ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nedret ÖZEL

DİYARBAKIR (ÇERMİK) VE ŞANLIURFA (KARAALİ) İLLERİNDE YER ALAN KAPLICA KAYNAKLARININ KÖKENSEL İNCELENMESİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİYARBAKIR (ÇERMİK) VE ŞANLIURFA (KARAALİ) İLLERİNDE YER ALAN KAPLICA KAYNAKLARININ KÖKENSEL İNCELENMESİ

Nedret ÖZEL

YÜKSEK LİSANS

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 29/04/2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

……	……..	…….
Prof.Dr.Osman PARLAK	Doç.Dr.Şaziye BOZDAĞ	Yrd.Doç.Dr.Mustafa AKYILDIZ
Danışman	Üye	Üye

…….	……
Yrd. Doç.Dr. Tolga ÇAN	Yrd. Doç. Dr. Yusuf TOPAK
Üye	Üye

Bu Tez Enstitümüz Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF2009YL42

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİYARBAKIR (ÇERMİK) VE ŞANLIURFA (KARAALİ) İLLERİNDE YERALAN KAPLICA KAYNAKLARININ KÖKENSEL İNCELENMESİ

Nedret ÖZEL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman :Prof. Dr. Osman PARLAK
Yıl:2010, Sayfa: 156
Jüri :Prof. Dr. Osman PARLAK
:Doç. Dr. Şaziye BOZDAĞ
:Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ
:Yrd. Doç. Dr. Tolga ÇAN
:Yrd. Doç. Dr. Yusuf TOPAK

Bu çalışmada, Karaali (Şanlıurfa) ve Çermik (Diyarbakır) bölgelerinde yeralan kaplıca kaynaklarının özellikleri kökensel açıdan incelenerek karşılaştırma yapılmıştır. Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının kimyasal analizleri yapılmıştır. Kaynak sularında anyon ve katyonların kökenleri açıklanmıştır. Bu verilerin yardımıyla Piper, Schoeller, ABD Tuzluluk, Wilcox diyagramları çizilerek, suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ilişkileri ortaya konulmuştur.

Karaali hâkim katyonu Ca ve hâkim anyonu HCO_3 olup, Schoeller grafiğine göre Ca-HCO_3 sular sınıfına girmektedir. Çermik hâkim katyonu Na, hakim anyonu HCO_3 ve Cl olup, Schoeller grafiğine göre Na-Cl ile Na-HCO_3 sular sınıfına girmektedir. Piper diyagramına göre Karaali ve Çermik karışık sular sınıfına girmektedir. ABD Tuzluluk diyagramına göre Karaali C_2S_1 ve Çermik C_3S_1 su sınıfında yer almaktadır. Sıcak sular; Wilcox diyagramına göre "iyi kullanılabilir", Fransız sertlik derecesine göre "sert su" sınıflamasına girmektedir. Sıcak suların Cl içeriğinin düşük olması, sahayı besleyen su kaynaklarının meteorik orjinli olduklarını göstermektedir. Karaali ve Çermik suları Giggenbach diyagramına göre Denge Durumunda Olmayan veya Ham Sular bölgesinde yer almaktadır. Karaali sıcak su rezervuar derinliği 736 m, Çermik 1190 m bulunmuştur. Alfa ve Beta analizleri sonucu sıcak suların içme suyu standartlarına uygun olmadığı belirlenmiştir. Su kaynaklarının sıcaklıkları 41-52 ^oC ve debileri 6-27 l/s olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak su, köken, hidrojeokimya, Karaali, Çermik

ABSTRACT

MSc THESIS

EXAMINING ORIGINS OF THERMAL WATER RESOURCES IN DİYARBAKIR (ÇERMİK) AND SANLIURFA (KARAALİ) PROVINCES

Nedret ÖZEL

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOLOGICAL ENGINEERING

Supervisor **:**Prof**.** Dr. Osman PARLAK
Year**:** 2010, Pages: 156
Jury :Prof. Dr. Osman PARLAK
:Assoc. Prof. Dr. Şaziye BOZDAĞ :
:Asst. Prof. Dr. Mustafa AKYILDIZ
:Asst. Prof. Dr. Tolga ÇAN
:Asst. Prof. Dr. Yusuf TOPAK

In this study, the characteristics of thermal resources of Karaali (Sanliurfa) and Cermik (Diyarbakir) were examined and compared in terms of their origin and features. Chemical analysis of Karaali and Cermik thermal water resources were performed. Origins of anions and cations in the resource waters were expalined. Based on the chemical contents, Piper, Schoeller, USA Salinity and Wilcox diagrams were designed and the relationship of chemical composition of waters with their lithologies were interpreted.

The dominant cation of Karali is Ca and anion is HCO_3 and according to Schoeller graphic it is in Ca-HCO_3 water group. The dominant cation of Çermik is Na and anion are HCO_3 and Cl. According to Schoeller graphic it is in Na-Cl and Na-HCO_3 water groups. Based on the Piper diagram, the Karaali and the Çermik are placed in mixed water class. According to USA Salinity diagram, Karali is defined as C_2S_1 whereas the Cermik is classified as C_3S_1 water classes. These thermal waters are interpreted as "good usable" and "hard water" according to Wilcox diagram and French Hardness Degree. Low Cl content of thermal waters indicates that the water resources are of meteoric in origin. Waters of Karaali and Cermik areas correspond to Unstable or Raw Water area of Giggenbach diagram. The depth of reservoirs were calculated as 736 for Karaali and 1190 m for the Çermik. It is determined that the thermal waters were not suitable for drinking as a result of Alpha and Beta analysis. The temperatures of water resources were in range between 41 and 52 ^oC and the outputs were measured as between 6 and 27 litre/second.

Key words: Thermal water, origin, hydrogeochemistry, Karaali, Çermik

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MMF2009YL42 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Bu projeyi desteklediği için Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu'na teşekkür ederim.

Konu seçimim, arazi ve büro çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle, tezimin tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Osman PARLAK'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Yüksek Lisans çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen II. Danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ'a çok teşekkür ederim.

Tez jürisinde yer alarak tezimi okuyan ve yapıcı eleştirileri ile katkı sağlayan Doç. Dr. Şaziye BOZDAĞ, Yrd. Doç. Dr. Tolga ÇAN ve Yrd. Doç. Dr. Yusuf TOPAK'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmam içerisinde yer alan tüm analizlerin yapılmasında engin bilgi ve deneyimini paylaşan Sayın Dr. Remzi SEYFİOĞLU'na teşekkür ederim. Arazi çalışmalarım sırasında özverili katkılarından dolayı Muğla İmar ve Afet İşleri Şube Müdürü Sayın Ramazan ÖZEL'e çok teşekkür ederim.

DSİ XV. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına, Kimyager Sayın Mustafa ALTINİĞNE'ye sonsuz teşekürlerimi sunarım. Şanlıurfa Atık Su Arıtma Tesisleri Laboratuvar çalışanlarına teşşekür ederim. Ayrıca tez aşamasında bana destek olan çocuklarım Duran Servan'ı ve Zeynep'i sevgiyle kucaklıyorum.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ……..I
ABSTRACT..... II
TEŞEKKÜR……... III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ……VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ……....X
1. GİRİŞ…….....……...1
1.1. Karaali (Şanlıurfa)…….1
1.2. Çermik (Diyarbakır)…….4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....9
3. MATERYAL VE METOT 13
3.1.Materyal…….....13
3.2. Metot…….....12
3.2.1. Literatür Taraması…….....13
3.2.2. Büro Çalışmaları…….13
3.2.3. Saha Çalışmaları……..14
3.2.4. Laboratuvar Çalışmaları……..……....16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA. ..... .19
4.1. İnceleme Alanının (Karaali) Jeolojisi ……19
4.2. Karaali Kaplıcası Hidrodinamik Yapısı…….22
4.2.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri..... 22
4.3. İnceleme Alanının (Çermik) Jeolojisi ……23
4.4. Çermik Kaplıcası Hidrodinamik Yapısı……...25
4.4.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri..... 31
4.5. Su Kimyası Çalışmaları……...33
4.5.1. Karaali ve Çermik Kaplıca Sularının Fiziksel Özellikleri..... 36
4.5.1.1. Sıcaklık (^{o}C)……37
4.5.1.2. Elektriksel İletkenlik (EC)……..38
4.5.1.3. Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH)……..……....41

4.5.1.4. Bulanıklık……..……..…….....42
4.5.1.5. Koku…….……43
4.5.1.6. Tad……...……43
4.6. Karaali ve Çermik Sularının Kimyasal Özellikleri.……44
4.6.1. Majör İyonlar……..44
4.6.1.1. Sodyum (Na^{+})……..48
4.6.1.2. Potasyum (K^{+})…….……48
4.6.1.3. Kalsiyum ($Ca^{+2)}$…….……...49
4.6.1.4. Magnezyum (Mg^{+2})…….…….49
4.6.1.5. Alkalinite (HCO_3^{-} ve CO_3^{-})…….…….....50
4.6.1.6. Klorür (Cl^{-})…….……..50
4.6.1.7. Florür (F^{-})……..……...……51
4.6.1.8. Sülfat (SO_4^{-2})……..……...……52
4.6.2. Kirlilik Analizleri……..…..53
4.6.2.1. Amonyak (NH3) ve Amonyum (NH4)…….....54
4.6.2.2. Nitrit (NO_2)…….……..55
4.6.2.3. Nitrat (NO_3)…….…….……56
4.6.2.4. Fosfat (PO_4)……...……..……..57
4.7. Ağır Metal Analizleri …….....57
4.7.1. Arsenik (A……..……..….58
4.7.2. Bakır (Cu)……..……60
4.7.3. Civa (Hg)……..……61
4.7.4. Demir (Fe)…….……61
4.7.5. Krom (Cr)… ……..……...61
4.7.6. Kadmiyum (Cd)……...……..62
4.7.7. Kurşun (Pb)……...……62
4.7.8. Aüminyum (Al)……...…...……63
4.7.9. Mangan (Mn)……...…..…….…...63
4.7.10. Nikel (Ni)…….....…….…..64
4.8. Çözünmüş Oksijen Miktarı ……..……..65
4.9. Toplam Çözünmüş Katı Madde……..…..……..66

4.10. Su Kaynaklarının Kökeni…….....68
4.11. Su Kaynaklarının İyon Karekteristikleri ……..…….....68
4.11.1. Suların Kimyasal Analiz Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi……..71
4.11.2. Schoeller Diyagramı……71
4.11.3. Piper diyagramı……75
4.11.4. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı……...78
4.11.5. Wilcox diyagramı……..84
4.11.5.1.Sodyum İyon Yüzdesi (%Na)…….86
4.11.6. Sertlik 86
4.11.7. Sıcak Su Kaynaklarının Kalsite Doygunluğunun Hesaplanması..... 90
4.11.8. Suların Mineral Doygunlukları……...…….100
4.12. Jeotermal Sistemlerde Akifer Kaya Sıcaklıklarının Saptanması……..…102
4.13. Doğal izotop jeotermometreleri……....102
4.14. Hidrotermal bozunum jeotermometreleri ……....102
4.15. Kimyasal jeotermometreler ……..……..103
4.15.1. Kalitatif (niteleyici) kimyasal jeotermometreler..... 103
4.15.2. Kantitatif (sayısal) kimyasal jeotermometreler..... 106
4.15.2.1. Çözünürlüğe dayalı jeotermometreler…….....108
4.15.2.2. İyon değişimine dayalı jeotermometreler…..……..108
4.15.2.3. İyon etkinliğine dayalı jeotermometreler……..109
4.16.Karışım modelleri…….....109
4.16.1. Silise dayalı karışım modelleri..... 110
4.16.1.1 Buhar kaybının bulunmadığı varsayımına dayalı olanı…….110
4.16.1.2 Buhar kaybı varsayımına dayalı karışım modeli……...110
4.16.2. Klorüre dayalı karışım modeli 110
4.16.2.1. Grafik çözümü……..110
4.16.2.2. Matematiksel çözü……110
4.17.Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları……...111
4.17.1. Katyon Jeotermometreleri 116
4.17.2. Silis jeotermometreleri 118

4.18.Karaali ve Çermik Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Yaklaşık Rezervuar Derinliği……...…120
4.19.İzotop Hidrolojisi…….…….122
4.20. Örnekleme ve Analiz Çalışmaları……123
4.20.1. İnceleme Alanlarının Alfa ve Beta Ölçümleri …….123
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 127
KAYNAKLAR 133
ÖZGEÇMİŞ……141

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1.Şanlıurfa ili ve bağlı gözlem istasyonlarının 1975-2008 yıllarına ait ortalama meteoroloji verileri…….....3
Çizelge 1.2. Diyarbakır ili ve bağlı gözlem istasyonlarınn 1975-2008 yıllarına ait ortalama meteoroloji verileri…….…..7
Çizelge 4.1.Elektriksel İletkenlik Değerleri ve Tuzluluk Sınıfları…….…41
Çizelge 4.2. Suların pH'a göre sınıflandırılması……42
Çizelge 4.3. Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının 2003-2009 tarihleri arasındaki fiziksel özellikleri ve majör iyonları……....47
Çizelge 4.4. Karaali ve Çermik kaplıcalarının 2003-2009 yıllarına ait kirlilik analiz sonuçları ……..….54
Çizelge 4.5. Karaali ve Çermik termal su kaynaklarının 2004-2009 yılları arasında yapılan ağır metal analiz sonuçları…….....58
Çizelge 4.6. İçme Suyu Standartları……...…65
Çizelge 4.7. Çözünmüs Toplam Katı Madde Miktarına Göre Su Sınıflandırılması...67
Çizelge 4.8. Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının 2003-2009 tarihleri arasındaki meq/l …….…..69
Çizelge 4.9. İnceleme alanından alınan su örneklerinin katyon-anyon sıralaması ve su tipleri…….....70
Çizelge 4.10. Suların Tuzluluk ve Sodyum miktarlarına göre sınıflandırılması…....79
Çizelge 4.11. Sodyum Adsorpsiyon Oranına (SAR) göre sulama suları değerleri.....82
Çizelge 4.12. Sertlik dereceleri ve ülkelere göre dönüşüm değerleri ……..……..87
Çizelge 4.13. Çeşitli ülkelerin sertlik birimlerine göre suların sınıflandırılması…….....88
Çizelge 4.14. İnceleme alanı sularının 2003-2009 yılı toplam sertlik değerleri…....89
Çizelge 4.15. Alınan örneklerdeki majör iyonlar (mg/l)…….....91
Çizelge 4.16. Alınan örneklere ait iyonların molalite değerleri ……..….91
Çizelge 4.17. Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının iyonik kuvvet değeri…….92
Çizelge 4.18. Etkinlik katsayısı-İyonik şiddet grafiği ……..…...93
Çizelge 4.19. Alınan örneklerdeki majör iyonlar (etkinlik katsayısı)……...93

