T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMKÖY (MİLAS-MUĞLA) OVASI HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ

Taha ÜNAL

Danışman
Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018

©2018 [Taha ÜNAL]

TEZ ONAYI

Taha ÜNAL tarafından hazırlanan **"Çamköy (Milas-Muğla) Ovası Hidrojeoloji 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	**Dr. Öğr. Üyesi İskender SOYASLAN** Mehmet Akif Üniversitesi	
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi Simge VAROL** Süleyman Demirel Üniversitesi	

Enstitü Müdürü **Prof.Dr.Yasin TUNCER** .....

TAAHHÜTNAME

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

Taha ÜNAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER i
ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın amacı 2
2. KAYNAK ÖZETLERİ 4
3. MATERYAL VE YÖNTEM 8
3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması 8
3.2. Çalışma Yöntemleri 10
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 12
4.1. Stratigrafi 12
4.1.1. Otokton birimler 12
4.1.1.1. Milas formasyonu (Mzm) 12
4.1.1.2. Kalıağıl formasyonu (Ktk) 15
4.1.2. Allokton birimler 18
4.1.2.1. Güllük formasyonu (PTrg) 18
4.1.3. Neo-otokton örtü kayacı 20
4.1.3.1. Yatağan formasyonu (Ty) 20
4.2. Yapısal Jeoloji 25
4.3. Jeolojik Evrim 26
4.4. Hidroloji 27
4.4.1. Yağış 27
4.4.2. Sıcaklık 31
4.4.3. Buharlaşma 33
4.4.3. Akış 35
4.4.4. Su bütçesi 35
4.5. Hidrojeoloji 38
4.5.1. Su noktaları 38
4.5.1.1. Akarsular 38
4.5.1.2. Kaynaklar 38
4.5.1.3. Sondaj Kuyuları 43
4.5.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri 48
4.5.2.1. Verimli Kaya Ortam Akiferi (Akf-1) 48
4.5.2.2. Erime Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi (Akf-2) 49
4.5.2.3. Akifüj Ortam (Akj) 49
4.5.3. Akiferlerin hidroloji parametreleri 49
4.5.4. Yeraltısuyu dinamiği 50
4.5.4.1. Yeraltısuyu seviye haritaları 50
4.5.4.2. Yeraltısuyu seviye değişimi 51
4.6. Su Kimyası 55
4.6.1. Yeraltısularının genel kimyasal özellikleri 55
4.6.1.1. Sertlik 58

4.6.1.2. Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) 58
4.6.1.3. Özgül elektriksel iletkenlik (EC) 59
4.6.1.4. Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) 59
4.6.1.5. Sodyum iyon yüzdesi (%Na) 60
4.6.1.6. Toplam çözünmüş madde (TDS) 60
4.6.2. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması 61
4.6.2.1. Schoeller (1955)'e göre suların sınıflandırılması 61
4.6.2.2. Schoeller yarı logaritmik diyagram ile suların sınıflaması 61
4.6.2.3. Piper diyagramına göre suların sınıflaması 62
4.6.3. Suların kullanım özellikleri 70
4.6.3.1. Suların içilebilirlik özellikleri 70
4.6.3.2. Suların sulamada kullanım özellikleri 70
4.6.3.3. Suların endüstride kullanım özellikleri 78
4.6.4. Sularda kirlilik araştırmaları 80
4.6.4.1. Azot türevleri 81
4.6.4.2. Ağır metaller 82
5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR 87
KAYNAKLAR 91
EKLER 96
EK A Haritalar. 96
ÖZGEÇMİŞ 100

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇAMKÖY (MİLAS-MUĞLA) OVASI HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ

Taha ÜNAL

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

Bu çalışmada yarı kapalı havza özelliğindeki Çamköy (Milas-Muğla) Ovası'nın jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. İnceleme alanında Menderes Masifi kayaçlarından oluşan otokton birimlere ait Kalınağıl ve Milas formasyonları, Likya naplarına ait allokton Güllük formasyonu ve neo-otokton örtü kayaçları olan Yatağan formasyonu yüzeylemektedir. İnceleme alanı ve çevresinde otokton ve allokton tüm birimleri örten, kumtaşı, konglomera, silttaşı, marn, kiltaşı, kireçtaşı ardalanmalı Yatağan formasyonunda açılan kuyulardan yeraltısuyu alınmaktadır. Bölgede DSİ tarafından gözlem, araştırma, içme-kullanma ve sulama amaçlı olarak 27 adet kuyu açılmıştır. Bu kuyulardan 10 tanesi faal olarak çalışmaktadır. Bölge için yapılan meteorolojik bütçe hesaplamalarına göre ovadan yaklaşık olarak yılda 5.89 x 10^6 m^3 beslenim miktarından fazla su çekilmektedir. Bu durum, ovada yeraltısuyu seviye düşümleri ve kuyu debilerinin azalmasına neden olmaktadır.

Çamköy Ovası'nda hidrojeokimyasal değerlendirmeler için yeraltısuyunun kalite ve kirlilik analizleri yapılmıştır. İnceleme alanında yeraltısuları Piper diyagramına göre Ca-HCO_3'lı sular fasiyesinde, Gibbs diyagramına göre ise *"Kayaç Baskın"* bölgede yeralmaktadır. Ovada yeraltısularından alınan örneklerin fiziksel özellikleri ve anyon-katyon içerikleri açısından Türk İçme Suyu ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından verilen sınır değerleri aşmadığı belirlenmiştir. Bazı lokasyonlarda Al, Fe, Ni ve Zn içeriklerinin sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Bu elementlerdeki artışların akifer birim olan Yatağan formasyonu içerisindeki litolojilerle ilişkili olarak kaya-su etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ovada yeraltısularının sulama suyu ve endüstride kullanım açısından uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çamköy Ovası, hidrojeoloji, hidroloji, hidrojeokimya, Milas-Muğla

2018, 100 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF ÇAMKÖY (MİLAS -MUĞLA) PLAIN

Taha ÜNAL

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

Supervisor: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

In this study, it has been investigated as detailed geological, hydrological, hydrogeological and hydrochemical features of Çamköy (Milas-Muğla) plain which has semi-closed properties. Kalınağıl and Milas formations belonging to autochtonous units composed of Menderes Massif rocks, allochthonous Güllük formations belonging to Lycian nappes and Yatağan formation, a neo-autochtonous cover rocks are outcropped in the investigation area. Groundwater is taken from Yatağan formation which is composed of sandstone, conglomerate, siltstone, marl, claystone, limestone units and covering all the units of autochtonous and allochthonous. 27 wells were opened by SHW for observation, research, drinking-usage and irrigation purposes. Of these, 10 are active. According to the meteorological budget calculations made for the region, more water is withdrawn than the amount of recharge as approximately 5.89 x 10^6 m^3 per year. This causes the groundwater level drops and the wells yield to decrease in the plain.

For the hydrogeochemical evaluations in Çamköy Plain, analyzes of quality and pollution parameters in groundwater were carried out. In the study area, groundwaters are Ca-HCO_3 facies according to the Piper diagram and in the "Rock-dominant" region according to the Gibbs diagram. It has been determined that the samples taken from the groundwater in the plain do not exceed the limit values given by Turkish Drinking Water and World Health Organization in terms of physical properties and anion-cation contents. At some locations Al, Fe, Ni and Zn contents were found to exceed the limit values. It is thought that the increases in these elements are caused by the rock-water interaction in relation to lithologies in the Yatağan formation, which is an aquiferous unit. It has been determined that groundwater in the plain is suitable for irrigation water and industrial use.

Keywords: Çamköy plain, hydrogeology, hydrology, hydrogeochemistry, Milas-Muğla

2018, 100 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlık seviyesinden sonuçlanmasına kadar her aşamasında tüm bilgi ve tecrübeleriyle bana ışık tutan ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli hocam Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ'a (Süleyman Demirel Üniversitesi) en içten dileklerimle teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın çeşitli kısımlarında değerli bilgi ve görüşleriyle yardımcı olan DSİ 21. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürü Yük. Jeoloji Mühendisi Ersin ÇELİKER'e teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında veri temini ve laboratuvar olanaklarından faydalandığım kurumum DSİ 21. Bölge Müdürlüğü ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca benden esirgemedikleri yardımları ve manevi destekleri için aileme teşekkür ederim.

Taha ÜNAL
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası 9
Şekil 4.1. Çamköy (Milas-Muğla) ve yakın çevresinin stratigrafik sütun kesiti... 13
Şekil 4.2. Milas Formasyonu kireçtaşları ile paleozoyik şistler arasındaki dokanak 14
Şekil 4.3. Milas Formasyonu kireçtaşlarından bir örnek 15
Şekil 4.4. Mermer ocağı olarak işletilen, Kalınağıl formasyonuna ait bordo renkli kireçtaşları..... 16
Şekil 4.5. Mermer ocağı olarak işletilen Kalınağıl formasyonuna ait bordo renkli kireçtaşları..... 16
Şekil 4.6 Kalınağıl formasyonu kireçtaşları içerisindeki yeşil ve yeşilimsi gri şeyl katkıları 17
Şekil 4.7. Kalınağıl formasyonu içerisindeki yeşil ve yeşilimsi gri şeyl istifi..... 18
Şekil 4.8. Güllük formasyonu içindeki şeyl fasiyesleri 19
Şekil 4.9. Güllük formasyonu meta-kumtaşlarından örnek 19
Şekil 4.10. Güllük formasyonu kireçtaşı seviyeleri..... 20
Şekil 4.11. Yatağan formasyonuna ait konglomeralar..... 21
Şekil 4.12. Yatağan formasyonuna ait kumtaşları..... 21
Şekil 4.13. Yatağan formasyonuna ait kumtaşı-silttaşı bantları içeren killi kireçtaşı düzeyleri 22
Şekil 4.14. Yatağan formasyonu içerisindeki kömür seviyeleri (Sekköy Köyü).. 23
Şekil 4.15. Çalışma alanındaki yapı kazılarından çıkan ve nebati toprak ile örtülü olan kireçtaşlarından görünüm 24
Şekil 4.16. Çalışma alanındaki yapı kazılarından çıkan ve nebati toprak ile örtülü olan kireçtaşlarından görünüm 24
Şekil 4.17-a. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Milas DMİ) 29
Şekil 4.17-b. Milas DMİ yağışın yıllara göre dağılım grafiği 29
Şekil 4.18-a. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Çamköy DSİ) 30
Şekil 4.18-b. Çamköy DSİ gözlem istasyonu yağışın yıllara göre dağılım grafiği 30
Şekil 4.19. Milas DMİ aylık ortalama sıcaklık grafiği 32
Şekil 4.20. Milas DMİ mevsimlere bağlı aylık ortalama sıcaklık grafiği 32
Şekil 4.21. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp' nin aylık değişim grafiği..... 35
Şekil 4.22. İnceleme alanının drenaj ağı haritası..... 39
Şekil 4.23. Dere içerisinden boşalan Suçıktı kaynağının genel görünümü..... 40
Şekil 4.24. Suçıktı kaynağı ölçeksiz kesiti..... 40
Şekil 4.25. Suçıktı kaynağı ölçüm noktaları 41
Şekil 4.26. Suçıktı Kaynağı hesaplanan yıllık ortalama akım grafiği 43
Şekil 4.27. Çalışma alanı içerisinde yer alan sondaj kuyularının genel dağılımı..... 44
Şekil 4.28. Sondaj kuyularına ait bilgiler..... 45
Şekil 4.29. Sondaj kuyularına ait bilgiler..... 46
Şekil 4.30. Sondaj kuyularına ait bilgiler..... 47
Şekil 4.31. Çamköy (Milas) ovasının yeraltısuyu seviye haritası (Mayıs 2017).. 52
Şekil 4.32. Çamköy (Milas) ovasının yeraltısuyu seviye haritası (Ekim 2017) ... 53
Şekil 4.33. Çamköy Ovası'nın hidrojeokimya haritası (Ocak-2016) 57

Şekil 4.34. Schoeller yarı logaritmik diyagramı 62
Şekil 4.35. Piper diyagramı 63
Şekil 4.36. Gibbs diyagramı 64
Şekil 4.37. (Ca+Mg)-(HCO_3-SO_4) diyagramı 66
Şekil 4.38. Yeraltısularının Na/Cl-EC (µmhos /cm) diyagramı 69
Şekil 4.39. Schoeller içilebilirlik diyagramı 73
Şekil 4.40. ABD Tuzluluk Laboratuarı diyagramı 74
Şekil 4.41. Wilcox diyagramı 75
Şekil 4.42. Kalsiyum denge diyagramı 79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. İnceleme alanı çevresindeki meteoroloji ve yağış istasyonları 27
Çizelge 4.2. Milas DMİ ve Çamköy DSİ yağış gözlem istasyonunda ölçülen yıllık ortalama yağış verileri (mm)..... 28
Çizelge 4.3. Milas DMİ'de ölçülen yıllık ortalama sıcaklık değerleri (^{0}C)..... 31
Çizelge 4.4. Milas Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu..... 34
Çizelge 4.5. Çamköy (Milas) Ovası yeraltısuyu bilançosu..... 38
Çizelge 4.6. Suçıktı kaynağı akım gözlem sonuçları (l/sn) 42
Çizelge 4.7. Çalışma alanı içerisindeki yeraltısuyu çekim miktarları..... 48
Çizelge 4.8. Akiferlerin hidroloji parametreleri (K, T) 51
Çizelge 4.9. Yeraltısuyu seviye kotları ölçümleri..... 51
Çizelge 4.10. Yeraltısuyu aylık statik seviye ölçümleri 54
Çizelge 4.11. Çamköy Ovası yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri (Ocak 2016) 56
Çizelge 4.12. Fransız sertlik sınıflaması..... 58
Çizelge 4.13. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması 59
Çizelge 4.14. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması..... 60
Çizelge 4.15. Suların TDS değerine göre sınıflaması..... 61
Çizelge 4.16. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması..... 62
Çizelge 4.17. Yeraltısularının bazı iyon oranları 67
Çizelge 4.18. İçme Suyu Standartları..... 71
Çizelge 4.19. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflaması..... 74
Çizelge 4.20. RSC'ye göre sulama suyunun sınıflandırılması 76
Çizelge 4.21. Suların sulama suyu ve endüstride kullanım parametreleri 76
Çizelge 4.22. Suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerinin denge endeksine göre sınıflandırılması..... 78
Çizelge 4.23. Suların köpürme özelliğine göre sınıflaması 79
Çizelge 4.24. Su içerisindeki SO_4 (Sülfat) miktarına göre suların beton üzerine etki etme derecesi 80
Çizelge 4.25. Çamköy Ovası yeraltısularının azot türevi analiz sonuçları..... 82
Çizelge 4.26. Çamköy Ovası yeraltısularının ağır metal analiz sonuçları 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	Süzülme
i	Hidrolik Eğim
K	Hidrolik İletkenlik
K^{+}	Potasyum
mek	miliekivalen
mg	Miligram
Mg^{++}	Magnezyum
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
n	Gözeneklilik
Na^{+}	Sodyum
NH_3	Amonyak
NO_3	Nitrat
P	Yağış
pH	Hidrojen İyonu Aktivitesi
PO_4	Fosfat
Q	Debi
q	Özgül Debi
r	Korelasyon Katsayısı
$SO_4^{=}$	Sülfat
T	Sıcaklık
TSE	Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü
WHO	World Health Organization
µS	Mikrosiemens

1. GİRİŞ

İnsanlar ve diğer tüm canlı varlıklar için su hayati önem taşır. Günlük hayatımızda faydalandığımız birçok ürünün yapımında kullanılan ana madde de sudur. Dolayısıyla suyun diğer tüm doğal kaynaklardan farklı olarak yaşam için temel madde olduğu önemli bir gerçektir. Nitekim insanlar, insanlık tarihi boyunca barınma yerlerini hep su kaynaklarına yakın yerlerde seçmişlerdir. Medeniyet devrimlerini gerçekleştirenler de suyu en iyi şekilde kullanan topluluklar olmuşlardır.

Dünyadaki toplam su miktarı 1.4 milyar km^3'tür. Bu suların %97.5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2.5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da %90'ının kutuplarda ve yeraltında bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su kaynakları oldukça kısıtlıdır. DSİ verilerine göre Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m^3 suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m^3'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 186 milyar m^3'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmakta, 41 milyar m^3'lük kısmı ise yeraltı suyunu beslemektedir.

Günümüzde giderek artan ihtiyaç karşısında yetersiz kalan yüzey sularının bir de çabuk kirlenmesi, insanları yeraltısuyu aramalarına yöneltmiştir. İlk çağlardan beri insanlar yeraltısuları ile ilgilenmişlerdir. Yazılı olan ilk yeraltısuyu arama çalışmaları XV. yüzyılda Avrupa'da basit sondaj makineleriyle başlamıştır. Yeryüzünde su ihtiyacının artmasına paralel olarak yeraltısuyu araştırmaları da hız kazanmıştır. 1800'lü yıllarda özellikle Fransızlar, yeraltısularının aranması konusunda ilk ciddi çalışmaları yapmışlardır. Türkiye'de yeraltısuyu arama faaliyetleri 1930'lu yıllarda ilk defa İstanbul ve Samsun illerinin içme-kullanma suyu ihtiyacının temin edilmesi amacıyla sondaj kuyularının açılmasıyla başlamıştır. Türkiye'de yüzey suyu imkanı olmayan bir

çok yerleşim birimine içme-kullanma ve sulama suyunun temini ihtiyacı oluştuğunda, yeraltısularının ciddi olarak araştırılması da önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, küçük bir ova olmasına rağmen, özellikle Bodrum ilçesinin içme suyu ihtiyacının bir kısmının burada bulunan yeraltısuyu kuyularından karşılanması nedeni ile özel bir öneme sahip olan Çamköy (Milas-Muğla) Ovası'nın hidrojeoloji incelemesi yapılmıştır. Günümüzde artan su ihtiyacına bağlı olarak yaşanan sıkıntılar ve su kaynaklarının kirlenmesi, her ova ve havzada sürdürülebilir kullanım için yeni araştırmaların yapılmasını gerektirmektedir. Bu araştırmaların bilimsel değerinin olması yanı sıra bölge halkı ve yerel yöneticiler tarafından da büyük önemi bulunmaktadır.

1.1. Çalışmanın amacı

Bodrum Yarımadası, coğrafi ve ekonomik özelliği nedeni ile Türkiye'nin en önemli yerleşim merkezlerinden birisidir. Bölge, eğlence ve turizm merkezi haline gelmiştir. Bodrum Yarımadası üzerinde yaşayan bütün nüfusun (yerli ve turistik nüfus) içme ve kullanma suyu ihtiyacı, gündemin ilk sıralarında yer almaktadır. Bodrum Yarımadası, tarih boyunca içme ve kullanma suyu yönünden sıkıntı çekmiştir. Ancak, son yıllarda bu sıkıntı bölgenin artan turistik değeri nedeni ile özellikle yaz aylarında had safhaya ulaşmaktadır.

Bodrum Yarımadası, kendi su ihtiyaçlarını sağlayacak güvenli ve sürekli su kaynaklarına sahip olmadığından ihtiyacı karşılamak amacıyla alternatif havzaların kaynaklarına başvurulmuştur. Bodrum Yarımadasının günümüzde su ihtiyacı yarımadadaki çeşitli kaynakların yanısıra Mumcular Barajı, Mumcular-Karaova yeraltısuyu kuyuları, Geyik Barajı ve Milas-Çamköy yeraltısuyu kuyularından karşılanmaktadır. Milas-Çamköy Ovası bodrum su ihtiyacının yaklaşık yılda 4.8×10^6 m^3'ünü karşıladığından ve son yıllarda artan talepler de göz önünde alınarak bu havzanın yeniden hidrojeolojik incelemesi yapılması sonucunu doğurmuştur.

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada yarı kapalı havza özelliğindeki Çamköy (Milas-Muğla) Ovası'nın ayrıntılı hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmaları yapılarak yeraltısularının sürdürülebilir kullanımı için gerekli bilgilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, akifer birimler tanımlanarak hidrolik parametreleri belirlenmiş, yeraltısuyu dinamiği, mevsimsel değişimi, su kalitesi ve kirliliğe yönelik incelemeler yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İnceleme alanı ve çevresinde farklı amaçlara yönelik jeolojik araştırmalar 19. yüzyılın ortalarında başlamıştır. Bu çalışmaların bir kısmı inceleme alanını içine alan Menderes Masifinin güney kesimlerini, diğer bir kısmı da Gökova körfezinin kuzeyini de içeren bölgeyi kapsamaktadır. Bu bölümde inceleme alanı ve çevresini ilgilendiren hidrojeoloji amaçlı çalışmaların yanısıra genel jeolojisi ve jeomorfolojisi ile ilgili yapılan araştırmalar aşağıda özetlenmiştir.

Darkot ve Erinç (1954), Bu çalışmada, GB Anadolu kıyılarına özel bir kıyı tipi belirlenmesi yapılmış ve "Menteşe tipi kıyıları" olarak isimlendirilmiştir. Muğla dolayının en belirgin jeomorfolojik özelliğinin 1000-1200 m yüksekliğinde Neojen sonrası meydana gelen bir aşınım düzlüğü olduğu belirtilmiştir. Karstlaşmanın yoğunluğunun bölgede birçok polye (Muğla, Dirgene, Gülazı, Yerkesik, Ula, Pisiköy vb.) ile sayısız dolinlerin oluşmasına neden olduğu ifade edilmiştir.

Müller (1956), çalışmasında MTA için Güney Ege bölgesindeki (İzmir, Aydın, Denizli, Muğla) termal kaynakları ve hidrojeolojisini incelemiştir. Muğla ili kaynaklarından Bahçeburun kaynağının para-gnays serisinden çıktığını ve debisinin 1 l/s olduğunu, Sepetçiler kaynağının ise Paleozoyik mermerlerinden K-G yönlü bir faydan çıktığını ve bu sularda deniz suyu karışımının olduğunu belirtmişlerdir.

Yüzer (1972), Milas'ın batısında Alagül'de yaptığı hidrojeoloji çalışmasında, Taşlıca ovasından 15-20 l/s, Kurin ovasından 10-15 l/s, Narlı pınarından ise 10-15 l/s arasında verim alınabileceğini belirtmiştir. Asinyeniköy (Ovakışlacık)-Selimiye arası yeraltısuyu havzasından 50-60 l/s civarında su sağlanabilmesinin mümkün olabileceği üzerinde durmuştur.

Kayan (1973) Doktora tezinde Mandalya körfezi doğusunun jeomorfolojisini çalışmıştır. Bölgenin morfolojik karakterini kazanmasında; özellikle Alp orojenezinden sonra meydana gelen tektonik hareketlerin önem taşıdığını

belirtmektedir. Bölge bütünüyle yükselirken, faylarla bloklar halinde parçalanmış ve bu bloklardan bazıları çökerek çukur ovaları (Alıcıova, Milas ovası gibi) oluşturduğunu ifade etmektedir.

Arıkan (1973), Kıyıkışlacık ovası yeraltısuyu incelemesinde, yeterli yeraltısuyunun bulunduğu, ancak ovanın yeraltısuyu potansiyelini, Mesozoyik kireçtaşları içindeki suyun meydana getirdiğini belirtmiştir. Bu nedenle ovada açılacak kuyuların kireçtaşını kesmesinin zorunlu olduğunu ve kireçtaşlarının içerdiği çatlak, kırık sistemlerinin kuyuların verimliliği ile ilişkili olduğu sonucuna varmıştır.

Atalay (1980), Muğla-Yatağan çevresindeki stratigrafi çalışmasında Neojen birimlerini Eskihisar formasyonu ve Yatağan formasyonu olarak iki birime ayırmış, her iki formasyonun da akarsu ve göl çökellerinden oluştuğunu belirtmiştir. Araştırmacının paleontolojik bulgularına göre Eskihisar formasyonu Orta Miyosen, Yatağan formasyonu ise Üst Miyosen yaşlıdır.

Okay (1989), Menderes masifinin dağılımını ve ilişkilerini saptamak için önce Menderes masifinin tanımını yapmak gerektiğini ve bu tanımda Menderes masifinin jeolojisinin bilindiği bölge olan Muğla ile Bafa Gölü arasının standart bölge olarak kabul edilebileceğini belirtmiştir. Batıda tektonik istifin en altında monoton yeşil metaşeylden oluşan yaşı belirsiz Honaz şeylinin üzerinde, tektonik dokanakla masif beyaz kireçtaşı, ince tabakalı çörtlü kireçtaşı ve şeylden oluşan hafif metamorfizma geçiren Menderes masifinin Mesozoyik örtü biriminin yeraldığını bildirmiştir. Ofiyolitin, Sandak birimi üzerine Kretase sonunda; Sandak biriminin, Menderes masifi üzerine bindirmesi Orta Eosen'de; tüm bu birimlerin Göbecik Tepe birimi üzerine yerleşmesi ve Honaz antiklinalinin oluşmasının ise Geç Eosen/Oligosen'de meydana geldiğini belirtmiştir.

Delgi (1990), Kıyıkışlacık, Selimiye (Ovakışlacık çevresi) ve Ekinambarı ovalarında, yeraltısuyu potansiyelinin tespit edilmesi amacıyla jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapmıştır. Selimiye Ovasındaki alüvyonların yeterli derecede

kalın olduğu ve su potansiyelinin oldukça iyi sayılabileceği belirtilmiştir. Kıyıkışlacık ovasında yapılan jeofizik çalışmalar sonucunda alüvyon kalınlığının 60-120 arasında olduğu bulunmuştur.

Canik (1991), çalışmasında Milas-Söke arasında Akbük körfezi güneyinde yeraltısuyu potansiyelini incelemiştir. Erken Mesozoyik kireçtaşlarının önemli akifer ve alanın güneyinde üzerlerine killi şistler geldiği için burada kireçtaşı basınçlı akifer özelliğinde olduğu belirtilmiştir. Kireçtaşlarındaki ikincil gözeneklilik, geçirimlilik ve daha çok çatlak sistemi ile deniz düzeyinin denetlediği erimeli yapının geliştiği üzerinde durulmuştur. Bu nedenle, kıyıdan uzakta yapılacak kimi sondajlarda denizsuyu girişiminin gözlenmesini doğal olarak değerlendirilmiştir.

Eroskay vd. (1992), DSİ'nin ortak proje çalışmasında, Milas-Gökova ile Milas-Savran ve Ekinambarı karst kaynaklarının jeolojik ve hidrojeolojik incelemesi yapılmıştır. Bu çalışmada, Menderes masifinden başlayarak, Gökova körfezine kadar uzanan bölgede otokton, allokton ve neo-otokton birimler ayrılarak gerek duyulan isimlendirmeler yapılmış ve genelleştirilmiş stratigrafi kesitleri hazırlanmıştır. Bu model, otokton ve allokton kireçtaşlarında gelişmiş paleokarst sistemleri ile açıklanmıştır. Derindeki tuzlanmış karstik kesimlerden veya deniz suyuyla doygun alüvyal çökellerden geçerek yüzeye çıkan suların değişik oranlarda tuzlanmış oldukları ve yüzeyden derine doğru alüvyonun üst kesimlerinde tatlı su, orta kesimlerinde az tuzlu karışık su, daha derinlerde ise deniz suyunun yeraldığı hidrojeolojik model açıklanmıştır. Bu modele göre Milas ovasındaki tuzlanmış akifer ortam dışından tatlı yeraltısuyu sağlanması amacıyla sondaj lokasyonları önerilmiştir.

Erol ve Yılmaz (1999), Ege bölgesi jeolojisini bölgenin jeomorfolojisi ile birlikte incelemişlerdir. Havzalarda oluşmuş Neojen ve Kuvaterner formasyonların tektonik deformasyonlar dikkate alınmaksızın aşağıdan yukarıya doğru 4 evreli bir dizi meydana getirdiği gözlenmiştir. Yapı ve yer şekillerinin bir bütünlük içinde birlikte geliştiği belirtilmiştir.

Barut (2001), Araştırmacılar Milas-Ekinambarı ve Savran karst kaynaklarından boşalan sularda yüksek tuzluluk değerleri (‰ S=0,5-36,2) belirlemiştir. Tuzlanmaya neden olan parametrelerin saptanması için bu kaynakların beslenme alanlarını içeren bölgelerin ayrıntılı bir hidrojeolojik değerlendirmesi yapılmıştır. Bölgenin hidrojeolojisinin şekillenmesinde otokton ve allokton kayaçların istiflenmesi, jeolojik ve hidrojeolojik evrim ile geçirimsiz sınırlar etkili olmuştur. Karstik kireçtaşlarının yayıldığı alanlarda, yüzeysel yağış alanı ile yeraltısularının beslenme alanı farklılık göstermektedir. Bu sonuçlar gözönüne alındığında, Savranköy ve Ekinambarı kaynakları için, karst sistemlerindeki yeraltısuyu hareketinin basıncı ile azalan ya da artan oranlarda gerçekleşen bir deniz suyu girişiminin varlığından söz edilebileceğini belirtmişlerdir.

