içme suyu olarak kullanımda olumsuz etki yaratmayacaktır. NO₃ içeriği açısından Göbel'de şebeke suyu (K5) ve Kepekli'deki kaynak suyundan (K-6) alınan örneklerin HQ değerleri 1'den büyük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.21). As elementi için K4, K6, K8, K10, K12, K13 örneklerinin HQ_{oral} değerleri 1'den büyüktür. Çocuk için toplam tehlike indeksi (HI) değerleri K2, K4, K5, K6, K8, K10, K12, K13 örneklerinde 1'den büyüktür. Bu kaynak, kuyu ve şebeke sularının içme suyu olarak kullanımında sağlık açısından risk yaşanabileceğini göstermektedir. Çocuklar için hesaplanan içme suyu olarak kullanımda kanser riski değerlerinin 1.12×10^{-3} ile 9.02×10^{-4} arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanında K11 nolu şebeke suyu örneği dışındaki bütün su örneklerinin kanser riski değerleri kabul

edilebilir değer olan 10^{-4} - 10^{-6} aralığından daha büyüktür (Çizelge 4.21). İnceleme alanında As elementi açısından uzun süreli kullanımda çocuklar açısından kanser yapma olasılığı bulunmaktadır.

Deri yoluyla maruziyete bağlı olarak As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için hesaplanan tehlike katsayıları (HQ_{dermal}) ve toplam tehlike indeksi (HI) değerleri 1'den küçüktür (Çizelge 4.20). Bu parametrelerin deri yoluyla vücuda alımında riskin olmadığını belirtmektedir. Dermal yolla hesaplanan kanser risk değerleri de 10^{-6} ile 10^{-4} olan tolere edilebilir risk değer aralığı içerisinde (Çizelge 4.21). Bu hesaplamalar deri yoluyla maruziyette çocuklar açısından risk olmadığını göstermektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada Marmara Bölgesinin güney Marmara bölümünde bulunan Bursa iline bağlı Karacabey ilçesi ve çevresinin hidroloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş ve sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır.

- İnceleme alanında Üst Paleozoyik ve Triyas yaştaki birimler temel kayalar olarak yüzeylemektedir. Paleozoyik birimler Kalabak grubu olarak adlandırılan metamorfik bir istiften oluşmaktadır. Bu grubun alt bölümü fillat, şist ve mermerlerden oluşan Torasan formasyonu, üstteki bölüm ise metatüf, metavolkanit, fillat, şist ve mermerlerden yapıllı Sazak formasyonu olarak adlandırılmıştır. Torasan formasyonu ile tektonik ilişkili gözlenen metagranodiyoritler ise Çamlık metagranodiyoriti olarak ayırtlanmıştır. Bölgede Triyas yaşlı birimler metakonglomera, metakumtaşı, kumtaşı ve kiltaşından oluşan Karakaya formasyonu ile spilitik bazalt, tuf, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşan Çal formasyonudur. Jura yaşlı birimler kumtaşı, konglomera, kiltası aralanmalı Bayırköy formasyonu ve Neritik kireçtaşlarının oluşturduğu Bilecik formasyonudur. İnceleme alanında Eosen yaşlı sadece Kapıkaya granodiyoriti bulunmaktadır. Kumtaşı, konglomera, kiltası ve killi kireçtaşları aralanmasından oluşan Göbel ve Mesudiye formasyonları Miyosen birimlerdir. Bölgede Pliyosen yaşlı Bayramiç formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon en genç birimlerdir.
- İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre yeniden değerlendirilmiş ve bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. İnceleme alanı içerisinde geniş alanlarda yüzeyleyen alüvyon *Taneli Ortam Akiferi*, Bilecik formasyonu, Tophisar üyesi ve Permiyen kireçtaşı birimleri *Karstik Akifer*, Bayramiç formasyonu, Mesudiye formasyonu, Göbel formasyonu, Bayırköy formasyonu *Akitart Ortam-1*, Sazak ve Torasan formasyonları *Akitart Ortam-2*, Karakaya formasyonu ve Çal formasyonu *Akifüj Ortam-1*, Mudamköy volkanit üyesi, Kapıdağ granodiyoriti ve Çamlık metagranodiyoriti ise *Akifüj Ortam-2* olarak ayırtlanmıştır.

