SAVCILI-BÜYÜKOBA (KIRşEHIşR-KAMAN) SICAK VE MIşNERALLIşSU KAYNAJÎ ININ HIşDROJEOKIşMYASAL IşNCELENMESIş

HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THERMAL AND MINERAL WATER OF SAVCILI-BUYUKOBA (KIRSEHIR-KAMAN)

CANSU YURTERIş

PROF. DR. şAKIşR şIşMşEK

Tez Danēşmanē

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eĵ itim-Öĵ retim ve Sēnav Yönetmeliĵ inin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliĵ i Anabilim Dalēiçin Öngördüĵ ü

YÜKSEK LIşSANS TEZIşolarak hazērlanmēştēr.

2014

CANSU YURTERİ'nin hazırladığı "**Savcılı-Büyükoba (Kırşehir-Kaman) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağının Hidrojeokimyasal İncelenmesi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLOJİ (HİDROJEOLOJİ) MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet ÇELİK .....
Başkan

Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK .....
Danışman

Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ .....
Üye

Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN .....
Üye

Yrd. Doç. Dr. Türker KURTTAŞ .....
Üye

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme..

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

• tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

• görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

•başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,

• atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,

• kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,

• ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

14 / 01 / 2015

Cansu YURTERİ

ÖZET

SAVCILI-BÜYÜKOBA (KIRŞEHİR-KAMAN) SICAK VE MİNERALLİ SU KAYNAĞININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Cansu YURTERİ

Yüksek Lisans, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK

Aralık 2014, 125 sayfa

Bu çalışmada Kaman ve civarında yer alan sıcak ve mineralli suların kökenlerinin, kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve soğuk su kaynakları ile olan ilişkilerinin aydınlatılması ve bağlı bulunduğu jeotermal sistemin açıklanması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanında jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya çalışmaları yapılmıştır.

Çalışma alanı, Ankara'nın 150 km güneydoğusunda Hirfanlı Barajı'nın 5 km kuzeyinde Kırşehir ili Kaman ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında temelde, Kırşehir masifi olarak bilinen Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler gözlenmektedir. Kırşehir masifinin metamorfik serileri, Üst Kretase yaşlı pelajik çökellerle ara katkılı bazik volkanoklastik kayalardan oluşan ofiyolitli melanj birimleri tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Bu birimler magmatik etkinliğe bağlı olarak yüzeyleyen Mesozoyik (Üst Kretase-Paleosen?) yaşlı monzonitli granitler tarafından kesilmektedir. Bu birimleri uyumsuzlukla taban konglomerası ile başlayıp kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı ile devam eden Eosen yaşlı (Lütesiyen) seri ile Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonu örtü birimleri üzerlemektedir. En üstte ise gevşek çimentolu kum ve çakıllardan oluşan en çok Hamamözü dere yatağı ve çevresinde gözlenen Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler yer almaktadır. Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında genel süreksizlik doğrultuları KD-GB, KB-GD olup önemli yapısal oluşumlardır. Sıcak sular bu fayların birbirlerini kestiği yerlerde yüzeylenmektedir.

Çalışma alanında temel kaya olan Paleozoyik yaşlı Kırşehir metamorfik birimleri geçirimsiz özelliktedir. Ancak, genç tektonik etkinliklerle ikincil gözeneklilik kazanmış olan mermerlerin ve granodiyoritlerin faylı ve kırıklı zonları yerel olarak geçirimli olup akifer özelliğindedir. Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı birimler örtü kayaç niteliğinde olup, çökel birimler içindeki taban çakıltaşları ve kireçtaşları yerel akifer oluşturmaktadır. Hamamözü dere yatağında yer alan çakıl, kum ve kilden oluşan alüvyonlar ise önemli soğuk su akiferleridir.

Alandaki sıcak ve mineralli suların sıcaklık değerleri 30.01°C-34.6°C ve özgül elektriksel iletkenlikleri 513-565 *µS/cm* arasında değerler göstermektedir. Kıyon içeriklerine göre sıcak ve mineralli sular Na-Cl, soğuk sular ise Ca-HCO_3ölü sular sınıfına girmektedir. Mineral doygunluk hesaplamalarına göre bölgedeki sıcak su kaynaklarının anhidrit, jips gibi sülfatlı mineraller ile halit ve silise doygun olmadıkları, ancak bu suların kalsedon, kuvars gibi silis mineralleri ile kalsit, dolomit, aragonit gibi karbonatlı minerallere doygun olduklarını belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre, yüzeye çıkan sıcak suların kabuklaşma yapıcı özellikte olduğunu göstermektedir. Bölgedeki sıcak suların yerel meteorik su doğrusu üzerinde yer almaları bu suların meteorik kökenli olduğuna işaret etmektedir.

Sıcak suların düşük ^3H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli yer altı dolaşımlı meteorik kökenli sular olduğunu göstermektedir. Savcılı-Büyükoba jeotermal alanının rezervuar sıcaklığı, silis jeotermometresi ile 69-72°C aralığında hesaplanmıştır.

Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında oluşturulan kavramsal hidrotermal modele göre; bölgede yer alan sıcak ve mineralli su kaynağı, meteorik kökenli suların kırık, çatlak ve fay zonları boyunca birimlerden yeraltına süzülmesi ve jeotermal gradyan etkisi ile ısınması, geçirimli sıcak su akiferinde depolanması ve yine fay zonlarından yüzeye çıkışı ile oluşmaktadır.

Anahtar kelimeler: Sıcak ve mineralli sular, hidrojeokimya, çevresel izotop, jeotermal, Savcılı, Kaman, Kırşehir

ABSTRACT

HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THERMAL AND MINERAL WATER OF SAVCILI-BUYUKOBA (KIRSEHIR-KAMAN)

Cansu YURTERĶ

Master of Science, Department of Geological (Hydrogeological) Engineering

Supervisor: Prof. Dr. ķakir ķĶMķEK

December 2014, 125 pages

The aim of this study is to clarify the origin of thermal and mineral waters, connected with geothermal system and the relationship between cold and thermal waters in Savcili (Kirsehir) and its vicinity. Accordingly geological, hydrogeological and hydrogeochemical studies are carried out in the study area. The study area is located in Kaman province of Kirsehir city in Central Anatolia which is about 150 km southeast of Ankara and 5 km north of HirfanlēDam.

Basement rock observed in the study area is Paleozoic Metamorphics, also called Kirsehir Massif. The metamorphic rocks of Kērsehir massif is overlain tectonically by ophiolitic melange units which are consisting of basic volcanoclastic rocks intercalated with pelagic deposits of Late Cretaceous age. These units have been intruded by Baranadag Granitoids which are Mesozoic (Late Cretaceous-Paleocene?) age. The Eocene units which are consisted of terrestrial sediments (alternating conglomerate and sandstone) and Miocene-Pliocene (?) Kizilirmak Formation unconformably overlie Mesozoic units. Quaternary alluvium unconformably overlie older formations which is the youngest unit in the study area and located along the Hamamozu stream in the middle of the area. Savcili-Buyukoba geothermal area is controlled by mainly NE-SW and NW-SE faults. Thermal waters emerged along the intersection of the faults.

Paleozoic metamorphics of the Kirsehir Massif which are the basement rocks of the study area are impermeable. However, because of the secondary porosity developed due to active tectonics, faults and jointed zones of marbles and granitoids are permeable and show local aquifer character in the study area. Eocene and Miocene-Pliocene sediments exhibit cap rock properties and terrestrial units of formations which are consisted of conglomerates and local limestones may have local importance as an aquifer. Alluvium in the Hamamozu stream is part of the Savcili-Buyukoba geothermal area which forms the main cold groundwater aquifers.

Temperature of thermal waters in the field changes between 30.01-34.6°C and electrical conductivity values change between 513-565 (*µS/cm).* According to ionic content, the hydrochemical facies of the thermal waters Na-Cl and cold waters have Ca-HCO_3 type. According to the mineral saturation calculations, it was found out that espeacially hot water springs are saturated with respect to quartz, chalcedony, calcite, aragonite and dolomite minerals. Therefore, the thermal waters may display scale forming behaviour. Thermal waters of the study area located along the Local Meteoric Water Line (LMWL) and this suggests that geothermal waters have a meteoric origin.

The low tritium content of thermal waters show that the thermal aquifer of Savcili-Buyukoba geothermal area is recharged by groundwater having relatively long residence time which represents a deep groundwater circulation system. Temperature of reservoir was calculated as 69-72°C by silica geothermometry.

According to the conceptual hydrothermal model developed by geological, hydrogeological and geochemical data obtained in the research area, thermal waters in Savcili-Buyukoba area are formed by precipitation infiltrated through faulted and fractured zones, then meteoric origin waters heated by the geothermal gradient and returned to the surface through permeable zones.

Keywords: Thermal and mineral waters, hydrogeochemistry, environmental isotope, geothermal, Savcili, Kaman, Kirsehir.

TEŞEKKÜR

Yazar bu çalışmanın çeşitli aşamalarında destek ve katkılarından dolayı, akademik adı geçen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder.

Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK (Tez Danışmanı), çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübeleri ile araştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, saha, laboratuvar ve değerlendirme çalışmalarında yol gösterici olmuş, maddi ve manevi katkıda bulunmuştur.

Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ (H.Ü), Prof. Dr. Mehmet ÇELİK (A.Ü), Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN (H.Ü), Yrd. Doç. Dr. Türker KURTTAŞ (H.Ü) tezin her aşamasında önerileri ve yorumlarıyle katkıda bulunmuşlardır.

Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ (HÜ) Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) ölçüm cihazlarından yararlanmamı sağlamış ve duraylı izotop analizlerini gerçekleştirmiştir.

Prof. Dr. Serdar BAYARI (HÜ), Doç. Dr. N. Nur ÖZYURT (HÜ), Kimya Mühendisi Füsun MUSLU (HÜ) ve Kimyager Esin ÖNCEL (HÜ) su kimyası analizleri ve trityum analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Hidrojeoloji Mühendisi Deniz ÖZBEK, Jeoloji Yüksek Mühendisi Ziynet Nur ŞİMŞEK, Jeoloji Yüksek Mühendisi Taygun UZELLİ, Hidrojeoloji Mühendisi Ökem ÇELEM arazi çalışmalarının gerçekleştirilmesinde yardımcı olmuşlardır.

Son olarak tezimin her aşamasında manevi desteklerinden dolayı yanımda olan aileme içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
ÇİZELGELER ix
SİMGELER VE KISALTMALAR xiv
1.GİRİŞ 1
1.1. Amaç ve Kapsam 1
1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri 1
1.3. İnceleme Alanının Yeri 2
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü 4
1.5. Doruk Ağı ve Hidrografya 9
1.6. Ulaşım Olanakları 10
1.7. Önceki Çalışmalar 10
2.İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ 12
2.1. Genel Stratigrafi 12
2.1.1. Paleozoyik 17
2.1.2. Mesozoyik 19
2.1.3. Senozoyik 21
2.1.4. Kuvaterner 23
2.2. Yapısal Jeoloji 24
2.3. Jeolojik Evrim 24
3.HİDROJEOLOJİ 26
3.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri 26
3.1.1. Geçirimsiz Birimler 26
3.1.2. Geçirimli Birimler 27
3.1.3. Yarıgeçirimli Birimler 30
3.2. Su Kaynakları 30
3.2.1. Soğuk Su Kaynakları 30
3.2.2. Baraj ve Gölet 37
3.2.3. Sıcak Su Kaynakları 38
3.2.4. Sıcak Su Kuyuları 39
3.2.5. Jeofizik Çalışmalar 43
4.HİDROJEOKİMYA 46

4.1. Suların Fiziksel Özellikleri 49
4.1.1. Sıcaklık (T) 50
4.1.2. Özgül Elektriksel İletkenlik (ÖEİ) 50
4.1.3. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH) 51
4.2. Suların Kimyasal Özellikleri 54
4.2.1. Majör İyonlar 54
4.2.2. Kirliliğe Yönelik Analizler (Besin Tuzları) 60
4.2.3. Ağır Metal Analizleri 62
4.3. İnceleme Alanındaki Suların Kökeni 67
4.3.1. Su kaynaklarının iyon karakteristikleri 67
4.3.2. Schoeller Diyagramı 68
4.3.3. Piper Diyagramı 70
4.4. Sulama Suyu Sınıflandırılması 73
4.4.1. Wilcox Diyagramı 73
4.4.2. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı 75
4.5. Jeotermometre Uygulamaları 79
4.5.1. Silis Jeotermometreleri 80
4.5.2. Katyon Jeotermometreleri 82
4.5.3. Savcılı Büyükoba Sıcak ve Mineralli Su Kaynağının Rezervuar Derinliğinin Hesaplanması 86
4.6. Suların Mineral Doygunlukları 86
5. İZOTOP HİDROLOJİSİ 92
5.1. Örnekleme ve Analiz Çalışmaları 92
5.2. Duraylı İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi 92
5.2.1. Oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ile Döteryum ($\delta^{2}H$) 93
5.2.2. $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$, yükselti ilişkisi 97
5.2.3. Oksijen18 ($\delta^{18}O$) ile Elektriksel İletkenlik (Eİİ) İlişkisi 99
5.2.4. Oksijen18 ($\delta^{18}O$) ile Sıcaklık (°C) İlişkisi 101
5.2.5. Trityum (^{3}H) 103
5.2.6. Trityum (TU) ile Elektriksel İletkenlik (Eİİ) 105
5.2.7. Trityum (TU) ile Klorür (Cl^{-}) 107
5.2.8. Trityum (^{3}H) ile Döteryum ($\delta^{2}H$) İlişkisi 108
5.2.9. Trityum (^{3}H) ile Oksijen18 ($\delta^{18}O$) İlişkisi 110
6. KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODEL 112
6.1. Jeotermal Akışkanın Kökeni ve Beslenme Alanı 112
6.2. Hazne (Rezervuar) Kaya ve Yayılımı 113

6.3. Isē Kaynaĵ ē 115
6.4. Örtü Kayaç 116
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 117
KAYNAKLAR 120
EKLER 124
ÖZGEÇMİŞ 125

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1.1. İnceleme alanındolayındaki meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama yağış değerleri (mm) 7
Çizelge 1.2. İnceleme alanındolayındaki meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C) 7
Çizelge 3.1. İnceleme alanıve yakın çevresinde yeralan soğuk su kaynaklarına ait bilgiler 31
Çizelge 3.2. Savcılı Büyükoba Jeotermal Alanında Açılan Sıcak Su Kuyularıve Sıcak Su Kaynağı 40
Çizelge 4.1. Çalıkma alanında örnekleme yapılan su noktalarının UTM Koordinatları 47
Çizelge 4.2. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Mart-2014) 52
Çizelge 4.3. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Ağustos-2014) 53
Çizelge 4.4.a. Çalıkma alanından derlenen su örneklerine ait kirlilik analiz sonuçları (Mart-2014) 60
Çizelge 4.4.b. Çalıkma alanından derlenen su örneklerine ait kirlilik analiz sonuçları (Ağustos-2014) 60
Çizelge 4.5. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerine ait ağır metal analizleri (Mart 2014) 63
Çizelge 4.6. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerine ait ağır metal analizleri (Ağustos 2014) 64
Çizelge 4.7. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların iyon sıralaması 68
Çizelge 4.8. Silis jeotermometre eşitlikleri (S=ppm olarak SiO_2 derişimidir.) 81
Çizelge 4.9. Sıcak su kaynaklarıiçin silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (Mart-Ağustos 2014) 81
Çizelge 4.10. Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppmdir). 82
Çizelge 4.11. Çalıkma alanındaki sıcak sular için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan 83
rezervuar sıcaklıkları (°C) 83
Çizelge 4.12.a. İnceleme alanında yer alan suların Doygunluk İndisi (SI) değerleri (Mart 2014) 88
Çizelge 4.12.b. İnceleme alanında yer alan suların Doygunluk İndisi (SI) değerleri (Ağustos 2014) 88
Çizelge 5.1. İnceleme alanındaki örneklerin duraylıizotop içerikleri (Mart 2014) 93

Çizelge 5.2. Kıyıceleme alanındaki örneklerin duraylıizotop içerikleri (Ağustos 2014) 93
Çizelge 5.3. Kıyıceleme alanındaki su örneklerinin Trityum (^3H) analiz sonuçları(Mart 2014) 103
Çizelge 5.4. Kıyıceleme alanındaki su örneklerinin Trityum (^3H) analiz sonuçları(Ağustos 2014) 104

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1.1. İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası 3
Şekil 1.2. İnceleme alanı ve yakın çevresi yağış gözlem istasyonlarının dağılımı 6
Şekil 1.3. İnceleme alanı yakınındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm) 6
Şekil 1.4. İnceleme alanına yakın meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimi 8
Şekil 1.5. Savcılı DMİ'ye ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimi (1985-2004) 8
Şekil 1.6. İnceleme alanının doruk ve akarsu ağı haritası 9
Şekil 2.1. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Kara ve Dönmez [25]'den değiştirilerek hazırlanmıştır.) 13
Şekil 2.2. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Jeoloji Haritası (1/100000) 14
Şekil 2.3. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Jeoloji Haritası (1/25000) 15
Şekil 2.4. İnceleme Alanının Jeoloji Kesitleri 16
Şekil 2.5. İnceleme alanının kuzeyindeki Paleozoyik yaşlı mermer birimleri ile (Pzke) Baranadağı Granitoyidinin (Kb) dokanağı 18
Şekil 2.6. İnceleme alanının çok geniş bir bölümünde yüzeyleyen Baranadağı Granitoyidleri 20
Şekil 2.7. İnceleme alanının güneydoğu usunda yer alan türbiditik seviyelerden oluşan Eosen yaşlı kumtaşlarının görünümü 22
Şekil 2.8. İnceleme alanının güneyinde yer alan kırmızı-kahve renkli karasal çamurtaşlarından oluşan Kızılırmak Formasyonu 23
Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafik kesiti 28
Şekil 3.2. İnceleme alanı ve yakın çevresinin hidrojeoloji haritası 29
Şekil 3.3. İnceleme alanı ve yakın çevresinin hidrojeoloji kesiti 30
Şekil 3.3. Pamuklar Kaynağı (KSBO-1) 31
Şekil 3.4. Tamadağı Kaynağı (KSBO-2) 32
Şekil 3.5. Çağlayan Kaynağı (KSBO-3) 33
Şekil 3.6. Yelek Köyü Cevizin Kakı Kaynağı (KSBO-4) 34
Şekil 3.7. Kızıla Köyü Girişi Savcılı Kızıla Kaynağı (KSBO-7) 35
Şekil 3.8. Eseninkaş Kaynağı (KSBO-10) 36
Şekil 3.9. Pamukluk Tepe Kaynağı (KSBO-13) 37
Şekil 3.10. Savcılı Büyükoba sıcak su kaynağı ve sıcak su boşalımı (KSBO-9b) 38
Şekil 3.11. Savcılı Büyükoba sıcak ve minerali su kaynağı (KSBO-9a) 39

Şekil 3.12. Hamamözü Deresi yakınında yer alan SB-2 sıcak su sondaj kuyusu.....41
Şekil 3.13. Savcılı-Büyükoba ve yakın çevresinde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından açılan sıcak su kuyularının özellikleri ve litolojik logları[36].....42
Şekil 3.14. Kırkehir-Kaman Savcılı-Büyükoba Sahası için Sıcaksu Aramaları kapsamında AB/2=500 m için Eşrezistivite Haritası.....43
Şekil 3.15. Kırkehir-Kaman Savcılı-Büyükoba Sahası için sıcaksu aramaları kapsamında örtü kayacın taban topografya haritası.....44
Şekil 4.1 İnceleme alanındaki su örnekleme noktalarının lokasyon haritası.....48
Şekil 4.2. Kimyasal analiz için a) Çağlayan Kaynağı b) Pamukluk Tepe'den su örneklerinin alınması.....49
Şekil 4.3. İnceleme alanındaki örneklerin anyon ve katyon dağılımları (Mart 2014).....58
Şekil 4.4. İnceleme alanındaki örneklerin anyon ve katyon dağılımları (Ağustos 2014).....59
Şekil 4.5. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Mart 2014).....69
Şekil 4.6. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Ağustos 2014).....70
Şekil 4.7.a. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper Diyagramı (Mart 2014).....71
Şekil 4.7.b. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper Diyagramı (Ağustos 2014).....72
Şekil 4.8.a. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Wilcox diyagramı (Mart 2014).....74
Şekil 4.8.b.Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Wilcox diyagramı (Ağustos 2014).....75
Şekil 4.9.a. Mart 2014 dönemi sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.....78
Şekil 4.9.b. Ağustos 2014 dönemi sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.....79
Şekil 4.10. Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg üçgeninde Giggenbach [49] denge durumları.....84
Şekil 4.11.a. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Mart 2014).....89
Şekil 4.11.b. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Ağustos 2014).....90
Şekil 4.12.a. İnceleme alanındaki sıcak sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Mart 2014).....90
Şekil 4.12.b. İnceleme alanındaki sıcak sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Ağustos 2014).....91
Şekil 5.1. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$ grafiği (Mart-2014).....96
Şekil 5.2. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$ grafiği (Ağustos-2014).....96
Şekil 5.3. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}O$-yükselti grafiği.....98
Şekil 5.4. İnceleme alanındaki suların $\delta^{2}H$-yükselti grafiği.....99

Şekil 5.5. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}O$-EİK 25°C (µS/cm) grafiği (Mart 2014) 100
Şekil 5.6. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}O$-EİK 25°C (µS/cm) grafiği (Ağustos 2014) 100
Şekil 5.7. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}O$-Sıcaklık (°C) grafiği (Mart 2014) 101
Şekil 5.8. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}O$-Sıcaklık (°C) grafiği (Ağustos 2014) 102
Şekil 5.9. İnceleme alanındaki suların Trityum (^{3}H)-Elektriksel İletkenlik (EİK) ilişkisi (Mart 2014) 106
Şekil 5.10. İnceleme alanındaki suların Trityum (^{3}H)-Elektriksel İletkenlik (EİK) ilişkisi (Ağustos 2014) 106
Şekil 5.11. İnceleme alanındaki suların Trityum (^{3}H) -Klorür (Cl) İlişkisi (Mart 2014) 107
Şekil 5.12. İnceleme alanındaki suların Trityum (^{3}H)-Klorür (Cl) İlişkisi (Ağustos 2014).... 108
Şekil 5.13. İnceleme alanındaki suların Trityum (^{3}H)-Döteryum ($\delta^{2}H$) İlişkisi (Mart-2014). 109
Şekil 5.14. İnceleme alanındaki suların Trityum (^{3}H)-Döteryum ($\delta^{2}H$) İlişkisi (Ağustos-2014) 109
Şekil 5.15. İnceleme alanındaki suların Trityum (^{3}H)-Oksijen 18 ($\delta^{18}O$) İlişkisi (Mart-2014) 110
Şekil 5.16. İnceleme alanındaki suların Trityum (^{3}H)-Oksijen18 ($\delta^{18}O$) İlişkisi (Ağustos 2014) 111
Şekil 6.1. Savcılı-Büyükoba Jeotermal Alanının Kavramsal Hidrotermal Modeli..... 114

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

l/s	Litre/saniye
m	Metre
meq/l	Miliekivelan/litre
mg/l	Miligram/litre
pH	Hidrojen iyonu aktivitesi negatif logaritmasē
ppm	Milyondabir
K	Denge Sabiti
S	Tuzluluk
SI	Doygunluk indisi
T	Sēcaklīk (°C)
^{2}H	Döteryum
^{3}H	Trityum
^{18}O	Oksijen-18
ε mho/cm	Mikromho/santimetre
µS/cm	Mikrosimens/ santimetre
ŭ	Izotop deĵ ıkiminin SMOW'dan sapma miktarē

Kısaltmalar

Bkz	Bakınız
ÇO	Çözünmüş Oksijen
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİK	Elektriksel İletkenlik
HÜ	Hacettepe Üniversitesi
İÇAP	İyonik Aktivite Çarpımı
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ÖEİK	Özgül Elektriksel İletkenlik
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SMOW	Standart Mean of Ocean Water (Standart Ortalama Okyanus Suyu)
TÇM	Toplam çözünmüş madde miktarı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü
YGİ	Yağış Gözlem İstasyonu
UKAM	Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1.GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasında, Savcılı-Büyükoba (Kırşehir-Kaman) jeotermal alanında yer alan sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal ve izotopik verilerle değerlendirilmesi ile jeotermal sistemdeki akışkanın karakteri, akışkan mineral dengesi, yeraltında gelişen hidrojeokimyasal süreçler, rezervuar sıcaklığı ve ısı kaynağı gibi jeotermal sistemin yorumlanmasında gerekli olan karakteristik parametrelerin belirlenmesi ve bu veriler doğrultusunda Savcılı-Büyükoba Jeotermal Alanı için kavramsal hidrotermal modelin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu çalışmada inceleme alanında yer alan sıcak su kaynaklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılarak rezervuar litolojileri, izotop verileri ile sıcak su rezervuarının beslenme alanı ve bölgedeki yeraltısuyu dolaşım sisteminin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine ilişkin önceki çalışmalar incelenmiş olup saha çalışmalarıyla bu çalışmalar birlikte değerlendirilerek bölgenin litolojik ve hidrojeolojik özellikleri belirtilmiştir. Saha çalışmalarında sıcak ve mineralli su kaynakları ile soğuk su kaynaklarından örnekleme ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

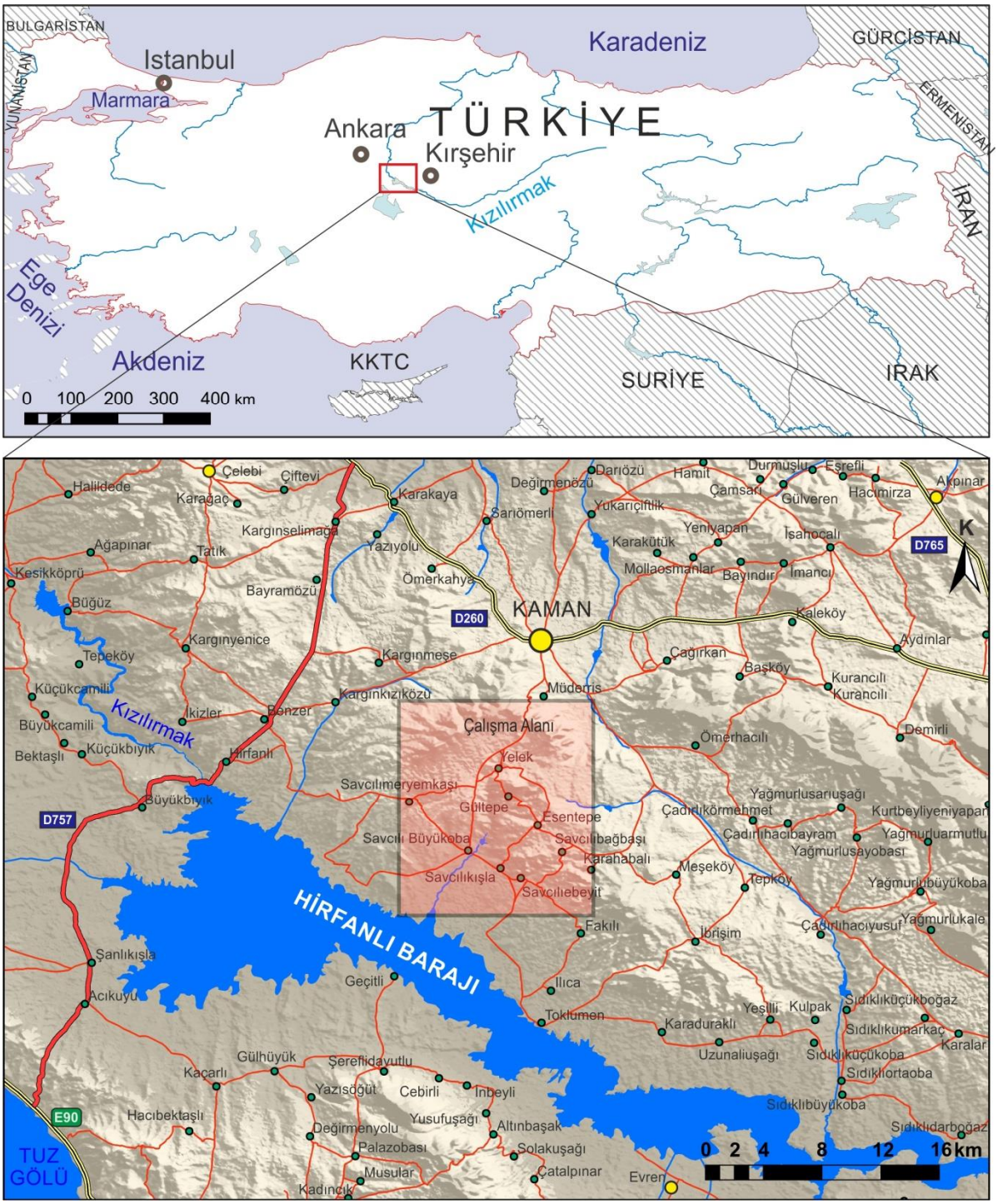
İnceleme alanındaki hidrojeolojik yapının açıklanabilmesi için öncelikle bölgedeki formasyonların litolojik özellikleri ve birbirleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Savcılı-Büyükoba jeotermal alanının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikli olarak büro çalışması kapsamında bölgede daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda 1/100000 ile 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları, saha gözlemleriyle değerlendirilerek söz konusu bölge için blok diyagram ve kesitleri oluşturulmuştur. İnceleme alanında 2013-2014 yıllarında saha çalışmaları yapılmış olup, inceleme alanı içerisinde yer alan soğuk ve sıcak sulardan mevsimsel örnekleme ve yerinde ölçüm çalışmaları yapılarak kimyasal ve izotopik analizler gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarından litoloji ve hidrojeolojik yapı arasındaki ilişkinin açıklanması için hidrojeokimyasal çalışmalarda yaygın olarak yararlanılan diyagramlar ve jeokimyasal model programları kullanılmıştır. İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar litolojileri su kimyası çalışmaları ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Savcılı Büyükoba jeotermal alanındaki hazne kayaç sıcaklıkları silis ve katyon jeotermometre eşitlikleri ile tahmin edilmiştir. İnceleme alanındaki kaynakların beslenme alanları duraylı izotoplar ile belirlenmiştir. Suların fiziksel ve kimyasal özellikleri izotop analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilerek bölgedeki yeraltısuyu dolaşım sistemi belirlenmeye çalışılmıştır.

1.3. İnceleme Alanının Yeri

İnceleme alanı İç Anadolu'da Ankara ilinin 150 km güneydoğusunda, Hirfanlı Barajının 5 km kuzeyinde, Kırşehir ili Kaman ilçesine bağlı Savcılı kasabasında yer almaktadır. Kaman, bağlı bulunduğu il olan Kırşehir'e 52 km uzaklıktadır. İçe, kuzeyinde Keskin, güneybatısında İçereflikoçhisar, doğusunda Akpınar ile güneydoğusunda merkez ilçe, batısında ise Çelebi tarafından çevrilmiştir (şekil 1.1). İnceleme alanı 1/25000 ölçekli Kırşehir J31-a3 ve J31-d2 paftalarında yaklaşık 60 km^2 lik bir alanı kapsamaktadır. Kırşehir ilinin batısında yer alan sıcak su kaynağı Kaman ilçesi sınırları içerisinde 39°13'K enlemleri ile 33°40'D boylamları arasında yer almaktadır. İncelenen sıcak su kaynağı Kaman'a 18 km, Savcılı'ya ise 2 km uzaklıkta Hamamözü deresi içerisinde yer almaktadır.

Çalışma alanı içindeki en önemli yerleşim merkezi Kırşehir'e bağlı Kaman ilçesidir. Ayrıca Kaman'a bağlı Savcılı Büyükoba, Yelek, Gültepe, Esentepe, Savcılıkışla, Savcılı Emeryemkakı ve Savcılı Şebeyit köyleri çalışma alanı içinde yer alan yerleşim yerleridir.



Şekil 1.1. İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası

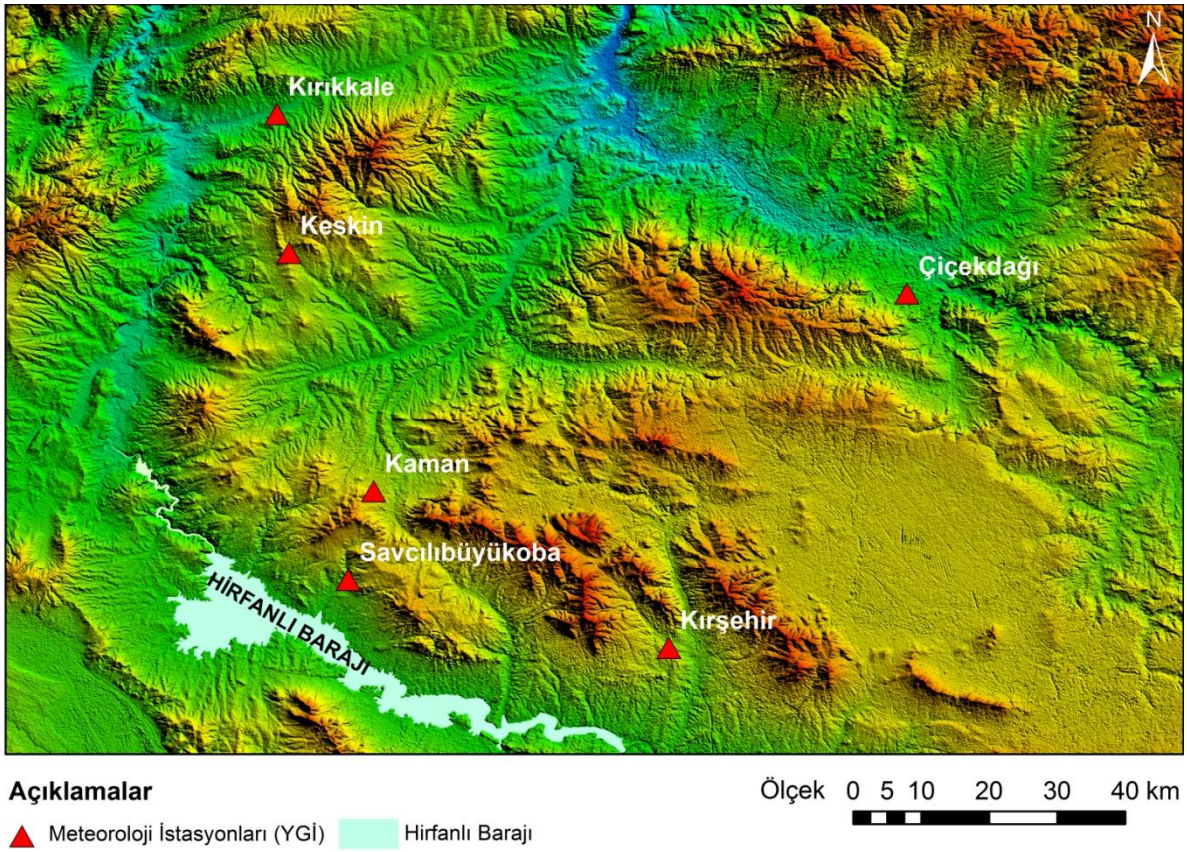
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Bölgede genel olarak İç Anadolu Bölgesinde hakim olan karasal iklim hüküm sürmektedir. Karasal iklimde yazlar kurak ve sıcak, kışlar soğuk geçmektedir. Yıllık yağışın büyük bir bölümü ilkbahar ve sonbaharda düşmektedir. İlkbahar aylarında ısınan havanın yükselmesi ile sık sık konveksiyonel yağışlar görülmektedir. Kış yağışları ise genelde cephesel yağışlardır. Yöre genelinde karasal iklim özellikleri görülmekle birlikte Hirfanlı Barajına 3 km mesafede kurulmuş olan Savcılı Büyükoba kasabasında iklim, baraj gölü nedeni ile daha ılıman hale gelmiştir.

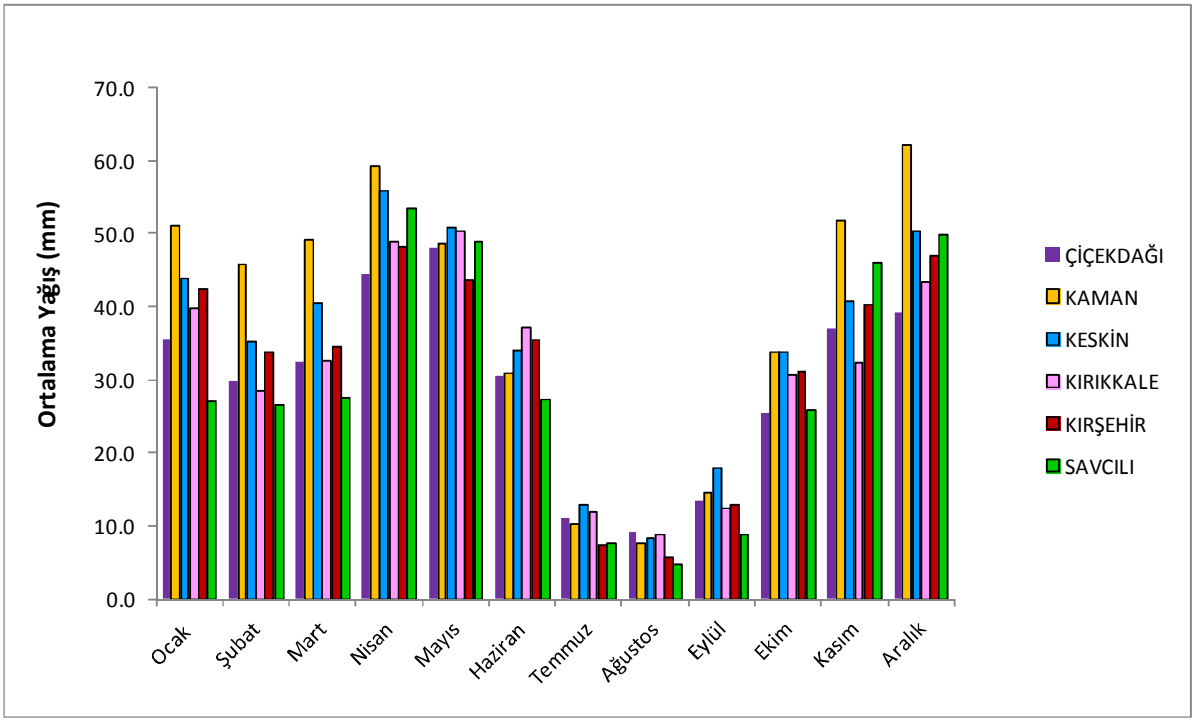
Bu çalışmada Savcılı Büyükoba jeotermal alanında yeraltı suyu besleniminin belirlenmesi amacıyla yağış ve sıcaklık bileşenleri incelenmiştir. Bu kapsamda inceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından işletilen istasyonların yağış ve sıcaklık verileri elde edilerek değerlendirilmiştir (şekil 1.2). Yağış Gözlem İstasyonları (YGİ) havzaya en yakın olanlardan seçilmiştir. Bazı istasyonlarda çeşitli nedenlerle ölçüm eksikliği olması nedeniyle eksik olan yıllar arasındaki veriler mümkün olan en yüksek korelasyon katsayısı ve en düşük standart hata dikkate alınarak tamamlanmıştır.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan 6 adet yağış gözlem istasyonunun 1968-2013 yılları arasındaki ölçümleri için hazırlanan aylık ortalama yağış grafiği incelendiğinde en yüksek yağışın 62.2 mm ile Aralık ayında, en düşük yağışın ise 4.7 mm ile Ağustos ayında; en düşük sıcaklığın -0.3°C ile Ocak, en yüksek sıcaklığın 24.6°C ile Temmuz ayında gerçekleştiği gözlenmiştir (Çizelge 1.1-1.2). İnceleme alanına çok yakın olması nedeniyle özellikle Savcılı Meteoroloji istasyonuna ait 1985-2004 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık ölçümleri değerlendirilerek değişimleri incelenmiştir. İnceleme alanı bu bölgenin yakınında yer aldığından bu iklim rejiminin etkisi altındadır. Buna göre Savcılı havzasına düşen yıllık ortalama yağış 353.7 mm, ortalama sıcaklık 12°C olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1.1-1.2). Temmuz ve Ağustos ayları en sıcak (23.7-23.9°C) ve kurak aylardır. Yılın en soğuk ayları ise Ocak ve şubat (0.3-1.4°C) aylarıdır. Savcılı Büyükoba Kasabasında en soğuk geçen aylar, Ocak ve şubat, en sıcak geçen aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Aylık uzun yıllar yağış ortalamasına göre en fazla yağış Nisan ayında 53.4 mm, en az yağış Temmuz ve Ağustos aylarında olmaktadır (şekil 1.5).

Step bitki örtüsü yörenin genel özelliklerindendir. İklim ve bitki örtüsü ormanlarca fakir ve kara ikliminin tümüyle yakandığı Kaman ve çevresinde bitki örtüsü bakımından dağlar çıplaktır. Ancak köylerinin orman dışı arazilerden oluktuğu ilçede, kavak, söğüt ve diğer meyve ağaçları sadece yaz aylarında yeşil örtüyü oluştururlar. Merkez ve kasaba belediyelerince gerekli ağaçlandırma çalışmalarının sürdürülmekte olduğu Kaman'ın Ömerkahya, Yazıyolu ve Bayındır köyleri ile Hamit Kasabası sınırları içerisinde yer yer meşe koruluklarını görmek mümkündür.



Şekil 1.2. İnceleme alanına yakın çevresi yağış gözlem istasyonlarının dağılımı



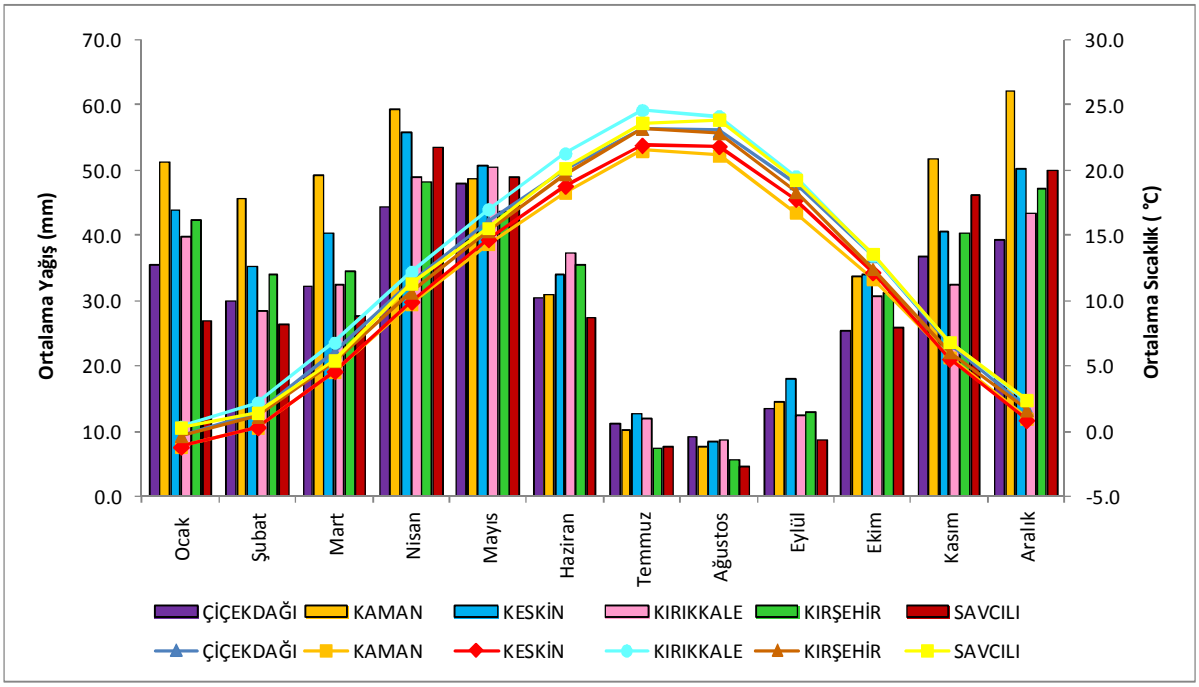
Şekil 1.3. İnceleme alanı yakınındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm)

Çizelge 1.1. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama yağış değerleri (mm)

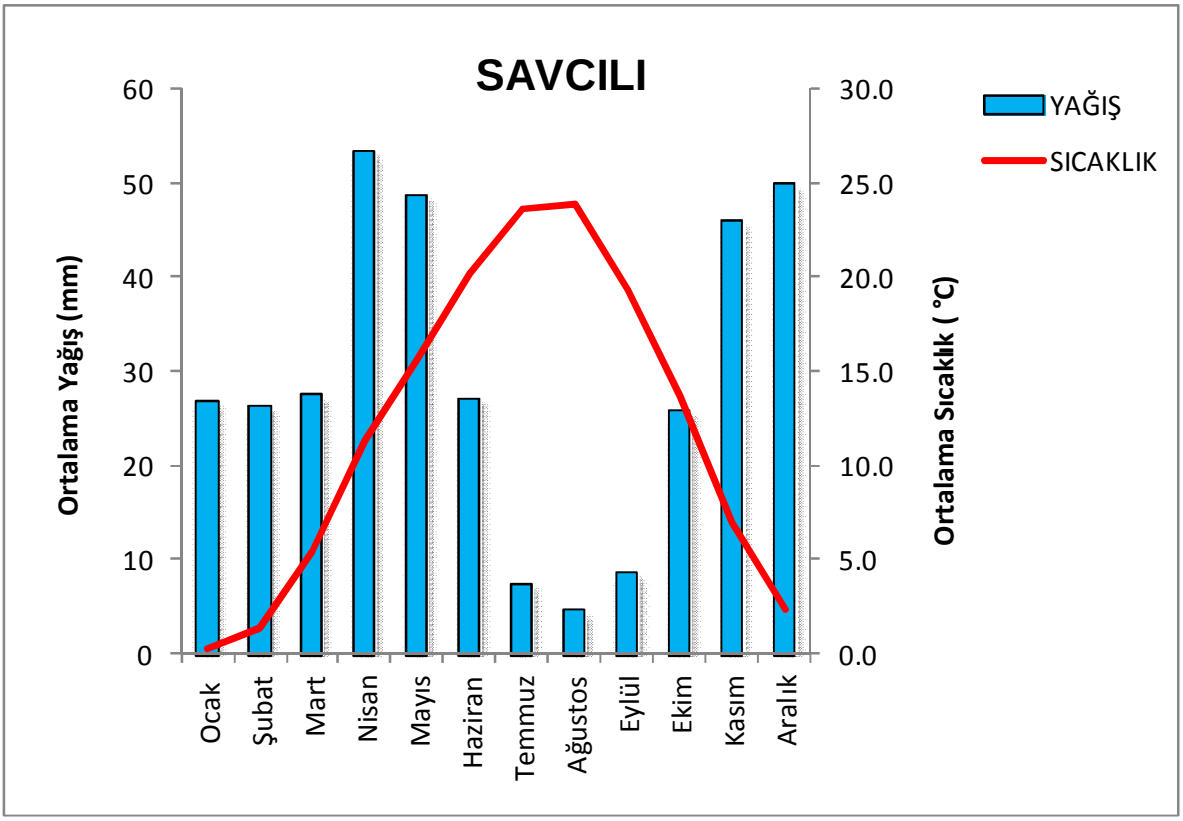
İstasyon Adı	Gözlem Süresi	Koordinatlar (m)		Yükselti (m)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
		X	Y														
ÇİÇEKDAĞI	1969-2011	622245	4385251	900	35.5	29.9	32.3	44.4	48.0	30.5	11.1	9.1	13.5	25.4	36.9	39.3	356.1
KAMAN	1968-2011	560888	4357724	1075	51.1	45.8	49.2	59.3	48.6	30.9	10.1	7.7	14.6	33.9	51.7	62.2	464.9
KESKİN	1968-2011	552509	4391286	1140	43.9	35.3	40.4	55.8	50.8	34.0	12.8	8.3	17.9	33.9	40.6	50.3	424.1
KIRIKKALE	1968-2013	544358	4410671	751	39.8	28.5	32.5	48.8	50.4	37.2	12.0	8.7	12.5	30.6	32.4	43.4	376.8
KIRŞEHİR	1968-2013	599914	4335782	1007	42.4	33.9	34.6	48.2	43.5	35.6	7.3	5.6	12.8	31.1	40.2	47.1	382.2
SAVCILI	1985-2004	535468	4332569	850	27.0	26.4	27.6	53.4	48.8	27.3	7.6	4.7	8.7	25.9	46.1	50.0	353.7

Çizelge 1.2. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C)

İstasyon Adı	Gözlem Süresi	Koordinatlar (m)		Yükselti (m)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)
		X	Y														
ÇİÇEKDAĞI	1968-2013	622245	4385251	900	-0.3	1.4	6.1	11.4	16.1	20.0	23.2	23.0	19.0	13.4	6.8	1.8	11.83
KAMAN	1968-2013	560888	4357724	1075	-1.2	0.3	4.6	9.8	14.4	18.3	21.5	21.1	16.8	11.7	5.7	1.0	10.32
KESKİN	1968-2013	552509	4391286	1140	-1.2	0.3	4.6	9.9	14.7	18.8	21.9	21.8	17.8	12.2	5.6	0.9	10.61
KIRIKKALE	1968-2013	544358	4410671	751	0.4	2.2	6.8	12.2	17.0	21.3	24.6	24.2	19.6	13.5	6.8	2.3	12.58
KIRŞEHİR	1968-2013	599914	4335782	1007	-0.3	1.1	5.4	10.7	15.4	19.7	23.2	22.9	18.3	12.4	6.1	1.6	11.37
SAVCILI	1985-2004	535468	4332569	850	0.3	1.4	5.5	11.3	15.6	20.2	23.7	23.9	19.3	13.6	6.9	2.4	12.00



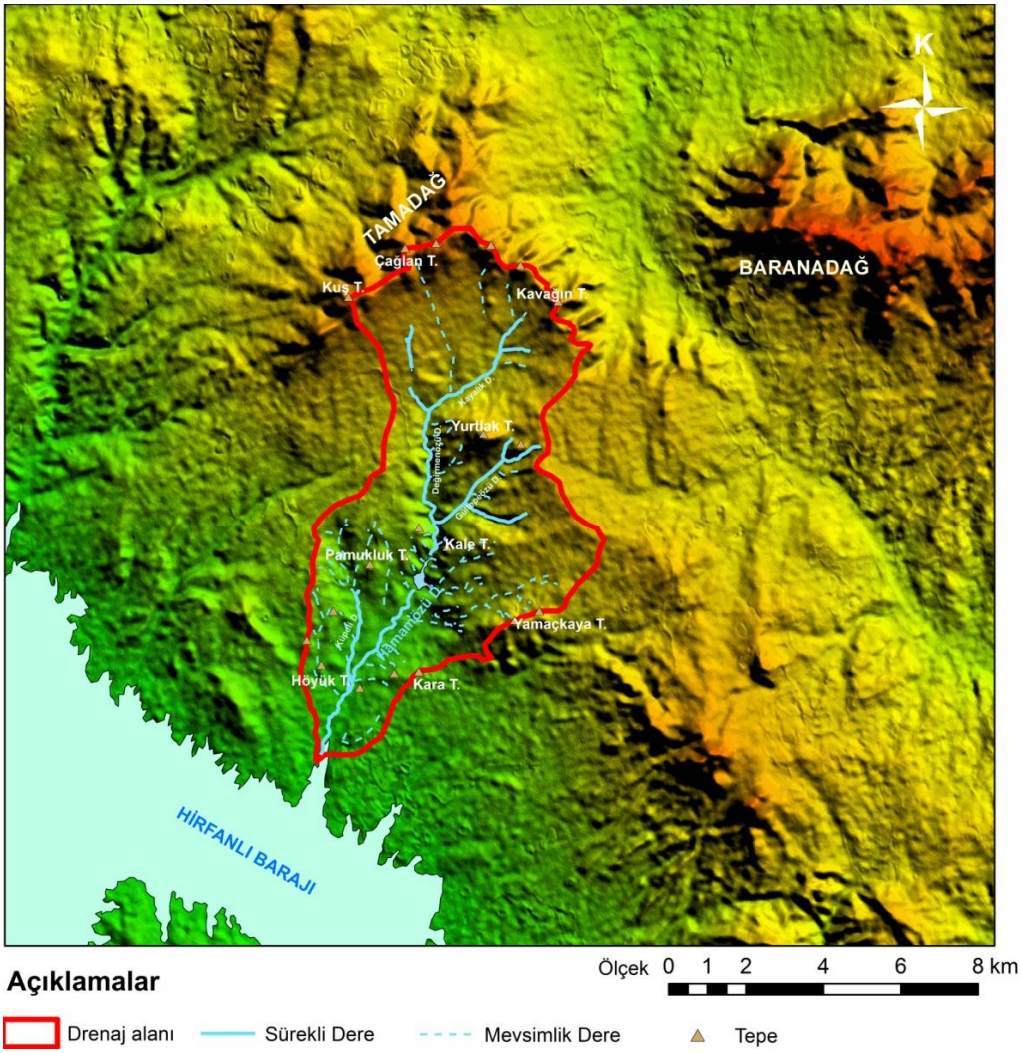
Şekil 1.4. İnceleme alanına yakın meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimi



Şekil 1.5. Savcılı DMİ'ye ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimi (1985-2004)

1.5. Doruk Aĵēve Hidrografya

Ķnceleme alanēnēn yükseltisi kuzeyden güneye çok az meyille azalmaktadēr. Yükseklik farkēnēn 850-1486 m arasēnda deĵiкtiĵi inceleme alanēiçindeki en önemli yükseltiyi bölgenin kuzeyinde bulunan Tamadaĵē (1486 m) oluкturmaktadēr. Bölgedeki diĵer yükseltiler Çal Tepe (1431 m), Kavaĵēn Tepe (1355 m), Yurtlak Tepe (1343m), Kale Tepe (1090 m), Tuzla Tepe (1068 m), Pamukluk Tepe (1032 m), Çalēk Tepe (986 m), Kara Tepe (980 m), Eseninkaк Tepe (950 m), Höyük Tepe (930 m), Bozoĵlanēn Daĵē (900 m), Caferin Daĵē (890 m) ve Bodurca Daĵē (850 m) ôdēr (ķekil 1.6). Bölgede devamlē akan akarsu bulunmamaktadēr. Ķnceleme alanēnda yaz kēk akan en önemli dere Hamamözü Deresidir. Mevsimlik dereler ise Deĵirmenözü Deresi, Gültepeözü Deresi, Yozluközü Deresi, Kale Deresi ve Küpeli Deresidir. Bu dereler kuzeyden gelerek güneyde Hirfanlē Barajēôna baĵlanmaktadērlar (ķekil 1.6).