Çizelge 4.20. Sıcaklığa bağlı olarak pH değerleri…….....…95
Çizelge 4.21. Sıcaklığa bağlı Strochecker-Lnagelier kosantrasyon sabitleri……..96
Çizelge 4.22.Rezervuar sıcaklığı tahmininde kullanılan jeotermometre eşitlikleri..117
Çizelge 4.23.İnceleme alanlarının katyon ve silis jeotermometreleri ile hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları……...119
Çizelge 4.24.Karaali ve Çermik sularına ait toplam alfa ve beta değerleri……..124

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Karaali ve civarının uydu görüntüsü ……..……...……2
Şekil 1.2. Çermik ve civarının uydu görüntüsü ……...2
Şekil 1.3. Şanlıurfa iline bağlı meteoroloji istasyonları……...…….5
Şekil 1.4. Diyarbakır iline bağlı meteoroloji istasyonları.…….6
Şekil 3.1.Karaali ve çevresinin 1/25000 ölçekli haritasının oluşturulmasında kullanılmak üzere, termal alandaki birinci kuyuda koordinat belirlenmesi…….15
Şekil 3.2. Karaali sıcak sularının yerinde oksijen, sıcaklık ve pH ölçümünün yapılması…….16
Şekil 3.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazı…….…….....17
Şekil 3.4. İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazı alev oluşturma bölümü…….....18
Şekil 3.5. Ultraviyole Spektrometre Dr5000 (US Dr5000) cihazı……..……....18
Şekil 4.1. Karaali ve çevresinin 1/ 25000 ölçekli jeoloji haritası……...…21
Şekil 4.2. Çermik ilçesi ve çevresinin 1/25 000 ölçekli jeoloji haritası……...24
Şekil 4.3. İnceleme alanı Karadut ve Fırat Formasyonu sınırları…….25
Şekil 4.4.Çermik civarında Fırat Formasyonuna ait kireçtaşlarının karstik yapılı görünümü…….…...25
Şekil 4.5. Yaprakbaşı mahallesi kaplıca alanı genel görünüm……...26
Şekil 4.6. Fliş özellik gösteren sarı-grimsi yeşil renkli, marn-miltaşı ve şeyl ardalanması gösteren Karadut karmaşığına ait allokton birimler …….....27
Şekil 4.7. Karadut Karmaşığına ait Yaprakbaşı Mahallesinde yer alan kırmızı-grimsi yeşil renkli laminalı silisli şeyl ve şeyler arasında ince marn bantları …….....27
Şekil 4.8. Karadut Karmaşığına ait Yaprakbaşı Mahallesinde yer alan kırmızı-grimsi yeşil renkli laminalı silisli şeyl ve şeyler arasında ince marn bantları……...…28
Şekil 4.9. Çermik kalker tabakaları falez görünümü…….28

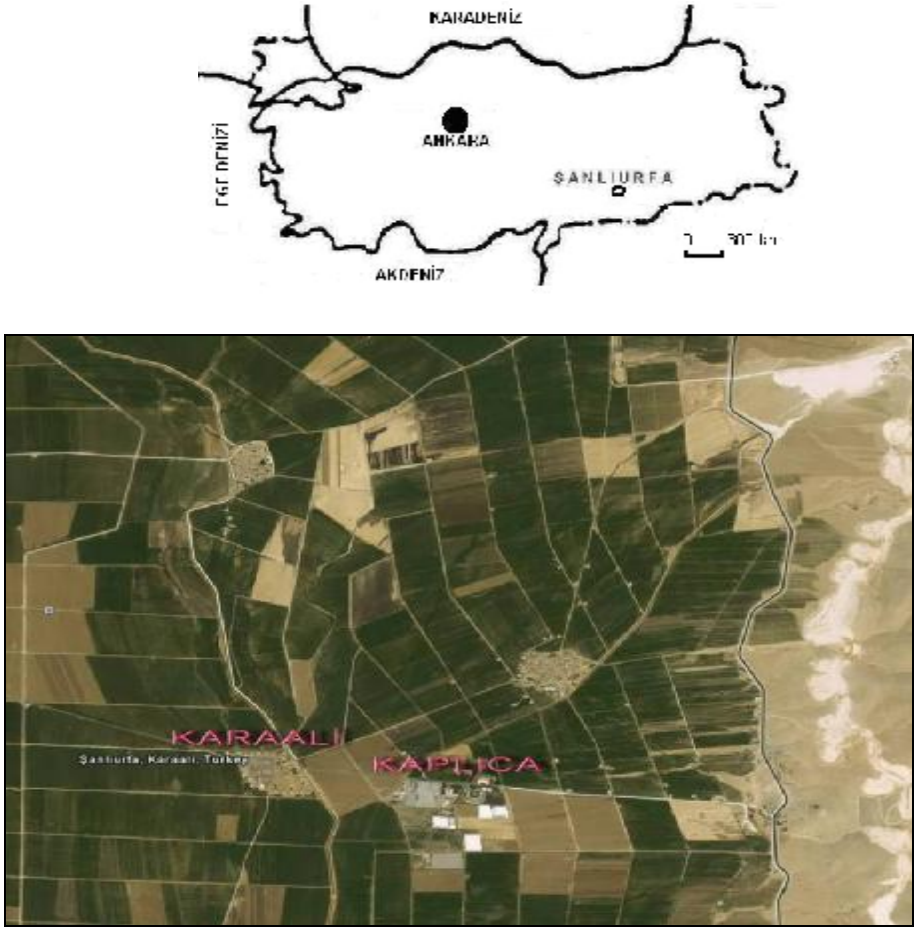
Şekil 4.10.Çermik miltaşı-şeyl-marn ardalanması……..29
Şekil 4.11.Çermik jeotermal sahasının kavramsal hidrotermal modeli……..30
Şekil 4.12.Çermik civarında Fırat Formasyonu kireçtaşlarında oluşan karstlaşma…32
Şekil 4.13.Çermik ilçesi güneyindeki Fırat Formasyonuna ait kireçtaşlarında açılan mermer ocağı……..33
Şekil 4.14.Çermik kaplıca ana kaynağından görünüm……...34
Şekil 4.15. Faaliyette olan kuyudan çıkan ve tesise dağılımı sağlanan ana sıcaksu ..34
Şekil 4.16. DSİ XV. Bölge Müdürlüğü Kimya Laboratuvarı…….....35
Şekil 4.17. DSİ XV. Bölge Müdürlüğü Kimya Laboratuvarında su örnekleri……...35
Şekil 4.18. Karaali kaplıca sularının Ph, oksijen (O_2) ve sıcaklık (^oC) ölçümlerinin yapılması…….…37
Şekil 4.19. Karaali kaplıca sularının Ph, oksijen (O_2) ve sıcaklık (^oC) değerleri…...38
Şekil 4.20. Karaali kaplıcaları Eİ ölçümünün yapılması……....40
Şekil 4.21. Doğada arsenik döngüsü……..59
Şekil 4.22. İnceleme alanı sularının Schoeller Diyagramında sınıflandırılması…....74
Şekil 4.23. nceleme alanı sularının piper Diyagramında Sınıflandırılması……77
Şekil 4.24. ABD Tuzluluk Diyagramı…….…...81
Şekil 4.25. Çalışma alanı su örneklerinin Wilcox Diyagramında gösterimi……..85
Şekil 4.26. Çermik kaplıcaları karbonat çökelimi…….....97
Şekil 4.27. Çermik kaplıcaları su kenarında karbonat çökelimi…….98
Şekil 4.28.Çermik kaplıcaları karbonat çökelimi……...98
Şekil 4.29. Karaali kaplıcaları borularında korozyon ve kabuklaşma durumu……100
Şekil 4.30. Giggenbach Na-K-Mg Jeotermometre Diyagramı…….112
Şekil 4.31. Karaali ve Çermik sıcak suları Na-K-Mg Jeotermometre Diyagramı…115
Şekil 4.32. İçme sularının radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde izlenen akış diyagramı……...125

1. GİRİŞ

Bu çalışmada Şanlıurfa il sınırları içerisinde yer alan Karaali ve Diyarbakır il sınırları içerisinde yer alan Çermik sıcak su kaynaklarının fiziksel-kimyasal özelliklerinin tespit edilmesi ile kökenlerinin ortaya konması amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda (a) sözü edilen iki sıcak su kaynağının karşılaştırılması, (b) sulama kullanımına yönelik tespitinin yapılması, (c) mineral içeriklerinin tespiti, (d) rezervuar derinliklerinin belirlenmesi ve (e) yatırım potansiyelinin ortaya konulması ile ilgili bilgiler ortaya konacaktır.

1.1. Karaali (Şanlıurfa)

Karaali (Şanlıurfa) kaplıca suyu, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Orta Fırat Bölümü'nde bulunan Şanlıurfa ilinin 45 km güneydoğusunda bulunan Karaali Köyü'nde yer almaktadır. Çalışma alanı 1/ 25000 ölçekli Diyarbakır - N42-d3 paftasında yaklaşık 15 km^2'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1). Şanlıurfa ve çalışma alanı çevresinde karasal (kontinental) iklim özelliği ağır basmaktadır. Yazlar uzun, kurak ve çok sıcak, kışlar; yağışlı, soğuk ve nispeten ılıman geçer. Gece ile gündüz ve yaz ile kış arasında ısı farkı fazladır. Nem oranı düşüktür. İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen istasyonlardan, yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiştir (Şekil 1.2). Çalışma alanı ve yakın çevresinde yer alan 7 adet yağış gözlem istasyonunun 1975-2008 yılları arasındaki aylık ortalama yağış ve sıcaklık ölçümleri elde edilmiştir. Ölçümler incelendiğinde, en yüksek yağışın Ocak ayında, en düşük yağışın ise Ağustos ayında; en düşük sıcaklığın Şubat ve en yüksek sıcaklığın ise Temmuz ayında gerçekleştiği görülmektedir (Çizelge1.1). Şanlıurfa'nın bitki örtüsü; topraklarının % 60'ı ekili ve dikili alanlardan ve % 38'i çayır ve mer'alardan ibarettir. Ormanlık ve fundalık sahası çok az olup, % 0.6 'dır. İl toprakları bozkır görünümündedir.



Şekil 1.1. Karaali ve civarının uydu görüntüsü (Google, 2009)



Şekil 1.2. Şanlıurfa iline bağlı meteoroloji istasyonları (DMİ, 2009)

Çizelge 1.1. Şanlıurfa ili ve bağlı gözlem istasyonlarının 1975-2008 yıllarına ait ortalama meteoroloji verileri (DMİ, 2009)

ŞANLIURFA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 – 2008)											
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.8	6.8	10.8	16.2	22.2	28.1	31.9	31.1	26.8	20.1	12.5	7.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.1	11.8	16.5	22.3	28.6	34.5	38.7	38.2	33.9	26.8	18.2	11.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2.5	2.9	6.1	10.7	15.7	20.9	24.5	23.9	20.2	14.8	8.3	4.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.9	5.0	6.3	7.6	9.9	12.1	12.2	11.5	10.1	7.7	5.8	3.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.3	11.2	10.9	9.7	7.1	2.2	1.3	1.2	1.7	5.4	8.6	11.6
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m^2)	74.9	76.1	63.6	43.1	27.5	3.7	0.8	1.0	3.3	27.4	49.5	74.2
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 – 2008)											
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.5	22.7	29.5	33.9	40.0	41.6	46.8	44.2	42.0	36.4	29.2	23.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	—6.8	—9.3	—7.3	—0.7	7.4	12.3	16.2	16.9	12.4	3.8	—2.7	—6.4

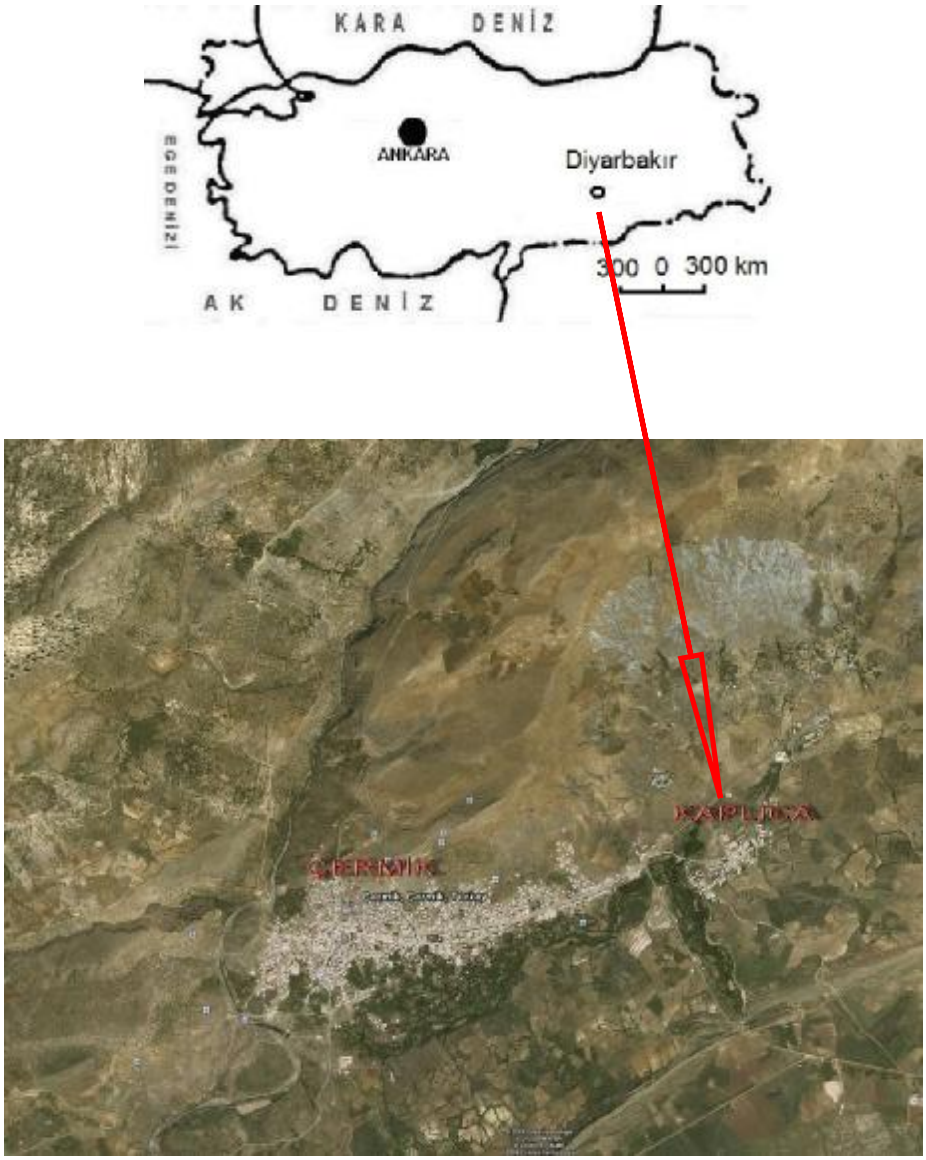
İlin kuzeyinde yer alan dağlar ve yüksek tepeler genellikle güneye doğru gidildikçe alçalır. Ortalama yükselti 518 m'dir. Kuzeydoğudaki alan dışında, yükseltisi 900 metreyi aşmayan geniş düzlüklere sıkça rastlanır. Kuzeydoğuda Karacadağ, doğuda Tektek Dağları, kuzeydoğuda Susuz Dağı, güneyde Nemrut Dağı ve Birecik ilçesinin doğusunda yer alan Arat Dağıdır. Yükselti güneyde Suriye sınırında 400 metrenin altına düşer. Harran Ovası'nın denizden yüksekliği 375 metredir. Çalışma alanının en önemli akarsuyu olan Mecrihan (Merkez) ve ilçenin kuzeybatısından Harran Ovasına giren Cülap deresi, yağışlı mevsimlerde ovayı kuzeyden güneye kat edip Suriye'ye kadar uzanır. Karaali Kaplıcasına her zaman ulaşım sağlanabilmektedir. Ulaşım, Akçakale ilçesinden Yardımcı beldesi yolundan gidilerek sağlandığı gibi Şanlıurfa-Mardin yolu güzergâhından Çamlıdere Köyü içinden doğuya gidilerek de kaplıcaya ulaşılabilir. Bölgede başlıca yerleşim alanları, Yardımcı Beldesi, Başören ve Havşanlı köyleridir.