- İnceleme alanında Karacabey'de 1991-1999 ve 2005-2017 yılları arasında ölçüm yapılan iki istasyon bulunmaktadır. İnceleme alanı yakın çevresinde uzun yıllar ölçüm yapılmış sadece Bandırma ve Mustafakemalpaşa istasyonları bulunmaktadır. Bandırma istasyonunda 1950-2011 yılları arasında yapılan ölçümlere göre ortalama yağış 710.46 mm'dir. Mustafakemalpaşa istasyonunda ise 1964-2005 yılları arasında ölçüm yapılmıştır ve ortalama yağış 706.47 mm'dir. Mustafakemalpaşa DMİ'na ait Thornthwaite deneştirmeli su bilançosu ile potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 791.33 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 445.73 mm olarak hesaplanmıştır. Bandırma DMİ için ise potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 467.2 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 388.35 mm'dir.
- İnceleme alanında yeraltısularından Ekim-2018'de alınan örneklerle ait kimyasal analiz sonuçları Piper ve Chadha diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanının batısında Yeşilçomlu (K-2) ve doğusunda Doğancı (K-10) köyleri civarında bulunan kaynak suları Piper diyagramına göre Ca-HCO₃'lı sular fasiyesindedir. Bu kaynaklar kireçtaşı akiferinden beslenmektedir. K-4 ve K-8 nolu örnekler Mg-Ca-HCO₃'lı sular sınıfındadır. Bu kaynaklar Pliyosen yaşlı Bayramiç ve Miyosen yaşlı Göbel formasyonları içerisinde bulunan kumtaşı ve konglomera seviyelerinden boşalmaktadır. Bu kaynak sularındaki Mg⁺² artışı kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. İnceleme alanındaki diğer kaynak ve kuyu suları ise Ca-Mg-HCO₃'lı sular sınıfındadır. Chadha diyagramında Piper diyagramı ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- Suların içilebilme özelliklerinin değerlendirilmesi için öncelikle suların kimyasal analiz sonuçları Türk İçme Suyu (TSE-266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları ile karşılaştırılmıştır. İnceleme alanında şebeke suları ve kaynak suları içmesuyu amacı için kullanılmaktadır. İnceleme alanında sondaj kuyuları ve kaynak sularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-kasyon içerikleri açısından sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre; bölgede yeraltısuları '*İyi- çok iyi kaliteli sular*' sınıfındadır.

- Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır. ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre inceleme alanındaki yeraltısuları orta tuzlulukta - az sodyumlu suları temsil eden 'C₂S₁' ve ve fazla tuzlu-az sodyumlu suları temsil eden 'C₃S₁' sınıflarındadır. Wilcox diyagramına göre inceleme alanındaki yeraltısuları '*çok iyi -iyi kullanılabilir sular*' sınıfında yer almaktadır. İnceleme alanında yeraltısuları SAR değerine göre '*çok iyi özellikte sulama suyu*' sınıfına girmektedir. İnceleme alanında % Na değeri yeraltısularında 9.03-48.22 arasında değişmektedir. Yüksek %Na içerikleri alüvyon ve Pliyosen birimlerle ilişkili olan yeraltısularında gözlenmektedir. Bu lokasyondaki Na artışı kaya-su etkileşimi ile ilişkilidir. İnceleme alanına ait RSC değerlerine göre, yeraltısuları çok iyi kaliteye sahip I. Sınıf sulardır. PI değerleri yeraltısularında K15 hariç % 35.37-66.66 arasında değişmektedir. K15 örneğinde PI 76.93'dür. Geçirgenlik indeksi (PI) değerine göre yeraltısuları genel olarak II. sınıf suları temsil etmektedir. Magnezyum tehlikesi açısından K-4 örneği dışındaki bütün su örnekleri sulama suyu olarak kullanıma elverişli değildir.
- İnceleme alanındaki suların endüstride kullanım özelliklerinin tespiti için çürütme-kireçlendirme ve köpürme özellikleri ile beton üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çürütme ve kireçlendirme özelliklerini belirlemek amacıyla "*Kalsiyum Denge Diyagramı*" kullanılmıştır. Yeraltısularının genel olarak "*karbonat çökmesinin izleneceği*" ve sadece Örencik civarında Sazak formasyonundan boşalan kaynaktan "*karbonat çözündürebilir*" özellikte suların olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanında yeraltısuları "*kaynarken köpürmeyen*" ve "*kaynarken köpüren*" sular sınıfında yer almaktadır. İnceleme alanında sülfat miktarı yeraltısularında 0.21-0.92 mek/l arasındadır ve beton üzerinde olumsuz etki oluşturmamaktadır.
- İnceleme alanında nitrat içeriklerinin 0.76-145.86 mg/l arasındadır. İnceleme alanında Yeşilçomlu ve Kepekler'de bulunan kaynak suları ile Göbel'de

şebekeden alınan sulara nitrat içeriğinin sınır değerin çok üstünde olduğu görülmektedir. Bu artış kaynakların beslenme alanlarında antropojenik kökenli kirlenmeler ile ilişkilidir.