ķekil 1.6. Ķnceleme alanēnēn doruk ve akarsu aĵēharitasē

1.6. Ulaкım Olanakları

Ankara-Bala-Kaman D(260) karayolu ile çalışma alanına ulaкım kolaylıкla sağlanabilmektedir. Çalışma sahasında stabilize köy ve tarla yolları mevcuttur. Bunun dışında köylere giden ikincil yollar görülmektedir. Savcılı Hirfanlı Barajı кıyısından 50 кm'lik bir stabilize yolla Kırкehir'e, 16 кm'lik asfalt yolla Kaman'a bağlanır. Kaman-Ankara arası 140 km, Kaman-Kırкehir arası 50 кm'dir. Kapadokya bölgesi'nin ilk ayağı olan Kaman'ın 27 kilometre güneyinden Ankara-Pozantı yolu geçmektedir. Yine ilçenin 15 kilometre kuzeyinden D-765 Ankara-Kayseri yolu geçmektedir.

1.7. Önceki Çalışмalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılmış olan jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, jeofizik amaçlı yapılan çalışмalar aкağıda özetlenmiкtir.

Baykal [1], Kaman çevresinde yaptığı gözlemlerde Paleozoik yaкlımermerleri kesen granitleri incelemiкtir. Granitlerin granitik, granodiyoritik, monzonitik, siyenitik ve diyoritik kayaç tiplerinde görüldüğünü belirtmiкtir.

Bailey ve Callien [2], Kırкehir masifinin Kuzey Anadolu'dan koparak güneydeki serpantin ve radyolaritli Üst Kretase üzerine sürüklendiğini saptamıştır. Bu sürüklenimin yaklaкık olarak 350 km olduğunu belirtmiкtir.

Egeran ve Lahn [3], Kırкehir masifinde granit, diyorit, mikaкist ve iri taneli kontakt mermerlerin bulunduğunu belirtmiкtir.

Erguvanlı [4], Bölgedeki magmatizmanın Eosen öncesi dönemde oluкtuğuna ve Kırкehir'in güneydoğusunda kristalen serinin Eosen üzerine кaryajla geldiğine değinmiкtir.

Buchardt [5], Kıç Anadolu'da 7500 kilometrekarelik bir alanın jeoloji haritasını yapmış ve kayaç türlerini tanımlayıp, bunların mineraloji ve petrografisini incelemiкtir.

Ayan [6], Kaman'ın kuzeydoğusundaki metamorfik, mağmatik kayaçları ayrıntılı bir кekilde incelemiкtir. Metamorfiklerin sedimanter кökenli olabileceklerini ve gnaysların temeli oluкturduklarına değinmiкtir.

Ketin [7] [8] [9], Kaman'ın 5 km kadar batısında görülen metamorfik seriler ve bunların üst seviyesini oluкturan mermerlerin üzerine uyumlu denizaltı lav ve tüflerinden sonra Üst Kretase formasyonları geldiğini ve bölgede Tersiyer öncesi

görülen bütün formasyonların uyumlu olduğunu belirtmıktır. Ayrıca Kaledoniyen, Hersiniyen orojenezinin izlerine rastlanılmadığına değinmiktir. Bölgede görülen en etkili orojenezin Laramiyen olduğunu, daha sonra Pirene, Helvetik orojenezlerinin izlenilmekte olduğunu belirtmıktır. Bu duruma göre Orta-Batı Anadolu metamorfitlerinin Alpin kökenli olduğunu ve bu metamorfitlerin epi-mesozonal kayaçlar içerdiğine ve kalınlıklarının 2000-2500 metre olduklarından bahsetmektedir.

Kaaden [10], Metamorfik fasiyes haritasında Orta Anadoluyu amfibolit fasiyesi içinde göstermektedir.

Ataman [11], Savcılı-Büyükobaya kadar uzanan Cefalık Dağı çevresini olukturan granitik-granodiyoritlerden alınan örneklerin yaık tayini sonuçlarını 80 milyon sene (Kampaniyen) olarak vermiktir.

Öngür ve Kartal [12], Kırkehir-Terme kaplıcasını incelemik olup, bölgede yer alan sıcak suyun alüvyon içindeki travertenlerden çıktığını ve suyun mermer akiferlerden geldiğini belirtmiktir.

Bingöl [13], yaptığı metamorfizma haritasında Kırkehir ve çevresini yeıkil ıkist fasiyesinde göstermiktir.

Erkan [14], Kırkehir çevresindeki bölgesel metamorfizmada görülen isogratlar yardımı ile petrolojik yorumlar yapmıktır. Bu isogratlara göre güneyden kuzeye doğru gittikçe artan üç metamorfizma zonunun varlığından ve en güneydekinin birinci metamorfizma zonu yeıkil ıkistlerden oluıkmakta olduğunu belirtmiktir. Genellikle bölgesel metamorfik kayaçların; mermer, kalkıkist, kalksilikatik gnays, daha az ölçüde kuvarsit, mikaıkist gnays ve amfibolitlerden oluıktuğunu belirtmiktir. Ayrıca bölgedeki metamorfizmanın niteliğini saptamak için tipik mineral ve bazı mineral gruplarının bileıkimlerini incelemenin gerekli olduğu kanısına varmıktır.

Oktay vd. [15], Kaman-Kırkehir arasındaki masifi ve örtüsünü ayrıntılı bir ıkekilde inceleyerek, Kırkehir J31-d2 paftasının jeolojisini yapmıktır.

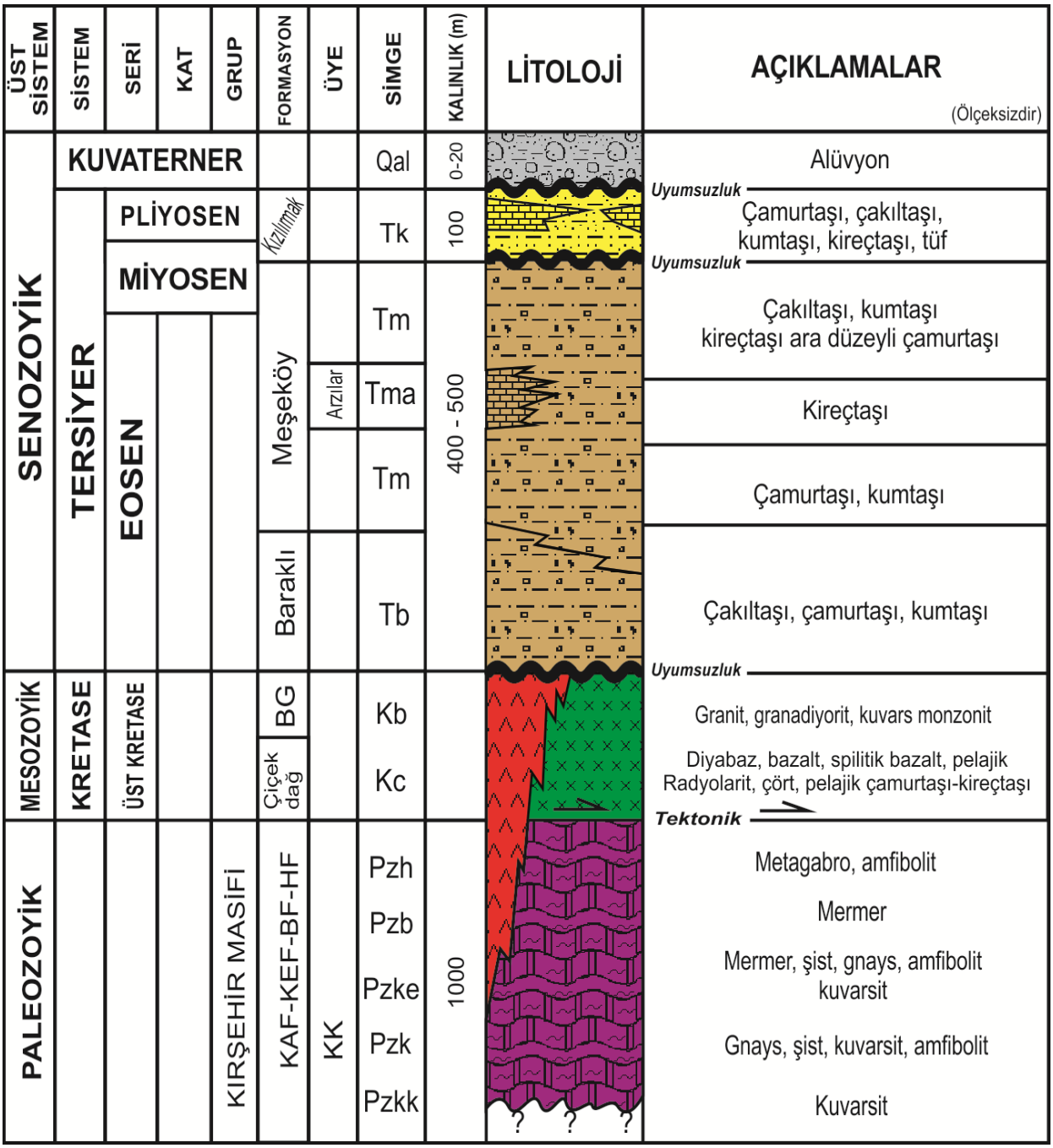
2. İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ

Bu çalışmada, Savcılı-Büyükoba jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal incelemesi amaçlandığından, bölgede daha önce bu alanı kapsayacak şekilde [1], [7], [9], [11], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24] yapılmış olan jeolojik çalışmalar temel alınmıştır. Hazırlanan jeoloji haritasında önceki çalışmalarda kullanılan formasyon adlamaları dikkate alınarak benzer yaş ve kayaç türleri birleştirilerek kullanılmıştır.

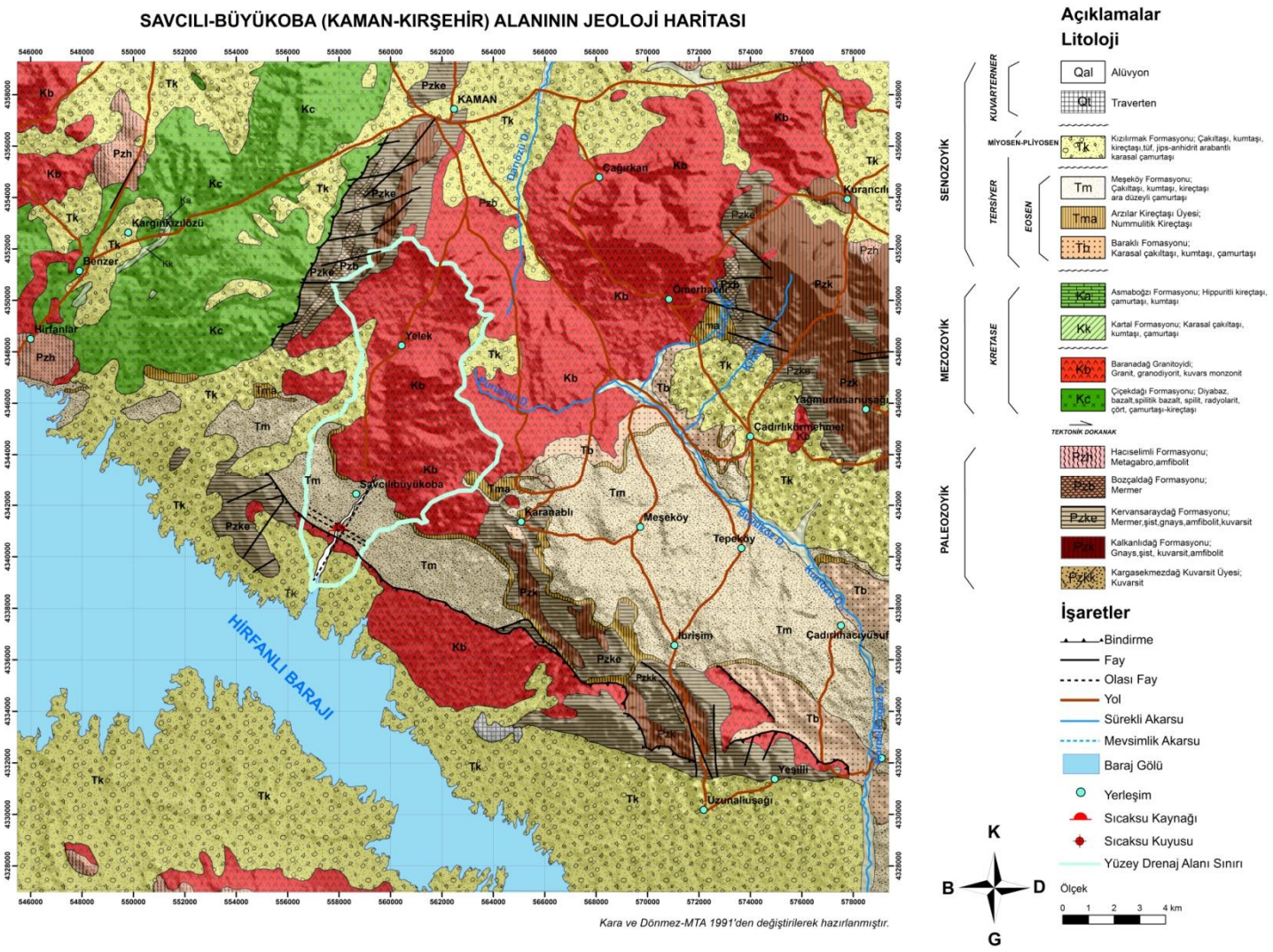
Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Jeoloji Etüdleri Dairesi tarafından hazırlanan jeoloji haritaları derlenmiş ve saha çalışmaları yapılmıştır. İnceleme alanı için oluşturulan genel stratigrafik kesit, jeolojik haritalar ve jeolojik kesitler şekil 2.1, şekil 2.2, şekil 2.3, şekil 2.4 de verilmiştir. İnceleme alanını ve yakın çevresinin jeolojisinin incelenmesinde 1/25000 ölçekli Kırşehir J31 d2, a3 paftaları ile 1/100000 ölçekli Kırşehir-G17 paftalarından yararlanılmıştır.

2.1. Genel Stratigrafi

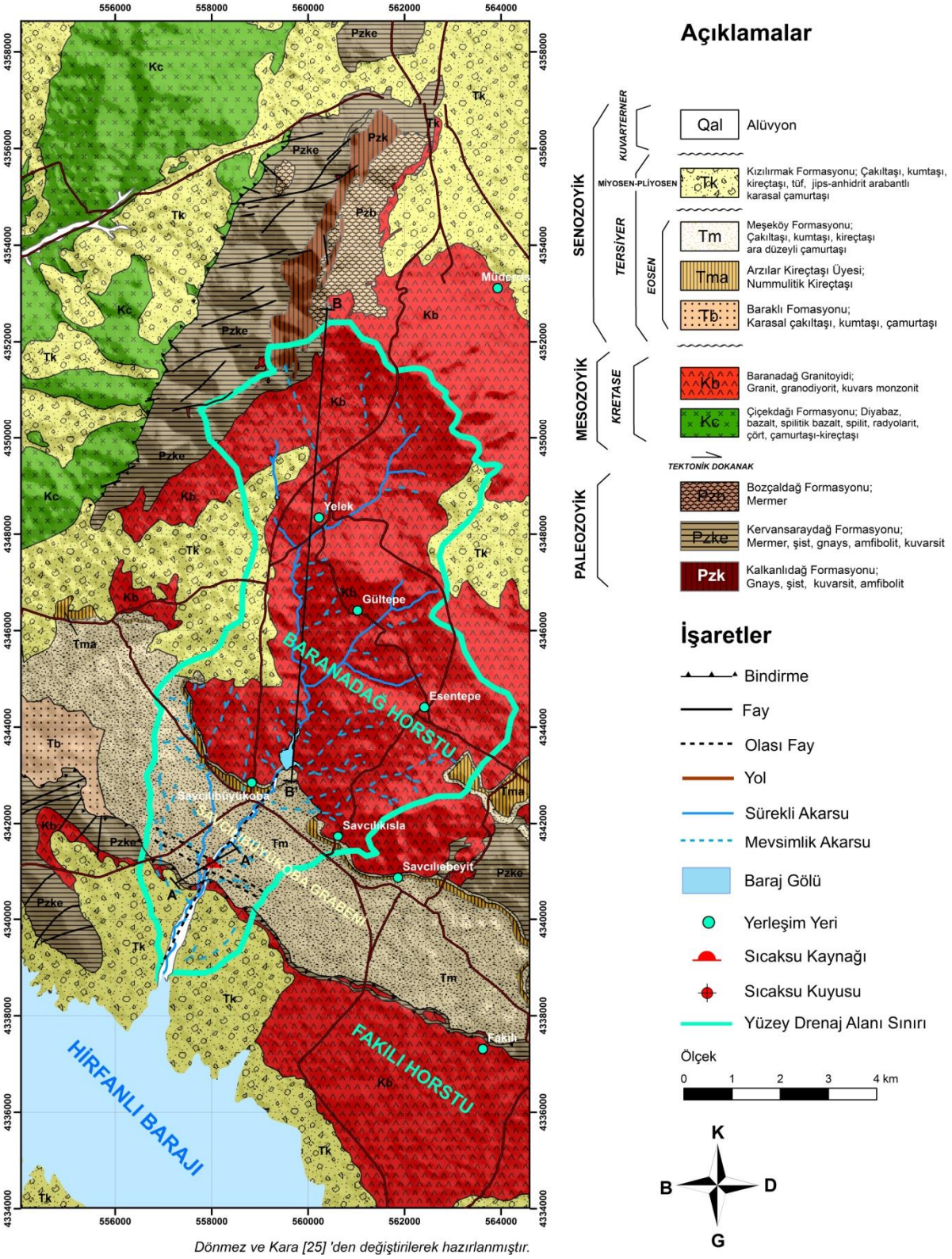
İncelenen alanda temelde, Kırşehir masifi olarak bilinen Paleozoyik yaşlı metamorfik birimleri gözlenir. Kırşehir masifinin metamorfik serileri Üst Kretase yaşlı pelajik çökellerle ara katkılı bazik volkanoklastik kayalardan oluşan ofiyolitli melanj birimleri tarafından tektonik olarak üzerlenir. Bu birimler magmatik etkinliğe bağlı olarak yüzeyleyen Mesozoyik (Üst Kretase-Paleosen?) yaşlı monzonitli granitler tarafından kesilir. Bu birimleri, uyumsuzlukla taban konglomerası ile başlayıp kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı ile devam eden Eosen yaşlı (Lütesiyen) seri ile Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak formasyonu örtü birimleri üzerler. En üstte ise gevşek çimentolu kum ve çakıllardan oluşan en çok Hamamözü dere yatağı ve çevresinde gözlenen Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler görülmektedir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde yüzeylenen birimler yaşlılardan gence doğru tanıtılmıştır (şekil 2.1, şekil 2.2 ve şekil 2.3).



Şekil 2.1. İnceleme Alanına Yakın Çevresinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Kara ve Dönmez [25]'den değiştirilerek hazırlanmıştır.)

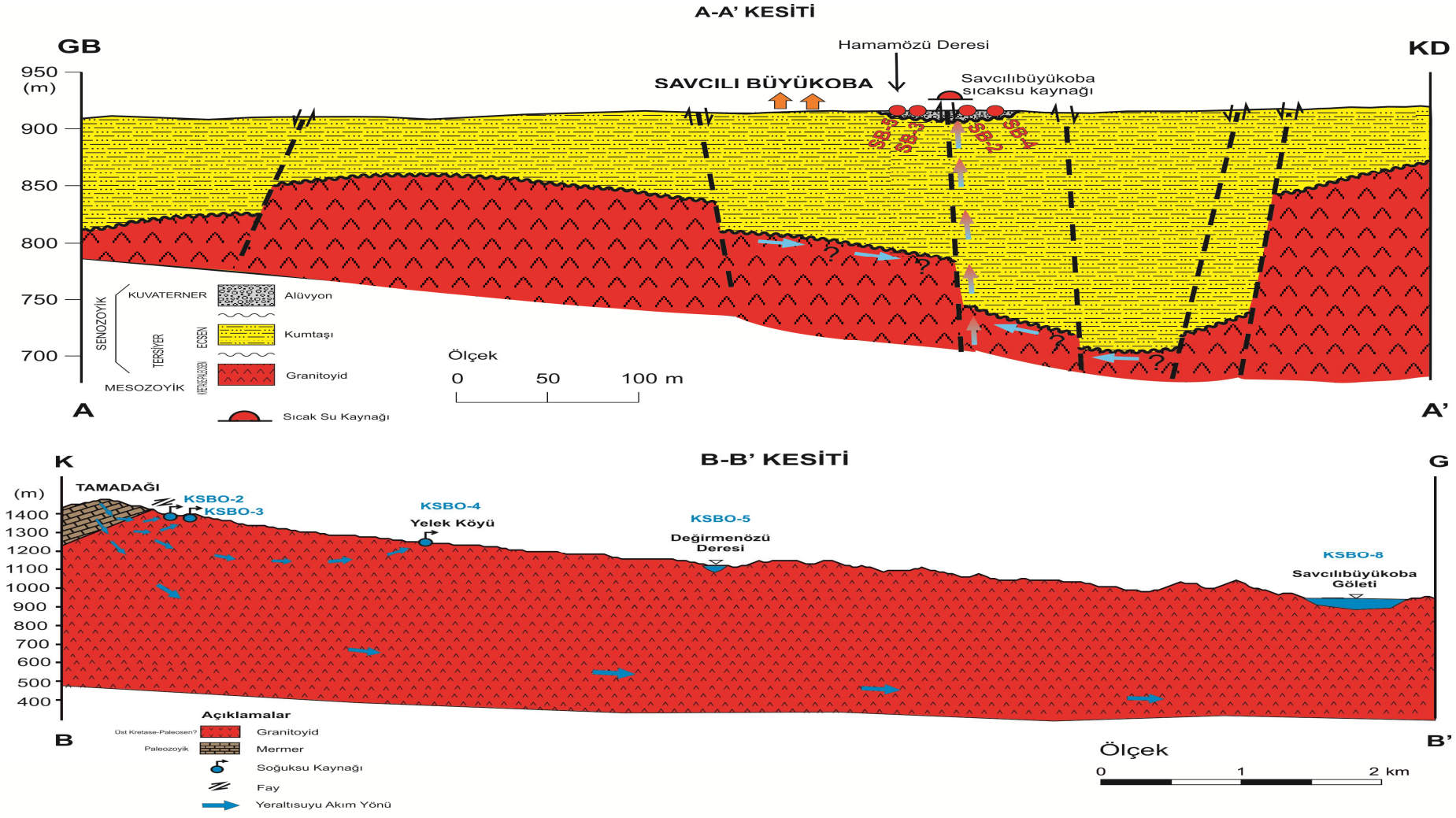


Şekil 2.2. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Jeoloji Haritası (1/100000)



Dönmez ve Kara [25] 'den değiştirilerek hazırlanmıştır.

ķekil 2.3. Ķiceleme Alanēve Yakēn Çevresinin Jeoloji Haritasē(1/25000)



Şekil 2.4. İnceleme Alanının Jeoloji Kesitleri

2.1.1. Paleozoyik

İnceleme alanında Paleozoyik; Kalkanlıdağ Formasyonu, Kervansaraydağ Formasyonu, Kargasekmezdağ Kuvarsit Üyesi, Bozçaldağ Formasyonu ve Hacıselimli Formasyonu ile temsil edilmektedir.

Kalkanlıdağ Formasyonu (Pzk)

Tamadağ, Alioflezdağ ve Kalkanlıdağ'da yayılım gösteren çoğunlukla gnays daha az oranda kıstler, kuvarsit ve amfibolitten oluşan metamorfik kayaçlar Kalkanlıdağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır [22].

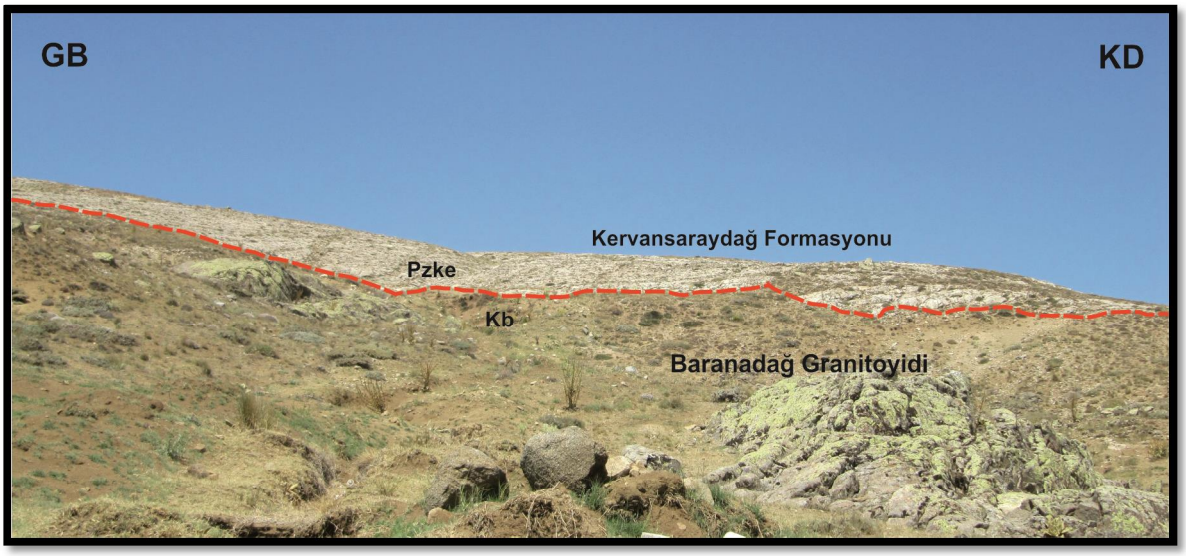
Kırşehir Masifi'nin alt düzeylerini oluşturan birim birbirleriyle değişik oranlarda ardışımlı pelitik ve magmatik kökenli kayaçların ardalanmasıyla oluşmuştur. Çalışma alanının batı ve orta kesimi ile formasyonun alt düzeylerinde gnayslar, diğer kesimlerde ise şistler yoğundur. Formasyon bakışta granitik gnays, gözlü gnays, biyotit-muskovit gnays, amfibolit, amfibolşist, piroksenşist, biyotit-muskovit şist, kalksilikatik şist, kalkşist, kuvarşşist, kuvarsit, kuvars-biyotit-muskovitşist ve klorit-talkşistten oluşur. Doku yapı ve bileşime göre yapraklanma ve renklenme gösteren birimin tabanı çalışma alanında görülmez. Üstten ise Kervansaraydağ ve Bozçaldağ Formasyonları ile yanal ve düşey yönde geçişlidir. Kalkanlıdağ Formasyonu, Gümüşler Formasyonu, Köklüdere Formasyonları ile eşdeğer düşünülebilir [26], [27].

Kargasekmezdağ Kuvarsit Üyesi (Pzkk)

Kalkanlıdağ Formasyonu içinde ara düzeyler şeklinde yer alan, gri-kahve renkli; orta-kalın-masif katmanlı, yer yer demirli kuvarsit düzeyleri Kargasekmezdağ Kuvarsit üyesi olarak tanımlanmıştır. Üyenin kalınlığı 5-20 metre arasında değişir.

Kervansaraydağ Formasyonu (Pzke)

Tamadağ, Aliöflezdağ ve Kalkanlıdağ'da yüzeyleyen, kalınlığı 10 metreyi geçmeyen mermer bant ve mercekleri ile biyotit-muskovit şist, kalkşist, kuvarşşıt, piroksenşist, amfibolşist ve daha az oranda gnays, kalksilikatik gnays, kuvarsit, amfibolit, tremolit şist, kloritşist ve talkşistten oluşan birim Kervansaray formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kıvrımlanma ve yapraklanma iyi gelişmiştir. Üste doğru Bozçaldağ formasyonu ile yanal ve düşey yönde geçişlidir. Birim Tamadağ Formasyonu ve Kaleboynu Formasyonu ile eşdeğerdir [22],[26].



Şekil 2.5. İnceleme alanının kuzeyindeki Paleozoyik yaşlı mermer birimleri ile (Pzke) Baranadağ Granitoyidinin (Kb) dokanağı

Bozçaldağ Formasyonu (Pzb)

Çelebi, Akpınar ve Kaman yakınında Tamadağ ile Bozçaldağ çevresinde izlenen açık gri, beyaz, nadiren pembe renkli iri dokulu mermerlerden oluşan birim Bozçaldağ Formasyonu olarak adlanmıştır [22]. Kil katkılı ve katkısız karbonat kökenli olan mermerler ince çört, amfibolit-amfibolitşist ara düzeyleri içerir ve Hacıselimli metagabrosu tarafından kesilir. Birim Akıgediği Formasyonu ile eşdeğerdir [26].

Hacıselimli Formasyonu (Pzh)

Kaman dolayları ve Kızılırmak güneyinde yüzeylenen açık-koyu yeşil, siyahımsı yeşil renkli masif metagabro, metadiyabaz ve amfibolitten oluşan bazik kayaçlar Hacıselimli Formasyonu olarak adlanmıştır. Formasyonu oluşturan bu kayaçlar stok, dayk ve sil şeklinde post sedimanter olarak bölgeye yerleşmişler ve birlikte metamorfizma geçirmişlerdir. Birimin stok şeklinde gelişen kesimleri masif metagabrodan oluşur. Metagabro stoklarının çökellerle olan dokanaklarında yönlenme ve yapraklanma gelişmiştir. Birimin dayk ve sillerden oluşan kesimleri ise ambifolit ve amfibolşistleri oluşturur. Metagabrolarda nadiren serpantinleşme görülür. Birim bazik intrüzifler, Sineksizyayla Metagabrosu, Karakaya Ultramafiti, Ortaköy Granitoyidi gabrolarıyla eşdeğerdir [6], [7], [22], [23], [26].

2.1.2. Mesozoyik

İnceleme alanında Mesozoyik Çiçekdağı Formasyonu, Baranadağı Granitoyidi, Kartal Formasyonu ve Asmaboğazı Formasyonu ile temsil edilmektedir.

2.1.2.1 Üst Kretase

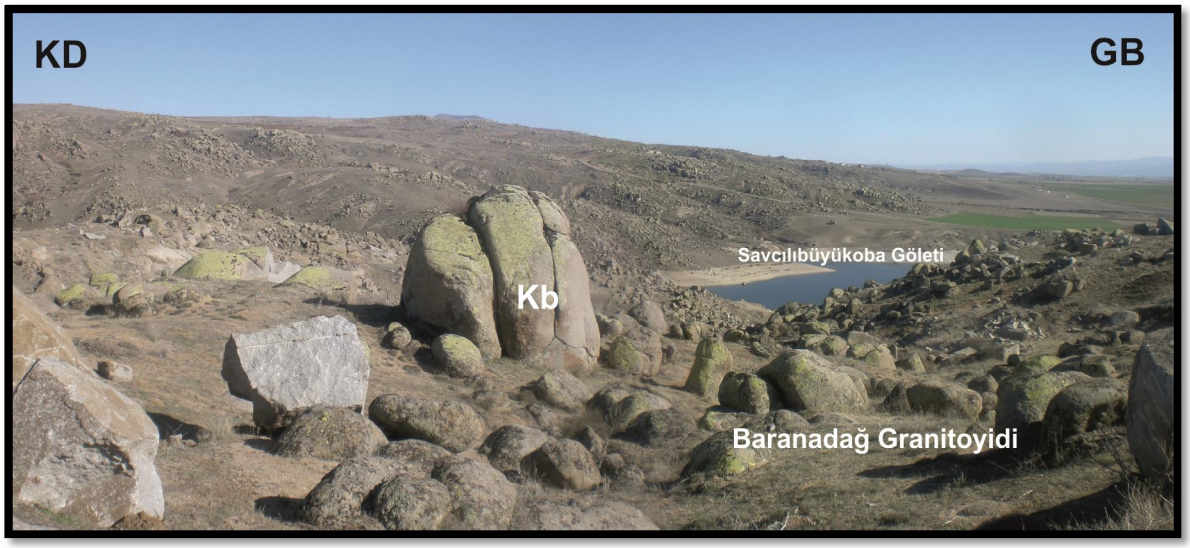
Çiçekdağı Formasyonu (Kç)

Kaman güneybatısında yüzeyleyen çoğunlukla açık-koyu yeşil, nadiren değişik renkli; mikrogabro-diyabaz, bazalt-spilitik bazalt, spilit, bazik tüf-lav ve kalınlığı 5 metreyi geçmeyen radyolarit-çört ve pelajik çamurtaşı-kireçtaşı bant ve merceklerinden oluşan volkanosedimanter topluluk Çiçekdağı Formasyonu olarak adlanmıştır. Çoğunlukla düzenli yapıda gözlenen birim yer yer alttan ve üstten eksiklidir. Birim Fe-Mn oluşumları içermekte olup, serpantinit görülmez. Denizel-okyanusal ortamda gelişmiştir. Metamorfitleri tektonik olarak üzerleyen birim Kampaniyen - Maestrihtiyen yaşlı intrüziflerce kesilmektedir. Üst Maestrihtiyen-Kuvaterner tarafından örtülmektedir. Çiçekdağı Formasyonu; serpantinit ve radyolaritler ile Üst Kretase denizaltı-volkanik serisi/ ofiyolitli seri ise Ankara melanjı, Ankara karışığı ile eşdeğerdir. [1], [2], [7], [22].

Baranadağı Granitoyidi (Kb)

Çalışma alanının büyük bir kesiminde yüzeyleyen Granit-Granitporfir-Riyolit, Granodiyorit-Granodiyoritporfir - Riyodasit -Kuvarsmonzonit - Kuvarsmonzonitporfir Kuvarslatit- Kuvarsdiyorit- Kuvarsdiyoritporfir- Dasitten oluşan kayaç grubu Baranadağı Granitoyidi olarak tanımlanmıştır. Renk, doku, yapı ve mineral bileşimi kayaç türüne bağlı olarak değişmektedir.

Baranadağı Granitoyidi; Baranadağı Masifi, Cefalık dağı Granodiyoriti, Karacali Plutonu, Üçkapılı Granodiyoriti, Baranadağı Plütonu,Ortaköy Granitoyidi olarak adlandırılan birimlerle eşdeğerdir [6], [11], [22], [23], [26], [28].



Şekil 2.6. İnceleme alanının çok geniş bir bölümünde yüzeyleyen Baranadağ Granitoyidleri

Kartal Formasyonu (Kk)

Kaman güneybatısında küçük bir alanda yüzeylenen karasal oluşuklar, önceki araştırmacılardan Rigo de Righi ve Cortesini tarafından, Tuzgölü havzasında Kartal Formasyonu olarak adlandırılmıştır [29].

Kırmızımsı karabi renkli; orta-kalın tabakalı, kötü boylanmalı yarı yuvarlanmış-yuvarlanmış taneli çakıltaşı çakıllı kumtaşı, ince-orta katmanlı, boylanmalı çapraz katmanlı çakıltaşı kumtaşı ve alacalı renkli paralel-çapraz laminalı çamurtaşı ardalanmasından oluşmaktadır.

Birim malzemesini çalışma alanında metamorfik ve volkanosedimanter kayaçlardan; Tuzgölü havzasında ise granitik kayaçlardan almıştır [23], [29], [30], [31].

Birimin kalınlığı 30-150 metre arasında değişmekte olup birim temel üzerinde uyumsuzlukla yer almaktadır [22]. Üstünde yer alan Maestrihtiyen yaşlı Asmaboğazı Formasyonu ile yanal ve düşey yönde geçişlidir. Buna göre birimin yaşı Maestrihtiyen olarak tahmin edilmiştir.

Asmaboğazı Formasyonu (Ka)

G17 paftasında küçük bir alanda yüzeyleyen rudistli kireçtaşları Asmaboğazı Formasyonu olarak adlandırılmıştır [29]. Alt düzeylerde yeşil-gri sarımsı renkli; ince-orta katmanlı, orta-iyi tutturulmuş çamurtaşı ve kumtaşlarından oluşan birim; üste doğru kalın-masif katmanlı gri-bej renkli kırıntılı kireçtaşı ve rudistli kireçtaşına geçmektedir. Kalınlığı 5-10 metre arasında değişen birim alttan Kartal Formasyonu

ile yanal ve dükey yönde geçiklidir. Birimin üst dokanağı çalışma alanında izlenememiktir. Haymana-Tuzgölü -Bala havzalarında ise Maestrihtiyen- Paleosen çökelleri ile yanal ve dükey yönde geçiklidir.

Asmabağı Formasyonu alg, bryzoa, lamelli kavkı parçası ve bol miktarda rudist içerir. Birimin yaşı Maestrihtiyendir [23]. Birim, Haymana Formasyonunun bir bölümü ile Beldede Formasyonu ile eşdeğerdir [30], [32].

2.1.3. Senozoyik

2.1.3.1 Eosen

İnceleme alanında Eosen Barakli Formasyonu, Meşeköy Formasyonu ve Arzular Kireçtaşı üyesi ile temsil edilmektedir.

Barakli Formasyonu (Tb)

Kızılırmak kuzeyinde yüzeylenen kırmızımsı kahve, gri renkli katmansız veya orta kalın, yer yer ise çapraz katmanlı magmatik-metamorfik az yuvarlanmış taneli gevşek iyi tutturulmamış çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan karasal çökeller Barakli Formasyonu olarak adlanmıştır.

Yüksek eğimli falezler veya yükselen bloklar önünde hızla depolanan çökellerden oluşan birim alüvyon yelpazesi özelliği gösterir. Yelpazenin denize ulaşan kıyı kesimlerinde linyit oluşumlarında yer almaktadır.

Barakli Formasyonu Tersiyer öncesi temel üzerinde uyumsuzlukla yer almaktadır. Üste doğru transgresif özellikli Meşeköy Formasyonu ile yanal ve dükey yönde geçiklidir. Birimin kalınlığı 800-1600 metredir.

Tuz Gölü ve Haymana havzalarında ise Mestrihtiyen-Paleosen-Eosen devamlı istif özelliği gösterir. Barakli Formasyonunun Meşeköy Formasyonu ile yanal ve dükey yönde geçişli olduğu kesimlerden alınan örneklerde saptanan fosillere göre yaşı Alt?-Orta Eosen olmalıdır.

Barakli Formasyonu; Kartal Formasyonunun karasal Eosen bölümü, Eosen filiş, Kartal Formasyonu, Kartal 2 Formasyonu ile eşdeğerdir [8], [21], [22], [29].

Mekeköy Formasyonu (Tm)

Kızılırmak kuzeyinde yüzeylenen transgresif seri Mekeköy Formasyonu olarak adlanmaktır. Birim alttan itibaren; açık gri-gri renkli, paralel katmanlı, boylanmalı, iyi tutturulmuk kumtakı-silttakı az oranda çakıltakı, orta düzeylerinde gri renkli orta-kalın katmanlı masif kireçtakı, en üst düzeylerinde ise türbiditik çakıltakı-kumtakı-ara düzeyleri içeren yekilimsi gri-gri renkli masif, midye kabuğu kırıntılı-çamurtakından olukmaktadır. Alt dokanağı Baraklı Formasyonu ile yanal-dükey yönde geçikli olan birimin üst dokanağı gözlenememiktir. Çalıkma alanı dıkında ise regresif Delicayırmak Formasyonu ile uyumludur. Kalınlık 100-550 metredir [22]. Mekeköy Formasyonu kıyı-ıkelf ortamında çökelmiktir. Sığ kesimlerde çakıltakı, kumtakı ve çamurtakı daha yoğundur. Birimin yakı Alt?-Orta-Üst Eosendir [22]. Mekeköy Formasyonu; Sıldıklı-küçükboğaz çakıltakı, Arzular kireçtakı, Çadırlı-Hacıyusuf Formasyonu ile ekdeğerdir [22].

Şekil 2.7. İnceleme alanının güneydoğusunda yer alan türbiditik seviyelerden olukan Eosen yaklıkumtaklarının görünümü

Arzular Kireçtakı Üyesi (Tma)

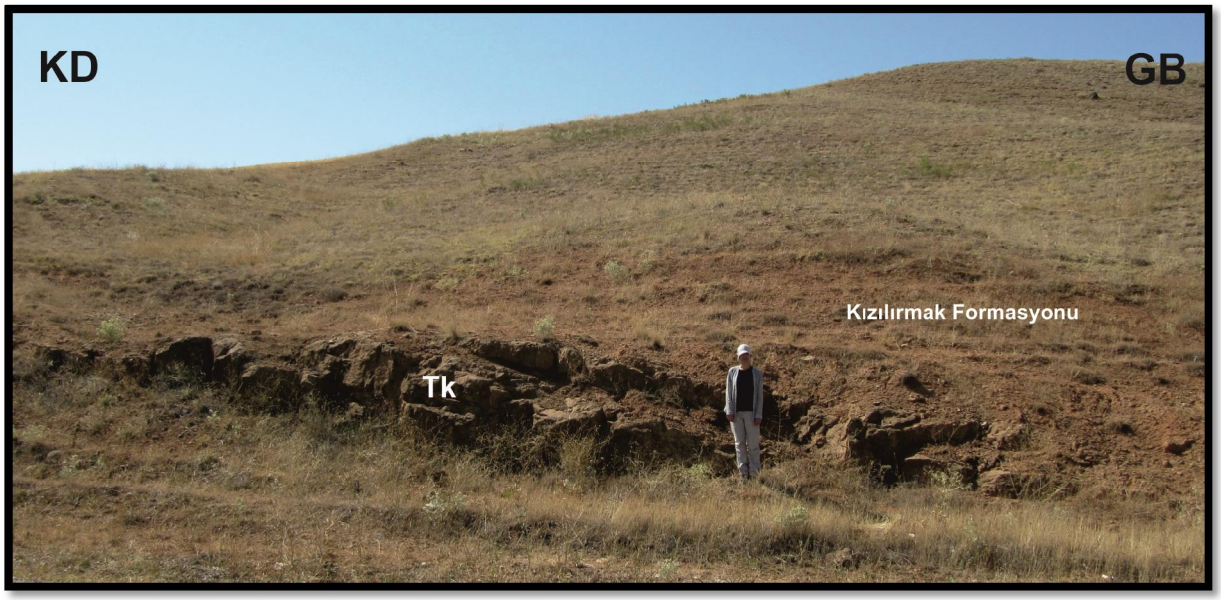
Kızılırmak kuzeyinde transgresif özellikli Mekeköy Formasyonunun sığ kesimlerinde yüzeylenir. Bol Nummulitli, mercanlı, gastropodlu, lamelli gri renkli, orta kalın katmanlı, istiftakı-bağlamtakı özellikli birim Arzular Kireçtakı Üyesi olarak adlanmıktır [22]. Birim Arzular kireçtakıile ekdeğerdir [22].

2.1.3.2 Pliyosen

Kızılırmak Formasyonu (Tk)

Tüm Orta Anadolu'da ve çalışma alanında çok geniş bir kesimde yüzeylenen kırmızımsı kahve renkli, katmansız bloklu, çakıllı-kumlu, köşeli-az köşeli taneli gevşek karasal çamurtaşları Kızılırmak Formasyonu olarak adlanmıştır.

Formasyon tüf, jips-anhidrit, killi kireçtaşı, çakıltaşı-kumtaşı-bant ve mercekleri içerir. Üst Miyosen öncesi temel üzerinde uyumsuzlukla yer alır. Yatay konumlu birimin kalınlığı 5-100 metre arasında değişir. Birimin yaşı Miyosen-Pliyosen'dir.



Şekil 2.8. İnceleme alanının güneyinde yer alan kırmızımsı kahve renkli karasal çamurtaşlarından oluşan Kızılırmak Formasyonu

2.1.4. Kuvaterner

Traverten (Qt)

Çalışma alanının dışında güney ve güneydoğu usunda, Yeşilli, Uzunaliuşağı yerleşim bölgelerinin kuzeybatısında, bölgeyi etkileyen genç tektonik hareketlerle gelişen faylardan çıkan sıcak ve soğuk sulara bağlı olarak çökelen ve çökelmeye devam eden beyaz, krem-bej, açık kahve, açık yeşil renkli masif yatay konumlu olan bu kayaçların kalınlığı 10 metreye ulaşır [25]. Yer yer ticari anlamda oniks özelliğinde olan birim Kuvaterner öncesi temel üzerinde uyumsuzlukla yer almaktadır.

Alüvyon (Qa)

Çalışma alanının en genç oluşumları vadi ve akarsu yataklarında, ova ve düzlüklerdeki çakıl, kum, kil depolanmalarıdır. Yüksek eğimli yamaç önlerinde gelişen yamaç molozları ile Kızılırmak vadisinin her iki yanında aşınmakalan taraçalar bölgenin diğer genç çökelleridir**.** Hamamözü deresiyle diğer küçük dere tabanlarında kum ve milden oluşan genç alüvyonlar gözlenmektedir.

2.2. Yapısal Jeoloji

Bölge Alpin orojenizi içerisinde paleo ve neotektonik olmak üzere iki dönemde incelenir. Üst Miyosen sonrası oluşumlar neotektonik dönem içerisinde yorumlanırken Üst Miyosen öncesi oluşumlar paleo-tektonik dönem içerisinde yorumlanır. Bölgede Paleotektonik dönem, özellikle Neotetis okyanus kollarının açılması ve kapanması ile temsil edilmektedir.

Çalışma alanı Anatolid kuşağında yer almaktadır. Hersiniyen ve Alpin Orojenezi etkileri gözlenen bölgede kayaçların kıvrılmasına sebep olan Laramiyen safhası etkindir. Bu hareket ayrıca, Helvetik orojenik fazı ile deformasyona uğramış ve bununla bölge sıkışarak faylar, kıvrımlar, bindirmeler ve açılma çatlakları oluşmuştur. Neojen ve Kuvaternerde hakim olan gerilme tektoniğine bağlı olarak bölgede normal atımlı faylar gelişmiştir. Orta Anadolu Bölgesi KD-GB, KB-GD doğrultusunda gelişmiş faylarla şekillenmiştir. Bu faylar Üst Miyosen-Pliyosen sonrası oluşmuş yeni tektonik dönem (neotektonik) yapılar olup çoğunlukla normal faylar, ters atımlı normal faylar ve yanal atımlı normal faylarla karakterize edilmektedir [26].

2.3. Jeolojik Evrim

Orta Anadolu'da Sulakyurt, Yozgat, Sivas, Kayseri, Ulukışla, Niğde, Kırşehir ve Kırıkkale yerleşim merkezleri arasında kalan yaklaşık üçgen şekilli bir alanda yüzeylenen magmatik ve metamorfik kayaçlar bulundukları coğrafik konum dikkate alınarak yerel adlar ile Kırşehir, Akdağmadeni veya Niğde Masifi olarak tanımlanmaktadır. Orta Anadolu jeolojik olarak Fanerozoik dönemin çeşitli oluşumlarını barındıran bir bölgedir. Bölge özellikle Alpin orojenezinin etkilediği okyanusal ve kıtasal kabuk litolojileri, farklı tektonik rejimler ve değişken morfoloji ile temsil olunur [33].