1.2. Çermik (Diyarbakır)

Çermik**,** Diyarbakır iline bağlı bir ilçe olup, Diyarbakır'ın kuzeybatısında ve 84 km uzaklığındadır. Çermik kaplıca suyu Diyarbakır-Çermik yolu üzerinde ve Çermik ilçesinin doğusunda, ilçe merkezine 3 km mesafede yer alan Hamambaşı mevkiindedir. Çalışma alanı 1/ 25000 ölçekli Elazığ - L42-c2 paftasında yaklaşık 15 km^2'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1. 3).

Çermik, Diyarbakır havzası adı verilen ve boydan boya Dicle Nehri ile geçilen geniş çanağın içinde yer alır. Diyarbakır havzasında karasal iklim özelliği görülmektedir. Yazlar sıcak, kurak ve uzun, kışlar soğuk ve az yağışlı geçer. Karasal özellik gösteren iklimine; karasal özelliği kısmen değişmiş bir Akdeniz iklimi de denilebilir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen istasyonlardan yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiştir (Şekil 1.4).



Şekil 1.3. Çermik ve civarının uydu görüntüsü (Google, 2009)



Şekil 1.4. Diyarbakır iline bağlı meteoroloji istasyonları (DMİ, 2009)

Çalışma alanı ve yakın çevresinde yer alan 3 adet yağış gözlem istasyonunun 1975-2008 yılları arasındaki aylık ortalama yağış ve sıcaklık ölçümleri incelendiğinde en yüksek yağışın Ocak ayında, en düşük yağışın ise Temmuz-Ağustos aylarında; en düşük sıcaklığın Ocak ve en yüksek sıcaklığın ise Ağustos ayında gerçekleştiği gözlenmiştir (Çizelge 1.2). Diyarbakır'ın bitki örtüsü; topraklarının % 33'ü orman ve fundalıklarla, % 40'ı ekili arazi ve % 22'si çayır ve mer'alarla kaplıdır.

Çermik'in kuzeyinde Gelincik, batısında Aşurkar, güneyinde Petekkaya Dağları bulunur. Güneydoğu Toroslar Çermik'ten sonra alçalır.

İlçe yakınında bulunan Medya ve Sinek Çayı yanı sıra Göz, Beylik-Maddap ve Sinan Suyu gibi akarsular da yer almaktadır. Çermik bağlı bulunduğu Diyarbakır iline 84 km uzaklıkta olup, Ergani güzergâhından karayolu ile bağlıdır. Güneyinde Siverek ilçesine 58 km, kuzeybatıda ise 25 km ile Çüngüş ilçelerine komşudur. Kaplıcaya günün her saatinde ulaşım mümkündür.

Çizelge 1.2. Diyarbakır ili ve bağlı gözlem istasyonlarının 1975-2008 yıllarına ait ortalama meteoroloji verileri (DMİ, 2009)

DİYARBAKIR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2008)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.0	3.5	8.2	13.8	19.1	26.1	31.1	30.1	24.6	16.9	8.9	3.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6.9	9.0	14.3	20.3	26.4	33.5	38.4	37.9	33.2	25.0	15.8	8.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-2.0	-1.2	2.4	7.0	11.1	16.8	21.6	20.8	15.8	9.9	3.6	-0.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.8	4.9	5.7	7.0	9.6	12.2	12.4	11.8	10.0	7.4	5.4	3.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.2	11.7	11.6	11.3	9.4	3.0	1.1	1.1	1.7	6.0	8.7	12.1
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m²)	64.0	72.7	69.5	62.8	40.1	8.6	0.4	0.3	4.2	33.6	54.1	72.1
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 - 2008)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	15.4	21.3	28.3	31.7	38.1	41.2	44.7	44.8	42.0	35.7	25.5	19.3
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19.2	-21.0	-14	-6.0	0.8	7.7	11.0	13.8	6.0	-1.2	-8.8	-23.0

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Türkiye'nin başlıca doğal kaynaklarının jeolojik durumlarının araştırılması gibi konular üzerinde, Güneydoğu Anadolu bölgesi birçok araştırıcı tarafından çalışılmıştır.

Maxon ve Tromp (1940), Midyat Formasyonu adını ilk kez kullanmıştır.

Wilson ve Krummencher (1957), Bentik kireçtaşlarından oluşan Fırat Formasyonuna "Karadağ Formasyonu''adı verilmiştir.

Bolgi (1964), V. Petrol Bölgesinde, ilk kez Adıyaman Formasyonunu adlanmıştır. Daha sonraları "Şelmo Formasyonu'' adıyla yaygın bir kullanımla incelenmiştir. Şelmo Formasyonu (Adıyaman Formasyonu) MTA tarafından Alüvyon Yelpaze Deltası çökelleri olarak yorumlanmıştır.

Ketin (1983a), Şelmo Formasyonu kalınlığının V. Petrol Bölgesinde 900 metre olduğunu belirtmiştir.

Rigo De Righi (1964), Turkish Gulf Oil jeologları tarafından Senomiyen yaşlı allokton birim için kullanılan Karadut Formasyonunu "Perdeso Birimi" olarak adlamıştır.

Schmidt (1964), Koçali Karmaşığı üzerine araştırmalar yapmıştır. Formasyona "Şimşin Formasyonu" adını vermiştir.

Rigo de Righi ve Cortesini (1964), çalışma alanında petrol jeolojisi ile ilgili araştırma yapmış, Çermik-Kevan yöresindeki ofiyolitli karmaşık seriyi bir Gravite Napı olarak değerlendirmişler. Koçali birliğini ise, Rigo De Righi ve Cortesini (1964) "Çermik Birimi" olarak, MTA ise (1996) "Koçali Karmaşığı'' olarak adlamıştır.

Sungurlu (1972), Koçali Karmaşığını ultrabazik kayalar, volkanitler, serpantinit, radyolarit, çörtlü kireçtaşı ve farklı yaşlarda kireçtaşı bloklarından oluşan birim olduğunu ve düzensiz bir iç yapı gösterdiğini belirterek ilk kez tanımlamıştır.

Sungurlu (1974), bölgede yaptığı çalışmalar sonucu sedimanter kayaçların hakim litolojisine dayanarak birimi "Midyat Grubu" olarak adlandırmıştır. Daha sonra değişik yörelerde çalışma yapan araştırmacılar grup ismini benimseyerek değişik formasyonlara ve üyelere ayırmışlardır. Grup çalışma alanında alttan üstte

doğru Gercüş, Formasyonu, Hoya, Kavalköy Formasyonu ve Gaziantep Formasyonu'ndan oluşur. Midyat Grubu inceleme alanı doğu ve kuzeyinde geniş bir alanda yüzeylenmektedir.

Perinçek (1979), Gaziantep Formasyonunun Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtüldüğünü, Gaziantep Formasyonunun açık renkli, 15-20 cm kalınlığında düzenli tabakalı, killi, çörtlü kireçtaşlanndan oluştuğunu, formasyonunu açık renkli, düzenli ve ince tabakalarıyla diğer birimlerden kolaylıkla ayrıldığını ve Korudağ (Çüngüş) civarından derlediği fosillere dayanarak birime Orta Eosen yaşını vermiştir.

Yazgan (1984), inceleme alanının Türkiye'nin tektonik olarak en aktif bölgesi içerisinde yeraldığını belirtmektedir.

Yazgan ve Chessex (1991), bölgenin Üst Triyas'tan günümüze kadar tektonik hareketlerin etkisiyle birçok değişikliğe uğradığını, Keban ve Pütürge platformlarının açılması sonucu Neo-Tetis okyanusunun oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca cevherleşmeleri içeren Koçali Karmaşığı'nın Jura-Alt Kretase döneminde, Pütürge ile Keban kıtaları arasında Guleman-Kömürhan ofiyolitleri ile beraber oluştuğunu öne sürmüşlerdir.

Turan (1995); Aktaş ve Robertson (1984); Şengör ve Yılmaz (1983); Perinçek ve Özkaya (1981), araştırmacılar ise bölgedeki ofiyolit oluşumunun bir tek okyanus kabuğu açılımı ile açıklanamayacağını belirtmektedir. Bu araştırmacılar Guleman ofiyolitleri ile Koçali Karmaşığı'na ait ofiyolitleri ayrı ayrı levhalar arasında oluştuğunu söylemektedirler. Koçali Karmaşığı'na ait ofiyolitlerini Pütürge ile Arap platformu arasındaki okyanusal kabuk üzerinde geliştiğini suvanmaktadırlar. Ayrıca Koçali Karmaşığı'na ait ofiyolitik istifi oluşturan okyanusun Neo-tetis'in güneydeki bir kolu olarak kabul edilmekte ve Üst Kretase sonunda kuzeye doğru bir yitimle, bu okyanusun kapandığı belirtilmiştir. Bu dönemde okyanus kabuğunun dilimlenmesiyle oluşan Koçali Karmaşığı allokton kütleler halinde Kastel havzasına taşındığı belirtilmektedir (Sungurlu, 1974; Şengör ve Yılmaz, 1983; Yazgan, 1984; İnceöz, 1989; Yazgan ve Chessex, 1991; Polat, 1994).

Yılmaz (1981a), Midyat Formasyonu ile Gercüş Formasyonun uyumluluk ilişkisi üzerine çalışmıştır.

Yılmaz (1981b), impaktojen (düzensiz levha sınırlarındaki çarpışma ile oluşmuş riftler) olarak gelişim gösteren riftler, Güneydoğu Anadolu'da yeralan Akçakale Grabeni ile Karacadağ plato bazaltları olduğunu benimsemiştir.

Ketin (1983a), Türkiye'de oluşan ilk tektonk yapı Orta Miyosen sonunda oluşmuş olan Güney Doğu Anadolu bindirmesidir. Bundan sonra Güney Doğu Anadolu kıvrımları meydana gelmiştir. Kabuğun fayla kalınlaşması sonucu alt kısımda ergimeler meydana gelmiş ve kabukta kırılmalar oluşmuştur. Bunun en önemli işareti Türkiyede'ki volkanik faaliyetler ve kabuk yırtılması (Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı) olaylarıdır. Bu olaylar sıkışma neticesinde meydana gelmiştir. Bu fayların oluşumu ve blokların hareket kazanması ile parçalanan Anadolu levhasının doğuya doğru bir koni biçimde daralan Karlıova'da birleşen KAF ve DAF ile oluşmuştur. DAF aynı zamanda Hakkâri'den Kahramanmaraş civarına kadar devam eden Güney Doğu Anadolu bindirme kuşağını da keserek sonlandırır. İşte tüm bu zon boyunca jeotermal rezervuarlar oluşa gelmektedir. Kuzey Anadolu gibi aktif bir tektonik yapıya sahip olan Güney Doğu Anadolu, jeotermal kaynaklar bakımından diğer bölgelere oranla biraz zayıf kalmaktadır. Bulunmuş olduğu konum ve maruz kaldığı deformasyonlar göz önüne alınacak olursa, jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bölgedeki az sayıdaki jeotermal kuyulardaki sıcaklık değerlerinin 48-83 ^{o}C arasında seyretmesi bu tezi kanıtlar niteliktedir.

Ketin (1983b), Gercüş Formasyonunun genellikle, kırmızı renkli konglomera, kumtaşı ve alacalı şeyllerden oluştuğunu, Gercüş yöresinde 280-380 m Ramandağ petrol sondajlarında ise 270 m. kalınlık gösteren bu formasyonun üst kısmının, tuğla kırmızısı renkte siltli-şeyl ve şeylli-kumtaşlarından; tabana doğru ise iri taneli kumtaşları ve alacalı-kumlu konglomeralardan meydana geldiğini, VI. Petrol Bölgesinin kuzey kesiminde tuğla kırmızısı renkte konglomeralarla temsil olunduğunu belirtmiştir.

Erzenoğlu ve Özeke (1984), Çermik dolayının jeolojisi ve jeotermali üzerine çalışmıştır.

Gök (1984), Midyat Kireçtaşlarının masif, killi tebeşirli kireçtaşlarından, bol çatlaklı ve karstik boşluklu olduğunu belirtmiştir.