- İnceleme alanında yeraltısularının As içeriği 9-79.1 µg/l arasında değişmektedir. Bölgede yeraltısularında As içeriğinin yüksek olduğu bilinmekte ve çoğu kaynak suyu içme suyu amacıyla kullanılmamaktadır. Ancak, analiz sonuçlarına göre şebeke suları ve içmesuyu olarak kullanılan kaynak sularında da As içeriğinin sınır değerin üzerinde olduğu görülmektedir. İnceleme alanında yeraltısularında As artışı genelde volkanik kayalarla ilişkili olarak jeojenik kökenlidir. Ancak, tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak antropojenik kökenli etkilerin de olabileceği düşünülmektedir. Ovahamidiye ve Yenisarıbey’de bulunan sondaj kuyularından alınan örneklerde Fe içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu lokasyonlardaki Fe artışlarının tarımsal faaliyetlerle ilişkili antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. İnceleme alanında yeraltısularının Mn içeriği <0.05 - 574.50 µg/l arasında değişmektedir. Kuyu suyu örneğinde tespit edilen en yüksek Mn değerinin antropojenik (tarım ve hayvancılık) kökenli olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada incelenen B, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn içeriklerinin yüksek olmadığı tespit edilmiştir.
- İnceleme alanında en önemli tehlike kuyu ve kaynak sularında tespit edilen yüksek As içeriğidir. Ayrıca, bazı kaynak sularında NO₃ içeriğinin içme suyu standart değerlerini aştığı görülmektedir. Sulama suyu olarak kullanılan K-12 kuyu suyu örneğinde de Fe ve Mn içeriklerinin de içme suyu sınır değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada içme suyu sınır değerlerini aşan As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. İnceleme alanında analizleri yapılan su kaynaklarının As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için oral ve dermal yolla alım ile gerçekleşebilecek tehlike katsayıları (HQ), tehlike endeksi (HI) ve kanser riski değerleri yetişkin ve çocuk bireyler dikkate alınarak hesaplanmıştır. İçmesuyu olarak kullanımda bütün su örneklerinin As, NO₃, Fe ve Mn parametreleri için hesaplanan toplam tehlike endeksi (HI) değerleri dikkate alındığında sağlık için olumsuz etki oluşabileceği

tespit edilmiştir. Genel olarak As açısından içmesuyu olarak uzun süreli kullanımda yetişkin ve çocuklar için kanser riski olabilecektir. Dermal yolla maruziyette yetişkinler için bazı örneklerde risk tespit edilmiştir. Çocuklar açısından ise risk olmadığı görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Aghazadeh, N., Mogaddam, A., 2011. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 183–195
- Aksoy, N., Simsek, C., Gunduz, O., 2009. Groundwater Contamination Mechanism in a Geothermal Field: A Case Study of Balcova, Turkey. *J Contam Hydrol*, 103,13–28
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., Hakyemez, Y., 1984. Ankara-Elmadağ-Kalecik Dolayının Temel Jeoloji Özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 20, 31-46
- Altınlı, İ.E., 1965. Yenişehir Havzasının Jeolojik ve Hidrojeolojik İncelemesi. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mec. Seri B.*, 30 (1-2), 31-55, İstanbul
- Altınlı, İ.E., 1973. Bilecik Jurasığı, 50. Yıl Yerbilimleri Kongresi Tebliğler Dergisi, Maden Tetkik Arama Yayını, s. 112-113
- Arıkan, A., 2007. İkizce (Haymana-Ankara) ve Çevresindeki Yeraltı Sularının Kimyası Ve Bazı Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, 97 sayfa, Ankara.
- Badruk, M., 2003. Environmental Problems in Geothermal Energy Applications. *Proceedings of the Geothermal Energy Seminar-TESKON 2003*, 8- 11 October, Izmir, Turkey, pp. 345–358 (in Turkish).
- Bingöl, E., Delaloye, M., Ataman, G., 1982. Granitic Intrusions in Western Anatolia. A Contribution to the Geodynamic study of this area: *Eclogae Geologicae Helveticae* 75/2, 473-446.
- Bingöl, E., Delaloye, M., Pişkin, A., Genç, Ş., 1992. Significance of the Granitoids of Eastern and Southern Marmara Within the Framework of the Regional Geotectonic Evolution, Abstract of the Interna. Symp. Geol. Sea Region, MTA, 3 p
- Blanc, P., 1965. Serie stratigraphique de Çal köy (Anatolie Occidentale, Turquie) presence de spilities dans le Permien. *Societe geologique de France, Comptes Rendus* 3, 100-102
- Chadha, D.K., 1999. A Proposed New Diagram for Geochemical Classification of Natural Waters and Interpretation of Chemical Data. *Hydrogeology Journal*, 7, 431–439
- Chatterjee, A., Mukherjee, A., 1999. Hydrogeological Investigation of Groundwater Arsenic Contamination in South Calcutta. *Sci Total Environ*, 225, 249-262