Çalēkma alanēnda Paleozoyik bir sedimantasyon ortam ile baкlayēp, кiddetli bir metamorfizmaya maruz kalmēktēr. Ķk кiddetli ve etkili orojenik hareket Kretase sonunda, Laramiyen safhasē ile baкlamēktēr. Ayrēca Alpin orojenezinin Laramiyen aкamasēna dahil olan magmatizmaya baĵlē olarak geliкen granodiyoritik bir intrüzyon oluкmuкtur ve Eosenôde transgresyonla taban konglomeralarē, marn ve kireçtaкlarē çökelmiкtir. Orta Anadoluôda genel olarak bu dönem Lütesiyen transgresyonu olarak adlandērēlēr.

Lütesiyen sonlarēnda deniz geri çekilmiкtir. Lütesiyen genel olarak sēĵ deniz veya volkanik fasiyeste oluкmuк olup, kalēn filiк tabakalarē ve çeкitli denizaltēlâv ve tüfleri içermektedir. Üst Eosenôden itibaren Oligosen ve Miyosen karasal fasiyeste, daha doĵrusu lagüner fasiyeste geliкmiк ve bunun sonucunda Ķç Anadolu'nun jipsli ve tuzlu Tersiyer formasyonlarē oluкmuкtur. Üst Miyosenôde kētasal yükselmeye baĵlē olarak Ķç Anadoluônun güney bölgesinde, yerüstü volkanizmasēnēn etkinliĵi görülmüк ve bu esnada tüflü Neojen çökelleri depolanmēktēr. Miyosen-Pliyosen tabakalarē genel olarak yatay durumdadēr, ancak yer yer kērēlmēк ve eĵilmiкlerdir. Bölgede Kaledoniyen veya Hersiniyen gibi Alpin öncesi orojenik hareketlerin izlerine rastlanmamēktēr. Miyosenôden itibaren kēvrēlma olaylarē az çok sona ermiк, orojenik geliкme tamamlanmēktēr. Kuvaternerôde bölgesel yükselim görülmüк ve vadilerde alüvyon birimleri oluкmuкtur [9].

3.HİDROJEOLOJİ

Çalışma alanında temelde yer alan Paleozoyik yaşlı gnays, şist, amfibolit gibi metamorfik kayaçlar ile Mesozoyik yaşlı granit, granodiyorit, diyabaz, bazalt gibi magmatik kayaçlar genellikle geçirimsiz olarak kabul edilmektedir.

Ancak tektonik hareketlerle ikincil gözeneklilik kazanmış olan mermerler ile Mesozoyik yaşlı altere granit ve granodiyoritlerin fay ve kırık zonları yerel olarak geçirimli olup, akifer özelliği indedir.

Çalışma alanında Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı çamurtaşı-kumtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı ara düzeyli çamurtaşı gibi birimlerden oluşan çökeller örtü kayaç niteliği indedir. Çökel birimler içerisindeki fay zonları ve kireçtaşları yerel akifer oluşturabilme potansiyeline sahiptir. Çalışma alanında yer alan alüvyonlar ise soğuk su için önemli bir akiferdir.

İnceleme alanında genelleştirilmiş stratigrafi istifinde yer alan birimlerin, hidrojeolojik özellikleri belirlenerek, jeolojik haritalarla birlikte derlenerek, alanın hidrojeoloji haritası ve hidrojeoloji kesitleri hazırlanmıştır (şekil 3.1, şekil 3.2 ve şekil 3.3). Hidrojeoloji haritası üzerinde, inceleme alanındaki su kaynakları, sıcak su kuyuları, dereler ile geçirimli, yarı-geçirimli ve geçirimsiz litolojik birimler işlenmiştir.

3.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

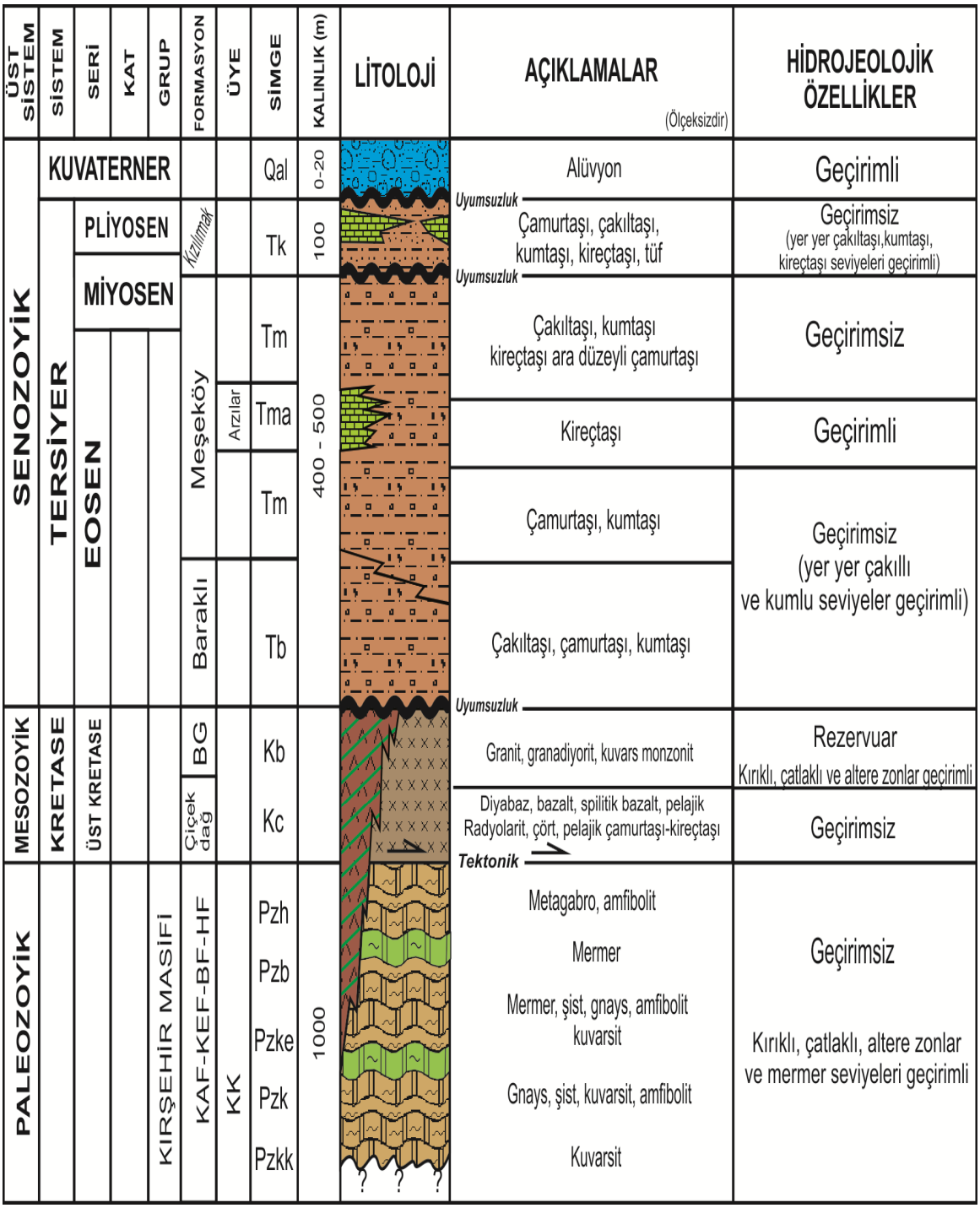
İnceleme alanında bulunan litolojik birimler su taşıma özelliğine göre geçirimsiz, yarı-geçirimli ve geçirimli birimler olarak belirlenmiş ve haritalanmıştır (şekil 3.1 ve şekil 3.2). Birimlerin geçirimlilik özellikleri arazide yapılan gözlemler, açılan sondaj kuyularından elde edilen veriler ve doğal su boşalımları olup olmamasına göre değerlendirilmiştir.

3.1.1. Geçirimsiz Birimler

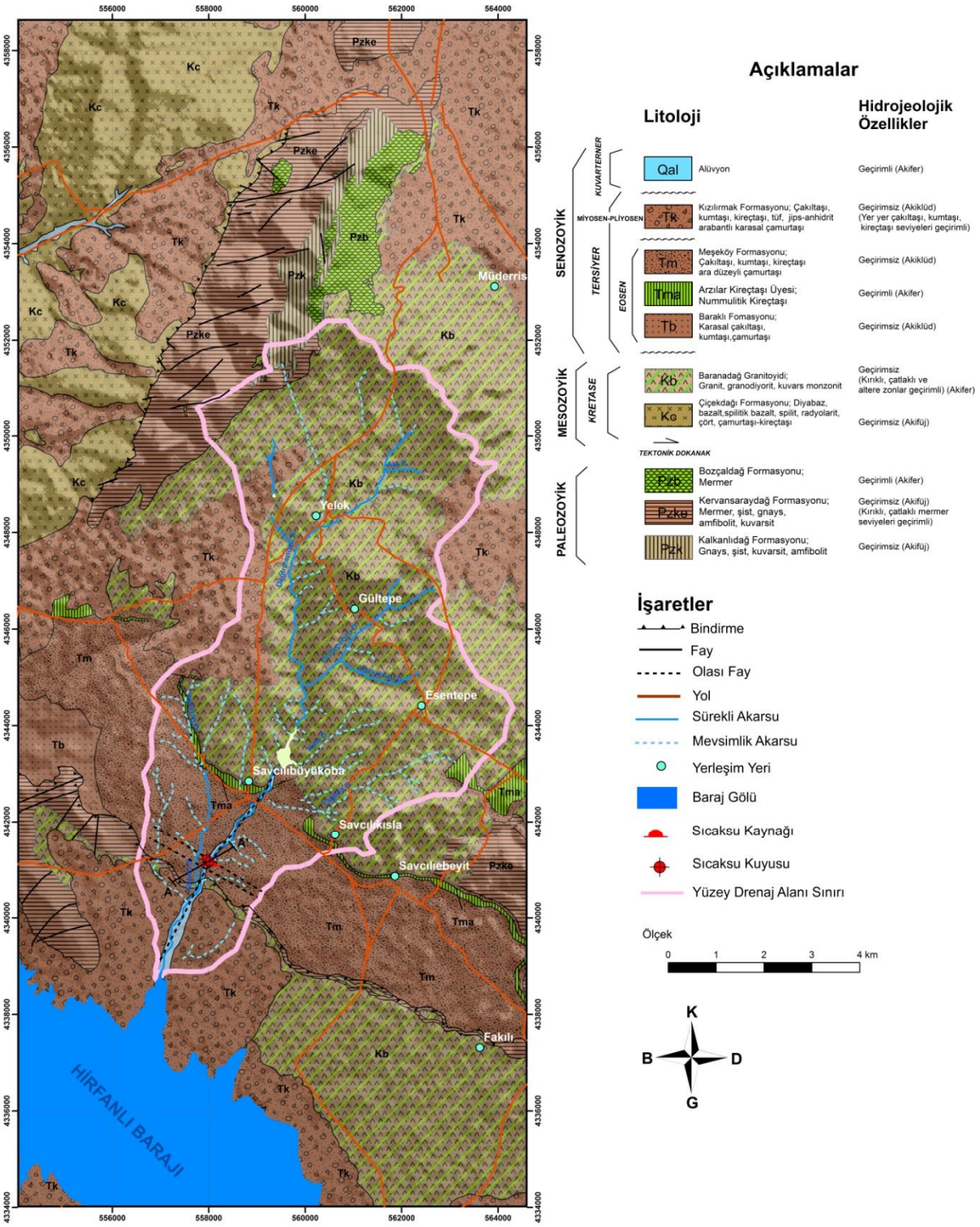
Bölgede çamurtaşı, kumtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı ara düzeyli çamurtaşı ardalanmasından oluşan Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı çökeller örtü kayaç niteliği indedir. Ayrıca temelde yer alan Paleozoyik yaşlı amfibol, şist, gnays ve kuvarsit gibi birimler ile Üst Kretase yaşlı diyabaz ve bazalt gibi volkanik kayaçların kırık çatlak içermeyen bölümleri de geçirimsiz özelliktedir.

3.1.2. Geçirimli Birimler

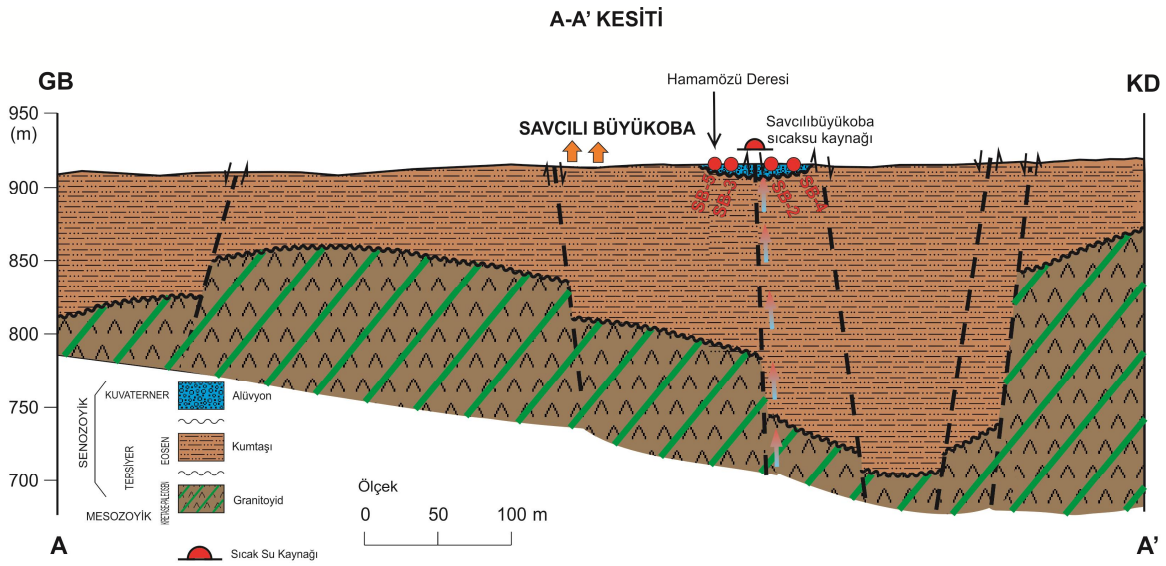
Çalışma alanında temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifinin gnays, şist, mermer, amfibolit seviyelerinin kırıklı çatlaklı, faylı zonları hidrojeolojik açıdan geçirimlidir. İnceleme alanında rezervuar oluşturan birimlerden biri olan Üst Kretase-Paleosen? yaşlı granit, granodiyoritleri içeren Baranadağı Granitoyidlerinin altere kırıklı, çatlaklı zonları hidrojeolojik açıdan geçirimlidir. Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı örtü çökellerinin kireçtaşı seviyeleri yerel akifer oluşturabilme potansiyeline sahiptir. Hamamözü dere yatağında yer alan çakıl, kum ve kilden oluşan alüvyonlar geçirimli özellikte olup hem sıcak su hem soğuk su için önemli bir akiferdir.



Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafik kesiti



Şekil 3.2. İnceleme alanına yakın çevresinin hidrojeoloji haritası



Şekil 3.3. İnceleme alanı ve yakın çevresinin hidrojeoloji kesiti

3.1.3. Yarı geçirimli Birimler

Eosen yaşlı Baraklı, Mekeköy Formasyonları ile Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonunu oluşturan birimler genellikle geçirimsizdir. Ancak bu birimlerin çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı seviyeleri içeren bölgeleri hidrojeolojik açıdan yerel akifer oluşturma potansiyeline sahiptir.

3.2. Su Kaynakları

İnceleme alanındaki su noktaları sıcak su kaynak ve kuyuları ile soğuk su kaynak çıkışları ile gölet ve barajdan oluşmaktadır.

3.2.1. Soğuk Su Kaynakları

Çalışma sahasında yer alan soğuk su kaynaklarının büyük çoğunluğunun geçirimli birimler ile geçirimsiz birim dokanakları ve kırık çatlak zonlarından çıkmakta olduğu gözlenmektedir. İnceleme alanındaki soğuk su kaynaklarının genellikle beslenme alanları sınırlı olup, düşük debilidirler (Çizelge 3.1). Bazı soğuk su kaynakları sadece yağışlı mevsimlerde akış göstermektedir. Kaynakların bir kaçının kuruduğu, saha çalışmaları sırasında gözlenmiştir. İnceleme alanında bulunan kaynakların bazıları çeşme olarak halkın kullanımına sunulmuştur. Kaynaklardan analiz yapılması amacıyla su örnekleri alınmıştır.

Çizelge 3.1. İnceleme alanına yakın çevresinde yeralan soğuk su kaynaklarına ait bilgiler

Kaynak Adı	Çıktığı Formasyon	Debi (l/s)	KOT(m)
		MART-AĞUSTOS 2014	
Pamuklar Kaynağı	Üst Kretase-Paleosen ? Granitoyid	0.02-0.11	1253
Tamadağ Kaynağı	Paleozoyik Mermer	0.3-0.08	1392
Çağlayan Kaynağı	Üst Kretase-Paleosen ? Granitoyid	0.04-0.01	1364
Cevizin Kaşı Kaynağı	Neojen karasalları	0.2-0.01	1225
Savcılıkışla Kaynağı	Eosen / Granitoyid	0.6-0.25	983
Eseninkaş Kaynağı	Eosen	0.2-0.05	913
*Pamukluk Tepe Kaynağı	Eosen/ Granitoyid	0.65	964

*Sadece Ağustos 2014 döneminde örnekleme yapılmıştır.

Pamuklar Kaynağı (KSBO-1)

İnceleme alanının kuzeydoğusunda yer alan kaynak Üst Kretase-Paleosen? yaşlı Baranadağ Granitoyidlerine ait granit birimlerinden çıkmaktadır. Kaynağın boşalım yükseltisi 1253 m'dir. Kaynağın debisi kış ve yaz aylarında 0.02-0.11 l/s arasında değişmektedir. Kaynağın sıcaklığı ise kış ve yaz aylarında 8.2-22.8°C olarak, EİK değerleri ise Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemlerinde 179-196 µS/cm olarak ölçülmüştür. pH değeri ise 6.73 -7.02 arasında değişmektedir.

Şekil 3.3. Pamuklar Kaynağı (KSBO-1)

Tamadaş Kaynağı (KSBO-2)

İnceleme alanının kuzeyinde Tamadaş yakınlarında yer alan kaynak, Paleozoyik yaşlı Kervansaraydaş Formasyonuna ait mermerler ile Üst Kretase-Paleosen? yaşlı Baranadaş Granitoyidine ait granitlerin dokanağından çıkmaktadır. Kaynağın boşalım yükseltisi 1392 m'dir. Kaynağın debisi yaz ve kış aylarında 0.08-0.3 l/s arasında değişmektedir. Kaynağın sıcaklığı ise kış ve yaz aylarında 10.4-18.6°C olarak, EİK değerleri ise Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemlerinde 274-332 µS/cm olarak ölçülmüştür. pH değeri ise 6.96 -7.07 arasında değişmektedir.

Şekil 3.4. Tamadaş Kaynağı (KSBO-2)

Çağlayan Kaynağı (KSBO-3)

İnceleme alanının kuzeyinde yer alan kaynak Üst Kretase-Paleosen? yaşlı Baranadaş Granitoyidine ait granitlerden çıkmaktadır. Kaynağın boşalım yükseltisi 1364 m'dir. Kaynağın debisi kış ve yaz aylarında 0.04-0.01 l/s arasında değişmektedir. Kaynağın sıcaklığı ise kış ve yaz aylarında 7.5-25.3°C olarak, EİK değerleri ise Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemlerinde 267-306 µS/cm olarak ölçülmüştür. pH değeri ise 7.11-7.12 arasında değişmektedir.

Şekil 3.5. Çalışan Kaynağın (KSBO-3)

Yelek Köyü - Cevizin Kahve Kaynağı (KSBO-4)

İnceleme alanının kuzeyinde Yelek Köyünün girişine yakın olan kaynak, Üst Kretase-Paleosen? yaşlı Baranadağ Granitoyidine ait granitlerden çıkmaktadır. Kaynağın boşalım yükseltisi 1225 m'dir. Kaynağın debisi kış ve yaz aylarında 0.2-0.01 l/s arasında değişmektedir. Kaynağın sıcaklığı ise kış ve yaz aylarında 11.9-20.6°C olarak, EİK değerleri ise Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemlerinde 454-507 µS/cm olarak ölçülmüştür. pH değeri ise 6.91-7.27 arasına değişmektedir.

Şekil 3.6. Yelek Köyü Cevizin Kökü Kaynağı (KSBO-4)

Savcılı Köprü Kaynağı (KSBO-7)

İnceleme alanının güneydoğusunda yer alan kaynak Eosen yaşlı çakıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı içeren Mekeköy Formasyonu ile Baranadağ Granitoyidinin dokanağından çıkmaktadır. Kaynağın boşalım yükseltisi 983 m'dir.Kaynağın debisi kış ve yaz aylarında 0.6-0.25 l/s arasında değişmektedir. Kaynağın sıcaklığı ise kış ve yaz aylarında 13.6-18°C olarak, EİK değerleri ise Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemlerinde 796-890 µS/cm olarak ölçülmüştür. pH değeri ise 7.00-7.18 arasında değişmektedir.

Şekil 3.7. Kızla Köyü Girişi Savcılı Kızla Kaynağı (KSBO-7)

Eseninkak Kaynağı (KSBO-10)

İnceleme alanının güneydoğusunda yer alan kaynak Eosen yaklı birimlerden çıkmaktadır. Kaynağın bolalım yükseltisi 913 m'dir. Kaynağın debisi kış ve yaz aylarında 0.2-0.05 l/s arasında değişmektedir. Kaynağın sıcaklığı ise kış ve yaz aylarında 12.6-20°C olarak, EİK değerleri ise Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemlerinde 535-721 µS/cm olarak ölçülmüştür. pH değeri ise 6.96-7.72 arasında değişmektedir.

ķekil 3.8. Eseninkaк Kaynaĵē(KSBO-10)

Pamukluk Tepe Kaynaĵē(KSBO-13)

Ķnceleme alanēnēn doĵusunda yer alan kaynak Eosen yaкlē karasal birimler ile Baranadaĵ Granitoyidinin dokanaĵēndan çēkmaktadēr. Kaynaĵēn boкalēm yükseltisi 964 môdir. Kaynaĵēn debisi Aĵustos ayēnda 0.6 l/s olarak ölçülmüкtür. Kaynaĵēn sēcaklēĵē ise 16.03°C olarak, EĶdeĵeri ise Aĵustos 2014 ôde 621 µS/cm, pH deĵeri ise 7.60 olarak ölçülmüкtür.

ķekil 3.9. Pamukluk Tepe Kaynaĵē (KSBO-13)

3.2.2. Baraj ve Gölet

Bölgede enerji üretmek, taкkēnlarē önlemek ve sulamada kullanmak amacēyla inкa edilen bir adet baraj bulunmaktadēr. Yapēmē 1953 -1959 yēllarē arasēnda tamamlanan ve 8 Ocak 1960 tarihinde iкletmeye açēlan Hirfanlē Barajē, Kērкehir ile ķereflikoçhisar arasēnda, Tuz Gölüônün kuzey doĵusunda Kēzēlērmak üzerinde yer almakta olup, 263 km^2 yüzey alanēna sahiptir. Mart 2014 ve Aĵustos 2014 dönemlerinde yapēlan örneklemeler sonucunda, barajēn sēcaklēĵē ēkēк ve yaz aylarēnda 8.0-32.1°C olarak, EĶ deĵerleri ise Mart ve Aĵustos ayēnda 1449-1628 µS/cm olarak ölçülmüкtür. pH deĵeri ise 7.39-7.71 arasēnda deĵiкmektedir. Yine inceleme alanēnda sulama amaçlē bir adet sulama göleti yer almaktadēr. Savcēlē Büyükoba Göleti, Deĵirmenözü ile Hamamözü dereleri arasēnda kurulmuкtur. Mart 2014 ve Aĵustos 2014 dönemlerinde yapēlan örneklemeler sonucunda, göletin sēcaklēĵē kēк ve yaz aylarēnda 8.5-26°C olarak, EĶdeĵerleri ise Mart 2014 ve Aĵustos 2014 óde 409-452 µS/cm olarak ölçülmüкtür. pH deĵeri ise 7.37-7.62 arasēnda deĵiкmektedir.

3.2.3. Sıcak Su Kaynakları

Savcılı Büyükoba sıcak su kaynakları Kamanın 18 km, Savcılı'ya ise 2 km uzaklıkta Hamamözü deresi içinde yer almaktadır. Buradaki mevcut sıcak su Hamamözü deresi içinde alüvyonlardan yüzeylenmektedir. Kaynaklar Savcılı ilçesi Belediye Binasının 2 km kadar güneyinde bulunmaktadır. Burada tesis olarak hiçbir bina yoktur. Sadece kaynakları küçük sellerden korumak için 24 metre uzunluğunda üç duvarla çevrilmiştir. Bu duvar içinde oluşan havuzcukta çamaşır yıkanmaktadır. Havuzdan şifa açısından yararlanma olanağı yoktur. Ayrıca hijyenik koşulların da çok yetersiz olması kaplıca yıkullanılamaz hale getirmektedir.

Şekil 3.10. Savcılı Büyükoba sıcak su kaynağı ve sıcak su boşalımı (KSBO-9b)

İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesine göre; Savcılı Büyükoba sıcak su kaynağı 34.8 °C sıcaklıkta, 4.5 l/s debide olup pH 8.72 olarak ölçülmüştür [34]. MTA verilerine göre sıcak su kaynağı 34.5 °C sıcaklıkta, 4.5 l/s debide olup, pH 9.2 olarak ölçülmüştür [35].

Bu tez çalışması kapsamında 2013-2014 yılında yapılan ölçümlere göre; kaynağın boşalım yükseltisi 880 m'dir. Kaynağın debisi kış ve yaz aylarında 4-4.5 l/s arasında değişmektedir. Kaynağın sıcaklığı ise kış ve yaz aylarında 33.58-34.60 °C olarak, EŞ değerleri ise Mart ve Ağustos 2014 dönemlerinde 513-565 µS/cm olarak

ölçülmüştür. pH değeri ise 9.19-9.58 arasında değişmektedir. Bu değerler, sıcak su kaynaklarında önceki yıllarda yapılan ölçümlerle karşılaştırıldığında önemli bir değişiklik olmadığını göstermektedir.

Şekil 3.11. Savcılı Büyükoba sıcak ve minerali su kaynağı (KSBO-9a)

3.2.4. Sıcak Su Kuyuları

Kırşehir-Kaman-Savcılı Büyükoba kaplıcasında Savcılı Belediyesi tarafından yapılan SB-1 sıcak su sondajında suya rastlanamamasına üzerine sıcaksu bulma imkanlarını araştırmak amacıyla 1986 yılında MTA tarafından kaplıca çevresinde dört adet sığ sondaj (SB-2, SB-3, SB-4, SB-5) yapılmıştır. Açılan dört adet sığ kuyunun toplam metrajı 189.90 m.'dir. Açılan SB-2 kuyusundan artezyen halinde sıcak su geliği olmaktadır. Çıkmakta olan suyun sıcaklığı 34.5°, debisi ise 5 l/s'dir. SB-2 kuyusu 55 metre, SB-3 kuyusu 57.70 metre, SB-4 kuyusu 40 metre, SB-5 kuyusu 37 metre derinliktedir. Kuyuların sıcaklık ve debileri ise SB-2 kuyusunda 34.5°C, debisi 5 l/s SB-3 kuyusu 25°C, debisi 0.3 l/s SB-4 kuyusu 19.0°C, debisi 0.1 l/s, SB-5 kuyusu ise 20°C, debisi 0.028 l/s'dir.

Kuyu taban sıcaklıkları ise SB-2 kuyusu için 34.5°C, SB-3 için 25°C, SB-4 için 22°C, SB-5 için 23°C'dir. Açılan kuyulardan (SB-2, SB-3, SB-4, SB-5) yalnız SB-2 numaralı kuyu sıcaklık ve debi açısından ıkletmeye elverıkli bulunmuк ve teçhiz edilmiktir. İnceleme alanında SB-1, SB-2, SB-3, SB-4 ve SB-5 kuyuları kapalı olduğu için örnek alınamamak, 1986 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından alınan su örneklerinin analiz sonuçlarıdeğerlendirilmiktir.

Çizelge 3.2. Savcılı Büyükoba Jeotermal Alanında Açılan Sıcak Su Kuyuları ve Sıcak Su Kaynağı

KUYUNUN ADI	TARİH	DERİNLİK	SICAKLIK (°C)	DEBİ (l/s)	KUYU TABAN SICAKLIĞI	PAFTA ADI	KOORDİNAT	
							X	Y
SB-1	1986	510	-	-	-	J31 d2	557954	4341217
SB-2	1986	55	34.5	5	34.5	J31 d2	557990	4341049
SB-3	1986	57.7	25	0.3	25	J31 d2	558028	4341194
SB-4	1986	40	19	0.1	22	J31 d2	558097	4341063
SB-5	1986	37	20	0.028	23	J31 d2	558061	4341340
***Savcılı Büyükoba Sıcak Su Kaynağı**	-	-	34.6	4.5	-	J31 d2	558013	4341153

SB-1 Kuyusu

SB-1 sıcak su kuyusu 510 m derinliğinde açılmıktır. Sondaj sonucunda 0-15 m arası alüvyon, 15-470 m arası gri tonlarda yer yer fosilli, karbonat veya silis çimentolu, mafik mineraller içeren Eosen yaklıkumtaкı birimlerini kesmiktir. Kuyuda 470 m'den kuyu tabanı 510 m kadar ana rezervuarı oluкturan granitler kesilmiktir. Yapılan SB-1 sıcak su sondajında herhangi bir кekilde sıcak suya rastlanılmamıktır [36].

SB-2 Kuyusu

SB-2 kuyusu 55 m derinliğinde açılmıktır. Sondaj sonucunda 0-6 m arası alüvyon (gevкek tutturulmuк çimentosuz granitik malzeme), 6-55 metre arası gri tonlarda, yeкil ve pembemsi renklerde yer yer fosilli, karbonatlı veya silisli, mafik minerallerce zengin kumtaкlarını kesmiktir. Kuyuda 12.70 m'den sonra 5 l/s ve 34.5°C lik sıcak su elde edilmiktir. Kuyu taban sıcaklığı 55 metrede 34.5 °C'dir. Kuyunun artezyen debisi 5 l/s'dir [36].

Şekil 3.12. Hamamözü Deresi yakınında yer alan SB-2 sıcak su sondaj kuyusu

SB-3 Kuyusu

SB-3 kuyusu 57.70 m derinliğinde açılmıştır. Sondaj sonucunda 0-8.30 m arası alüvyon (gevşek tutturulmuş çimentosuz granitik malzeme), 8.30-57.70 m arası Eosen yaşlı gri tonlarda, pembemsi renklerde, yer yer fosil kırıntılı, karbonat veya silis çimentolu, mafik minerallerce zengin kumtaşlarına kesilmiştir. Kuyu taban sıcaklığı 57.70 m'de 25°C'dir. Kuyunun debisi 0.3 l/s'dir [36].

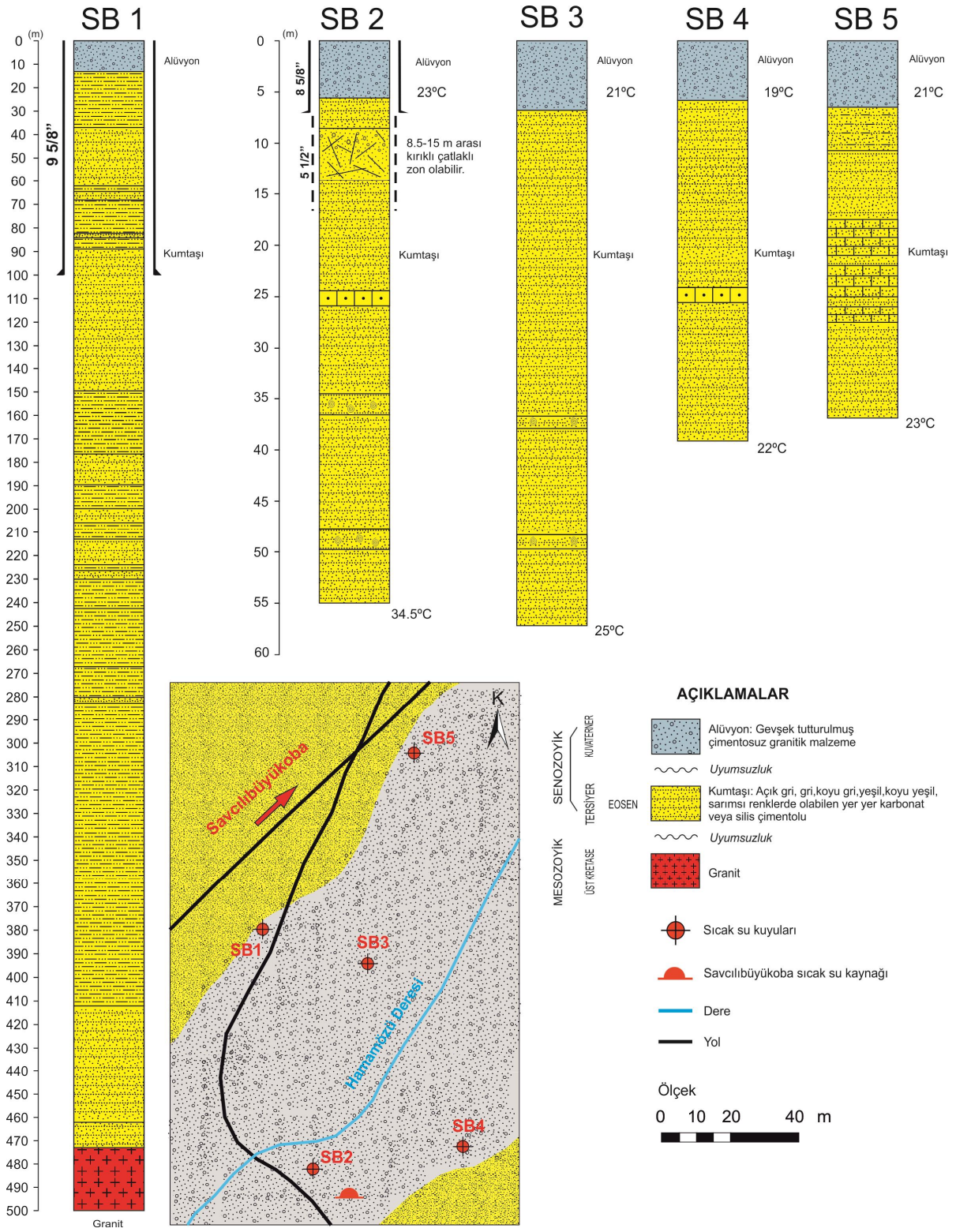
SB-4 Kuyusu

SB-4 kuyusu 40 m derinliğinde açılmıştır. Sondaj sonucunda 0-6.20 m arası alüvyon (gevşek tutturulmuş çimentosuz granitik malzeme), 0.20-40 m arası gri tonlarda ve yeşilimsi renklerde yer yer karbonat çimentolu, mafik minerallerce zengin kumtaşlarına kesilmiştir. Kuyu taban sıcaklığı 40 m'de 22°C'dir. Kuyunun debisi 0.1 l/s'dir [36].

SB-5 Kuyusu

SB-5 kuyusu 37 m derinliğinde açılmıştır. Sondaj sonucunda 0-8 m arası alüvyon (gevşek tutturulmuş çimentosuz granitik malzeme), 8-37 m arası gri tonlarda ve yeşilimsi renklerde yer yer karbonat çimentolu, mafik minerallerce zengin kumtaşlarına kesilmiştir. Kuyu taban sıcaklığı 37 m'de 23°C'dir. Kuyunun debisi 0.028 l/s'dir [36].

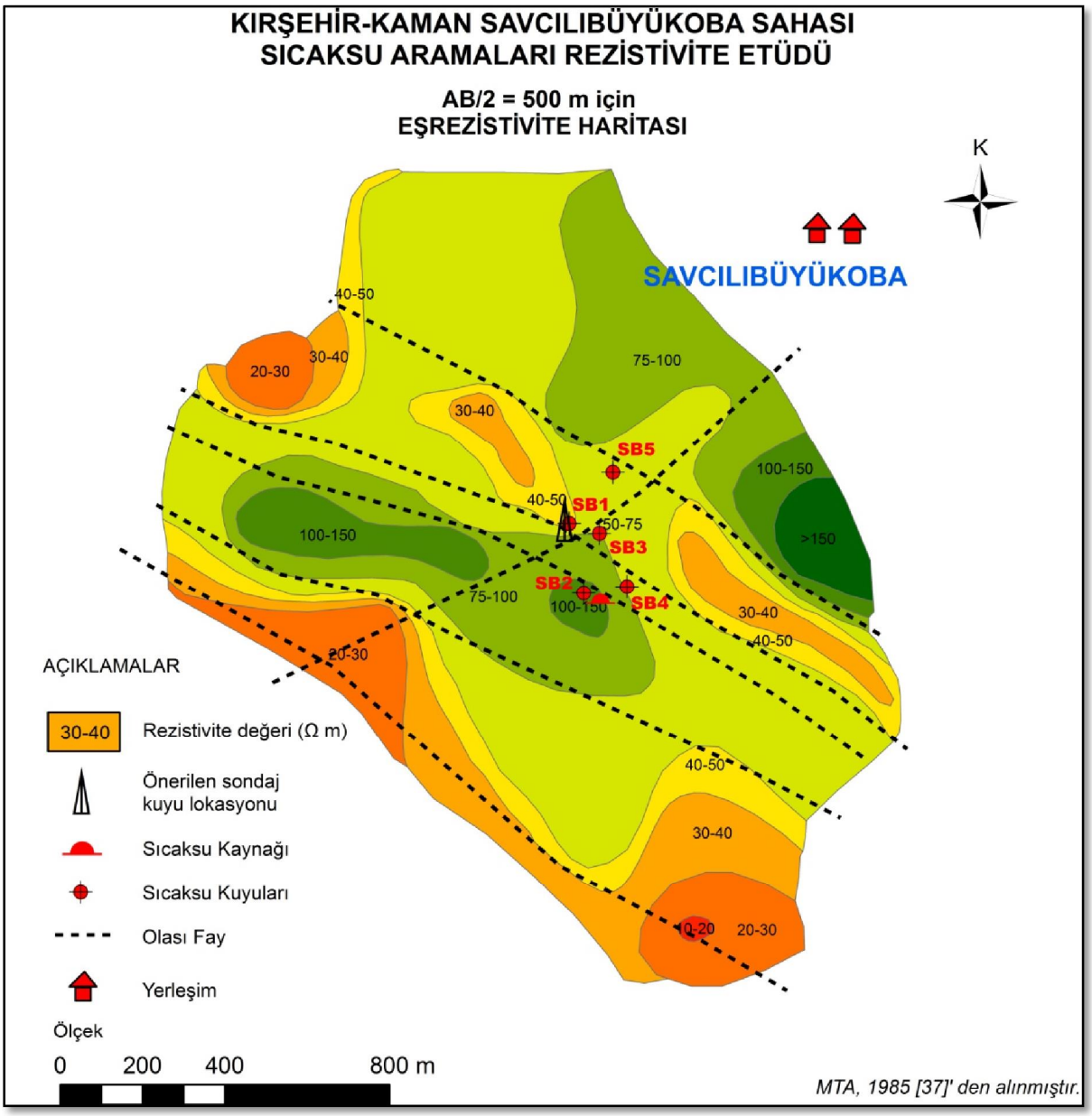
.



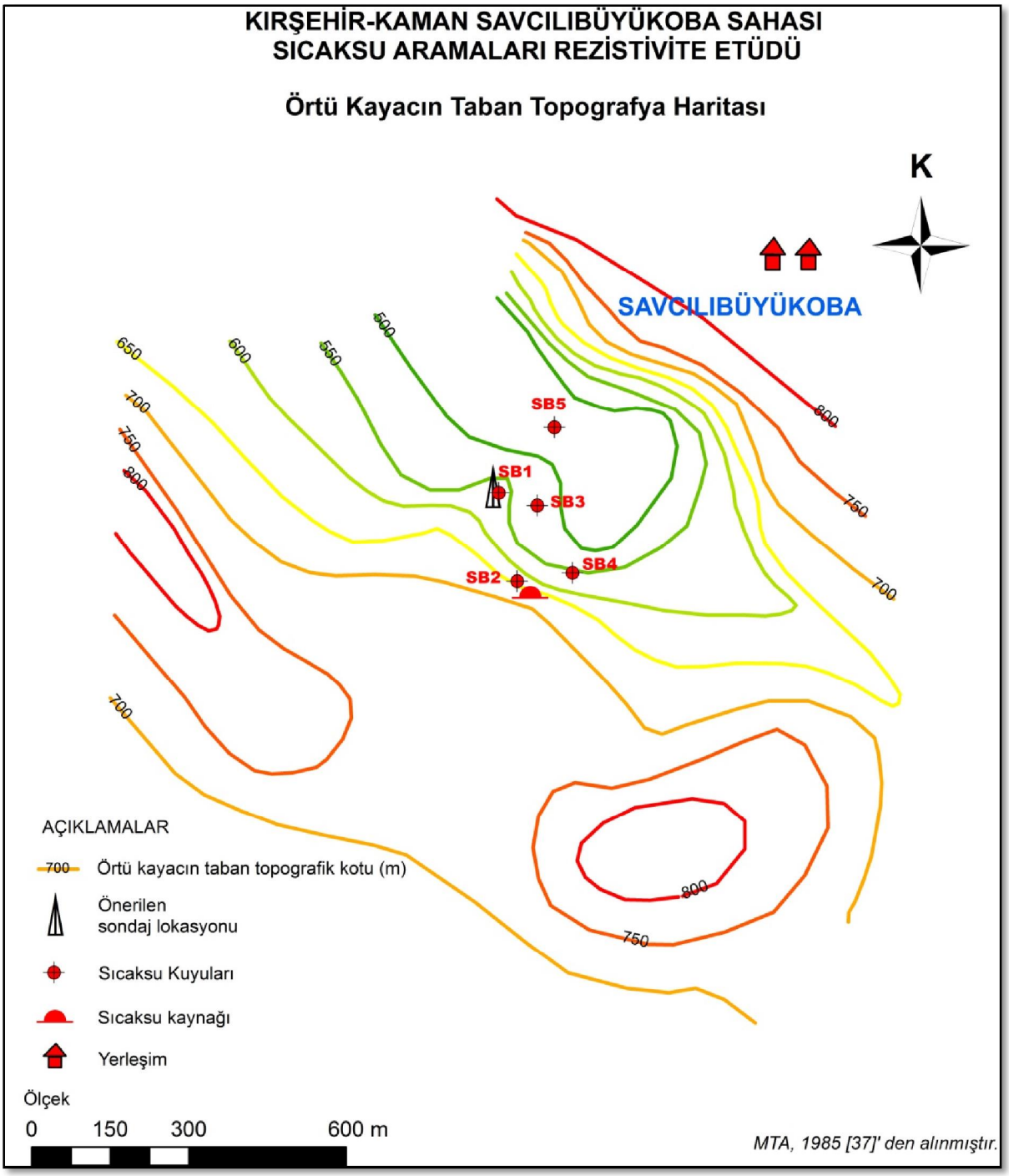
Şekil 3.13. Savcılıbüyükoba ve yakın çevresinde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından açılan sıcak su kuyularının özellikleri ve litolojik logları[36]

3.2.5. Jeofizik Çalışmalar

Ankara'nın 150 km güneydoğusunda Hirfanlı Barajı'nın 5 km kuzeyinde yer alan, Kırşehir ili Kaman ilçesine bağlı, Savcılı Büyükoba Kasabası'nda Belediye adına 15.08-30.09.1985 tarihleri arasında MTA tarafından jeofizik rezistivite (DES ve sabit elektrot) ölçümleri yapılmıştır. Ortalama 4 km^2'lik bir alanda rezistivite yöntemiyle Schlumberger elektrot dizilimi kullanarak 64 noktada Düşey Elektrik Sondajı (D.E.S) ölçümü ile 2 profil üzerinde 4 seviyede Wenner, Schlumberger elektrot dizilimleriyle sabit elektrot açılımı profil ölçümleri alınmıştır.



Şekil 3.14. Kırşehir-Kaman Savcılı Büyükoba Sahası'nın Sıcaksu Aramaları kapsamında AB/2=500 m için Eşrezistivite Haritası



Şekil 3.15. Kırşehir-Kaman Savcılıbüyükoba Sahası için sıcaksu aramaları kapsamında örtü kayacın taban topografya haritası

Ölçü derinliği olarak AB/2=10-1000m uygulanmıştır. Jeofizik rezistivite çalışmaları ile bölgedeki örtü kayaçların kalınlığı, yapısal konumları ile derinlerden sıcak suyu yüzeye taşıyan fay hatları belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre olası sıcak suyun dolaşımda bulunduğu düşünülen yapısal unsurlar ve kiltaşı kumtaşı marntaşı ardalanmalı birimlerden oluşan Eosen birimleri 10-15 Ý m arasında düşük rezistivite değerleri vermiştir. 10-250 Ý m seviyeleri alüvyon ve Lütesiyen (Eosen) kumtaşlarıyla, yüksek rezistivite gösteren 470-1200 Ý mô lik seviyeler ise granit ve üzerindeki taban kumtaşlarıyla denetirilmiştir.

4.HİDROJEOKİMYA

Savcılı Büyükoba jeotermal alanında bulunan sıcak ve mineralli suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenip jeotermal sistem içinde geçirdikleri fizikokimyasal süreçlerin ortaya konulması amacıyla bölgedeki sıcak ve mineralli sulardan dönemsel örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Yerel yeraltısuyu dolaşım sistemini temsil eden ve jeotermal sistemin beslenim alanında yer alması muhtemel soğuk su kaynaklarından, derelerden, gölet ve barajdan örnekler alınmış, kimyasal analizleri yapılmıştır. Örnekleme çalışmaları Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemlerinde yağışlı ve kurak olmak üzere iki ayrı dönemde yapılmıştır (şekil 1.4, 4.2.a ve 4.2.b). Mart döneminde bir tanesi kar olmak üzere 13 adet, Nisan döneminde 1 adet yağmur örneği, Ağustos döneminde ise toplam 13 adet örnek alınmıştır. İzotop çalışmaları kapsamında yerel meteorik su doğrusunun ve yeraltısularının ortalama beslenme yükseltilerinin belirlenmesi çalışmalarında kullanılmak üzere 1 adet yağmur ve 1 adet kar örneği alınmıştır. Sıcak su kuyularından örnekleme yapılamamış, değerlendirme ve yorum aşamasında bu kuyular için daha önce MTA tarafından yapılan analiz sonuçları kullanılmıştır.

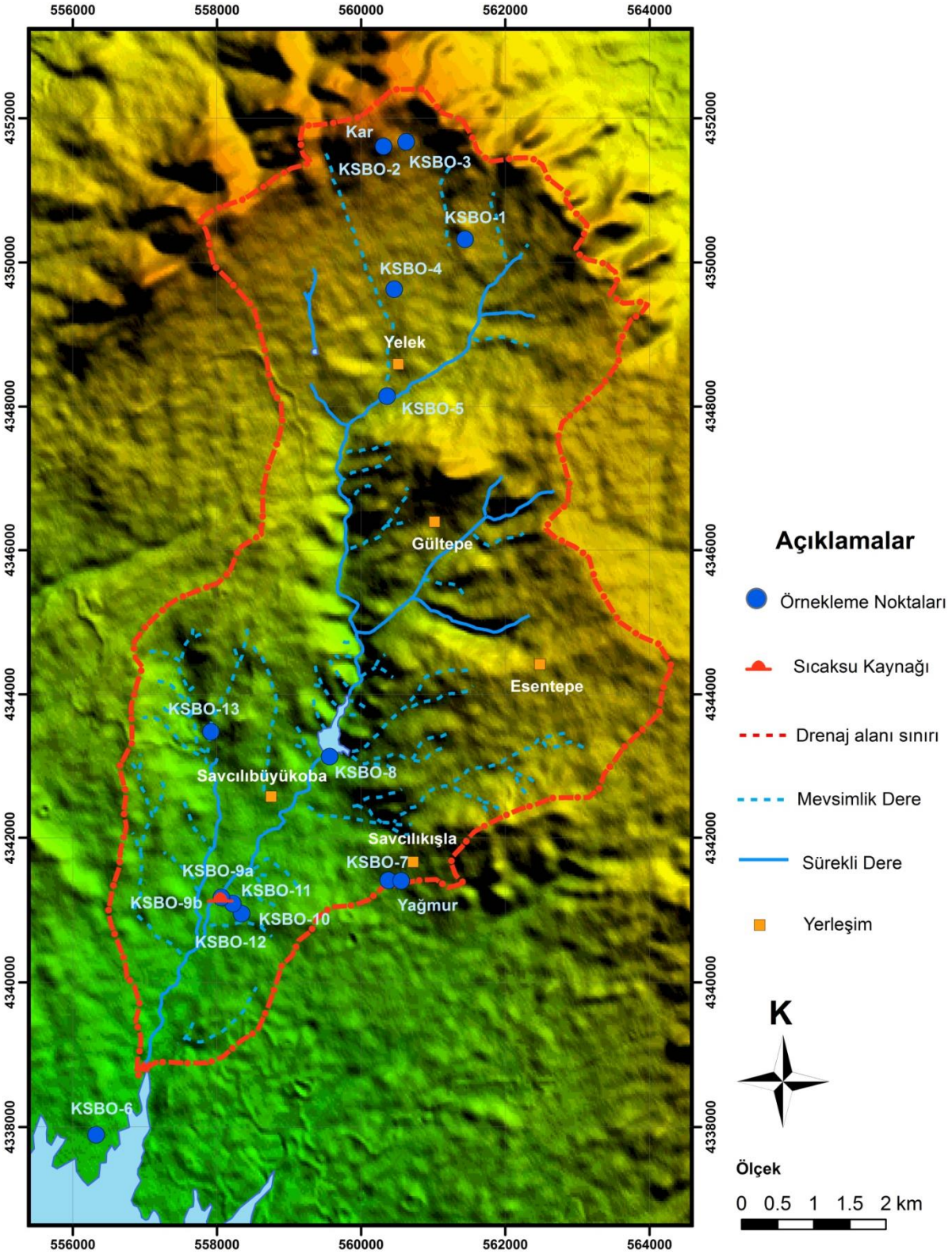
Soğuk su ve sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerinin pH, Özgül Elektriksel İletkenlik (ÖEİ), Sıcaklık (T), Çözünmüş Oksijen (ÇO), Tuzluluk (S), Toplam Çözünmüş Madde Miktarı (TÇM) gibi fiziksel parametreleri kaynak başında ölçülmüş, laboratuvarda ise major iyon, kirlilik ve ağır metal analizleri ile çevresel izotop analizleri yapılmıştır. Çalışma alanından toplanan örnekler 250 ve 500 mllik özel polietilen şişeler içerisinde Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarına ulaştırılmıştır. Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}, Fe, Mn, Ni, Pb, Cd, Li, Cu, Zn ve Cr analizleri Perkin Elmer Model 2280 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CO_3 ve HCO_3 analizi titrimetrik metodla (hata sınırı ±0.01 meq/l), F^{-}, Cl^{-}, SO_4^{-2}, PO_4^{-}, Br^{-}, NO_3^{-}, NO_2^{-} analizleri ise Spektrofotometre ile yapılmıştır. Trityum analizleri Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Çevresel Trityum Laboratuvarlarında, Duraylı İzotop Analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi (UKAM) Duraylı İzotop Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanında örnekleme yapılan su örneklerinin UTM koordinatları Çizelge 4.1'de, inceleme alanındaki konumları ise şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan su noktalarının UTM Koordinatları

No	Örnek No	Kaynak Adı	X Boylam (D)	Y Enlem (K)	Kot (m)
1	**KSBO-1	Pamukluk Kaynağı	561442	4350321	1253
2	**KSBO-2	Tamadağ Kaynağı	560311	4351607	1392
3	**KSBO-3	Çağlayan Kaynağı	560624	4351673	1364
4	**KSBO-4	Yelek Köyü Yol Kenarı Cevizinkakı Kaynağı	560459	4349628	1225
5	*KSBO-5	Değirmenözü Deresi	560360	4348146	1154
6	**KSBO-6	Hirfanlı Barajı	556262	4337868	868
7	**KSBO-7	Savcılı Kıkla Kaynağı	560379	4341411	983
8	**KSBO-8	Savcılı Büyükoba Göleti	559564	4343136	947
9	**KSBO-9a	Savcılı Büyükoba Sıcak Su Kaynağı	558042	4341127	880
10	**KSBO-9b	Savcılı Büyükoba Sıcak Su Kaynağı	558037	4341129	880
11	**KSBO-10	Eseninkak Kaynağı	558342	4340950	913
12	*KSBO-11	Yağmur+Kar Suyu birikimi	558222	4341090	915
13	***KSBO-12	Hamamözü Deresi	558063	4341175	888
14	***KSBO-13	Pamukluktepe Kaynağı	557917	4343481	964

* Sadece Mart döneminde örnekleme **Mart-Ağustos döneminde (2 dönem) örnekleme *** Sadece Ağustos döneminde örnekleme



Şekil 4.1 İnceleme alanındaki su örnekleme noktalarının lokasyon haritası

4.1. Suların Fiziksel Özellikleri

Savcılı'da Büyükoba ve yakın çevresinde bulunan sıcak ve soğuk suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve pH parametreleri kaynak bakımında ölçülmüştür. Yapılan fiziksel ölçüm sonuçları Çizelge 4.2. ve 4.3.'de verilmiştir.