Şaroğlu (1987), bölgedeki bugünkü tektoniğin Kızıldeniz'de oluşan sırt-itki, Güneydoğu Anadolu'da ki orojenik zon boyunca çarpışma-sıkışma ve Arap levhasındaki çok sayıda enine levha gidişlerinin yeniden etkileşmesinden sonuçlandığını söylemiştir.

Yılmaz (1993); Yılmaz, Yiğitbaş ve Genç (1993), bölgedeki Mesozoyik yaşlı birimlerin petrol ve fosfat yatakları gibi önemli doğal kaynakları içermesi nedeniyle bir çok araştırıcı tarafından detaylı çalışmalar yapılmıştır.

MTA (1996), bölgede sıkışmanın devam etmesi ve bölgenin daha da yükselmesi, Tersiyer çökellerinin de kemerlenmesine ve kıvrılmasına yol açtığını, Pliyo-Kuvaterner'de ise günümüzdeki görünümü oluşturan drenaj sisteminin oluştuğunu belirtmiştir.

Akkuş ve ark.,(2005), bölgedeki Üst Eosen-Alt Miyosen yaşlı katmanlı kireçtaşlarını rezervuar kaya olarak belirleyip, en altta marnlarla başlayıp üstte gölsel kireçtaşlarıyla devam edip giden istifin olası bir uyumsuzlukla rezervuar kayanın üzerinde yer aldığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Çalışma alanlarından olan Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarından numuneler alınmıştır. Yapılması gereken ölçümlerin bazıları yerinde bazıları ise laboratuvar analizlerine bağlı olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ve önceki yıllara ait analiz sonuçları kullanılarak tablolar ve grafikler hazırlanmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre sıcak sulardaki anyon-katyon ve ağır metal bileşimlerinin hidrojekimyasal değişimleri incelenmiştir. Arazi çalışmasında genel olarak incelenen bölgelerin 1/25.000 ve 1/100.000 ölçekli jeolojik haritalarından yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda inceleme alanlarının 1/25.000 ölçekli jeolojik haritaları hazırlanmıştır.

3.2. Metot

2008–2009 yıllları arasında yapılmış olan bu çalışma; literatür taraması, büro, saha ve laboratuar çalışmaları olmak üzere dört aşamada yürütülmüştür.

3.2.1. Literatür Taraması

Literatür taraması araştırmanın hemen hemen her aşamasında yapılmış olup, yer yer ilgili internet web siteleri incelenmiştir. Derlenen bilgiler önceki araştırmalar bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

3.2.2. Büro Çalışmaları

Çalışma başlangıcında daha önce konuyla ilgili yapılmış yayın, rapor ve tezler incelenmiştir. Üniversitelerden, ilgili kamu kurumlarından ve internet üzerinden ulaşılabilecek web sayfalarından yararlanılmıştır. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü' nün Türkiye Jeoloji Haritaları serisi kapsamında hazırlanan 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli jeoloji haritaları ve 1/25.000 ölçekli

jeoloji haritaları derlenerek harita açıklamaları incelenmiştir. DSİ XV. Bölge Müdürlüğü ve MTA tarafından hidrojeolojik etütler kapsamında hazırlanan jeoloji haritaları, sondaj kuyularının kuyu log raporları incelenmiştir. Tez amacına yönelik olarak, önceki çalışmalar da incelenip arazi ve laboratuar çalışmalarının sonucunda elde edilen veriler, çeşitli diyagramlarda değerlendirilerek ve yorumlanarak sonuca varılmıştır.

3.2.3. Saha Çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında kaplıcalardan su örnekleri alınmıştır. Ayrıca; araştırma bölgesinin jeolojik yapısı ile topografik koşulları değerlendirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında pusula, koordinatların tespiti için El GPS, jeolog çekici, çakı, kamera ve fotoğraf makinası kullanılmıştır (Şekil 3.1).

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılan jeolojik çalışmalarda 1/25.000 ölçekli Diyarbakır - N42-d3 ve Elazığ - L42-c2 paftalarından yararlanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ve tezin hazırlanması aşamasında arazi çalışmaları sonucu elde edilen jeolojik haritalar temel alınmıştır. Elde edilen bu jeolojik haritalar; arazide El GPS'i ile yapılan koordinat alma işlemi sonucunda; sıcak su kaynakları, formasyonların arazideki yayılımları vb noktasal-çizgisel işlemleri tespit edilerek Netcad programında işlenmiş ve uydu görüntüleri ile 1/25.000 ölçekli haritaların çakıştırılması sağlanılmıştır. Alınan tüm koordinatlar aslına uygun ve minimum hata ile başarılı bir şekilde harita üzerine aktarılmıştır. Bu işlemlerden sonra Karaali ve Çermik Kaplıca alanlarına ait jeolojik haritalar sonuçsal veri olarak elde edilmiştir. Hazırlanan jeoloji haritalarında, önceki çalışmalarda kullanılan formasyon adlamaları dikkate alınarak yapılmıştır.

Sahada, laboratuar analizleri için Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarından su örnekleri alınarak kimyasal ve fiziksel parametreleri ölçülmüştür. Örnekleme çalışmalarında polietilen 3 litrelik su mataraları kullanılmıştır. Örnekleme kapları laboratvuarda saf su ile yıkanmış, matara iç duvarlarında bulunabilecek maddelerin

alınacak örneklere karışmasını önlemek amacıyla, örnek numune alımında mataralar ayrıca yıkanmıştır. Örnekleme suyu, 3 litre kapasiteli mataralara hava almayacak şekilde doldurulmuş ve kapakları kapatılmıştır.

Yüzey sularının sıcaklığı (T), elektiriksel iletkenliği (EC veya Eİ), asit baz özelliği (pH) ve çözünmüş oksijen değeri gibi fiziksel özellikleri örnekleme sırasında yerinde ölçülmüştür (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Karaali ve çevresinin 1/25000 ölçekli haritasının oluşturulmasında kullanılmak üzere, termal alandaki birinci kuyuda koordinat belirlenmesi



Şekil 3.2. Karaali sıcak sularının yerinde oksijen (O_2), sıcaklık (^oC) ve pH ölçümünün yapılması

3.2.4. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları; su örneklerinin hazırlanması ve saklanması, pH ölçümleri, anyon - katyon analizleri ile ağır-metal analizlerini içermektedir. Karaali ve Çermik sıcak su kaynakları ile ilgili arazide sıcaklık ve debi gibi bazı özellikler belirlenmiş, alınan su örneklerinde de kimyasal analizler yaptırılmıştır. Bu verilerin ışığında sıcak su kaynaklarının, oluşum mekanizması ve su kökenlerinin özellikleri belirlenmiştir. Kaynağın araştırılmasında arazide ve laboratuvarda elde edilen verilerden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada F, Cl, NO_2, NO_3, PO_4, SO_4^{-2}, NH_3, NO_2, NO_3, Si, As, Sb, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Na, Pb, Zn, Hg ağır ve iz elementlerinin analizleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazı, Ultraviyole Spektrometre Dr5000 (US Dr5000) ve farklı metotlar (titrimetrik, gravimetrik, kondüktrimetrik, potansiyometrik, kjeldahl, hesaplama gibi) kullanılarak parametrelerin değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.3.,3.4 ve 3.5). ICP-OES cihazı ile aranılan element için yüksek hızda, yüksek sıcaklıkta ve eş zamanlı hassas kalitatif

ve kantitatif element analizi gerçekleştirilir. Cihazın işleyiş sistemi; 12500 Kelvin sıcaklığında alev oluşturulması ve iyonların bu esnada kabuk değiştirmesi ile arada enerji çıkışının meydana gelmesi sistemine dayanmaktadır. Çıkan enerjinin miktarı, dedektörler tarafından okunup sisteme bağlı bulunan bilgisayarda oluşturdukları piklere bağlı olarak elementin değeri belirlenir. ICP-OES cihazı ile ortalama 70 elementin analizi aynı anda ölçülebilir. US Dr5000 cihazı çözeltiler içerisinde yer alan iyonik ve iyonik olmayan maddelerin nicel ve nitel analizlerinin tespit edilmesinde kullanılır ([1]C. T).



Şekil 3.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazı

[1] Cumali Türkoğlu, Şanlıurfa Su Arıtma Tesisleri Laboratuvarı Ağır Metal Analizleri Sorumlusu. Sözlü görüşme. Şanlıurfa, Temmuz 2009



Şekil 3.4. İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazı alev oluşturma bölümü



Şekil 3.5. Ultraviyole Spektrometre Dr5000 (US Dr5000) cihazı

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

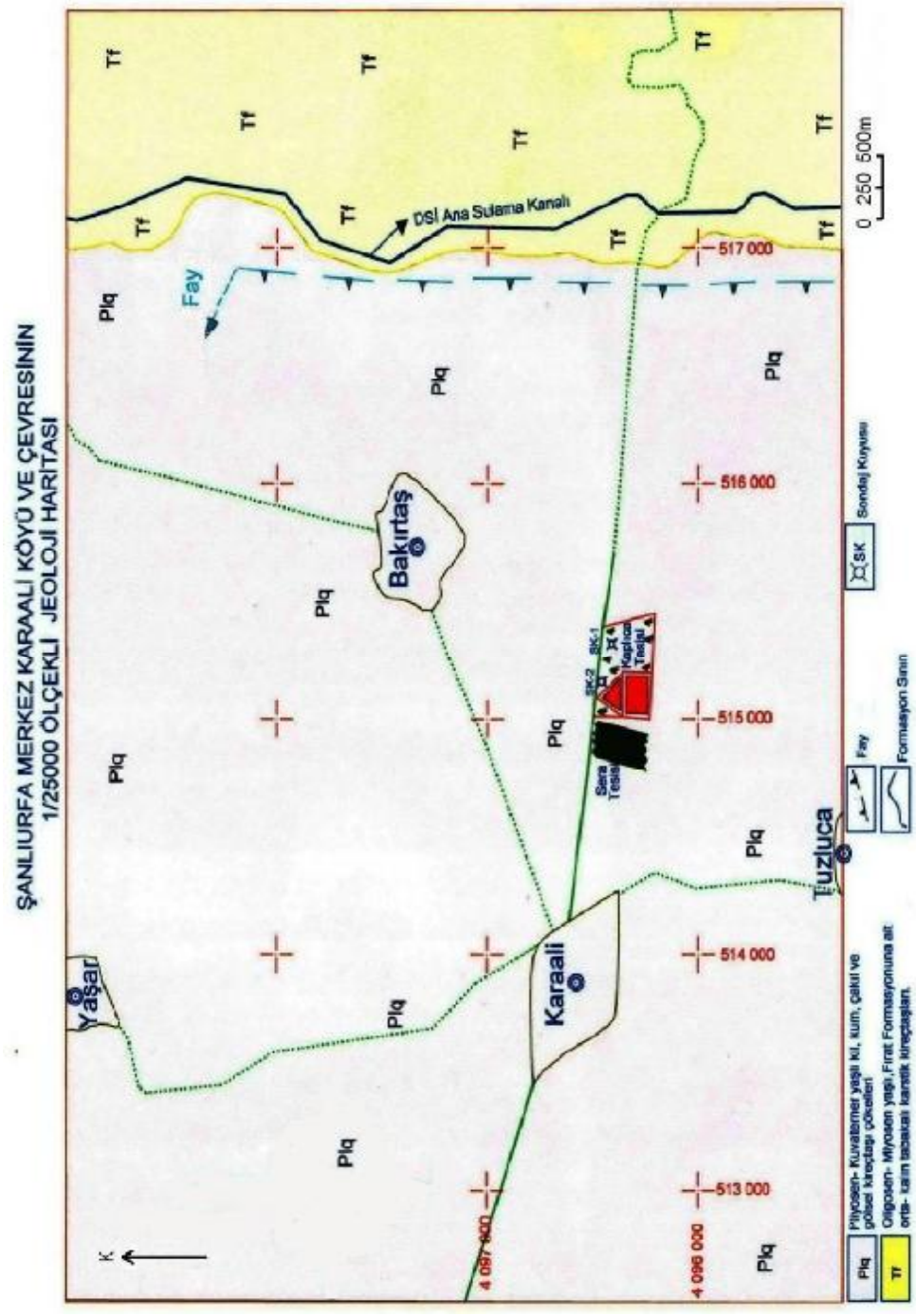
Bu tez çalışmasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Karaali ve Çermik Kaplıcaları incelenmiş, kaplıcaların kökeni, beslenimi, fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Kaplıca alanlarında yer alan jeolojik birimleri incelenmiştir. Kaplıcaların bulunduğu Diyarbakır ve Şanlıurfa bölgelerinde Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı sedimanter ve magmatik birimlerin yer aldığı gözlenmiştir.

4.1. İnceleme Alanının (Karaali) Jeolojisi

İnceleme alanı, stratigrafi sıralamasına göre yaşlıdan gence doğru, Fırat Formasyonu ve bu formasyon üzerine gelen Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler yer almaktadır. İnceleme alanı, krem-bej renkli, sert kırılgan, ince-çok ince tabakalı, kireçtaşları yatay katmanlı ve bol fosilli stratomalitli kireçtaşlarından oluşan yer yer masif görünümünde olan Fırat Formasyonu'nun karekteristik özelliklerini belirgin olarak göstermektedir. Genellikle beyaz, kirli beyaz, sarımsı yer yer pembemsi renkli, orta-kalın ve çok kalın katmanlı kireçtaşından oluşur. Farklı sertlik ve dokuda olan katmanların ardalanması şeklindedir. Bol çatlaklı ve karstik yapıdadır. İnceleme alanında, formasyon kalınlığı sıcak su sondajları çevresinde 140 m Karaali-Akören arasında kalan yükseltide 80–90 m doğusunda kalan alanda ise 150–200 m dolayındadır (Uzel ve Kalkan, 1992).