- Davraz, A., Afşin, M., Aksever, F., Karataş, Z., Hınıs, M.A., 2016. The Interference of a Deep Thermal System with a Shallow Aquifer and Health Risk Assessment: The Case of Sandıklı (Afyonkarahisar). *Environ Earth Sci*, 75: 332
- De Miguel, E., Iribarren, I., Chacon, E., Ordonez, A., Charlesworth, S., 2007. Risk-Based Evaluation of the Exposure of Children to Trace Elements in Playgrounds in Madrid (Spain), *Chemosphere*, 66, 505–513
- Delaloye, M., Bingöl, E., 2000. Granitoids from Western and Northwestern Anatolia: Geochemistry and Modelling of Geodynamic Evolution: *International Geology Review*, 42, 241-268
- Doneen, L.D., 1964. *Water Quality for Agriculture*. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.
- Durov, S.A., 1948. Natural Waters and Graphic Representation of Their Compositions. *Dokl Akad Nauk SSSR*, 59,87–90
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Ilgar, A., Dönmez, M., Akçay, A.E., 2007. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Bandırma-H18 paftası, No:102 ve Balıkesir-İ19 paftası, No:96,
- Eaton, F.M., 1950. Significance of Carbonate in Irrigation Water. *Soil Sci* 69(2), 123–133
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Yıldırım, C., Kürçer, A., Özaksyo, V., Elmacı, H., Koç, G., 2009. Batı Türkiye'nin Diri Fay Geometrisi ve Güncel Kinematığı, 62, *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 13-17 Nisan 2009, Bildiriler, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş., Elmacı, H., 2011. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 1/250000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Afyon (NJ 36-5) Paftası. Seri no: 16
- Ercan, T., Türkecan, A., 1984. Batı Anadolu-Ege Adaları-Yunanistan ve Bulgaristan'daki Plutonların Gözden Geçirilişi: *Türkiye Jeoloji Kurumu Ketin Sempozyumu Kitabı*, 189-208
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. *Yeraltısuları Jeolojisi*. İTÜ Maden Fakültesi yayınları, İstanbul.
- Ergül, E., Gözler, Z., Akçören, F., Öztürk, Z., 1986. Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Balıkesir F-6 Paftası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara

- Granit, Y., Tintant, H., 1960. Observation Preliminaries Sur le Jurassic de la Region de Bilecik (Turquie): Comptes Rendus Acad. Science Paris, 215, 1801-1803
- Hall JC, Harruf R., 1989. Fatal Cardiac Arrhythmia in a Patient with Interstitial Myocarditis Related to Chronic Arsenic Poisoning. South Med J, 82:1557-60.
- IRIS (Integrated Risk Information System), 2005. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. Accessed at: (<http://www.epa.gov/iris>), September-2005
- Kavcar P, Sofuoglu A, Sofuoglu S, 2009. A Health Risk Assessment for Exposure to Trace Metals via Drinking Water Ingestion Pathway, International Journal of Hygiene and Environmental Health, 212, 216–227
- Ketin, İ., 1946. Kapıdağ Yarımadası ve Marmara Adalarında Jeolojik Araştırmalar. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, XI,69-83
- Ketin, İ., 1947. Uludağ Masifinin Tektoniği hakkında, T.J.K bülteni, 1, 1, Ankara.
- Khan S, Cao Q, Zheng YM, Huang YZ, Zhu YG, 2008. Health Risks of Heavy Metals in Contaminated Soils and Food Crops Irrigated with Wastewater in Beijing China, Environ. Pollut., 152, 686–692
- Li, J., Huang, G.H., Zeng, G., Maqsood, I., Huang, Y., Lia, J., 2007. An Integrated Fuzzy-Stochastic Modeling Approach for Risk Assessment of Groundwater Contamination. J Environ Manag., 82, 173–188
- Li, S., Zhang, Q., 2010. Risk Assessment and Seasonal Variations of Dissolved Trace Elements and Heavy Metals in the Upper Han River, China. Journal of Hazardous Materials, 181, 1051-1058
- Lim, H. S., Lee, J. S., Chon, H. T. & Sager, M. 2008. Heavy Metal Contamination and Health Risk Assessment in the Vicinity of the Abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea. J. Geochem. Exploration. 96, 223–230.
- Liu, Y., Zheng, B., Fu, Q., Meng, W., Wang, Y., 2009. Risk Assessment and Management of Arsenic in Source Water in China. Journal of Hazardous Materials, 170, 729–734
- MTA, 2009. Bursa İli ve Kentsel Alanların (İl-İlçe Merkezleri) Yerbilim Verileri, MTA Derleme No: 11163, Ankara.
- Meriç, B.T., 2004. Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 28 (1), 27-38