(a)

(b)

Şekil 4.2. Kimyasal analiz için a) Çağlayan Kaynağı b) Pamukluk Tepe'den su örneklerinin alınması

4.1.1. Sıcaklık (T)

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların ölçülen sıcaklık değerleri; Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağında (KSBO-9a - KSBO-9b) 30.01-34.6^{o}C olarak ölçülmüştür. İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarında belirgin bir dönemsel sıcaklık değişimi gözlenmemiştir. Çalışma alanında yer alan soğuk su kaynakları, dere, baraj ve gölet suyu sıcaklıkları mevsimsel meteorolojik etkenlere bağlı olarak değişmektedir. İnceleme alanındaki soğuk su kaynaklarının sıcaklıkları yüksek kotlara çıktıkça düşmektedir.

Soğuk su kaynaklarından KSBO-1 8.23-22.8 ^{o}C, KSBO-2 10.38-18.6^{o}C, KSBO-3 7.49-25.3^{o}C, KSBO-4 11.96-20.6^{o}C, Değirmenözü Deresi (KSBO-5) 7.25 ^{o}C, Hirfanlı Barajı (KSBO-6) 8.04-32.1^{o}C, Savcılıkıla Kaynağı (KSBO-7) 13.61-18°C, Savcılı-Büyükoba Göleti (KSBO-8) 8.52-26°C, KSBO-10 12.62-20.2^{o}C, KSBO-11 16.52^{o}C, Hamamözü Deresi (KSBO-12) 20.3°C ve Pamukluk Tepe Kaynağı (KSBO-13) 16.3°C olarak ölçülmüştür.

Bogomolow sınıflamasına göre, Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağı mesotermal (34-40 °C) sular sınıfına girmektedir.

4.1.2. Özgül Elektriksel İletkenlik (ÖEİ)

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Su analizi sonuçları, mikromho/cm veya mikroSiemens/cm (µS/cm) olarak ve 25 ºC'deki değer hesaplanarak verilmektedir. Suların elektriksel iletkenlikleri, sudaki iyonların toplam derişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri de artmaktadır. Suların içerdikleri iyonların toplam derişimi ve dolayısıyla elektriksel iletkenlikleri, suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayaçların cinsine ve çözünürlüklerine, iklime, bölgedeki yağış koşullarına bağlıdır. Çalışma alanındaki soğuk su kaynaklarının Eİ değerleri 179-890 µS/cm arasında değişmektedir. Savcılı-Büyükoba Göleti ile Hirfanlı Barajının Eİ değerleri sırasıyla Mart döneminde 409 ve 1449 µS/cm; Ağustos döneminde ise 452 ve 1628 µS/cm'dir. Özellikle yüksek kotlardaki kaynakların Eİ değerlerinin düşük olması su-kayaç etkileşiminin bu kaynaklarda oldukça kısa süreli olduğunu göstermektedir. Bu aralığın bu kadar geniş olmasının nedeni su örneklerinin kayaçlar ile temas süresinin arttığı, akarsulardan veya izlediği yol boyunca çözünürlükleri yüksek kayaçlarla temas eden kaynaklardan alınmış

olmasıdır. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından içme suyu standartlarında elektriksel iletkenlik için üst sınır 2500 µS/cm olarak verilmektedir [39].

İnceleme alanında bulunan Savcılı Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağının ölçülen özgül elektriksel iletkenlik değerleri; Mart 2014'de 520 µS/cm, Ağustos 2014'de ise 565 µS/cm olarak ölçülmüştür.

4.1.3. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH)

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Doğal yeraltısularının pH değeri 6.0-8.5 arasında değişmektedir. Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini arttırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asit özelliğini arttırmaktadır. Sudaki serbest karbondioksit, fiziksel çözünme sonucunda suda çözünmekte ve hidratasyon sonucunda karbonik aside dönüşmektedir. Bunun sonucunda su, çözücü akışındırıcı bir özellik kazanmaktadır. Gerek akındırıcı gerekse kabuk bağlayıcı özellik pH değerine bağlıdır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standartlarına göre pH değerlerinin 6.5-8.5 [40], TSE içme suyu standartlarına göre ise pH değerlerinin 6.5-9.2 arasında olması gerekmektedir [39]. Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların pH değerleri; Mart-Ağustos 2014 dönemlerinde KSBO-9a ve KSBO-9b için 9.20-9.58 olarak ölçülmüştür. Bu değerler sıcak suların bazik özellikte olduğunu göstermektedir. Soğuk su kaynaklarından (KSBO-1) 6.73-7.07, (KSBO-2) 7.07- 7.6, (KSBO-3) 7.11-7.35, (KSBO-4) 6.91-7.55, (KSBO-5) 7.31, (KSBO-6) 7.71-8.45, (KSBO-7) 7-7.43, (KSBO-8) 7.37-8.48,(KSBO-10) 6.96-7.84, (KSBO-11) 7.59, (KSBO-12) 8.01, (KSBO-13) 7.70 olarak değişmektedir. Bu değerler soğuk su kaynaklarının bazik özellikte olduklarını göstermektedir.

rnek No	Tür	Tarih	T (ºC)	pH	EC (25°C) (εS/cm)	Na^{+} (ppm)	K^{+} (ppm)	Ca^{+2} (ppm)	Mg^{+2} (ppm)	Cl^{-} (ppm)	SO_4^{-2} (ppm)	HCO^{3-} (ppm)	CO_3^{-2} (ppm)	F (ppm)	Li (ppm)	SiO_2 (ppm)	B (ppm)
KSBO-1	Kaynak	14.03.2014	8.23	6.73	179	6,86	0.59	26.77	4.82	1.69	9.63	94.82	0.00	0.18	0.01	24.043	0.00
KSBO-2	Kaynak	14.03.2014	10.38	7.07	274	1.59	0.46	65.05	1.96	1.52	5.93	195.96	0.00	0.09	0.00	8.5475	0.00
KSBO-3	Kaynak	14.03.2014	7.49	7.11	267	2.39	1.47	58.31	3.32	1.72	6.87	177.00	0.00	0.10	0.00	14.411	0.00
KSBO-4	Kaynak	14.03.2014	11.96	6.91	454	8.15	0.45	89.07	7.86	2.14	22.88	246.54	0.00	0.41	0.01	20.85	0.02
KSBO-5	Deî irmenözü Deresi	14.03.2014	7.25	7.31	576	19.59	0.51	105.15	15.50	13.69	47.20	328.27	0.00	0.38	0.02	18.494	0.00
KSBO-6	HirfanlēBarajē	14.03.2014	8.04	7.71	1449	172.06	6.36	126.19	35.70	256.50	388.68	151.71	0.00	0.30	0.04	9.9609	0.12
KSBO-7	Kaynak	15.03.2014	13.61	7.00	796	34.55	12.36	125.22	21.18	31.81	70.55	379.29	0.00	0.36	0.02	28.597	0.05
KSBO-8	Savcēāēbüyükoba Göleti	15.03.2014	8.52	7.37	409	18.96	1.32	63.02	15.65	11.66	31.85	233.89	0.00	0.37	0.02	11.165	0.03
KSBO-9a	Sēcak Su Kaynaî ē	15.03.2014	30.01	9.49	513	111.27	1.24	9.30	0.32	88.93	49.35	12.64	37.31	7.76	0.06	47.443	0.11
KSBO-9b	Sēcak Su Kaynaî ē	15.03.2014	33.58	9.58	527	111.88	1.38	9.15	0.14	88.27	48.96	31.61	37.31	7.70	0.07	47.076	0.11
KSBO-10	Kaynak	15.03.2014	12.62	6.96	535	28.99	0.59	84.65	13.27	13.20	66.95	227.57	0.00	0.54	0.01	14.254	0.06
KSBO-11	Yagmur+Kar	15.03.2014	16.52	7.59	289	6.06	2.41	58.76	3.49	3.63	14.89	177.00	0.00	0.16	0.00	10.223	0.01
SB-2	Kuyu	1986	34.5	8.5	500	106	1	4.4	0.2	78	45	61	12	7.9	*	51	*
SB-3	Kuyu	1986	25	8.5	478,3	104	1.1	13.0	0.4	75	59	73	12	7.3	*	47	*
SB-4	Kuyu	1986	19	8.82	483,7	114	1.3	5.6	0.5	81	63	61	12	7.9	*	50	*
SB-5	Kuyu	1986	20	8.83	478,3	106	1	4.4	0.2	78	45	61	12	<0.1	*	51	*

* Belirlenme limitlerinin altēnda

Çizelge 4.2. Kçceleme alanēndaki su noktalarēndan alēnan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Mart-2014)

Örnek No	Tür	Tarih	T (ºC)	pH	EC (25°C) (εS/cm)	Na^+ (ppm)	K^+ (ppm)	Ca^{+2} (ppm)	Mg^{+2} (ppm)	Cl^- (ppm)	SO_4^{-2} (ppm)	HCO^{3-} (ppm)	CO_3^{-2} (ppm)	F (ppm)	Li (ppm)	SiO_2 (ppm)	B (ppm)
KSBO-1	Kaynak	16.08.2014	22.8	7.02	196	6.89	0.69	26.98	4.86	1.82	9.37	97.72	0	0.2	0.01	24.34	0.02
KSBO-2	Kaynak	16.08.2014	18.6	6.96	332	2.21	0.63	70.03	2.33	2.75	5.96	213.2	0	0.1	0	9.54	0.00
KSBO-3	Kaynak	16.08.2014	25.3	7.12	306	2.43	1.3	59.22	3.41	1.77	6.34	180.63	0	0.07	0	13.32	0.00
KSBO-4	Kaynak	16.08.2014	20.6	7.27	507	8.36	0.65	88.04	8.31	3.08	20.78	260.58	0	0.37	0.01	19.71	0.03
KSBO-6	HirfanlēBarajē	16.08.2014	32.1	7.39	1628	175.65	6.93	117.96	36.86	258.05	385.9	124.37	0	0.2	0.04	9.64	0.11
KSBO-7	Kaynak	16.08.2014	18	7.18	890	33.41	12.1	111.8	21.59	28.98	55.16	390.87	0	0.32	0.02	28.44	0.05
KSBO-8	SavcāēBüyükoba Göleti	16.08.2014	26	7.62	452	22.33	1.76	47.93	17.53	13.46	35.09	213.2	0	0.37	0.02	15.38	0.04
KSBO-9a	Sēcak Su Kaynaĵ ē	16.08.2014	34.3	9.21	565	110.34	1.23	11.05	0.53	85.76	47.1	68.11	17.48	7.4	0.07	48.68	0.11
KSBO-9b	Sēcak Su Kaynaĵ ē	16.08.2014	34.6	9.19	562	110.48	1.33	11.33	0.3	86.1	46.63	68.11	17.48	7.41	0.06	48.78	0.11
KSBO-10	Kaynak	16.08.2014	20.2	7.72	721	34	0.98	100.09	16.62	13.86	79.98	251.7	0	0.57	0.01	15.13	0.11
KSBO-12	Hamamözü Deresi	16.08.2014	20.3	7.61	865	45.78	2.96	111.89	27.28	27.82	68.13	414.56	0	0.74	0.03	24.84	0.07
KSBO-13	Kaynak	17.08.2014	16.3	7.6	623	33.84	0.44	77.06	19.37	6.65	28.07	313.88	0	1.19	0.03	19.81	0.05
SB-2	Kuyu	1986	34.5	8.5	500	106	1	4.4	0.2	78	45	61	12	7.9	*	51	*
SB-3	Kuyu	1986	25	8.5	478,3	104	1.1	13	0.4	75	59	73	12	7.3	*	47	*
SB-4	Kuyu	1986	19	8.82	483,7	114	1.3	5.6	0.5	81	63	61	12	7.9	*	50	*
SB-5	Kuyu	1986	20	8.83	478,3	106	1	4.4	0.2	78	45	61	12	<0.1	*	51	*

* Belirlenme limitlerinin altēnda

Çizelge 4.3. Ķnceleme alanēndaki su noktalarēndan alēnan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Aĵ ustos-2014)

4.2. Suların Kimyasal Özellikleri

4.2.1. Majör İyonlar

Majör iyonlar, doğal sularda iyon içeriğinin %90'dan fazlasını oluşturan Na^+, K^+, Ca^+, Mg^+, HCO_3^-, Cl^- ve SO_4^{-2} iyonlarıdır. Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların majör iyon analiz sonuçları Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de verilmiştir. Analizleri yapılan bu iyonların açıklamaları ve dağılımları (şekil 4.3 ve şekil 4.4) aşağıdaki şekildedir.

Sodyum (Na^+)

Sodyum, doğal sularda en yaygın olarak bulunan alkali metaldir. Bütün sodyum bileşikleri suda kolayca çözünürler. Yerkabuğundaki sodyum kaynakları magmatik kayaçlar, kil mineralleri, feldispatlar, evaporitler ve feldispatoidlerdir [38]. TSE tarafından içme suyu standartlarında sodyum için üst sınır 200 ppm olarak belirlenmiştir [39]. Savcılı-Büyükoba ve çevresinde yer alan sıcak suların kimyasal analizleri sonucunda Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynak ve kuyularının 106-114 ppm arasında sodyum içerdiği belirlenirken, soğuk su kaynakları sodyum değerleri açısından (1.59-45.78 ppm) sıcak su kaynaklarına göre daha düşük derişimlere sahiptir. İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarındaki Na^+'ün kaynağı genellikle granitoyidlerdeki Na-plajiyoklaslar ve kil mineralleridir [38]. Özellikle sıcak su kaynaklarında Na^+ hakim katyon olarak kendini göstermektedir.

Potasyum (K^+)

Potasyum, alkali metaller grubundan bir metal olup, genellikle doğal suların hepsinde bulunur. Potasyum içeren başlıca mineraller feldispat, mika, feldispatoid ve kil mineralleridir [38]. Doğal sularda potasyum içeriği genelde 20 ppm'i aşmamaktadır. Ancak sıcak ve mineralli su kaynaklarında bu değer 100 ppm'e ulaşabilmektedir [41]. İçme suyu standartlarında potasyum 12 ppm'i aşmamalıdır [39]. Savcılı-Büyükoba ve yakın çevresinde yer alan suların kimyasal analizleri sonucunda potasyum değerleri; Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynak ve kuyularında 1-1.38 ppm arasında değişktiği belirlenmiştir. Soğuk su kaynaklarının potasyum değerleri ise < 1 ppm-2.96 ppm arasında değişmektedir.

Kalsiyum (Ca^{+2})

Kalsiyum, doĵal sularda en bol bulunan katyonlardan biri olup birçok magmatik kayaç minerallerinin, özellikle piroksen, amfibol ve feldispatlarēn asēl bileкenidir. Tortul kayaçlarda kalsiyum genellikle kalsit, dolomit, aragonit, jips, anhidrit minerallerinde bulunur [38].

Kalsiyum doĵal sularda en bol bulunan katyonlardan biridir. Doĵal sulardaki deriкimi, suyun bulunduĵu ortamdaki kayaçlarēn bileкimi ile yakēndan ilgilidir [38]. Karbonatlē kayaçlarēn bulunduĵu bir ortamda Ca^{+2} miktarē 100 ppmôe kadar çēkabilir [41]. Kalsiyum sularēn sertliĵini oluкturan ana iyonlardandēr. TSE içme suyu standartlarēnda Kalsiyum miktarē 200 ppmôi aкmamalēdēr [39].

Çalēкma alanēnda bulunan sēcak ve mineralli sularēn kimyasal analizleri sonucu kalsiyum deĵerlerine bakēldēĵēnda Savcēlē-Büyükoba sēcak ve mineralli su kaynaĵēnda kalsiyum deĵeri 9.15-11.33 ppm, sēcak su kuyularēnda 4.4-13.0 ppm arasēnda deĵiкtiĵi görülmektedir. Soĵuk su kaynaklarēnda 26.77-126.19 ppm arasēnda deĵiкmektedir.

Magnezyum (Mg^{+2})

Magnezyum, olivin, piroksen, amfibol ve koyu renkli mikalarēn önemli bileкenlerindendir. Ayrēca karbonat (dolomit) ve oksit (magnezit) halinde de bulunur. Magnezyum tuzlarē oldukça yüksek bir çözünürlüĵe sahiptirler [38].

Doĵal sularda 100 ppm kadar deĵiкen deriкimlerde bulunan magnezyum, sularēn sertliĵini oluкturan diĵer bir iyondur [41].

Çalēкma alanēnda bulunan sēcak ve mineralli sularēn kimyasal analizleri sonucu magnezyum deĵerleri; Savcēlē-Büyükoba sēcak ve mineralli su kaynaĵēnda 0.14-0.32 ppm (<1 ppm) olarak belirlenmiкtir. Soĵuk su kaynaklarēnda ise 1.96- 37 ppm aralēĵēnda deĵiкmektedir.

Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^{-2})

Suların alkalinitesi, içerdiği çözünmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötralleştirme kapasitesidir. Hemen hemen bütün doğal sularda, alkalinite karbonat (CO_3^{-2}), bikarbonat (HCO_3^-) ve hidroksil (OH^-) iyonlarından dolayı ortaya çıkmaktadır [38].

Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsurlar, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doygun olmayan bölgede üretilen gazlardır. Bunun dışında biyolojik olarak oluşan sülfat indirgenmesi ile karbonat kayaçlarının metamorfizması sonucu da karbondioksit oluşabilmektedir [43].

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu HCO_3^- değerleri; Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağı için 12.64- 68.11 ppm, sıcak su kuyularında 61-73 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarında ise 94.82-415 ppm aralığında değişmektedir.

Klorür (Cl^-) ve Florür (F^-)

Klorürün doğadaki dağılımı oldukça geniştir. Klorür, esas olarak sedimanter kayaçlarda, özellikle evaporitlerde bulunur. Ayrıca, sodalit, biyotit, hornblend gibi magmatik kökenli minerallerde ve şeyllerde klorür iyonu bulunur [38].

Sularda görülen florürün başlıca kaynağı ise volkanik kayaçların bileşiminde bulunan kalsiyum florürdür [42]. İçme ve kullanma suları standartlarında F^- derişimi 1.5 ppm'i aşmamalıdır [39].

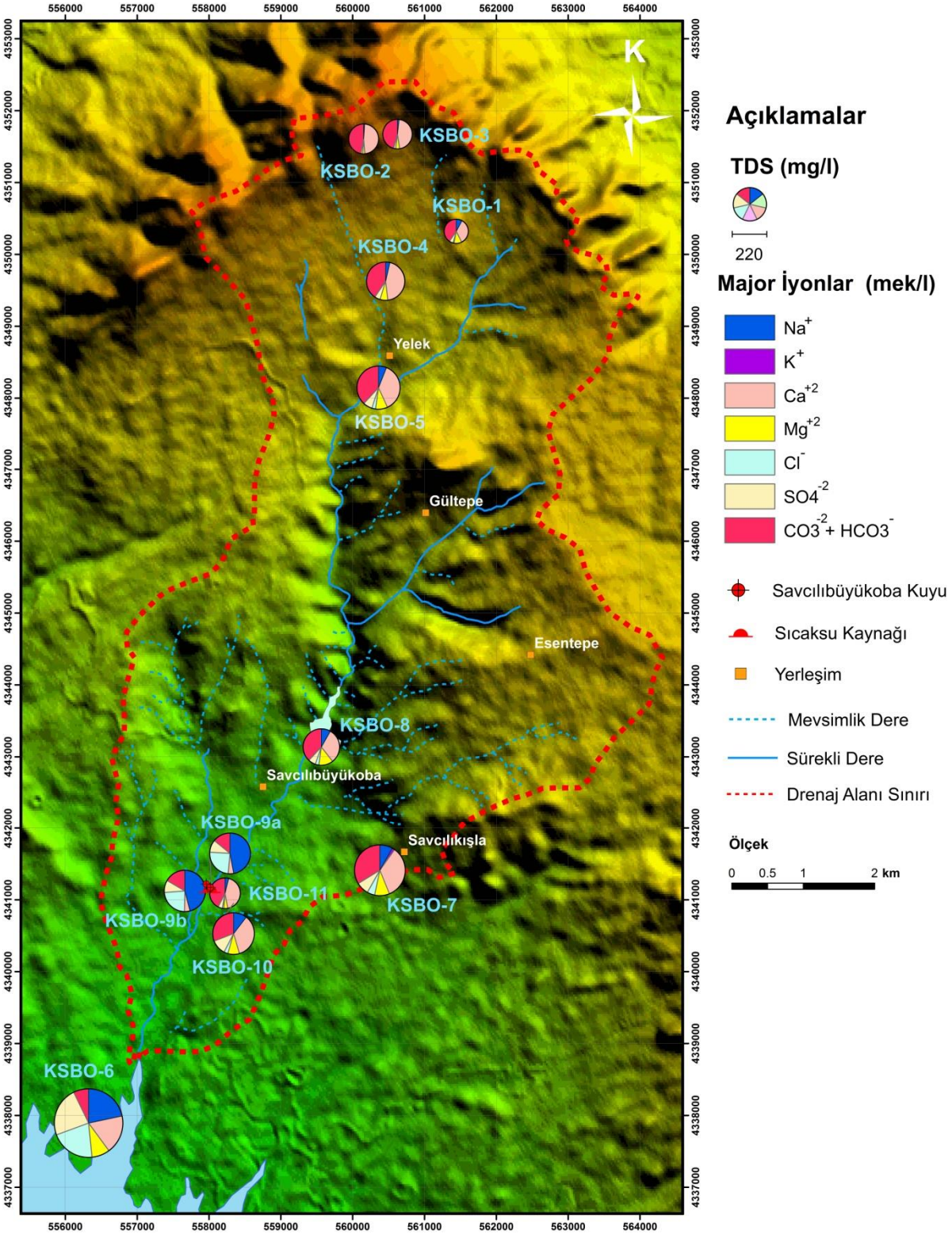
Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu klorür değerleri; Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağında 85.76-88.93 ppm, sıcak su kuyularında 75-81 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarında ise 1.52-31.81 ppm aralığında ölçülmüştür.

Florür içeriklerine bakıldığında ise Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağında 7.40-7.76 ppm, sıcak su kuyularında 7.3-7.9 ppm arasında değişmektedir. Florür içeriğinin yüksek olmasının nedeni ise sıcak suların çalışma alanındaki magmatik kayaçlarla etkileşimde olmasından kaynaklanmaktadır. Soğuk su kaynaklarında florür içeriği ise 0.16- 1 ppm aralığında ölçülmüştür.

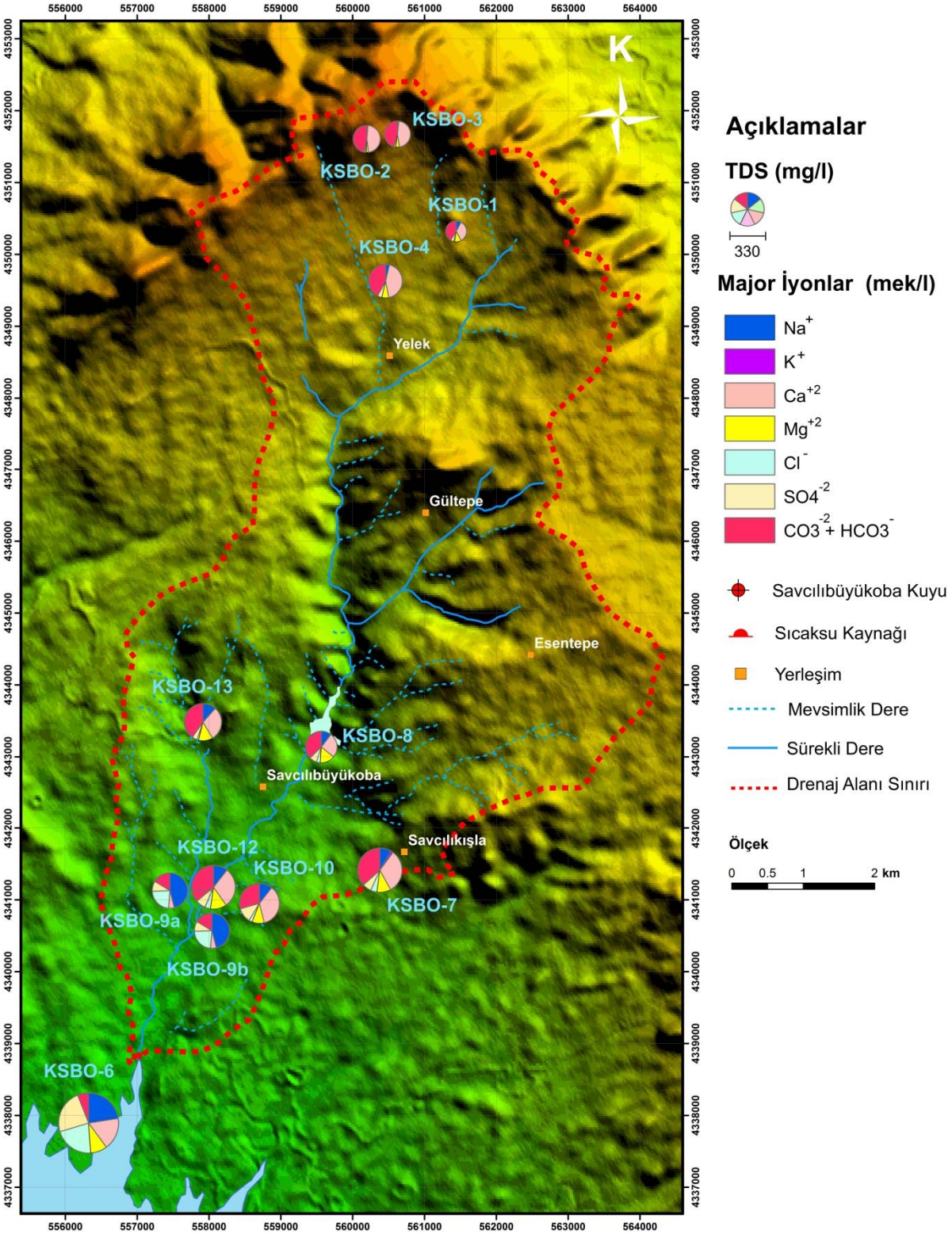
Sülfat ($SO4^{-2}$)

Kükürt elementi, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayaçlarda (barıt, jips ve anhidrit) yaygın olarak bulunmaktadır [38]. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozundukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşmakta ve bu iyonlar suya geçmektedir [38]. TSE içme suyu standartlarında sülfat için önerilen üst sınır 250 ppm'dir [39].

Çalışma alanından alınan örneklerdeki sülfat değerleri; Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağı için 46.63'ü 49.35 ppm, sıcak su kuyularında 45-63 ppm arasındadır. Soğuk su kaynaklarında ise 5.93- 70.55 ppm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.3. İnceleme alanındaki örneklerin anyon ve katyon dağılımları (Mart 2014)



Şekil 4.4. İnceleme alanındaki örneklerin anyon ve katyon dağılımları (Ağustos 2014)

4.2.2. Kirliliğe Yönelik Analizler (Besin Tuzları)

İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk sularda kirlilik tespitine yönelik örnekler derlenerek NH_4, NO_2, NO_3^- ve PO_4^- analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.4.a ve Çizelge 4.4.b).

Çizelge 4.4.a. Çalıkma alanından derlenen su örneklerine ait kirlilik analiz sonuçları(Mart-2014)

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	NH4	NO2	NO3	PO4
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1	KSBO-1	14.03.2014	-	-	21.98	0
2	KSBO-2	14.03.2014	-	0.01	2.67	0
3	KSBO-3	14.03.2014	-	-	5.1	0
4	KSBO-4	14.03.2014	-	0.01	43.43	0
5	KSBO-5	14.03.2014	-	-	4.01	0
6	KSBO-6	14.03.2014	0.59	0.07	0.17	0
7	KSBO-7	15.03.2014	0.03	-	28.72	0
8	KSBO-8	15.03.2014	0.46	0.07	0.18	0
9	KSBO-9a	15.03.2014	-	-	0.02	0
10	KSBO-9b	15.03.2014	-	-	-	0
11	KSBO-10	15.03.2014	0.08	-	50.96	0
12	KSBO-11	15.03.2014	0.04	0.03	3.66	0

Çizelge 4.4.b. Çalıkma alanından derlenen su örneklerine ait kirlilik analiz sonuçları (Ağustos-2014)

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	NH_4	NO_2	NO_3	PO_4
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
1	KSBO-1	16.08.2014	0.09	0	21.02	0
2	KSBO-2	16.08.2014	1.44	0	3.24	0
3	KSBO-3	16.08.2014	0.18	0	4.49	0
4	KSBO-4	16.08.2014	0.52	0	38.05	0
5	KSBO-6	16.08.2014	0.92	0.07	1.49	0
6	KSBO-7	16.08.2014	0.1	0	33.14	0
7	KSBO-8	16.08.2014	0.26	0	0.34	0
8	KSBO-9a	16.08.2014	0.04	0	0.33	0
9	KSBO-9b	16.08.2014	0.08	0	0.32	0.1
10	KSBO-10	16.08.2014	0.54	0	76.02	0
11	KSBO-12	16.08.2014	0.69	0.03	15.56	0
12	KSBO-13	17.08.2014	0.11	0	40.69	0

Amonyak (NH_4)

Amonyak formu, sularda bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşiğidir. Çözünmüş amonyak (NH_3) ve amonyum (NH_4) iyonlarından oluşmaktadır. Yeraltısularındaki amonyak derişimi toprak tanelerinin ve kil minerallerinin adsorplanması nedeniyle daha düşüktür [38]. TSE standartlarına göre içme sularında amonyak bulunmamalıdır [39]. Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli sularda ve bazısoğuk sularda amonyak varlığına rastlanmamıştır.

Nitrit (NO_2)

Nitrit iyonu, sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşiğidir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında (nitrifikasyon) veya nitrat ve azot oksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunur. Nitrit insanlar ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyicidir [41]. TSE içme suyu standartlarına göre, içme sularında nitrit için üst sınır 0.5 ppm olarak belirlenmiştir [39]. Yapılan ölçümlerde çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli sularda nitritin varlığına rastlanmamaktadır. Soğuk sularda ise 0.01 ppm ile 0.07 ppm arasında değişken nitrit değerleri ölçülmüştür.

Nitrat (NO_3^-)

Nitrat iyonu, sularda bulunan başlıca azot bileşiklerinin en önemlisidir. Çoğu yüzey sularıbir miktar nitrat iyonu içerir. Bununla birlikte, nitratın en önemli kaynaklarından biri insan ve hayvan atıklarıdır olduğundan 5 ppmdan fazla nitrat içeriği kirlenme göstergesi olabilir [41]. Öte yandan, magmatik ve volkanik gazlar sulardaki nitrata yerel olarak kaynaklık ederler.

Yüzey ve yeraltısularındaki nitrat çoğunlukla organik veya insan kaynaklıdır. Bozunan bitkisel ve hayvansal atıklar, endüstriyel atık sular, tarımda kullanılan gübreler, sulamadan dönen sular, atmosferik azotun yağışlarla yıkanması, yüzey ve yeraltısularındaki nitratı sağlayan başlıca kaynaklardır [38]. Nitratın insan sağlığı üzerine olan etkileri göz önünde tutularak TSE içme sularında nitrat iyonunun 50 ppmdan daha az olmasıgerektiğini önermiştir [39]. İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli sulardaki nitrat derişimleri belirlenen limitlerin altındadır.

Fosfat (PO_4^-)

Fosfor magmatik kayaçlarda bulunan en yaygın elementlerden biridir. Çökeller içinde de oldukça yaygın olmasına karşın doğal sulardaki fosfat derişimi 1 ppm'in çok altındadır [38]. Yüzey ve yeraltısularındaki fosfat, kayaçlardan ve topraktan, bozunan bitkisel ve hayvansal atıklardan, kullanılan gübrelerden kaynaklanabilir.

Ortamda yeterli miktarda azot bulunduğunda 0.1 ppm üzerindeki fosfor derişimleri çamur oluşumuna ve alg çoğalmasına neden olarak suyun içme, endüstriyel ve banyo amacıyla kullanımını etkilemektedir [41]. TSE standartlarında fosfat için bir sınır verilmemiştir. Yapılan ölçümlerde inceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sular ile soğuk sularda fosfatın varlığına rastlanılmamıştır.

4.2.3. Ağır Metal Analizleri

Doğal sularda bulunan bileşenlerin %90'ını oluşturan majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadırlar. Demir dışında diğer ağır metaller sularda genellikle 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur [44]. Doğal sulara, evsel ve endüstriyel atıksular ve madencilik faaliyetleri atıklarıaracılığıyle bazen önemli miktarlarda ağır metal katılabilir.

Suyun dolaşımı sırasında temasta bulunduğu litolojik birimlerin yapısında, sulardaki ağır metal içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Çalışma alanında yer alan sularda Mart ve Ağustos dönemlerinde ağır metal olarak demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), krom (Cr), kurşun (Pb), nikel (Ni), kadmiyum (Cd) çinko (Zn) ve analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6).

Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir element olan demir miktarının bazı termal kaynaklarda 10-100 ppm arasında değişiktiği bildirilmektedir [41]. Türkiye'deki içme suyu standartlarında demir için önerilen üst sınır 0.3 ppm, izin verilebilen maksimum miktar ise 1 ppm'dir [38]. Demirin su içerisindeki çözünürlüğü ortamın pH ve redoks koşullarına bağlıdır. Aynı zamanda demir alglerin yapısında bulunan bir element olarak bilinmektedir. Demir eksikliğinde organizmaların fotosentez hızı düşmektedir.

Mangan ise, alglerin azot maddesi değişimesindeki rolü açısından önemli bir maddedir. Mangan alg büyümesini ve fotosentezi hızlandırmaktadır. Mangan genel olarak metamorfik ve magmatik kayaçlarda olivin, piroksen ve amfibol

minerallerinde bulunmaktadır. Yeraltı sularında bulunan mangan miktarı su içerisinde çözünmüş oksijene doygun yer altı sularında çökelirken, oksijensiz ortamlarda demirle birlikte bol miktarda bulunmaktadır [38].

Savcılı-Büyükoba ve çevresinde yer alan suların kimyasal analizleri sonucunda bulunan demir değerleri Mart döneminde; Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağı için (KSBO-9a, KSBO-9b) 0.12-0.16 ppm değerleri arasında değişirken Ağustos döneminde sıcak sularda demirin varlığına rastlanılmamıştır. Soğuk su kaynakları için Mart döneminde demir değerleri ise 0.03-0.47 ppm arasında, Ağustos döneminde ise 0.00-0.034 ppm değerleri arasında değişim göstermektedir.

İnceleme alanında yapılan kimyasal analizler sonucunda Mart ve Ağustos dönemlerinde sıcak ve soğuk su kaynaklarında manganın varlığına dönemsel olarak rastlanılmamıştır.

Çizelge 4.5. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerine ait ağır metal analizleri (Mart 2014)

Örnek No	Tarih	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cd (ppm)
KSBO-1	14.03.2014	0.47	0.004	*	*	0.006	0.002	0.006	*
KSBO-2	14.03.2014	0.10	*	0.01	0.005	0.001	0.001	0.003	*
KSBO-3	14.03.2014	0.07	*	*	0.001	0.001	0.002	0.003	*
KSBO-4	14.03.2014	0.07	*	*	0.01	0.001	0.002	0.004	*
KSBO-5	14.03.2014	0.05	*	*	0.03	0.001	0.001	0.005	*
KSBO-6	14.03.2014	0.03	*	*	0.020	0.001	0.001	0.005	*
KSBO-7	15.03.2014	0.04	*	*	*	0.001	0.002	0.003	*
KSBO-8	15.03.2014	0.07	0.0002	*	0.005	0.001	0.002	0.003	*
KSBO-9a	15.03.2014	0.16	*	*	0.08	0.001	0.002	0.003	*
KSBO-9b	15.03.2014	0.12	*	*	*	0.001	0.002	0.002	*
KSBO-10	15.03.2014	0.05	*	*	*	0.001	0.001	0.002	*
KSBO-11	15.03.2014	0.07	*	*	*	0.001	0.002	0.002	*

Çizelge 4.6. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerine ait ağır metal analizleri (Ağustos 2014)

Örnek No	Tarih	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cd (ppm)
KSBO-1	16.08.2014	0.003	*	*	*	0.001	0.002	*	0.000
KSBO-2	16.08.2014	0.005	0.000	*	*	0.001	0.005	*	*
KSBO-3	16.08.2014	*	*	*	*	0.000	0.003	*	0.000
KSBO-4	16.08.2014	*	*	*	*	0.001	0.005	*	*
KSBO-6	16.08.2014	*	0.003	*	0.013	0.010	0.043	*	0.000
KSBO-7	16.08.2014	*	*	*	*	0.001	0.002	*	*
KSBO-8	16.08.2014	0.034	0.006	0.005	*	0.001	0.005	*	*
KSBO-9a	16.08.2014	*	*	0.005	0.005	0.000	0.003	*	0.000
KSBO-9b	16.08.2014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
KSBO-10	16.08.2014	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
KSBO-12	17.08.2014	0.021	0.006	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
KSBO-13	17.08.2014	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000

Bakır (Cu)

Bakır, yerkabuğundaki kayaçlarda doğal bakır veya bakır içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunur. Bununla birlikte, bakır minerallerinin çözünürlükleri çok düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az bir kısmı doğal kökenlidir [38]. Çeşitli sanayi atıklarından gelebilen bakır için TSE içme suyu standartlarında 2.0 ppm üst sınırını önermiştir [39]. Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucunda Mart döneminde bakırın varlığına rastlanılmamıştır. Ağustos döneminde ise sıcak su kaynaklarında 0.005 ppm kadar bakıra rastlanılmıştır.

Soğuk su kaynaklarında ise Mart döneminde sadece KSBO-2 soğuk kaynağında 0.01 ppm bakırın varlığına rastlanılmış olup, Ağustos döneminde soğuk su kaynaklarındaki bakır derişimi 0.001-0.005 ppm arasında değerler vermektedir.

Krom (Cr)

Suların bileşiminde bulunan krom, kayaçlardan, endüstriyel atıklardan ve tarımdan kaynaklanabilir. Doğal sulardaki derişimi genellikle 0.01 ppm'in altındadır. Bununla birlikte suyun temasta olduğu kayacın bileşimine bağlı olarak bu derişim 0.2 ppm'ye kadar artabilmektedir [38]. Türkiye'de TSE içme suyu standartlarında krom içeriği için önerilen üst sınır 0.05 ppm olarak verilmektedir [39]. Mart döneminde çalışma alanında bulunan Savcılı-Büyükoba sıcak mineralli su kaynağında (KSBO-9a, KSBO-9b) krom derişimi 0.001 ppm iken Ağustos döneminde sıcak su kaynağında kromun varlığına rastlanılmamıştır. Soğuk su kaynaklarındaki krom derişimleri ise

Mart döneminde 0.001-0.006 ppm arasında değişirken, Ağustos döneminde 0.001-0.01 ppm arasında değerler vermektedir.

Kurşun (Pb)

Birçok kayaç oluşturan mineralin asıl yapısında yeralan kurşun, sularda doğal olarak bulunmakta ve kayaçlardan ve insan faaliyetlerinden sağlanmaktadır. Doğal sulardaki kurşun nadir olarak yüksek değerlere ulaşır [38]. İnsan vücudunda birikim yaparak zehirli bir etkiye sahip olan kurşun için TSE, içme suyu standartlarında izin verilebilir üst sınır olarak 0.01 ppm derişimini önermiştir [39]. Savcılı-Büyükoba ve çevresinden alınan su örneklerinde kurşun miktarı bu değeri geçmemektedir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların kimyasal analizleri sonucunda Mart döneminde Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağında (KSBO-9a, KSBO-9b) 0.002 ppm, Ağustos döneminde ise 0.003 ppm kurşunun varlığına rastlanılmıştır. Soğuk su kaynaklarında ise Mart dönemindeki kurşun derişimi 0.001-0.002 ppm arasında değişmekte iken, Ağustos döneminde 0.005-0.04 ppm arasında değişen değerler vermektedir.

Nikel (Ni)

Nikel magmatik kayaçlarda bulunan birçok mineralin yapısında bulunmaktadır. Nikelin doğal sularda, 1 ppmöe kadar yükselen derişimleri yanında, genellikle 0,005 ile 0,02 ppm arasında derişimlerde bulunduğu belirlenmiştir [39]. TSE içme suyu standartlarında Ni 0,02 ppmöı aşmamalıdır [39].

Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların kimyasal analizleri sonucunda Mart döneminde Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağında (KSBO-9a, KSBO-9b) nikel değerleri 0.002-0.003 ppm arasında değişirken, Ağustos döneminde nikelin varlığına rastlanılmamıştır. Soğuk su kaynaklarında ise Mart döneminde nikel derişimleri 0.002-0.006 ppm arasında değişirken, Ağustos döneminde nikelin varlığına rastlanılmamıştır.

Kadmiyum (Cd) ve Çinko (Zn)

Kadmiyum yerkabuğunda eser miktarda bulunan ve özellikleri çinkoya benzeyen bir elementtir. Kadmiyum yerkabuğunda her zaman çinko ile kombinasyon halinde bulunmaktadır [38]. Ayrıca, gübre ve pestisit kadmiyum içermektedir. Kadmiyum ayrıca endüstrilerde çinko, kurşun ve bakır ekstraksiyonunun kaçınılmaz yan ürünüdür. Doğal suların kadmiyum içerikleri genellikle 0.001 ppm daha azdır.

Bununla birlikte bazı sularda 0.01 ppm'ye kadar ulaşan derişimlerde bulunabilmektedir [41]. Çalışma alanında yer alan sıcak ve soğuk su kaynaklarında dönemsel olarak kadmiyumun varlığına rastlanılmamıştır.

Doğal sularda bulunan çinko genellikle, suyun temasta olduğu kayaçlardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübreden ve atmosferden kaynaklanabilir. Çinko insan için gerekli olan, zehirli olmayan bir element olup, 25 ppm derişimlere kadar olumsuz bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir [41].

Çalışma alanında bulunan suların kimyasal analizleri sonucu Mart döneminde Savcılı Büyükoba (KSBO-9a) sıcak ve mineralli su kaynağı için çinko derişimleri 0.08 ppm iken, Ağustos döneminde 0.005 ppm'dir. Soğuk su kaynaklarındaki çinko değerleri ise Mart döneminde 0.001-0.03 ppm arasında değişirken, Ağustos döneminde sadece Hirfanlı Barajı (KSBO-6) su örneğinde 0.01 ppm çinkonun varlığına rastlanılmıştır.

4.3. İnceleme Alanındaki Suların Kökeni

İnceleme alanındaki soğuk su ve sıcak su kaynaklarının dolaşım sistemini açıklayabilmek için, araziden alınan soğuk su ve sıcak su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre, bölgedeki su kaynaklarının kimyasal özellikleri ve litoloji ile olan ilişkileri incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan Schoeller ve Piper diyagramları ile soğuk su kaynaklarının birbirleriyle ve sıcak sularla olan etkileşimleri, benzerlik ve farklılıkları incelenmiştir.

4.3.1. Su kaynaklarının iyon karakteristikleri

Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının iyon içeriklerinin meq/l derişimine göre hakim iyon sıralaması ve bu sıralamaya göre oluşturulmuş su tipleri Çizelge 4.7 de gösterilmiştir. Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının iyon içeriklerinin meq/l derişimine göre hakim katyon sıralaması Na+K>Ca>Mg ve anyon sıralaması ise Cl>HCO_3>SO4 şeklindedir.

Mart 2014 ve Ağustos 2014 döneminde iyon karakteristiklerine göre çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin hepsinde (KSBO-9a, KSBO-9b, SB-2, SB-3, SB-4) hakim katyon Na^{+}+K^{+} ve hakim anyon Cl^{-} olup sıcak su kaynakları Na-Cl tipi sular sınıfındadır. Soğuk su örneklerinde ise hakim katyon Ca^{+2}, hakim anyon HCO_3^{-} olup, bu sular Ca-HCO_3 tipi sular sınıfındadır. Baraj suyu örneği (KSBO-6) ise Na-SO_4 tipi sular sınıfındadır.

Çizelge 4.7. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların iyon sıralamasını

Örnek No	Örnek Adı	Katyon Sıralaması	Anyon Sıralaması	Su Tipi
KSBO-1	Pamukluk Kaynağı	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-2	Tamadağ Kaynağı	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-3	Çağlayan Kaynağı	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-4	Cevizinkakı Kaynağı	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-5	Değirmenözü Deresi	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-6	Hırfanlı Barajı	Na+K>Ca>Mg	SO_4>Cl>HCO_3	Na-SO4
KSBO-7	Savcılı Kızıla Kaynağı	Ca>Na+K>Mg	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-8	Savcılı Büyükoba Göleti	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-9a	Savcılı Büyükoba Sıcak Su Kaynağı	Na+K>Ca>Mg	Cl>HCO_3>SO_4	Na-Cl
KSBO-9b	Savcılı Büyükoba Sıcak Su Kaynağı	Na+K>Ca>Mg	Cl>HCO_3>SO_4	Na-Cl
KSBO-10	Eseninkak Kaynağı	Ca>Na+K>Mg	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-11	Yağmur+Kar Suyu birikimi	Ca>Na+K>Mg	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-12	Hamamözü Deresi	Ca>Na+K>Mg	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
KSBO-13	Pamukluktepe Kaynağı	Ca>Na+K>Mg	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
SB-2	Sıcak Su Kuyusu	Na+K>Ca>Mg	Cl>HCO_3>SO_4	Na-Cl
SB-3	Sıcak Su Kuyusu	Na+K>Ca>Mg	Cl>HCO_3>SO_4	Na-Cl
SB-4	Sıcak Su Kuyusu	Na+K>Ca>Mg	Cl>HCO_3>SO_4	Na-Cl
SB-5	Sıcak Su Kuyusu	Na+K>Ca>Mg	Cl>HCO_3>SO_4	Na-Cl

4.3.2. Schoeller Diyagramı

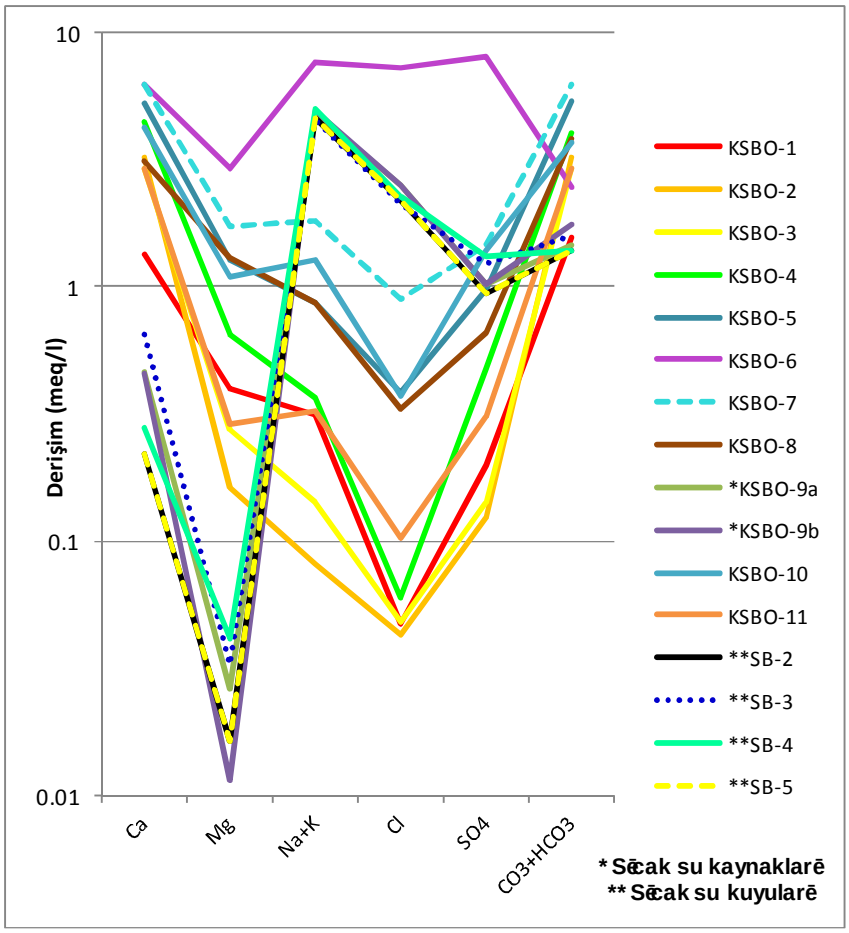
Bölgedeki sıcak su kaynaklarının birbirleriyle ve soğuk su kaynaklarıyla olan kökensel benzerlik ve farklılıklarının gösterilmesi amacıyla yarılogaritmik Schoeller diyagramı oluşturulmuştur (şekil 4.5 ve 4.6).