Çalışma sahasında düz ve düze yakın alanlarda, genelde Fırat Formasyonunun yüzeylendiği alanların aşınıp depolandığı yerlerde Pliyo-Kuvaterner mostralıdır (Şekil 4.1). Kil, killi kumtaşları yer yer gevşek çimentolu konglomera arakatkılı, polijenik elemanlı olan bu birim, özellikle Harran çöküntü havzasında, Oligo-Miyosen yaşlı karbonat istifi üzerinde kalın bir katman oluşturmuştur. Üst seviyeleri; kırmızı, kahverengi, kil, silt, kum, kireçtaşı, çakıllı, genç dentritiklerle örtülmüştür. DSİ tarafından, Harran Ovasında yapılan sondajlarda 200 metreden daha kalın olan kesimleri geçilmiştir. Koyu kahverengi-kırmızımsı renkli, kil, silt ve kum seviyeleri içerisinde çok az miktarda kalker blok ve çakıllardan oluşmaktadır. Bu tip çökeller yüksek röliyefli alanların şiddetli yağmur suları gibi etkenlerle taşınarak düşük

röliyefli alanlarda birikmesi ile oluşmuştur. Blok ve çakıllar kireçtaşı kökenli olup, köşeli yer yer de yarı köşelidir. Kum ince-orta-iri boyutta olup üniform bir özellik taşımamaktadır. Tortul örtü malzeme katı-orta sıkı bir özellik göstermektedir. Örtü kalınlığı yer yer değişmektedir. Bu birim üzerinde de 0.20-0.30 m kalınlıkta bitkisel toprak yer almaktadır. Kendisinden daha yaşlı birimler üzerinde diskordanslı olarak yer alır.



Şekil 4.1. Karaali ve çevresinin 1/ 25000 ölçekli jeoloji haritası

4.2. Karaali Kaplıcası Hidrodinamik Yapısı

İnceleme alanı ve civarında yer alan akarsular 1.1.3. bölümünde belirtilmişti. Eosen kalkerleri olarak bilinen Midyat Grubu, kendi içinde as birim olarak ayırtlanan Fırat Formasyonu Üst Eosen-Alt Miyosen yaşındadır. Eosen kalkerleri akifer bakımından inceleme alanında en önemli formasyonu teşkil etmektedir. Eosen formasyonu, çeşitli dokuda, sertlikte ve bünyede kalkerlerden meydana gelmişse de karstik olaylara çok müsait, bol çatlaklı bir formasyondur. Karaali Kaplıcasının bulunduğu Harran Ovası içinde su alınabilecek en önemli akiferi de Eosen kalkerli Fırat Formasyonudur (DSİ, 1972). Karaali kaplıcalarında yer alan sondajlar Akçakale Grabeni içinde Harran Ovası'nın doğu sınırında bu birim içine kadar girilmiştir.

Karaali kaplıcasının hidrodinamik yapısı; (Şekil 1.9'a göre) yaşlıdan gence doğru en altta yer alan ve kireçtaşından oluşan Fırat Formasyonu; sıcak su rezervuarını, Plio-Kuvaterner; sistemin sıcaklık kaybını önleyerek örtü kayaç özelliğini ve inceleme alanı sınırları dışında kuzeyinde kireçtaşları üzerinde yer alan bol soğuma çatlaklı volkanik kayaçlar da sıcak suyun beslenim alanını oluşturduğu söylenebilir.

4.2.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Arazide üst seviyelerde gözlenen kırmızı, pembe renkli kiltaşı ile gri, sarımsı, beyazımsı renkli, kiltaşı elemanlı kumtaşı ve çakıltaşı ardalanmasından oluşan Pliyosen yaşlı çökeller soğuksu içermektedir (Uzel ve Kalkan, 1992).

İnceleme alanının doğusunda gözlenen Üst Eosen-Alt Miyosen yaşlı sarımsı, yer yer pembemsi renkli, orta-kalın katmanlı kireçtaşları Pliyosen yaşlı çökelleri altında yer almaktadır. Daha önceki araştırıcılar tarafından Fırat Formasyonu'nun üyesi kabul edilen bu kireçtaşları bol çatlaklı ve karstik boşluklu olmalarından dolayı sıcak su için rezervuar kayayı teşkil etmektedir (Uzel ve Kalkan, 1992). Bu birimin sıcak su rezervuarının beslenim alanını, inceleme alanı sınırları dışında (kuzeyde) üst kısımlarda yer alan bol soğuma çatlaklı volkanik (bazalt, tüf) kayaçlar

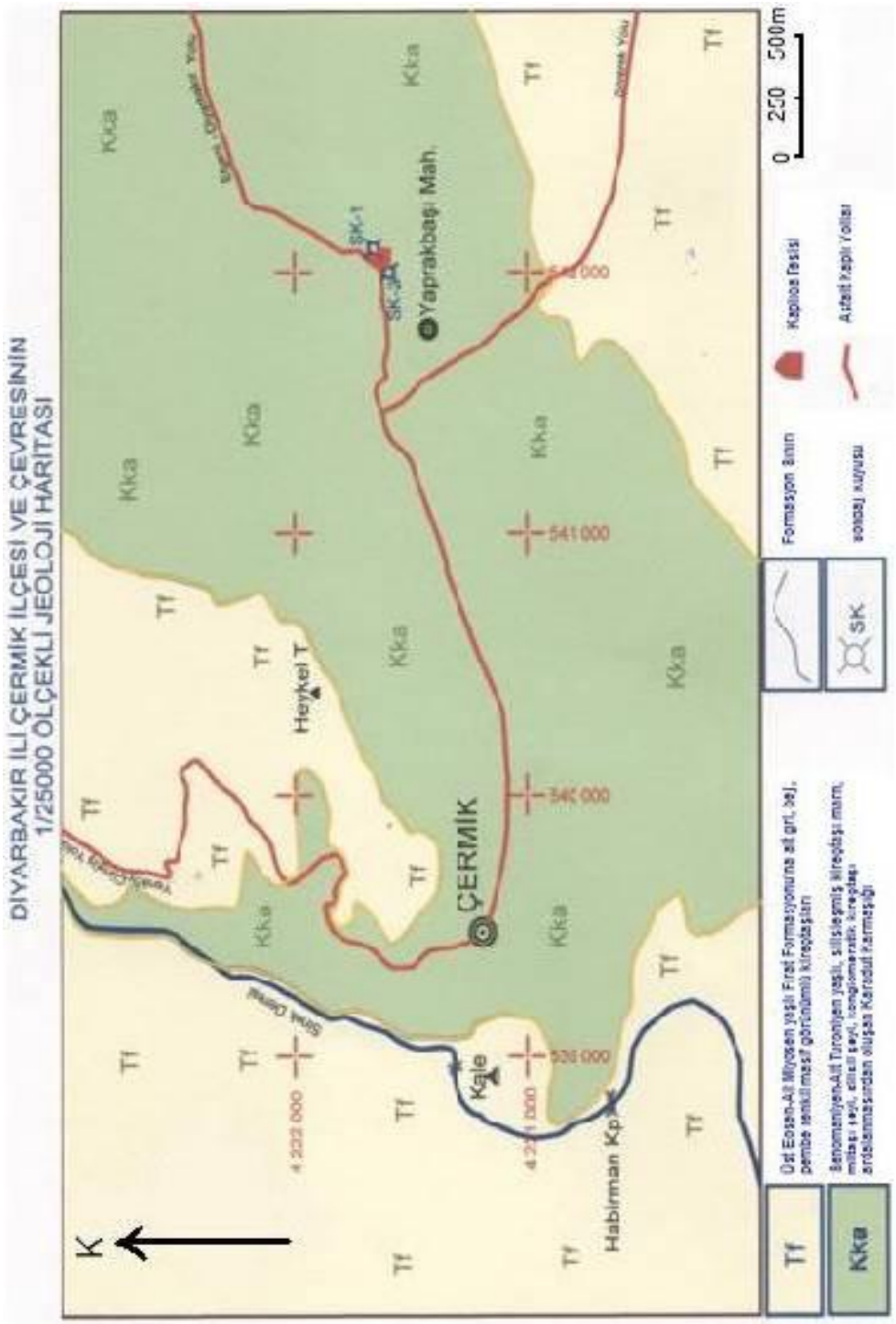
oluşturmaktadır. Bu kayaçlar bölgede çok geniş alanlar kaplayan kireçtaşları üzerinde yer almaktadırlar (Doğdu ve Kırmızıtaş, 2006).

Yeryüzünden süzülerek yeraltına akan yağış suları, yeraltında oluşmuş olan doğal sistemi tamamlamak için derinlere süzülmektedir. Süzülen bu yağış suları, muhtemel magmatik sokulumlar ile ısınmakta ve yüksek jeotermal gradyan ile sıcak suları oluşturmaktadır. Yerin derinliklerinde bulunan jeotermal gradyanın varlığı nedeniyle ısınan sıcak sular, kırık, çatlak ve fay hatları boyunca yüzeye ulaşırlar. Yeryüzüne doğru ilerleyen bu sıcak sular bünyesinde soğuk suları barındıran Fırat Formasyonu içinde yayılım gösterirler. Sistemin sıcaklık kaybını önleyen örtü kayaç birimlerini ise, Adıyaman Formasyonu olarak da adlandırılan Pliyosen yaşlı çökeller içindeki geçirimsiz kiltaşı ve marn ardalanmaları oluşturmaktadır.

4.3. İnceleme Alanının (Çermik) Jeolojisi

İnceleme alanı stratigrafi sıralaması, yaşlıdan gence doğru; altta Karadut Karmaşığı ve bunun üzerine gelen Fırat Formasyonu şeklindedir (Şekil 4.2).

Karadut Karmaşığı; ince-orta-kalın, tabakalı, gri-mavimsi yeşil renkli, killi, mikritik, silisleşmiş ve bol çörtlü olan silisleşmiş kireçtaşı, ayrıca kalın tabakalı, sert, mavimsi renkli marn arakatkılarını da içerir. Sarı-pembe renk geçişli, ince tabakalı ve yumuşak olan miltaşı ve şeyler, silisleşmiş kireçtaşları ile ardalanırlar (Şekil 4.3). Kırmızı renkli, laminalı ve silisli olan şeyller arasında sert, ince tabakalı, silisleşmiş marn bantları da vardır. Gri-kirli beyaz renkli, kalın tabakalı çört ve ultra bazik çakıllar ile birlikte, kireçtaşı çakılları, bentonik foraminiferler, algler, rudist kavkı parçaları ve gastropod fosilleri kapsayan konglomeratik kireçtaşları yer almaktadır.



Şekil 4.2. Çermik ilçesi ve çevresinin 1/25 000 ölçekli jeoloji haritası



Şekil 4.3. İnceleme alanı Karadut ve Fırat Formasyonu sınırları



Şekil 4.4. Çermik civarında Fırat Formasyonuna ait kireçtaşlarının karstik yapılı görünümü

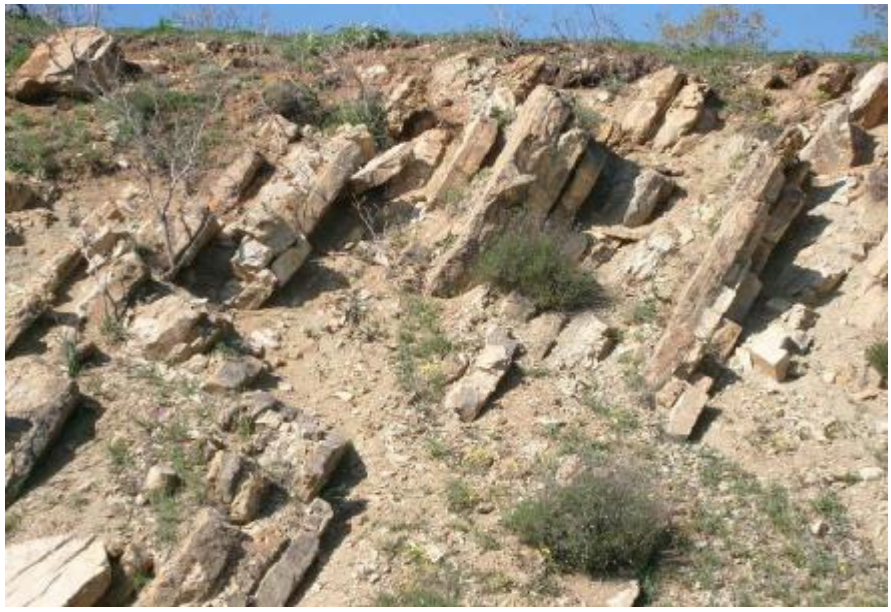
Fırat Formasyonu (Midyat Grubu); gri, bej, pembe renkli, killi tebeşirli kireçtaşlarından oluşmakta olup, bol çatlaklı ve karstik boşlukludur (Şekil 4.4).

4.4. Çermik Kaplıcası Hidrodinamik Yapısı

Sahanın topografik yapısı jeolojisi ile ilişkilidir (Şekil 4.5 ve 4.6). Sahada yer alan fliş (kil, marn, radyolarit ardalanması) formasyonları genellikle yumuşak eğimli yamaçlar meydana getirmektedir (Şekil 4.6.,4.7. ve 4.8). Ancak kalın kireçtaşı tabakaları yüksek falez görünümünü oluşturmaktadır (Şekil 4.9 ve 4.10). Bölgede görülen en eski formasyonlar Kretase yaşlı serpantinler ve yer yer görülen kırmızımtırak kalkerlerdir. Bunların üzerine diskordan olarak muhtemel Paleosen ve Miyosen flişi gelmektedir. Paleosen -Miyosen formasyonlarının ayırımı oldukça güçtür.