- Muhammad, S., Shah, M.T., Khan, S., 2011. Health Risk Assessment of Heavy Metals and Their Source Apportionment in Drinking Water of Kohistan Region, Northern Pakistan. *Microchem. J.*, 98, 334-343
- Mumford, J.L, Wu, K., Xia, Y., Kwok, R., Yang, Z., Foster, J. et al., 2007. Chronic Arsenic Exposure and Cardiac Repolarization Abnormalities with QT Interval Prolongation in a Population Based Study. *Environ Health Perspect*, 115, 690-4
- Nguyen, V.A., Bang, S., Viet, P.H., Kim, K.W., 2009. Contamination of Groundwater and Risk Assessment for Arsenic Exposure in Ha Nam Province, Vietnam, *Environment International* 35, 466–472.
- O'Rourke, M.K., van de Water, P.K, Jin, S., Rogan, S.P., Weiss, A.D., Gordon, S.M., Moschandreas, D.J., Lebowitz, M.D., 1999. Evaluations of Primary Metals from NHEXAS Arizona: Distributions and Preliminary Exposures. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 9, 435–445
- Okay, A.İ., 1988. Çan-Yenice-Biga Arasının Jeolojisi ve Tektoniği: İstanbul teknik Üniversitesi Rapor No:2544 (Yayınlanmamış). TPAO Arama Grubu Rapor No: 2544
- Okay, A.İ., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 1/3, 183-199
- Okay, A.İ., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1990. Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 2/1, 83-121
- Okay, A.İ., Siyako, M., and Bürkan, K.A., 1991. Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula, northwest Turkey. *Bulletin of the İstanbul Technical University*, 44, 191-256.
- Pehlivan, R., Yılmaz, O., 1995. Marmara Bölgesi Termomineral Kaynaklarının İçilebilirliği ve İnsan Sağlığına Etkisi, İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi, İstanbul.
- Pehlivan, Ş., Duru, M., Kanar, F., Kandemir, Ö., 2011. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 156, Bandırma-H20 Paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara
- Piper, A. M.,1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Trans. Amer. Geophys. Union*, vol. 25, p. 914-923.
- Qaiyum, M.S., Shaharudin, M.S., Syazwan, A.I., Muhaimin, A., 2011. Health Risk Assessment after Exposure to Aluminium in Drinking Water between Two Different Villages, *Journal of Water Resource and Protection*, 3, 268-274.