Schoeller diyagramında ortak beslenme alanına sahip, aynı akifere ait suların iyon dağılımlarının paralellik göstermesi beklenmektedir. Diyagrama göre çizgilerin birbirine paralel olması bu suların benzer kökenli beslenime ve hazneye sahip olduklarını göstermektedir. Yüksek iyon miktarı nispeten daha derin dolaşımı ifade eder. Buna göre inceleme alanındaki suları 3 gruba ayırmak mümkündür.

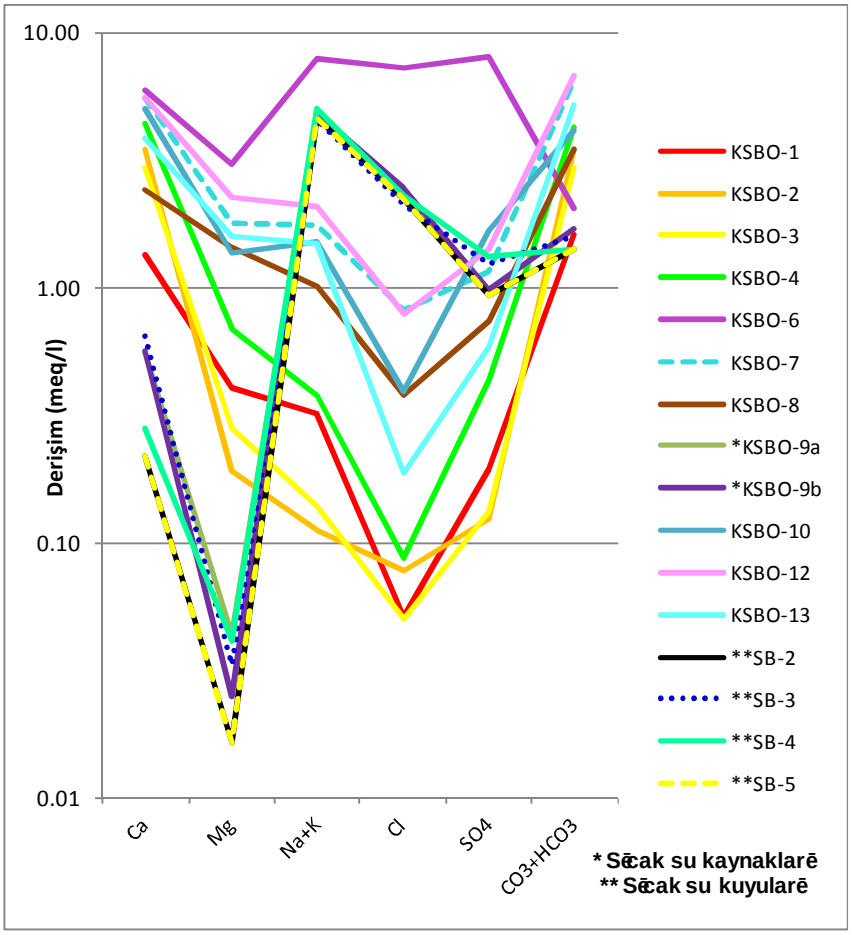
1.grup sular sıcak sular olup, Schoeller diyagramında Savcılı Büyükoba sıcak su kaynakları ile sıcak su kuyularının (KSBO9-a, KSBO-9b, SB-2, SB-3, SB-4, SB-5) kökensel benzerlikleri açıkça görülmektedir. Savcılı Büyükoba sıcak su kaynakları ile sıcak su kuyularının birbirleri ile olan benzerliği bu kaynakların akifer kayaçlarının benzer olduğunu göstermektedir. Bu suların yüksek Na^+ ve Cl^- derişimleri ile soğuk su kaynaklarından belirgin bir şekilde ayrıldıkları görülmektedir.

2.grup çalışma alanındaki soğuk su kaynakları olup, soğuk su kaynakları (KSBO-1, KSBO-2, KSBO-3, KSBO-4, KSBO-5, KSBO-7, KSBO-8, KSBO-10, KSBO-11, KSBO-12, KSBO-13) birbirlerine paralellik göstermekle birlikte hakim iyonlar Ca^{+2}, $HCO_3^{-}+CO3^{-2}$ olup sıcak su kaynaklarından belirgin bir şekilde ayrılmaktadırlar. Çalışma alanındaki soğuk su kaynakları birbirlerine paralellik göstermekle birlikte Mart döneminde (KSBO-7), Ağustos döneminde ise (KSBO-12) numarali kaynakların diğer soğuk su kaynaklarına göre daha fazla iyon derişimine sahip olduklarıgörülmektedir.

3.grup ise çalışma alanındaki Hirfanlı Barajına ait su örneği olup (KSBO-6) yüksek Na^{+} ve $SO4^{-2}$ içeriği ile diğer soğuk su kaynaklarından ayrılmaktadır.



Şekil 4.5. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Mart 2014)

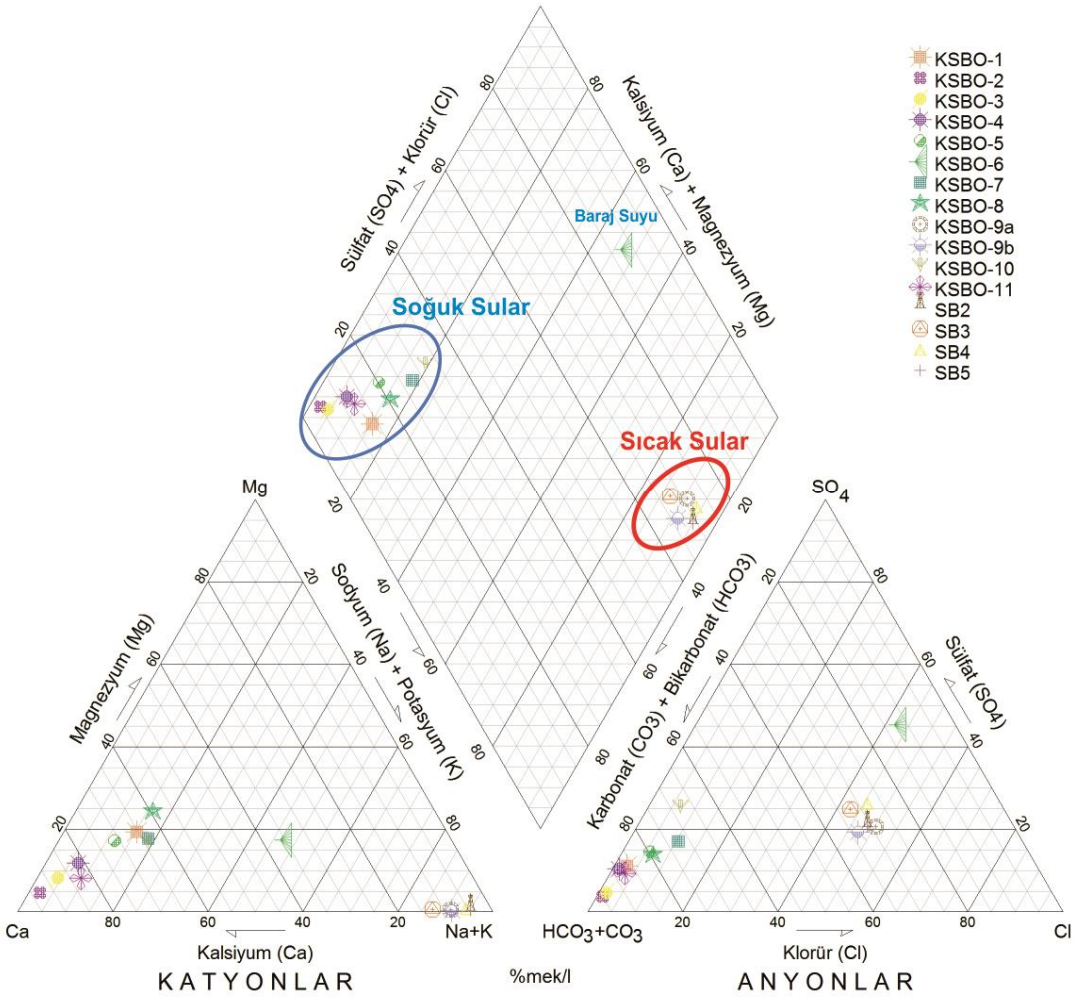


Şekil 4.6. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Aşustos 2014)

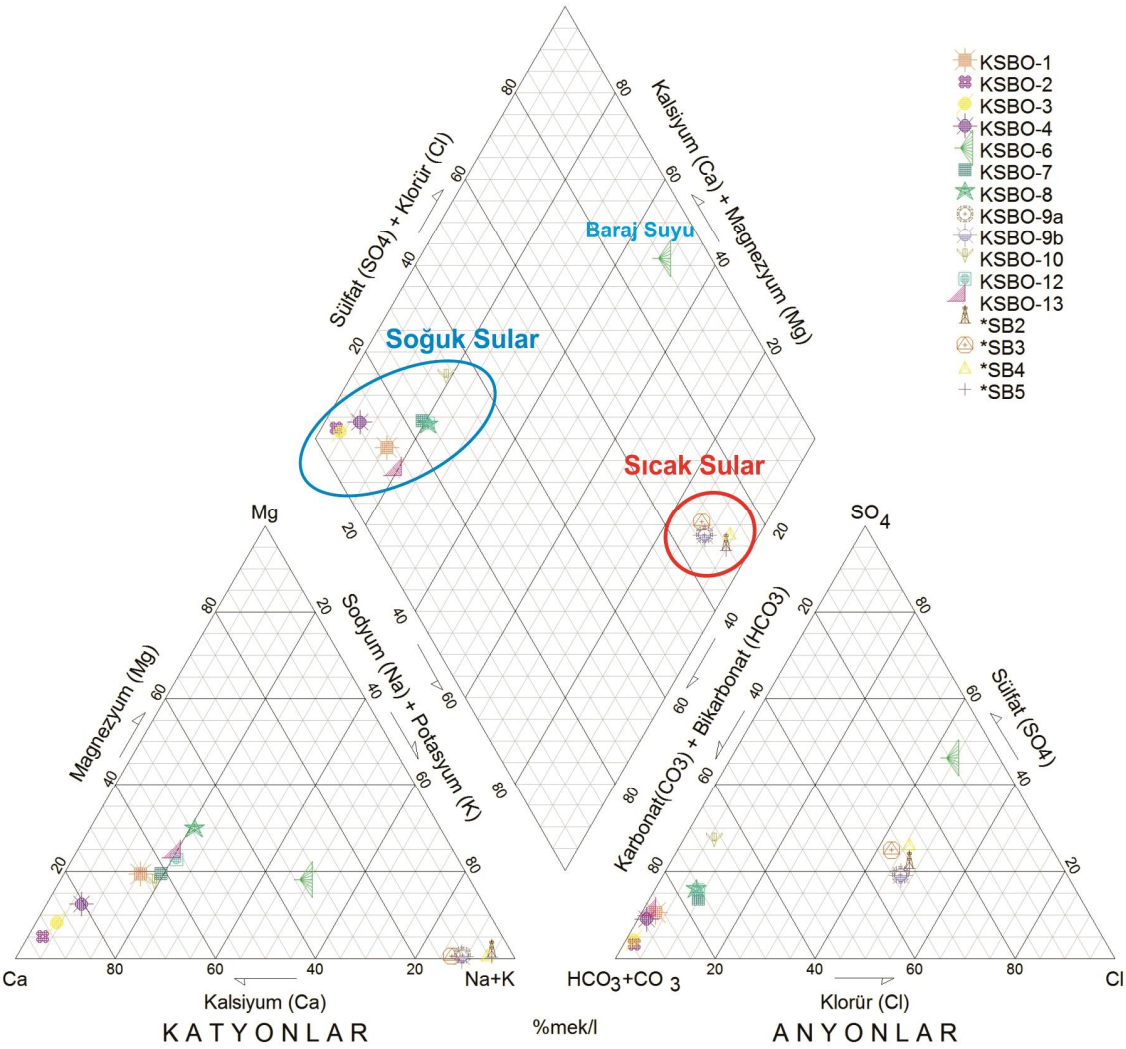
4.3.3. Piper Diyagramı

Piper diyagramı anyon ve katyonların % meq/l cinsinden gösterildiği iki ayrı üçgen ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflandırılması ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Piper diyagramı kullanılarak, çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların sınıflandırılması ve birbirleriyle karşılaştırılması, ayrıca litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal evrim süreçlerinin ve dönemsel farklılıklarının açıklanması amaçlanmıştır (şekil 4.7.a ve şekil 4.7.b).



Şekil 4.7.a. İnceleme alanındaki su kaynaklarıiçin oluşturulan Piper Diyagramı(Mart 2014)



Şekil 4.7.b. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper Diyagramı (Aşustos 2014)

Piper diyagramına göre çalışma alanındaki sular üç grupta toplanmıştır.

1.grup; inceleme alanındaki soğuk su kaynakları olup, soğuk su kaynaklarının aynı bölgede kümelendikleri görülmüştür. Suların aynı bölgede kümelenmeleri bu suların aynı kökene sahip olduklarını anlamına gelmektedir. Bu soğuk su kaynakları Ca^{+} HCO_3^{-} iyonlarınca zengindir. Aynı zamanda bu durum kaynakların karbonat kökenli bir akiferden beslendiğini göstermektedir.

2.grup; inceleme alanındaki sıcak su kaynakları ve kuyularına ait örneklerdir. Bu sular Na^{+} ve Cl^{-} iyonlarınca zengin sulardır.

3.grup; inceleme alanındaki baraj suyu örneğini (KSBO-6) temsil etmekte olup, karışık sular grubuna girmektedir.

Kurak ve yaş ağlı dönemlerde örneklenen sıcak ve soğuk su kaynaklarında büyük bir oranda farklılık görülmemiştir.

4.4. Sulama Suyu Sınıflandırılması

Savcılı Büyükoba sıcak su kaynağı ve dolayındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının tarımda sulama suyu olarak kullanımı ABD Tuzluluk Laboratuvarı sistemi ve Wilcox grafik sistemine göre değerlendirilmiştir.

4.4.1. Wilcox Diyagramı

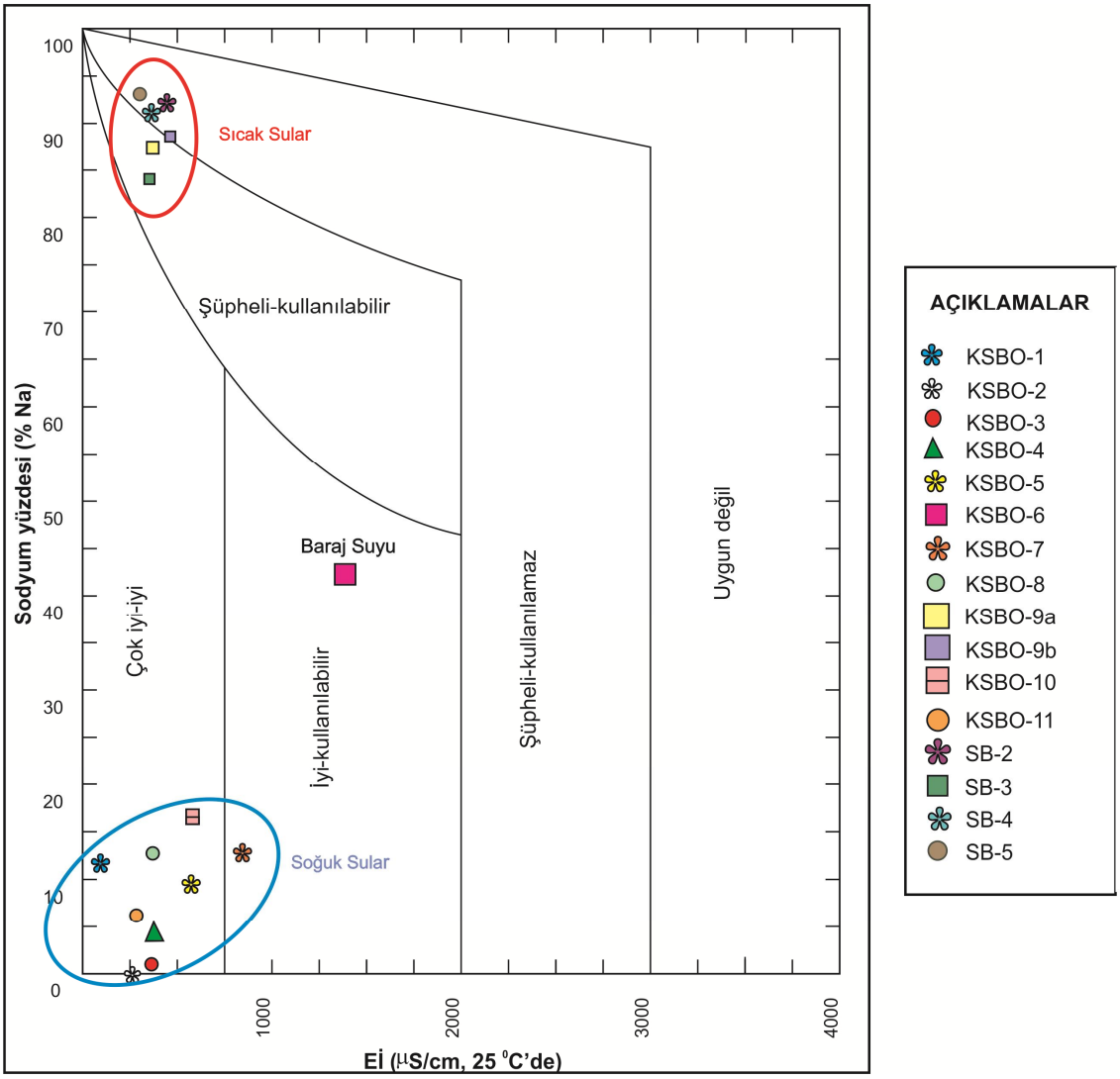
Wilcox diyagramında, Sodyum yüzdesi (%Na) ve Elektriksel İletkenlik (EİK) mikroSiemens/cm (µS/cm) değerleri suların sulama suyu olarak kullanımı için Çok İyi-İyi Kullanılabilir, şüpheli Kullanılabilir, şüpheli Kullanılamaz ve Uygun Değil gibi bölümleri kapsamaktadır. Sodyum yüzdesi; suyun toplam major katyonları içinde % Na değerini ifade eder. İyon derişimleri meq/l olmak üzere;

%Na= 100*Na / (Na+K+Ca+Mg)

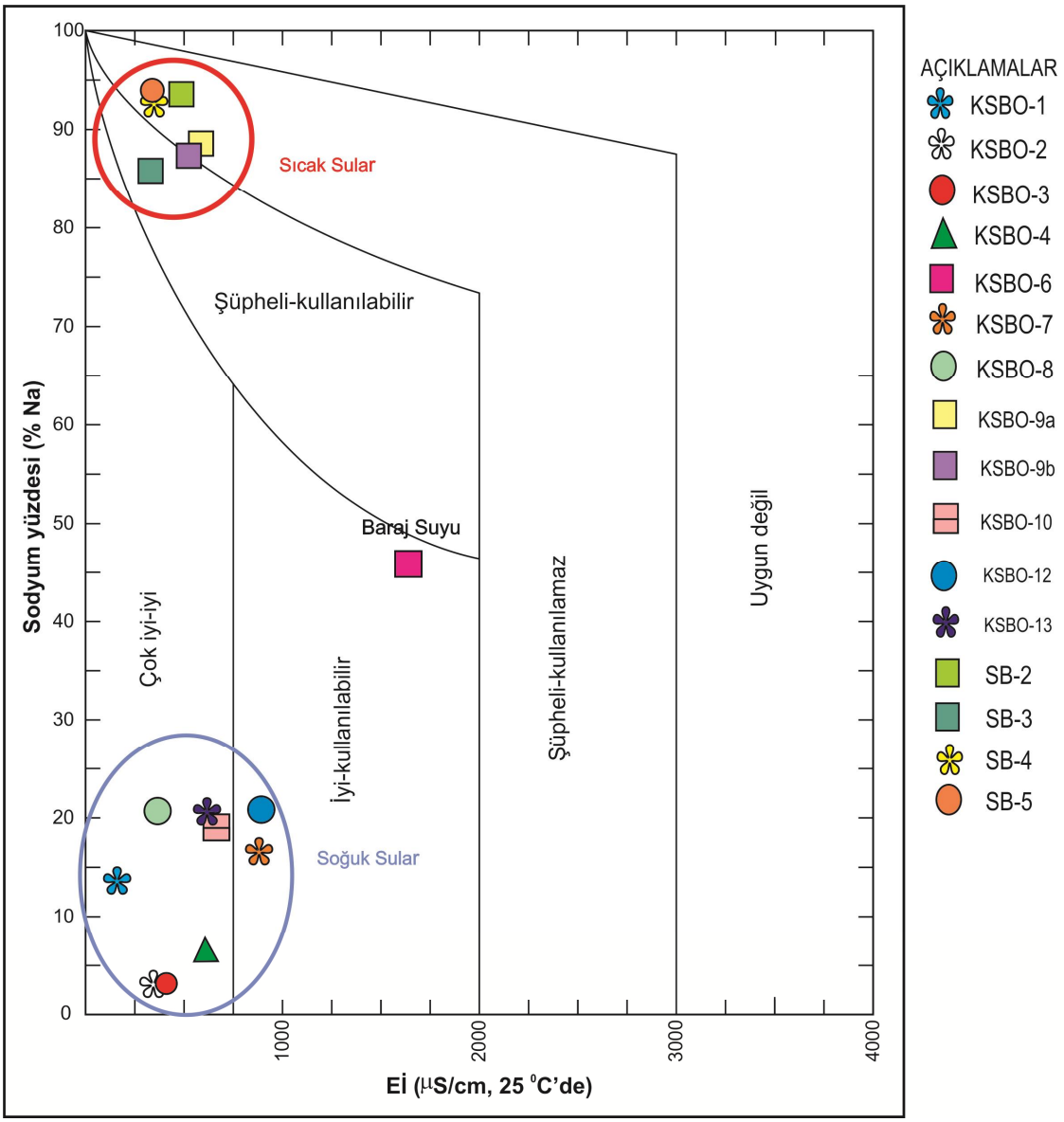
eşitliği ile hesaplanabilir [42].

Mart 2014 dönemindeki Savcılı Büyükoba jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları, kuyuları ile civarındaki soğuk su kaynakları ve yüzey sularının diyagram üzerinde kümelenmeleri değerlendirildiğinde soğuk su kaynaklarının (KSBO-1, KSBO-2, KSBO-3, KSBO-4, KSBO-5, KSBO-8, KSBO-10, KSBO-11) düşük Na yüzdesine sahip oldukları ve az tuzluluk, düşük EİK değerleri (179-576 µS/cm) ile Çok İyi-İyi Kullanılabilir bölümünde, KSBO-6, KSBO-7 soğuk su kaynakları ise nispeten daha yüksek EİK değerleri ile İyi-Kullanılabilir sular bölümünde yer almaktadır. Sıcak su kaynakları (KSBO-9a, KSBO-9b) ve sıcak su kuyularının (SB-2, SB-3, SB-4, SB-5) ise yüksek Na yüzdesi, yüksek tuzluluk ve düşük EİK değerleri ile (KSBO-9a, SB-3) şüpheli kullanılabilir ve (KSBO-9b, SB-2, SB-4, SB-5) şüpheli kullanılamaz sular bölümünde yer almaktadır (şekil 4.8.a ve şekil 4.8.b).

Ağustos 2014 dönemi ölçümlerine ait oluşturulan Wilcox Diyagramında Mart döneminden farklı olarak Hamamözü deresi (KSBO-12) İyi-Kullanılabilir sular, Eseninkaş Kaynağı (KSBO-13) ise düşük Na yüzdesi ve az tuzluluk, düşük EİK değeri ile Çok iyi-iyi kullanılabilir sular sınıfında yer almaktadır (şekil 4.8.b).



Şekil 4.8.a. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Wilcox diyagramı(Mart 2014)



Şekil 4.8.b.Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Wilcox diyagramı(Ağustos 2014)

4.4.2. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde sodyum (Alkali) tehlikesi ve tuzluluk tehlikesinin belirlenmesi amacıyla Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ve EŞ (Elektriksel İletkenlik) değerleri işaretlenmiştir (şekil 4.9.a ve şekil 4.9.b).

SAR; Sodyum iyonunun iyon takası reaksiyonlarındaki aktifliğinin ifadesi olup, sodiklik tehlikesi yönünden suların sınıflamasında kullanılan genel bir ölçüdür. Bikarbonat ve karbonat değerleri nispeten düşük olan suların değerlendirilmesi için SAR kullanılan bir kriterdir.

Kyon derikimleri meq/l olmak üzere;

SAR= Na / [(Ca+Mg) / 2]$^{1/2}$
ekitliği iyle hesaplanabilir.

SAR kavramı sodyumu tek bakına değil, Ca ve Mg ile karkılıklı etkileşimi ve katyon takas reaksiyonlarındaki aktifliğini dikkate aldığı için % Na'a göre daha hassastır. Ca ve Mg suda sodyum tehlikesini azaltıcı etki gösterir [42] .

ABD Laboratuvarı diyagramında geçen tuzluluk ve sodyum sınıflarının anlamı ku kekildedir:

C1: Az tuzlu suları göstermektedir. EK değeri 0-250 µS/cm arasındadır. Her çeşit bitki sulamasında kullanılabilir. Toprak çok düşük geçirgenliğe sahip olmadığı sürece toprakta tuzluluk yaratmaz.

C2: Orta derecede tuzlu suları göstermektedir. EK değeri 250ï 750 µS/cm arasındadır. Tuza çok hassas bitkiler hariç, sulamada kullanılabilir. Toprak geçirgenliğinin iyi ve orta derecede olduğu yerlerde tuzluluk kontrol önlemlerine gerek yoktur. Düşük geçirgenliğe sahip topraklara uygulandığında bir miktar yıkama gerekebilir.

C3: Yüksek tuzlu, EK değeri 750- 2250 µS/cm arasında suları göstermektedir. Tuza dayanıklı bitkilerin sulamasında kullanılabilir. Yeterli geçirgenlik ve drenaj şartlarında dahi özel tuzluluk kontrol önlemleri gerektirir. Drenaj durumu iyi olmayan topraklarda ve tuza hassas bitkiler için kullanılmamalıdır. Tuza dayanıklı bitki seçilerek ve tuz kontrolü yapılarak kullanılabilir.

C4: Çok yüksek tuzlu, EK değeri 2250-5000 µS/cm arasında suları ifade etmektedir. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Fakat tuzluluğa çok dayanıklı bitkilerin seçildiği, yıkama ihtiyacının da dikkate alındığı, drenaj ve geçirgenliği çok iyi olan topraklarda özel tuzluluk tedbirleri ile kullanılabilir. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir.

S1: Az sodyumlu suyu göstermektedir. Bu sınıftaki bir su, sodyum tehlikesi yaratmaksızın kullanılabilir.

S2: Orta sodyumlu suyu temsil eder. Fazlaca derişebilir sodyum var demektir. İnce yapılı topraklarda, özellikle jips yönünden fakir topraklarda, önemli bir sodyum tehlikesi gösterebilir.

S3: Yüksek sodyumlu suları gösterir. Birçok toprakta sodyum tehlikesi yaratır, sodiklaşmaya yol açar. Bol jipsli topraklarda, çok iyi yıkama ve suya organik maddeler katmak üzere kullanılırsa sodyum tehlikesi önlenebilir.

S4: Çok yüksek sodyumlu suları ifade eder. Sulama amaçlarına uygun değildir. Ancak tuzluluğun orta ve düşük olması, jipsle birlikte kullanılarak suda kimyasal değişiklikler yapılması gibi çok özel bazı hallerde kullanılabilir [42].

Savcılı Büyükoba Jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk suların, ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı üzerindeki dağılımlarının değerlendirilmesine göre:

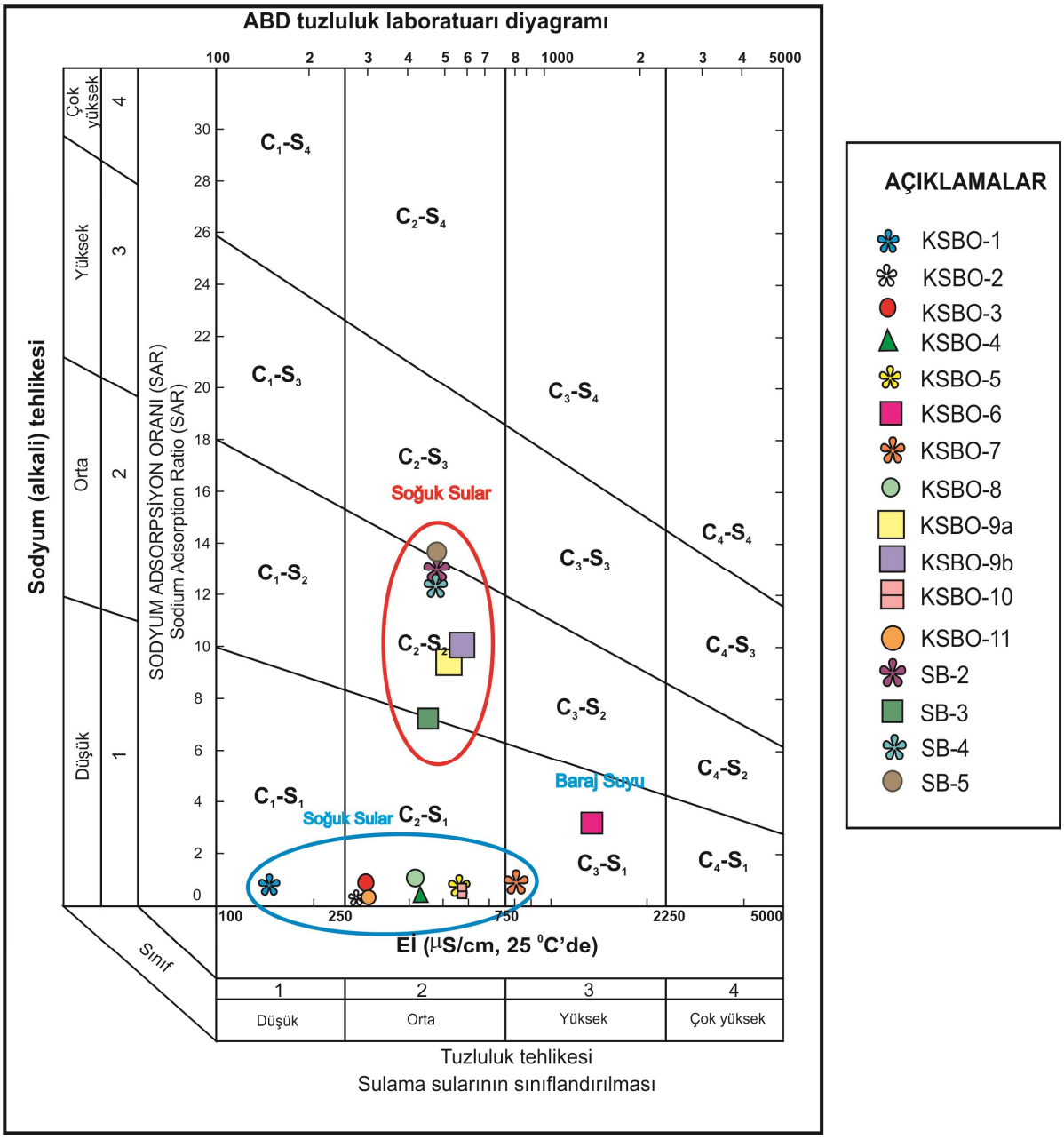
Mart 2014 dönemi ölçümlerine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında çıkan sonuçlara göre; Savcılı Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağı (KSBO-9a, KSBO-9b) ve sıcak su kuyuları (SB-2, SB-3, SB-4) C_2-S_2 sınıfında; (SB-5) sıcak su kuyusu C_2-S_3 sınıfında, KSBO-2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, soğuk su kaynakları C_2-S_1 sınıfında; KSBO-1 soğuk su kaynağı C_1-S_1 ve KSBO-6 ve KSBO-7 soğuk su kaynakları ise C_3-S_1 sınıfında yer almaktadır.

Ağustos 2014 ölçümlerine ait oluşturulan ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında ise Mart döneminden farklı olarak Hamamözü deresi (KSBO-12) ve Eseninkaş Kaynağı (KSBO-13) soğuk su kaynakları C_2-S_1 sınıfında yer almaktadır.

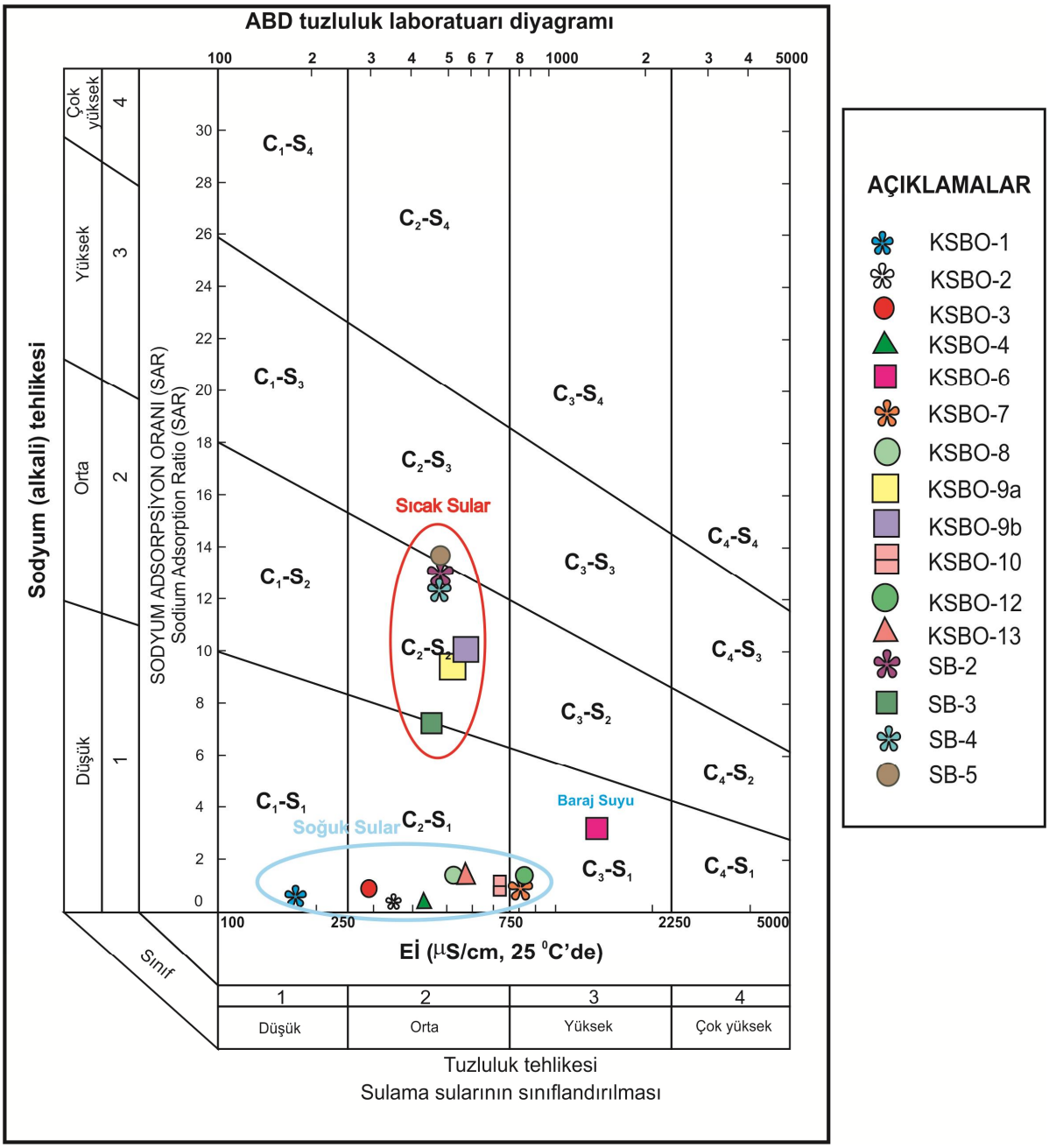
ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı sonuçlarına göre; Savcılı Büyükoba sıcak su kaynakları (KSBO-9a, 9b), sıcak su kuyuları (SB-2, SB-3, SB-4) C2-S2 (orta derece tuzlu orta sodyumlu sular) grubunda, SB-5 sıcak su kuyusu C_2-S_3 (orta derecede tuzlu yüksek sodyumlu sular) grubunda yer almaktadırlar. Soğuk su kaynaklarına bakılınca; KSBO-2, KSBO-3, KSBO-4, KSBO-5, KSBO-8, KSBO-10, KSBO-11, KSBO-12, KSBO-13 soğuk su kaynakları C_2-S_1 (orta derecede tuzlu- az sodyumlu sular) grubunda; KSBO-1 soğuk su kaynağı C_1-S_1 (az tuzlu az sodyumlu sular) grubunda; KSBO-6, KSBO-7 soğuk su kaynakları ise C_3-S_1 (yüksek tuzlu az sodyumlu sular) sınıfında yer almaktadır.

Bölgede yer alan su kaynakları incelendiğinde C_1-S_1, C_2-S_1 yer alan kaynaklar sulamaya uygun, C_3-S_1 bölgesinde yer alan kaynaklar tuz kontrolü yapılarak, C_2-S_2 özel şartlarda kullanılabilir sınıflarında yer almaktadır.

Bölgede yer alan sıcak ve mineralli sular gerek Wilcox, gerekse ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramından görüldüğü üzere doğrudan tarımda kullanılmasına uygun olmayacaktır.



Şekil 4.9.a. Mart 2014 dönemi sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı



Şekil 4.9.b. Ağustos 2014 dönemi sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

4.5. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sular yeraltından yüzeye erişirlerken temas ettiği kayaçlarla ısı alışveriği, soğuk yer altı sularıyla karışımı, örtü kayaçların çok ince oluşu veya bulunmayışı gibi süreçler nedeniyle soğurlar ve rezervuar içindeki sıcaklıklarından çok daha düşük sıcaklıklara sahip olurlar [45]. Akifer içerisindeki akışkan sıcaklığının tahmin edilmesi amacıyla, kaynak ve kuyu başında yapılan kimyasal analizlerden yararlanılarak jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir. Jeotermometreler; kimyasal jeotermomometreler ve izotopik jeotermometreler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Kimyasal jeotermometreler kaynak ve kuyu bakımından alınan örneklerin kimyasal bileşimine (özellikle silis, katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların birbirine oranlarına) dayalıdır. Kimyasal analizlerin sondajlara göre daha ucuz ve kısa sürede yapılabilmesi, jeotermal arama çalışmalarında rezervuar sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometrelerin yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır [45]. Bu çalışma kapsamında sadece kimyasal jeotermometreler ile rezervuar sıcaklıkları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

4.5.1. Silis Jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki sıcaklığına ve basınca bağlı olarak çözünürlüğüne dayalıdır. Termodinamik olarak belirli bir kritik noktaya kadar sıcaklık arttıkça silis çözünürlüğü önemli ölçüde artmaktadır. Kuvars, kristobalit, kalsedon ve amorf silis gibi değişik silis formlarının su içerisindeki çözünürlüğü farklı olduğu için farklı jeotermometre eşitlikleri geliştirilmiştir (Çizelge 4.8). Silis için geliştirilen jeotermometre eşitliklerinin her biri farklı sıcaklık aralıkları için geçerlidir. Kuvars çözünürlüğü, sıcaklığı 120-180°C'den daha yüksek olan jeotermal rezervuarlarda çözünmüş silisi kontrol eder [46]. Daha yüksek sıcaklıklarda rezervuar kayaçtan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180°C'den az olan jeotermal sistemlerde ise kalsedon ile bir denge söz konusudur [47]. Bu nedenle sıcaklığı 180°C'den düşük olan sistemlerde kalsedon jeotermometresi,180°C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir [48].

Çalışma alanından alınan sıcak su örnekleri için silis jeotermometre eşitlikleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Çizelge 4.9.'da sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Silis jeotermometre eкitlikleri (S=ppm olarak SiO_2 deriкimidir.)

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Sıcaklık Aralığı (°C)	Referans
1	Kuvars	$t°C=-42.2+0.28832S-3.6686x10^{-4}$ $S^2+3.1665x10^{-7}S^3+77.034logS$	25-900	Fournier and Potter (1982)
2	Kuvars (buhar kaybı yok)	t°C=(1309/(5.19-logS))-273.15	25-250	Fournier (1977)
3	Kuvars (100°C'de Maks. buhar kaybı)	t°C=(1522/(5.75-logS))-273.15	25-250	Fournier (1977)
4	Kuvars	$t°C=-55.3+0.36559S-5.3954x10^{-4}$ $S^2+5.5132x10-7S3+74.360logS$	0-350	D'Amore and Arnórsson (2000)
5	Kalsedon (buhar kaybı yok)	t°C=(1032/(4.69-logS))-273.15	0-250	Fournier (1977)
6	Kalsedon (buhar kaybı yok)	t°C=(1112/(4.91-logS))-273.15	25-180	Arnórsson et al. (1983)

Çizelge 4.9. Sēcak su kaynaklarēiçin silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sēcaklēklarē(Mart-Aĵ ustos 2014)

			Jeotermometre Eкitliĵ i (°C)					
Örnek No	**Örnek Adı**	**SiO_2 (ppm)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1A	KSBO-9a	47.44	99.81	99.38	100.45	85.53	69.27	70.71
1B	KSBO-9a	48.68	100.99	100.57	101.48	86.75	70.55	71.91
2A	KSBO-9b	47.08	99.46	99.02	100.15	85.16	68.89	70.36
2B	KSBO-9b	48.78	101.08	100.66	101.57	86.85	70.65	72
3	SB-2	51	103.13	102.74	103.36	88.99	72.88	74.09
4	SB-3	47	99.38	98.95	100.08	85.09	68.81	70.28
5	SB-4	50	102.22	101.81	102.56	88.03	71.88	73.16
6	SB-5	51	103.13	102.74	103.36	88.99	72.88	74.09

Kuvarsa dayalē 1, 2, 3, 4 nolu jeotermometre eкitlikleri ile sēcak su kaynaklarē ve sēcak su kuyularē için 85-103°C aralēĵ ēnda rezervuar sēcaklēklarē elde edilmiкtir. Ancak rezervuar sēcaklēĵ ēnēn 180°Cĝden daha düкük olmasē nedeniyle kuvars jeotermometresi yerine kalsedon jeotermometresinin uygulanmasē daha uygun görülmüкtür. Kalsedon formuna dayalē 5, 6 nolu jeotermometre eкitlikleri ile sēcak su kaynaklarē ve sēcak su kuyularē için 68-74°C aralēĵ ēnda rezervuar sēcaklēklarē hesaplanmēкtēr.

4.5.2. Katyon Jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon değişimine dayalı jeotermometrelerdir. Kyon değişimi sıcaklığa bağlı olan tepkime denge sabitinin (K) bir fonksiyonudur. Kyon değişimine uğramış katyon derişimleri oranı, denge sabitinin sıcaklığa bağlı olduğu gibi. Soğuk su karışımı, sıcak suyun yükselimi sırasındaki su-kayaç etkileşimi gibi akışkanın kimyasal bileşimi üzerinde etkin olan süreçler nedeni ile katyon jeotermometreleri özellikle sıcak su kaynakları için farklı rezervuar sıcaklıkları vermektedirler. Bu nedenle, sondaj kuyularından üretilen akışkanlar dışında bu eşitliklerin rezervuar sıcaklığı tahmininde uygulanması uygun görülmemektedir. Katyon jeotermometreleri için türetilen jeotermometre eşitlikleri Çizelge 4.10 sunulmuştur.

Çizelge 4.10. Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm'dir).

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Uygulama Aralığı (°C)	Referans
1	Na-K	T°C =(856/(0.857+log(Na/K)))-273.15	100-275	Truesdell (1976)
2	Na-K	T°C =(833/(0.780+log(Na/K)))-273.15		Tonani (1980)
3	Na-K	T°C =(933/(0.993+log(Na/K)))-273.15	25 -250	Arnorsson et al. (1983)
4	Na-K	T°C =(1319/(1.699+log(Na/K)))-273.15	250-350	Arnorsson et al. (1983)
5	Na-K	T°C =(1217/(1.483+log(Na/K)))-273.15		Fournier(1979)
6	Na-K	T°C =(1178/(1.470+log(Na/K)))-273.15		Nieva and Nieva (1987)
7	Na-K	T°C =(1390/(1.750+log(Na/K)))-273. 15		Giggenbach (1988)
8	Na-K[a]	t°C =733.6-770.551Y+378.189Y^2-95.753Y^3+9.544Y^4	0-350	D'Amore and Arnorsson (2000)
9	Na -K- Ca[b]	t°C =(1647/(log(Na/K)+β[log(γCa/Na) +2.06]+2.47))-273.15		Fournier and Truesdell (1973)
10	K-Mg	T°C =(4410/(14-log(K^2/Mg)))-273.15		Giggenbach (1988)

[a] Y= log ([Na]/[K]) ; [b] tºC>100 ºC ise β=1/3, tºC<100 ºC ise β=4/3, tºC<100 ºC ve [log (γCa/Mg)+2.06] <0 ise β=1/3

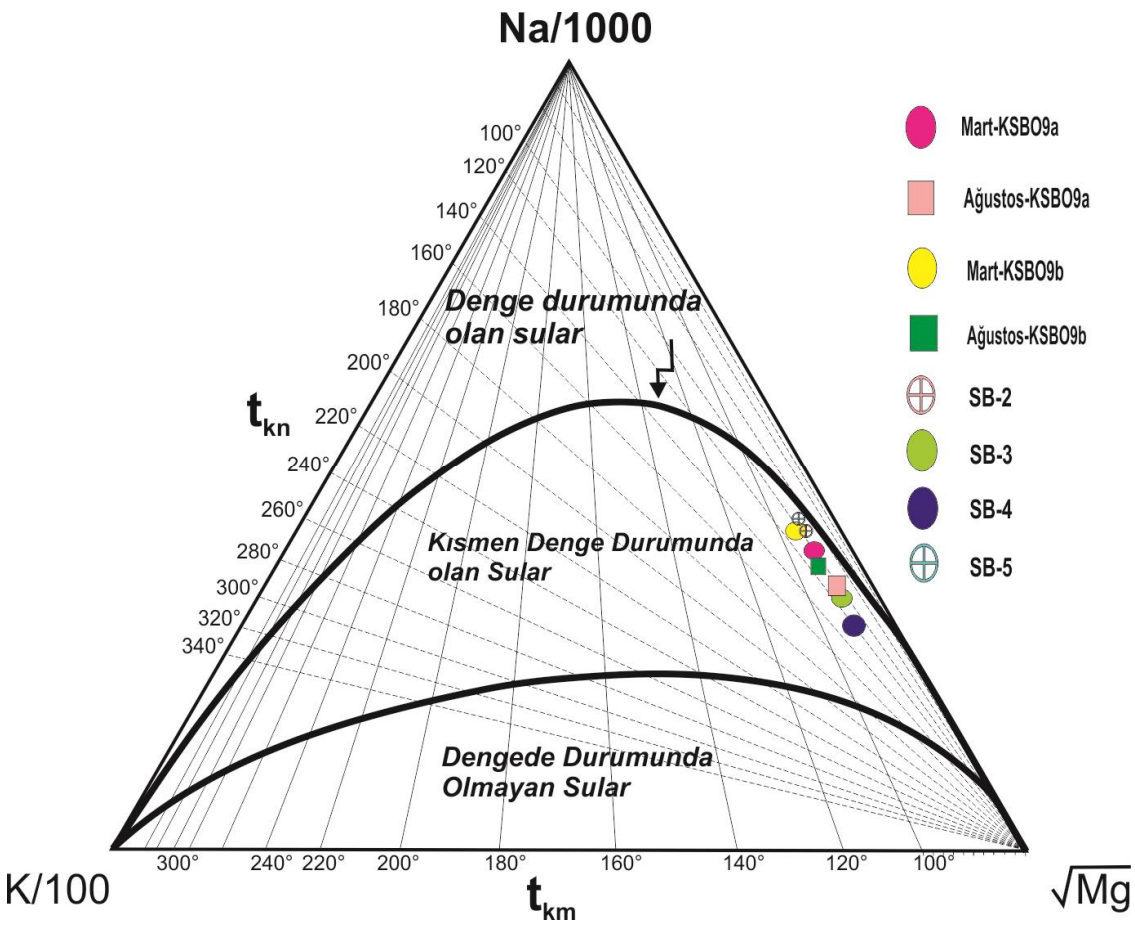
Çizelge 4.11. Çalıkma alanındaki sıcak sular için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları(°C)

		Jeotermometre Eşitliği (°C)									
Örnek No	**Örnek Adı**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9 β=4/3**	**10**
1A	KSBO-9a	31	32	44	88	81	71	102	449	51	58
1B	KSBO-9a	32	32	44	88	81	71	102	430	47	52
2A	KSBO-9b	36	37	48	92	86	75	107	452	54	70
2B	KSBO-9b	35	36	47	92	85	75	106	428	49	60
3	SB-2	24	24	36	81	74	64	95	524	58	58
4	SB-3	29	29	41	86	79	69	100	404	41	53
5	SB-4	33	33	45	89	82	72	103	512	62	54
6	SB-5	24	24	36	81	74	64	95	524	58	58

Na-K-Mg jeotermometresi

Na-K-Mg Jeotermometre eкitlikleri (Çizelge 4.10. 10 nolu eкitlik) jeotermal suların rezervuar sıcaklıklarının yanı sıra suların temasta olduğu kayaçlar, mineraller ile denge durumlarının belirlenmesi amacıyla Giggenbach tarafından geliкtirilmiкtir [49] Bu amaçla Na-K-Mg jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp uygulanamayacağı veya güvenilir sonuçlar verip veremeyeceği kontrol edilebilmektedir (Şekil 4.10).

Giggenbach'a göre olgun olmayan (immature) (denge halinde olmayan)ı seyreltilmiк jeotermal sularda K-Na arasındaki denge sıcaklığı kullanılarak değerlendirme yapılmasının uygun olmadığını, olgun olan (mature) (denge durumunda olan sular)ı hattında ve üzerinde yer alan jeotermal sulara katyon jeotermometrelerinin uygulanmasının daha doğru sonuç vereceği ini belirtmiкtir [49].