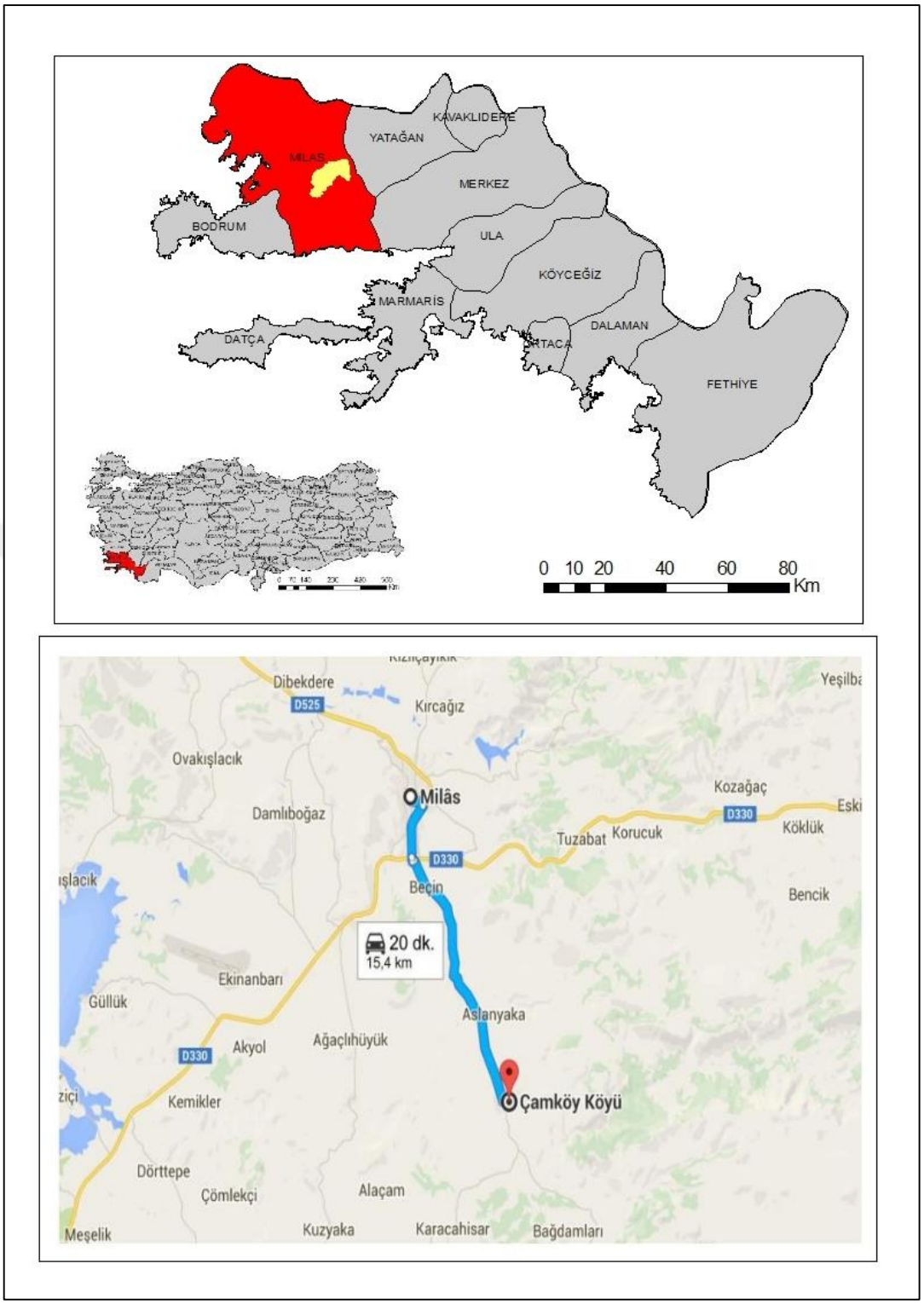
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı Muğla ilinin doğusunda Milas ilçesine bağlı Çamköy köyü ve çevresini kapsamaktadır (Şekil 3.1). Çamköy, Ege Bölgesi'nin güneybatısında Muğla iline 82 km, Milas ilçesine 14 km uzaklığında bulunmaktadır. Çamköy Ovası içerisinde Çamköy, Aslanyaka ve Ulaş yerleşim birimleri bulunmaktadır. İnceleme alanının tamamı yaklaşık 86.6 km^2 olup kuzeyde Beçin köyünden başlayıp güneyde Karacahisar köyüne kadar uzanan alanı kapsamaktadır.

İnceleme alanı kuzeyinde Tomruk tepesi (814 m) ve Ağıl tepesi (944 m), kuzeydoğusunda Kocadağ (1229 m), doğusunda Çultutmaz dağı (936 m) ve Zeytin dağı (420 m); batısında da Gökdağ (277 m) ile sınırlanmıştır. Çalışma alanın en önemli akarsu şebekeleri Derin dere, Soğucak deresi, Karamersin deresi, Sümbülük deresi, Kayacık deresi ve bu derelere bağlanan yan dereler oluşturmaktadır. Bu derelerden en önemlileri olan Derin dere; Kocadağ ve Çultutmaz dağının zirvelerinden başlayıp çalışma alanını kat ederek ve havzanın batısında Deli dere adıyla havzanın önemli boşalım noktalarından birini oluştururken diğer önemli dereler Sümbülük ve Kayacık dereleri doğuda Zeytindağ'dan başlayıp batıda havzanın en önemli boşalım deresi olan Tekne deresine boşalım yapmaktadır. Sözü geçen derelerden havza sınırları dışında kalan ve en önemli boşalım noktası olan Kocaçay Deresi dışında dört mevsim akış gösteren dere bulunmamaktadır.

İnceleme alanında Akdeniz iklimi etkisi görülmektedir. Yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. Genel olarak çam ve zeytin ağaçları hakim olmakla beraber bodur meşe ağaçları yaygındır. Bölgenin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Bölgede zeytincilik yaygındır. Bahar ve yaz aylarında yapılan bostancılık ile Milas ve Bodrum ilçelerinin ihtiyaçları karşılanmaktadır. Bölgede uzun yıllar boyunca tütün üreticiliği yapılmış olup, son on yıl içerisinde azaltılarak neredeyse tamamen sona erdirilmiştir.



Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası (ölçeksiz)

3.2. Çalışma Yöntemleri

Çamköy Ovasında yeraltısuyu potansiyelini ve kalitesini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar jeoloji, jeofizik, hidroloji, hidrolojeoloji, hidrojeokimyasal ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) çalışmaları olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 1/25000 ölçekli N19b3, N19b4, N19c1, N19c2 paftalarının sınırlarında kalan alanlar incelenmiştir.

Jeoloji: Öncelikle Çamköy Ovası için bölgede yeraltısuyu alınan kuyular da dikkate alınarak beslenme havzası sınırı 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinden belirlenmiştir. Havza sınırı içerisinde kalan alanın jeoloji haritası önceki araştırmalar ve arazide yapılan jeofiziksel ve yüzeysel jeolojik çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Hidroloji: İnceleme alanına en yakın Milas (Muğla) Devlet Meteoroloji İstasyonunda ölçülen uzun yıllara ait yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak yeraltısuyu bilançosu hesaplanmıştır. Bu istasyonlara ait yağış verileri ile çizilen eklenik sapma grafiği ile bölgede gözlenen iklim değişim trendi incelenmiştir. Potansiyel ve gerçek buharlaşma değerlerinin hesaplanması için Thornthwaite metodu ve Turc formülünden yararlanılmıştır. Ovanın hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak hesaplanan bilanço elemanları ile Çamköy Ovası için emniyetli kullanılabilir yeraltısuyu potansiyeli hesaplanmıştır.

Hidrojeoloji: Araştırmanın bu bölümünde inceleme alanında bulunan su noktaları, litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri, akiferlerin hidrolik parametreleri ve yeraltısuyu dinamiği konuları araştırılmıştır. İnceleme alanında bulunan jeolojik birimlerin su bulundurabilme ve geçirimlilik özelliklerine göre hidrojeolojik sınıflaması yapılarak haritalanmış ve akifer birimler tanımlanmıştır. Akiferin hidrolik parametrelerinin tespitinde daha önceden yapılmış pompaj deneyleri ve çalışma kapsamında yeni açılan kuyularda yapılan pompaj deneyleri sonuçlarından yararlanılmış ve akiferlere ait Permeabilite (K) ve Transmisibilite (T) parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca havza içerisinde bulunan belirli kuyulardan düzenli seviye ölçümleri alınıp CBS

yardımıyla yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır. Haritalar yardımıyla yeraltısuyu akım yönü ve mevsime bağlı yeraltısuyu seviye değişim miktarları tespit edilerek yorumlanmıştır.

Hidrojeokimya: Bu bölümde, yeraltısularının kimyasal yapısı ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla ovada farklı lokasyonlarda kuyu ve kaynak suyu örneklerinin kimyasal analizleri, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü ve DSİ 21. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Ayrıca, suların elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri arazide örnek alımı işlemleri sırasında Kondüktüvite ölçer yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar farklı diyagramlar ve haritalar üzerinde yorumlanarak kullanım alanları açısından uygunluğu değerlendirilmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS): Çalışma alanı içerisinde kalan 1/25000 ölçekli topografik haritalar ve bu haritalar içerisinde kalan eşyükselti eğrileri, kaynaklar, sondaj kuyuları, dereler, yerleşim yerleri, dağ ve tepeler ve hazırlanan 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları CBS ile sayısallaştırılmıştır. Bunun sonucunda 1/25000 ölçekli beslenme alanı ve drenaj ağı haritaları, çalışma alanına ait yeraltısuyu akım haritaları ve topoğrafik/jeolojik kesitler elde edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Stratigrafi

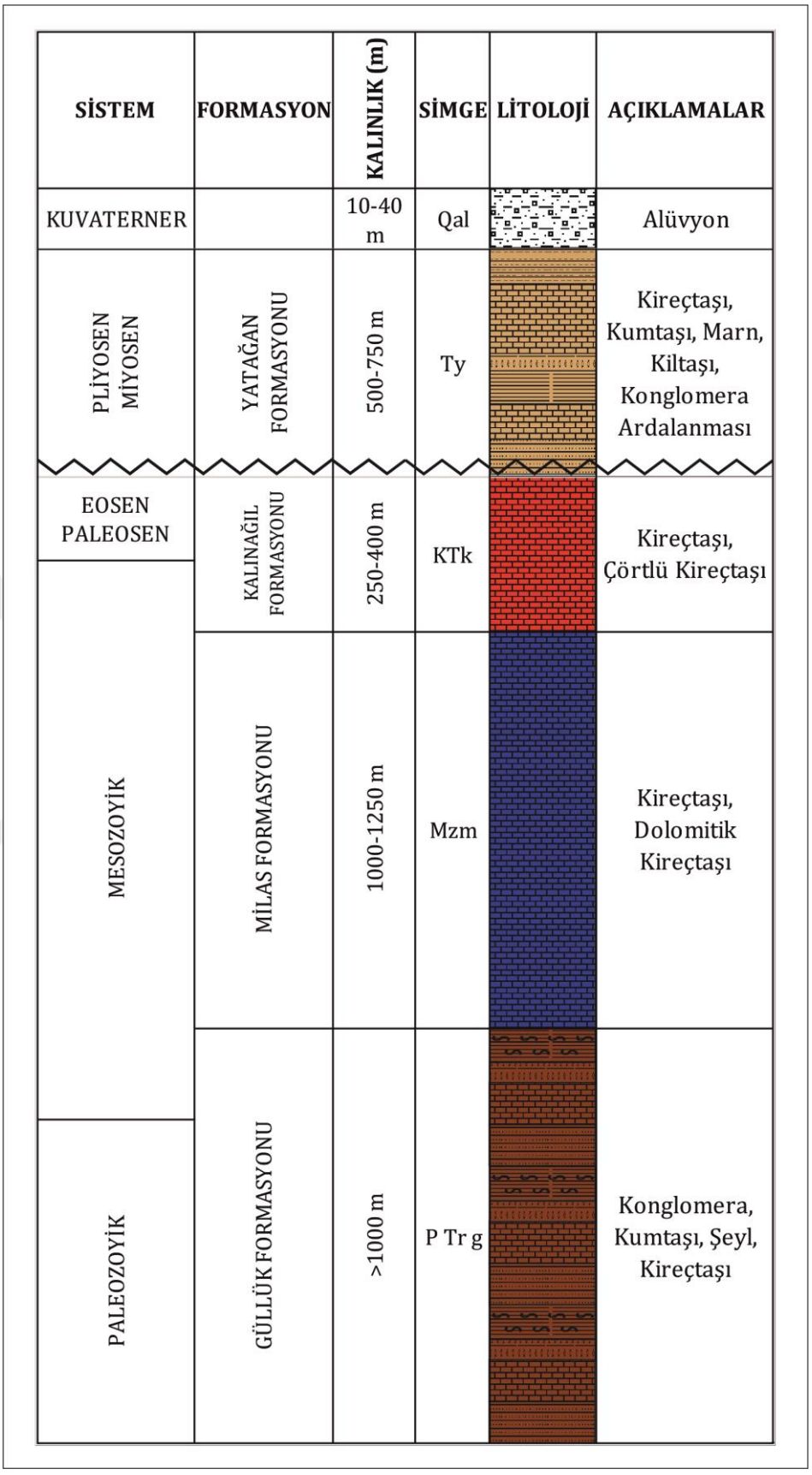
İnceleme alanı ve çevresinde çok sayıda yerli ve yabancı araştırmacı genel jeoloji amaçlı araştırmalar yapmışlardır. Bölgede yapılan önceki araştırmalarda Menderes masifi kayaçları otokton, allokton ve neo-otokton istifler şeklinde tanımlanmıştır. Otokton istif çeşitli gnays ve migmatitlerin oluşturduğu çekirdek ile çeşitli şist ve Permiyen-Paleosen kireçtaşı çökellerinden oluşmuş örtü istiflerinden, allokton istif ise Paleozoyik-Mesozoyik çökellerden oluşmuştur. Toros Kuşağı ismiyle de anılmaktadır. Bu allokton istif, otokton Menderes masifinin üzerine ekaylı bir yapı ile yürümüştür. Bölgede bazı yerlerde otokton ve allokton istife ait birimler birbirine benzer özellikler taşımaktadır. Ancak, bölgede otokton ve allokton istifi ayıran kılavuz seviye olarak Milas-Muğla çevresindeki Geç Paleosen kızıl kireçtaşları kabul edilmiştir (Akat vd., 1975). Bölgede neo-otokton istif Molas fasiyesindeki konglomera, kumtaşı, şeyl, çamurtaşı, kireçtaşı vb., kayaçlardan oluşmaktadır (Barut, 2001).

Bu bölümde önceki araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar birlikte değerlendirilmiş ve arazi çalışmaları ile desteklenerek çalışma alanının 1/25000 hassasiyetinde jeoloji haritası hazırlanmıştır (Ek A1). İnceleme alanında Menderes Masifi kayaçlarından oluşan otokton birimlere ait Kalınağıl ve Milas formasyonları, Likya naplarına ait allokton Güllük formasyonu ve neo-otokton örtü kayaçları olan Yatağan formasyonu yüzeylemektedir (Şekil 4.1).

4.1.1. Otokton birimler

4.1.1.1. Milas formasyonu (Mzm)

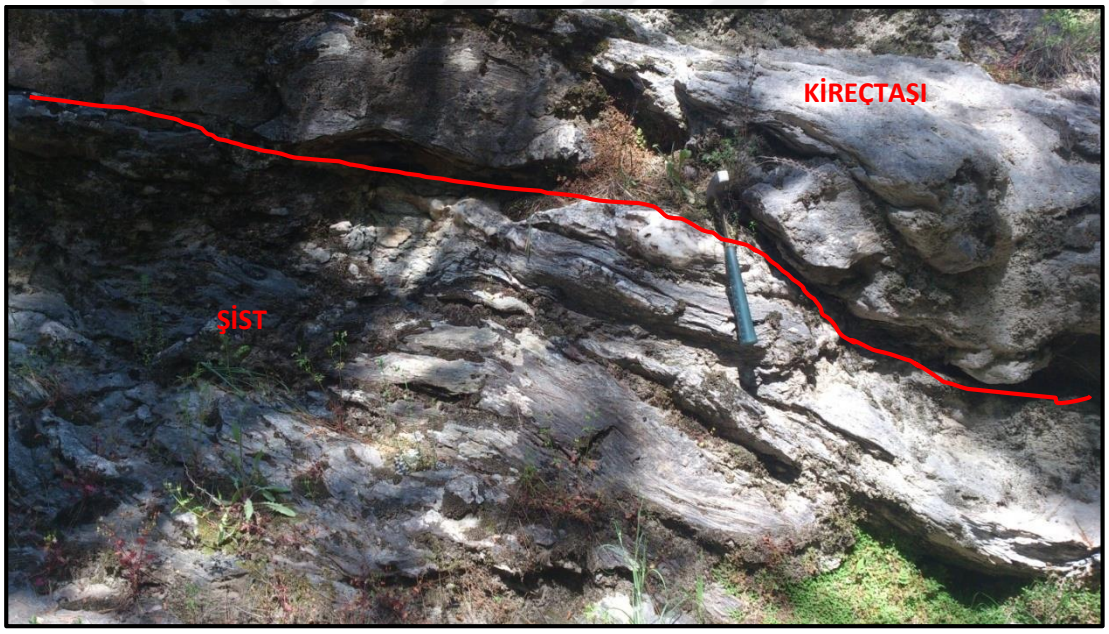
Akat vd. (1975) tarafından "*Paşalıdağ formasyonu*" olarak adlandırılan formasyon, tipik özellikleriyle Milas dolaylarında görüldüğü için Eroskay vd. (1992) tarafından "*Milas formasyonu*" olarak yeniden isimlendirilmiştir. İnceleme alanında geniş alanlarda bulunan Milas formasyonu koyu, açık gri ve beyaz sert, sıkı, yer yer dolomitik kireçtaşı istifinden oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Çamköy (Milas-Muğla) ve yakın çevresinin stratigrafik sütun kesiti (Ölçeksiz)(Barut, 2001'den değiştirilerek)

Bu birim Menderes masifinin şistleri üzerine dereceli geçişle gelmektedir (Şekil 4.2). Şistler üzerinde uyumlu bulunan Milas formasyonunun mostra dağılımını daha çok, kıvrım ve fayların oluşturduğu yapısal model denetlemektedir.

Milas formasyonu, çalışma alanının kuzey ve kuzeydoğu kesiminde mostra vermektedir. Kireçtaşı mostrası alttan şistlerle üstte ise örtü birimi olarak bulunan Yatağan formasyonu ile sınırlanmaktadır. Milas dolayında istif altta gri ve koyu gri, iri kristalli kireçtaşı ile başladığı halde; çalışma alanında, açık gri kristalli, şekerimsi dokulu kireçtaşı ile mostra vermektedir (Şekil 4.3). Üst seviyelere doğru çakıllı, kırıntılı kireçtaşı düzeyleri ve kırmızı kireçtaşı düzeyleri gözlenebilmektedir. Bu değişim ile daha üstteki Kalınağıl formasyonuna geçiş fasiyesi başlamaktadır.



Şekil 4.2. Milas Formasyonu kireçtaşları ile paleozoyik şistler arasındaki dokanak

Milas formasyonu kireçtaşı istifinin en kalın gözüktüğü mostrası Kaleli Dağı ve dolayıdır. Burada Milas formasyonunun 1000-1250 metre kadar kalınlığa ulaştığı görülmektedir. Milas formasyonunun değişik düzeylerinden derlenen fosillerle, yaş konağını Üst Triyas-Jura-Kretase olduğu ifade edilmiştir (Akat vd., 1975).

Şekil 4.3. Milas Formasyonu kireçtaşlarından bir örnek

4.1.1.2. Kalıağıl formasyonu (Ktk)

Otokton istifin en üst birimini oluşturan Kalınağıl formasyonu, önceki çalışmalarda "*İlminkızılağaç formasyonu"* (Akat vd., 1975) ve "*Arıltaş formasyonu"* (Öztürk ve Koçyiğit, 1982) olarak isimlendirilmiştir. Kazıklı şistleri olarak ikiye ayrılmış olan ve geniş bir alan içinde yanal-düşey geçişler gösteren bu kayaçlar, kolay ayırtlanamadığı için Özlüce formasyonu (Meşhur vd., 1995) olarak isimlendirilmiştir. İnceleme alanında sadece Milas'ın güneydoğusu ve Çamköy'ün kuzeydoğusunda bulunan Kalınağıl Köyü çevresinde en tipik özellikleriyle gözlendiği için Eroskay vd. (1992) tarafından "*Kalınağıl formasyonu*" ismi verilmiştir.

Formasyon, kırmızı, kahverengimsi bordo kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, yeşilimsi gri şeyl düzeylerinden ve beyaz gri kireçtaşı düzeylerinden oluşmaktadır. Yaklaşık kalınlığı 300-400 metre kadardır (Akat vd., 1975). Kalınağıl köyünde, senklinal ekseni boyunca doğu-batı uzanımlı mostrasında bordo renkli kireçtaşı düzeyleri mermer ocağı olarak işletilmektedir. Üst düzeylerine doğru yeşil ve yeşilimsi gri şeyl katkıları ile beyaz kireçtaşı, kristalize kireçtaşı düzeyleri egemen olmaktadır. Bu kesimde, Milas formasyonunun gri kireçtaşından,

Kalınağıl formasyonunun bordo kireçtaşına dereceli geçiş görülmektedir (Şekil 4.4, 4.5, 4.6).

Şekil 4.4. Mermer ocağı olarak işletilen, Kalınağıl formasyonuna ait bordo renkli kireçtaşları

Şekil 4.5. Mermer ocağı olarak işletilen Kalınağıl formasyonuna ait bordo renkli kireçtaşları

Şekil 4.6. Kalınağıl formasyonu kireçtaşları içerisindeki yeşil ve yeşilimsi gri şeyl katkıları

Kalınağıl formasyonu ile Milas formasyonu arasında uyumlu bir dokanak ilişkisi bulunmaktadır. Milas formasyonunun gri kireçtaşları içinde çakıllı düzeyler görülmeye başladığında ve üste doğru kırmızı-bordo sert-çok sert Kalınağıl formasyonunun kireçtaşı düzeylerine geçer. Orta ve kalın katmanlı bu kırmızı kireçtaşları giderek beyaz düzeylerle ardalanır. Üste doğru, beyaz kireçtaşı, yeşil ve yeşilimsi gri şeyller egemen olur (Şekil 4.7).

İlminkızılağaç'ın doğusu, birimin en kalın bulunduğu yerlerden biridir. Siyahımsı bordo kireçtaşı egemendir. Koyu rengi ile kendini belli eder. İnce beyaz bantlarla karakteristiktir. Kuzeybatıya doğru hem mostra genişliği daralır hem de, daha açık renklerde kireçtaşı şeyl istifine geçer. Fosillerle, Kalınağıl formasyonunun Üst Kretase -Paleosen yaşında olduğu saptanmıştır (Akat vd., 1975).

Şekil 4.7. Kalınağıl formasyonu içerisindeki yeşil ve yeşilimsi gri şeyl istifi

4.1.2. Allokton birimler

4.1.2.1. Güllük formasyonu (PTrg)

Allokton istifi inceleme alanında temsil eden tek birim ve istifin de en alt birimidir. Tipik mostraları Güllük dolaylarında bulunduğundan Ercan vd. (1982) tarafından bu ad verilmiştir. Milas-Bodrum yolu boyunca birimin tam kesiti gözlenebilmektedir. Güllük Formasyonu, başlıca konglomera, kumtaşı, şeyl ile değişik büyüklükte kireçtaşı merceklerinden oluşmaktadır. Egemen rengi alacalı mor ve kızıl kahverengidir. Şeyl düzeyleri gri, koyu gri ve yeşilimsi gridir. Formasyon, çalışma alanında meta-kumtaşları, kireçtaşı ve yeşilimsi gri renkli şeyl mostraları ile temsil edilmektedir (Şekil 4.8, 4.9).

Birimin toplam kalınlığı yer yer 1000 metreyi geçmektedir. Güllük formasyonu içerisinde, özellikle alt düzeylere yakın kireçtaşı mercekleri yer almaktadır. Genellikle açık gri, yer yer beyazımsı gri, koyu gri olan kireçtaşları, değişik kalınlıkta sıkça çört bantları içermektedir. Çamköy yakınlarında kireçtaşlarının diğer kırıntılı litolojilerle yanal ve düşey geçişleri görülmektedir (Şekil 4.10).

Şekil 4.8. Güllük formasyonu içindeki şeyl fasiyesleri

Şekil 4.9. Güllük formasyonu meta-kumtaşlarından örnek

Önceki çalışmaların bulgularına göre Güllük formasyonu Üst Permiyen-Alt Triyas yaşındadır (Çağlayan, 1980).

Şekil 4.10. Güllük formasyonu kireçtaşı seviyeleri

4.1.3. Neo-otokton örtü kayacı

4.1.3.1. Yatağan formasyonu (Ty)

İnceleme alanında çok geniş yayılım gösteren, gri, boz, krem renkli kumtaşı, konglomera, silttaşı, marn, kiltaşı, kireçtaşı ve kömür yataklarından oluşan göl ve akarsu fasiyesindeki çökel topluluğu "*Yatağan formasyonu*" adıyla haritalanmıştır. Kömür içermesi sebebiyle birim, MTA Enstitüsü uzmanları tarafından ayrıntılı olarak araştırılmış, yüzey jeolojisi yanında çok sayıda sondaj yapılarak yeraltı bulguları da sağlanmıştır.

Yatağan formasyonu, tabanda çoğu kaba kırıntılı malzemeyle başlar. Yatay ve düşey yönde değişimler görülür. İnce çakıllı konglomera, kumtaşı, kiltaşı ve marn düzeylerine geçişler gösterir. Üste doğru yer yer kumtaşı silttaşı bantları içeren killi kireçtaşı ve kireçtaşı düzeyleri bulunmaktadır (Şekil 4.11, 4.12, 4.13).

Şekil 4.11. Yatağan formasyonuna ait konglomeralar

Şekil 4.12. Yatağan formasyonuna ait kumtaşları

Şekil 4.13. Yatağan formasyonuna ait kumtaşı-silttaşı bantları içeren killi kireçtaşı düzeyleri

Yatağan formasyonu çökelleri gölsel olarak yanal yönde sıkça fasiyes değişimler göstermektedir. Bir yandan yüksek enerjili çökelimle kaba kırıntılılar oluşurken, diğer tarafta kömür yataklarının oluşumuna imkan veren çok farklı fasiyeste çökelimler görülmektedir. Yatağan, Yeniköy ve Sekköy dolayları gibi kenar zonlarda kömür yatakları içeren kiltaşı, marn, killi kireçtaşı istif görülmektedir (Şekil 4.14).

Blok faylanmaların görüldüğü Algıköy, Denizova, Tahtacıköy gibi aktif tektonik kuşaklarda paleotopoğrafyayı doldurmuş kırıntılı kaba kırıntılı kötü boylanmalı bir çökel istifi görülür (Eroskay vd., 1992). Beçin-Bahçeköy arasındaki kalın Yatağan formasyonu çökelleri, üste doğru ince kırıntılarla daha sonra killi kireçtaşına ve kristalize kireçtaşına geçmektedir.

Bölgede Yatağan formasyonu, paleotopoğrafya koşullarına bağlı bir yayılım gösterdiğinden, otokton ve allokton tüm birimleri örtmektedir. Bindirme kuşağı boyunca görülen mostraları, Çamköy dolayında olduğu gibi otokton ve alloktonlar arasındaki tektonik ilişkiyi gizleyebilmektedir.

Şekil 4.14. Yatağan formasyonu içerisindeki kömür seviyeleri (Sekköy Köyü)

Birimin kalınlığı bazı yerlerde 750 metreye ulaşmaktadır (Çağlayan, 1980). Ancak çoğunluğu fazla kalın olmayan yaygın dağılım gösteren çökellerdir. Milas Ovası, Ekinambarı, Ağaçlıhöyük arasında kalan alan ile sahil kesiminde kalan alanlarda yaygın alüvyal çökeller, alttaki Yatağan formasyonunun mostra dağılımını gizlemesine karşın çalışma alanında birkaç metreyi geçmeyen nebati toprak ile örtülü olan formasyon yer yer mostra vermektedir (Şekil 4.15, 4.16).

MTA tarafından gerçekleştirilen incelemelerde, Yatağan formasyonuna ait çökellerin fosil bulguları ile Orta-Üst Miyosen ve Pliyosen yaşında olduğu kabul edilmiştir (Çağlayan, 1980).

Şekil 4.15. Çalışma alanındaki yapı kazılarından çıkan ve nebati toprak ile örtülü olan kireçtaşlarından görünüm

Şekil 4.16. Çalışma alanındaki yapı kazılarından çıkan ve nebati toprak ile örtülü olan kireçtaşlarından görünüm

4.2. Yapısal Jeoloji

Batı Toroslarda, son yıllarda yapılan çalışmalarla, Menderes masifi ile allokton birimler arasındaki ilişkiler ve bölgenin yapısı hakkında, önemli bulgular ortaya konmuştur. Ege bölgesinin kuzeyinde çok geniş alanlar kaplayan Menderes masifi makro boyutlarda bir dom yapısına sahiptir. Paleozoyik başlarından, belirgin bir kesiklik olmaksızın Mesozoyik sonuna kadar devam eden sedimantasyon; bölgeye Üst Kretase'de Likya naplarının yerleşmeye başlamasıyla yeni bir evreye girmiştir. Masifin otokton birimlerinde, apalaş tipi antiklinal ve senklinallerden oluşan kıvrımlı bir yapı görülmektedir. Bindirme kuşağı ile otokton kayaçlardan ayrılan Likya naplarında ise sürüklenmenin sebep olduğu faylı, ekaylı ve kataklastik yapı unsurları egemendir. Bölgede, neootokton istifi oluşturan, Miyosen-Pliyosen-Pleyistosen dönemlerine ait örtü çökelleri ise diğerlerine oranla çok daha sade bir yapı modelinde görülmektedir (Eroskay vd., 1992).

Epirojenik hareketlerle fay blokları veya grabenler oluşmuştur. Genel olarak otokton birimlerin dom yapısı nedeniyle ve şistler ile otokton kireçtaşları, Menderes masifinin gnaysik çekirdeğini çevreledikleri için; bu birimlerdeki kıvrım eksenlerinin de, dom yapısına uyumlu doğrultular kazandığı izlenmektedir. Nitekim kıvrım eksenleri çalışma alanın kuzeyinde genel olarak D-B doğrultu kazanmıştır. Bu yapı katının bir diğer belirgin özelliği de, antiklinal eksenleri boyunca şistlerin ve yüksekteki senklinallerde ise Milas formasyonuna ait kireçtaşlarının yer almasıdır (Eroskay vd., 1992).

Otokton birimlerin genel nitelikleriyle tanıtılan bu yapısı, Menderes masifinin evrimi ve domlaşmasıyla yakından ilişkilidir. Daha sonraki evrelerde, allokton birimlerin bölgeye yerleşmesi sırasında, itki fayları oluşmuştur. Kalınağıl dolayında, bunun örnekleri gözlenmektedir. Allokton birimlerde, esas itibariyle, bölgeye yerleşme sırasında kazanılmış, ters fayların egemen olduğu ekaylı bir yapı görülmektedir. Yer yer sürüme kıvrımları da oluşmuştur. Allokton birimler, son evredeki genç tektonizmanın etkisi altında kalmıştır. Örtü çökelleri, genel olarak az eğimli veya yataya yakın katmanlıdır. Bölgede, Miyosen ve Pliyosen

çökellerin çoğu yapısal çukurlukları doldurmuş olduklarından; havza kenarlarında 15-20 derecelik ilksel eğimler görülür. Ancak bu yapı katında, en etkin yapı unsuru çalışma alanın dışında kalan büyük atımlı ve kilometrelerce devam eden çekim faylarıdır. Örtü çökellerinin bloklu yapısını ve mostra dağılımını bu faylar denetlemektedir (Eroskay vd., 1992).

4.3. Jeolojik Evrim

Menderes masifinin çekirdeğini oluşturan gnaysların sedimanter kökenli olduğu birçok araştırıcı tarafından ifade edilmiştir. Bölgede, sedimantasyon Paleozoyik'in başından Mesozoyik'in sonuna kadar belirgin bir kesiklik olmaksızın devam etmiştir. Kretase sonunda başlayan tektonik gelişmeler çeşitli aşamalarla günümüze kadar sürmüştür. Bölgenin tektonik modelinin oluşmasında, Menderes otoktonu üzerine Likya naplarının bindirme dilimleri ve melanjın yerleşmesi çok etkin olmuştur. Kretase sonunda başlayan itilmelerle önce ofiyolitler ilerlemiş ve tektonik melanj gelişmiştir. Tektonik melanjla birlikte allokton istif ilerleyerek Menderes masifi üzerine yerleşmiştir (Eroskay vd., 1992).