Şekil 4.5. Yaprakbaşı Mahallesi kaplıca alanı genel görünüm



Şekil 4.6. Fliş özellik gösteren sarı-grimsi yeşil renkli, marn-miltaşı ve şeyl ardalanması gösteren Karadut karmaşığına ait allokton birimler



Şekil 4.7. Karadut Karmaşığına ait Yaprakbaşı Mahallesinde yer alan kırmızı-grimsi yeşil renkli laminalı silisli şeyl ve şeyler arasında ince marn bantları



Şekil 4.8. Karadut Karmaşığına ait Yaprakbaşı Mahallesinde yer alan kırmızı- grimsi yeşil renkli laminalı silisli şeyl ve şeyler arasında ince marn bantları



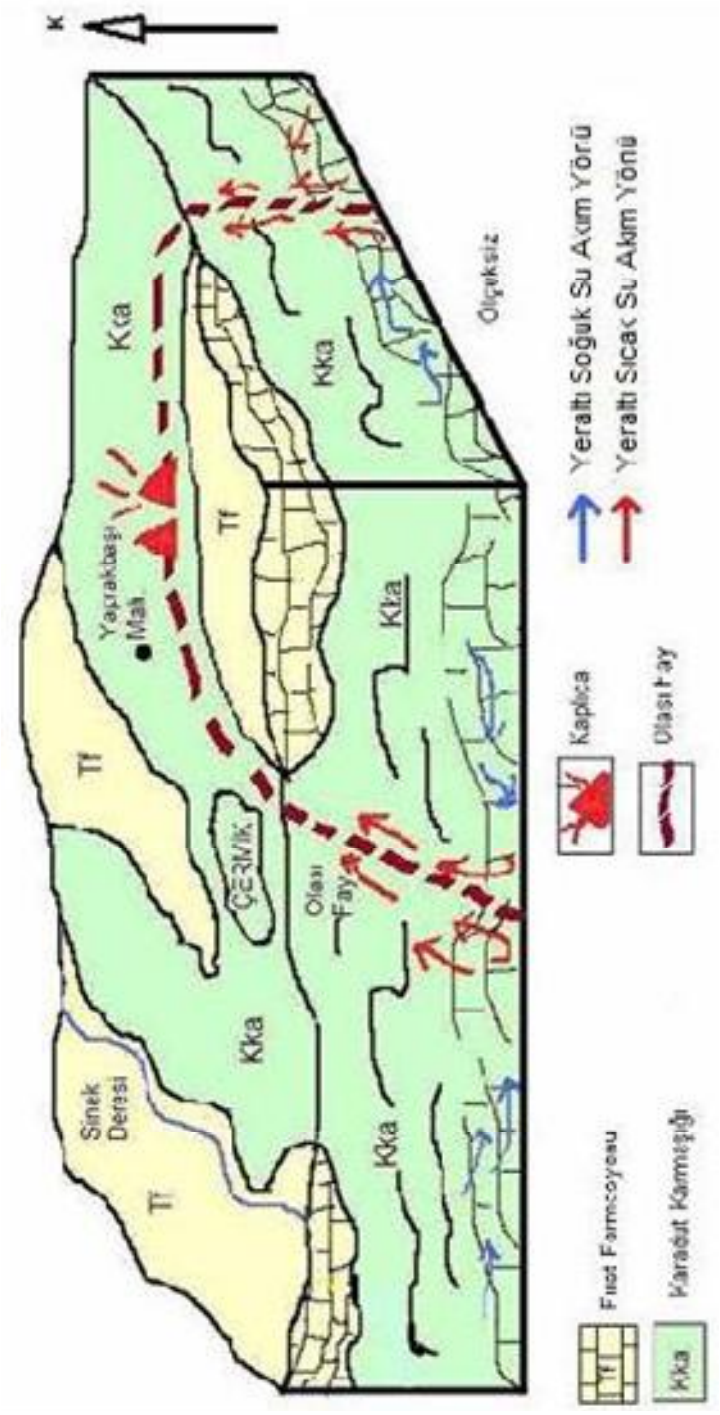
Şekil 4.9. Çermik kalker tabakaları falez görünümü



Şekil 4.10. Çermik miltaşı-şeyl-marn ardalanması

Jeotermal sistemleri oluşturan temel yapılar; beslenme alanı, örtü kayaç, ısı kaynağı, akifer ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkışını kontrol eden kırık veya çatlak, fay yapılarıdır. Çermik jeotermal alanında akifer, örtü kayaç litolojileri ve hidrojeolojik özellikleri hakkında kapsamlı veri bulunmamaktadır. İnceleme alanındaki akifer litolojileri; jeotermal alanda yapılan jeolojik, hidrojeoloji ve jeokimyasal veriler değerlendirilerek belirlenmeye çalışılmış ve Çermik jeotermal sahasının kavramsal modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.11).

Çermik kaplıcasının hidrodinamik yapısı; yaşlıdan gence doğru en altta yer alan Üst Paleozoyik ve Kretase yaşlı dolomitler rezervuar özelliğinde, Senomaniyen-Alt Turoniyen yaşlı Karadut Karmaşığı örtü kayaç özelliği taşımaktadır. Kireçtaşlarından oluşan Eosensen-Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu sıcak suyun beslenim alanını oluşturmaktadır.



Şekil 4.11. Çermik jeotermal sahasının kavramsal hidrotermal modeli

4.4.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Ofiyolitlerde düşük debili sızmalar yer yer de küçük çaplı kaynaklar mevcuttur. Bu sular kurak aylarda çok az akmakta ya da tamamen kaybolmaktadır.

Üst Kretase formasyonlarını örten Alt Miyosen yaşlı seriler, kırmızımsı konglomeralar (ince kum ve 1-2 cm büyüklüğünde çakıllı, çimentosu kil, marn) ile başlar. Bu serilerin üzerindeki seviyeler kumlu, az kristalize kalkerler, kırmızımsı renkli, darbe ile kırılan radyolarit, killi ve marnlı kalker, kristalize marnlı kalker ardalanması ile devam etmektedir. Bu serilerin de üzerine kaplıca güneyinde beyaz, kristalize, fosil içeren, kırıklı bir yapıyı oluşturan kalkerler gelmektedir. Kaplıca kuzeyinde bu kalkerler, marnlı, kristalize kalkere geçer. Bu seviyelerin de üzerinde marn, radiolarit, ince tabakalı kalker, kumlu kalker ardalanması şeklinde seriler görülmektedir (Şahinci, 1970).

Yeryüzünden süzülerek yeraltına ilerleyen yağış suları, yeraltında oluşmuş doğal sistemi tamamlamak için derinlere süzülmektedir. Kaplıca çevresinde olası küçük faylanmalar mevcut olduğundan kalkerli seviyeler kırıklı, çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Süzülen bu yağış suları, kırıklı ve çatlaklı yapılardan yerin derinliklerine doğru ilerler. Bu sular, muhtemel magmatik sokulumlar ile ısınarak ve yüksek jeotermal gradyanın etkisi ile sıcak suları oluşturmaktadır. Yerin derinliklerinde bulunan jeotermal gradyanın varlığı nedeniyle ısınan sıcak sular, faylanmalar ile rezervuar özellikteki Üst Paleozoyik ve Kretase yaşlı dolomitlerden ilerleyerek, Üst Kretase flişinin çatlak ve kırıklarından yüzeye, kaplıca yakınında sıcak su kaynağı şeklinde çıkmaktadır. Yeryüzüne doğru ilerleyen bu sıcak sular bünyesinde soğuk suları barındıran Fırat Formasyonu içinde yayılım gösterirler. Bu hareketli döngü esnasında, sıcak sulara normal yeraltı suları da karışmaktadır. Üst Kretasede (Senomaniyen-Alt Turoniyen) başlayıp Paleosen'de devam eden kayaçlar etüt sahasında geniş alanlarda değişik litolojilerde görülür. Genellikle silisleşmiş kireçtaşı, marn, miltaşı-şeyl, silisli şeyl, konglomeratik kireçtaşı ardalanmasından oluşmuştur. Gri, yeşil ve üst seviyelerde kırmızımtrak renklidir. Yapılan incelemelerde ve önceki çalışmalarda da birim içerisindeki kumtaşı seviyelerinde az miktarda su depolandığı ve ince olan tabakaların sularını topoğrafyanın uygun

olduğu noktalardan küçük kaynaklar (0,1-0,5 lt/s) ve sızıntılar şeklinde boşalttığı görülmüştür. Üst Kretase-Paleosen çökellerinin büyük kısmı marn, ofiyolit ve serpantinlerden oluştuğu için yeraltı suyu bakımından herhangi bir öneme sahip değildirler.

Fırat Formasyonu inceleme alanının güney-güneydoğu ve kuzeybatı yönünde uzanmakta ve hidrolojik yönden en önemli birimdir. Kalkerlerin üst seviyeleri çok çatlaklı ve erime boşlukludur (Şekil 4.12). Ancak ilçe güneyinde Fırat Formasyonu'na ait kireçtaşlarında mermer ocakları yer almaktadır (Şekil 4.13). Etüt sahası içerisinde karstik yapıların çökmesi sonucu oluşan topoğrafik çukurluklar mevcuttur.

İnceleme alanında en üstte bulunan (Tm Miyosen) kiltaşı, silttaşı, kumtaşı, marn ardalanması gösteren Miyosen klastikleri senklinal eksenleri boyunca doğu-batı yönünde küçük ince şeritler halinde mostra vermektedir. Birimin kumtaşı seviyeleri az miktarda yeraltı suyu depolayabilmektedir. Ancak birim kalınlığının % 90'nını oluşturan diğer kayaçlar yeraltı suyu depolayabilecek özellikte değildirler. Bu nedenle yeraltı suyu bakımından önemli bir birim değildir (Gök,1984).



Şekil 4.12. Çermik civarında Fırat Formasyonu kireçtaşlarında oluşan karstlaşma



Şekil 4.13. Çermik ilçesi güneyindeki Fırat Formasyonuna ait kireçtaşlarında açılan mermer ocağı

4.5. Su Kimyası Çalışmaları

Karaali ve Çermik inceleme alanlarında sıcak ve mineralli su kaynaklarının; kökenlerinin araştırılması, kimyasal özelliklerinin ve kalitelerinin belirlenmesi, yüzey ve yağış suları ile olası ilişkilerinin incelenmesi, hidrojeolojik çalışmaların vazgeçilmez bir parçasını oluşturan hidrojeokimyasal teknikler içinde ele alınmıştır. Su kaynaklarının kökensel yapıları yanında hidro dinamik yapıları içinde geçirmiş oldukları fiziko kimyasal süreçlerin ortaya konulması ve yorumlanması, formasyonların birbirleriyle olan ilişkileri detaylı olarak ele alınmıştır. Su noktalarının sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), çözünmüş oksijen gibi fizikokimyasal özellikleri ise yerinde tayin edilmiştir. Bu amaçla inceleme alanında yer alan bölgedeki sıcak ve mineralli sularda Mart-Temmuz 2008-2009 'da gözlemsel çalışmalar ve yerinde gerekli ölçümler yapılıp, laboratuvar için örnekler alınmıştır (Şekil 4.14 ve 4.15).



Şekil 4.14. Çermik kaplıca ana kaynağından görünüm



Şekil 4.15. Faaliyette olan kuyudan çıkan ve tesise dağılımı sağlanan ana sıcak su

Ağır metal analiz örnekleri için 100 ml, fiziksel ve kimyasal analiz örnekleri için ise 500 ml su örneğinin olması yeterli görülmektedir. Ağır metal analizi için

alınan örneklere 1 litre su için 2 mml HNO_3 (nitrat asit) su koruyucu eklenmiştir. Su örnekleri, fiziksel ve kimyasal analizler için Şanlıurfa Devlet Su İşleri XV. Bölge Müdürlüğü Kimya Laboratuarına verilmiştir (Şekil 4.16 ve 4.17).



Şekil 4.16. DSİ XV. Bölge Müdürlüğü Kimya Laboratuarı



Şekil 4.17. DSİ XV. Bölge Müdürlüğü Kimya Laboratuarında su örnekleri

4.5.1. Karaali ve Çermik Kaplıca Sularının Fiziksel Özellikleri

Çalışma alanı içerisinde bulunan Karaali kaplıcalarından sıcak su örnekleri alınmıştır. İki âdet sıcak su kuyusu faal olarak işletilmektedir. Ancak ilk açılan ve SK–1 (Sondaj Kuyusu–1) olarak adlandırılan kuyuda nitrit oranının yüksek olmasından dolayı kuyudan yararlanılamamıştır. Nitrit (NO_2) oranının değerini ölçmek için DSİ XV. Bölge Müdürlüğü tarafından rutin olarak numune alınıp laboratuarda analizleri yapılarak nitrit değeri ölçülmüştür. Bu değer ölçümleri dakikalık, saatlik, günlük, haftalık, aylık olarak yapılabilmektedir. Su kuyusunda nitrit değerinin olmaması veya çok düşük olması durumunda kuyudan yararlanıp yararlanılamayacağı hakkında görüş bildirilmektedir. Ağır metal analizleri için numuneler ICP-OES ve US-Dr5000 cihazları ile ölçülmüştür.

İzotop yöntemler ile sıcak suların kökeni, yaşı ve sıcaklığı hakkında bilgi edinmek mümkündür. Yüzeye erişen sıcak suların kimyasal özelliklerinden, hazne kayadaki suların kimyasal yapılarının belirlenmesi, suların kabuklaşma ve çürütme özelliklerinin incelenmesi, yüzeyde izlenen buhar ve sıcak suların debisinin bilinmesi, sıcaklık ölçümleri ile elde edilecek minimum enerjinin saptanması şeklinde değerlendirilebilir.

İki kaplıcanın kökensel olarak incelenmeleri ve karşılaştırılmaları amacıyla, Karaali kaplıcası için yapılan teorik ve uygulama çalışmaları Çermik kaplıcası için de yapılmıştır. Çermik kaplıca alanında iki âdet sıcak su kuyusu bulunmaktadır. Kaplıca kuyuları 120–250 m derinliğindedir. Ancak kaplıca tesislerinde bir kuyu faal olarak işletilmektedir. Açılan kuyuların debisinin yüksek (130–140 lt/s) olmasından dolayı tek bir kuyunun işletilmesi su ihtiyacını karşılamaktadır. Özellikle kış aylarında tek bir kuyudan elde edilen sıcak suyun ihtiyacın üzerinde cevap verdiği ilgili [2](H.D) kişiler tarafından ifade edilmiştir.

[2] Hasan Durdi; Çermik Belediyesi Kaplıca İşletmeleri Tesisi. Sözlü görüşme. Çermik, 2009.

4.5.1.1. Sıcaklık (^{o} C)

İnceleme alanlarından Karaali kaplıcasının, sıcak su çıkış noktasında yapılan ölçümlerde su sıcaklığının 41.5-42 ^{o}C arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.18 ve 4.19).



Şekil 4.18. Karaali kaplıca sularının Ph, oksijen (O_2) ve sıcaklık (^{o}C) ölçümlerinin yapılması



Şekil 4.19. Karaali kaplıca sularının Ph, oksijen (O_2) ve sıcaklık (^oC) değerleri

Aynı şekilde Çermik kaplıcasında yapılan ölçümler ile suyun sıcaklığı kaynak başında 52–53 ^oC olarak ölçülmüştür.

Uslu ve Türkman (1987), suların sıcaklığının endüstri kullanım alanlarında önemli etken olduğunu, suları sıcaklığına göre; çok soğuk (+5 ^{o}C'ye kadar), soğuk (+10 ^{o}C'ye kadar), çok az ılık (+18 ^{o}C'ye kadar), az ılık (+25 ^{0}C'ye kadar) ve 40 ^{o}C den fazla olanlar olarak isimlendirip, sıcaklığın yükselmesi ile suda çözünmüş gaz miktarının azaldığını söylemişlerdi.