Şekil 4.10. Savcılı Büyükoba sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg üçgeninde Giggenbach [49] denge durumları

Na-K jeotermometreleri

Yaygın olarak kullanılan Na-K katyon jeotermometrelerinin temeli, tepkime denge sabitine bağlı olarak sıcaklık ile olan iyon derişimidir. Alkali feldispatlarda Na^+ ve K^+ iyonlarının değişimi buna tipik bir örnektir.

$NaAlSi_3O_8 + K^+ \rightleftharpoons KAlSi_3O_8 + Na^+$

Na^+-K^+ ile sulu çözelti arasındaki bu iyon değişimi 300°C'den daha düşük sıcaklıklarda oldukça yavaştır. Bu nedenle bu jeotermometrelerin uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslenen jeotermal rezervuarlarda kullanımı daha uygundur [50]. Sıcak su kaynaklarında ve baz değişiminin feldispatlar yerine kil mineralleri ile kontrol edildiği sedimanter havzalarda güvenilir sonuçlar türetmemektedir.

Na-K-Ca Jeotermometresi

Fournier and Truesdell tarafından geliştirilen bu jeotermometre eşitliği feldispatlar, kalsit veya Ca-içeren mineraller ile jeotermal akışkanlar arasındaki dengeye dayalıdır. Kuvars ve Na-K jeotermometrelerine göre en önemli özelliği, düşük sıcaklıklarda veya dengeye ulaşamamış sularda yüksek veya hatalı sonuçlar vermemesidir [51].

Jeotermometre eşitliğinde: $\log(Ca^{0.5}/Na)+2.06<0$ ise $\beta=1/3$; $\log(Ca^{0.5}/Na)+2.06>0$ ise $\beta= 4/3$ alınarak hesaplanır.

Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağında $\beta=4/3$ alınarak rezervuar sıcaklığı 47-54°C aralığında hesaplanmıştır (Çizelge 4.11).

K-Mg jeotermometresi

K-Mg jeotermometre eşitliği (Çizelge 4.10) jeotermal suların rezervuar sıcaklıklarının yanı sıra suların ilişkide olduğu kayaçlar ve mineraller ile denge durumlarının belirlenmesi amacıyla Giggenbach tarafından geliştirilmiştir [49].

K-Mg jeotermometresi ile hem sıcak suların rezervuar sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp uygulanamayacağı veya güvenilir sonuçlar verip veremeyeceği değerlendirilebilmektedir.

Giggenbach'a göre denge halinde olmayan seyrelmiş jeotermal sularda K-Na arasındaki denge sıcaklığı kullanılarak değerlendirme yapılması uygun olmamaktadır ancak denge durumunda olan sular hattı ve bu hat üzerinde yer alan jeotermal sularda katyon jeotermometrelerinin uygulanması daha doğru sonuçlar vermektedir [49].

Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağı için K-Mg jeotermometresi (Çizelge 4.10.10 nolu eşitlik) ile 52-70°C aralığında kalsedon jeotermometre değerlerine yakın sonuçlar hesaplanmıştır.

4.5.3. Savcēlē-Büyükoba Sēcak ve Mineralli Su Kaynaĵēnēn Rezervuar Derinliĵinin Hesaplanmasē

Savcēlē-Büyükoba sēcak ve mineralli su kaynaĵēnēn rezervuar derinliĵi, kaynaĵēn jeotermal gradyanla ēsēndēĵē ve çevresindeki granitoyidlerinde yer gradyanēnēn artmasēna sebep olduĵu kabul edilerek, herhangi bir yüzey suyunun karēkmadēĵē ve baкka bir ēsēnma mekanizmasēnēn olmadēĵē varsayēlarak ķimкekón formülü ile hesaplanmēktēr [52]. Burada jeotermal gradyanēn ortalama her 30 m de 1°C arttēĵē kabul edilmiкtir. Yüzey kuкak derinliĵi ise kaynak bölgesinin hidrojeolojik özellikleri dikkate alēnarak yaklaкēk 20 m alēnmēktēr. Yēllēk sēcaklēk ortalamasē olarak Savcēlē DMĶye ait 1985-2004 yēllarē arasēndaki aylēk ortalama sēcaklēk deĵerleri alēnmēktēr (Çizelge 1.2).

$P=P_s+(T_2-T_1) * Jg$

P: Jeotermal rezervuarēn derinliĵi, m

Ps: Atmosferik etki altēndaki toprak yüzeyi, m

T_2: Sēcak su kaynaĵēnēn ortalama sēcaklēĵē, °C

T_1: Kaynak bölgesinin ortalama sēcaklēĵē, °C

Jg: Bölgesel jeotermal gradyan, m

Bu formüle göre rezervuar derinliĵi;

P= 20+ (34.5-12)* 30=695 m olarak hesaplanmēktēr.

4.6. Sularēn Mineral Doygunluklarē

Jeotermal sistemin rezervuar sēcaklēklarēnēn tayin edilmesinde kullandēĵēmēz jeotermometreler, rezervuar koкullarē altēndaki mineral ve su arasēndaki sēcaklēĵa baĵlē kimyasal denge üzerine geliкtirilmiк olup bu jeotermometrelerin kullanēmē suyun yüzeye çēkēкē boyunca kimyasal bileкiminin korunduĵu varsayēmēna dayanmaktadēr. Ancak bu varsayēm her zaman geçerli deĵildir. Minerallerin ve sulu türlerin termodinamik özellikleri sēcaklēk ve basēnçla deĵiкirler [53]. Bu nedenle yeraltē sularēnda oluкan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam koкullarē ile kabuklaкma ve korozyon problemlerinin önceden tahmin edilmesi için sularēn mineral doygunluk durumlarēincelenmelidir.

Yeraltısuları etkileşimde bulunduğu kayaç minerallerini su mineral dengesi oluşana kadar çözmeye devam etmektedir. Su-mineral dengesi kurulduğunda yeraltısuyu o minerale doygun hale gelmektedir. Su-mineral dengesi sağlandıktan sonra yeraltısuyunda o minerali meydana getiren iyon veya bileşik derişimlerinin artması, yeraltısuyunun o minerale aşırı doygun hale gelmesine neden olmakta ve mineral çökelmektedir. Doygunluk indisi (SI), İyonik Aktivite Çarpımı (IAP) ile denge sabitinin (K) oranının log (IAP/K) şeklinde gösterildiği logaritmik bir indistir. Su-mineral denge durumu kısaca doygunluk indisi (SI) her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

SI = 0 ise su ile ilgili mineral dengededir.

SI > 0 ise su ilgili mineralle aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliktedir).

SI < 0 ise su ilgili mineralle doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, jips, halit, kuvars ve silis minerallerine göre doygunluk durumu incelenmiş ve PHREEQC (Version 2) programı kullanılarak hesaplanan doygunluk indisi (SI) değerleri Çizelge 4.12.a. ve Çizelge 4.12.b'de sunulmuştur [54]. Suların mineral doygunluk durumlarının hesaplanması yeraltısularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam ile bu suların üretim ve iletimi aşamasında oluşabilecek kabuklaşma ve korozyon problemlerinin önceden tahmin edilebilmesi açısından önem taşımaktadır.

Çizelge 4.12.a. İnceleme alanında yer alan suların Doygunluk İndisi (SI) değerleri (Mart 2014)

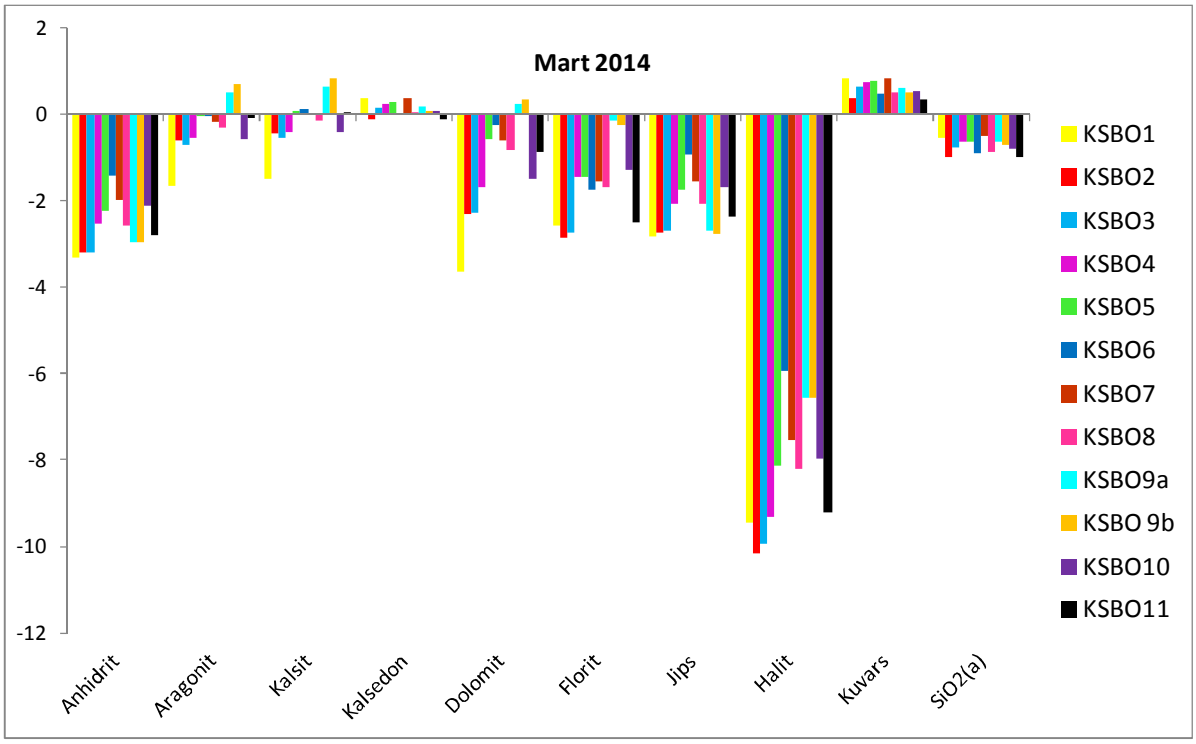
Örnek No	Anhidrit CaSO4	Aragonit CaCO3	Kalsit CaCO3	Kalsedon SiO2	Dolomit CaMg(CO3)2	Florit CaF2	Jips CaSO4:2H2O	Halit NaCl	Kuvars SiO2	SiO2(a) SiO2
KSBO1	-3.31	-1.65	-1.5	0.36	-3.65	-2.58	-2.82	-9.45	0.84	-0.54
KSBO2	-3.2	-0.62	-0.46	-0.12	-2.31	-2.88	-2.73	-10.15	0.36	-1.01
KSBO3	-3.2	-0.71	-0.55	0.15	-2.28	-2.73	-2.7	-9.92	0.63	-0.76
KSBO4	-2.54	-0.55	-0.4	0.25	-1.7	-1.47	-2.09	-9.31	0.72	-0.63
KSBO5	-2.25	-0.07	0.09	0.26	-0.59	-1.45	-1.75	-8.13	0.75	-0.64
KSBO6	-1.43	-0.05	0.11	-0.02	-0.24	-1.74	-0.94	-5.95	0.47	-0.92
KSBO7	-2	-0.17	-0.02	0.37	-0.62	-1.55	-1.57	-7.53	0.83	-0.51
KSBO8	-2.56	-0.32	-0.16	0.02	-0.84	-1.68	-2.07	-8.2	0.51	-0.88
KSBO9a	-2.96	0.5	0.64	0.19	0.23	-0.16	-2.71	-6.56	0.61	-0.63
KSBO9b	-2.98	0.71	0.84	0.09	0.33	-0.25	-2.76	-6.57	0.49	-0.72
KSBO10	-2.12	-0.58	-0.42	0.08	-1.48	-1.3	-1.68	-7.97	0.55	-0.81
KSBO11	-2.79	-0.09	0.06	-0.12	-0.88	-2.5	-2.39	-9.2	0.34	-0.99

Çizelge 4.12.b. İnceleme alanında yer alan suların Doygunluk İndisi (SI) değerleri (Ağustos 2014)

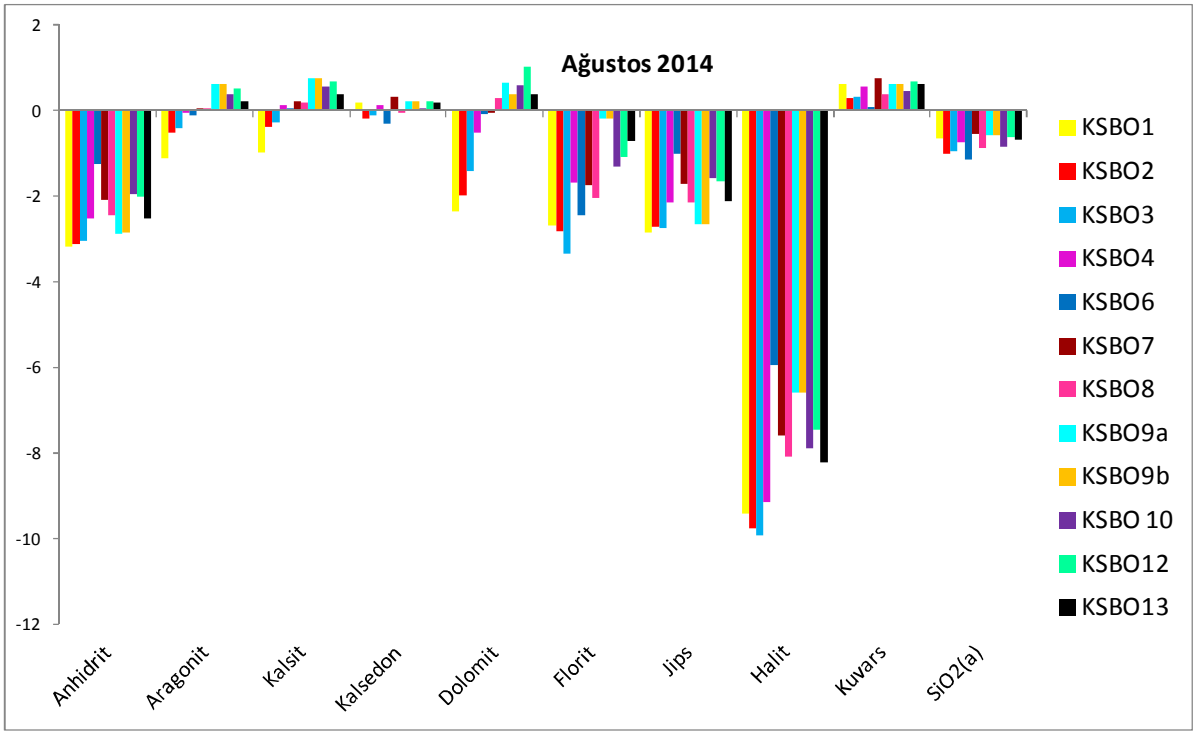
Örnek No	Anhidrit CaSO4	Aragonit CaCO3	Kalsit CaCO3	Kalsedon SiO2	Dolomit CaMg(CO3)2	Florit CaF2	Jips CaSO4:2H2O	Halit NaCl	Kuvars SiO2	SiO2(a) SiO2
KSBO1	-3.19	-1.12	-0.97	0.18	-2.37	-2.7	-2.86	-9.43	0.62	-0.66
KSBO2	-3.11	-0.53	-0.39	-0.17	-1.99	-2.83	-2.73	-9.76	0.28	-1.03
KSBO3	-3.06	-0.41	-0.27	-0.11	-1.42	-3.35	-2.76	-9.91	0.32	-0.95
KSBO4	-2.51	-0.05	0.1	0.12	-0.53	-1.7	-2.16	-9.15	0.56	-0.74
KSBO6	-1.25	-0.12	0.02	-0.32	-0.08	-2.45	-1.02	-5.96	0.08	-1.14
KSBO7	-2.1	0.05	0.2	0.31	-0.06	-1.77	-1.72	-7.59	0.76	-0.55
KSBO8	-2.47	0.04	0.18	-0.05	0.29	-2.04	-2.17	-8.08	0.37	-0.89
KSBO9a	-2.88	0.62	0.75	0.22	0.64	-0.18	-2.67	-6.59	0.63	-0.58
KSBO9b	-2.86	0.62	0.75	0.23	0.38	-0.17	-2.66	-6.59	0.63	-0.58
KSBO 10	-1.94	0.39	0.54	0.01	0.58	-1.32	-1.59	-7.9	0.45	-0.85
KSBO12	-2.01	0.52	0.67	0.22	1.02	-1.09	-1.66	-7.47	0.67	-0.63
KSBO13	-2.51	0.22	0.37	0.17	0.37	-0.72	-2.11	-8.21	0.63	-0.7

Savcılar Büyükoba jeotermal alanında yer altı ve yüzey sularının çekitli minerallerce doygunluk indisi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda örnekleme-analiz sürecinde meydana gelebilecek CO_2 kaybı dükünülerek, arazide ölçülen pH değerleri ve sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır.

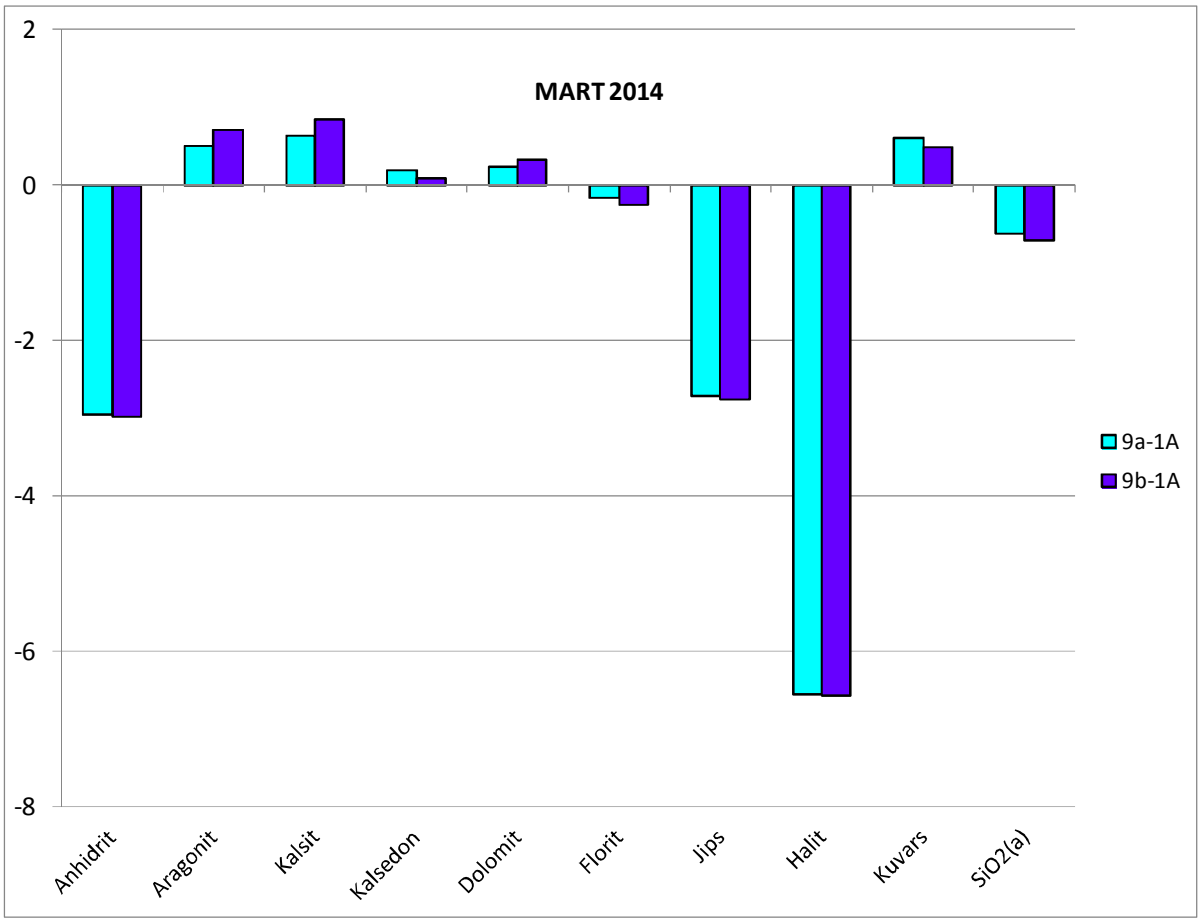
Bölgedeki suların doygunluk indisleri hesaplanıp, sonuçları şekil 4.11.a ve şekil 4.11.b'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Yapılan doygunluk hesaplamalarına göre bölgedeki sıcak su kaynaklarının anhidrit, jips gibi sülfatlı mineraller ile halit ve silise doygun olmadıkları, ancak bu suların kalsedon, kuvars gibi silis mineralleri ile kalsit, dolomit, aragonit gibi karbonatlı minerallere doygun olduklarını belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yüzeye çıkan sıcak suların kabuklaşma yapıcı özellikte olabileceğini göstermektedir.



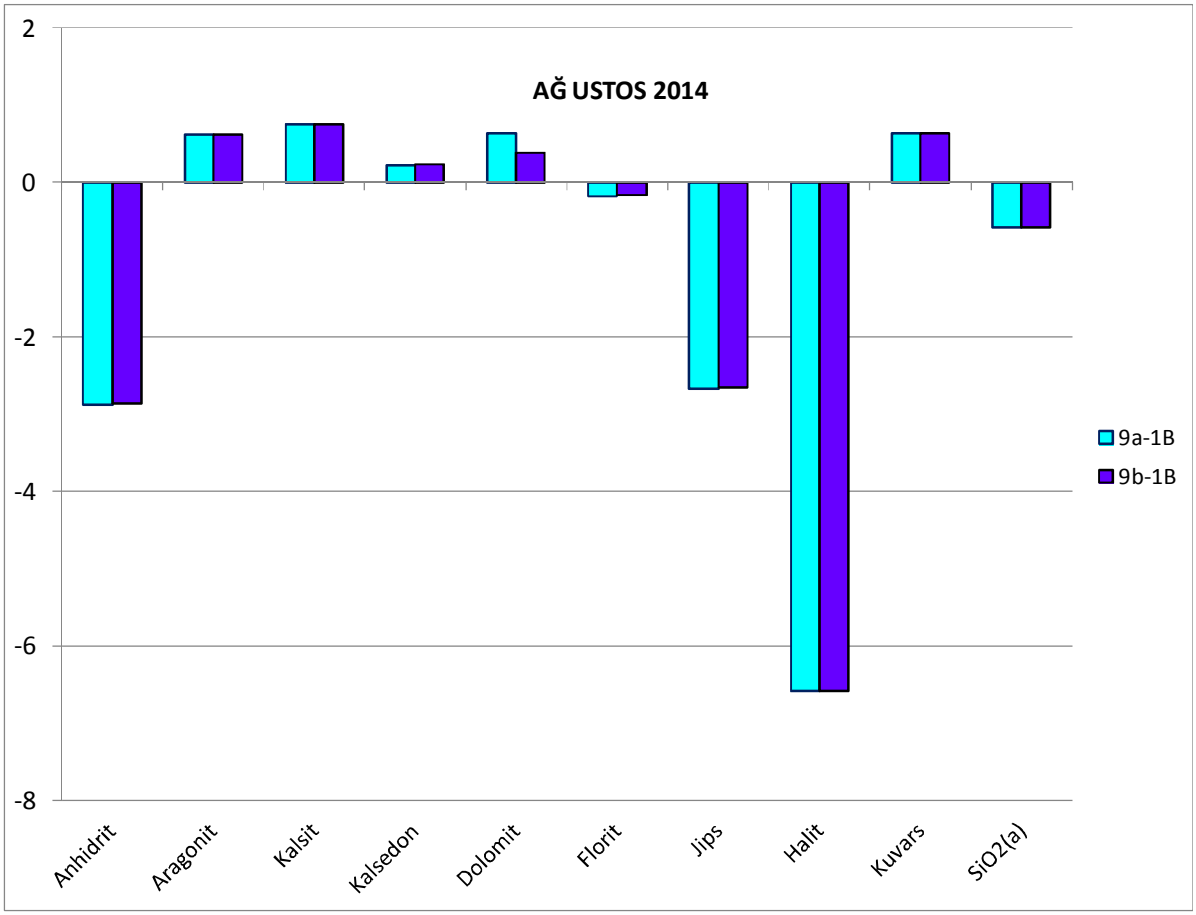
şekil 4.11.a. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı(Mart 2014)



ķekil 4.11.b. Sēcak ve soĵ uk sulara ait mineral doygunluk diyagramē (Aĵ ustos 2014)



ķekil 4.12.a. Ķnceleme alanēndaki sēcak sulara ait mineral doygunluk diyagramē (Mart 2014)



Şekil 4.12.b. İnceleme alanındaki sıcak sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Ağustos 2014)

5.İZOTOP HİDROLOJİSİ

İzotoplar, çekirdeğinde aynı sayıda proton ve farklı sayıda nötron bulunan atomların türevleridir. Hidrojeoloji çalışmalarında yararlanılan çevresel izotoplar özellikle, "Duraylı İzotop" olarak sınıflandırılan, ağır su elemanı olan ve suyun (H_2O) yapısında bulunan, hidrojen izotopu Döteryum (^2H), Oksijen izotopu (^{18}O) ve hidrojenin radyoaktif izotopu Trityum (^3H) dur. Bunlar suyun doğal bileşenleri olmaları nedeniyle iyi birer izleyicidirler [55]. Akiferlerde gelişen hidrojeokimyasal süreçlerin çoğundan etkilenmezler. Buna karşın suyun etkilendiği fiziksel ve kimyasal süreçler hakkında önemli ipuçları verirler. ^{18}O ve ^2H duraylı izotopları, akifer içindeki hidrojeokimyasal süreçlerden etkilenmezler ve jeotermal akışkanların kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik) belirlenmesi, beslenme alanlarının ayırt edilmesi, yeraltısuyu-yüzey suyu ilişkilerinin açıklanmasında kullanılırken, radyoaktif trityum (^3H) izotopu ise jeotermal akışkanın yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır [56]. Bu çalışmada, inceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynağı ve kuyuları ile soğuk su kaynaklarının çevresel izotop içerikleri incelenerek, sıcak suların kökenleri, beslenme alanları, akışkan bileşimini etkileyen su-kayaç etkileşim süreci ve soğuk su akiferleri ile hidrojeolojik etkileşim süreçleri açıklanmaya çalışılmıştır.

5.1. Örnekleme ve Analiz Çalışmaları

İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynakları ile birlikte soğuk su kaynakları ve yüzey suularından duraylı izotop (ğ^{18}O, ğ^2H) örnekleme çalışmaları Mart-Ağustos 2014 tarihlerinde olmak üzere iki dönem halinde gerçekleştirilmiştir. ^3H izotopu analizi için örnekleme çalışması Mart-Ağustos 2014 döneminde yapılmıştır. Duraylı izotop (ğ^{18}O ve ğ^2H) analizleri H.Ü. Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Duraylı İzotop Laboratuvarında, ^3H analizleri ise H.Ü. Jeoloji Müh. Bölümü, Hidrojeoloji Müh. ABD. Çevresel Trityum Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

5.2. Duraylı İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi

Hidrojen ve oksijen elementlerinin duraylı (kararlı) izotopları jeotermal sistemlerde yaygın olan buharlaşma, su-kayaç etkileşimi ve soğuk su karışımı gibi fiziko-kimyasal süreçlerin aydınlatılmasında kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte jeotermal sistemlerdeki akışkanın kökeni ve akiferin beslenme alanlarının belirlenmesinde de

yoğun olarak kullanılmaktadırlar. Duraylı izotop analiz sonuçları Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. İnceleme alanındaki örneklerin duraylı izotop içerikleri (Mart 2014)

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)	$\delta^{2}H$ (‰ SMOW)	Yükselti(m)
1	KSBO-1	14.03.2014	-10.7	-72.38	1277
2	KSBO-2	14.03.2014	-11.16	-74.91	1410
3	KSBO-3	14.03.2014	-11.33	-76.58	1383
4	KSBO-4	14.03.2014	-10.11	-72.09	1225
5	KSBO-5	14.03.2014	-10.02	-71.4	1154
6	KSBO-6	14.03.2014	-7.84	-58.76	863
7	KSBO-7	15.03.2014	-9.61	-69.66	1002
8	KSBO-8	15.03.2014	-7.13	-55.77	948
9	KSBO-9a	15.03.2014	-12.07	-87.37	905
10	KSBO-9b	15.03.2014	-12.27	-88.4	905
11	KSBO-10	15.03.2014	-7.74	-58.38	931
12	KSBO-11	15.03.2014	-7.79	-56.71	915
13	Kar	15.03.2014	-8.71	-57.53	1400

(*İzotop analizlerinde hata payı ^{2}H için ±ı 2, ^{18}O için ±ı 0.3)

Çizelge 5.2. İnceleme alanındaki örneklerin duraylı izotop içerikleri (Ağustos 2014)

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	$\delta^{18}O$ (‰SMOW)	$\delta^{2}H$ (‰SMOW)	Yükselti(m)
1	KSBO-1	16.08.2014	-11.41	-79.36	1253
2	KSBO-2	16.08.2014	-12.14	-79.21	1392
3	KSBO-3	16.08.2014	-12.06	-82.66	1364
4	KSBO-4	16.08.2014	-11.3	-78.24	1225
6	KSBO-6	16.08.2014	-8.03	-60.04	861
7	KSBO-7	16.08.2014	-10.19	-69.22	983
8	KSBO-8	16.08.2014	-5.91	-50.25	947
9	KSBO-9a	16.08.2014	-12.93	-91.76	880
10	KSBO-9b	16.08.2014	-12.91	-94.47	880
11	KSBO-10	16.08.2014	-8.89	-67.25	913
13	KSBO-12	16.08.2014	-8.47	-64.53	888
14	KSBO-13	17.08.2014	-9.27	-67.12	964
15	Yağmur	NİSAN 2014	-6.39	-32.62	1014

(*İzotop analizlerinde hata payı ^{2}H için ±ı 2, ^{18}O için ±ı 0.3)

5.2.1.Oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve Döteryum ($\delta^{2}H$)

Jeotermal çalışmalarda en çok kullanılan iki önemli çevresel izotoplar Oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve Döteryum ($\delta^{2}H$)'dur. Herhangi bir su örneğinin kararlı izotop içeriği, mutlak değer olarak değil, ağır olan izotopun hafif olan izotopa oranının, belirlenmiş bir

standarttan farkı olarak ifade edilmektedir. Bu amaçla kullanılan standart, Ortalama Standart Okyanus Suyu (SMOW)'un kararlı izotop içeriği ini temsil etmek üzere hazırlanmış olan "SMOW"dur. Bu standarttan fark kütle spektrometresi ile ölçülüp, kararlı izotop içeriği i "binde (‰)" olarak ifade edilir ve delta (δ) değeri olarak gösterilir.

Buna göre bir örneğin ^{18}O ve ^{2}H içeriği i;

$$\delta^{18}O = 1000x ((^{18}O/^{16}O)_{örnek} - (^{18}O/^{16}O)_{SMOW}) / (^{18}O/^{16}O)_{SMOW})$$

$$\delta D = 1000x ((D/H)_{örnek} - (D/H)_{SMOW}) / (D/H)_{SMOW})$$

olarak ifade edilir. Delta (δ) değeri pozitifse, örnek standarda göre ağır izotop bakımından zenginleşmiştir; negatif ise, örnek izotopik olarak fakirleşmiştir. Hidrolojik çevrim içinde yer alan iki kararlı izotopun içeriği i gerek yerel olarak ve gerekse zaman içinde değişimler gösterir [55].

Atmosferdeki nem kıyıdan iç kesimlere, karaya doğru ilerledikçe yağış ile birlikte suyun ağır bileşenleri açısından gittikçe fakirleşecektir. Diğer bir deyişle yağışın ^{18}O ve ^{2}H içeriği i deniz kenarından kara içlerine gidildikçe ve yükseklik arttıkça negatifleşecektir. Aynı şekilde yağış, yaz aylarında buharlaşma etkisinden dolayı $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ açısından zengin (pozitif değer); kış aylarında ise fakir (negatif değer) olacaktır [57]. Meteorik suyun hidrojen ve oksijen izotopları arasında buharlaşma ve yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen doğrusal bir ilişki vardır.

$$\delta D = s \times \delta^{18}O + d$$

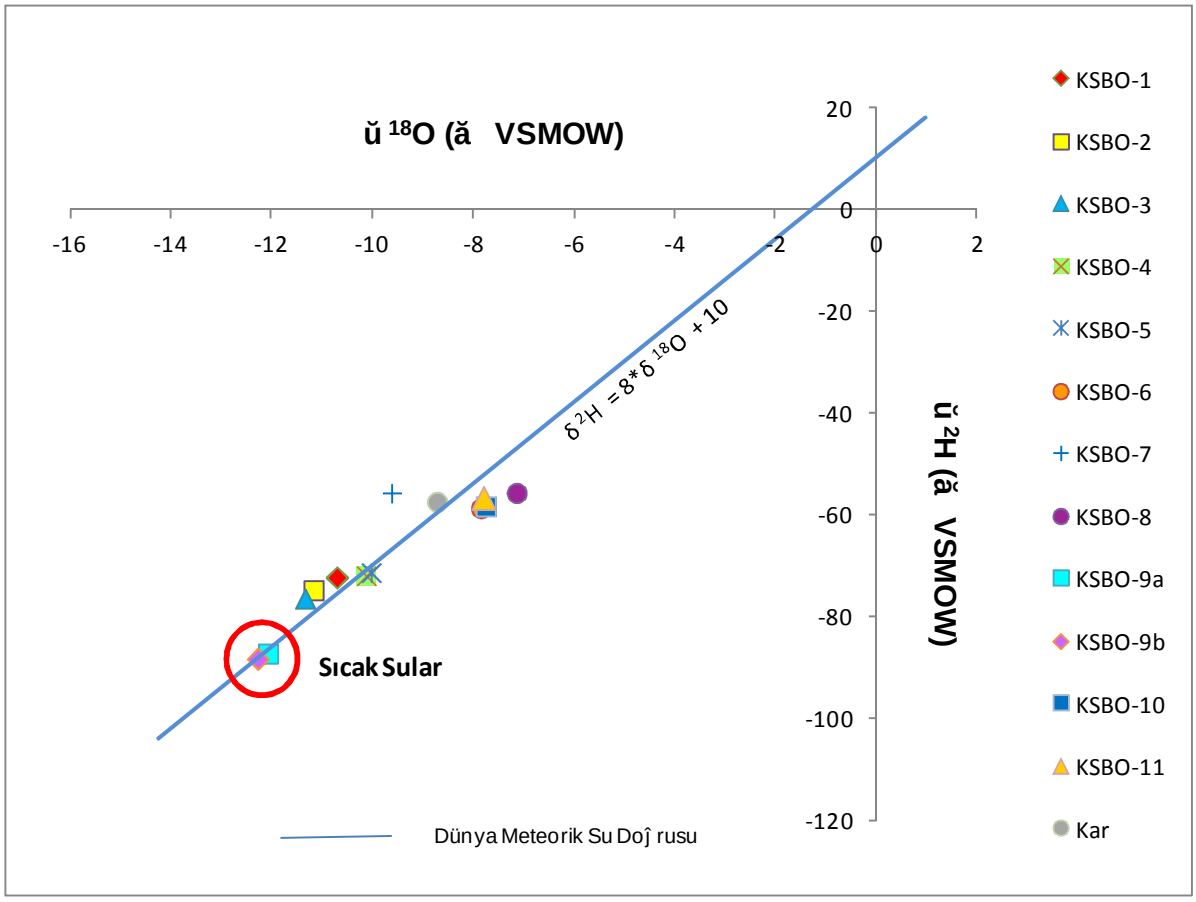
Yukarıdaki bağıntıda s (eğim) ve d (döteryum fazlası) değeri hidrolojik döngü boyunca buharlaşma, nem, yağış, iklim koşulları ve coğrafi konuma bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle her bölgenin kendisini karakterize eden bir meteorik su doğrusu vardır. Bu meteorik su doğruları yer altısularının kökeninin belirlenmesinde doğal izleyici olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Dünya üzerindeki farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki yağış sularında gerçekleştirilmiş olan izotop analizlerinin değerlendirilmesiyle, dünya meteorik su doğrusu

$$\delta D= 8* \delta^{18}O+10$$

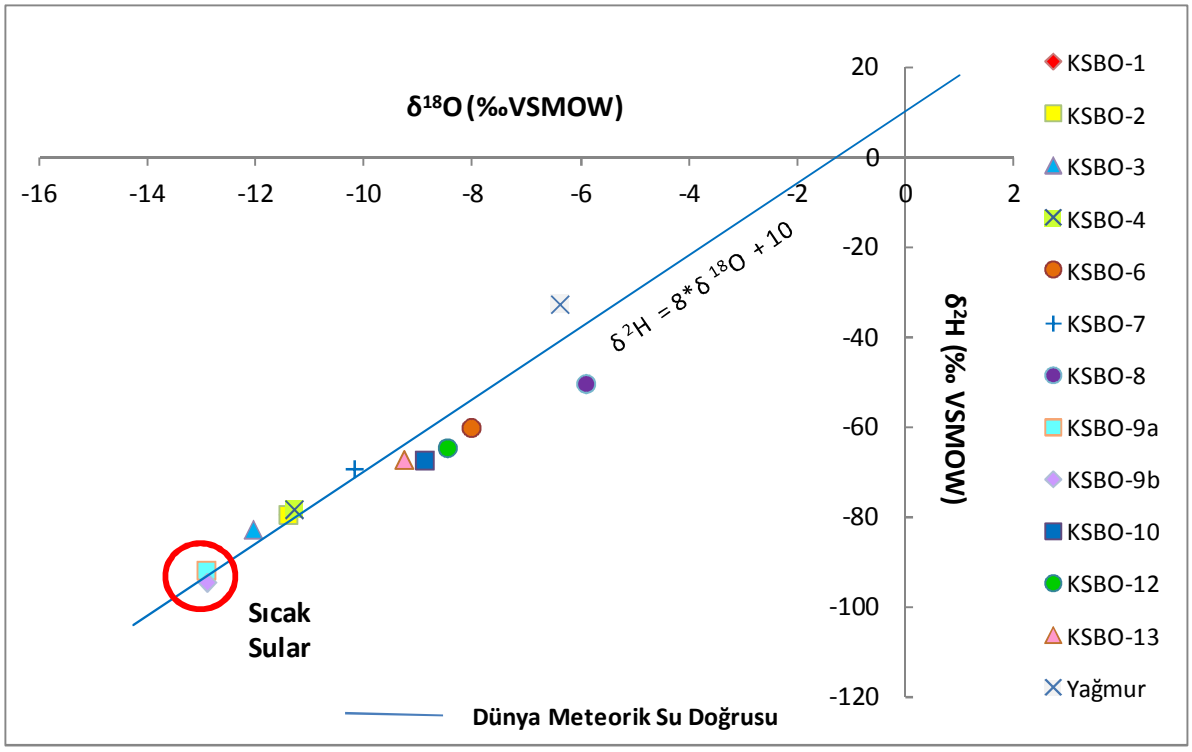
olarak tanımlanmıştır [58]. Meteorik suların $\delta^{18}O$ değerleri 0 ile -60 ‰, δD değerleri ise +10 ile -400 ‰ arasında değişim göstermektedir. Meteorik suların $\delta^{18}O$ ve δD değerleri yıllık ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir; sıcaklık düştükçe izotop ayrımlaşma faktörü, dolayısıyla suların ağır izotop/hafif

izotop oranı artmaktadır. Ayrıca bu değerler, bulunan bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden olan yükseltisine bağlı olarak da değişmektedir. Enlem ve yükseklik arttıkça, $\delta^{18}O$ ve δD değerleri düşmektedir [59].

Savcılı Büyükoba sıcak sularının Dünya Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer alması jeotermal sistemin meteorik yağışlardan beslendiğini göstermektedir. Buna göre, Savcılı Büyükoba sıcak ve mineralli suları meteorik kökenli olup, yağış suları çatlak, kırık ve faylar boyunca derinlere süzülmekte ve bu süreçte ısınarak fay veya etkili çatlaklar boyunca hazne kayaya ve sonrasında yeryüzüne kadar ulaşmaktadır. Bununla birlikte sıcak suların (KSBO-9a, KSBO-9b) $\delta^{2}H$ ve $\delta^{18}O$ değerleri kendi aralarında çok fazla bir değişim göstermemekle beraber $\delta^{18}O$ değerleri soğuk sulara göre daha negatif değerler sunmaktadır. Bu da sıcak su kaynaklarının daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslenen derin dolaşımlı sular olduğunu göstermektedir. Sıcak suların $\delta^{18}O$ değerlerinin birbirine yakın oluşu ve fazla sapma göstermemesi bu suların yaklaşık olarak aynı kotlardan, ortak bir bölgeden beslenmeye sahip olduklarını gösterir. İnceleme alanındaki soğuk su kaynakları sıcak su kaynaklarına göre daha düşük kotlardan beslenmektedir. Ayrıca trityum değerleri de göz önüne alındığında (Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4) soğuk su kaynaklarının güncel yağışlardan beslenen sığ dolaşımlı kaynaklar olduğu anlaşılmaktadır. Kurak dönemde yağışlı döneme göre Hirfanlı Barajı (KSBO-6) ve gölet suyu (KSBO-8) örneklerinde $\delta^{18}O$ izotopu bakımından zenginleşme olduğu görülmektedir. Hirfanlı Barajı (KSBO-6) ve Gölet suyu (KSBO-8) örneklerinin Dünya Meteorik Su Doğrusundan uzaklaştıkları ve buharlaşma etkisinde kaldıkları görülmektedir (şekil 5.1 ve şekil 5.2).



ķekil 5.1. Ķnceleme alanēndaki sularēn ŭ^{18}O-ŭ^{2}H grafíĵ i (Mart-2014)



ķekil 5.2. Ķnceleme alanēndaki sularēn ŭ^{18}O-ŭ^{2}H grafíĵ i (Aĵ ustos-2014)

5.2.2. $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$, yükselti ilişkisi

Yağışı meydana getiren atmosferik su buharının $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ içeriği coğrafi konum, enlem vb. parametrelerin yanısıra yükselti ile ters orantılı olarak değişmektedir. Yükselti etkisi olarak adlandırılan bu etki aslında yükseklikle beraber sıcaklığın da azalmasından kaynaklanmaktadır. Sıcaklığın düşmesi ile su buharı kütlesinden yoğunlaşma yoluyla yağış meydana gelmektedir. Yağış sırasında öncelikle $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ izotopları su fazına geçmekte ve arta kalan buhar kütlesi $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ bakımından fakirleşmektedir. Hava kütlesinin daha yüksek kotlara doğru hareketi sırasında sıcaklığın da düşmesi ile havanın taşıyacağı su buharı miktarında da azalma olur ve arta kalan buhar kütlesinden yoğunlaşma yoluyla yeniden yağışlar oluşur. Arta kalan buhar kütlesi $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ izotopları bakımından ilksel yağışlara göre fakirleştiği için sonraki yağışların $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ içerikleri giderek azalır. Bu nedenle son oluşan yağışlar $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ içerikleri bakımından önceki yağışlara göre daha fakirdir (Rayleigh damıtma ilkesi) [60].

Genel olarak her 100 metrik yükseklik artışına karşılık $\delta^{18}O$ içeriği indeki azalma ‰ 0.15 ile ‰ 0.50 arasında değişirken, $\delta^{2}H$ için bu değer ‰ 1.0 ile ‰ 4.0 arasında değişmektedir [60].

İnceleme alanında $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$'un yükselti ile değişimi düşük debili mevsimsel akış yapan kaynaklar olan KSBO-1, KSBO-2, KSBO-3, KSBO-4 ve KSBO-7 dikkate alınarak belirlenmiştir.

$\delta^{18}O$-yükselti ve $\delta^{2}H$-yükselti grafiklerinden $\delta^{18}O$ içeriği ile ortalama beslenme alanı yükseltisi (h) arasındaki ilişki;

$h(m)= -211.48*\delta^{18}O - 1127.4$ ($R^2=0.99$)

$\delta^{2}H$-yükselti arasındaki ilişki ise;

$h(m)= -41.103*\delta^{2}H - 1857$ ($R^2=0.91$)

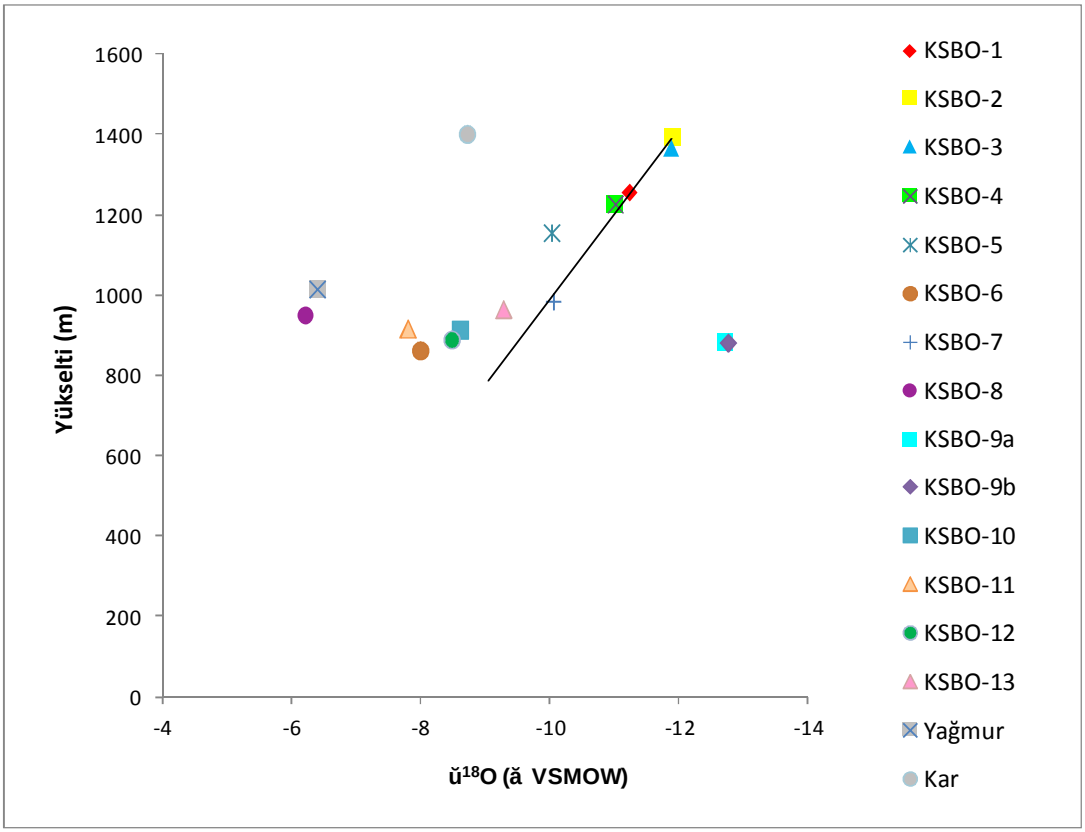
şeklinde hesaplanmıştır.

Buna göre örneklerin izotop içeriğine bağlı olarak her 100 metrik yükseklik artışına karşılık $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ içeriğinin ‰ 0.47 ve ‰ 2.43 azaldığı saptanmıştır (şekil 5.3 ve şekil 5.4).

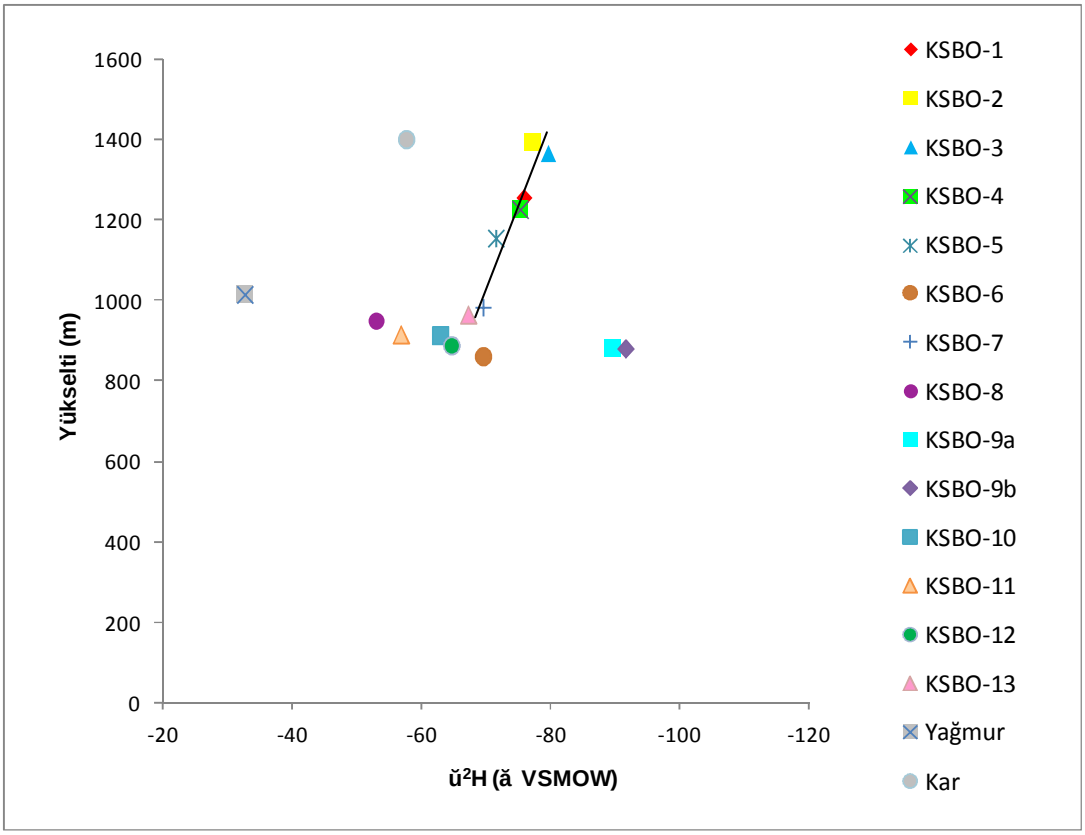
Yukarıdaki eşitlikler ile inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının iki dönem izotop analiz sonuçlarının ortalamasına göre $\delta^{18}O$-Yükselti eşitliği ile hesaplanan

beslenme alanı yükseltisi ortalama 1561- 1568 m arasında değişirken, δ^2H-Yükselti eğitlişi ile hesaplanan beslenme alanı yükseltisi 1824-1900 m arasında değişmektedir. İnceleme alanı ve çevresinde 1900 metreye ulaşan yükseltilerin bulunmaması, sıcak su örneklerinin δ^{18}O değerlerinde zenginleşme görülmemesi ve olası sıcaklık-kayaç etkileşmesi göstermemesi nedeniyle (şekil 5.3. ve şekil 5.4.) sıcak su kaynağı (KSBO-9a, KSBO-9b) için beslenme alanı yükselti hesaplamalarında δ^{18}O'ı Yükselti ilişkisi daha güvenilir bulunmuştur.