Çalışma alanı özelinde ise Menderes Masifinin örtü kuşağını oluşturan ve Menderes masifinin şistleri üzerine dereceli geçişle Milas formasyonuna ait kireçtaşı istifi gelmektedir ve bu kireçtaşlarının üzerinde yine uyumlu olarak Kalınağıl formasyonunun çörtlü kireçtaşlarının Üst Kretase'den Paleosen'e kadar geçen dönemde çökeldiği düşünülmektedir. Bindirme faylarıyla Menderes Masifi örtü kuşağının üzerine gelen Likya Napları'nın çalışma alanındaki üyesi ve oluşum yaşı Paleozoyik olan Güllük formasyonunun önceki araştırmacıların çalışmalarına göre bölgeye yerleşim yaşı Alt Triyas'tır. Yatağan formasyonuna ait killi kireçtaşları Paleotopoğrafya koşullarına bağlı olarak Orta-Üst Miyosen/Paleosen'de bölgeye çökelmiş ve hem Milas formasyonunu hem Güllük formasyonunu hem de bu iki formasyonun arasındaki bindirme kuşağını örtmüştür (Eroskay vd., 1992).

4.4. Hidroloji

Yeraltısuyunun kullanımını denetleyen en önemli faktörlerden biri su potansiyelidir. Çamköy Ovası'nda yeraltısuyunun tarım amacıyla kullanılması ve içme suyu kaynağı olarak da özellikle Bodrum ilçesi için önemli olması nedeniyle ovada sürdürülebilir emniyetli yeraltısuyu potansiyeli tespit edilmiştir. Bu amaçla öncelikle ovada ölçülen meteorolojik veriler temin edilerek yeraltısuyu bilanço elemanları hesaplanmıştır.

4.4.1. Yağış

Genel olarak yeraltısularının en önemli beslenim elemanı yağıştır. Çamköy Ovası'na düşen ortalama yağış miktarının belirlenmesi için ova sınırları içerisinde ve civarında yeralan Devlet Meteoroloji istasyonlarında (DMİ) ölçülen yıllık ortalama yağış verileri kullanılmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde Çamköy ve Milas yerleşim merkezlerinde bulunan gözlem istasyonları bulunmaktadır. Bu gözlem istasyonlarına ait teknik özellikler Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Ortalama yağış değeri Milas DMİ'de 1943-2012 yılları arasında 711 mm, Çamköy DSİ yağış gözlem istasyonunda 1962-2004 yılları arasında 787.3 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Ayrıca iki istasyonun birlikte çalıştığı yıllar olan 1962-2004 yılları arasında Milas Meteoroloji İstasyonu ortalama yağış 716.7 mm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. İnceleme alanı çevresindeki meteoroloji ve yağış istasyonları

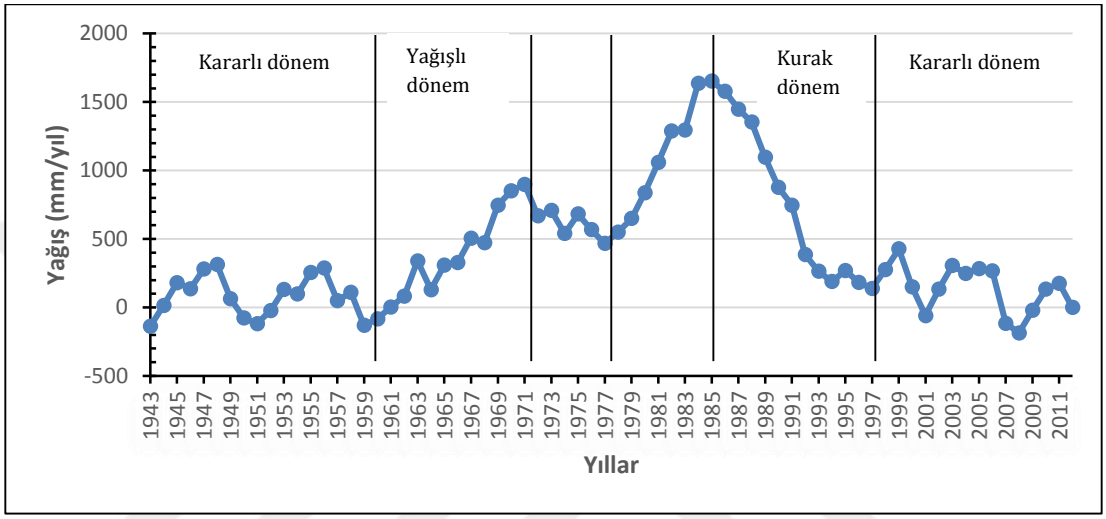
İstasyon adı	Kurum	İstasyon No	Enlem	Boylam	Rakım (m)
Milas Meteoroloji İstasyonu	MGM	17884	37° 19'	27° 47'	52
Çamköy DSİ Yağış Gözlem İstasyonu	DSİ	08-002	37° 12'	27° 52'	240

Milas DMİ ve Çamköy DSİ yağış gözlem istasyonunda elde edilen yağış ölçümleri değerlendirilerek eklenik sapma grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 4.17a-b, 4.18a-b).

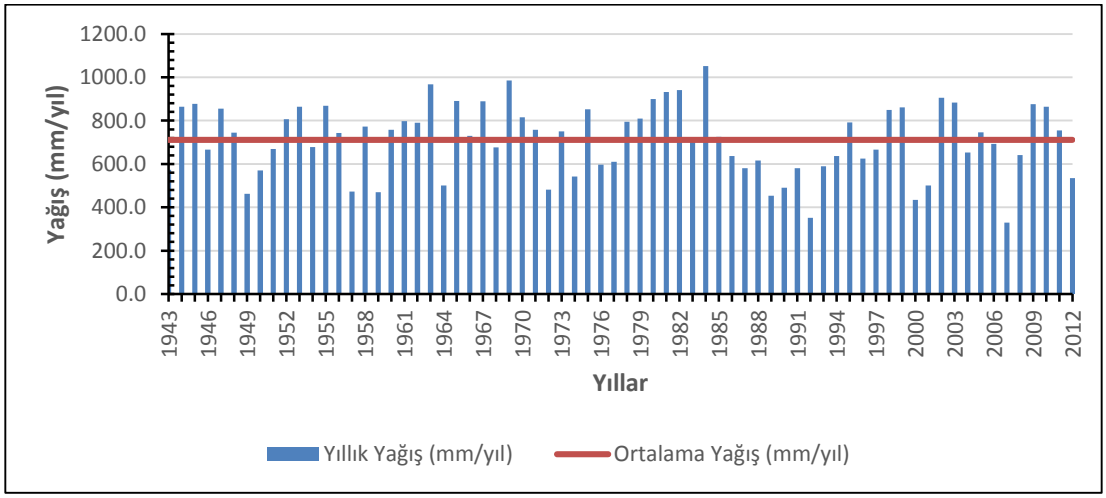
Çizelge 4.2. Milas DMİ ve Çamköy DSİ yağış gözlem istasyonunda ölçülen yıllık ortalama yağış verileri (mm)

YILLAR	MİLAS	YILLAR	MİLAS	YILLAR	ÇAMKÖY
1943	530.5	**1978**	927.0	**1962**	944.3
1944	1101.2	**1979**	932.0	**1963**	1120.8
1945	723.4	**1980**	877.6	**1964**	593.0
1946	908.1	**1981**	1079.3	**1965**	963.5
1947	626.2	**1982**	686.3	**1966**	922.7
1948	531.9	**1983**	868.5	**1967**	1009.5
1949	537.6	**1984**	838.3	**1968**	833.8
1950	575.8	**1985**	702.1	**1969**	1201.4
1951	830.1	**1986**	633.0	**1970**	967.9
1952	903.6	**1987**	565.7	**1971**	869.0
1953	552.1	**1988**	765.7	**1972**	598.3
1954	1000.3	**1989**	437.8	**1973**	763.2
1955	744.5	**1990**	454.6	**1974**	628.5
1956	571.6	**1991**	509.1	**1975**	965.2
1957	519.7	**1992**	387.2	**1976**	639.7
1958	808.9	**1993**	590.9	**1977**	487.4
1959	532.5	**1994**	739.4	**1978**	831.0
1960	897.3	**1995**	638.3	**1979**	805.5
1961	683.5	**1996**	724.9	**1980**	904.7
1962	876.9	**1997**	749.6	**1981**	1071.1
1963	736.0	**1998**	848.1	**1982**	1086.0
1964	579.0	**1999**	634.9	**1983**	893.8
1965	883.8	**2000**	491.9	**1984**	1052.3
1966	942.7	**2001**	755.7	**1985**	644.7
1967	728.3	**2002**	842.3	**1986**	661.8
1968	815.6	**2003**	762.7	**1987**	540.5
1969	916.6	**2004**	689.7	**1988**	709.0
1970	654.1	**2005**	706.2	**1989**	483.8
1971	818.1	**2006**	559.1	**1990**	490.4
1972	479.9	**2007**	604.4	**1991**	551.5
1973	613.9	**2008**	455.8	**1992**	382.0
1974	665.8	**2009**	1027.1	**1993**	595.8
1975	874.8	**2010**	773.4	**1994**	732.1
1976	629.7	**2011**	766.4	**1995**	814.2
1977	445.0	**2012**	611.9	**1996**	778.7
ORT.	711.0			**1997**	664,2
YIL	70			**1998**	894,5
				1999	941.5
				2000	520.0
				2001	527.7
				2002	914.9
				2003	1070.1
				2004	783.0
				ORT.	787.3
				YIL	43

Milas istasyonuna ait eklenik sapma grafiğinde, 1943-1959 yılları arası kararlı dönem, 1959-1971 yılları arası yağışlı dönem, 1971-1977 yılları arası kurak dönem, 1977-1985 yılları arası yağışlı dönem, 1985-1997 yılları arası kurak dönem ve 1997-2012 yılları arası ise kararlı dönemi temsil etmektedir (Şekil 4.17a-b).

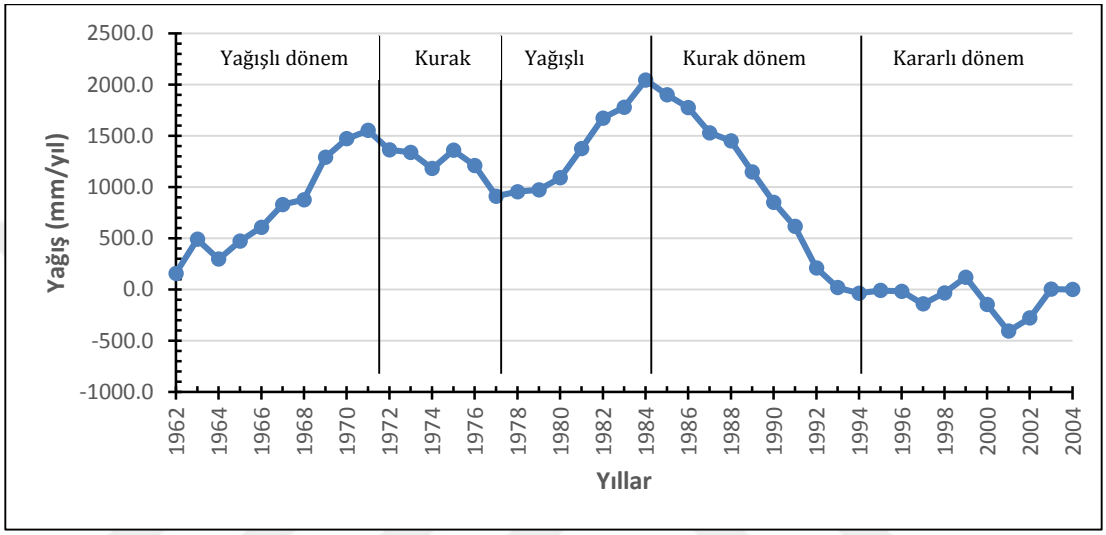


Şekil 4.17-a. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Milas DMİ)

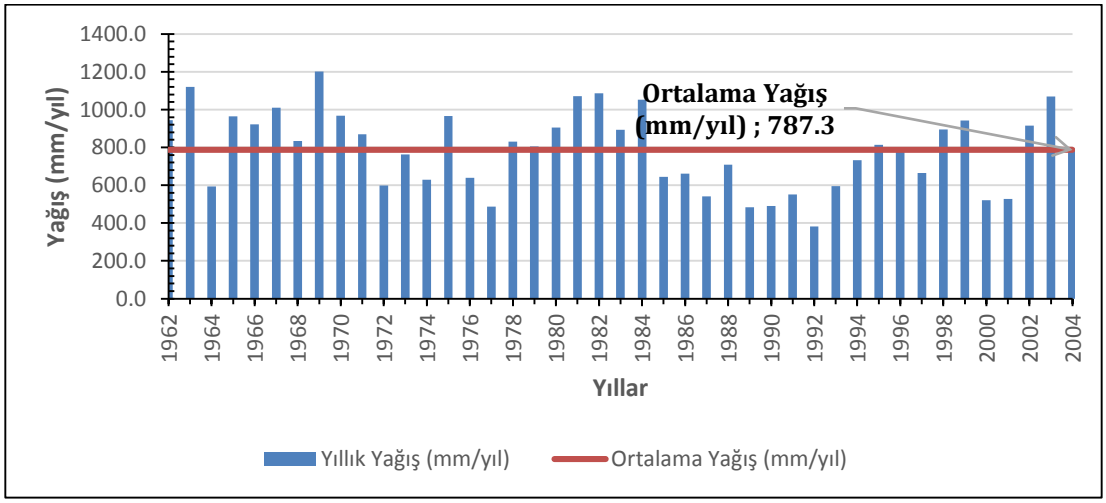


Şekil 4.17-b. Milas DMİ yağışın yıllara göre dağılım grafiği

Çamköy istasyonuna ait eklenik sapma grafiğinde, 1962-1971 yılları arası yağışlı dönem, 1971-1977 yılları arası kurak dönem, 1977-1984 yılları arası yağışlı dönem, 1984-1994 yılları arası kurak dönem ve 1994-2004 yılları arası ise kararlı dönemi temsil etmektedir (Şekil 4.18a-b). Her iki istasyon için hazırlanan grafiklerde de görüleceği gibi benzer yıllarda benzer mevsimsel değişim trendinin gözlendiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.18-a. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Çamköy DSİ)



Şekil 4.18-b. Çamköy DSİ gözlem istasyonu yağışın yıllara göre dağılım grafiği

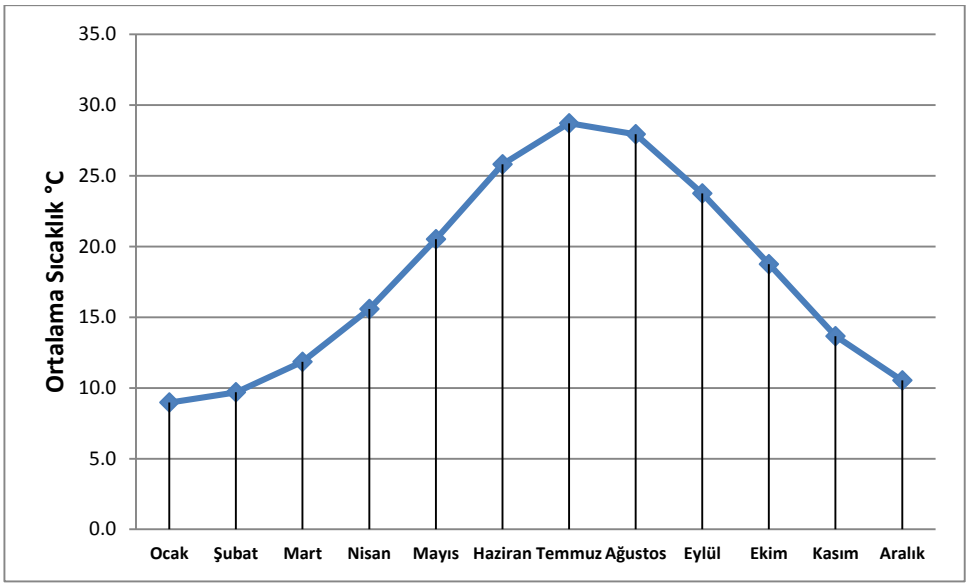
4.4.2. Sıcaklık

İnceleme alanında yıllık ortalama sıcaklık miktarlarının belirlenmesinde Milas Meteoroloji İstasyonu verileri değerlendirmeye alınmıştır (Çizelge 4.3). Milas Meteoroloji İstasyonu 1963-2012 yılları arasındaki verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık değeri 18 °C olarak belirlenmiştir.

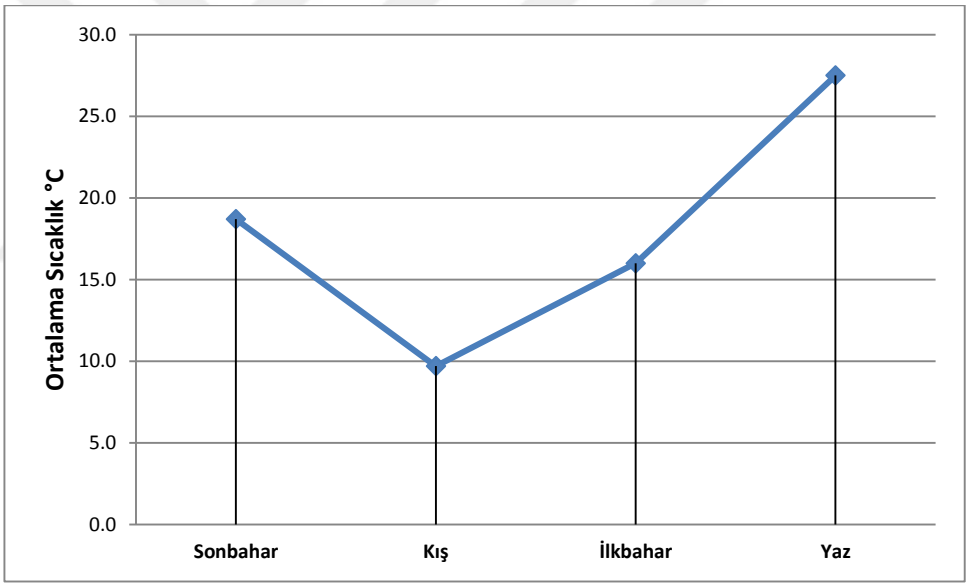
Milas Meteoroloji İstasyonunun aylık ortalama sıcaklık değerleri Şekil 4.19'da, mevsimlere göre değişikliği ise Şekil 4.20'de verilmiştir. Ölçüm yapılan yıl ortalamalarına göre en soğuk ay 9^0C ortalama ile ocak ayı, en sıcak ay ise 28.7 ^{0}C ortalama ile temmuz ayıdır. Bölge yaz aylarında 26.1 ^{0}C ortalama sıcaklığa sahip iken kış aylarında ise ortalama sıcaklık 7.4 ^{0}C'dir.

Çizelge 4.3. Milas DMİ'de ölçülen yıllık ortalama sıcaklık değerleri (^{0}C)

YILLAR	MİLAS	YILLAR	MİLAS
1963	18.5	**1988**	18.0
1964	17.8	**1989**	17.8
1965	17.6	**1990**	18.2
1966	18.5	**1991**	17.5
1967	17.5	**1992**	17.2
1968	17.9	**1993**	17.9
1969	17.7	**1994**	18.7
1970	17.7	**1995**	17.8
1971	17.3	**1996**	18.0
1972	17.0	**1997**	17.6
1973	17.2	**1998**	18.6
1974	17.1	**1999**	19.1
1975	17.2	**2000**	18.4
1976	16.8	**2001**	19.2
1977	18.0	**2002**	18.4
1978	17.6	**2003**	18.7
1979	17.7	**2004**	18.6
1980	17.1	**2005**	18.0
1981	17.9	**2006**	18.2
1982	17.1	**2007**	19.1
1983	17.0	**2008**	19.1
1984	17.5	**2009**	19.1
1985	17.9	**2010**	19.6
1986	17.8	**2011**	18.4
1987	17.5	**2012**	19.9
ORT.	18		
YIL	50		



Şekil 4.19. Milas DMİ aylık ortalama sıcaklık grafiği



Şekil 4.20. Milas DMİ mevsimlere bağlı aylık ortalama sıcaklık grafiği

4.4.3. Buharlaşma

Doğrudan ölçümü kolay olmayan buharlaşmanın belirlenmesi amacıyla farklı ampirik formüller üretilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları Thornthwaite ve Turc eşitlikleridir. Bu eşitlikler yardımıyla, inceleme alanına ait yağış ve sıcaklık verileri ile gerçek ve potansiyel buharlaşma-terleme miktarları hesaplanmıştır. Milas istasyonunda aylık sıcaklık ve yağış miktarlarının eksiksiz olarak ölçüldüğü 1963-2012 dönemi verileri değerlendirilmiştir.

Thornthwaite yöntemi

Thornthwaite deneştirmeli su bilançosu verilerine göre, toplam ortalama yıllık yağış miktarı 739.67 mm, potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 895.44 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 386.25 mm olarak hesaplanmıştır. Su bilançosu için hazırlanan yağış ve Etp değişim grafiğine göre yağış miktarı, Mart ayı sonuna kadar Etp değerinden fazladır (Şekil 4.21). Bu nedenle, bu dönemde Etp, Etr'e eşittir ve gerçekleşen buharlaşmalardan sonra geriye kalan miktar su fazlası olarak kaydedilmiştir. Nisan ayı başından itibaren yağış miktarı Etp miktarından azdır. Bu nedenle Nisan ayı başında 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervinden kullanılmaya başlanmıştır. Zemin rezervi kasım ayından itibaren tamamlanmaya başlamıştır (Çizelge 4.4, Şekil 4.21).

Turc yöntemi

Ovada buharlaşma-terleme miktarının belirlenmesi için kullanılan diğer bir yöntem de Turc yöntemidir. Turc (1954), gerçek buharlaşma-terleme (ETa)'nin sıcaklık ve yağışın bir fonksiyonu olduğunu şu şekilde ifade etmiştir:

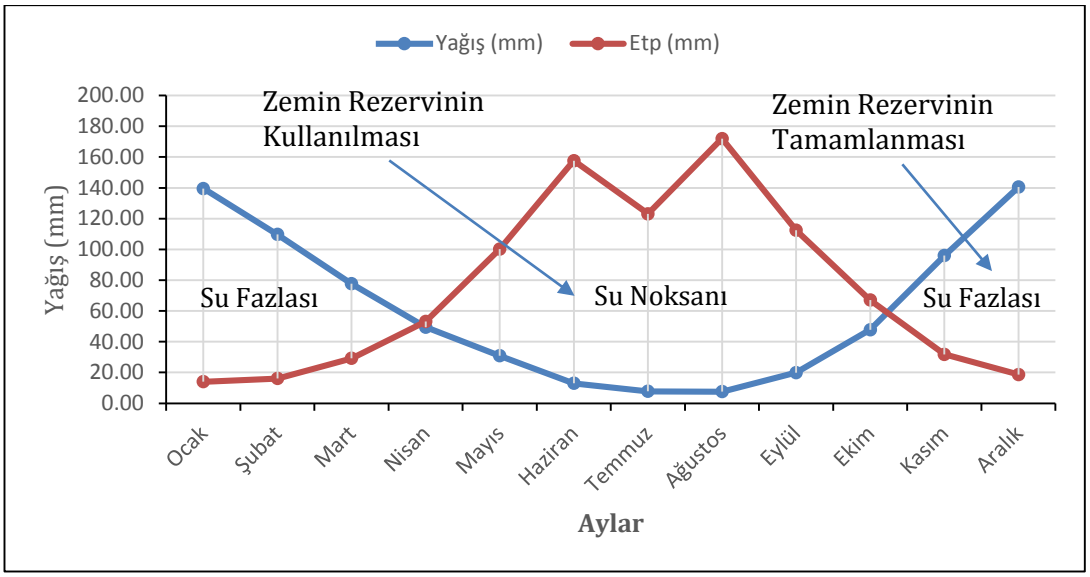
$$ETa = \frac{P}{\sqrt{(0{,}9+P^2/L^2)}} \qquad (4.1)$$

Eşitliğe göre;

ETa= gerçek buharlaşma-terleme (mm)
P= yıllık ortalama yağış (mm)
$L=300+25T+0.05T^3$
T= yıllık ortalama sıcaklık (^{0}C)'dır.

Çizelge 4.4. Milas Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu

Burdur	**Ocak**	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**TOPLAM**
Aylık Sıcaklık (°C)	8.97	9.69	11.86	15.61	20.53	25.82	28.73	27.94	23.77	18.77	13.67	10.52	
Aylık Endeks (*i*)	2.42	2.72	3.69	5.60	8.48	12.00	14.11	13.53	10.59	7.41	4.58	3.08	88.21
Etp (mm)	14.04	16.12	29.24	53.17	100.26	157.60	123.10	172.02	112.43	67.01	31.77	18.68	895.44
Yağış (mm)	139.5	109.73	77.62	49.52	30.82	12.97	7.75	7.59	19.91	47.84	95.95	140.47	739.67
Zemin Rezervi (mm)	100	100	100	96.35	26.91	0	0	0	0	0	64.18	100	
Etr (mm)	14.04	16.12	29.24	53.17	100.26	39.88	7.75	7.59	19.91	47.84	31.77	18.68	386.25
Z. Rezerv Değişimi (mm)	0	0	0	-3.65	-69.44	-26.81	0	0	0	0	64.18	35.82	
Su Noksanı (mm)	0	0	0	0	0	117.72	115.35	164.43	92.52	19.17	0	0	509.19
Su Fazlası (mm)	125.46	93.61	48.38	0	0	0	0	0	0	0	0	85.97	353.42
Enlem Düz. Katsayısı	0.85	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83	



Şekil 4.21. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp' nin aylık değişim grafiği

Turc yöntemi ile yapılan hesaplamada yıllık ortalama sıcaklık 18 ^{0}C, yıllık ortalama yağış 739.67 mm değerleri ile L değeri 1041,6 ve gerçek buharlaşma değeri 624.18 mm olarak hesaplanmıştır.

4.4.3. Akış

Havza içerisinde bulunan ve havza dışına ulaşan dere yatakları kuru derelerdir ve üzerilerinde Akım Gözlem İstasyonu bulunmamaktadır. Çalışma alanının dağlık ve eğimli yapsısı da dikkate alınarak toplam yağışın % 10 lik kısmının bu dereler vasıtasıyla yüzey akışına geçeceği kabul edilmiştir. Bu kabule göre yüzeysel akış miktarı 6,405 x 10^6 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır.

4.4.4. Su bütçesi

Bu bölümde yukarıda ayrıntılı olarak tanımlanan hidrolojik veriler kullanılarak Çamköy Ovası için emniyetli kullanılabilir yeraltısuyu potansiyeli hesaplanmıştır. İnceleme alanının en önemli beslenim elemanı yağıştır. Ortalama yağış hesaplaması için Milas istasyonunda aylık sıcaklık ve yağış miktarlarının eksiksiz olarak ölçüldüğü 1963-2012 dönemi verileri değerlendirilmiştir. Ova için belirlenen ortalama yağış miktarı 739.67 mm'dir.

86.6 km²'lik alana sahip Çamköy Ovası için ortalama yağıştan beslenim miktarı 64.055 x 10^6 m^3/yıl olarak belirlenmiştir.

Ovanın diğer bir beslenim kaynağı ise ovadaki sondaj kuyularından çekilen sulama suyundan süzülmedir. Ovada sulama amaçlı kullanılan 30 adet şahıs kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyuların ortalama debileri 4-5 l/s arasında değişmektedir. Kuyuların ortalama 5 l/s debi ile 6 saat ve yılda 100 gün çalıştığı varsayılırsa kuyulardan toplam 32400 m^3/yıl su çekilmektedir. İnceleme alanında sulama işleminde damlama ve salma sulama yöntemleri uygulanmaktadır. DSİ 21. Bölge Müdürlüğü tarafından bu bölgede yapılan fizibilite raporları dikkate alınarak bölgede sulama randımanı değeri % 85 kabul edilmiştir. Başka bir ifadeyle, sulama randımanına göre, sulamaya verilen suyun % 85'i bitkiler tarafından kullanılmaktadır. Geriye kalan %15'lik kısmın yarısının buharlaştığı ve diğer yarısının ise yeraltına süzüldüğü kabul edilebilir. Bu durumda sulamaya verilen sudan yıllık 2430 m^3'lük miktar sondaj kuyuları ile sulama suyundan beslenim olarak hesaplanmıştır.

Çamköy Ovası'nda en önemli boşalım elemanı buharlaşmadır. Turc yöntemi ile ova için belirlenen 624.18 mm gerçek buharlaşma (Eta) değeri ile ortalama 54.054 x 10^6 m^3/yıl su buharlaşma-terleme yoluyla boşalmaktadır.

Buharlaşmaya ek olarak havzadaki diğer bir boşalım elemanı sondaj kuyuları vasıtasıyla yeraltısuyu çekimidir. Ovada sulama suyu amacıyla şahıslara ait 30 adet kuyudan 32400 m^3/yıl su çekilmektedir. Ayrıca, ovada Bodruma bağlı yerleşim birimleri ile Milas-Bodrum Havalimanının içme suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla 10 adet kuyudan her gün su çekilmektedir. DSİ'nin içme suyu amaçlı tahsis ettiği miktar 4.8 x 10^6 m^3/yıl olmasına karşın fiili olarak bu kuyulardan 9.46 x 10^6 m^3/yıl çekim yapıldığı tahmin edilmektedir. Ovadan toplam çekilen su miktarı 9.493 x 10^6 m^3/yıl'dır. Ayrıca, ovada 4 adet ortalama 60 l/s debiye sahip kooperatif kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyular halen çalışmamaktadır. DSİ 21. Bölge Müdürlüğü'nün bu kuyular için tahsis ettiği miktar 1.11 x 10^6 m^3/yıl'dır.

Çamköy Ovası'nda yeraltısuyu alınan Yatağan formasyonundan havzanın güney kenarında bir dere yatağı içerisinden boşalan Suçıktı kaynağı bulunmaktadır (Bknz. Bölüm 4.5.1.2). Bu kaynak dere yatağı içerisinden boşaldığı için sağlıklı debi ölçümleri yapılamadığından kaynağın memba ve mansabında dere üzerinde bulunan akım gözlem istasyonundaki verilerin değerlendirilmesi ile boşalttığı su miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak çalışma alanındaki yeraltısuyu seviyelerinde yıllara bağlı düşüşlerin gözlenmesi, kaynak boşalımının büyük bir kısmının yan havzalardan olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle kaynak boşalımları bütçe hesaplamalarında değerlendirilmeye alınmamıştır.