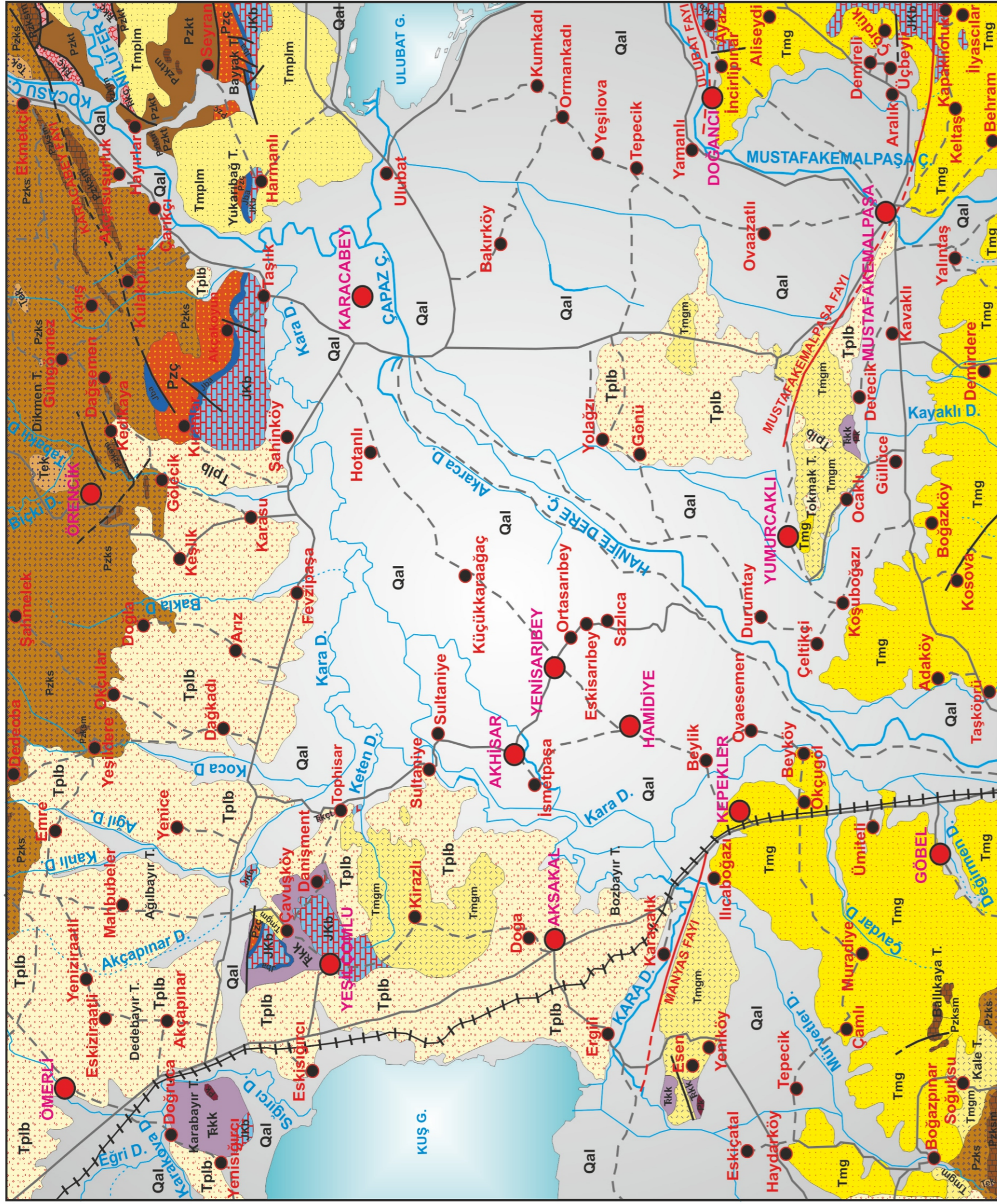
- Ragunath, H.M., 1987. Groundwater. New Delhi: Wiley.
- Ramesh, K., Elango, L., 2012. Groundwater Quality and its Suitability for Domestic and Agricultural use in Tondiar River Basin, Tamil Nadu, India. Environmental Monitoring Assessment, 184,3887–3899.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline Alkaline Soils, US Department of Agriculture, HandBook 60 (160)
- Rodriguez-Proteau, R. & Grant, R. L. 2005. Toxicity Evaluation and Human Health Risk Assessment of Surface and Groundwater Contaminated by Recycled Hazardous Waste Materials. In: Handbook of Environmental Chemistry (T. A. Kassim, ed.), Vol. 5, Part F, Vol. 2. Springer-Verlag, Berlin, pp. 133–189.
- Schoeller, H., 1955, Gechemie des Eaux Souterranes. Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris, 10. No. 3-4.
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U., Smedley, P., 2005. Medical Geology. Elsevier, 115-594.
- Streckeisen, A.L., 1976. Dassingification and Nomenclature of Igneous Rocks by Means of Their Chemical Composition; A Provisional Attempt:N. Jahr. Für, Min. Monats, 1-15
- Szabolcs, I., Darab, C.,1964. The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content on Soils. In I. Szabolcs (Ed.), Proc 8th International Congress Soil Science Sodics Soils, Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II, 1964, 802–812.
- Şahinci, A.,1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 546, İzmir.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A. 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 8174, Ankara, 394s (yayımlanmamış).
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., 2017. Assessment of Groundwater Quality and Health Risk in Drinking Water Basin Using GIS. Journal of Water and Health, 15.1, 112-132
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, Tectonophysics, 75, 181-241
- TSE, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü –Ankara.
- USEPA, 1986. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. EPA/600/8-87/045.

- USEPA, 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I. Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim Final, Office of Emergency and Remedial Response, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA, 2001. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplement Guidance for Dermal Risk Assessment). Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA
- USEPA, 2004. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Final. EPA/540/R/99/005 OSWER 9285.7-02EP PB99-963312 July 2004, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC, 2004.
- USEPA, 2005. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. EPA/630/P-03/001F. US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC.
- USEPA, 2013 Risk Assessment IRIS (Integrated Risk Information System). http://www.epa.gov/risk_assessment
- Uygunoğlu, T., Yücel, K.T., Yurtçu, Ş., 2006. Betonun Zararlı Ortamlardaki Durumu: Yeraltı Suyu Etkisi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (1), 29 - 35
- Varol, B., Şahbaz, A., Görmüş, S., Bayhan, E., Özdoğan, M., Emre, Ö., 1997. Karacabey-Mudanya Bölgesi Üst Miyosen-Pliyosen Karbonatlarının Sedimantolojisi ve İzotop Jeojikyası. Güney Marmara Bölgesinin Neojen ve Kuvaterner Evrimi. TÜBİTAK YDABÇAĞ-426/G Proje Raporu, 87-89
- Varol, S., Davraz, A., 2016. Evaluation of Potential Human Health Risk and Investigation of Drinking Water Quality in Isparta City Center (Turkey). Journal of Water and Health, 14.3, 471-488
- Varol, S., Davraz, A., Şener, Ş., Aksever, F., Kırkan, B., Tokgözlü, A., 2017. Salda Gölü Sulak Alanı Hidrojeolojisi, Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İzlenmesi ve Kirlilik Durumunun Tespiti. TÜBİTAK-1001 proje raporu; Proje No: 114Y084
- Varol, S., Davraz, A., Varol, E., 2008. Yeraltı Suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi. Türk Silahlı Kuvvetleri Koruyucu Hekimlik Bülteni, 7(4), 351-356
- Varol, S., Davraz, A., Varol, E., 2009. Tıbbi Jeoloji ve Kardiyovasküler Hastalıklarla İlişkisi. Genel Tıp Derg, 19(1), 45-49