4.5.1.2. Elektriksel İletkenlik (Eİ/EC)

Elektriksel iletkenlik (kondüktivite), suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Su analiz sonuçları verilirken 25 ^{o}C sıcaklıktaki değeri mikromoho/cm veya mikrosiemens/cm (µS/cm) cinsinden ölçülerek verilmektedir. Suların elektriksel iletkenliği, iyonların suda varlığına, toplam derişime, hareketliliklerine (mobilite), değerliklerine, göreli değişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri artar (Hem, 1985).

Sudaki iyonların derişimi arttıkça elektriksel iletkenlik de artar, dolaysıyla elektriksel iletkenlik ölçümleri sudaki toplam iyon derişimi hakkında iyi bir göstergedir (Day ve Nighttingale, 1984; Hem, 1985). Doğal haldeki yüzey sularının elektriksel iletkenliği 50 – 1500 ìS/cm arasında değişir (McNeely, Neimanis ve Dwyer 1979). Yeraltı sularının elektriksel iletkenliği yüzey sularına oranla daha geniş aralıkta değişir.

Yeraltı sularının iletkenliği bazı bölgelerde deniz suyunun yaklaşık iletkenliği olan 50000 ìS/cm' ye ulaşabilmektedir. Sanayideki kirliliğin yüksek olduğu dere ve akarsularda 4500–5000 ìS/cm civarlarında okunabilmekte buna bağlı olarak da tuzluluk ve diğer kimyasal parametrelerde dolayısıyla KOİ değerinde artış göstermektedir. Atık suların iletkenliği, atık suları üreten kaynağın özelliklerine bağlıdır. Bazı endüstriyel atık sularda 10000 ìS/cm' nin üzerinde iletkenlik değerleri gözlenmektedir. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından içme suyu standartlarında bulunması gereken elektriksel iletkenlik için 2500 değer aralığını belirtmiştir. Ancak ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından değer aralığı belirtilmemiştir (Çizelge 4.7).

Elektriksel iletkenlik ölçümleri; elektriksel araştırma tekniği, özellikle klorürce çok zengin ve elektrik iletkenliği yüksek sıcak suların araştırılmasında yararlıdır. Bu yöntemle hazne kayada sıcak suların yayılımı ve derinliği, bazı yapısal ve litoloji özelliklerin farklılıkları saptanabilir.



Şekil 4.20. Karaali kaplıcaları Eİ ölçümünün yapılması

İnceleme alanlarından Karaali sıcak ve mineralli su kaynağının 2003-2008 yıllarına ait Eİ değerleri 770-950 aralığında ve çalışma sırasında yapılan Eİ değeri 917 µS/cm ya da mekval olarak ölçülmüştür. Karaali suları Çizelge 4.1'deki değerlere göre "Yüksek Tuzlu" sınıfına girmektedir. Karaali sıcak ve mineralli su kaynağının Eİ, Çermik sıcak ve mineralli su kaynağının Eİ'den daha düşük olduğu görülmektedir. Karaali sıcak ve mineralli su kaynağının rezervuarını oluşturan ve soğuk su içeren Fırat kireçtaşları ile derinlerde ısı kazanarak yüzeye doğru çıkan sıcak suların etkileşiminin bu düşüklüğe neden olabileceği şeklinde düşünülebilir. Ayrıca etkileşim, suyun sıcaklık değerinin düşmesine neden olduğu gibi elektriksel iletkenliğin de paralel olarak düşmesine neden olduğu söylenebilir. Bunun yanında doğuya doğru fay çatlağının geniş olması ve batıda ise olası mağmatik sokulumların hareketli olması sonucu bir yanda sıcak suyun bir yanda da soğuk suyun bulunması ve birbiriyle olan teması, su sıcaklığının düşmesine neden olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

İnceleme alanında örneklenen sıcak su kaynaklarındaki 2003-2008 yıllarına ait Eİ değerleri; Çermik sıcak ve mineralli su kaynağında 1050-1196 aralığında ve çalışma sırasında yapılan Eİ değeri 1120 µmho/cm olarak ölçülmüştür. Çermik sıcak ve mineralli su kaynağının Eİ, Karaali sıcak ve mineralli su kaynağının Eİ'den daha yüksektir (Çizelge 4.4). Bunun nedeni, Çermik sıcak ve mineralli su kaynağının rezervuarını oluşturan Üst Paleozoyik ve Kretase yaşlı dolomitler ve örtü kayaç niteliğinde olan silisleşmiş kireçtaşlarını bünyesinde bulunduran Karadut Karmaşığının yükselen sıcak suyun soğumasını engellemesi ve suyun dolaşımının kısa olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca rezervuar derinliğinin Karaali rezervuarına göre daha az olması ve ısı kaynağına yakın olması Eİ'nin yüksek olduğunun göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Bunun yanında tektonik olaylar sonucu olası fayların oluşması ve bunların muhtemelen ısı kaynağı mağmaya yakın olduğu varsayıldığında ve bu oluşum olaylarının tümünün bir doğal sistem olduğu dikkate alındığında, su sıcaklığının artması düşünülebilir. İnceleme alanında örneklenen sıcak su kaynağındaki Eİ değerine göre; Çermik sıcak ve mineralli su kaynağı Çizelge 4.1'deki değerlere göre "Yüksek Tuzlu" sınıfına girmektedir.

Çizelge 4.1.Elektriksel İletkenlik Değerleri ve Tuzluluk Sınıfları (Anonymous,1984)

Elektriksel İletkenlik (µohms/cm)	**Tuzluluk Sınıfı**
0–100	Tuzsuz
100–250	Az Tuzlu
250–750	Orta Tuzlu
750–2250	**Yüksek Tuzlu**
2250'den büyük	Çok Yüksek Tuzlu

4.5.1.3. Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH)

pH, sudaki hidrojen iyonu konsantrasyonu ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasında oluşan dengeyi gösterir. pH'ı 6.0-8.5 arasında değişen sular doğal yer altı suları olarak değerlendirilir. Ancak bazı termal sularda düşük pH değerleri de görülmesi mümkündür. Kirlenmemiş akarsuların pH'ı 6.5-8.5 arasındadır (Hem,

1985). Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini artırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asidik özelliğini artırmaktadır (Doğan, 1981).

Çizelge 4.2. Suların pH'a göre sınıflandırılması

pH	**Sınıfı**
> 8	**Bazik**
8,5 – 7	Bazik karekterli
7	Nötr
7 – 4,5	Asit karekterli
< 4,5	Asidik

Fiziksel çözünme sonucunda suda bulunan serbest karbondioksit, çözünerek meydana gelen hidratasyon olayı sonucunda karbonik asite dönüşmektedir. Buna bağlı olarak suyun pH özelliğine göre aşındırıcı veya çözücü şeklinde sınıflaması belirlenebilmektedir. Çalışma alanındaki Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait pH değerleri; Karaali için 7.92-8.39 aralığında, Çermik'in ise 7.07-7.30 aralığında olup, çalışma sırasında sıcak suların pH değerleri 10.14 ve 10.40 olarak ölçülmüştür. pH değerleri kaynak sularının Çizelge 4.2'e göre bazik özellikte olduğunu göstermektedir.

4.5.1.4. Bulanıklık

Bulanıklık, suda asılı kil silt, organik kolloidal maddeler ve mikroorganizmalardan meydana gelir. Bu maddeler 5 mg/l 'yi geçtiğinde içme suyunda sorun yaratabilir. Ayrıca suda bulunan demirin oksidlenmesi de bulanıklığı yaratabilir (Uslu ve Türkman, 1987).

Yapılan analizler sonucu inceleme alanı sıcak sularında bulanıklık (NTU) görülmemiştir.

4.5.1.5. Koku

Doğal sular normalde kokusuzdur. Bazı durumlarda; bakteriler çözünmüş gazlar, mineraller, çürümüş canlı artıkları suya koku verebilir. Suda bulunabilecek az miktardaki H_2S gazı suya çürük yumurta kokusu verir (Uslu ve Türkman, 1987).

İnceleme alanlarından Çermik kaplıcasında çürük yumurta kokusu, Karaali kaplıcasına göre daha fazla alınmaktadır. Bu da Çermik kaplıcasında hidrojen sülfürün (H_2S) hem varlığını hem de Karaali kaplıcasına göre daha fazla miktarda olabileceği şeklinde söylenebilir. Yerinde ve laboratvuar ortamında yapılan oksijen ölçümlerinde Çermik kaplıcası için, oksijen miktarı yok veya yok denecek kadar az, Karaali kaplıcasında ise oksijen miktarı 1.8 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.3). Çermik sıcak sularında, oksijen miktarının olmaması sudaki kükürt kokusunu artırmıştır. Karaali sıcak sularında oksijenin bulunması nedeniyle kükürt kokusu daha az hissedilmektedir. Bu durumda oksijenli ortamların, kokusuz çürüme olayını meydana getirdiği şeklinde söylenebilir.

4.5.1.6. Tad

Suların tadı içinde bulunan çözünmüş maddelere bağlıdır. Örneğin 300 mg/l klorür içeren sular tuzlu, 400-500 mg/l sülfatlı sular ise acı ve tuzludur. Sudaki organik kökenli azot bileşenleri tatlı tad verirler. Sülfür yataklarından gelen suların tadı asitlidir (Uslu ve Türkman, 1987).

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait sülfat değerleri; Karaali için 62.5-80.11 aralığında, Çermik'in ise 1-83.2 aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların sülfat değeri 38.33 ve 13.57 olarak çıkmıştır.

Aynı şekilde Karaali sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait Cl^- değeri 63.81-80.82 aralığında ve çalışma sırasında yapılan analizlerde Cl^- değeri 75.15 mg/l, Çermik kaplıcalarının 2003-2008 yıllarına ait Cl^- değeri 127.8-

179.73 aralığında ve çalışma sırasında yapılan Cl^- değeri 141.8 mg/l olarak bulunmuştur (Çizelge 4.3'e göre).

4.6. Karaali ve Çermik Sularının Kimyasal Özellikleri

Suların kendilerine has özellikleri, bulundukları ve içerisinden geçtikleri ortamlar hakkında genel bilgiler verir. Çünkü sular yeraltında bulunan çok farklı kayaçlarla temasta bulunurlar. Temasta bulundukları kayaçların erime ve çözünebilme durumlarına göre iyonların miktarı artar veya azalır. Bu iyonlar daha sonra yeraltı sularına karışır. Çözünen bu iyonların miktarı, yeraltı sularının sıcaklığına, hızına, kayaçlarla olan temas süresine, ortamın basıncına ve kayacın kökenine bağlı olarak değişmektedir. Tüm bu doğal oluşumlardan sonra ortaya çıkan suların kimyası oldukça önemli olup yeraltısuları kökeninin tespitinde büyük bir önem taşır. Ayrıca suların bu döngüsünde yağışların da rolü önemsenecek kadar büyüktür. Yağış suları bünyelerinde barındırdıkları çözünmüş kimyasal maddeleri yeraltı sularına taşır. Taşınan bu yağış suları yeraltı suları ile birleşerek veya karışarak farklı kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikte sular meydana getirirler. Bu özellikler ortamdaki kayaçların farklı olmasından dolayı suların bulundukları her ortamda farklı bir şekilde oluşur ve farklı parametreleri olan suların oluşumuna neden olurlar. Tıpkı inceleme alanlarında (Karaali ve Çermik) yapılan parametre değerlendirmelerinde farklı sonuçların çıkması gibi. Bu parametreler birçok değişik yöntem ve analizlerde kullanılarak suların kullanım alanları olan içme, sulama, kaplıca, endüstri, turizm vb yerlerde kullanım standartları ve nerelerde kullanılacakları hakkında önemli bilgiler verir.

4.6.1. Majör İyonlar

Majör iyon olarak adlandırılan Na^+ , Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+, Cl^-, HCO_3^- ve SO_4^{-2} iyonları, doğal suların toplam iyonik içeriğinin % 90'nından fazlasını oluştururlar.

Çalışma alanları olan Karaali ve Çermik'e ait sıcak ve mineralli su kaynağının majör iyon analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının 2003–2009 tarihleri arasındaki fiziksel özellikleri ve majör iyonları

SICAK SU KAYNAKLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ											
KARAALİ	***pH**	***Debi l/s**	***Sıcaklık °C**	***Elektriksel İletkenlik µmho/cm**	***Çözünmüş oksijen mg/l**	**Renk (Pt-Co skalası)**	**Bula-nıklık**	**Toplam çözünmüş katılar mg/l**	**% Na mg/l**	**SAR mg/l**	**Suyun sınıfı**
18.02.2003	7.92	-	43	880	-	10	15	572	19.5	0.9	C_3S_2
16.08.2003	8.16	-	44	860	-	10	15	558	19	0.9	C_3S_2
26.02.2004	8.06	-	42	870	-	10	15	564	17.39	0.7	C_3S_2
18.08.2004	8.1	-	46	870	-	10	15	564	17	0.7	C_3S_2
12.08.2005	8.42	-	45	800	-	10	15	512	17.79	0.8	C_3S_2
18.10.2005	8.39	-	44	930	-	10	15	596	16.3	0.8	C_3S_2
06.04.2006	8.39	-	44	770	-	5	10	492	18.01	0.7	C_3S_2
28.07.2006	8.4	-	46	865	-	10	15	552	16.16	0.7	C_3S_2
30.03.2007	8.39	-	41	860	-	10	15	560	18.53	0.9	C_3S_2
10.09.2007	8.36	-	41	900	-	-	10	574	20.31	1	C_3S_2
26.04.2008	7.93	-	42	920	-	10	15	588	18	0.9	C_3S_2
20.10.2008	8.21	-	42	950	-	10	15	608	14.99	0.7	C_3S_2
**06.04.2009	10.40	6	42	917	1.80	-	-	576	20.66	1.02	C_3S_2
ÇERMİK	***pH**	***Debi l/s**	***Sıcaklık °C**	***Elektriksel İletkenlik µmho/cm**	***Çözünmüş oksijen mg/l**	**Renk (Pt-Co skalası)**	**Bula-nıklık**	**Toplam çözünmüş katılar mg/l**	**% Na mg/l**	**SAR mg/l**	**Suyun sınıfı**
21.12.2004	7.30	-	-	1196	-	28.0	21.7	-	-	-	-
21.04.2005	-	-	-	1100	-	26.0	15.2	-	-	-	-
07.10.2008	7.07	-	51	1050	-	9.28	0	-	-	-	-
**10.04.2009	10.14	27	52	1120	0	-	-	654	39.21	2.55	C_3S_1