Çalışma alanının dağlık ve eğimli yapsısı da dikkate alınarak toplam yağışın % 10 lik kısmının bu dereler vasıtasıyla yüzey akışına geçeceği kabul edilmiştir. Bu kabule göre yüzeysel akış miktarı 6,405 x 10^6 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çamköy Ovası'nın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ile yeraltısuyu alınan Yatağan formasyonunun konumu, kalınlığı, hidrojeolojik özellikleri ve kuyularla çekilen su miktarları birlikte değerlendirildiğinde, bölgede geniş yayılıma sahip Milas formasyonuna ait kireçtaşlarının Yatağan formasyonunu beslediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak, bu kireçtaşlarından beslenim miktarı net olarak tespit edilememektedir. Bu nedenle bütçe hesaplamasında bilinmeyen eleman olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde ovada hesaplanan toplam beslenim miktarı 64.06 x 10^6 m^3/yıl ve toplam boşalım miktarı 69,95 x 10^6 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.5). Bu hesaplamalara göre ovadan yaklaşık olarak yılda 5.89 x 10^6 m^3 su beslenim miktarından fazla olarak çekilmektedir. Bu durum, ovada yeraltısuyu seviye düşümleri ve debi miktarının azalmasına neden olmaktadır. DSİ 21. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılan gözlemlerde içme suyu amaçlı kuyulardan açıldığı yıllarda toplam 250 l/s ile su alınırken günümüzde bu değer 100 l/s civarındadır. Ovada açılmış fakat henüz çalıştırılmayan kooperatife ait kuyuların devreye girmesi durumunda ise

ovadan yeraltısuyu alınmasında büyük sıkıntıların yaşanacağı ve kısa süre içerisinde su alınamaz duruma geleceği öngörülmektedir.

Çizelge 4.5. Çamköy (Milas) Ovası yeraltısuyu bilançosu

BESLENİM	**(x10^6) m^3/yıl**	**BOŞALIM**	**(x10^6) m^3/yıl**
Yağış	64.055	Buharlaşma	54.054
Pompajla sulama suyu	0.00243	Kuyulardan çekim	9.492
Kireçtaşlarından beslenim	Qbe	Yüzeysel akış	6.405
		Kireçtaşlarından boşalım	Qbo
Toplam	**64.057**	**Toplam**	**69,951**

4.5. Hidrojeoloji

Bu bölümde su noktaları, litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri, akiferlerin hidrojeolojik parametreleri ve yeraltısuyu dinamiği konuları ele alınmaktadır.

4.5.1. Su noktaları

Çalışma alanında gözlenen önemli yüzeysel akışlar ve kaynaklar aşağıda ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, inceleme alanında Devlet Su İşleri tarafından açılmış olan sondaj kuyularına ait teknik özellikler de sunulmuştur.

4.5.1.1. Akarsular

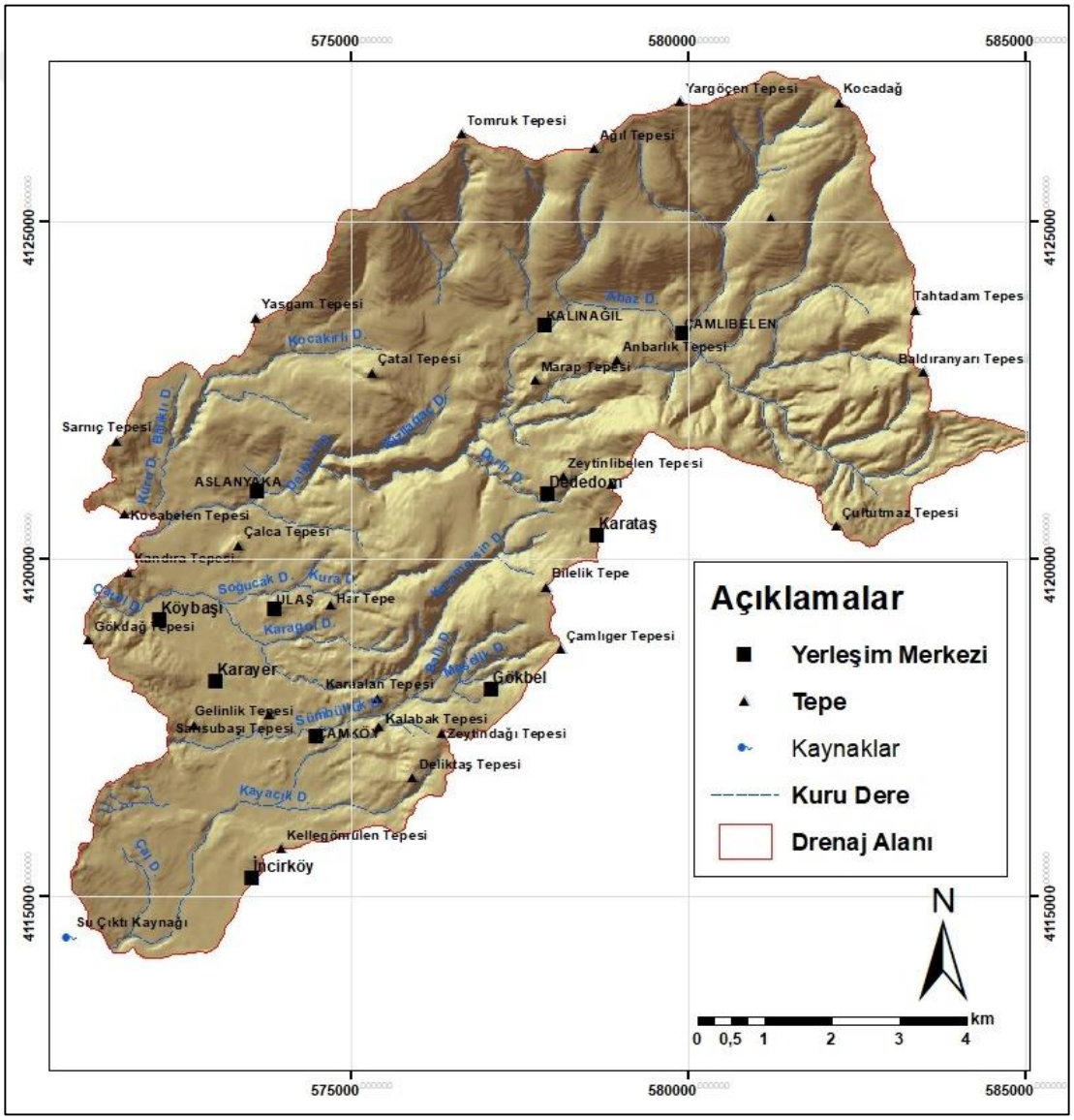
Çalışma alanında sürekli akışta olan akarsu bulunmamakta; drenaj ağının tamamını mevsimlik dereler oluşturmaktadır (Şekil 4. 22).

4.5.1.2. Kaynaklar

Çalışma sahası sınırları içinde kaynak bulunmamaktadır. Ancak çalışma alanının en önemli boşalma noktalarından birisinde yer alan “Suçıktı Kaynağı” çalışma açısından büyük önem taşımaktadır.

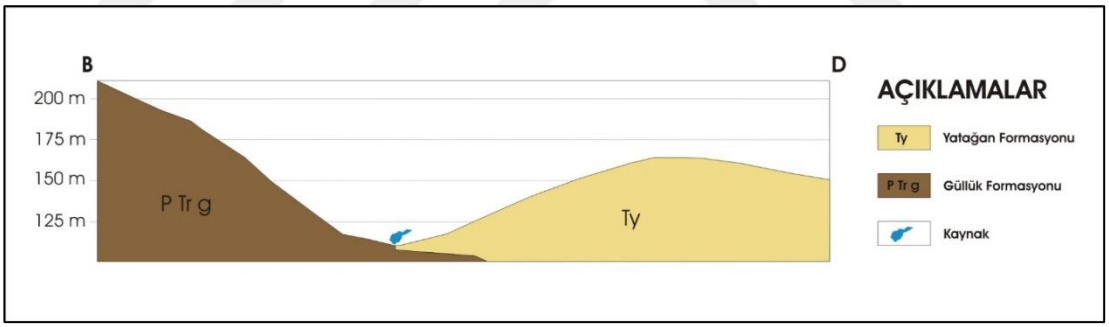
Suçıktı Kaynağı

Kocaçay deresinde, Yatağan formasyonun karbonatlı serileri ile Güllük formasyonu sınırından boşalım gösterir (Şekil 4. 23, 4.24). Kaynağın çıkış kotu 100 m'dir. Dere içerisinde boşaldığından ve bir kısmının kaptaja alınmasından dolayı kesin debisi bilinmemekle beraber zaman zaman 1600 lt/sn'nin üzerine kadar çıktığı tahmin edilmektedir. Bu kaynağa ait debiler, Kocaçay Deresi akım rasatlarının ayırtlanması ve derlenmesi sonucu bir tablo halinde çıkartılmıştır (Şekil 4.25; Çizelge 4.6).

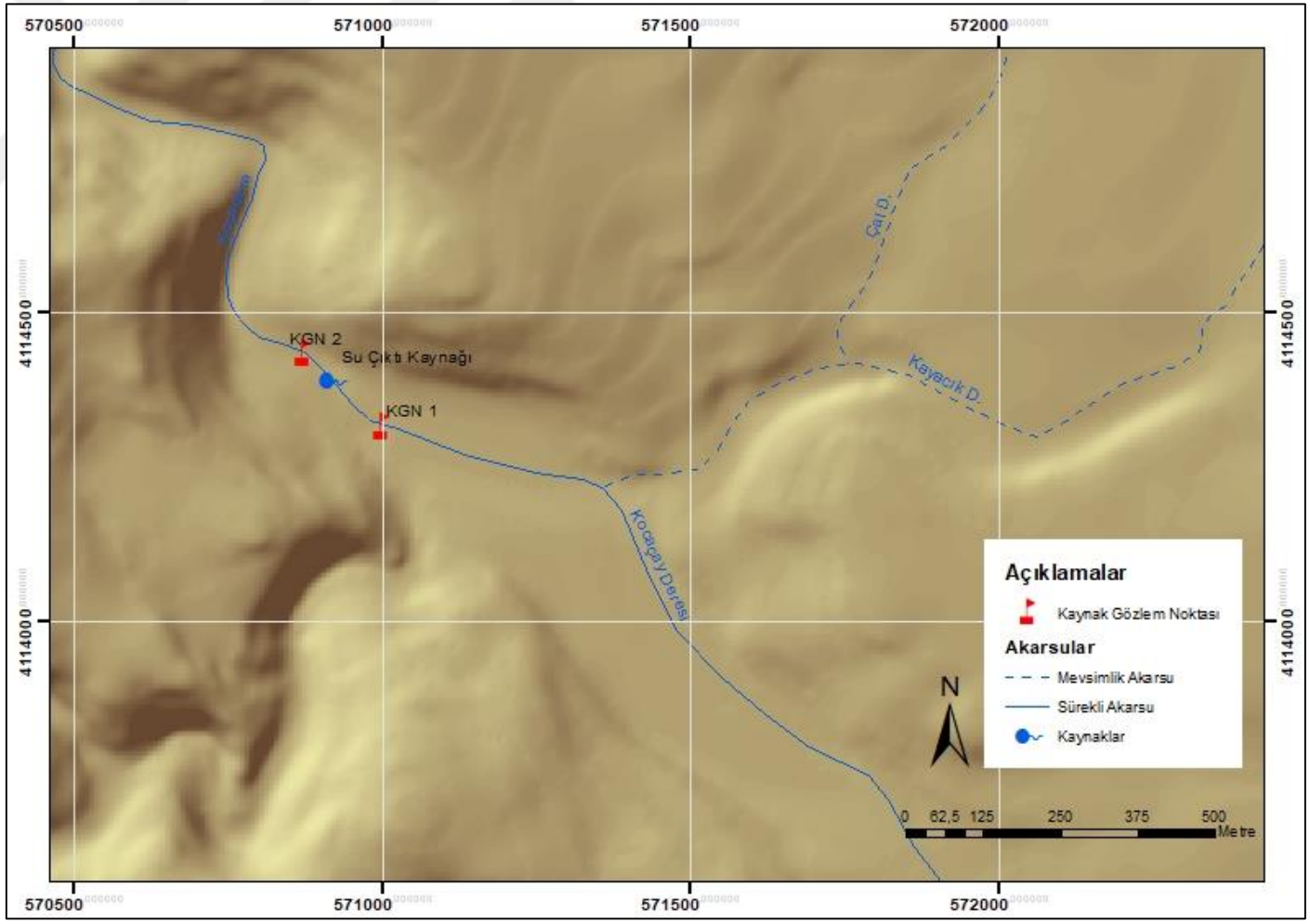


Şekil 4.22. İnceleme alanının drenaj ağı haritası

Şekil 4.23. Dere içerisinden boşalan Suçıktı kaynağının genel görünümü



Şekil 4.24. Suçıktı kaynağı ölçeksiz kesiti

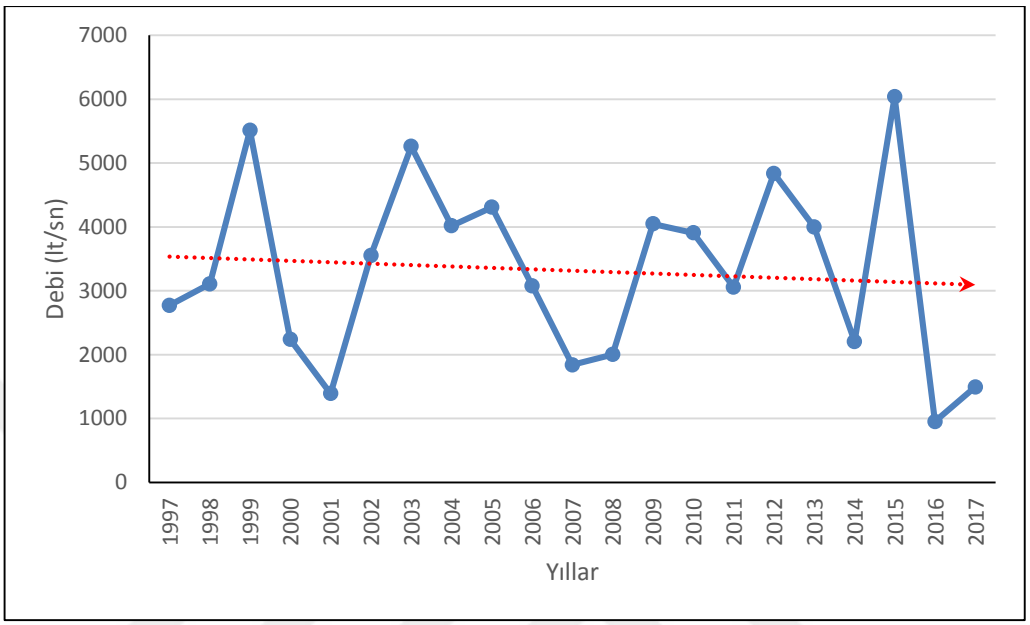


Şekil 4.25. Suçıktı kaynağı ölçüm noktaları

Çizelge 4.6. Suçıktı kaynağı akım gözlem sonuçları (l/sn)

Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
1997	346	273	195	384	399	248	158	89	131	283	84	182	**2772**
1998	399	338	348	411	281	277	219	173	74	93	186	311	**3108**
1999	438	838	836	766	691	574	378	238	205	203	189	157	**5512**
2000	139	205	239	275	321	227	153	146	166	143	111	110	**2238**
2001	128	233	222	152	139	96	81	58	71	58	48	105	**1392**
2002	450	512	405	290	374	317	166	157	213	143	181	344	**3553**
2003	686	603	796	831	557	340	216	201	228	190	191	424	**5262**
2004	625	668	593	398	396	310	237	196	148	135	151	161	**4018**
2005	342	864	586	411	433	236	178	160	137	255	458	250	**4310**
2006	215	362	503	402	325	413	259	125	101	125	110	139	**3077**
2007	143	176	179	166	183	159	131	93	88	87	174	260	**1840**
2008	281	361	196	226	232	179	114	85	61	58	82	129	**2003**
2009	310	414	778	533	561	325	253	131	114	98	171	360	**4047**
2010	301	1131	645	342	296	269	200	171	140	111	142	158	**3907**
2011	150	334	364	301	300	242	188	124	159	221	357	317	**3059**
2012	635	1035	1117	510	518	266	168	123	77	99	160	128	**4838**
2013	133	830	692	459	447	295	274	274	123	103	285	84	**3998**
2014	53	224	515	216	193	252	228	153	51	53	43	226	**2207**
2015	1246	1645	974	677	815	298	155	14	17	53	70	74	**6038**
2016	48	238	200	132	120	73	55	41	8	7	27	5	**954**
2017	33	292	684	285	129	43	27	1	0	0	0	0	**1494**

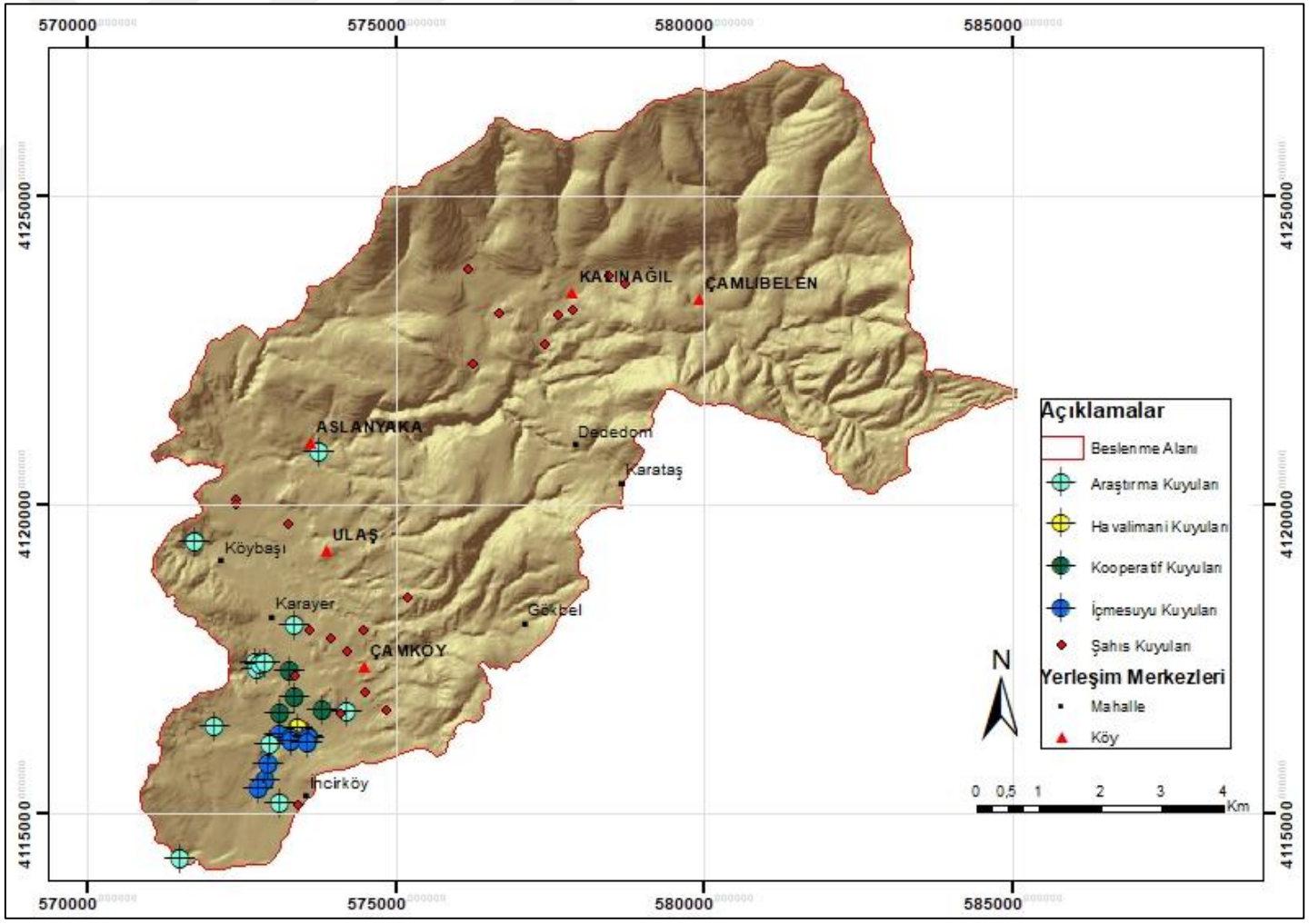
Kaynak akım değerlerinin elde edildiği 1997-2017 yılları arasındaki akım gözlemlerine göre, kaynak debisinde genel olarak azalma eğilimi gözlenmesine karşın en fazla akım Şubat 2015'de 1645 lt/sn ölçülmüştür (Çizelge 4.6; Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Suçıktı Kaynağı hesaplanan yıllık ortalama akım grafiği

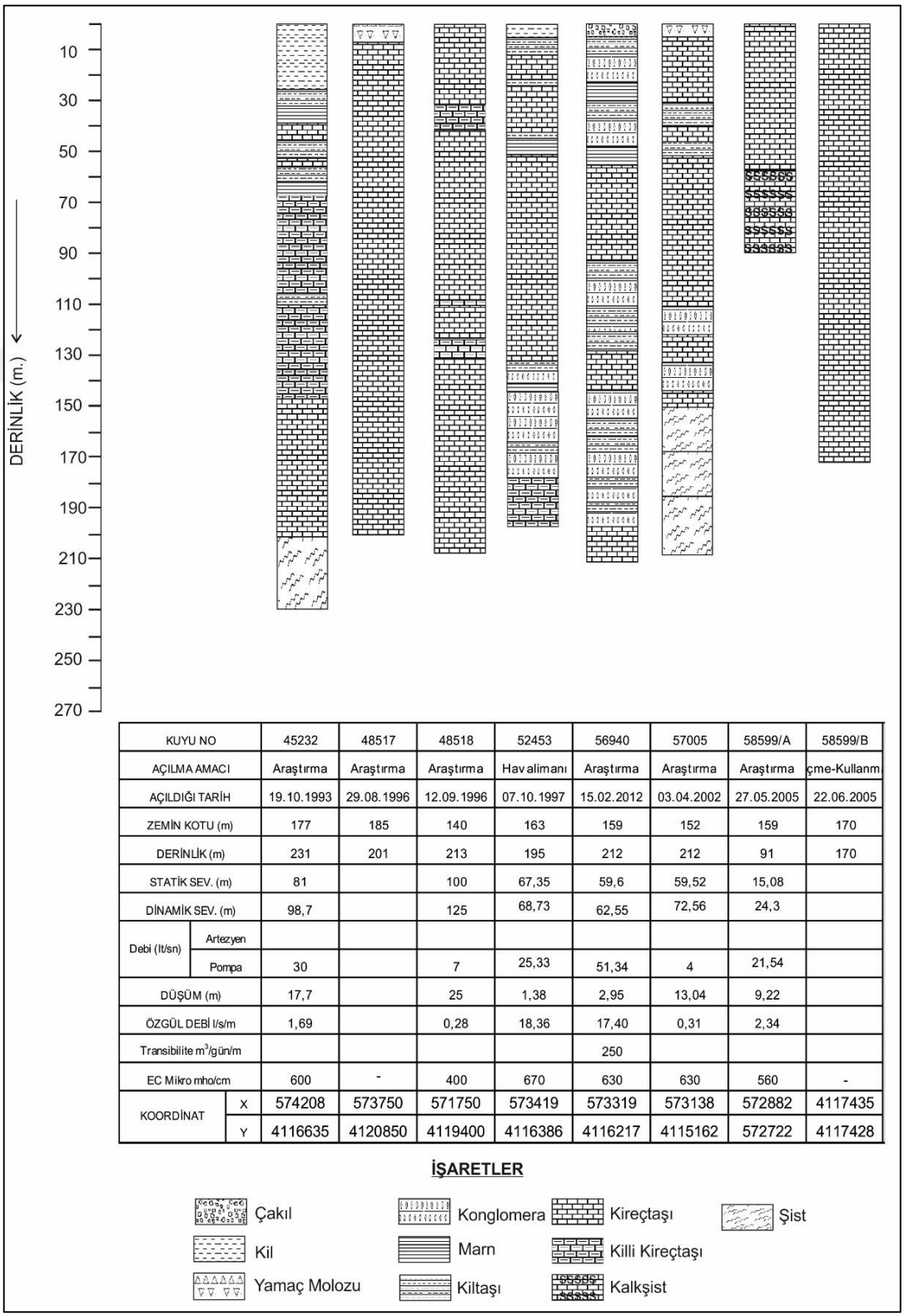
4.5.1.3. Sondaj Kuyuları

İnceleme alanında açılan sondaj kuyuları içme, kullanma ve sulama amaçlıdır. Sondajların büyük bölümü Yatağan formasyonunun kireçtaşlarında açılmıştır. Çalışma alanında İller Bankası ve DSİ tarafından gözlem, araştırma, içme-kullanma ve sulama amaçlı 26 adet kuyu açılmıştır. Bu kuyulardan 10 tanesi Güllük Beldesi, Bodrum Yarımadası ve Bodrum Havalimanının su ihtiyacını karşılamak amacıyla faal olarak çalışmaktadır. Çalışma alanı içerisinde DSİ kayıtlarına göre 30'a yakın şahıs kuyusu bulunmakta olup bu kuyuların tamamı tarımsal sulama amaçlıdır (Şekil 4.27).



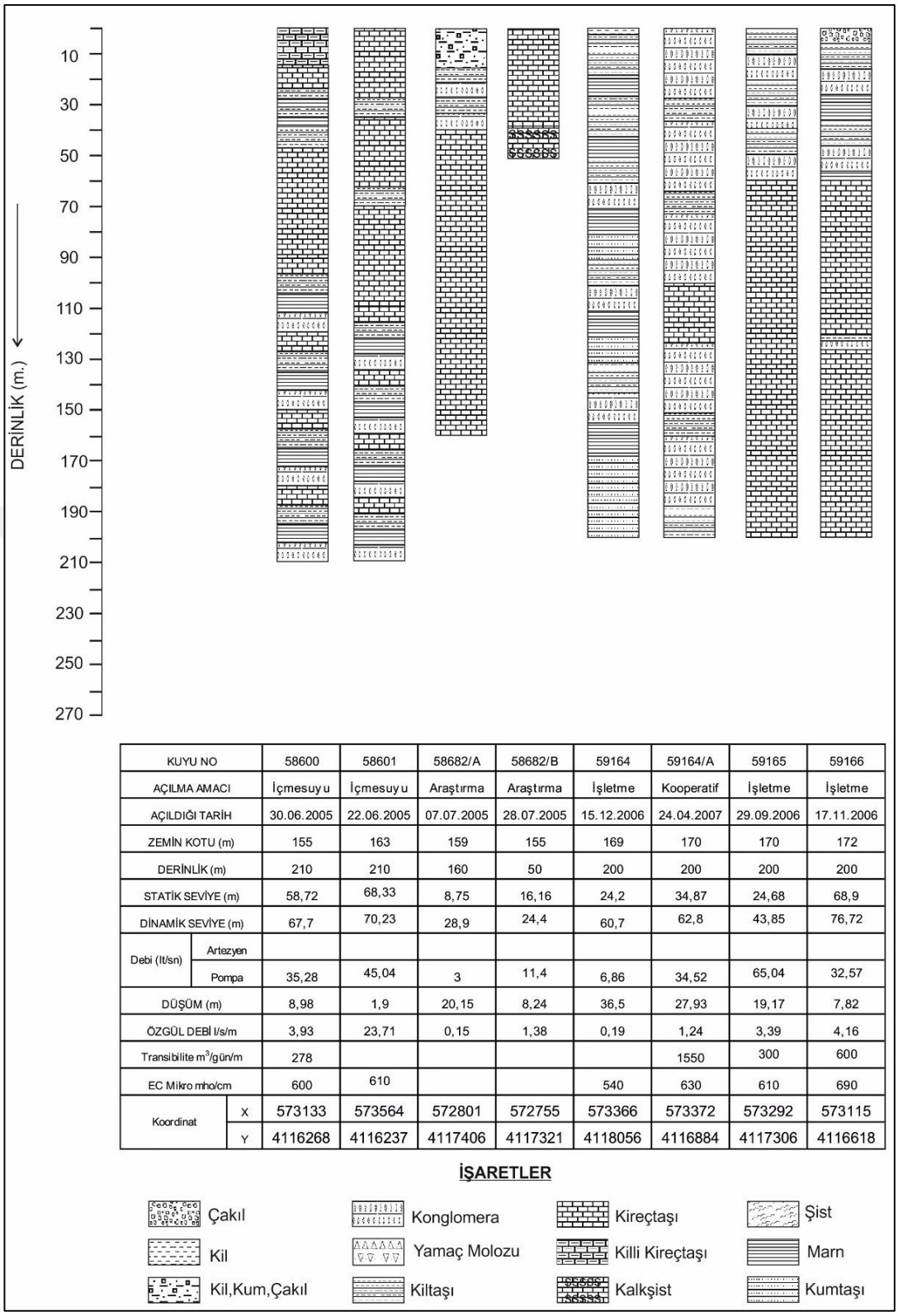
Şekil 4.27. Çalışma alanı içerisinde yer alan sondaj kuyularının genel dağılımı

Çalışma alanındaki DSİ tarafından açılan kuyuların derinlikleri 50 -230 m, statik seviyeleri 8 -104 m arasında, dinamik seviyeleri 24 -125 m arasında ve debileri 0 -65 l/s arasında değişmektedir (Şekil 4.28, 4.29, 4.30).