- WHO, 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. In: Report of a WHO Scientific Group: Technical Report Series 778, WHO, Geneva, p 74
- WHO, 2006. Guidelines for drinking-water quality. 3rd edition incorporating 1st and 2nd addenda, World Health Organization.
- WHO, 2008. Guidelines for drinking-water quality, 1st and 2nd addenda, vol 1, Recommendations, 3rd edn., World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. ISBN 978 92 4 154761 1 (WEB version),
- WHO, 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed., World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 978 92 4 154815 1
- Wilcox, L.V. 1955. Classification and use of irrigation waters, USDA Circular No. 969, p 19
- Wu, B., Zhao, D., Jia, H., Zhang, Y., Zhang, X., Cheng, S., 2009. Preliminary Risk Assessment of Trace Metal Pollution in Surface Water from Yangtze River in Nanjing Section, China, Bull. Environ. Contam. Toxicol. 82, 405–409.
- Yıldız, A., Karaca, M., Biçeroğlu, S., Nalbantçılar, M.T., Coşkun, U., Arık F., et al. 2008. Effect of Chronic Arsenic Exposure from Drinking Waters on the QT Interval and Transmural Dispersion of Repolarization. J Int Med Res, 36:471-8.
- Zhang, H., Ma, D.S., Hu, X.X. 2002. Arsenic Pollution in Groundwater from Hetao Area, China. Environ Geol, 41, 638–643.