δ^{18}O ve δ^2H ile hesaplanan ortalama beslenme alanı yükselti sonuçlarına göre; sıcak su kaynağının bölgedeki yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiği anlaşılmaktadır. Buna göre Savcılı Büyükoba sıcak su kaynağı, inceleme alanının kuzeydoğusunda bulunan ve en yüksek noktası 1677 m olan Baranadağ Granodiyoritinin ortalama 1561-1568 m arasında değişen yüksek kesimlerinden beslendiği söylenebilir.



şekil 5.3. İnceleme alanındaki suların δ^{18}O-yükselti grafiği

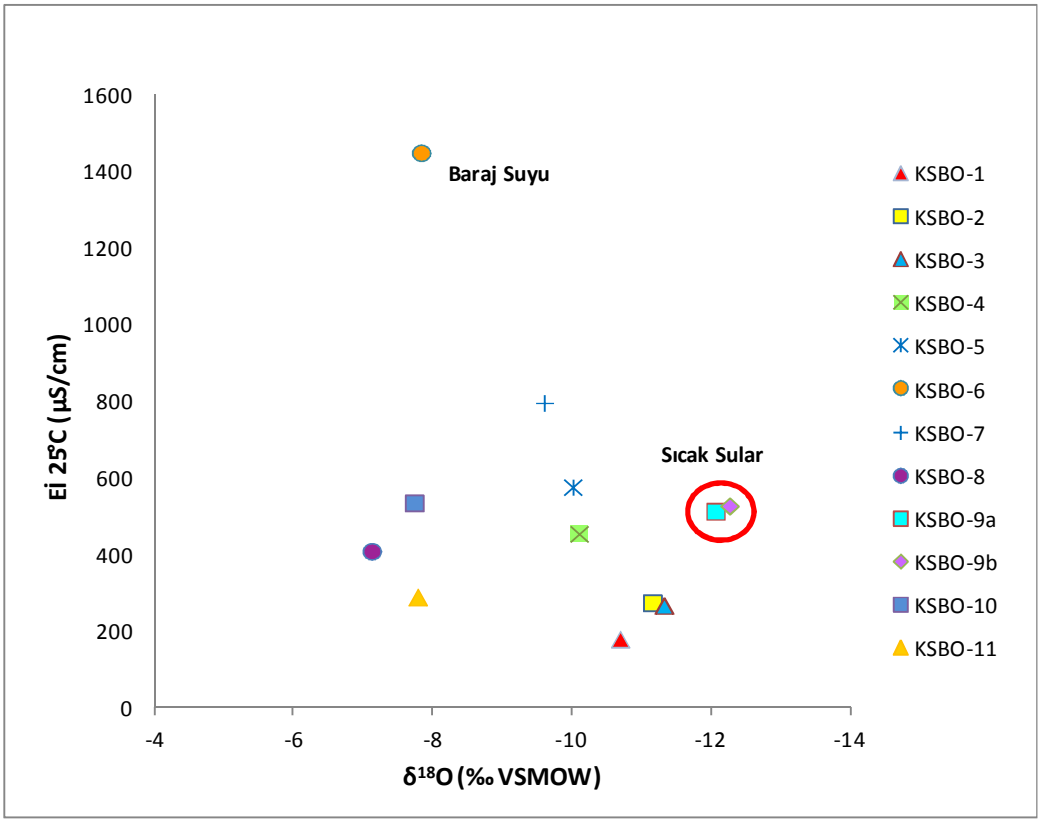


Şekil 5.4. İnceleme alanındaki suların ğ^{2}H-yükselti grafiği

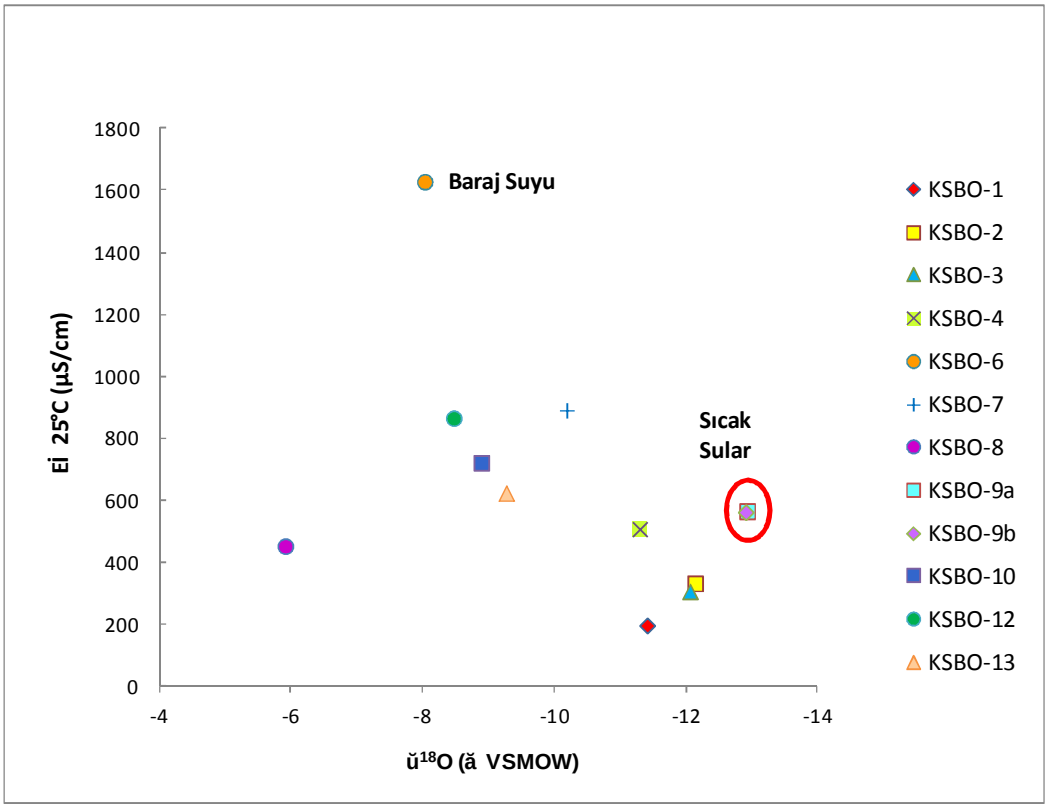
5.2.3. Oksijen18 (ğ^{18}O) ile Elektriksel İletkenlik (EİK) İlişkisi

Elektriksel İletkenlik ile iyon içeriği arasında paralellik bulunmaktadır. Suların iyon içerikleri zenginleştikçe Elektriksel İletkenlik değerleri artmaktadır. İyon içerik değeri, yeraltısuyunun akifer ile temas süresi arttıkça zenginleştiğinden, yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip suların akifer ile daha uzun süre temasta olduklarını ve uzun süre yeraltında kaldıklarını anlatmaktadır. Ayrıca; düşük ğ^{18}O değerine sahip sular göreli olarak daha yüksek kotlardan beslenen sularıtemsil edecektir.

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının dönemsel olarak ğ^{18}O-EİK ilişkisi şekil 5.5 ve şekil 5.6'da verilmektedir. Sıcak su kaynakları daha yüksek kotlardan beslenen kaynakları temsil etmektedirler. Soğuk su kaynaklarının ğ^{18}O değerlerine bakıldığında; sıcak su kaynaklarına göre daha düşük kotlardan beslenmektedirler.



ķekil 5.5. Ķnceleme alanēndaki sularēn ŭ18O-EĶ25°C (µS/cm) grafîĵi (Mart 2014)

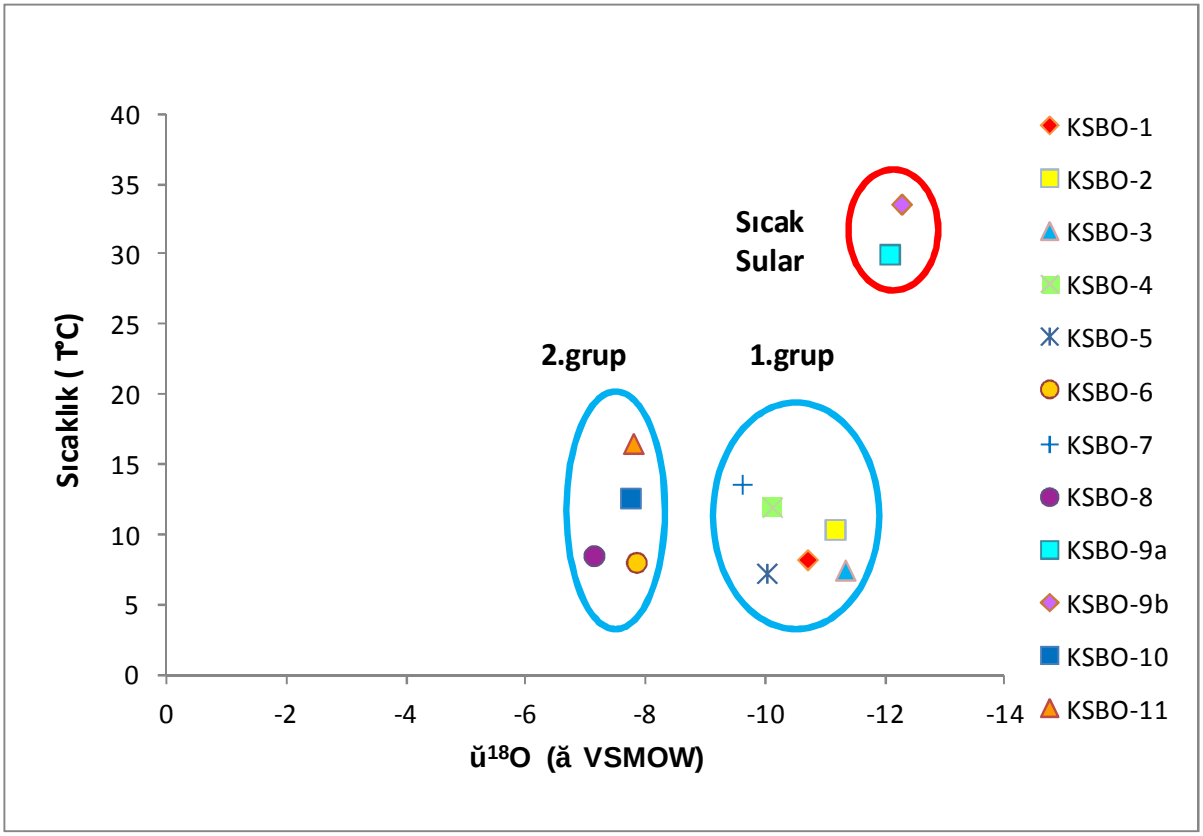


ķekil 5.6. Ķnceleme alanēndaki sularēn ŭ18O-EĶ25°C (µS/cm) grafîĵi (Aĵustos 2014)

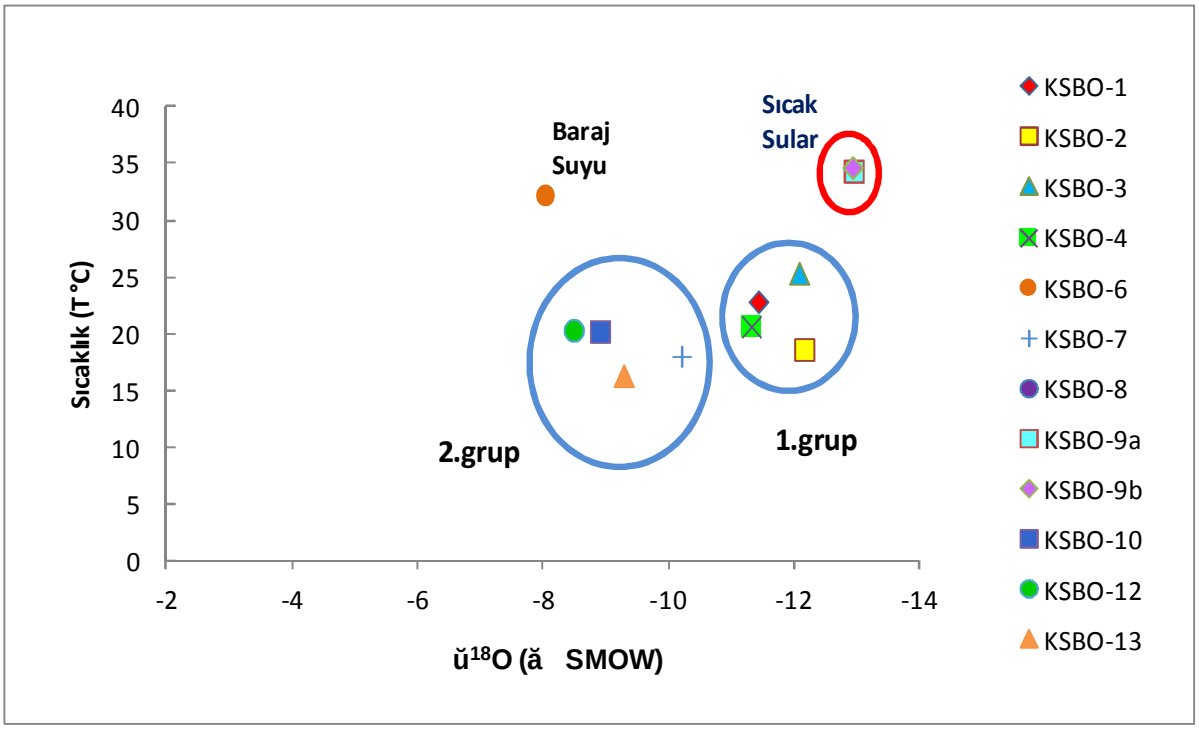
5.2.4. Oksijen18 (ğ^{18}O) ï Sıcaklık (°C) İlişkisi

İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerinin ğ^{18}O ï Sıcaklık (°C) grafiği şekil 5.7 ve şekil 5.8 de verilmektedir. Yükseklik ile ğ^{18}O değeri arasında ters orantılıdır. Yükseklik artıkça buğlı olarak sıcaklık değerinde düşme ve buna karşılık ğ^{18}O de azalma olması sebebiyle, düşük ğ^{18}O değerine sahip sular göreli olarak daha yüksek kotlardan beslenen suları temsil etmektedir.

İnceleme alanındaki sıcak sular (KSBO-9a, KSBO-9b) soğuk sulara göre daha yüksek kotlardan beslenmektedirler. Soğuk sular ise 2 ayrı grup altında toplarsak 1.gruptaki soğuk su örnekleri 2. gruptaki soğuk su örneklerine göre daha yüksek kotlardan beslenmektedirler.



şekil 5.7. İnceleme alanındaki suların ğ^{18}O-Sıcaklık (°C) grafiği (Mart 2014)



ķekil 5.8. Ķnceleme alanēndaki sularēn ŭ18O-Sēcaklēk (°C) grafîĵi (Aĵustos 2014)

5.2.5.Trityum (^3H)

Hidrojen atomunun 1 proton ve 2 nötronlu izotopu olan trityum radyoaktif bir izotoptur. Suların izotopik değerlendirilmesinde kullanılan radyoaktif trityum (^3H) izotopunun yarı ömrü 12.43 yıldır [60]. Suyun molekül yapısında yer alan hidrojenin duraysız bir izotopu olduğu için yeraltısuyunun rezervuarda kalış süresi boyunca radyoaktif bozunmaya uğramaktadır [61]. Kökeni meteorik olan suların yeraltında dolaşım yolu uzadıkça trityum izotopunun radyoaktif bozunmaya uğraması nedeniyle Trityum değerleri düşmektedir. Bu nedenle yeraltı sularının geçiş sürelerinin ve beslenme yaşlarının belirlenmesi çalışmalarında ^3H izotopu yaygın olarak kullanılmaktadır [61]. Trityumun hidrolojik sisteme girişi yağış yoluyla olmaktadır. Trityum izotopu ile yüzey ve yeraltısuyunun ilişkileri belirlenebilir. Çevresel izotoplardan ^3H'ün yeraltısuyu araştırmalarındaki önemi, radyoaktif bozunmanın dışındaki etkilerden hemen hemen hiç etkilenmemesidir. Trityum derişimi sıvı parıldama veya gaz sayaçlarıyle belirlenmektedir. Derişim birimi Trityum Birimi (TU, Tritium Unit) olup 1 TU 10^{18} H atomuna karşılık 1 adet ^3H atomunu ifade etmektedir [60].

Çizelge 5.3. İnceleme alanındaki su örneklerinin Trityum (^3H) analiz sonuçları(Mart 2014)

Örnek No	Tarih	T(°C)	Cl (ppm)	Yükseklik (m)	Eİ 25°C (µs/cm)	^3H (TU)	Toplam Analiz Hatası (+/-1 sigma)
KSBO-1	14.03.2014	8.23	1.69	1253	179	5.57	0.39
KSBO-2	14.03.2014	10.38	1.52	1392	274	7.16	0.42
KSBO-3	14.03.2014	7.49	1.72	1364	267	6.87	0.42
KSBO-4	14.03.2014	11.96	2.14	1225	341	6.52	0.42
KSBO-5	14.03.2014	7.25	13.69	1154	576	6.17	0.41
KSBO-6	14.03.2014	8.04	256.50	861	1449	6.28	0.41
KSBO-7	15.03.2014	13.61	31.81	983	796	7.27	0.43
KSBO-8	15.03.2014	8.52	11.66	947	409	7.04	0.41
KSBO-9a	15.03.2014	30.01	88.93	880	513	0.28	0.34
KSBO-9b	15.03.2014	33.58	88.27	880	527	0.18	0.34
KSBO-10	15.03.2014	12.62	13.20	913	535	8.49	0.48
KSBO-11	15.03.2014	16.52	3.63	915	289	7.9	0.48

Çizelge 5.4. İnceleme alanındaki su örneklerinin Trityum (^3H) analiz sonuçları (Ağustos 2014)

Örnek No	Tarih	T(°C)	Cl (ppm)	Yükseklik (m)	EC 25°C(µs/cm)	^3H (TU)	Toplam Analiz Hatası (+/-1 sigma)
KSBO-1	16.08.2014	22.80	1.82	1253	196	7.04	0.45
KSBO-2	16.08.2014	18.60	2.75	1392	332	6.38	0.44
KSBO-3	16.08.2014	25.30	1.77	1364	306	5.61	0.41
KSBO-4	16.08.2014	20.60	3.08	1225	507	6.69	0.49
KSBO-6	16.08.2014	32.10	258.05	861	1628	7.91	0.51
KSBO-7	16.08.2014	18.00	28.98	983	890	8.22	0.52
KSBO-8	16.08.2014	26	13.46	947	452	7.88	0.51
KSBO-9a	16.08.2014	34.30	85.76	880	565	0.28	0.37
KSBO-9b	16.08.2014	34.60	86.10	880	562	0.38	0.38
KSBO-10	16.08.2014	20.2	13.86	913	721	7.48	0.5
KSBO-12	16.08.2014	20.30	27.82	888	865	7.87	0.52
KSBO-13	17.08.2014	16.3	6.65	964	623	7.2	0.48

Trityumun meteorik sulardaki miktarı aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Stratosferdeki nitrojenin nötron bombardımanına uğraması sonucunda oluşan trityum miktarı,
- Trityumun beta çıkarması yaparak bozunması,
- Mevsimsel olarak stratosferden troposfere geçen (enjekte olan) trityum miktarı,
- Termonükleer bomba denemelerinden türemiş trityumun miktarı,
- Yerel olarak bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere nükleer reaktör veya diğer kaynaklarda yapay yollardan üretilmiş trityumun miktarı[60].

Atmosferdeki trityum miktarı 1952'deki termonükleer bomba denemelerinden önce 5-10 TU iken atmosfere yapay yolla salınan trityumla birlikte bu değerler kuzey yarım kürede 1963'e doğru 1000 TU dan daha fazla değerlere yükselmiştir [62], [63].

Kuzey yarımkürede uzun dönemli ölçümlere bağlı olarak bahar ve yaz aylarındaki trityum derişimi, kış aylarına oranla daha fazladır. Karaların üzerinde yaz aylarında trityum miktarının artmasının nedeni kış ve bahar yağışlarının bir kısmının tekrar buharlaşmasıdır. Denizlerin üzerindeki trityum miktarı ise yıl boyunca düşüktür. Bunun nedeni molekül takası olayı sonucu trityumların deniz suyu tarafından alınmasıdır [64].

Yeraltısuyunun ^{3}H derişimi, akiferi besleyen suların ^{3}H değerine, bunların toplam beslenimdeki katkı oranlarına ve beslenim suyunun yeraltında kalış süresine bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda farklı kökenli suların karışımı da yeraltısuyunun trityum miktarını değiştirebilir [65].

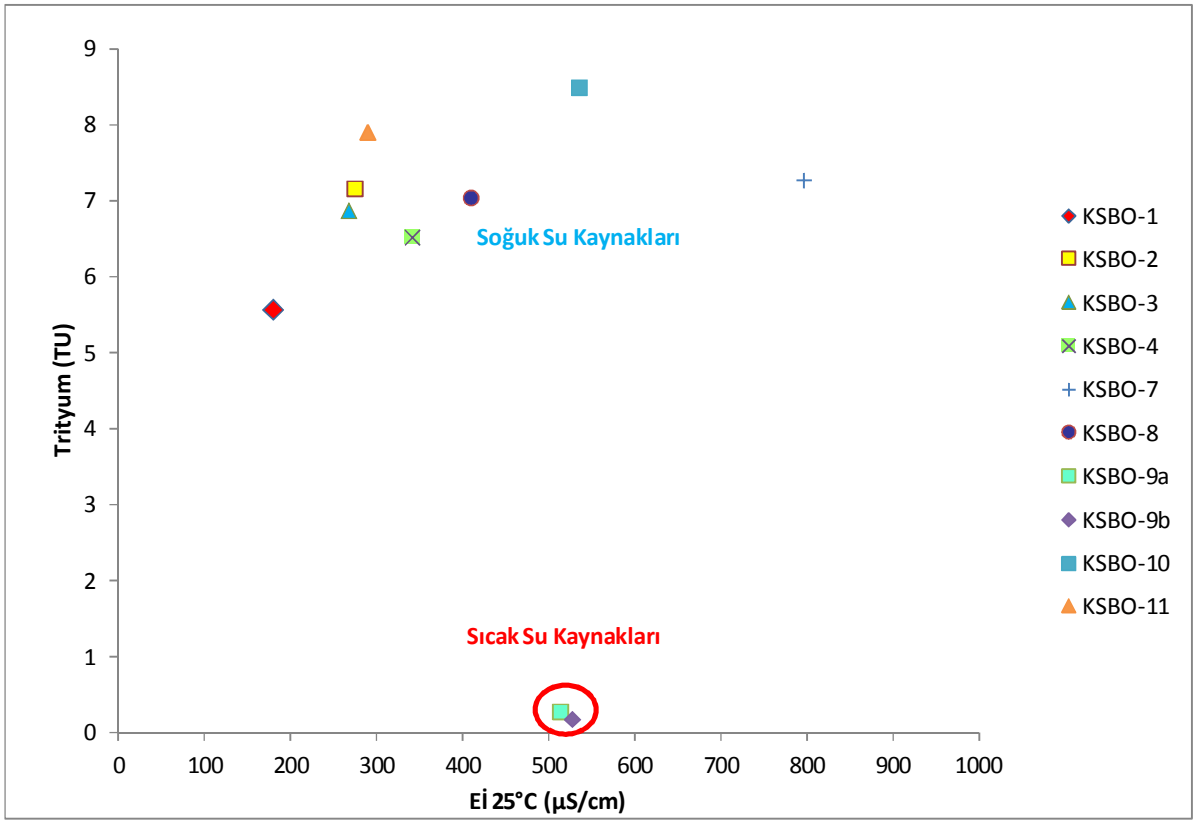
Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen ^{3}H analizleri Çizelge 5.3'de sunulmuştur. Trityum değerleri bu çalışma kapsamında alınan Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemi örneklerini kapsamaktadır.

Yapılan bu izotop analizlerine göre bölgedeki soğuk su kaynaklarının ^{3}H içeriği güncel yağışların ^{3}H içeriğine yakın değerdedir. Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağının ise oldukça düşük ^{3}H içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağında hata payı göz önüne alındığında ^{3}H izotopunun çok düşük olması jeotermal rezervuarın göreceli olarak uzun süreli geçiş zamanına sahip yer altısularıyle beslendiğini göstermektedir.

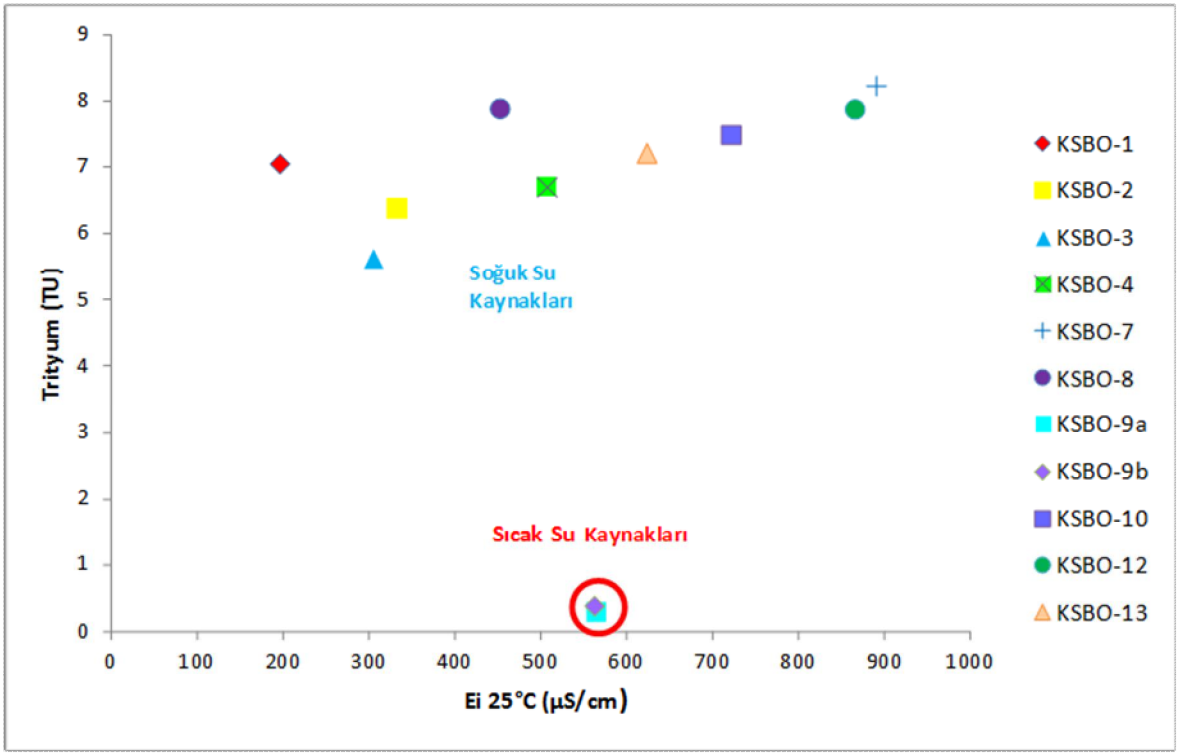
5.2.6. Trityum (TU) ile Elektriksel İletkenlik (EİK)

Genellikle yeraltısularının EİK değeri rezervuarda kalış süreleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bununla birlikte Toplam Çözünmüş Madde Miktarı ile EİK arasındaki doğrusallık düşünüldüğünde, yüksek EİK değerlerine sahip yer altısularının akiferle temas süreleri daha uzundur. Yani yüksek ^{3}H ve düşük EİK değerleri sığ ve hızlı dolaşımı, düşük ^{3}H ve yüksek EİK değerleri ise derin ve yavaş dolaşımı göstermektedir. Ancak şekil 5.9 ve şekil 5.10'da gösterilen TU-EİK grafiğinde görüldüğü üzere inceleme alanındaki soğuk su kaynaklarından bazıları litolojik olarak kolay çözünebilen birimlerde dolaştığından görece yüksek Trityum ve yüksek EİK değerlerine sahip, yeraltısuyu geçiş süresi kısa, sığ dolaşımlı kaynaklardır. Ayrıca çalışma alanında yer alan Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağının (KSBO-9a, KSBO-9b) en yaklısu olduğu görülmektedir.

Savcılı-Büyükoba jeotermal sahasındaki sıcak su kaynağının (KSBO-9a, KSBO-9b) trityum değerleri sıfıra yakın olup, bunlar derin dolaşımlı sular sınıfında yer almaktadır. Bu durum sıcak su kaynaklarının göreceli olarak uzun süreli geçiş zamanına sahip yer altısularıyle beslendiğini göstermektedir.



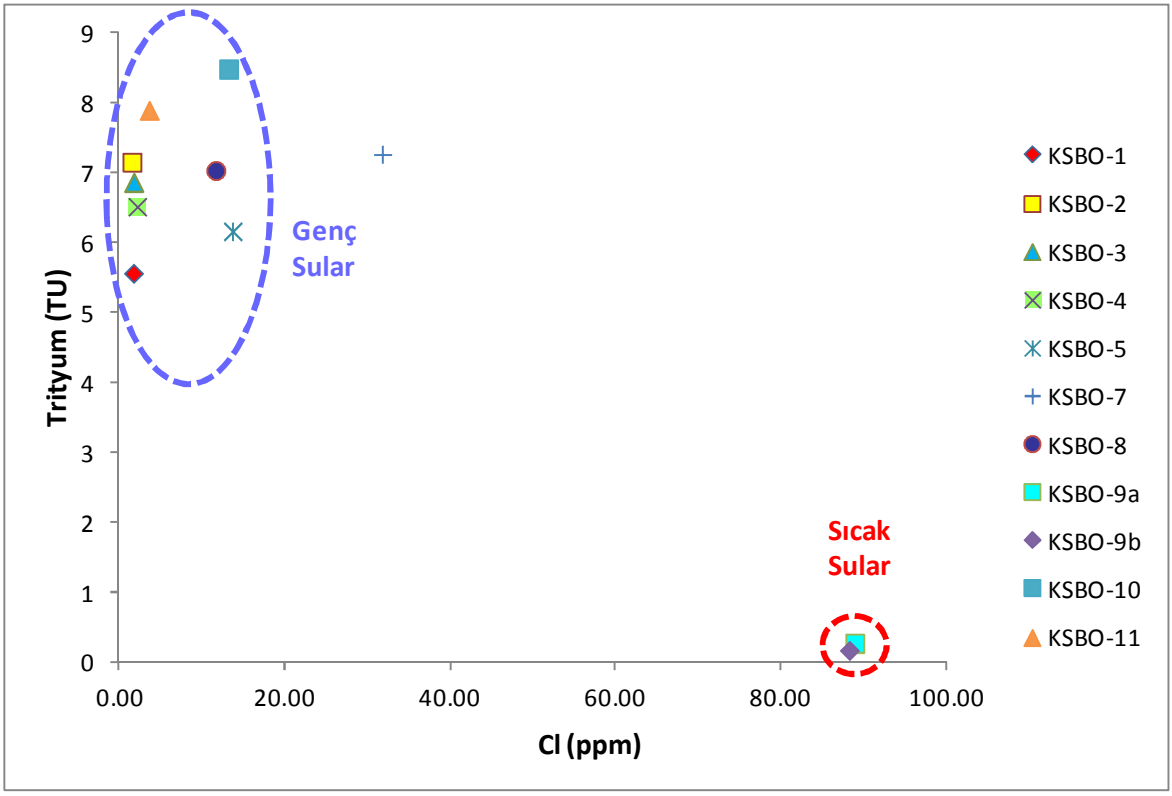
Şekil 5.9. Çalışma alanındaki suların Trityum (^3H)-Elektriksel İletkenlik (EİŞ) ilişkisi (Mart 2014)



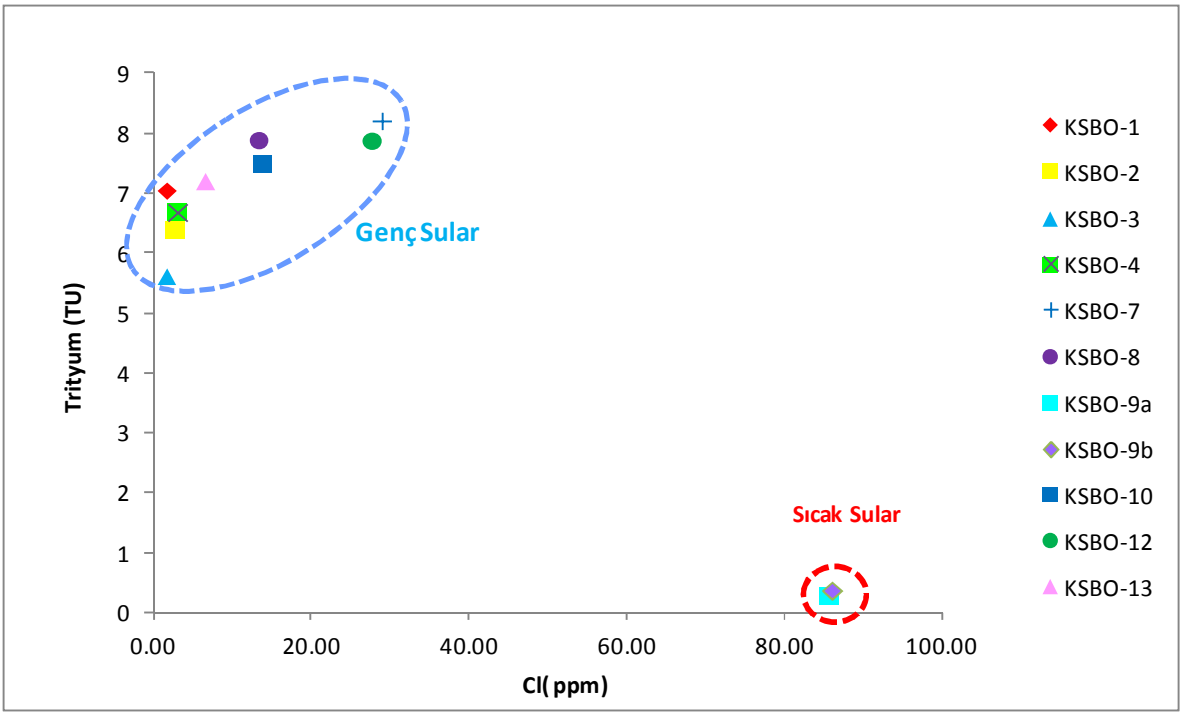
Şekil 5.10. Çalışma alanındaki suların Trityum (^3H)-Elektriksel İletkenlik (EİŞ) ilişkisi (Ağustos 2014)

5.2.7.Trityum (TU) ile Klorür (Cl^-)

Sıcak sularda ^3H değerinin sıfıra yakın olması sıcak ve mineralli suların yeraltında daha uzun süreli dolaşım gösterdiklerini ifade etmektedir. Sıcak suların klorür miktarı, soğuk suların klorür miktarından daha fazladır. Bu durum, beslenme alanından süzülerek ilerlemiş sıcak suların, kayaçlarla daha uzun süre temas ederek, yer altı suyu akım yönü boyunca klorürce daha zengin hale gelmesinden ve dolayısıyla daha derin dolaşımda olmasından kaynaklanmaktadır. Sıcak sularda ^3H değerinin düşük olması (KSBO-9a, KSBO-9b) Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında sıcak ve mineralli suların; soğuk sulara oranla yeraltında daha uzun süre dolaşımda olduklarını göstermektedir (şekil 5.11 ve şekil 5.12).



şekil 5.11. İnceleme alanındaki suların Trityum (^3H) -Klorür (Cl) İlişkisi (Mart 2014)



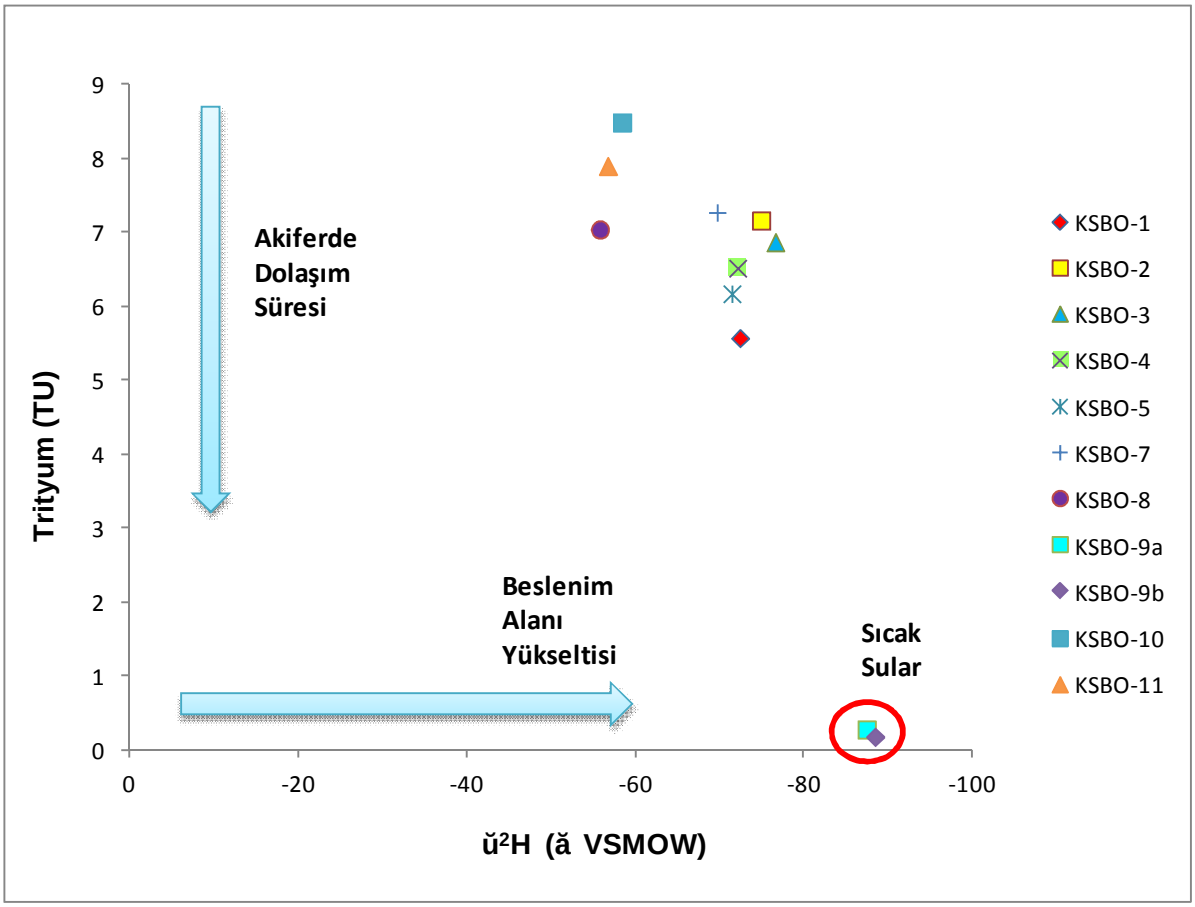
ķ ekil 5.12. Ķıceleme alanēndaki sularēn Trityum (^{3}H)-Klorür (Cl) Ķıkkisi (Aĵ ustos 2014)

5.2.8.Trityum (^{3}H) ï Döteryum (ŭ^{2}H) Ķıkkisi

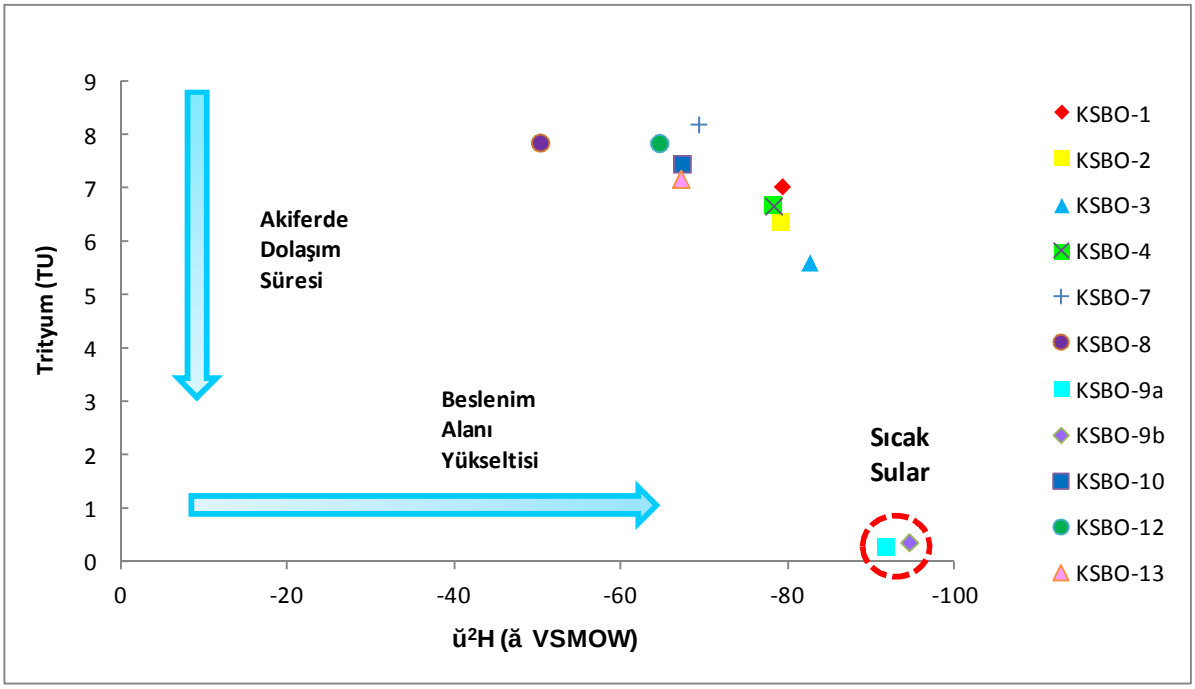
ŭ^{2}H-^{3}H grafiĵ i ile inceleme alanē sēcak ve soguk sularēnēn beslenme yükseltileri ile akifer içinde dolaкēm süreleri arasēndaki iliкki deĵ erlendirilmiкtir.

Ķıceleme alanēsēcak ve mineralli sularēnda Mart 2014 dönemi Trityum (^{3}H) deĵ erleri 0.18-0.28 arasēnda iken ŭ^{2}H (ă VSMOW) deĵ erleri -87.37 ile -88.40 arasēnda deĵ iкmektedir. Ķıceleme alanēndaki soĵ uk su kaynaklarē için ise Trityum (^{3}H) deĵ erleri 5.57 ile 8.49 arasē deĵ iкirken ŭ^{2}H (ă VSMOW) deĵ erleri -55.77 ile -76.58 arasēnda deĵ erler almaktadēr.

Trityum (^{3}H)-Döteryum (ŭ^{2}H) grafiĵ ine bakēldēĵ ēnda, ŭ^{2}H deĵ erlerine göre, beslenme alanē en yüksek olan kaynak Savcēlē Büyükoba sēcak ve mineralli su (KSBO-9a, KSBO-9b) kaynaĵ ēdēr. Soĵ uk su kaynaklarē ise, sēcak su kaynaklarēna göre oranla daha düкük kotlardan beslenmektedirler. Trityum (^{3}H) deĵ erlerine göre, inceleme alanēndaki sēcak su kaynaklarēderin dolaкēmlēve yaкlēsulardēr. Soĵ uk su kaynaklarē ise sēĵ dolaкēmlēve genç yeraltēsularēdēr (ķ ekil 5.13 ve ķ ekil 5.14).



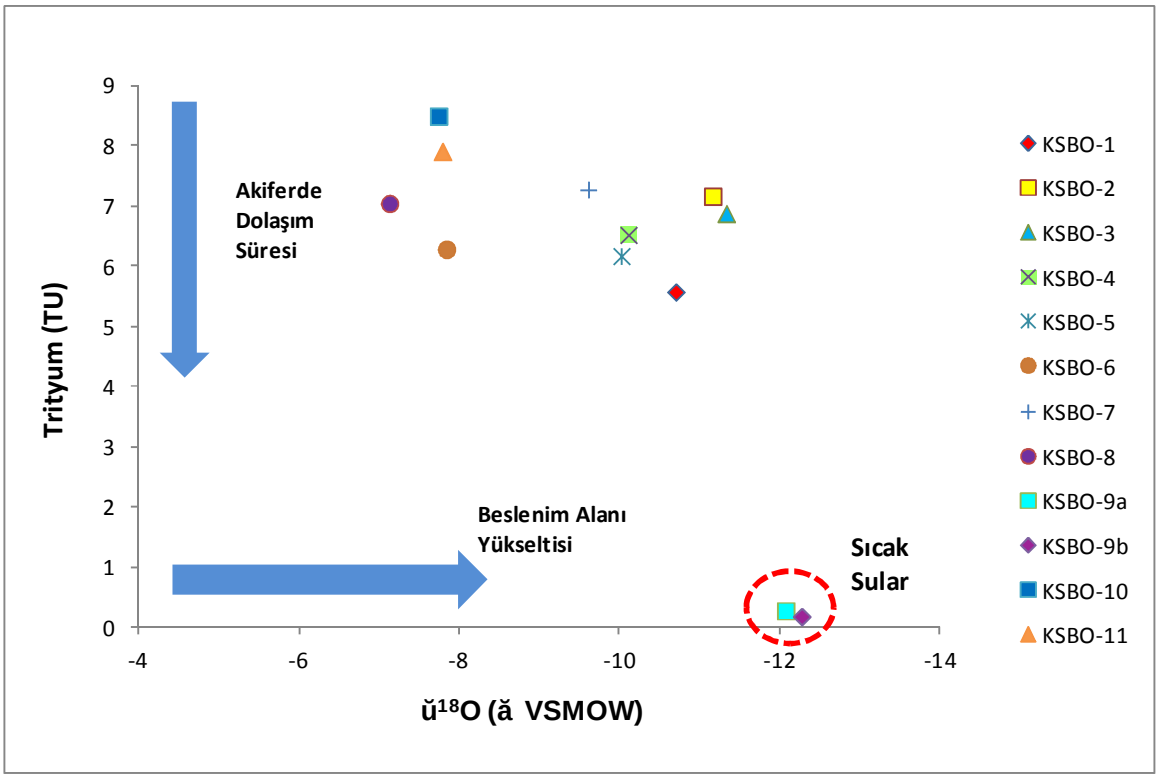
ķekil 5.13. Ķnceleme alanēndaki sularēn Trityum (^{3}H)-Döteryum (ŭ^{2}H) Ķıkkisi (Mart-2014)



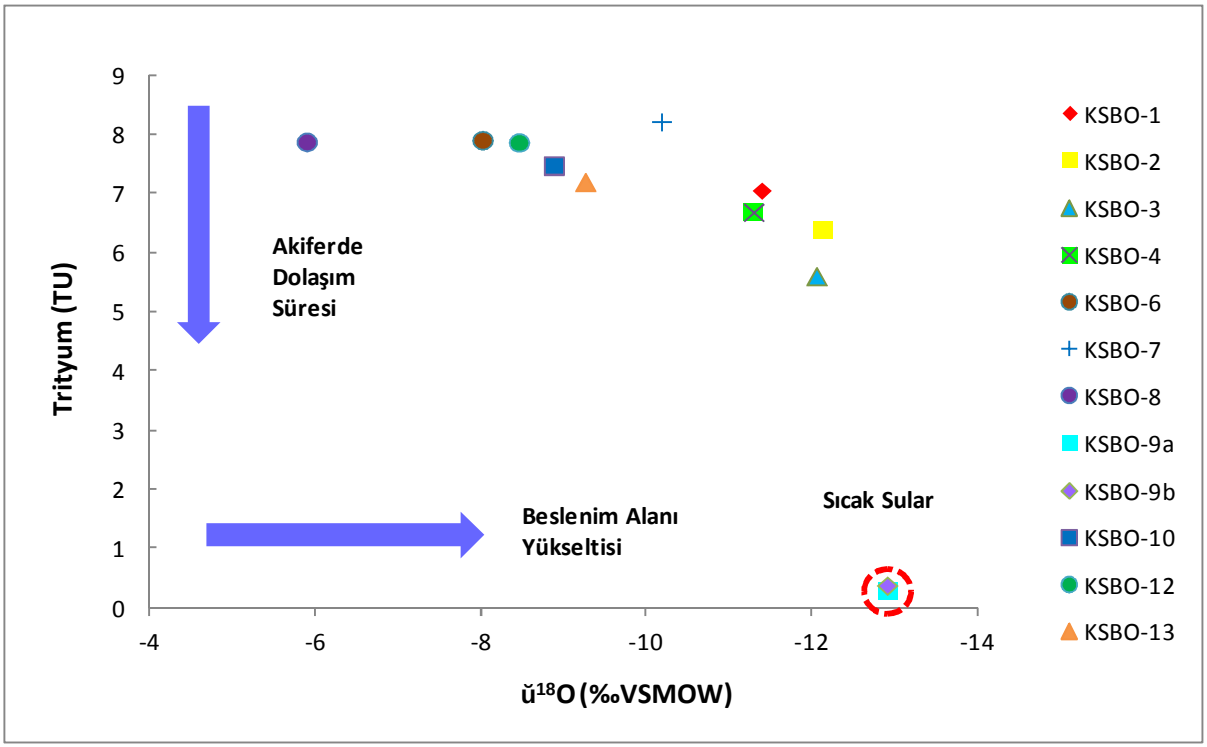
ķekil 5.14. Ķnceleme alanēndaki sularēn Trityum (^{3}H)-Döteryum (ŭ^{2}H) Ķıkkisi (Aĵ ustos-2014)

5.2.9.Trityum (^3H) ile Oksijen18 ($\delta^{18}O$) İlişkisi

İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının $\delta^{18}O$ değerleri soğuk sulardan daha negatiftir. Trityum (^3H) - Oksijen18 ($\delta^{18}O$) ilişkisine bakıldığında sıcak suların (KSBO-9a, KSBO-9b) soğuk sulara göre daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiği görülmektedir. Aynı zamanda sıcak su kaynaklarının (KSBO-9a, KSBO-9b) $\delta^{18}O$ değerleri birbirlerine çok yakın olup, trityum değerleri sıfıra yakındır. Bu durum sıcak suların aynı beslenme alanına sahip, görece yüksek kotlardan beslenen, derin dolaşımlı sular olduğunu göstermektedir. Diğer soğuk su kaynakları ise sıcak su kaynaklarına göre daha alçak kotlardan beslenmiş, sığ dolaşımlı, trityum değerleri yüksek, geçiş süreleri kısa, güncel yağışlardan beslenen sulardır (şekil 5.15 ve şekil 5.16).