KUYU NO		45232	48517	48518	52453	56940	57005	58599/A	58599/B
AÇILMA AMACI		Araştırma	Araştırma	Araştırma	Hav alimanı	Araştırma	Araştırma	Araştırma	çme-Kullanm
AÇILDIĞI TARİH		19.10.1993	29.08.1996	12.09.1996	07.10.1997	15.02.2012	03.04.2002	27.05.2005	22.06.2005
ZEMİN KOTU (m)		177	185	140	163	159	152	159	170
DERİNLİK (m)		231	201	213	195	212	212	91	170
STATİK SEV. (m)		81		100	67,35	59,6	59,52	15,08	
DİNAMİK SEV. (m)		98,7		125	68,73	62,55	72,56	24,3	
Debi (lt/sn)	Artezyen								
	Pompa	30		7	25,33	51,34	4	21,54	
DÜŞÜM (m)		17,7		25	1,38	2,95	13,04	9,22	
ÖZGÜL DEBİ l/s/m		1,69		0,28	18,36	17,40	0,31	2,34	
Transibilite m^3/gün/m						250			
EC Mikro mho/cm		600	-	400	670	630	630	560	-
KOORDİNAT	X	574208	573750	571750	573419	573319	573138	572882	4117435
	Y	4116635	4120850	4119400	4116386	4116217	4115162	572722	4117428

Şekil 4.28. Sondaj kuyularına ait bilgiler

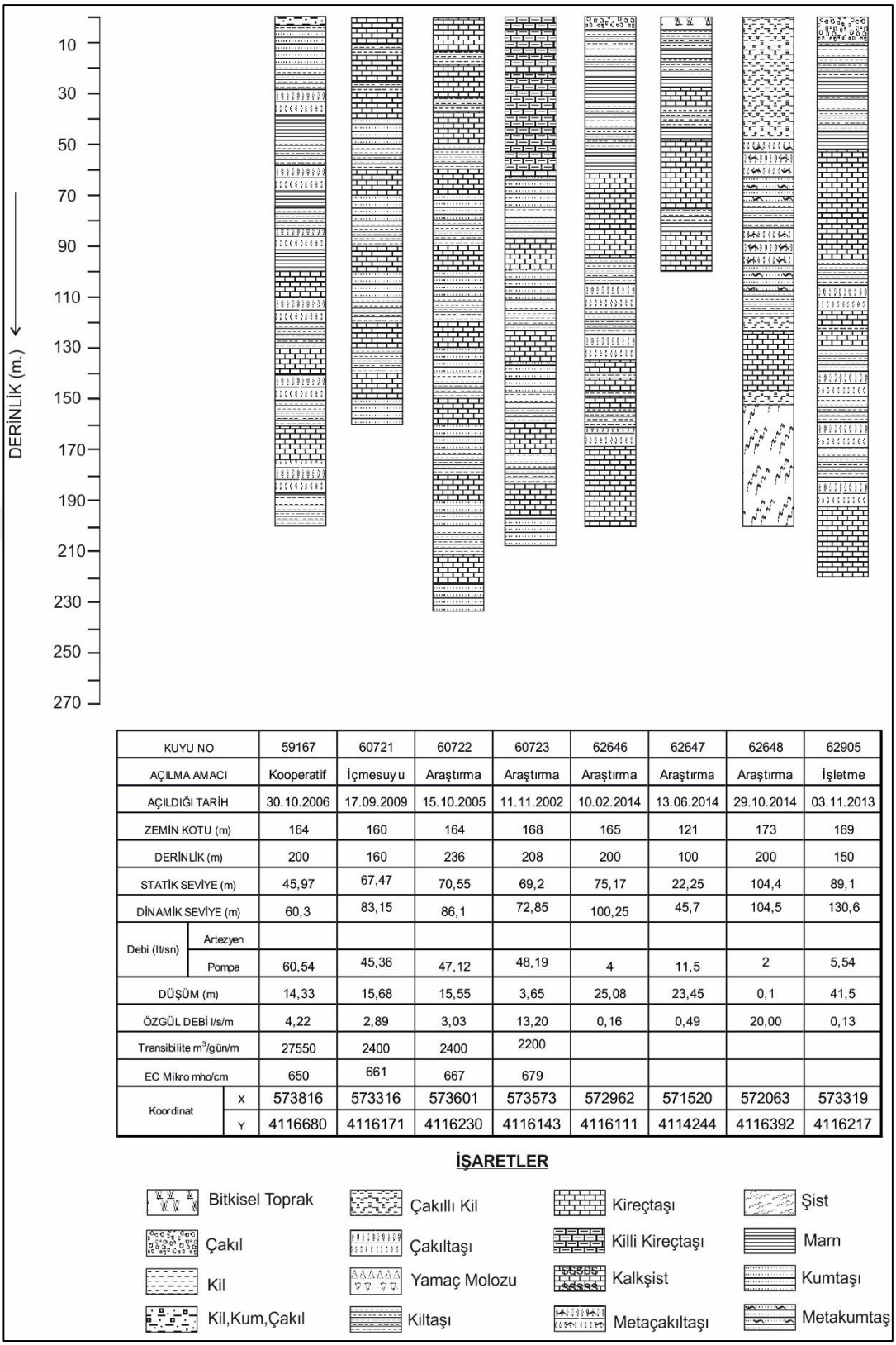


KUYU NO		58600	58601	58682/A	58682/B	59164	59164/A	59165	59166
AÇILMA AMACI		İçmesuyu	İçmesuyu	Araştırma	Araştırma	İşletme	Kooperatif	İşletme	İşletme
AÇILDIĞI TARİH		30.06.2005	22.06.2005	07.07.2005	28.07.2005	15.12.2006	24.04.2007	29.09.2006	17.11.2006
ZEMİN KOTU (m)		155	163	159	155	169	170	170	172
DERİNLİK (m)		210	210	160	50	200	200	200	200
STATİK SEVİYE (m)		58,72	68,33	8,75	16,16	24,2	34,87	24,68	68,9
DİNAMİK SEVİYE (m)		67,7	70,23	28,9	24,4	60,7	62,8	43,85	76,72
Debi (lt/sn)	Artezyen								
	Pompa	35,28	45,04	3	11,4	6,86	34,52	65,04	32,57
DÜŞÜM (m)		8,98	1,9	20,15	8,24	36,5	27,93	19,17	7,82
ÖZGÜL DEBİ l/s/m		3,93	23,71	0,15	1,38	0,19	1,24	3,39	4,16
Transibilite m^3/gün/m		278					1550	300	600
EC Mikro mho/cm		600	610			540	630	610	690
Koordinat	X	573133	573564	572801	572755	573366	573372	573292	573115
	Y	4116268	4116237	4117406	4117321	4118056	4116884	4117306	4116618

İŞARETLER

Çakıl, Kil, Kil,Kum,Çakıl, Konglomera, Yamaç Molozu, Kiltaşı, Kireçtaşı, Killi Kireçtaşı, Kalkşist, Şist, Marn, Kumtaşı

Şekil 4.29. Sondaj kuyularına ait bilgiler



KUYU NO		59167	60721	60722	60723	62646	62647	62648	62905
AÇILMA AMACI		Kooperatif	İçmesuyu	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	İşletme
AÇILDIĞI TARİH		30.10.2006	17.09.2009	15.10.2005	11.11.2002	10.02.2014	13.06.2014	29.10.2014	03.11.2013
ZEMİN KOTU (m)		164	160	164	168	165	121	173	169
DERİNLİK (m)		200	160	236	208	200	100	200	150
STATİK SEVİYE (m)		45,97	67,47	70,55	69,2	75,17	22,25	104,4	89,1
DİNAMİK SEVİYE (m)		60,3	83,15	86,1	72,85	100,25	45,7	104,5	130,6
Debi (lt/sn)	Artezyen								
	Pompa	60,54	45,36	47,12	48,19	4	11,5	2	5,54
DÜŞÜM (m)		14,33	15,68	15,55	3,65	25,08	23,45	0,1	41,5
ÖZGÜL DEBİ l/s/m		4,22	2,89	3,03	13,20	0,16	0,49	20,00	0,13
Transibilite m^3/gün/m		27550	2400	2400	2200				
EC Mikro mho/cm		650	661	667	679				
Koordinat	X	573816	573316	573601	573573	572962	571520	572063	573319
	Y	4116680	4116171	4116230	4116143	4116111	4114244	4116392	4116217

Şekil 4.30. Sondaj kuyularına ait bilgiler

İnceleme alanı içerisinde içme-kullanma ve tarımsal sulama amaçlı yeraltısuyu çekim miktarı toplam 9.49 x10^6 m^3/yıl'dır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Çalışma alanı içerisindeki yeraltısuyu çekim miktarları

Amacı	Çekim Miktarı (x10^6) m^3/yıl
İçme-Kullanma	9.46
Şahıs Kuyuları	0.03
TOPLAM	**9.49**

4.5.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre ayrılmış ve bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Ek A2). Litolojik birimler fiziksel özellikleri ve akifer olabilme potansiyellerine göre akifer (Akf-1, Akf-2) ve akitart (Akt) ortamlar olarak sınıflandırılmıştır. Çamköy Ovası'nda yeraltısuyu alınan birim olan Yatağan formasyonu ***Verimli Kaya Ortam Akiferi*** (Akf-1), ovanın kuzeyinde geniş yayılımlara sahip olan Milas ve Kalınağıl formasyonları ***Erime Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi*** (Akf-2) ve ovanın batı kenarında gözlenen allokton konumlu Güllük formasyonu ise ***Akifüj Ortam*** (Akj) başlıkları altında toplanarak aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.5.2.1. Verimli Kaya Ortam Akiferi (Akf-1)

Yatağan formasyonu, çalışma alanında yeraltısuyu elde edilen en önemli birim olduğu için ***Verimli Kaya Ortam Akiferi*** olarak tanımlanmıştır. Bölgede örtü kayası niteliğinde olan Yatağan formasyonu konglomera, silttaşı, marn, kiltaşı ve kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Formasyon üzerinde farklı amaçlarla açılmış 26 adet kuyu bulunmaktadır. Kuyuların büyük bir çoğunluğunda Yatağan formasyonunun kireçtaşı, kumtaşı ve konglomera seviyelerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Bölgesel olarak bu kuyularda Yatağan formasyonu tabanında Güllük formasyonunun şeylleri ile Milas formasyonuna ait kireçtaşı seviyeleri kesilmiştir.

4.5.2.2. Erime Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi (Akf-2)

Çalışma alanının kuzeybatısında bulunan kireçtaşı- dolomitik kireçtaşlarından oluşan Milas formasyonu ile kireçtaşı-çörtlü kireçtaşlarından oluşan Kalınağıl formasyonu ***Erime Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi*** olarak adlandırılmıştır. Kireçtaşları, çatlak ve erime boşluklarında önemli miktarlarda yeraltısuyu bulundurabilen ve suyun hareketine izin veren litolojilerdir. Kireçtaşlarından yayılım, kalınlık ve kırık çatlaklarının yoğunluğu ile kırıkların kesişme durumları gibi özelliklerine bağlı olarak önemli miktarlarda yeraltısuyu alınabilmektedir. İnceleme alanında farklı yaş ve adlandırmalara sahip kireçtaşları, sahip oldukları kırıklı-çatlaklı ve karstik boşluklu yapılarından dolayı karstik akifer özelliği taşımaları nedeniyle aynı birim içerisinde ele alınmıştır. İnceleme alanının topoğrafik yapısı, Yatağan formasyonunun hidrojeolojik özellikleri, kuyuların debileri, Milas formasyonunun bölgedeki konumu ve hidrojeolojik özellikleri gözönünde bulundurulduğunda Milas formasyonunun Yatağan formasyonunu beslediği sonucuna varılmaktadır.

4.5.2.3. Akifüj Ortam (Akj)

Çalışma alanında metakumtaşları, kireçtaşı ve şeyl birimleri ile temsil edilen Güllük formasyonu ***Akifüj Ortam*** olarak adlandırılmıştır. Bu formasyon içerisinde yeraltısuyu bulundurabilecek kireçtaşı seviyeleri genellikle formasyonun alt seviyelerinde ve mercek şeklindedir. Sıkça çört bantları içeren bu kireçtaşı seviyelerinin yeraltısuyu bulundurma olasılığı kısıtlıdır. Güllük formasyonunu oluşturan metakumtaşı ve şeyl seviyeleri de hidrojeolojik açıdan yeraltısuyu bulundurma kapasitesine sahip değildir. Bu nedenle Güllük formasyonu bölgede geçirimsiz birimi oluşturmaktadır.

4.5.3. Akiferlerin hidroloji parametreleri

İnceleme alanında tanımlanan akiferlerin hidroloji parametreleri olan Permeabilite katsayısı (K) ve Transmisibilite katsayısı (T) değerlerini belirlemek amacıyla Cooper-Jacob yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem gözenekli

akiferde dengesiz rejim için geçerlidir. Akiferlerin hidroloji parametreleri DSİ 21. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularından temsili olarak seçilen 19 adet kuyuda açıldıkları tarihlerde yapılan sabit seviyeli düşüm deneyi verileri kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.8). İnceleme alanında Yatağan formasyonunun kumtaşı, kireçtaşı ve konglomera seviyelerinden su alınmaktadır. Genel olarak kuyularda hesaplanan permeabilite katsayısı 1.56 $x10^{-3}$- 4.31 $x10^{-7}$ m/s ve transmisibilite katsayısı $1.39x10^{0}$-$8.61x10^{-5}$ m^2/s arasında değişmektedir (Çizelge 4.8). Hesaplanan akifer parametreleri sondaj logları ile karşılaştırıldığında, daha kalın kiltaşı, marn ve şist kesilen kuyularda permeabilite katsayısı değerinin düştüğü görülmektedir.

4.5.4. Yeraltısuyu dinamiği

Yeraltısuyu dinamiği akifer ortamlar içerisinde bulunan yeraltısuyunun hareketini, akım yönlerini ve mevsimsel değişimlerini açıklamaktadır. Bu veriler hidrojeoloji araştırmalarında olduğu gibi pek çok mühendislik jeolojisi ve farklı disiplinlere ait araştırmalarda da kullanılan önemli verilerdir.

4.5.4.1. Yeraltısuyu seviye haritaları

Araştırma alanında bulunan yeraltısuyu kuyuları Yatağan formasyonu üzerinde açılmıştır. Çamköy Ovasında temsili olarak seçilen 7 adet kuyuda 2014-2017 yılları arasında yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmaktadır. Ölçüm yıllarına ait Mayıs ve Ekim aylarındaki yeraltısuyu seviye kotları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Yeraltısuyunun deniz seviyesinden yüksekliğinin 68-160 m arasında olduğu görülmektedir. Çamköy ovası için yağışlı ve kurak dönemi temsil eden Mayıs-Ekim 2017 yılı için yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4.31, 4.32). Haritalarda genel yeraltısuyu akım yönünün ovanın güney-güneydoğusuna doğru olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Akiferlerin hidroloji parametreleri (K, T)

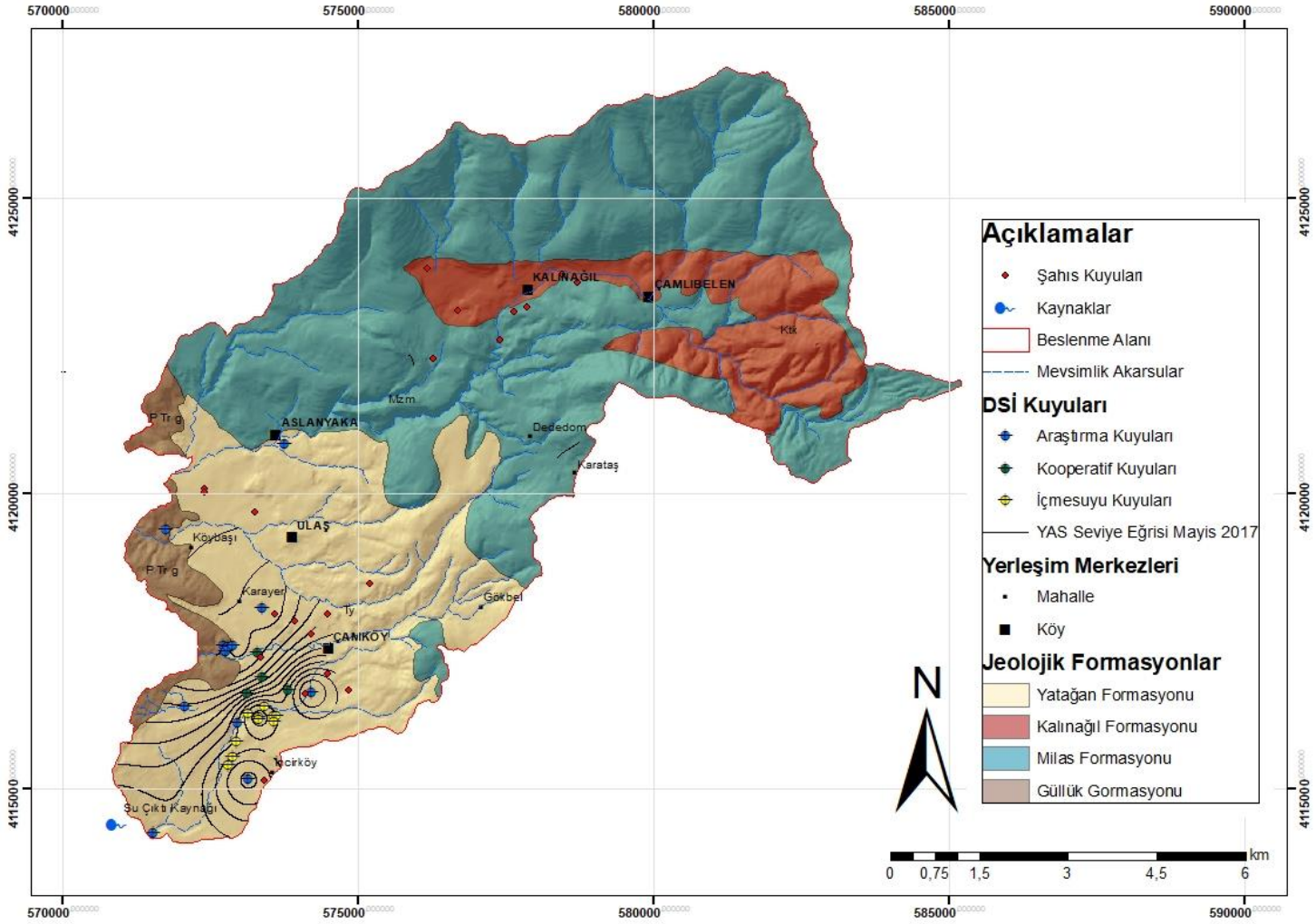
Kuyu No	Debi lt/sn	Cooper-Jacob Time-Drawdown	
		K (m/sn)	T (m^2/sn)
45232	30	1.90×10^{-5}	4.39×10^{-3}
52453	25.33	2.97×10^{-5}	5.79×10^{-3}
56940	51.34	1.23×10^{-4}	2.61×10^{-2}
57005	4	1.92×10^{-6}	4.07×10^{-4}
58599/A	21.54	1.35×10^{-4}	1.23×10^{-2}
58600	35.28	2.20×10^{-5}	4.61×10^{-3}
58682/A	3	1.56×10^{-3}	9.07×10^{-4}
58682/B	11.4	8.03×10^{-4}	7.83×10^{-2}
59164	6.86	6.97×10^{-3}	1.39×10^{0}
59164/A	34.52	1.58×10^{-5}	3.61×10^{-3}
59165	45.04	1.29×10^{-5}	2.58×10^{-3}
59166	32.57	1.45×10^{-5}	2.91×10^{-3}
59167	60.54	3.26×10^{-5}	6.52×10^{-3}
60721	45.36	1.30×10^{-4}	2.08×10^{-2}
60722	47.12	1.66×10^{-4}	3.92×10^{-2}
60723	48.19	1.21×10^{-4}	2.52×10^{-2}
62646	4	4.31×10^{-7}	8.61×10^{-5}
62647	11.5	1.08×10^{-6}	1.08×10^{-4}
62905	5.54	3.38×10^{-3}	5.07×10^{-1}

4.5.4.2. Yeraltısuyu seviye değişimi

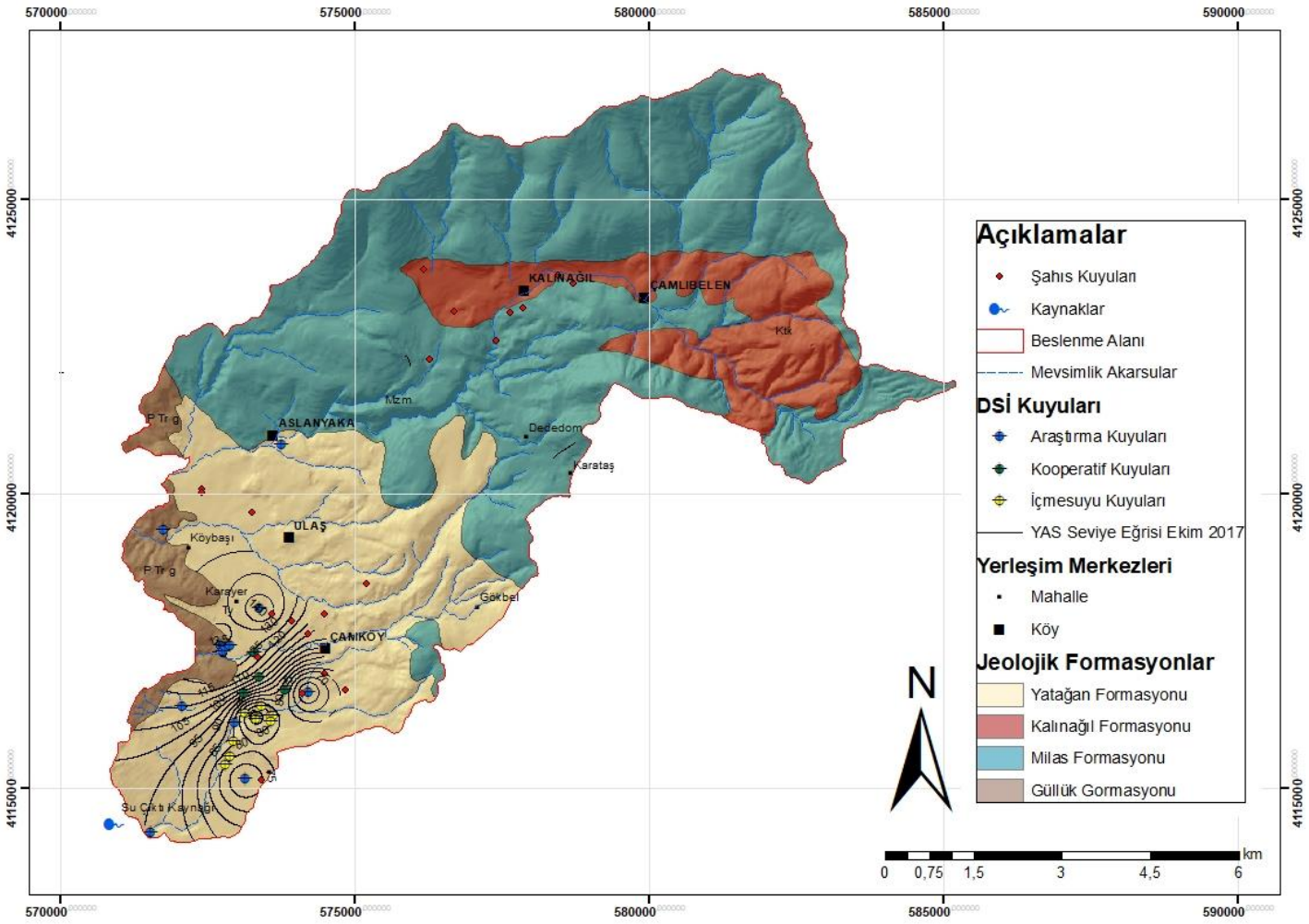
Çamköy ovasında yeraltısuyu elde edilen Yatağan formasyonunda açılan 7 adet kuyuda DSİ 21. Bölge Müdürlüğü tarafından aylık statik seviye ölçümleri yapılmaktadır (Çizelge 4.10). Bu ölçümlerde yeraltısuyunun yüzeyden derinliğinin 2014 yılında yaklaşık olarak 8-86 m, 2015 yılında 6-82 m, 2016 yılında 11-87 m ve 2017 yılında ise 17-90 m arasında olduğu görülmektedir. Bu ölçümler yeraltısuyu seviyesinde düşümler yaşandığını göstermektedir.

Çizelge 4.9. Yeraltısuyu seviye kotları ölçümleri

Kuyu no	Kuyu Kotu	Mayıs-2014	Ekim-2014	Mayıs-2015	Ekim-2015	Mayıs-2016	Ekim-2016	Mayıs-2017	Ekim-2017
57005	153	84	75	88	75	84	74	84	71
58599/B	170	151	147	160	158	151	143	147	146
58682/B	155	143	137	147	143	142	134	135	126
58682/A	159	149	144	152	151	147	141	143	136
58599/A	158	146	142	151	146	147	139	142	133
59164	169	154	144	162	154	151	140	145	145
56940(2)	159	87	73	92	82	88	72	88	68



Şekil 4.31. Çamköy (Milas) ovasının yeraltısuyu seviye haritası (Mayıs 2017)



Şekil 4.32. Çamköy (Milas) ovasının yeraltısuyu seviye haritası (Ekim 2017)

Çizelge 4.10. Yeraltısuyu aylık statik seviye ölçümleri

YIL	AY	57005	58599/A	58599/B	58682/A	58682/B	59164	56940
2014	Ocak		-15.5	-21.9	-13.05	-15.57	-22.48	-83.5
	Şubat	-72.07	-13.9	-20.51	-11.74	-14.5	-19.81	-80.7
	Mart	-66.40	-10.06	-16.88	-7.92	-10.48	-15.15	-78.66
	Nisan	-66.24	-10.25	-17.1	-8.16	-10.95	-14.78	-69.95
	Mayıs	-68.11	-13.32	-19.77	-9.68	-12.48	-15.43	-71.68
	Haziran							
	Temmuz	-71.65	-13.48	-19.77	-11.35	-14.15	-18.93	-76.16
	Ağustos		-14.38	-21.23	-13.65	-15.47	-23.79	-81.23
	Eylül		-16.89	-23.45	-14.74	-17.56	-25.34	-85.61
	Ekim	-77.49	-17.02	-23.51	-14.82	-17.67	-25.47	-85.72
	Kasım		-18.33	-25.05	-16.22	-19.03	-28.14	-85.82
	Aralık		-17.55	-23.92	-15.17	-18.21	-27.38	-84.11
2015	Ocak	-62.98					-13.97	
	Şubat						-13.29	
	Mart						-6.16	
	Nisan	-69.3					-6.54	-59.7
	Mayıs	-63.75	-8.31	-10.5	-7.11	-8.17	-7.37	-66.5
	Haziran	-66.7	-14.98	-19.82	-6.43	-9.28	-10.76	-70.6
	Temmuz	-70.9	-11.72	-16.86	-7.07	-11.03	-13.52	-75.7
	Ağustos	-71.45	-17.38	-12.37	-7.38	-11.59	-14.14	-76.52
	Eylül	-72.18	-18.21	-13.07	-8.04	-12.15	-14.76	-77.1
	Ekim	-77.21	-13.19	-12.34	-8.18	-12.25	-14.87	-77.06
	Kasım	-77.33	-13.41	-13.11	-8.18	-12.33	-14.92	-76.93
	Aralık	-76.08	-19.17	-21.89		-15.84	-18.96	-81.81
2016	Ocak	-74.74	-14.38	-21.11		-15.08	-22.35	-81.1
	Şubat	-70.07	-14.17	-20.91		-14.84	-20.02	-77.41
	Mart	-67.74	-13.62	-20.3		-14.2	-18.66	-73.97
	Nisan	-66.45	-10.7	-18.95		-12.38	-17.93	-69.78
	Mayıs	-68.11	-11.6	-15.53		-13.34	-18.46	-71.2
	Haziran	-69.91	-13.03	-20.7		-14.55	-20.27	-72.9
	Temmuz	-71.72	-14.46	-22.13		-15.85	-21.97	-74.6
	Ağustos	-76.31	-19.18	-25.65	-17.08	-19.86	-26.83	-81.46
	Eylül	-76.31	-19.18	-22.65	-17.08	-19.86	-26.83	-81.46
	Ekim	-78.28	-20.25	-26.8	-18.09	-20.91	-29.37	-87.11
	Kasım	-78.1	-20.8	-27.38	-18.88	-21.5	-31.35	-86.4
	Aralık	-77.8	-20.55	-26.9	-18.69	-21.4	-31.47	-85.96
2017	Ocak	-74.67	-21.3	-27.6	-19.28	-21.6	-31.91	-81.72
	Şubat	-71.75	-26.14	-27.68	-19	-21.8	-30.5	-77.9
	Mart	-66.64	-19.16	-25.83	-16.98	-19.84	-25.32	-72.95
	Nisan	-61.43	-16.33	-24.97	-13.47	-18.65	-21.35	-70.22
	Mayıs	-68.29	-17	-22.56	-16.45	-19.83	-24.1	-71.45
	Haziran	-69.07	-19.5	-23.38	-16.77	-20.2	-24.26	-72.13
	Temmuz	-75.96	-22.5	-29	-20.2	-24	-28.4	-80.75
	Ağustos	-79.1	-26.4	-29.72	-22.35	-27.65	-30	-86.35
	Eylül	-81.18	-25.62	-24.1	-23.5	-28.45	-28.75	-90.35
	Ekim	-81.23	-26.36	-24.35		-28.72	-23.9	-91.1
	Kasım	-80.85	-26.5	-35.15		-28.4	-34.5	-89.12
	Aralık	-79.55	-26.64	-35.5		-28.4	-35	-87.55

4.6. Su Kimyası

İnceleme alanında yeraltısuyu kimyasının belirlenebilmesi amacıyla akiferi genel olarak temsil eden noktalarda sondaj kuyularından Ocak-2016 döneminde su örnekleri alınmıştır. Suların elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri arazide örnek alımı işlemleri sırasında Kondüktüvite yardımıyla ölçülmüştür. Su örneklerinin major anyon, major katyon, nitrat, nitrit, amonyum, flor ve ağır metal analizleri DSİ 2. Bölge Müdürlüğü ve DSİ 21. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

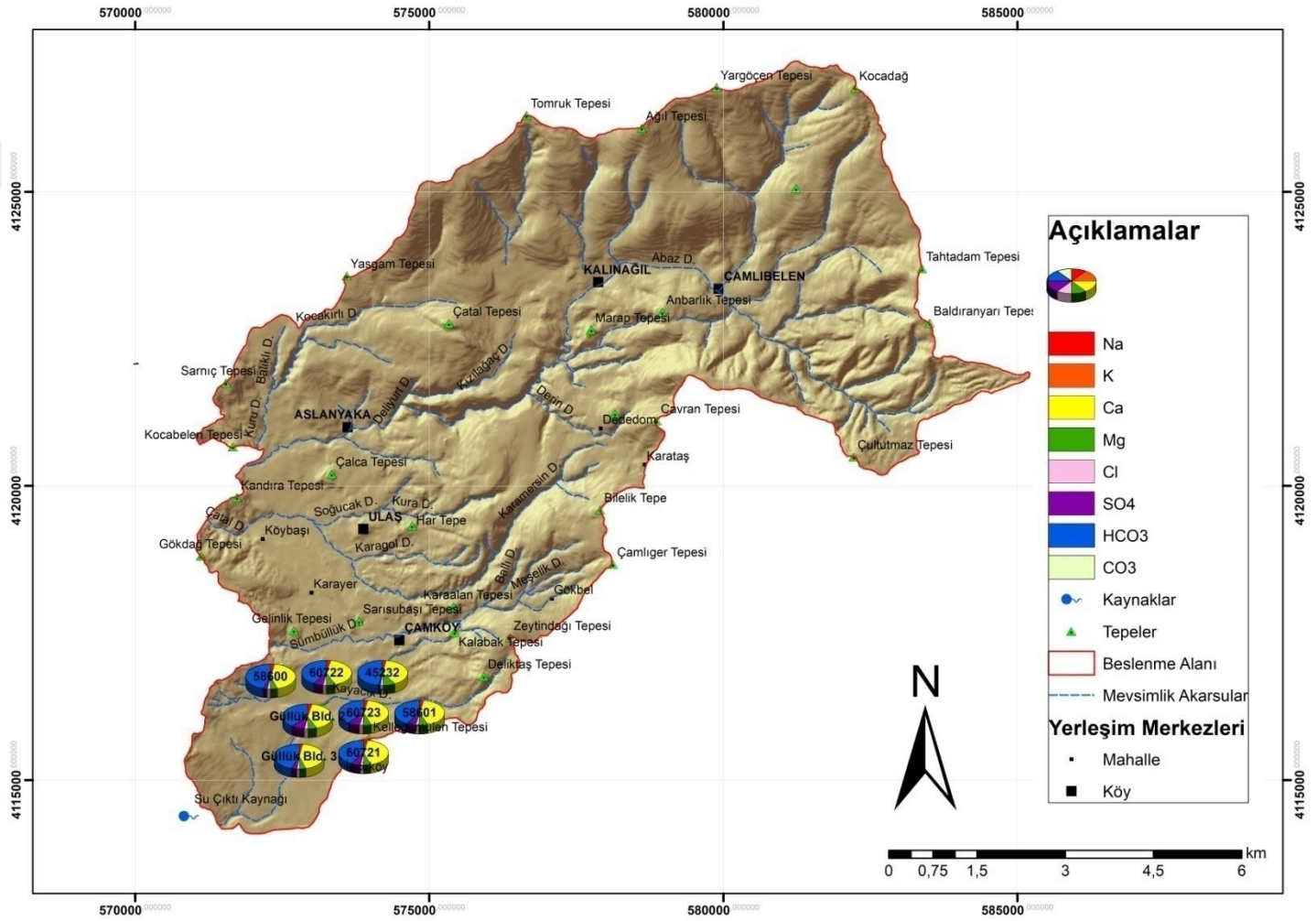
4.6.1. Yeraltısularının genel kimyasal özellikleri

İnceleme alanında yeraltısuyunun kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla sondaj kuyularından alınan su örneklerinin kimyasal analizi yaptırılmıştır. 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 (Çizelge 4.11).