EKLER



Bu harita MTA 2011'in çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

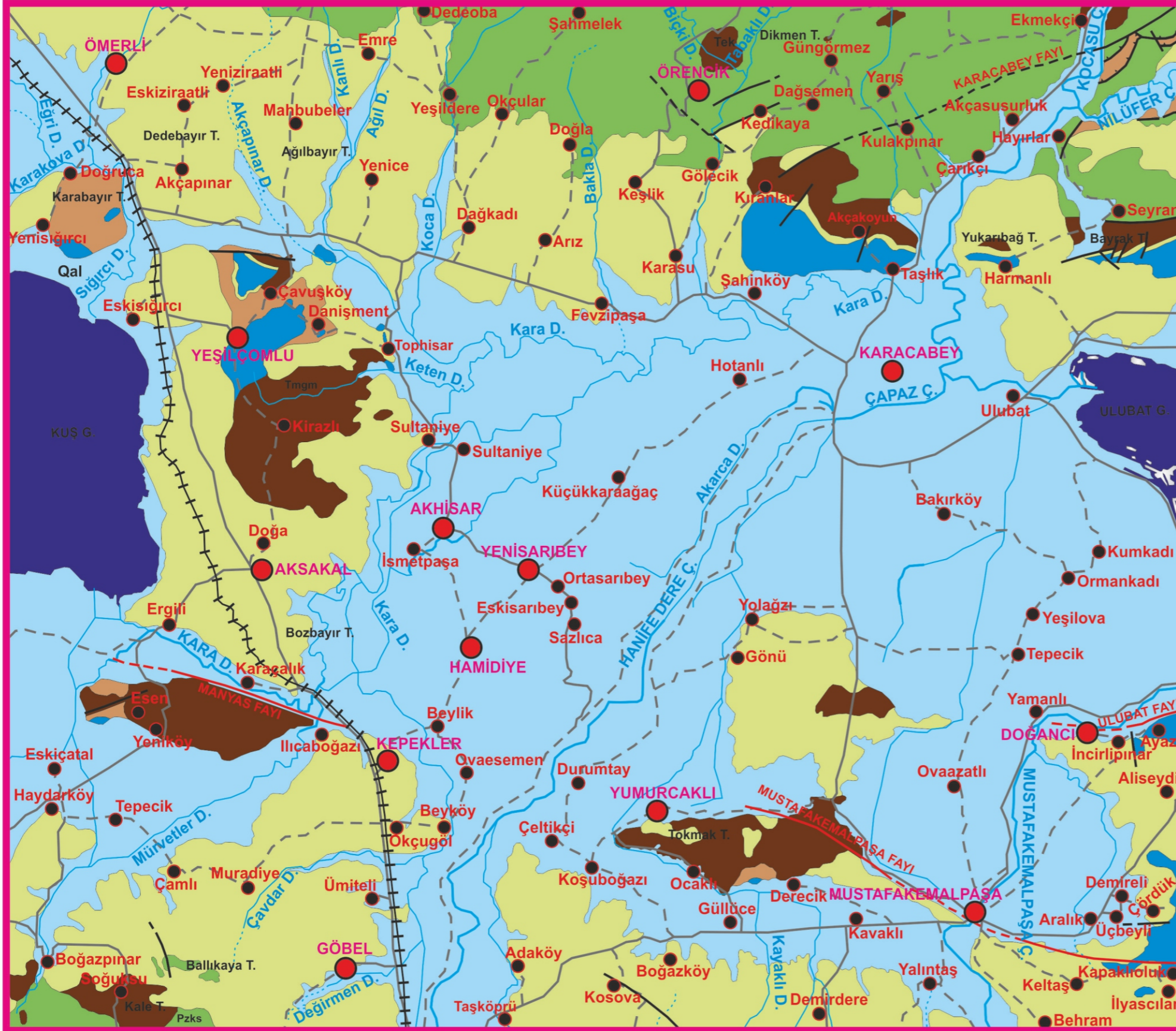
AÇIKLAMALAR

Qal	Alüvyon (Kuvaterner)	Pzksm	Mermer Üyesi (Devoniyen-Karbonifer)
Tplb	Bayramic Fm (Pliyosen) (Çakıltaşı, kumtaşı, kilitaşı, silttaşı, (akarsu))	Pzkt	Torasan Fm (Devoniyen-Karbonifer) (Fillat, şist, mermer)
Tmplm	Mesudiye Fm (Ü.Miyosen-Pliyosen) (Kumtaşı, konglomera, kilitaşı, killi kçt., (gölsel))	Pzktm	Mermer Üyesi (Devoniyen-Karbonifer)
Tmg	Göbel Fm (O.Ü.Miyosen) (Kumtaşı, konglomera, kilitaşı, killi kçt., (akarsu-gölsel))	Pzç	Çamlık Metagranodiyorit (Devoniyen-Karbonifer) (Metagranodiyorit, granitik gnays, metariyolit)
Tmgm	Mudamköy Volkanit Üyesi (O.Ü.Miyosen) (Andezit, bazalt, dasit)		Fay
Tek	Kapıdağ Granodiyoriti (Eosen)		Sürüklenim
JKb	Bilecik Fm (Kalloviyen-Hotriviyen) (Neritik kçt.)		Akarsu
Jba	Bayrıköy Fm (Liyas) (Kumtaşı, konglomera, kilitaşı, killi kçt.)		Birinci derecede karayolu
TKç	Çal Fm (Triyas) (Spilitik bazalt, tuf, volkanojenik kumtaşı, permo-karbonifer yaşlı kçt. bloğu)		İkinci derecede karayolu
TKçt	Tophisar Üyesi (Triyas) (Kireçtaşı, kırıntılı kireçtaşı)		Demiryolu
TKk	Karakaya Fm (Triyas) (Metakonglomera, metakumtaşı, kumtaşı, kilitaşı, volkanit, permo-karbonifer yaşlı kçt. blokları)		İnceleme Alanı
Pk	Permiyen Yaşlı Kçt. Bloğu (Triyas)		Yerleşim Yeri
Pzks	Sazak Fm (Devoniyen-Karbonifer) (Metatuf, metavolkanit, fillat, şist, mermer)		

Km

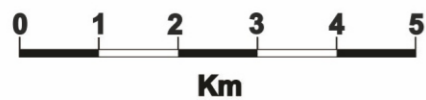
0 1 2 3 4 5

KARACABEY HAVZASI HİDROJEOLOJİ HARİTASI



AÇIKLAMALAR

	Taneli ortam akiferi (Akf-1)
	Karstik akifer (Akf-2)
	Akitard ortam I (Akt-1)
	Akitard ortam II (Akt-2)
	Akifüj ortam I (Akj-1)
	Akifüj ortam II (Akj-2)
	Mevsimlik Akarsu
	Sürekli Akarsu
	Karayolu
	Demiryolu
	Fay
	Bindirme
	Formasyon Sınırı
	İnceleme Alanı Sınırı
	Numune Yeri
	Yükselti
	Yerleşim Yeri
	Soğuksu Kaynağı
	Dsi Sondaj Kuyusu



Bu harita MTA 2009'un çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İhsan Selim ERASLAN
Doğum Yeri ve Yılı : KIRŞEHİR / 1984
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : selimeraslan@gmail.com



Eğitim Durumu:

Lise : Alanya Lisesi (Y.D.A - 2003)
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık
Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2009)
Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2011 – devam ediyor)

Çalıştığı Kurumlar ve Yılı:

ARZEM MÜHENDİSLİK – Şantiye Şefliği (2009-2012)
KENETTAŞ İNŞAAT – Şirket Müdürü (2012-2013)
AFS ERASLAN MÜHENDİSLİK – Şirket Müdürü (2013-2017)
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ – Kuyu Mühendisi
(2017-2019)