şekil 5.15. İnceleme alanındaki suların Trityum (^3H)-Oksijen 18 ($\delta^{18}O$) İlişkisi (Mart-2014)



ķekil 5.16. Ķnceleme alanēndaki sularēn Trityum (^{3}H)-Oksijen18 (ŭ^{18}O) Ķıkkisi (Aĵ ustos 2014)

6.KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODEL

Jeotermal sistemler esas kaynağı, beslenme alanı, rezervuar, örtü kayaç ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkışını kontrol eden fay, kırık ve çatlak yapıtarından meydana gelmektedir. Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında rezervuar, örtü kayaç litolojileri ve hidrojeolojik özellikleri hakkında kapsamlı veri bulunmamaktadır. İnceleme alanında yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve kimyasal veriler değerlendirilerek bölgedeki jeotermal rezervuar litolojileri belirlenmeye çalışılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalarda bölgede tektonik olaylar sonucunda ikincil gözeneklilik, geçirimlilik kazanan mermerlerin ve kırıklı, ezikli bir yapı kazanmış granit ve granodiyoritlerin hazne kayacı olabileceği düşünülürken, örtü kayacın ise taban konglomerası ile başlayıp üste doğru kaba kumtaşı, ince kumtaşı, çamurtaşı, marnlı-kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ardalanmasından oluşan Eosen çökelleri olabileceği belirtmişlerdir. Ancak bu birimlerin yeraltındaki yayılımı ayrıntılı jeofizik ve sondaj çalışmaları ile aydınlatılabilecektir.

Bu çalışmanın esas amacı Savcılı-Büyükoba jeotermal alanının yayılımı ve hidrotermal yapısının ortaya konulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynaklarıyla temsil edilen inceleme alanındaki rezervuar litolojileri; yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal veriler değerlendirilerek belirlenmeye çalışılmış ve Savcılı-Büyükoba jeotermal sahasının kavramsal hidrotermal modeli ortaya konulmuştur (şekil 6.1).

6.1. Jeotermal Akışkanın Kökeni ve Beslenme Alanı

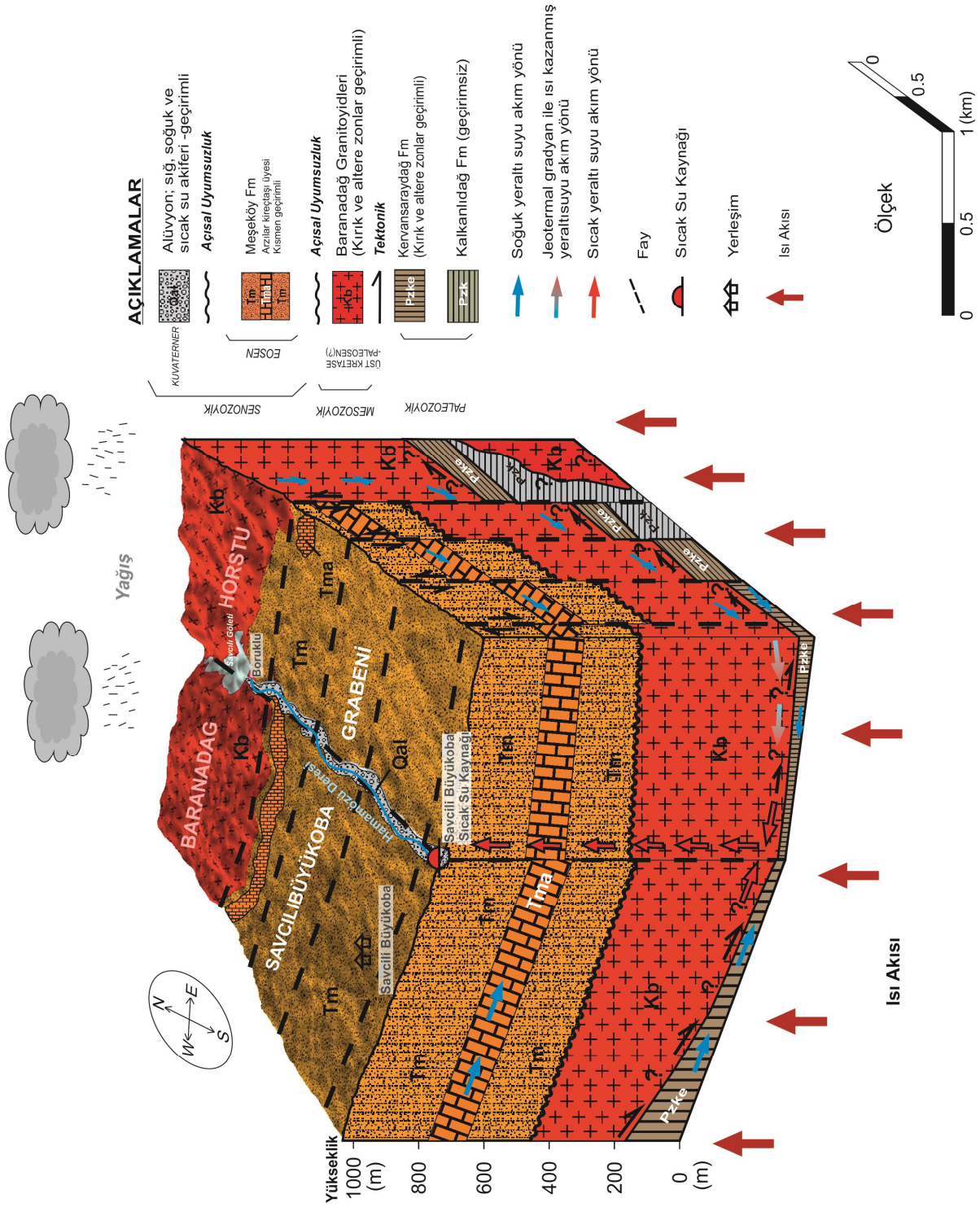
Jeotermal sistemler başlıca meteorik kökenli veya jüvenil (magmatik ve volkanik) kökenli akışkanlar ile beslenmektedir. Yeryüzündeki termal suların büyük bir bölümü meteorik kökenli olup bir yer üstü beslenme alanının varlığını gerektirmektedir. Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında yer alan sıcak suların (KSBO-9a, KSBO-9b) yerel meteorik su doğrusu üzerinde yer almaları nedeniyle bölgedeki jeotermal sistemi meteorik kökenli suların beslediği belirlenmiştir. Ayrıca bölgedeki sıcak suların düşük trityum içerikleri bu suların jeotermal alandaki derin yer altı suyu dolaşım sistemini göstermektedir. Yine izotop çalışmaları ile sıcak su kaynakları için belirlenen ortalama beslenme alanı yükseltisine göre Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağının inceleme alanının kuzeydoğusunda yer alan Baranadağı Granitoyidinin yüksek kesimlerinden beslendiği saptanmıştır. Sıcak su kaynağı, Baranadağı

Granitoyidinin yüksek kesimlerine düken yağış suların derinlere süzülmesi ve jeotermal gradyan ile ısınarak faylar boyunca tekrar yüzeye çıkması sonucunda oluşmuş bir fay kaynağı olarak dükünülmektedir.

6.2. Hazne (Rezervuar) Kaya ve Yapısı

Savcılı Büyükoba hidrotermal sistemi, bölgedeki akifer özelliğindeki geçirimli formasyonlar ile faylı ve kırıklı yapılardan meteorik kökenli sular yoluyla beslenmektedir. Yeraltına süzülerek jeotermal gradyan ile sıcaklık kazanan bu suların tektonik hareketler sonucu kırıklı, ezikli yapılar kazanmış olan granit ve granodiyoritlerin kırıklı çatlaklı olan bölümlerinde birikmesi olasıdır. Ayrıca derinlerden yükselen termal suların daha üstte yer alan Eosen yaşlı taban çakıltaşında ve kireçtaşında yerel soğuk yer altı suларıyla seyreltilerek birikmekte olduğu ancak yüzeye ulaşamadığı düşünülmektedir.

Savcılı Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynaklarında yapılan jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde sıcak ve yeterli su depolaması beklenen hazne kaya (rezervuar) özelliği taşıyan Üst Kretase-Paleosen? yaşlı Baranadağ Granitoyididir.



Şekil 6.1. Savcili Büyükoba Jeotermal Alanının Kavramsal Hidrotermal Modeli

6.3. Isı Kaynağı

Jeotermal alanlarda ısının en önemli kaynağı jeotermal gradyandır. Bu gradyanı volkanik etkinlik, soğumasını tamamlayamamış magmatik bir sokulum veya yoğun genç tektonik etkinlik arttırmaktadır. Tüm bu faaliyetler jeotermal alanın bulunduğu bölgede ısıakısının yüksek olmasına neden olmaktadır.

Isı kaynağının; Orta Anadolu, Doğu Anadolu ve Kula gibi genç volkanik alanlarda, soğumasını henüz tamamlayamamış magma; Batı Anadolu'da özellikle Büyük Menderes Grabeni'nde genişleme tektoniği ile kıtasal kabuğun incelmesi; Kuzey Anadolu'da ise aktif tektonizma olduğu kabul edilmektedir. Türkiye'de farklı bölgelerdeki jeotermal alanlar için kimyasal jeotermometreler ile ortalama rezervuar sıcaklıkları; Batı Anadolu'da 251°C, Orta Anadolu'da 125-136°C olarak hesaplanmıştır Mutlu ve Güleç [66].

İnceleme alanı ve çevresinden 70-100 km uzaklıkta ısı kaynağı olabilecek genç volkanizmalar görülse de, sıcak su kaynağı ile bağlantı kurmak zordur. İnceleme alanında, ısı kaynağı görevini jeotermal gradyan ile birlikte bölgede etkin olan tektonik hareketler üstlenmiştir. Bu sebepler derinlere inen suların ısındığını göstermektedir. Orta Anadolu'da yer alan Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında genç volkanik etkinlik olmamakla birlikte en genç magmatik etkinlikler Alt-Orta Eosen'de gelişmiştir. Fakat bölgede tektoniğin gelişimi ve fay hatlarının uzun, fayların normal atımlı olması ve kapalı hidrotermal sistemlerin gelişmesi yer gradyanının diğer bölgelere göre daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada Savcılı-Büyükoba jeotermal alanı için rezervuar sıcaklığı 69-72°C olarak hesaplanmıştır.

6.4.Örtü Kayaç

Hidrotermal sistemin sahip olduğu ısıyı koruyabilmesi için, sıcak su rezervuarı üzerinde düşük termal iletkenliğe ve düşük geçirimliliğe sahip bir örtü kayacın olması gerekmektedir. İnceleme alanında örtü kayaç olabilecek özellikte olan birimler Senozoyik (Eosen ve Miyosen-Pliyosen) çökelleridir. Eosen birimleri inceleme alanında Baraklı Formasyonu, Meşeköy Formasyonu ile temsil edilmektedir. Lütesiyen (Eosen) çökellerinin temelini tabanda konglomera seviyeleri oluşturmaktadır. İstif taban konglemaraları üzerine gelen kaba kumtaşı, ince kumtaşı, çamurtaşı, marnlı kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı çökelleri olarak sıralanmakta ve bunların ardalanmasından oluşmaktadır. Miyosen-Pliyosen çökelleri ise Kızılırmak Formasyonu ile temsil edilmekte olup, çamurtaşı, siltaşı, kumtaşı ve çakıltaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Bu sıralanma litolojik açıdan geçirimsiz veya çok az geçirimli bir tabakalar sıralanmasını göstermektedir. Bu sebeple Senozoyik (Eosen-Miyosen-Pliyosen) çökelleri örtü kayacı olabilecek özellik kazanmıştır.

.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Savcılı Büyükoba jeotermal alanının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan jeoloji, hidrojeoloji, hidroloji, jeokimyasal ve izotop çalışmalarının değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuç ve öneriler çıkarılmıştır.

-Çalışma alanının 1/100000 ve 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları önceki çalışmalardan yararlanılarak oluşturulmuştur. Tez sahasının stratigrafik istifi ve jeolojik kesitleri hazırlanmıştır. Hazırlanan jeoloji haritası temel alınarak çalışma alanındaki formasyonların hidrojeolojik özellikleri arazi gözlem ve önceki çalışmalardan yararlanılarak belirlenmiş ve alanın 1/25000 ölçekli hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur.

-Bölgedeki jeolojik, hidrojeolojik çalışmalar ve jeofizik rezistivite haritalarından yararlanılarak muhtemel gömülü faylar belirlenmiştir. Buna göre, sahada başlıca KD-GB, KB-GD doğrultularında basamaklı ve normal fay sistemine bağlı yapıların geliştiği görülmüştür.

-Meteoroloji verilerinin değerlendirilmesine göre; Savcılı istasyonunun değerleri incelenerek 1985-2004 yılları arasında Savcılı havzasına düşen ortalama yağış miktarı 353.7 mm/yıl, bölgedeki ortalama sıcaklık ise 12 ºC olarak hesaplanmıştır.

-İnceleme alanındaki birimlerin hidrojeolojik özellikleri incelendiğinde Eosen yaşlı kumtaşı tabakalarının içerisinde yer alan kireçtaşı birimlerinin yerel akifer oluşturma potansiyeline sahip olduğu ve Üst Kretase-Paleosen? yaşlı granitoyidin kırıklı çatlaklı zonlarının yoğun olduğu bölümlerin jeotermal rezervuar oluşturacak özellikte olduğu belirlenmiştir. Bölgede çamurtaşı, kumtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı ara düzeyli çamurtaşı ardalanmasından oluşan Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı çökeller örtü kayaç niteliğindedir. Ayrıca temelde yer alan Paleozoyik yaşlı amfibol şist, gnays, kuvarsit gibi birimler ile Üst Kretase yaşlı diyabaz, bazalt, radyolarit, çört gibi volkanik kayaçların kırık çatlak içermeyen bölümleri de geçirimsiz özelliktedir.

-Savcılı Büyükoba bölgesindeki yer altı ve yerüstü sularından Mart 2014 ve Ağustos 2014'de yağışlı ve kurak olmak üzere iki dönem örnekleme ve ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Bu örnekler Savcılı Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynaklarından, soğuk su kaynaklarından, yüzey sularından ve yağışlı sularından alınmıştır.

-Çalēкma alanēnda yer alan sēcak ve mineralli sular ile soĵuk sular Schoeller ve Piper diyagramlarē ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarē diyagramlarē kullanēlarak kimyasal bileкim (tuzluluk) ve kalite yönlerinden incelenmiкtir. Savcēlē Büyükoba sēcak ve mineralli su kaynaĵē Na-Cl tipli sular sēnēfēnda yer almaktadēr. Ķnceleme alanē ve yakēn çevresindeki soĵuk sular ise Ca-HCO_3 tipli sularē oluкturmaktadērlar. Schoeller diyagramēna göre sēcak sularēn aynē kökenli olduĵunu ve benzer akiferlerden beslenen sular olduĵunu göstermektedir. Piper diyagramēna göre sēcak sular tuzlu sular olup, bölgedeki soĵuk sulardan ayrē bir grup oluкturmaktadērlar.

-Bölgede yer alan sēcak ve mineralli sular ile soĵuk su örnekleri Wilcox diyagramlarēna göre incelendiĵinde; KSBO-9a sēcak su kaynaĵē ve SB-3 sēcak su kuyusu кüpheli kullanēlabilir, KSBO-9b, SB-2, SB-4, SB-5 sēcak su kaynak ve kuyularē ise кüpheli kullanēlamaz bölümünde yer almaktadēr. Bölgede yer alan diĵer soĵuk su kaynaklarēnēn ise sulama için uygun olduĵu belirlenmiкtir. ABD Tuzluluk Laboratuvarē diyagramē sonuçlarēna göre sēcak su kaynaklarē ve sēcak su kuyularē C_2-S_2 (Orta derecede tuzlu-orta sodyumlu sular) ve C_2-S_3 (Orta derecede- tuzlu-yüksek sodyumlu sular) grubunda yer almaktadēr. Soĵuk sular ise C_1-S_1 (az tuzlu-az sodyumlu), C_2-S_1 (orta tuzlu- az sodyumlu) ve C_3-S_1 (yüksek tuzlu-az sodyumlu) sular grubunda yer almaktadērlar. Bölgede yer alan sēcak ve mineralli sularēn gerek Wilcox, gerekse ABD Tuzluluk Laboratuvarē diyagramēna göre doĵrudan tarēmda kullanēlmasē uygun olmayacaktēr.

-Mineral doygunluk hesaplamalarēna göre bölgedeki sēcak su kaynaklarēnēn anhidrit, jips gibi sülfatlē mineraller ile halit ve silise doygun olmadēklarē, ancak bu sularēn kalsedon, kuvars gibi silis mineralleri ile kalsit, dolomit, aragonit gibi karbonatlē minerallere doygun olduklarē belirlenmiкtir. Elde edilen bu sonuçlar, yüzeye çēkan sēcak sularēn kabuklaкma yapēcē özellikte olabileceĵini göstermektedir.

-Sēcak ve mineralli sularēn rezervuar sēcaklēklarēnē tahmin etmek için silis ve katyon jeotermometrelerinden yararlanēlmēktēr.

-Savcēlē Büyükoba jeotermal alanē içerisindeki sēcak su kaynaĵē ve sēcak su kuyularē ñkēsmen dengede olan sularò bölümünde yer almasēndan dolayē katyon jeotermometrelerinin bu kaynaklarda uygulanmasē uygun görülmemiкtir. Buna göre silis jeotermometreleri katyon jeotermometrelerine göre daha saĵlēklē sonuçlar

vermektedir. Kalsedon formuna dayalı jeotermometre eşitliklerinden rezervuar sıcaklıkları 69-72^{0}C olarak hesaplanmıştır.

-Sıcak su kaynaklarının düşük trityum içeriği, kaynakların göreceli olarak uzun süreli geçiş zamanına sahip yer altısularıile beslendiklerini göstermektedir. Oksijen 18 (δ^{18}O) - Döteryum (δ^{2}H) verilerine göre ise Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında yer alan sıcak su kaynaklarının meteorik su doğrusu üzerinde bulunmaları nedeniyle bölgedeki jeotermal sistemin meteorik kökenli sular tarafından yüksek kotlardan beslendiği belirlenmiştir. Soğuk su kaynaklarının duraylıizotop içerikleri ile belirlenen ortalama beslenme alanı yükseltisi, Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağının, inceleme alanının kuzeydoğusunda yer alan Baranadağ Granitoyidinin yüksek kesimlerinden (1561-1568 m) beslendiği ini göstermektedir.

-Sahadan elde edilen jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal veriler değerlendirilerek oluşturulan kavramsal hidrotermal modele göre, sıcak ve mineralli sular, yer altına süzülen meteorik kökenli suların yeraltında jeotermal gradyan ile ısınması, fay hatlarıve kırık-çatlaklar boyunca yükselmeleri sonucu oluşmaktadır.

-Bölgedeki sıcak su rezervuarının yayılımının, komşu rezervuarlarla ilişkisinin belirlenmesi ve hidrotermal modelin geliştirilmesine yönelik daha geniş alanda ayrıntılıjeofizik (DES, MT vd.) çalışmalarıyapılmalıdır.

-Bölgedeki sıcak su kaynağının geliştirilmesine yönelik kuyu testleri yapılmalıdır. Kuyu testleri ile rezervuar parametreleri, rezervuarın yapısı ve yayılımı gibi bilgiler elde edilebilir. Elde edilen bilgiler kuyu ve rezervuar ile ilgili yorumların yapılmasında, sürdürülebilirlik ve ileriye yönelik çalışmalarda kullanılmalıdır.

-Bölgedeki sıcak suların uzun dönemli fiziksel ve kimyasal değişimlerinin belirlenmesi amacıyla (olası beslenim alanlarındaki su noktalarında) izotop ölçümlerine periyodik olarak devam edilmelidir. Ayrıca, bölgedeki derin dolaşımlı yeraltısularının yaşının belirlenmesi amacıyla karbon izotop analizleri yapılmalıdır.

-Savcılı-Büyükoba jeotermal sisteminin bozulmasına, kirlenmesine ve sürdürülebilir özelliğinin yitirilmesine neden olacak dış etkenlerden korumak amacıyla ayrıntılı kaynak koruma alanıçalışmalarının yapılmasıgerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Baykal, F., 1943, *Kırıkkale-Kalecik ve Keskin–Bala mıntıkalarındaki jeolojik etüdler,* MTA raporu, Derleme no: 1448 Ankara, **1943**

[2] Bailey, E.B. and Mc Callien, W. J., 1950, *The Ankara melange and the Anatolian thrust,* MTA yayınları, 13,40 s.17-21**, 1950**

[3] Egeran, N. ve Lahn, E. *Kuzey ve Orta Anadolu'nun tektonik durumları hakkında* not M.T.A Dergi No: 41**, 1951**

[4] Erguvanlı, K., 1954, *Kırşehir'in doğusunun jeolojik etüdü hakkında rapor,* MTA Derleme Rapor No: 2373, **1954**

[5] Buchardt , W. S., *1953 ve 1954'de yaz aylarında Orta Anadolu'da yapılan 1/100000 ölçekli jeolojik harita çalışmaları hakkında rapor. M.T.A. Derleme Raporu No: 2675,* **1954**

[6] Ayan, M., *Contribution a l'etude petrographique et ge'ologigue de la region situee su Nord-Est de Kaman (Turqie) MTA yayını No:115,* **1963**

[7] Ketin, İ., Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu masifinin tektonik durumu, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni* , c: VI, sayı1, 1-40, **1955**

[8] Ketin, İ. ve Erentöz, C. 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Kayseri paftası ve açıklaması, *MTA Enstitüsü Yayınları*, Ankara 825, **1963**

[9] Ketin, İ., Anadolu'nun Tektonik Birlikleri , *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi,* 66, 20-34, **1966**

[10] Kaaden, V., *Basement rocks of Turkey (in geology and history of Turkey,* Ed. A.S Campell, Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli 191-209 , **1971**

[11] Ataman, G. Ankara'nın güneydoğusundaki Granitik-Granodiyoritik kütlelerden Cefalık Dağı radyometrik yaşı hakkında ön çalışma *Hacettepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* **1972**

[12] Öngür, T., ve Kartal, T., *Kırşehir Terme Kaplıcası'na İlişkin Hidrojeolojik Rapor.* MTA Derleme Rapor No:4846, **1973**

[13] Bingöl, E., 1/ 2.500.000 ölçekli Türkiye metamorfizma haritası ve bazı metamorfik kuşakların jeotektonik evrimi üzerine tartışmalar. *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi,* Sayı83, **1974**

[14] Erkan,Y., *Orta Anadolu Masifi güneybatısında (Kırşehir bölgesinde) etkili rejyonal metamorfizmanın petrolojik incelenmesi*, Hacettepe Üniversitesi Doçentlik Tezi, **1975**

[15] Oktay, F.Y ., *1/25000 ölçekli jeolojik harita,* **1978**

[16] Arni, P., Ladame, *Yerköy linyit mıntıkası hakkında rapor,* MTA Raporu, derleme no: 124 Ankara, **1936**

[17] Ronner, F., Ekzojen-endojen metamorfizma münasebetleri hakkında bir etüd "Kırşehir masifinde (merkezi Anadolu) bir granit mermer kontaktındaki müşahadeler", *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi,* sayı50 , 59-79, **1958**

[18] Ayan, M., Contribution a l'étude petrographique et géologique de la region situee au Nord-Est de Kaman (Turqie). *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayını* No.**115**, **1963**

[19] Erkan, Y., *Orta Anadolu Masifi güneybatısında (Kırşehir bölgesinde) etkili rejyonal metamorfizmanın petrolojik incelenmesi*, Hacettepe Üniversitesi Doçentlik Tezi, **1975**

[20] Erkan, Y., Ataman, G., Orta Anadolu masifinin (Kırşehir yöresi) metamorfizma yaşı üzerinde K/Ar yöntemi ile bir inceleme, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi,* 8, s. 27-30, **1981**

[21] Oktay, F. Y., *Savcılı Büyükoba (Kaman) çevresinde Orta Anadolu masifi tortul örtüsünün jeolojisi ve sedimantolojisi*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Doçentlik Tezi İstanbul (yayımlanmamış), **1981**

[22] Seymen, İ., *Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi*: Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Maden Fak.,164 s. İstanbul, **1982**

[23] Atabey, E., Tarhan, N., Akarsu, B., Takkıran, A., *Şereflikoçhisar, Panlı (Ankara) - Acıpınar (Niğde) yöresinin jeolojisi,* M.T.A Raporu, Derleme no: 8155 Ankara, **1987**

[24] Bayhan, H., Bayındır-Akpınar (Kaman) yöresindeki alkali kayaçların jeokimyası ve kökensel yorumu, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni,* 31/1,59-68, **1988**

[25] Kara, H., Dönmez, M., *1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi No. 34, Kırşehir - G17 paftası*, MTA yayını, **1990**

[26] Göncüoğlu, M.C., *Geologic des westhichen Niğde Massivs.* Bonn University., Doktora Tezi, 181 s, **1977**

[27] Dökmeci, İ., *Akdağmadeni dolayının jeolojisi,* MTA Raporu, Derleme No:6855 Ankara, **1980**

[28] Norman, T., Ankara Yahşihan bölgesinde Üst Kretase- Alt Tersiyer istifinin stratigrafisi , *Türkiye Jeoloji Kurultay Bülteni* , XV, 2, 180-276, **1972**

[29] Rigo de Righi, M. ve Cortesini, A., *Regional studies central Anatolia basin, progress report 1*: Turkish Gulf Oil Comp. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü , Ankara, **1959**

[30] Arıkan, Y., Tuzgölü havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, *Maden Tetkik Arama Dergisi,* 85, 17-37, **1975**

[31] Görür, N., Tuzgölü-Haymana havzasının stratigrafik analizi, İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumunda, *Türkiye Jeoloji Kurultayı yayını*, s.60-65, **1981**

[32] Ünalan, G., Yüksel, V., Tekeli T., Gönenç, O., Seyirt, Z., Hüseyin, S., Haymana-Polatlı yöresi (GB Ankara) Üst Kretase- Alt Tersiyer stratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni.*, 19/2, 159-176, **1976**

[33] Çağlayan, A., *Savcılı Fay Zonunun (Kırşehir) Yapısal Analizi,* Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2010**

[34] İÜ.T.F., *Türkiye Maden Suları-4. İç Anadolu Bölgesi,* İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Kürsüsü, İstanbul, **1976**

[35] Ürgün, S., *Kırşehir Kaman Savcılı-Büyükoba Ilıcası Hidrojeoloji Etüt Raporu: MTA Der.Rap.*No: 6629, 26s., (yayımlanmamış), Ankara, **1979**

[36] Tekin, A. G. ve Tekin, Z., *Kırşehir Kaman Savcılı-Büyükoba sığ sıcaksu sondajları (SB-2, 3, 4, 5) kuyu bitirme raporu*: MTA Der. Rap. No: 8140, 8s., (yayımlanmamış), Ankara, **1986**

[37] Önder, İ. ve Tanrıdağ, R., *Kırşehir Kaman Savcılı-Büyükoba Kaplıcası Sıcak Su Aramaları Rezisitivite Etüt Raporu* MTA Der. Rap. No: 7992, Ankara, **1986**

[38] Hem, J.D, *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263 p, **1985**

[39] Türk Standartları Enstitüsü*, TS 266. İçme suları standartları* No:226, Ankara, **2005**

[40] WHO, *Drinking water standards, in Engineering Geology and Environmental*, **1993**

[41] McNeely, R. N., Neimanis, V.P., Dwyer, L., *Water Quality Source Book-A Guide to Water Quality Parameters,* **1979**

[42] Doğ an, L., *Hidrojeolojide Su Kimyası*, DSİ yayınları, 178s, Ankara, **1981**

[43] Doğ du, M. İ., *Hidrojeolojide Su Kimyası*, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisleri Odası Uygulamalı Hidrojeoloji Semineri, 53-132 s., Ankara, **2005**

[44] Freeze, R.A. and Cherry, J.A., *Ground Water*: Prentice Hall, Inc., New Jerse 07632, 604p ,**1979**

[45] İçimkek, İ., Doğ du,M. İ., Akan,B., *Hidrojeotermometreler*, Hacettepe Üniversitesi, Ders Notları, 58s., Beytepe-Ankara, **1997**

[46] Fournier, R.O., *Water geothermometers applied to geothermal energy*, Application of geochemistry in geothermal reservoir development, D'Amore, F.(coord.), UNITAR/UNDP, Rome. pp. 37-69, **1982**

[47] Henley, R.W., Truesdell, A.H., Barton, P.B. and Whitney, J.A., *Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems,* Reviews in Economic Geology, Vol. 1, ISBN 0-9613074-0-4, 267 p., Socorro, Mexico, **1985.**

[48] D'Amore F. and Arnórsson, S., *Geothermometry. Isotopic and Chemical Techiques in Geothermal Exploration, Development and Use*. Arnórsson, S.(ed.), IAEA, Vienna. pp.152-199, **2000**

[49] Giggenbach, W.F., Geothermal solute equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators*, Geochimica et Cosmochimica Acta*, pp. 55, 2749-2765, **1988**

[50] Xilai, Z., *Geothermometry and Mineral Equilibria of Thermal Waters from The Guanzhong Basin-China, United Nations University Geothermal Training Programme*, Report 16, Reykjavik, Iceland, **1993**

[51] Fournier, R. O. and Truesdell, A. H., An emprical Na-K-Ca geothermometer for natural waters, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37,1255-1275., **1973**

[52] ş imкek, ş., *Sıcak ve Mineralli Sular*, Hacettepe Üniversitesi, Ders Notlarē No.18, 83 s. Beytepe-Ankara,**1995**

[53] Reed, M., Spycher, N., Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1479-1492, **1984**

[54] Parkhurst, D. L. and Appelo C. A. J., *User's guide to PHREEOC (Version 2) - a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations,* USGS Water Resources Investigation Report 99-4259, 312p, **1999**

[55] Kurttaк, T., *Gökova (Muğla) karst kaynaklarının çevresel izotop incelemesi.* Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 220s. (yayēnlanmamēк), **1997**

[56] Kurttaк,T., *Çevresel İzotop Hidrolojisi,* Jeoteknik ve Yeraltēsularē Semineri, TC. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlē ē, Devlet Su Ş kler Genel Müdürlü ü, 18-22 Eylül 2000, Gümüldür, Ş zmir, pp. 135-144, **2000**

[57] Mazor, E., *Applied chemical and isotopic groundwater hydrology,* First Published, Edmundsbury Press, 264pp, Buckingham, **1991**

[58] Craig, H., *Isotopic Variations in Meteoric Waters*. Science, 133, **1961**

[59] Dansgaard, W., Stable Isotopes in precipition. Tellus, 16/4, 436-468, **1964**

[60] Clark, I. D. and Fritz, P., *Environmental Isotopes in Hydrogeology,* Lewis Publishers, New York, 328p, **1997**

[61] ş imкek, ş., *Jeotermal Hidrojeoloji*, Hacettepe Üniversitesi, Ders Notlarē No.22, 78 s., Beytepe-Ankara, **1993**

[62] International Atomic Energy Agency, *Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation,* Technical Report Series 206, IAEA, Vienna, 256 pp, **1981**

[63] International Atomic Energy Agency, *Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation,* Technical Report Series 331, IAEA, Vienna, 720 pp, **1981**

[64] Fritz, P. and Fontes, J. Ch., *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry (ed.),* Elsevier Scientific Publ., The Netherlands, **1980**

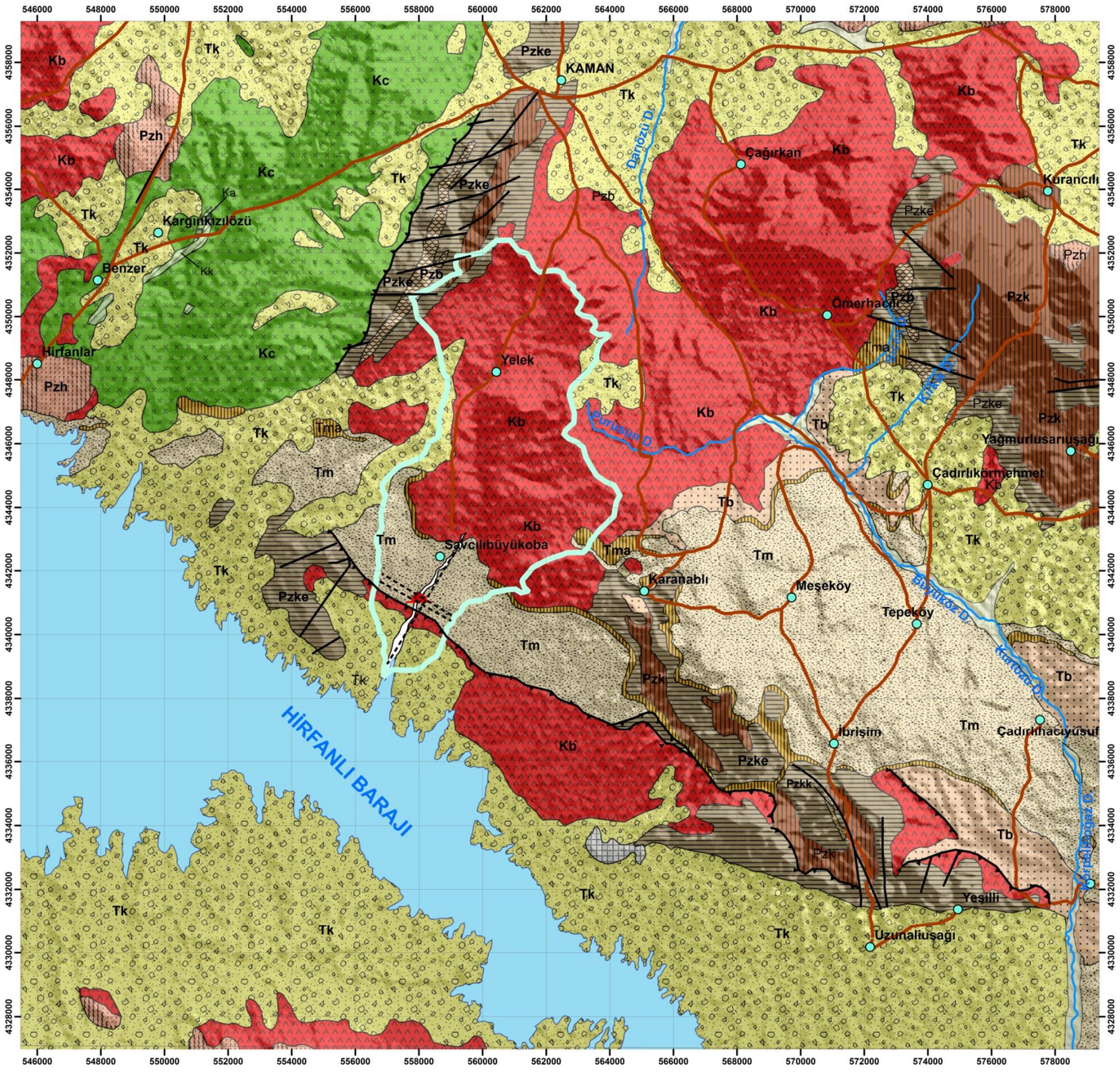
[65] Tezcan, L., *Karst Akifer Sistemlerinin Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi*, Doktora tezi, Hacattepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 s, **1992**

[66] Mutlu, H. and Güleç, N., *Hydrogeochemical outline of thermal water and geothermometry applications in Anatolia Turkey*. Journal of Volcanology and Geothermal Resources., 85, 495-515, **1998**

EKLER

EK-1

SAVCILI-BÜYÜKOBA (KAMAN-KIRŞEHİR) ALANININ JEOLOJİ HARİTASI



Kara ve Dönmez-MTA 1991'den değiştirilerek hazırlanmıştır.

Açıklamalar

Litoloji

SENOZOYİK

- *KUVARTERNER*
  - Qal — Alüvyon
  - Qt — Traverten
- *MİYOSEN-PLİYOSEN*
  - Tk — Kızılırmak Formasyonu; Çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı,tüf, jips-anhidrit arabantlı karasal çamurtaşı
- *TERSİYER* — *EOSEN*
  - Tm — Meşeköy Formasyonu; Çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı ara düzeyli çamurtaşı
  - Tma — Arzılar Kireçtaşı Üyesi; Nummulitik Kireçtaşı
  - Tb — Baraklı Fomasyonu; Karasal çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı

MEZOZOYİK

- *KRETASE*
  - Ka — Asmaboğzı Formasyonu; Hippuritli kireçtaşı, çamurtaşı, kumtaşı
  - Kk — Kartal Formasyonu; Karasal çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı
  - Kb — Baranadağ Granitoyidi; Granit, granodiyorit, kuvars monzonit
  - Kc — Çiçekdağı Formasyonu; Diyabaz, bazalt,spilitik bazalt, spilit, radyolarit, çört, çamurtaşı-kireçtaşı

TEKTONİK DOKANAK

PALEOZOYİK

- Pzh — Hacıselimli Formasyonu; Metagabro,amfibolit
- Pzb — Bozçaldağ Formasyonu; Mermer
- Pzke — Kervansaraydağ Formasyonu; Mermer,şist,gnays,amfibolit,kuvarsit
- Pzk — Kalkanlıdağ Formasyonu; Gnays,şist, kuvarsit,amfibolit
- PzKk — Kargasekmezdağ Kuvarsit Üyesi; Kuvarsit

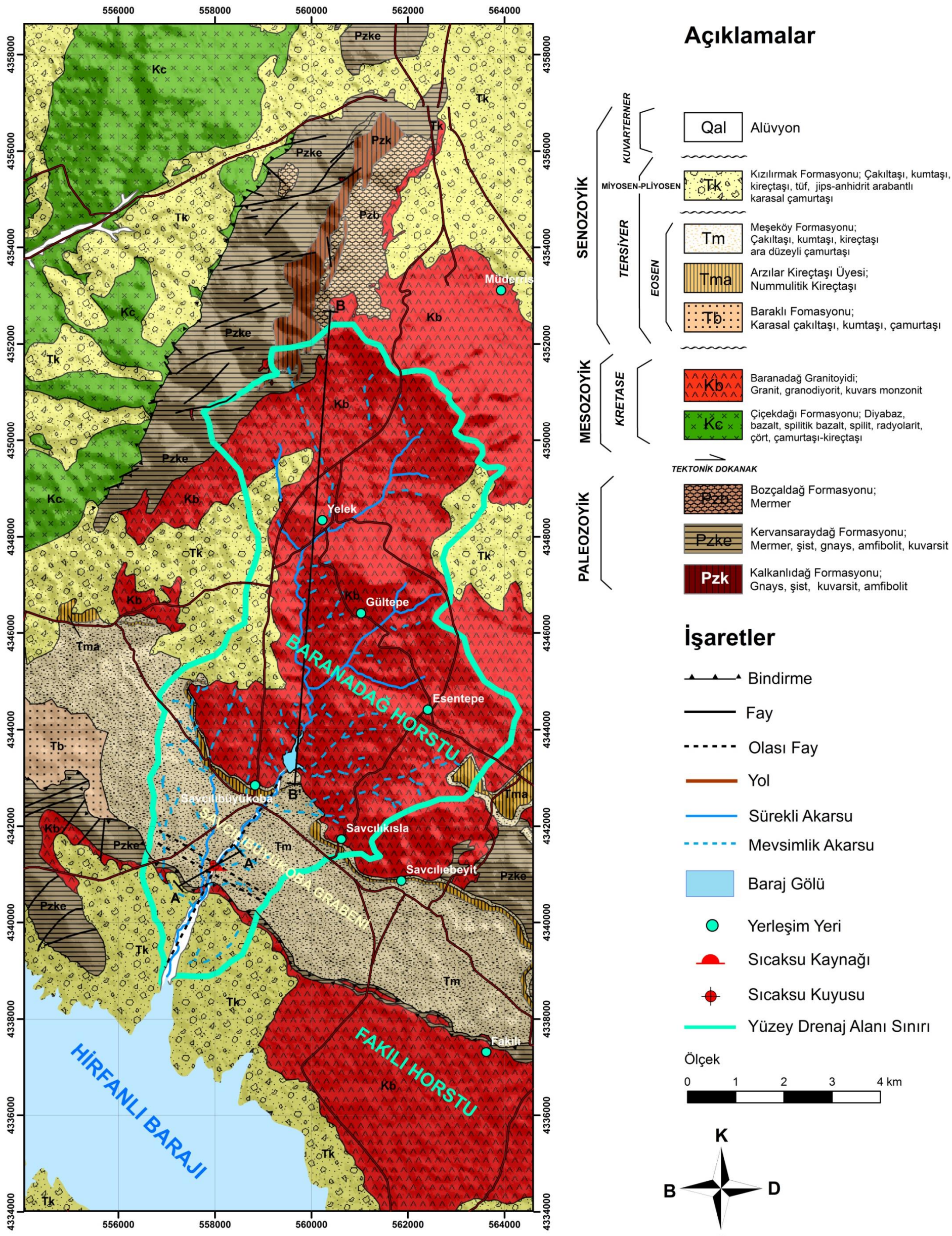
İşaretler

- Bindirme
- Fay
- Olası Fay
- Yol
- Sürekli Akarsu
- Mevsimlik Akarsu
- Baraj Gölü
- Yerleşim
- Sıcaksu Kaynağı
- Sıcaksu Kuyusu
- Yüzey Drenaj Alanı Sınırı

K
B D
G

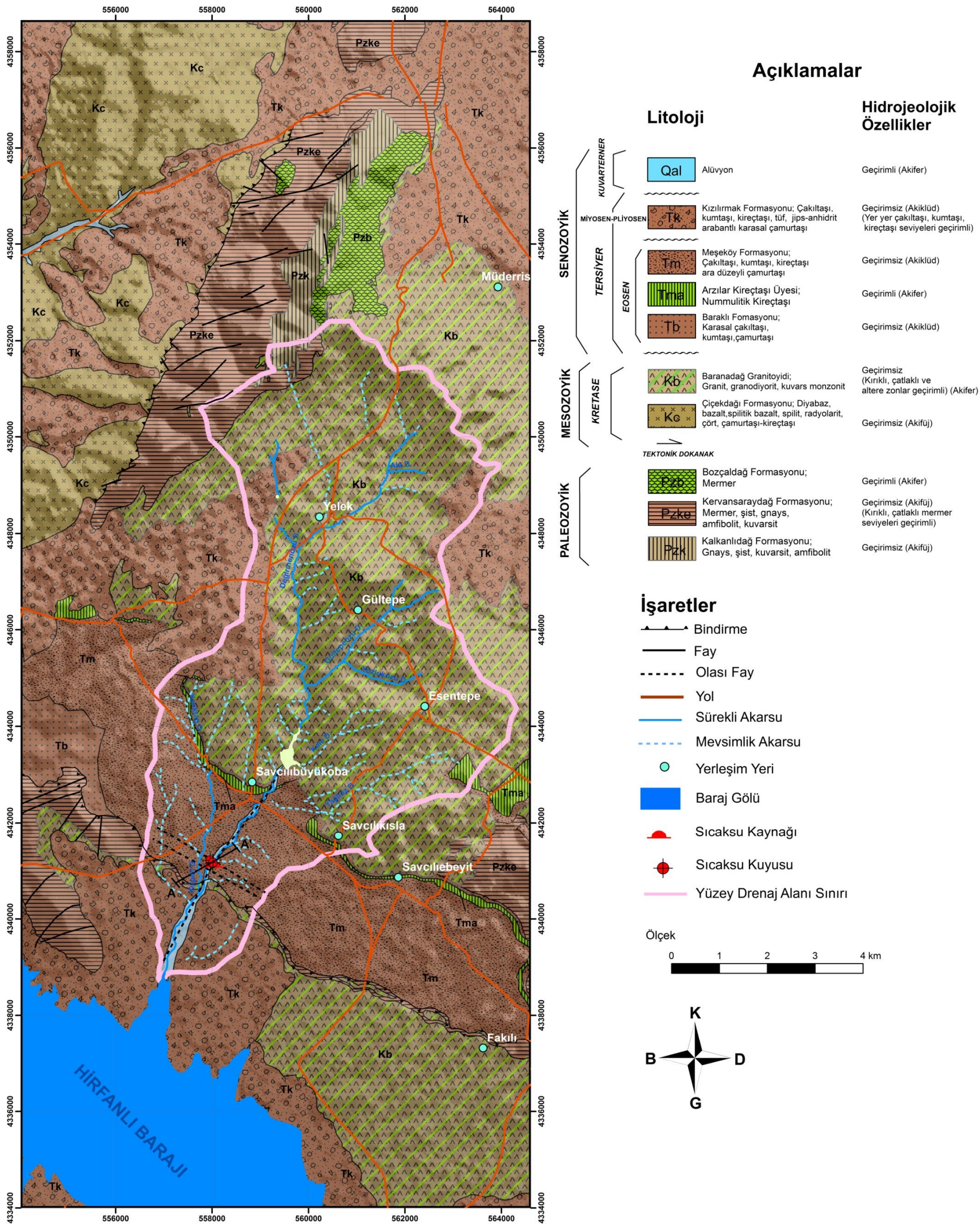
Ölçek

0 1 2 3 4 km



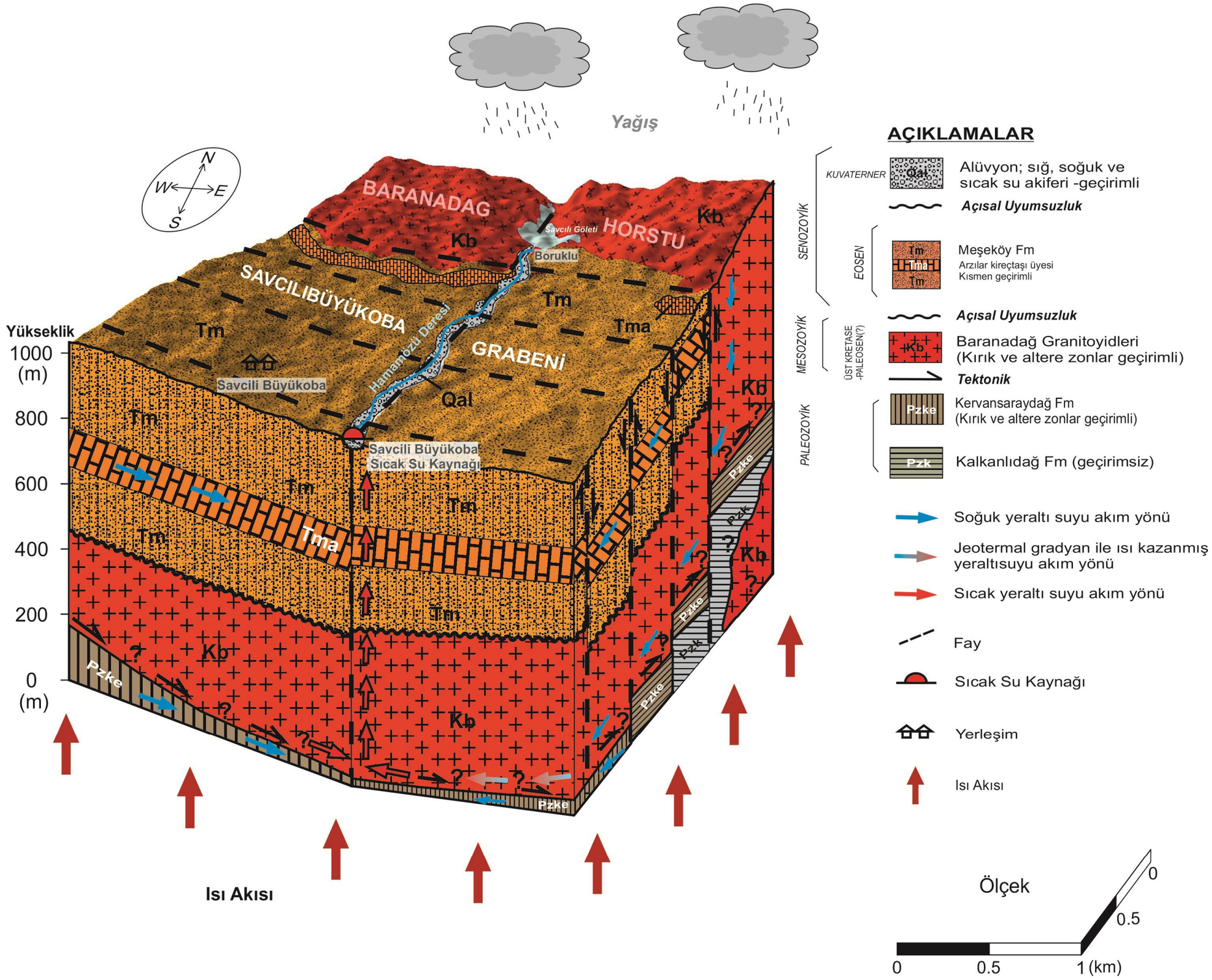
Dönmez ve Kara [25] 'den değiştirilerek hazırlanmıştır.

EK-3



Kara ve Dönmez [25]'den değiştirilerek hazırlanmıştır.

EK-4


Yağış
N
W
E
S
BARANADAG
HORSTU
Savcili Göleti
Boruklu
Kb
SAVCILIBÜYÜKOBA
GRABENİ
Hamamözü Deresi
Tm
Tma
Qal
Savcili Büyükoba
Savcili Büyükoba Sıcak Su Kaynağı
Pzke
Pzk
Yükseklik
1000 (m)
800
600
400
200
0 (m)
Isı Akısı
AÇIKLAMALAR
KUVATERNER
Qal
Alüvyon; sığ, soğuk ve sıcak su akiferi -geçirimli
Açısal Uyumsuzluk
SENOZOYİK
EOSEN
Meşeköy Fm
Arzılar kireçtaşı üyesi
Kısmen geçirimli
Açısal Uyumsuzluk
MESOZOYİK
ÜST KRETASE -PALEOSEN(?)
Baranadağ Granitoyidleri
(Kırık ve altere zonlar geçirimli)
Tektonik
PALEOZOYİK
Kervansaraydağ Fm
(Kırık ve altere zonlar geçirimli)
Kalkanlıdağ Fm (geçirimsiz)
Soğuk yeraltı suyu akım yönü
Jeotermal gradyan ile ısı kazanmış yeraltısuyu akım yönü
Sıcak yeraltı suyu akım yönü
Fay
Sıcak Su Kaynağı
Yerleşim
Isı Akısı
Ölçek
0
0.5
1 (km)

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Cansu Yurteri

Doğum Yeri : Ankara

Medeni Hali : Bekar

E-posta : cyurteri@hacettepe.edu.tr

Adresi :Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü 06800 Beytepe/ ANKARA

Eğitim

Lisans : 2004-2009 Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: 2011-2014 Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce

ÜDS: 80

İş Deneyimi:

Aralık 2010- Eylül 2011 Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisligi Bölümü Araştırma Görevlisi

Eylül 2011- (devam ediyor) Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi

Deneyim Alanları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi :

Tezden Üretilmiş Yayınlar :

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katılınan Toplantılar :