Çalışmada su örneklerinin analiz sonuçları kullanılarak hidrojeokimya haritası hazırlanmıştır (Şekil 4.33). Haritada her su örneğine ait toplam iyon konsantrasyonlarına göre belirlenen daireler üzerinde örneğin anyon ve katyon değerleri yerleştirilmiştir. Ova genelinde toplam iyon içeriği 14.14-16.21 mek/l değerlerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. Çamköy Ovası yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri (Ocak 2016)

Kuyu No	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	Cl^- (mg/l)	$SO_4^=$ (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	$CO_3^=$ (mg/l)	Sertlik Fr°	EC µS/cm	pH	%Na	SAR	TDS	Su Sınıfı
45232	11.06	1.22	108.11	18.85	14.40	10.96	427.07	0	34.73	688	7.81	6.42	0.26	426.54	$Ca\text{-}HCO_3$
58600	12.01	0.90	113.03	10.75	15.28	21.73	376.43	0	32.60	658	7.12	7.36	0.29	409.59	$Ca\text{-}HCO_3$
58601	12.60	0.91	117.18	14.40	16.62	53.26	356.91	0	35.16	707	7.11	7.08	0.28	434.78	$Ca\text{-}HCO_3$
60721	12.92	0.89	122.54	11.67	17.77	58.90	366.67	0	35.37	713	7.12	7.31	0.30	450.21	$Ca\text{-}HCO_3$
60722	12.54	0.86	117.58	14.0	16.66	56.44	359.35	0	35.09	705	7.12	7.16	0.29	438.66	$Ca\text{-}HCO_3$
60723	13.54	0.96	122.56	13.95	18.09	69.46	351.42	0	36.32	724	7.11	7.45	0.31	455.47	$Ca\text{-}HCO_3$
GB-2	14.30	1.17	122.89	15.20	19.06	81.77	360.57	0	36.91	745	7.34	7.71	0.32	477.16	$Ca\text{-}HCO_3$
GB-3	10.41	0.50	117.80	9.92	12.38	32.15	380.70	0	33.47	663	7.38	6.30	0.25	416.46	$Ca\text{-}HCO_3$



Şekil 4.33. Çamköy Ovası'nın hidrojeokimya haritası (Ocak-2016)

4.6.1.1. Sertlik

Ülkemizde suların sertliğinin tanımlanmasında 'Fransız Sertlik Derecesi (Fr^o)' kullanılmaktadır. *1 Fransız sertlik derecesi*; 1lt suda, 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya buna eşit miktarda diğer sertlik verici iyonların bulunmasıdır. Suların sertliği başta kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve az miktarda da demir, alüminyum ve stronsiyum iyonlarından kaynaklanabilmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

Bölgede yeraltısuyunun sertliği 32.6-36.91 Fr^o arasında değişmektedir. İnceleme alanında yeraltısuları Fransız sertlik derecesine göre ***Sert*** su sınıfında yeralmaktadır (Çizelge 12).

Çizelge 4.12. Fransız sertlik sınıflaması (Şahinci, 1991)

Konsantrasyon (mg/l)	Sertlik Derecesi
0.0 – 7.2	Çok yumuşak
7.2 – 14.5	Yumuşak
14.5 – 21.5	Az sert
21,5 -32.5	Oldukça sert
32,5 – 54	Sert
54 <	Çok sert

4.6.1.2. Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)

Hidrojen iyonu konsantrasyonu, su içerisinde bulunan hidronyum ve OH^- iyon konsantrasyonlarının azalıp artmasına bağlı olarak suyun asit veya bazik özelliğe sahip olmasıdır. Yeraltısuları, genel olarak pH<7 olan asidik özelliğe sahip iken yerüstü suları pH>8 olan bazik özellikteki sulardır (Çizelge 4.13).

Çamköy Ovası yeraltısularının pH değeri 7.11-7.81 arasında değişmektedir. Suların pH değerlerine göre yapılan sınıflamada, bölgede yeraltısuları ***Bazik karakterli*** olarak tanımlanmıştır (Çizelge 4.11, 4.13).

Çizelge 4.13. 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)

İçme ve sulama suları sınıflandırmasında bir ölçüt olarak kullanılan özgül elektriksel iletkenlik (EC) suyun elektriği iletebilme yeteneğidir. Suların elektriksel iletkenlikleri, sudaki iyon varlığına, toplam derişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık ve iyon konsantrasyonunun artışı ile doğru orantılı olarak suların elektriksel iletkenlikleri artmaktadır (Şahinci, 1991). Özgül elektriksel iletkenlik, +25 C^o deki 1 cm^3 suyun iletkenliğidir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). İnceleme alanında yeraltısuyunun özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, 658-745 µS/cm arasında değişmektedir (Çizelge 4.11).

4.6.1.4. Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sulama suyu olarak kullanıma uygunluğun belirlenmesinde en çok yararlanılan ölçütlerden biridir. Bu nedenle sulama suyu açısından sudaki SAR değerinin bilinmesi önemlidir. SAR oranı aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (4.1). Bağıntıda iyonların mek/l değerleri kullanılır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

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

İnceleme alanında tespit edilen SAR değerleri 0.25-0.32 arasında değişmektedir (Çizelge 4.14). Tespit edilen SAR değerlerine göre inceleme alanında yeraltısuları ***Çok iyi özellikte sulama suyu*** sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4.14 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

4.6.1.5. Sodyum iyon yüzdesi (%Na)

Yeraltısuyunun sulama suyu olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılan diğer bir özellikte sodyum yüzdesidir. Özellikle tuzlu sulardaki Na^+, zemindeki Ca^+ iyonları ile yer değiştirerek toprağın geçirgenliğini azaltır ve havalanmasını engeller. Bu şekilde dolaylı olarak bitkilerin gelişmesi yavaşlar (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). % Na değeri iyonların mek/l değerleri kullanılarak aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$\%Na = \frac{rNa^+}{rNa^+ + rCa^{++} + rMg^{++} + rK^+} \; X \; 100 \qquad (4.2)$$

Çamköy Ovası yeraltısularının % Na değeri 6.30-7.71 arasında değişmektedir (Çizelge 4.11).

4.6.1.6. Toplam çözünmüş madde (TDS)

Toplam çözünmüş madde miktarı, su içerisinde çözünmüş halde bulunan katyon, anyon, ağır metal ve az miktardaki organik maddeyi temsil eder. TDS, kayaçlarda bulunan farklı minerallerin çözünürlüklerine bağlıdır. TDS, genellikle iletkenlikle ilişkilendirilerek suyun iyon yükünün, tuzluluğunun yada kirliliğinin değerlendirmesi için kullanılır. Suların TDS değerine göre sınıflaması Çizelge 4.15'de verilmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının TDS değeri 409.59-477.16 mg/l arasında değişmektedir ve sınıflamaya göre ***Acımsı Su*** sınıfında yeralmaktadır.

Çizelge 4.15. Suların TDS değerine göre sınıflaması (USSL, 1954)

TDS (mg/l)	Sınıf
<200	Tatlı Su
200-500	Acımsı Su
500-1500	Tuzlu Su
>1500	Çok Tuzlu Su

4.6.2. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması

Suların kimyasal özellikleri kullanılarak yapılan sınıflamalar ile ova bazında yapılan hidrojeolojik araştırmalarda benzer özellikteki suların kolaylıkla değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu sınıflamalardan en çok kullanılanı Schoeller, Piper ve Gibbs diyagramlarıdır. Aşağıda farklı sınıflandırmalara göre değerlendirmeler verilmiştir.

4.6.2.1. Schoeller (1955)'e göre suların sınıflandırılması

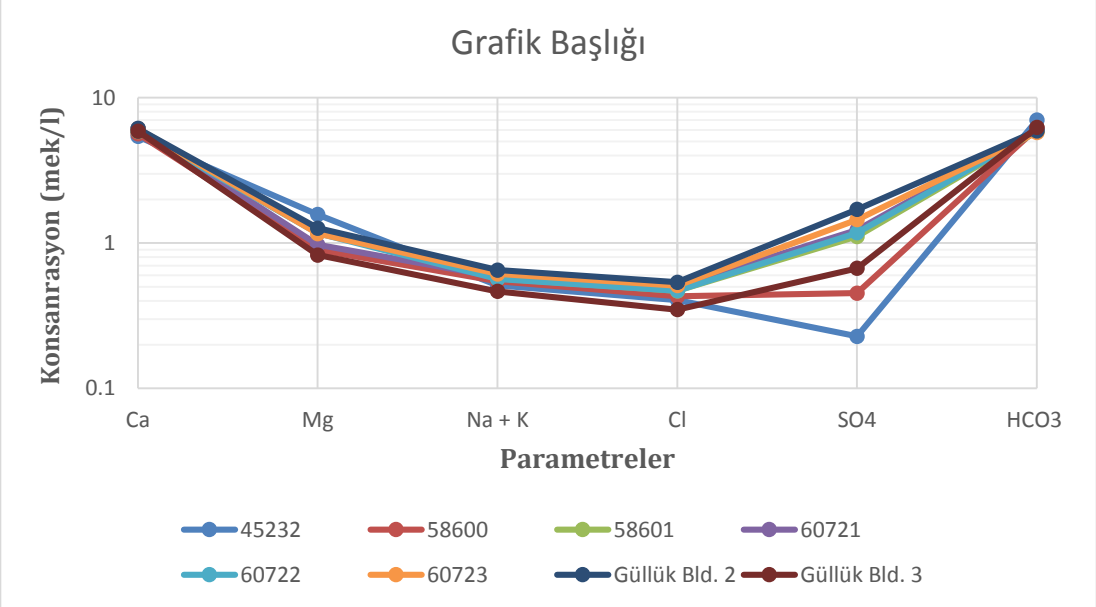
Schoeller (1955) suları bileşimindeki klorür, sülfat, karbonat-bikarbonat miktarları ile anyon-katyon derişim ilişkilerine göre sınıflandırmıştır (Çizelge 4.16). İnceleme alanındaki yeraltısuları, Schoeller (1955)'in klorür sınıflamasına göre '***Olağan klorürlü sular***', sülfat sınıflamasına göre '***Olağan sülfatlı sular***' ve Karbonat-Bikarbonat derişimi bakımından ise'***Olağan karbonatlı sular***' sınıfına girmektedir.

4.6.2.2. Schoeller yarı logaritmik diyagram ile suların sınıflaması

Schoeller (1955)'in karbonat-bikarbonat miktarına göre yapmış olduğu sınıflamadan farklı olarak geliştirdiği yarı logaritmik diyagram ile farklı kimyasal özelliğe sahip suların daha kolay ayırt edilmesi sağlanmıştır. Yaygın olarak kullanılan bu yöntemle su tiplerinin tanımlanması da mümkündür. Schoeller yarı logaritmik diyagrama göre, inceleme alanındaki yeraltısuları örneklerinin tamamında kalsiyum ve bikarbonat iyonlarının baskın olduğu görülmektedir (Şekil 4.34).

Çizelge 4.16. 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				



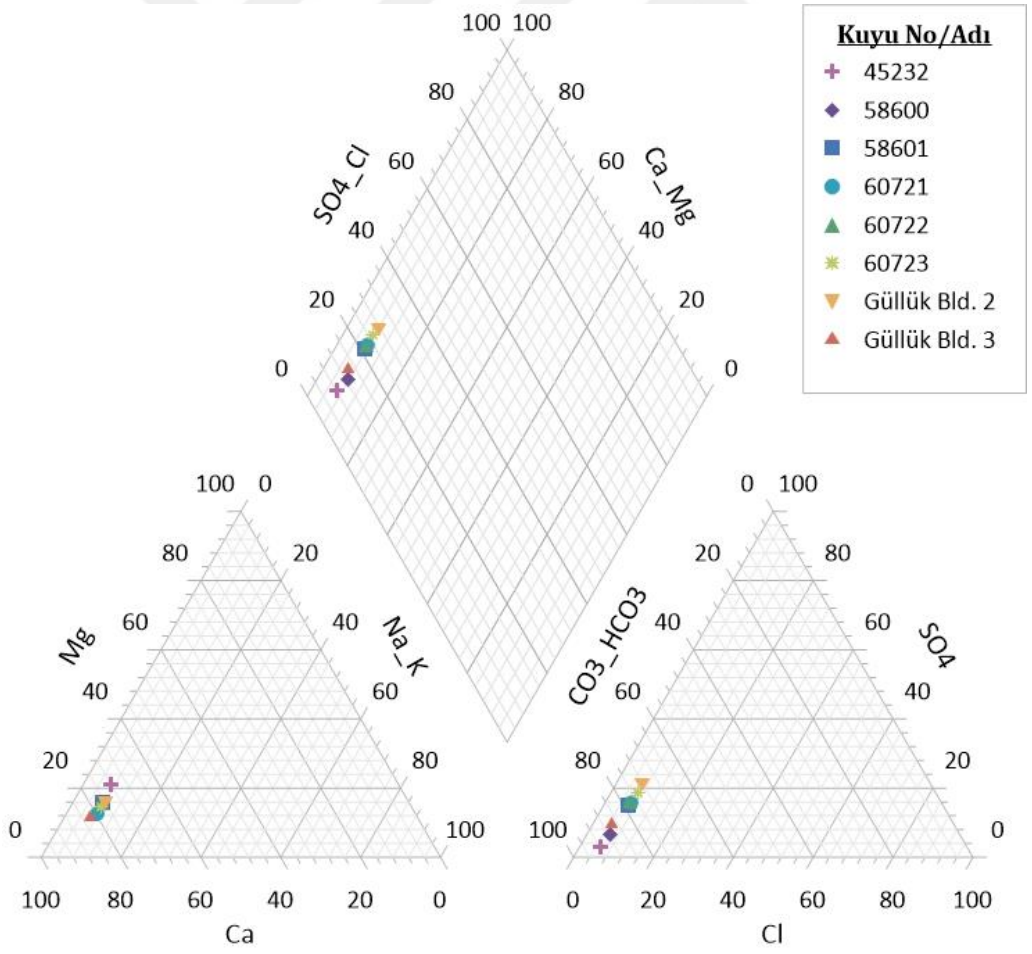
Şekil 4.34. Schoeller yarı logaritmik diyagramı

4.6.2.3. Piper diyagramına göre suların sınıflaması

Piper diyagramı suların genel anyon-katyon içeriğini dikkate alarak su fasiyeslerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966)

tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir.

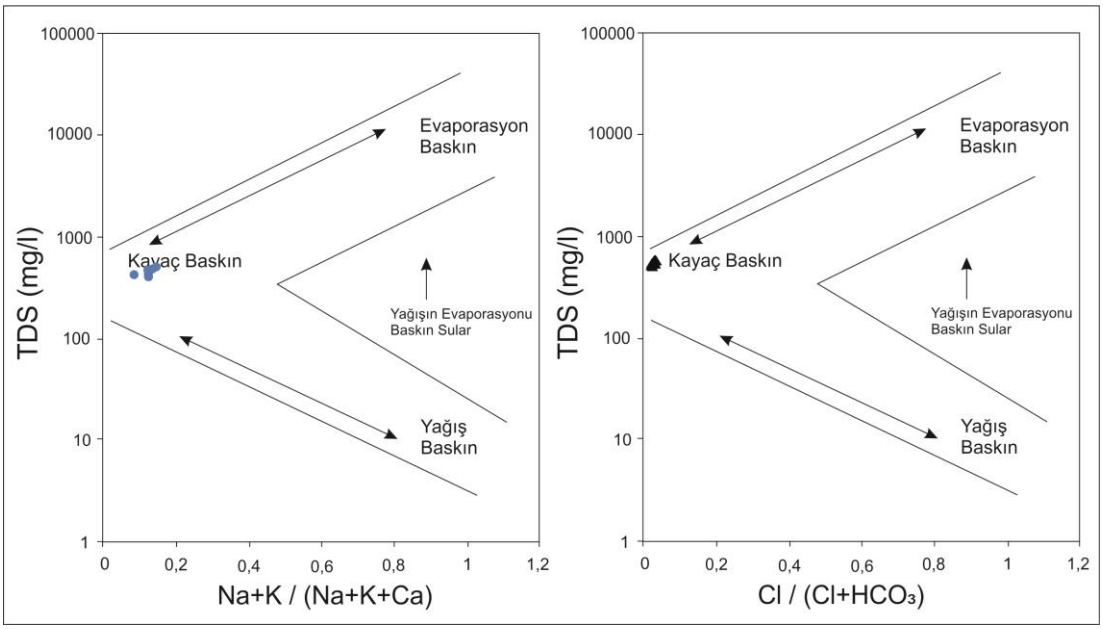
İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin analiz sonuçları Piper diyagramı ile değerlendirilmiştir. Tüm örneklerin genel olarak benzer yapıya sahip oldukları görülmektedir. Bu örnekler alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO_3+HCO_3) güçlü asit köklerinden (SO_4+ Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği %50'den fazla olan suları temsil etmektedir. İnceleme alanında yeraltısuları Piper diyagramına göre genel olarak Ca-HCO_3'lı sular fasiyesinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Piper diyagramı

4.6.2.4. Gibbs diyagramına göre suların sınıflaması

Gibbs (1973) diyagramı, sudaki iyonik oranları kullanarak, suyun yapısındaki bileşimi ve kökenini tanımlayan bir sınıflama ortaya koymaktadır. Gibbs diyagramına göre suların geneli ***'Kayaç Baskın'*** bölgede yeralmaktadır. Bu durum, su ile direkt ilişkili olan kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışmasının olduğunu göstermektedir (Şekil 4.36). Yeraltısuyu örneklerinin analiz sonuçlarına göre sularda Ca ve HCO_3 iyonlarının baskın olduğu görülmektedir. Yeraltısularında kalsiyumun kökeni kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jipstir. Yeraltısularında karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğunluğu atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaçların erimesinden oluşmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Doğal sulardaki karbonat konsantrasyonu, derin sulardaki karbondioksit kısmi basıncına (PCO_2) ve çözeltinin pH değerine bağlıdır. PH değeri yaklaşık 6-10 arasında ise çözeltide HCO_3 baskın, 3.8 ve daha düşük pH değerlerinde karbonik asit (H_2CO_3), pH'ın 8 ve daha fazla olduğu alkali sularda ise CO_3 baskın iyondur (Nicholson, 1993). Bölgedeki suların pH değerleri 8'in altındadır. Bu nedenle bölgedeki sularda karbonat bikarbonat formundadır.



Şekil 4.36. Gibbs diyagramı

4.6.2.5. Hidrojeokimyasal proseslerin tanımlanması

Yeraltısuyu kimyası akım yönü boyunca büyük ölçüde akiferin mineral kimyası ile ilişkilidir. Yeraltısuyunun hidrokimyasal süreçleri ve hidrojeokimyası, akiferin jeolojisine ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak mekansal ve geçici olarak değişir. Yeraltısuyunda farklı çözünmüş iyonların oranları temel kaya veya akiferdeki miktarları ve çözünürlüklerine bağlıdır (Singh vd., 2012; Apodaca vd. 2002, Martinez ve Bocanegra 2002; Singh ve Hasnain, 1999). Suların yeraltına süzülürken iyon bileşimlerinin çözünümünü kontrol etmek imkânsızdır, fakat dolaşım esnasında suların kimyasal değişimlerini bilmek mümkündür (Johnson, 1979).

Yeraltısuyu ve akifer mineralleri arasındaki reaksiyonlar suyun kalitesi üzerinde önemli bir role sahiptir ve yeraltısuyunun kökeninin anlaşılmasında da yararlıdır (Cederstorm, 1946). Akifer ortamdaki hidrojeokimyasal süreçleri tanımlamak için kimyasal analiz sonuçları çeşitli geleneksel X-Y koordinatlı grafikler yardımıyla veya farklı çözünürlükteki iyonların birbiri ile oranlarından kolayca anlaşılabilmektedir (Davraz ve Ünver, 2014). Ayrışma, iyon alışverişi ve atmosferik ve antropojenik kaynaklardan girdiler yeraltısuyundaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonunu kontrol eden temel mekanizmalardır.

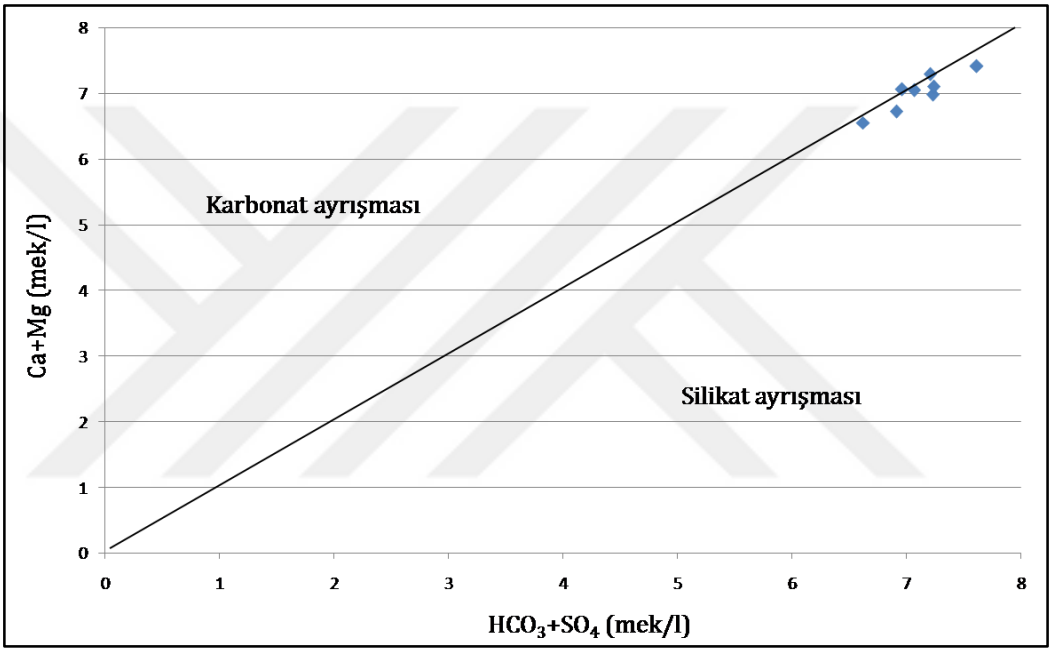
Ayrışma ve Çözünme

Yeraltısuyunda çözünmüş bileşenlerin kaynağı bireysel iyonların bolluğu, iyonik oranlar ve onların korelasyonlarına bakılarak değerlendirilebilir. Ca, Mg, SO_4 ve HCO_3 kayacın mineralojisine bağlı olarak ayrışma sırasında suya eklenen majör elementlerdir. Minerallerin ayrışması ve çözünmesi $(Ca+Mg)-(HCO_3+SO_4)$ grafiğinin çizimi ile basit bir şekilde yorumlanabilir. Bu grafikte örnek noktaları 1:1 doğrusu boyunca sıralanıyorsa, bu iyonların karbonat ve silikat ayrışmasından kaynaklandığını gösterir (Datta ve Tyagi, 1996; Rajmohan ve Elango, 2004; Kuldip vd., 2011).

$(Ca+Mg)-(HCO_3+SO_4)$ grafiğinde örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakınsa kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. SO_4 ve

HCO_3 içeriklerinin fazlalığından dolayı noktalar sağa kayarsa iyon alışverişinin varlığını yansıtır (Cerling vd., 1989; Datta ve Tyagi, 1996; Fisher ve Mulican, 1997).

İnceleme alanında yeraltısuyu örnekleri (Ca+Mg)-(HCO_3+SO_4) grafiği üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.37). Örneklerin büyük bir çoğunluğu 1:1 denge çizgisinin yakınında ve altında bulunmaktadır. Bu durum silikat ayrışmasının baskın olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.37. (Ca+Mg)-(HCO_3-SO_4) diyagramı

Potansiyel hidrokimyasal davranış Ca/Mg ve Na/Cl oranları arasındaki ilişkiden çıkarılabilir (Han vd., 2009). Yeraltısuyunun Ca/Mg oranları mevcut kalsit ve dolomitin çözünürlüğü hakkında yorum yapılmasını sağlayabilir. Genel olarak, Ca/Mg oranı 1'e eşit ise dolomit çözünürlüğünün varlığından bahsedilir. Daha büyük değerler ise kalsit katkısını yansıtır (Maya ve Loucks, 1995). Dolayısıyla, Ca/Mg=1 doğrusuna yakın değerler kalsit ve dolomitin çözünürlüğünü işaret ederken, 2'den büyük değerler silikat mineralleri ayrışmasının etkisini gösterir (Katz vd., 1998; Han vd., 2009).

İnceleme alanında yeraltısuyunun Ca konsantrasyonu 5.41-6.14 meq/l, Mg konsantrasyonu 0.83-1.57 meq/l arasında değişmektedir. İnceleme alanında yeraltısularının Ca/Mg oranları 2'den büyük değerler gözlenmektedir (Çizelge 4.17). Bu durum yeraltısuyuna Ca iyonlarını sağlayan baskın prosesin silikat ayrışması olduğunu göstermektedir (Datta and Tyagi 1996).

Na/Cl oranı 1 civarında veya üzerinde ise iyon alışveriş proseslerine işaret eder ve sodyumun silikat ayrışmasından kaynaklandığını göstermektedir (Meyback, 1987; Kumar vd., 2006; Tay, 2012). İnceleme alanında her iki dönemde yeraltısuyunun Na/Cl oranları genel olarak 1'den büyüktür (Çizelge 4.17). Bu durum, iyon alışverişi sonucu kil minerallerindeki Na iyonlarının yeraltısuyundaki Ca iyonları ile yer değiştirdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.17. Yeraltısularının bazı iyon oranları

Kuyu No	Ca/Mg	Na/Cl	CAI-I	CAI-II
45232	3.45	1.17	-0.24	-0.01
58600	6.28	1.21	-0.26	-0.02
58601	4.88	1.15	-0.19	-0.01
60721	6.32	1.12	-0.16	-0.01
60722	5.03	1.17	-0.21	-0.01
60723	5.28	1.16	-0.20	-0.01
GB-2	4.83	1.15	-0.20	-0.01
GB-3	7.10	1.29	-0.31	-0.02

İyon alışverişi

İyon değişimi, yeraltısularındaki iyon konsantrasyonundan sorumlu olan önemli süreçlerden biridir. İyon değişimi bir tür adsorpsiyon/desorpsiyon olayıdır. Kil mineralleri, toprak ve akifer sisteminde en yaygın iyon değiştiricilerdir. Kil ve yeraltısularında bulunan katyonlar anyondan kolaylıkla değiştirilebilir. Bir çözeltinin pH değeri de değişim süreçlerini kontrol eder (Elango ve Kannan 2007). Eğer yeraltısuyunda büyük miktarda Na içeriği azalırsa, bu durum iyon değişim sürecine yansıtabilir (Dehnavi vd., 2011). Kloroalkalin indeksi (CAI) (Schoeller 1965, 1967) yeraltısuyu ve akifer ortam arasındaki iyon değişimini gösterir. Kloroalkalin indeksi (CAI-I, CAI-II) değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

$$CAI\text{-}I=[Cl-(Na+K)]/Cl \quad (4.3)$$

$$CAI\text{-}II=[Cl-(Na+K)]/(SO_4+HCO_3+CO_3+NO_3) \quad (4.4)$$

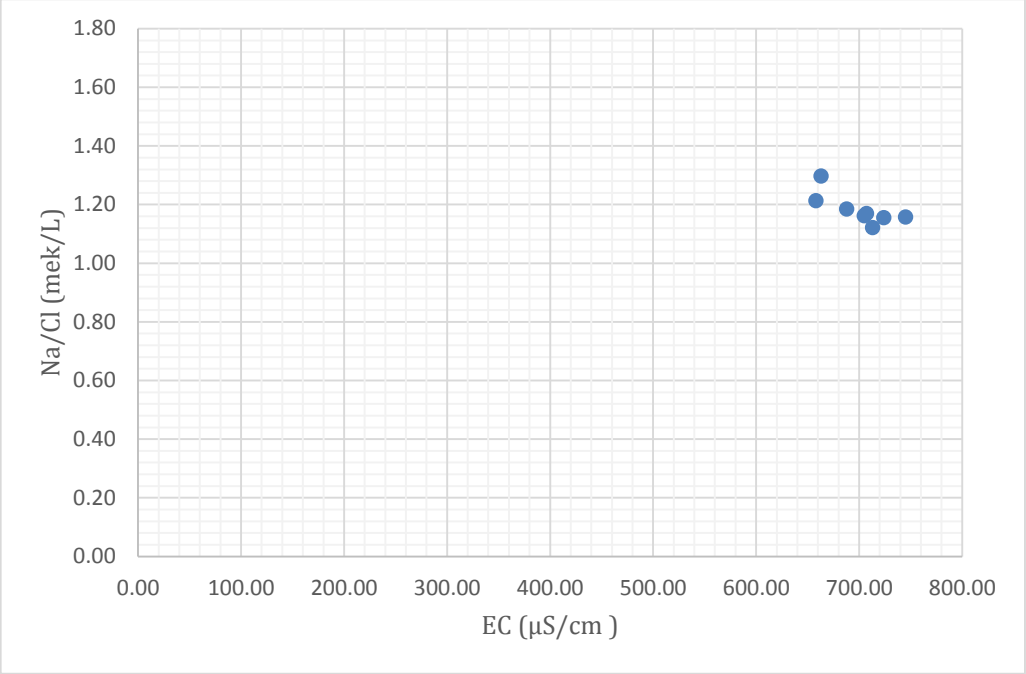
Eğer akiferdeki Na ve K iyonları ile yeraltısuyundaki Ca ve Mg iyonları aarsında bir değişim varsa CAI-I ve CAI-II değerlerinin her ikisi de negatif değer alacaktır. Ters iyon değişimi varsa Kloroalkalin indeksi değerleri pozitif olacaktır (Schoeller, 1965, 1977). Çalışma alanındaki su örneklerinin analiz sonuçları ile CAI-I ve CAI-II değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.17'de sunulmuştur. Elde edilen CAI-I ve CAI-II değerleri incelendiğinde tüm örneklerde CAI-I ve CAI-II değerleri negatif olup örneklerde "*normal iyon değişimi*" yani kayaçlardaki sodyum ve potasyum iyonları ile sulardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları arasında bir değişim olduğu görülmektedir.

Evaporasyon

Yeraltısuyu kimyasal bileşiminin evrimleşmesindeki ana süreç, doymamış zondaki yüzey suyunun ve nemin buharlaşmasıdır. Genelde evaporasyonun sulardaki bütün iyonların konsantrasyonlarında bir artışa sebep olduğu düşünülmektedir. Evaporasyon sonucu meydana gelen iyonik zenginleşme, akifer içerisinde yeraltısuyunun tutulmasıyla gerçekleşmektedir. Yeraltısuyunun TDS değeri artarken Na/Cl oranı aynı kalırsa evaporasyonun varlığına ve baskınlığına işaret eder. Eğer bir bölgede evaporasyon egemense, yeraltısuyunun EC değeri artarken Na/Cl oranı sabit kalacaktır. Buna göre Na/Cl (molar)'a karşı EC (µmhos /cm) diyagramı yatay bir doğru oluşturur. (Jankowski ve Acworth, 1997; Chebboh and Allia, 2015). Eğer Na iyonu halit mineralinin çözünümünden geliyorsa molar Na/Cl oranı yaklaşık 1'e eşit çıkmakta, 1'den yüksek çıkan değerler için ise Na'un kaynağı silikat ayrışması olduğu kabul edilmektedir (Mayback 1987, Garcia vd., 2001).

Çalışma alanındaki örneklerin genelinin Na/Cl oranı 1'den büyüktür. Bu da sistemde silikat ayrışmasının etkin oluğunu göstermektedir (Çizelge 17). Na/Cl-EC (µmhos/cm) diyagramında ise incelenen örneklerin sıralanışı tamamen düz

bir çizgi şeklinde olmayıp eğim göstermektedir (Şekil 4.47). Bu yüzden evaporasyon yeraltısuyunun kimyasını kontrol eden ana jeokimyasal işlem olmayabilir.



Şekil 4.38. Yeraltısularının Na/Cl-EC (µmhos /cm) diyagramı

4.6.3. Suların kullanım özellikleri

İnceleme alanındaki yeraltısuları içme ve sulama suyu amacı ile kullanılmaktadır. Bu bölümde suların farklı amaçlar için kullanılabilme özellikleri standartlar ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

4.6.3.1. Suların içilebilirlik özellikleri

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011, 2006) standartları kullanılmıştır (Çizelge 4.18). Ovada yeraltısularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikler 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 (Şekil 4.39). Bölgede yeraltısularının genel olarak ***'İyi- çok iyi kaliteli sular'*** sınıfında yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.39). Elektriksel iletkenlik ve sertlik parametrelerinin yüksekliği iyi su kaliteli sular sınıfında tanımlanmalarına neden olmaktadır.

4.6.3.2. Suların sulamada kullanım özellikleri

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

Çizelge 4.18. İçme Suyu Standartları (TSE–266, 2005; WHO, 2006, 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

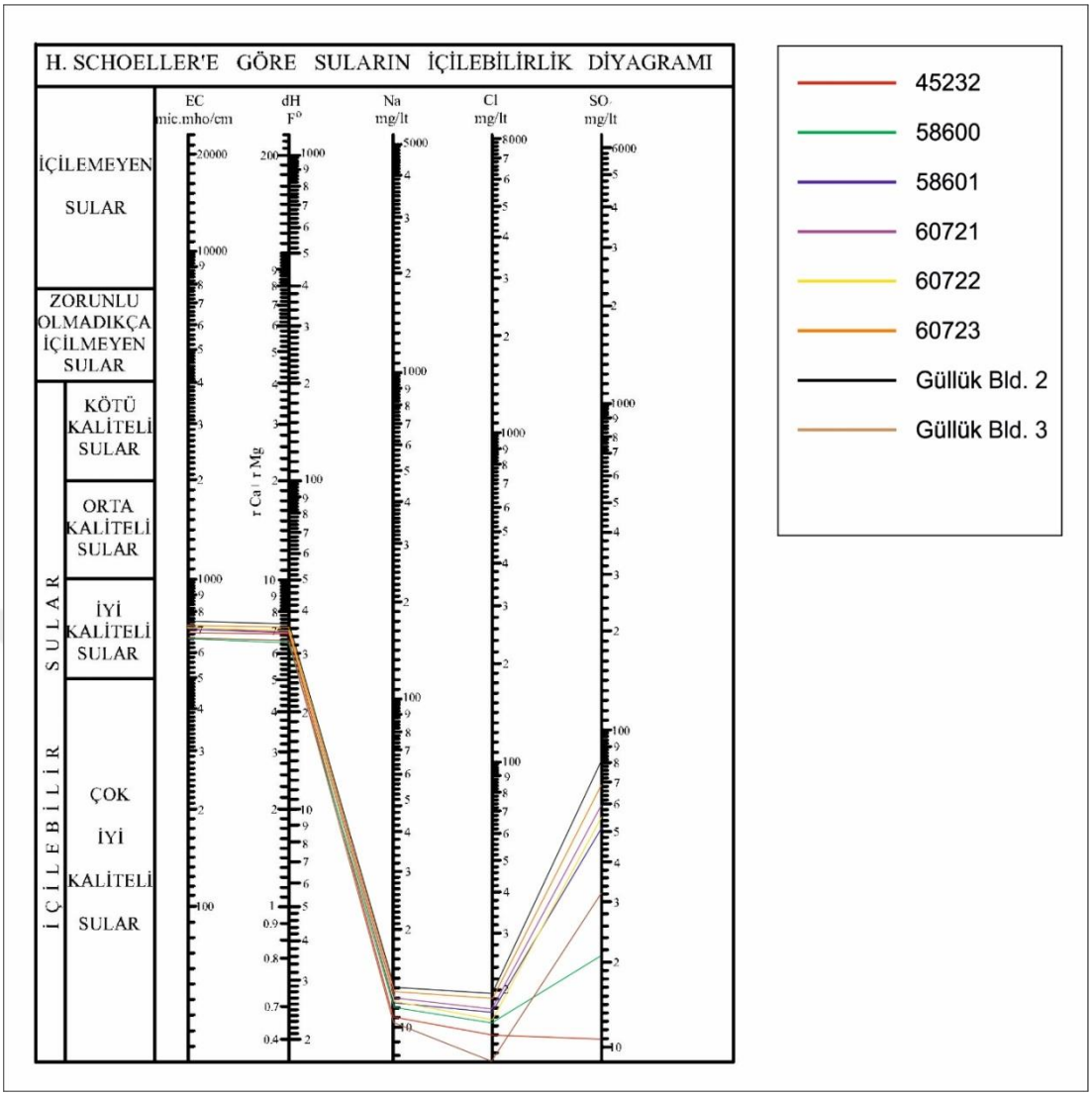
	TSE-266 (2005)		**WHO (2011)**
ORGANOLEPTİK ÖZELLİKLER			
Özellik	**Değer, en çok**		
	Sınıf 1 ve Sınıf 2	**Sınıf 2 Tip 2**	
	Su; berrak, tortusuz, kendine		
MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLER			
Özellik	**Değer, en çok**		
	Sınıf 1 ve Sınıf 2	**Sınıf 2 Tip 2**	
Eschericha coli (E.coli)	0/250 ml	0/100 ml	
Enterococci	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	**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
Civa	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 4.18. 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	
Radyoaktiflik, 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
Iyot-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.*
ı: *A.B.D. ve Kanada standartlarına göre NO_3^- sınırı 10mg/l olarak ifade edilmektedir. Avrupa standartlarında bu sınır n için 11,3 mg/l; NO_3^- için 50mg/l' dir.*
j: *Maksimum izin verilebilir sınırlar sağlık kriterlerine göre belirlenir.*



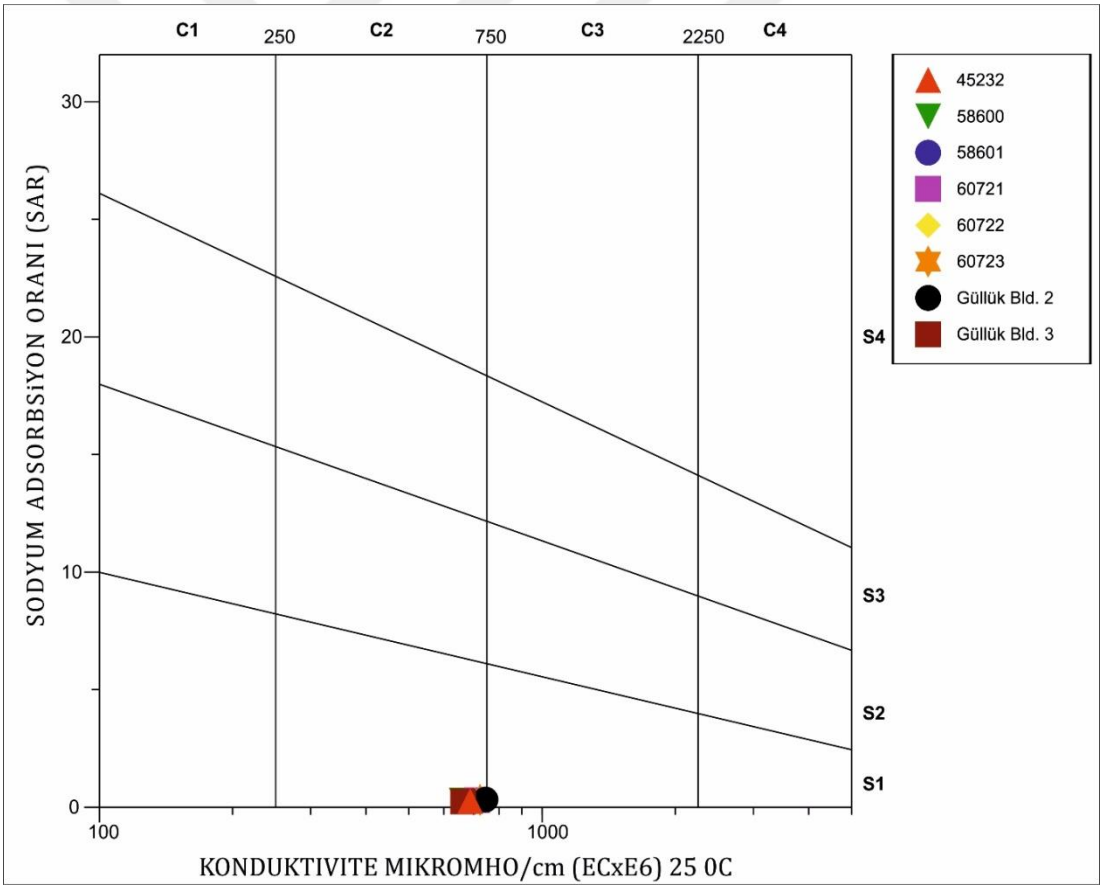
Şekil 4.39. Schoeller İçilebilirlik diyagramı

ABD tuzluluk laboratuarı diyagramı

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan diyagramlardan biri ABD tuzluluk laboratuarı diyagramıdır. Bu diyagramda EC ve SAR değerlerine göre 16 ayrı kategori bulunmaktadır. Bu kategorilerin anlamları oluşturulurken C1, C2, C3 ve C4 tuzluluğa göre alt sınıfları, S1, S2, S3 ve S4 ise sodyum miktarına göre alt sınıfları oluşturmaktadır (Çizelge 4.19). ABD tuzluluk diyagramına göre inceleme alanındaki sular genel olarak orta tuzlulukta ve az sodyumlu suları temsil eden 'C_2S_1' sınıfında yer almaktadır (Şekil 4.40).

Çizelge 4.19. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflaması (ABD Tuzluluk Lab. Diyagramı; Şahinci, 1991)

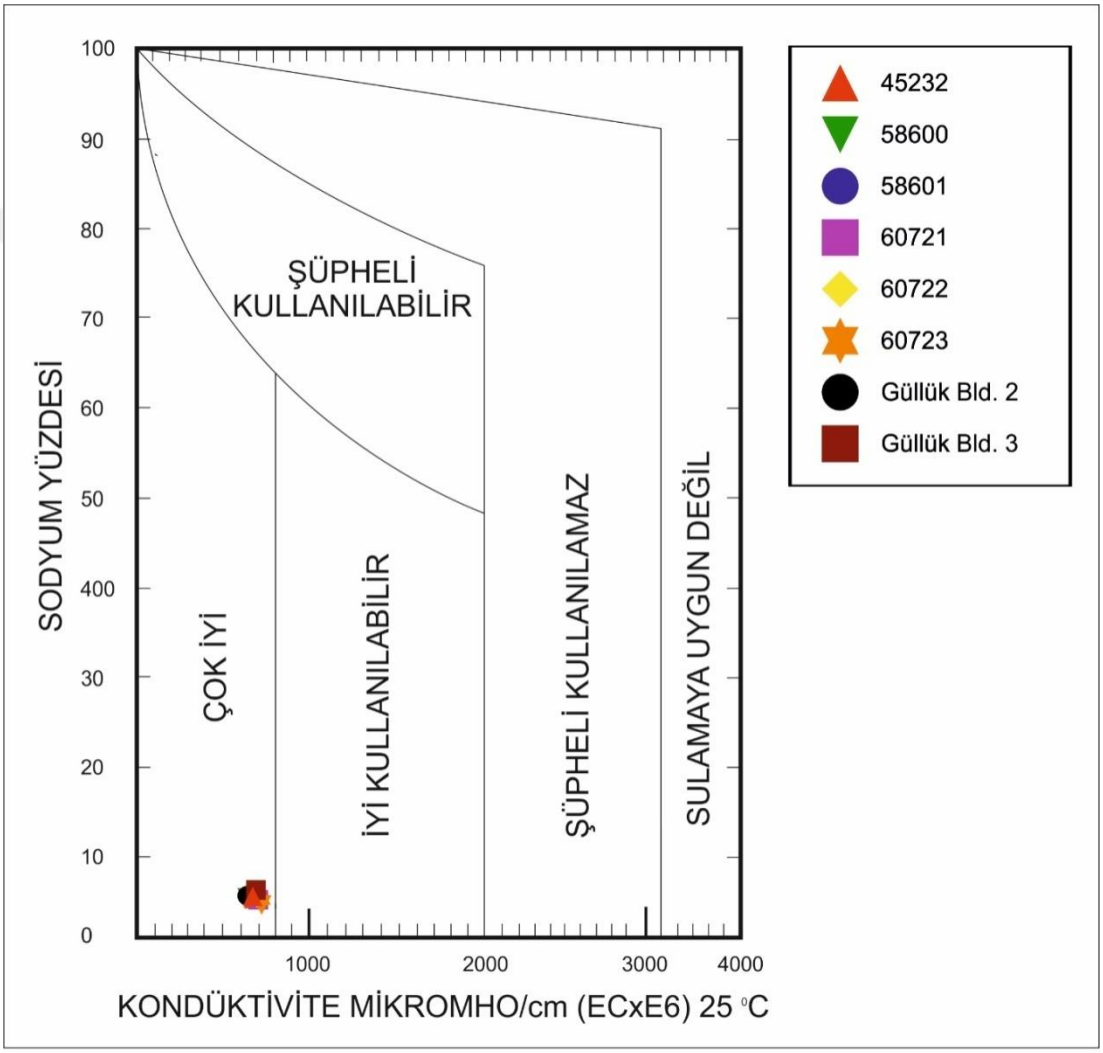
C1	***Az tuzlu su***. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir
C2	***Orta tuzlulukta su***. Orta derecede suya ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılabilir.
C3	***Fazla tuzlu su.*** Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.
C4	***Çok fazla tuzlu su***. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenaj yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetişebilir.
S1	***Az sodyumlu su***. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında her türlü tarım için uygun
S2	***Orta derecede sodyumlu su***. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun.
S3	***Fazla sodyumlu su***. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir
S4	***Çok fazla sodyumlu su***. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz



Şekil 4.40. ABD Tuzluluk Laboratuarı diyagramı

Wilcox diyagramı

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemede kullanılan diğer bir diyagram ise Wilcox diyagramıdır. Bu diyagramda suların EC ve % Na değerleri kullanılmaktadır. İnceleme alanındaki sular, Wilcox diyagramına göre '***çok iyi kullanılabilir sular***' sınıfında yeralmaktadır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Wilcox diyagramı

Artıksal sodyum karbonat (RSC)

Suların Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) içeriği sulama suyu olarak değerlendirmede kullanılan bir diğer parametredir. RSC sulamada kullanılan suyun karbonat ve bikarbonat içeriğinin tehlike etkisinin tespiti için kullanılmaktadır (Aghazadeh ve Mogaddam, 2011). Yüksek RSC toprakta sodikleşmeye yol açacağından sulama suyunda bulunması istenmemektedir. Sodikleşme toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Bu tür topraklarda sodyum oranı yükseldikçe, toprağın geçirgenliği azalmakta, toprağın havalanması güçleşmektedir. Toprak ıslanınca yapışkan, kuruyunca çatlaklı ve kabuksu bir yapı kazanmaktadır (Çuhadar ve Tamgaç, 1994). RSC değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmakta ve sulama suyu sınıf aralıkları bu değere göre belirlenmektedir (Çizelge 4.20).

$$RSC = (rCO_3 + rHCO_3) - (rCa + rMg) \quad (4.3)$$

Çizelge 4.20. 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 alanında sular RSC değerlerine göre çok iyi kaliteye sahip I. Sınıf sulardır (Çizelge 4.20, 4.21).

Çizelge 4.21. Suların sulama suyu ve endüstride kullanım parametreleri

Kuyu No/Adı	RSC	PI	MT	DI	F	Alkalinite mek/l
45232	0.02	41.89	22.49	0.85	32.1	7
58600	-0.38	42.48	13.74	0.01	33.8	6.17
58601	-1.21	38.92	17.00	0.10	35.04	5.85
60721	-1.09	39.31	13.66	0.15	36.28	6.01
60722	-1.16	39.16	16.60	0.14	35.66	5.89
60723	-1.53	37.94	15.91	1.16	38.14	5.76
Güllük Bld. 2	-1.5	38.00	17.14	0.37	40.78	5.91
Güllük Bld. 3	-0.48	41.10	12.35	0.35	28.68	6.24

Geçirgenlik indeksi (PI)

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

$$PI=100\times[(rNa+r\sqrt{HCO_3})/(rNa+rCa+rMg)] \quad (4.4)$$

İnceleme alanında PI değerleri yeraltısularında % 37.94-42.48 arasında değişmektedir. Geçirgenlik indeksi değerine göre yeraltısuları genel olarak II. sınıf suları temsil etmektedir (Çizelge 4.21).

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).

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

İnceleme alanında yeraltısularının MT değerleri %12.35-22.49 arasında değişmektedir (Çizelge 4.21). İnceleme alanındaki yeraltısuları MT değeri açısından sulama suyu olarak kullanıma elverişlidir.

4.6.3.3. Suların endüstride kullanım özellikleri

Endüstride kullanılacak sularda aranan özellikler kullanım alanına göre farklılıklar göstermektedir. İnceleme alanındaki suların içme ve sulama suyu özellikleri yanı sıra endüstride kullanılması durumunda çürütme, kireçlendirme ve köpürme özellikleri ile beton üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Suların çürütme ve kireçlendirme özellikleri

Yeraltısularının çürütme ve kireçlendirme özelliklerini belirlemek amacıyla Langelier ve Ludwig (1942) tarafından sunulan ***"Kalsiyum Denge Diyagramı"*** kullanılmaktadır. Diyagram üzerinden okunan denge pH'sı (pHs) ile yerinde ölçümlerle belirlenen suyun pH değeri karşılaştırılarak DI denge endeksi aşağıdaki formül ile hesaplanır. Denge endeksinin yorumlamasında Çizelge 4.22'de verilen değerlendirmeler yapılmaktadır.

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

Çizelge 4.22. Suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerinin denge endeksine göre sınıflandırılması

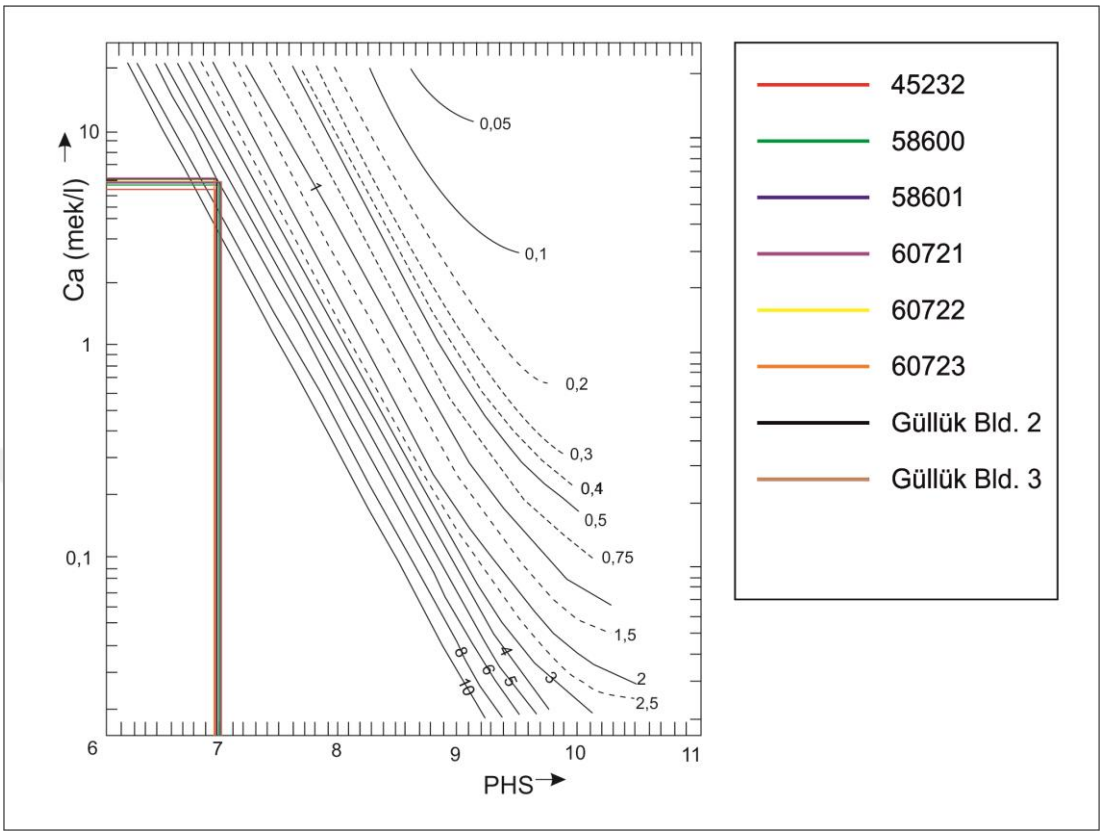
DI	
DI> + 0.1	suda karbonat çökelmesi izlenir
DI= ± 0.1	su karbonatça doygundur
DI< -0.1	su karbonat çözündürebilir

İnceleme alanında yeraltısularında yapılan DI hesaplamalarına göre genel olarak suların "***karbonat çökelmesinin izlenir"*** özellikte olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.42; Çizelge 4.21, 4.22).

Suların köpürme özelliği

Su içerisindeki potasyum ve sodyum tuzları suların kaynarken köpürmesine neden olmaktadır. Bu durum makinelerin kazan ve borularının cidarlarında çökelme ve kabuklanmaya yolaçar. Buna ek olarak çökelme ve kabuklanma ısı

iletkenliği azalarak yakıt masrafını arttırmaktadır. Suların köpürme özelliğinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.



Şekil 4.42. Kalsiyum denge diyagramı

$$F = 62\ rNa^{+} + 78\ rK^{+} \qquad (4.7)$$

Suların köpürme özelliği aşağıdaki sınıflandırma ile değerlendirilmektedir (Şahinci, 1991; Çizelge 4.23). İnceleme alanında yeraltısuları ***"kaynarken köpürmeyen"*** sular sınıfında yeralmaktadır (Çizelge 4.21; 4.23).

Çizelge 4.23. Suların köpürme özelliğine göre sınıflaması

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

Suların beton üzerine etkisi

Suların beton üzerinde etkisi içerisindeki sülfat miktarına bağlıdır. Sülfatlı suların çimento üzerindeki etkinliği oldukça büyüktür. Sülfatlı sular, çimento içerisinde önemli miktarlarda CaO, MgO, SO_3 bulunması halinde, bu bileşiklerin su ile birleşmesi durumunda önemli miktarda hacim artışına ve betonun parçalanmasına neden olabilmektedir (Şahinci, 1991). Suda bulunan sülfat miktarına ve bunun beton üzerinde yaratacağı etkiye göre yapılan sınıflandırma Çizelge 4.24' de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Su içerisindeki SO_4 (Sülfat) miktarına göre suların beton üzerine etki etme derecesi

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 yeraltısularının sülfat miktarı 0.23-1.7 mek/l arasında değişmektedir. 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 sınırlı olması nedeniyle kirlenmeye karşı yüzeysel sulardan daha duyarlıdır. Yeraltısularını kirleten unsurları jeojenik ve antropojenik kökenli olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Jeojenik kökenli kirlilik; suların içerisinden geçtikleri kayaçlarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Su içerisinde çözünmüş halde bulunan elementlerin miktarı etkileşim süresi ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde yeraltısuları kirliliğine sebep olan en önemli etken ise; antropojenik kökenli olarak tanımlanan tarımsal faaliyetler, katı-sıvı atıklar ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan başka bir ifadeyle insan faaliyetleri sonucu oluşan

kirliliktir. İnceleme alanında en önemli kirlilik kaynağı tarımsal faaliyetler ve az oranda hayvancılıktır. Bölgede sıvı ve katı atıkların bertarafı için düzenli bir tesis bulunmamaktadır. Çamköy Ovası'nda yeraltısularında kirlilik parametrelerinin tespiti için azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.25; 4.26).

4.6.4.1. Azot türevleri

Azot doğal döngüye sahip, bakteriler tarafından besi kaynağı olarak kullanılan ve kimyasal yollardan değişik oksidasyon kademelerinde bulunan ve sularda sık sık görülen bir parametredir. 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, çözünmüş 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 pek fark yoktur. Ancak ikincil olarak bozunum ve kirlenmelerden ortaya çıkan nitrat iyonları, yeraltısularını zenginleştirebilmektedir. Ülkemizde ve dünyada son yıllarda yapılan çalışmalarda yeraltısularında nitrat içeriklerinin giderek arttığı tespit edilmiştir.

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) standartlarına göre içme sularında nitrat içeriğinin 50 mg/l'yi aşmaması istenmektedir.

İnceleme alanında yeraltısularında nitrat, nitrit, amonyum analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre azot türevlerinin sınır değerleri aşmadıkları ve normal seviyelerde oldukları görülmektedir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. Çamköy Ovası yeraltısularının azot türevi analiz sonuçları

Kuyu No	NO_3^- (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	NO_2^- (mg/l)
45232	4.859	0.042	0.001
58600	9.165	0.016	0
58601	4.797	0.018	0
60721	4.652	0.021	0
60722	4.121	0.016	0
60723	5.163	0.022	0
GB-2	5.529	0.008	0
GB-3	3.984	0.028	0.001

4.6.4.2. Ağır metaller

Doğal sularda major iyonlar dışında ikincil ve üçüncül olarak gelişen iyonlar da söz konusudur. Bu iyonların su içerisindeki varlığı suyun hangi tür kayaçlarla etkileşim içerisinde olduğunu bildirmesi yanı sıra su içerisindeki miktarı, suyun kalitesini de etkilemektedir. Ağır metaller yeraltısularında izlenen üçüncül elementlerdir. Bunlar '*geçiş elementleri*' yada '*iz elementler*' olarak da tanımlanmaktadır. Metaller ve bileşikleri yerkabuğunda değişik konsantrasyonlarda bulunurlar. İz metaller çevre kirlenmesi bakımından yüksek konsantrasyonlu metallere oranla çok daha tehlikelidirler. Bu nedenle, inceleme alanındaki sularda birincil (major) iyon analizleri ile birlikte ikincil ve üçüncül iyonların analizleri de yapılmıştır.

Ağır metal terimi fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm^3'den daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu gruba kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko olmak üzere 60 tan fazla metal dahildir. Bu elementler doğaları gereği yer kürede genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde bulunurlar.

Bu çalışmada yeraltısularında gözlenebilecek ağır metal kirliliğinin araştırılması amacıyla yeraltısularının ağır metal analizleri (As, Al, Ba, Cr, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn) DSİ 2. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü laboratuvarlarında yaptırılmıştır (Çizelge 4.26). Ağır metal analiz sonuçları Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.26. Çamköy Ovası yeraltısularının ağır metal analiz sonuçları (Ocak 2016)

Kuyu No	As (µg/l)	Al (µg/l)	Ba (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Co (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	Mb (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Ti (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
45232	1.66	92.76	54.22	6.44	2.14	1.01	269.71	5.29	0.6	21.19	5.49	6.42	3.07	23.65
58600	1.5	19.35	49.53	6.96	1.33	0.8	125.59	3.44	0.9	19.53	5.85	4.67	3.19	22.61
58601	1.53	20.7	51.03	6.44	1.53	0.8	28.77	1.44	0.88	20.46	4.58	5.56	2.71	46.76
60721	1.11	13.77	58.3	5.04	1.59	0.76	310.94	5.98	0.69	18.31	4.67	5.33	3	5622.66
60722	1.46	7.67	47.48	5.83	1.41	0.78	45.76	1.18	0.91	19.59	3.66	4.35	2.72	22.85
60723	1.57	27.93	50.51	6.13	1.92	0.85	56.31	1.98	0.81	21.12	6.06	5.53	2.93	20.43
GB-2	1.26	70.69	43.2	6.5	4.2	1.13	148.71	6.75	1.06	28.84	3.68	6.35	2.77	23.94
GB-3	2.22	285.49	42.28	10.9	2.88	2.16	1626.1	54	0.54	37.85	6.43	8.76	4.56	17.22
TSE-266	10	200	-	50	2000	-	200	50	-	20	10	-	-	-
WHO 2006, 2011	10	-	700	50	2000	-	300	400	-	70	10	-	-	5000

Çamköy Ovası'nda yeraltısularından alınan örneklerin As, Ba, Cr, Cu, Mn ve Pb içeriklerinin Türk İçme Suyu (TSE-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006, 2008, 2011) standartlarında verilen sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Yeraltısularının Co, Mb, Ti ve V içerikleri oldukça düşük olup bu elementler için standartlarda sınır değer verilmemiştir. İnceleme alanında belirli lokasyonlarda Al, Fe, Ni ve Zn içeriklerinin sınır değerleri aştığı görülmektedir. Bu elementlere yönelik değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

Alüminyum (Al): Alüminyum, yerkabuğunda önemli miktarda bulunmasına karşın (% 8.6), çözünürlüğünün az olması nedeniyle, yeraltısularında önemsiz miktarlarda bulunmaktadır. PH'ı 5 ile 9 arasında olan sularda alüminyum, 1 mg/l'den azdır. Genellikle yeraltısularında 0.005–0.3 mg/l arasında alüminyum izlenmektedir. Asidik sularda bu değer 100 mg/l'ye kadar çıkabilmektedir. Alüminyumun suda bulunuşu ile ilgili bilgiler, özellikle suyun kökenine ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi açısından önem taşımaktadır (Şahinci, 1991).

Türk İçme Suyu standartlarında (TSE-266, 2005) sularda Al için sınır değer 200 µg/l olarak belirlenmiştir. İnceleme alanındaki su kaynaklarında Al değeri 7.67-285.49 µg/l arasında değişmektedir. Güllük Belediyesine ait GB-3 nolu kuyuda Al içeriğinin 285.49 µg/l ile TSE-266 (2005)'de verilen sınır değeri aşmaktadır. İnceleme alanında yeraltısularında Al iyonunun varlığı kayaç-su etkileşimi ilişkilendirilmektedir. Al artışı Yatağan formasyonu içerisinde bulunan marn seviyelerindeki kil içeriği ile feldispat, kaolen ve mika minerallerine (Eriksson, 1981) bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Demir (Fe): Yerkabuğunda oldukça bol bulunan demirin jeokimyasal özellikleri sıkı bir şekilde oksijen, kükürt ve karbona bağlıdır. Fiziksel ve kimyasal ayrışma, tortullaşma, diyajenez ve redoks tepkimelerinin farklılığı, demirin kayalarda bulunuş miktarını etkiler. Karbonlu kayaçlardan gelen sularda (kömür, linyit, turba gibi) genellikle asit ve organik maddeler nedeniyle fazla miktarda demir iyonları izlenebilmektedir. Genellikle kireçtaşı ve dolomitlerden gelen suların pH'ı 7'den büyük olduğu için, çok az demir iyonları içerirler (Şahinci, 1991).

Demir için içme suyu standartları ile belirlenen sınır değer TSE-266 (2005) için 200 μg/l, WHO (2006) için 300 μg/l'dir.

İnceleme alanında yeraltısularının demir konsantrasyonu 28.77-1626.1 μg/l arasında değişim göstermektedir (Çizelge 4.26). Demir artışının Yatağan formasyonu içerisinde bulunan kömür seviyeleri ile ilişkili olarak kaya-su etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Nikel (Ni): Nikel daha çok ultrabazik ve bazik kayaç mineralidir. Ancak asidik kayaçlarda da çok az miktarlarda bulunmaktadır. Nikel tortul kayalardan arduvazlarda 68 ppm, kumtaşlarında 2 ppm, karbonatlı kayalarda 20 ppm, şeyllerde 70 ppm, siyah şeyllerde 50-200 ppm, toprak zeminde ortalama 30 ppm (5-500 ppm) civarında bulunmaktadır (Şahinci, 1991). 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 değer 20 μg/l, WHO (2011) tarafından belirlenen değer ise 70 μg/l'dir. İnceleme alanında yeraltısularının Ni konsantrasyonu 18.31-37.85 μg/l, olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.26). Yeraltısuyu örneklerinin büyük bir çoğunluğu TSE-266 içme suyu standardı sınır değerini aşmaktadır. Ni artışının Yatağan formasyonu litolojileri ile kaya-su etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

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 çökelmesi bakteriler tarafından sülfatların indirgenmesi ile gerçekleşmektedir (Şahinci, 1991). Yüzey sularının çinko kirlenmesinin önemli

üç sebebi bulunmaktadır. Bunlar; sülfidlerin yıkanması sonucu ortaya çıkan asit maden suları, demir-çelik sanayi ve diğer endüstriyel artıkların sulara karışması ile kömür ve kül tozlarının yüzey sularına karışmasıdır (Şahinci, 1991).

TSE-266'da Zn için sınır değer verilmemiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2006 yılındaki standardında Zn için sınır değer 5000 µg/l olarak verilmiştir. Ancak, 2011 yılı WHO standardında suların Zn içeriğine ait sınır değer verilmemiştir. İnceleme alanında yeraltısularının Zn içeriği 17.22-5622.66 µg/l arasında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.26). Yeraltısularında Zn artışının kaya-su etkileşiminden (jeojenik kökenli) kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Çamköy (Milas-Muğla) Ovası'nın jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelemelerinin yapıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- İnceleme alanı, yarı kapalı havza özelliği taşıyan yaklaşık 86.6 km^2 alana sahip küçük bir ovadır. Küçük bir ova olmasına rağmen, özellikle Bodrum ilçesinin içme suyu ihtiyacının bir kısmını yeraltısuyu kuyularından karşılaması nedeni ile özel bir öneme sahiptir.

- İnceleme alanında Menderes Masifi kayaçlarından oluşan otokton birimlere ait Kalınağıl ve Milas formasyonları, Likya naplarına ait allokton Güllük formasyonu ve neo-otokton örtü kayaçları olan Yatağan formasyonu yüzeylemektedir. İnceleme alanında geniş alanlarda bulunan Milas formasyonu koyu, açık gri ve beyaz sert, sıkı, yer yer dolomitik kireçtaşı istifinden oluşmaktadır. Kalınağıl formasyonu, kırmızı, kahverengimsi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, şeyl ve beyaz gri kireçtaşı düzeylerini içermektedir. Allokton konumlu, Güllük formasyonu, başlıca konglomera, kumtaşı, şeyl ile değişik büyüklükte kireçtaşı merceklerinden oluşmaktadır. Yatağan formasyonu ise, inceleme alanında çok geniş yayılım gösteren, kumtaşı, konglomera, silttaşı, marn, kiltaşı ve kireçtaşı birimleri ile kömür yataklarını içermektedir.

- Yatağan formasyonu, çalışma alanında yeraltısuyu elde edilen en önemli birim olduğu için ***Verimli Kaya Ortam Akiferi*** olarak tanımlanmıştır. Formasyon üzerinde farklı amaçlarla açılmış 26 adet kuyu bulunmaktadır. Milas formasyonu ile Kalınağıl formasyonu ***Erime Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi*** olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanının topoğrafik yapısı, Yatağan formasyonunun hidrojeolojik özellikleri, kuyuların debileri, Milas formasyonunun bölgedeki konumu ve hidrojeolojik özellikleri gözönünde bulundurulduğunda Milas formasyonunun Yatağan formasyonunu beslediği sonucuna varılmaktadır. Güllük formasyonu içerisinde bulunan kireçtaşı

seviyeleri genellikle formasyonun alt seviyelerinde ve mercek şeklindedir. Sıkça çört bantları içeren bu kireçtaşı seviyelerinin yeraltısuyu bulundurma olasılığı kısıtlıdır. Güllük formasyonunu oluşturan metakumtaşı ve şeyl seviyelerinin yeraltısuyu bulundurma kapasitesi sınırlı olması sebebiyle ***Akifüj Ortam*** olarak değerlendirilmiştir.

- Yatağan formasyonu için hesaplanan permeabilite katsayısı 1.56 $x10^{-3}$- 4.31 $x10^{-7}$ m/s ve transmisibilite katsayısı değerleri $1.39x10^{0}$-$8.61x10^{-5}$ m^2/s arasında değişmektedir. Hesaplanan akifer parametreleri sondaj logları ile karşılaştırıldığında, daha kalın kiltaşı, marn ve şist kesilen kuyularda permeabilite katsayısı değerinin düştüğü görülmektedir.

- Çamköy Ovasında temsili olarak seçilen 7 adet kuyuda 2014-2017 yılları arasında yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmaktadır. Bu ölçümlerde yeraltısuyunun yüzeyden derinliğinin 2014 yılında yaklaşık olarak 8-86 m, 2015 yılında 6-82 m, 2016 yılında 11-87 m ve 2017 yılında ise 17-90 m arasında olduğu görülmektedir. Ovada yeraltısuyu akım yönünün ovanın güney-güneydoğusuna doğru olduğu tespit edilmiştir. Yeraltısuyu seviyesi giderek düşmektedir.

- Ovada hesaplanan toplam beslenim miktarı 64.06 x 10^6 m^3/yıl ve toplam boşalım miktarı 69,95 x 10^6 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre ovadan yaklaşık olarak yılda 5.89 x 10^6 m^3 su beslenim miktarından fazla olarak çekilmektedir. Bu durum, ovada yeraltısuyu seviye düşümleri ve debi miktarının azalmasına neden olmaktadır. Ovada açılmış fakat henüz çalıştırılmayan kooperatife ait kuyuların devreye girmesi durumunda ise ovadan yeraltısuyu alınmasında büyük sıkıntıların yaşanacağı ve kısa süre içerisinde su alınamaz duruma geleceği öngörülmektedir.

- Ova genelinde yeraltısularının toplam iyon içeriği 14.14-16.21 mek/l arasındadır. Piper diyagramına göre yeraltısuları genel olarak Ca-HCO_3'lı sular fasiyesindedir. Bu örnekler alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg),

alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO_3+HCO_3) güçlü asit köklerinden (SO_4+ Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği %50'den fazla olan suları temsil etmektedir. Gibbs diyagramına göre ise suların geneli ***'Kayaç Baskın'*** bölgede yeralmaktadır. Bu durum, su ile direkt ilişkili olan kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışmasının olduğunu göstermektedir.

- Ovada yeraltısularının kimyasal içerikleri, Ca/Mg ve Na/Cl değerlerine göre silikat ayrışmasının baskın olduğu tespit edilmiştir. Kloroalkalin indeksi (CAI) değerleri de yeraltısularında "*normal iyon değişimi*" yani kayaçlardaki sodyum ve potasyum iyonları ile sulardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları arasında bir değişim olduğunu göstermektedir.

- İnceleme alanında yeraltısuları Fransız sertlik derecesine göre ***Sert*** su sınıfında, suların pH değerlerine göre yapılan sınıflamada, ***Bazik karakterli*** sular, TDS değerine göre ***Acımsı Su***, Schoeller (1955)'in klorür sınıflamasına göre '***Olağan klorürlü sular***', sülfat sınıflamasına göre '***Olağan sülfatlı sular***' ve Karbonat-Bikarbonat derişimi bakımından ise'***Olağan karbonatlı sular***' sınıfına girmektedir.

- 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. Ovada yeraltısularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikler ve anyon-katyon içerikleri açısından Türk İçme Suyu ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından verilen sınır değerleri aşmadığı belirlenmiştir.

- Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD tuzluluk diyagramına göre yeraltısuları orta tuzlulukta ve az sodyumlu suları temsil eden '***C_2S_1***' sınıfında yer almaktadır. Wilcox diyagramına göre '***çok iyi kullanılabilir sular***' sınıfındadır. SAR değerlerine göre ise ***Çok iyi özellikte sulama suyu*** sınıfında yeralmaktadır. Artıksal Sodyum Karbonat

(RSC) değerlerine göre çok iyi kaliteye sahip I. Sınıf sulardır. Geçirgenlik indeksi değerine göre yeraltısuları genel olarak II. sınıf suları temsil etmektedir. Magnezyum Tehlikesi (MT) değeri açısından ise sulama suyu olarak kullanıma elverişlidir.

- Yeraltısularının çürütme ve kireçlendirme özellikleri açısından "***karbonat çökelmesinin izlenir"*** özellikte olduğu, ***"kaynarken köpürmeyen"*** sular sınıfında yeraldığı ve yeraltısularının sülfat içeriği bakımından ise beton üzerinde olumsuz etkisinin olmayacağı tespit edilmiştir.

- İnceleme alanında yeraltısularında nitrat, nitrit, amonyum analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre azot türevlerinin sınır değerleri aşmadıkları ve normal seviyelerde oldukları görülmektedir.

- Çamköy Ovası'nda yeraltısularından alınan örneklerin As, Ba, Cr, Cu, Mn ve Pb içeriklerinin Türk İçme Suyu ve Dünya Sağlık Örgütü standartlarında verilen sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Yeraltısularının Co, Mb, Ti ve V içerikleri oldukça düşük olup bu elementler için standartlarda sınır değer verilmemiştir. İnceleme alanında belirli lokasyonlarda Al, Fe, Ni ve Zn içeriklerinin sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Bu elementlerdeki artışlar akifer birim olan Yatağan formasyonu içerisindeki litolojilerle ilişkili olarak kaya-su etkileşiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

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.

Akat, U. Öztürk, Z., Öztürk E.M. ve Çağlayan, A., 1975. Menderes Masifi Güneyi GB Toros Kuşağı İlişkisi, MTA raporu no: 5488, 58 s., Ankara

Apodaca, L.E, Jeffrey, B.B., Michelle, C.S., 2002. Water Quality in Shallow Alluvial Aquifers, Upper Colorado River Basin, Colorado, Journal of American Water Research Association, pp19 – 27.

Arıkan, E., 1973. Asin (Kıyıkışlacık) Ovası ve Selimiye Ovası Güneyinde Asinyeniköy (Ovakışlacık) Çevresinin Yeraltısuyu Etüdü (yayınlanmamış rapor)

Arıkan, A., 2007. İkizce (Haymana-Ankara) ve çevresindeki yeraltı sularının kimyası ve bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, 97 sayfa, Ankara.

Atalay, İ., 1977. Burdur Havzası ve Çevresinin Jeomorfolojik Gelişimi. Jeomorfoloji Dergisi, 6, 93-110.

Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A, 1-42.

Barut, İ.F., 2001. Milas-Ekinambarı ve Savran tuzlu Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Araştırması, İ.Ü. Fen Bilimleri Ens. Doktora tezi, 162 s.

Canik, B., 1991. Milas-Kazıklı Bucak Köyü ve Dolayında Yeraltısuyu Arama Çalışmaları, Ahmet Acar Jeoloji Semp., Çukurova Ünv. Yayını, Ankara

Cederstorm, D.J., 1946. Genesis of Groundwaters in the Coastal. Plain of Virginia, Environmental Geology, 41(3), 218-245.

Chebboh, M., Allia, Z., 2015. Geochemistry and Hydrogeochemical Process of Groundwater in the Souf Valley of Low Septentriaonal Sahara, Algeria. African Journal of Environmental Science and Technology, 9(3), 261-273.

Cerling, T.E., Pederson, B.L., Damm, K.L.V., 1989. Sodium calcium ionexchange in weathering of shale; implication for global weathering. Budget, 17, 552–554.

Çağlayan, M.A, Öztürk E.M., Öztürk, Z., Sav, H., Akat, U. 1980. Menders Masifi Güneyine Ait Bulgular ve Yapısal Yorum. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 10, 9-17. TMMOB JMO Yayını

Çuhadar, G., Tamgaç, S., 1994. Hidrojeolojik Etütlerde Su Kimyası Verilerini Toplama ve Değerlendirme Yöntemleri. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ Yayınları, Ankara, 1-22.

Darkot, B., Erinç, S., 1954. GB Anadolu'da Coğrafi Müşahadeler, İ.Ü. Coğ. Ens. Derg. No:5/6, C.3, 180-196.

Datta, P.S., Tyagi, S.K., 1996. Major ion Chemistry of Groundwater in Delhi Area: Chemical Weathering Processes and Groundwater Flow Regime. Journal of Geological Society India, 47, 179–188.

Davraz, A., Ünver, Ö., 2014. İnegöl Havzası (Bursa) Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Kalite Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(2), 7-21.

Dehnavi, A.G., Sarikhani, R., Nagaraju, D., 2011. Hydrogeochemical and rock water interaction studies in East of Kurdistan, N-W of Iran. Int J Environ Sci Res, 1(1), 16–22.

Delgi, A.Ş., 1990. Asin Ovası, Selimiye ve Tekfurambarı Ovalarının Yeraltısuyu Potansiyeli Etüdü, (yayınlanmamış özel rapor), Muğla-Milas.

Doneen, L.D., 1964. Water quality for agriculture. Department of Irrigation, University of Calfornia, Davis, 48.

Elango, L., Kannan, R., 2007. Rock-Water Interaction and Its Control on Chemical Composition of Groundwater, Developments in Environmental Science, vol. 5, Chapter 11, Elsevier.

Ercan, T., Günay, E., Baş, H., Can, B., 1982, Datça yarımadasının Pliyo-Kuvaterner jeolojisi, Jeoloji Müh. Derg.

Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltısuları jeolojisi. İTÜ Maden Fakültesi yayınları, İstanbul.

Eriksson, E., 1981. Aluminium in groundwater possible solution equilibria. Nord Hydrol 12:43–50

Erol, O., Yılmaz, Y., 1999. Jeomorfolojik Verilere göre Ege Grabenlerinin Oluşum Evreleri, I. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, İzmir.

Eroskay, S.O., Gözübol, A.M., Gürpınar, O., Şenyuva, T., 1992. Muğla - Gökova ile Milas - Savran ve Ekinambarı Karst Kaynaklarının Jeolojik ve Hidrojeolojik İncelemesi. Sonuç Raporu, DSİ Genel Müd. (yayınlanmamış)

Fisher, R.S., Mullican, F.W., 1997. Hydrochemical Evolution of Sodium-Sulfate and Sodium-Chloride Groundwater Beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans- Pecos, Texas, USA. Hydrogeology Journal, 10(4), 455–474.

Garcia, M.G.,Hidalgo, M., Blesa, M.A. 2001. Geochemistry of groundwater in thealluvialplain of Tucum´anprovince, Argentina. HydrogeologyJournal 9, 597–610.

Gibbs, R.J. 1973. Mechanisms controlling world water chemistry. Science 17: 1088–1090.

Han, D., Liang, X., Jin, M., Currell, M.J., Han, Y., Song, X., 2009. Hydrogeochemical Indicators of Groundwater Flow Systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. Environmental Management, 44, 243–255.

Jankowski, J.,Acworth, R.I. 1997. Impact of debris-flow deposits on hydrogeochemical process and the development of dry land salinity in the Yass River catchment, New South Wales, Australia. Hydrogeology Journal, 5(4), 71-88.

Johnson, C.C. 1979. Land application of waste-an accident waiting to happen. Groundwater, 17(1), 69-72.

Kartal, G., Kahvecioğlu, Ö., Güven, A., Timur, S., 2004. Metallerin çevresel etkileri-II. Metalurji dergisi, 137, 46-51.

Katz, B.G., Coplen, T.B., Bullen, T.D., Davis, J.H., 1998. Use of Chemical and Isotopic Tracers to Characterize the Interaction between Groundwater and SurfaceWater in Mantled Karst. Groundwater 35, 1014–1028

Kayan, İ., 1973. Mandalya Körfezi Doğusunda Jeomorfoloji Araştırmaları, ankara Ünv. D.T.C. Fak. Doktora Tezi (yayınlanmamış), 94 s.

Kuldip, S., Hundal, H.S., Dhanwinder, S., 2011. Geochemistry and Assessment of Hydrogeochemical Processes in Groundwater in the Southern Part of Bathinda District of Punjab, Northwest India. Environmental Earth Science, 64, 1823-1833.

Langelier, W.F., Ludwig H.F., 1942. Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters: American Water Works Association Journal, V. 34, p. 335 – 352.

Martinez, D.E., Bocanegra, E.M., 2002. Hydrogeochemistry and Cation Exchange Processes in the Coastal Aquifers of Mar Del Plata, Argentina. Hydrogeology Journal, 10, 393 -408.

Maya, A.L., Loucks, M.D., 1995. Solute and Isotopic Geochemistry and Groundwater Flow in the Central Wasatch Range, Utah. Journal of Hydrology, 172, 31– 59.

Mayback, M., 1987. Global Chemical Weathering of Surficial Rocks Estimated from River-Dissolved Loads., American Journal of Science, 287, 401–428.

Meşhur, M., Yoldemir, O., Akpınar, M., Öztaş, Y., Alkan, H., 1995. Batı Toroslar'ın Jeolojisi ve Petrol Olanakları, TPAO Arama Grubu Başkanlığı (yayınlanmamış), Ankara

Müller, G., 1956. Güney Ege Bölgesindeki Termal Kaynakların Islahına Ait Rapor, MTA Raporu, (Yayınlanmamış)

Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques, Springer- Verlag, 263 pages

Okay, İ.A., 1989. Denizli'nin Güneyinde Menderes Masifi ve Likya Naplarının Jeolojisi, MTA Dergisi, 109, 45-58, Ankara.

Öztürk, A., Koçyiğit, A., 1982. Stratigraphy of Menderes Massive Rocks In Selimiye and Beşparmak Region (Muğla), TJK Bülteni no:25.

Piper, A. M.,1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union, vol. 25, p. 914-923.

Ragunath, H.M., 1987. Groundwater. New Delhi: Wiley.

Rajmohan, N. and Elango, L., 2004. Identification and Evolution of Hydrogeochemical Processes in the Groundwater Environment in an Area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. Environmental Geology, 46, 47-61.

Ramesh, K., Elango, L., 2012. Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. Environ Monit Assessment, 184, 3887–3899.

Schoeller, H., 1965. Qualitative evaluation of groundwater resources. In Methods and techniques of groundwater investigations and development (pp. 54–83). Paris: UNESCO.

Schoeller, H., 1967. Qualitative evaluation of groundwater resources. In Methods and techniques of groundwater investigation and development. Water Research, Series-33 (pp. 44–52) Paris: UNESCO.

Singh, A.K., Hasnain, S.I., 1999. Environmental geochemistry of Damodar river basin- east coast of India. Environmental Geololgy, 37, 124-136.

Singh, A.K., Mahato, M.K., Neogi, B., Tewary, B.K., Sinha, A., 2012. Environmental geochemistry and quality assessment of mine water of Jharia coalfield, India. Environ Geol, 65, 49–65.

Szabolcs, I., Darab, C., 1964. The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. In I. Szabolics (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, 548s, İzmir.

TSE-266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü –Ankara.

Turc, L., 1954. Le bilan d'eau des sols: Relations entre les precipitations, l'evaporation et l'ecoulement. Annales Agronomiques, 5, 491-595; 6, 5-131.

Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınlar Eğitim Dizisi, Ankara, 364s.

USSL, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA, Handbook, vol. 60, p. 147

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, 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. 3rd edition incorporating 1st and 2nd addenda, Volume 1, World Health Organization.

WHO, 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4th edition, World Health Organization.

Yüzer, E., 1972. Milas-Alagün Turistik Yerleşme Alanının Hidrojeolojik Etüd Raporu, (yayınlanmamış özel rapor), İstanbul

EKLER

EK A Haritalar.

570000 575000 580000 585000

412500 412000 411500

Yargöçen Tepesi
Kocadağ
A'
Tomruk Tepesi
Ağıl Tepesi
Yasgam Tepesi
KALINAĞIL
ÇAMLIBELEN
Tahtadam Tepesi
Anbarlık Tepesi
Çatal Tepesi
Marap Tepesi
Ktk
Baldıranyarı Tepesi
Sarnıç Tepesi
Mzm
P Tr g
Zeytinlibelen Tepesi
Cavran Tepesi
ASLANYAKA
Dededom
Kocabelen Tepesi
Çultutmaz Tepesi
Karataş
Çalca Tepesi
Kandıra Tepesi
Bilelik Tepe
ULAŞ
Har Tepe
Köybaşı
Gökdağ Tepesi
Çamlıger Tepesi
P Tr g
Karayer
Gökbel
Ty
Karaalan Tepesi
Sarısubaşı Tepesi
Gelinlik Tepesi
Kalabak Tepesi
B
ÇAMKÖY
Zeytindağı Tepesi
B'
A
Deliktas Tepesi
Kellegömülen Tepesi
İncirköy
Su Çıktı Kaynağı

N

Açıklamalar

- İnceleme Alanı Sınırı
- Mevsimlik Akarsular
- Kaynaklar
- Tepeler
- Yollar

Yerleşim Merkezleri

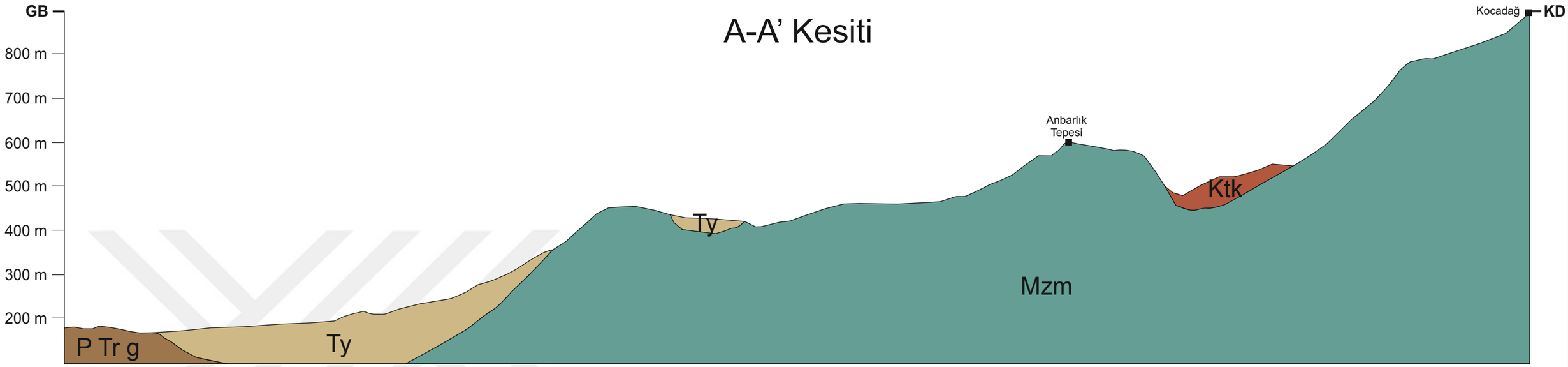
- Mahalle
- Köy

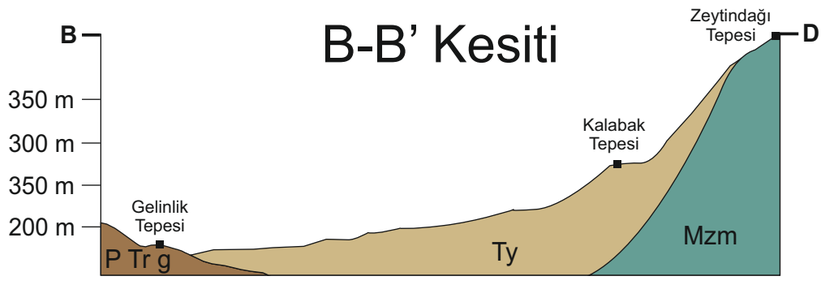
Jeolojik Formasyonlar

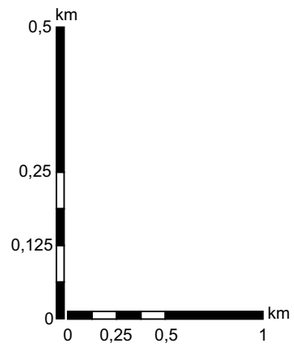
- Yatağan Formasyonu
- Kalınağıl Formasyonu
- Milas Formasyonu
- Güllük Gormasyonu

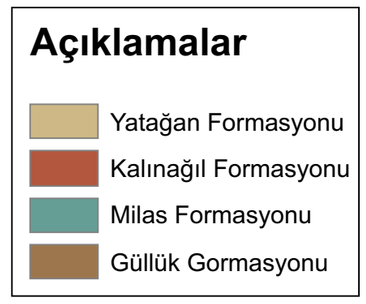
0 0,5 1 2 3 4 km

Ek A.1. Çamköy (Milas-Muğla) ve Yakın Çevresinin Jeoloji Haritası
Taha ÜNAL-2018









Ek A.2. Çamköy (Milas-Muğla) ve Yakın Çevresinin Jeoloji Kesitleri
Taha ÜNAL-2018

570000 575000 580000 585000

412500 412000 411500

Yargöçen Tepesi
Kocadağ
Tomruk Tepesi
Ağıl Tepesi
Yasgam Tepesi
KALINAĞIL
ÇAMLIBELEN
Tahtadam Tepesi
Anbarlık Tepesi
Çatal Tepesi
Marap Tepesi
Baldıranyarı Tepesi
Sarnıç Tepesi
Zeytinlibelen Tepesi
Cavran Tepesi
Dededom
ASLANYAKA
Kocabelen Tepesi
Çultutmaz Tepesi
Karataş
Çalca Tepesi
Kandıra Tepesi
Bilelik Tepe
ULAŞ
Har Tepe
Köybaşı
Gökdağ Tepesi
Çamlıger Tepesi
Karayer
Gökbel
Karaalan Tepesi
Gelinlik Tepesi
Kalabak Tepesi
ÇAMKÖY
Zeytindağı Tepesi
Deliktaş Tepesi
Kellegömülen Tepesi
İncirköy
Su Çıktı Kaynağı

Açıklamalar

- İnceleme Alanı Sınırı
- Akifüj Ortam
- Erime Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi
- Verimli Kaya Ortam Akiferi
- Mevsimlik Akarsular
- Kaynaklar
- Tepeler
- Şahıs Kuyuları

DSİ Kuyuları

- Araştırma Kuyuları
- Kooperatif Kuyuları
- İçmesuyu Kuyuları

Yerleşim Merkezleri

- Mahalle
- Köy

N

0 0,5 1 2 3 4 km

Ek A.3. Çamköy (Milas-Muğla) ve Yakın Çevresinin Hidrojeoloji Haritası

Taha ÜNAL-2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Taha ÜNAL

Doğum Yeri ve Yılı : Merzifon, 1987

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : tahaunal@yandex.com.tr

Eğitim Durumu

Lise : Merzifon Anadolu Lisesi, 2004

Lisans : SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği

Mesleki Deneyim

ABM Maden Enerji Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti.	2009-2010
DSİ 21. Bölge Müdürlüğü	2012-…….. (halen)