Çizelge 4.3'ün devamı

SICAK SU KAYNAKLARININ MAJÖR (KATYON VE ANYON) İYONLARI								
KARAALİ	**Ca^{+}**	**Na^{+}**	**Mg^{+2}**	**K^{+}**	**Cl^{-}**	**F^{-}**	**SO_4^{-2}**	**HCO_3^{-}**
18.02.2003	100	40.3	25.53	7.62	72.31	1.52	78.64	280
16.08.2003	100	34.8	25.53	8.98	74.32	1.52	72.5	280
26.02.2004	100.2	25.2	25.53	8.64	70.9	1.28	75	280
18.08.2004	100.2	26.6	25.53	6.35	72.31	1.52	72.5	280
12.08.2005	88.16	32.7	25.53	12.68	63.81	0.80	75	230
18.10.2005	110.22	36.4	24.32	9.42	77.99	1.52	68.32	285
06.04.2006	100.2	31.7	25.53	7.11	62.39	0.70	78.32	215
28.07.2006	100.2	32.9	25.53	6.37	80.82	1.00	66.66	250
30.03.2007	84.16	36.7	29.18	16.9	75.1	1.00	62.5	260
10.09.2007	88.17	42.2	26.75	15.1	77.99	1.52	78.32	260
26.04.2008	100.2	38.6	30.4	12.12	75.15	1.00	80.11	275
20.10.2008	104.2	32.7	34.08	10.83	77.99	2.50	75	285
**06.04.2009	110.22	44.2	18.24	14.50	75.15	0.9	38.33	280
ÇERMİK	**Ca^{+}**	**Na^{+}**	**Mg^{+2}**	**K^{+}**	**Cl^{-}**	**F^{-}**	**SO_4^{-2}**	**HCO_3^{-}**
21.12.2004	28.02	207	8.96	21.19	130.75	5.83	83.2	458.72
21.04.2005	33.87	231.4	11.18	25.7	127.8	5.1	63.77	494.1
07.10.2008	36.34	220.70	12.15	19.55	179.73	2.72	1.000	488
**10.04.2009	80.16	96.6	24.32	33.5	141.8	1.13	13.57	260

*Arazide yerinde ölçülmüştür.

** Tez çalışması için alınan sıcak su örneklerine ait analiz sonuçlarıdır.

2004–2005'te Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığında, 2008 yılında ise İstanbul Üniversitesi Balneoloji Laboratuarında yapılan sıcak su analizleri sonucunda ortaya çıkan Çermik kaplıcasına ait veriler, Çermik Belediyesinden, Karaali verileri ise DSİ XV. Bölge Müdürlüğü raporlarından elde edilmiştir.

4.6.1.1. Sodyum (Na^+)

Sulama sularında sodyum yüzdesinin artışı, topraktaki kalsiyum ve magnezyumla bazı değişimlere neden olur. Doğal sularda en yaygın olarak bulunan alkali metal sodyumdur. Magmatik kayaçlar, kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler, evaporitler (NaCl gibi) sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir (Goldschmidt, 1958). Yeraltı sularının doğal sodyum içeriği 6-130 ppm arasında değişmektedir. İçme ve kullanma suyu standartları sodyum için maksimum 200 ppm olarak belirlenmiştir (TSE, 2005). Sodyum iyon yüzdesi, sulama suları için önemli bir özelliktir.

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait sodyum değerleri; Karaali için 25.2-42.2 aralığında, Çermik'in ise 207-220.70 mg/l aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların sodyum değeri 44.2 ve 96.6 olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

4.6.1.2. Potasyum (K^+)

Potasyum yer kabuğunun % 2.5'ini oluşturur. Esas olarak da feldispatlarda, mikalarda, feldispatoidlerde ve kil minerallerinde bulunur. (Rankama and Sahama, 1950). Doğal sularda potasyum değeri genellikle 20 ppm değerini aşmamaktadır. Ancak bazı sıcak su kaynaklarında bu değer 100 ppm 'e kadar yükselebilmektedir (McNeely, Neimanis ve Dwyer, 1979). İçme suyu olarak tüketimde herhangi bir sınır değerine sahip değildir.

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait potasyum değerleri; Karaali için 6.37-15.1 aralığında, Çermik'in ise 19.55-25.7 mg/l aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların potasyum değeri 14.50 ve 33.5 olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

4.6.1.3. Kalsiyum (Ca^{+2})

Kalsiyum (Ca^{+2}); birçok magmatik kayaç mineralinin, özellikle amfibol, piroksen ve feldspatların ana bileşenidir. Tortul kayaçlarda kalsiyum çoğunlukla kalsit, dolomit, aragonit, jips ve anhidrit minerallerinde bulunur. Doğal sulardaki miktarı, suyun bulunduğu ortamdaki kayaçların bileşimi ile doğrudan ilişkilidir. Karbonatlı kayaçların bulunduğu bir ortamda Ca^{+2} miktarı 30-100 ppm arasında değişir (McNeely, Neimanis ve Dwyer, 1979). Ca^{+2}, suların sertliğini oluşturan ana iyonlardan bir tanesidir.

Toprağın bileşimindeki Ca ve Mg karbonat, bikarbonata dönüşerek suda çözünür. Fazla silikatlı topraklar daha az çözünür. Bu nedenle kalkerli tabakalardan geçen sularda killi tabakalardan gelenlere oranla daha fazla çözünmüş madde vardır.

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait kalsiyum değerleri; Karaali için 84.16-110.22 aralığında, Çermik'in ise 28.02-36.34 mg/l aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların kalsiyum değeri 110.22 mg/l ve 80.16 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

4.6.1.4. Magnezyum (Mg^{+2})

Magnezyum (Mg^{+2}); olivin, piroksen, amfibol ve koyu renkli minerallerin önemli bileşenlerindendir. Magnezyum tuzları oldukça yüksek bir çözünürlüğe sahiptirler ve Ca^{+2} tuzları çöktürüldükten sonra da çözeltide kalmaya devam ederler.

Doğal sularda 100 ppm'e kadar değişen derişimlerde bulunan Mg^{+2}, suların sertliğini oluşturan diğer bir iyondur. Ca^{+2} ve Mg^{+2}, un zehirleyici özellikleri bulunmamaktadır (Doğan, 1981).

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait magnezyum değerleri; Karaali için 24.32-34.08 aralığında, Çermik'in ise 8.96-12.15 mg/l aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların magnezyum değeri 18.24 mg/l ve 24.32 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

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

Suyun alkalinitesi, içerdiği çözünmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötralleşme kapasitesidir. Alkalinite, hemen hemen doğal suların çoğunda karbonat (CO_3^{-2}), bikarbonat (HCO_3^-) ve hidroksit (OH^-) iyonlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca silikat, fosfat iyonları ve organik maddeler de alkaliniteye katkıda bulunur (Gamsız ve Ağacık, 1981; Hem, 1985). Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel öğeler, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doygun olmayan bölgede üretilen gazlardır. Karbondioksit farklı bir şekilde, biyolojik olarak oluşan sülfat indirgenmesi ile karbonat kayaçlarının metamorfizması sonucunda da oluşabilmektedir. Alkalinite genel olarak doğal sularda 500 ppm değerini aşmamaktadır.

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait alkalinite değerleri; Karaali için 215-285 aralığında, Çermik'in ise 458.72-494.1 mg/l aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların alkalinite değeri 280 mg/l ve 260 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

4.6.1.6. Klorür (Cl^-)

Bütün doğal sularda klorür bulunur. Klorür, tüm doğal veya kullanılmış sularda çok yaygın bir şekilde bulunan iyon türüdür. Klorürün doğadaki dağılımı oldukça geniştir. Klorür, esas olarak sedimanter kayaçlarda özellikle de evaporitlerde bulunur. Denizlerde de büyük miktarda klorür vardır (Feth,1981). Ayrıca sodalit, batolit, hornblend gibi magmatik kökenli minerallerde ve şeylerde klorür iyonu bulunmaktadır (Feth, 1981; Hem,1985). Doğadaki yayılımı oldukça geniştir.

Kirlenmemiş doğal sulardaki değeri 5 ppm'i geçmez. Sulara klorür veren başlıca tuz sodyum klorürdür. Yüzey sularının birçoğunda klorür miktarı sülfat ve bikarbonattan daha azdır. Yağmur suyunda da ortalama 3 ppm klorür vardır. Bu değer havanını kirliliğine, denize uzaklık ve yakınlığa göre değişebilir. Volkanik kayalarda genellikle klorür azdır. Volkanik gazlar ve birçok sıcak su kaynaklarında fazla klorür vardır. Klorür, formasyonlarda çözünme yolu ile veya tuzlu su ve tatlı

suyun birbiriyle etkileşimleri sonucu sulara karışabilir. Klorür değeri 250 mg/l'den yüksek konsantrasyonda bulunması halinde tuz tadı oluşturmaktadır. Klorür suyun iletkenliğini artırdığı için korozyonu kolaylaştırır. Klorür konsantrasyonunun yüksek olduğu sularda; korrozif eğilim, tat veya yumuşatma prosesine ters etki ile varlığını gösterir (http://www.aquasu.com/su2.htm).

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait klorür değerleri; Karaali için 62.39-77.99 aralığında, Çermik'in ise 127.8-179.73 mg/l aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların klorür değeri 75.15 mg/l ve 141.8 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

Çermik kaplıca sularında klorür değerinin yüksek çıkmasının Karadut Karmaşığında bulunan şeyl ve silisli şeyllerden kaynaklandığı söylenebilir.

4.6.1.7. Florür (F^-)

Flor doğada silikatlarla, aynı zamanda florapatit olarak fosforla birlikte bulunduğu şekilde fluorit, kriyolit, topaz, turmalin, mikalar vb. yi içeren doğada oluşan birkaç mineralde bileşik bir şekilde bulunmaktadır. Flor elementinin yerkabuğunun yaklaşık % 0,0032' sini oluşturduğunu tahmin edilmektedir. Florür doğal sularda genellikle düşük konsantrasyonlarda bulunur. Ancak, volkanik kayalar, mika mineralleri (sirolit, florit, flor apatit) ve termal kaynaklar, doğal sularda yüksek florür konsantrasyonlarına neden olmaktadırlar. Flor ile ilgili yaygın araştırmalar diş sağlığı açısından yapılmıştır. 1,5–4 mg/l konsantrasyonlarında flor değeri dental ve iskelet sisteminde florosis hastalıklarına, sebep olabilmektedir. 0,5–1,5 mg/l konsantrasyonlarında diş sağlığına yararlı olup < 0,5 mg/l'den az olduğunda ise diş hassasiyetine sebep olabilmektedir. Florürün fazlası kemiklerin gelişmesi ve dişler için zararlıdır. Ancak belirli miktarlarda bulunması ise yararlı ve gereklidir. Örneğin ABD'de sulardaki florür 1 mg/lt'e kadar çıkarılarak diş sağlığı üzerindeki faydasından yararlanılmaktadır (http://www.aquasu.com/su2.htm). İçme ve kullanma suyu standartları florür için maksimum 1mg/lt olarak belirlenmiştir (TSE, 2005).

Öte yandan yer altı ve yüzey sularında jeolojik koşullara bağlı olarak flor bulunabilmektedir. Flor düzeyleri volkanik etkinlik alanlarında olan daha bazik ve

sıcak sularda daha yüksek olmaya eğilimlidir. Bu ortamlarda kalsiyum iyonları normal sıcaklıklarda yaklaşık 15 ppm olmakta ve flor iyonu düzeyide yaklaşık 8 ppm olmakta ve bu koşullarda fluorit derişimi CaF_2 ile denetlenmektedir (Atabey 2005).

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait florür değerleri; Karaali için 0.70-2.50 aralığında, Çermik'in ise 2.72-5.1 mg/l aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların florür değeri 0.9 mg/l ve 1.13 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

4.6.1.8. Sülfat (SO_4^{-2})

Sülfat çevre sularına doğal yollardan karışan en önemli iyonlardan biridir. Doğal suların her birinde farklı değerde sülfat bulunur. Sülfür bileşikleri, çeşitli reaksiyonlar sonunda oluşturdukları tat, koku, toksisite ve korozyon gibi problemleriyle önemli kirletici durumundadırlar. Kükürt, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayaçlarda yaygın olarak bulunmaktadır.

Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozundukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşmakta ve bu iyonlar suya geçmektedir. Kükürt (S), bitki ve hayvan yaşamı ile ilgili süreçlerde önemli rol oynar (Hem, 1985). Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat, insanlarda müshil etkisi gösterdiğinden, bunlar 250 mg/l üst sınır ile çerçevelendirilmiştir.. Hayvanlar için ise bu üst değer 1000 mg/l olarak belirlenmiştir. Ayrıca sülfatlar suya acımsı bir tat verirler (http://www.aquasu.com/su2.htm). İçme ve kullanma standartlarında sülfat değeri 250 ppm'i aşmamalıdır (TSE, 2005).

Suda yüksek sülfat değerinin bulunması; yüksek asitli su, yüksek sodyum tuzu ve yüksek sertlik olarak açıklanabilir (http://www.aquasu.com/su2.htm).

Karaali ve Çermik sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait sülfat değerleri; Karaali için 62.5-80.11 aralığında, Çermik'in ise 1-83.2 mg/l aralığında olup, çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların sülfat değeri 38.33 mg/l ve 13.57 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

4.6.2. Kirlilik Analizleri

Yüzey ve yeraltı sularına karışan azot bileşikleri doğal veya insan kökenli olabilir. Doğal azot yükleri su ortamlarında bulunan mikroorganizmalardan, yağışlardan ve yeraltından sulara karışan azot bileşiklerinden (amonyak, nitrit, nitrat) oluşur.

Yüzey sularının yeraltına sızması sırasında süzülen suyun içerdiği askıdaki katı maddeler toprağın gözeneklerinde tutulur. Suyun sızma ve yeraltına hareketi sırasında çözünmüş minerallerin derişimleri önemli ölçüde artar. Bu artış miktarı kayaç ve sedimentlerin mineral bileşimine bağlıdır. Yeraltı sularında en yüksek derişime sahip element iyonları kalsiyum ve magnezyumdur. Daha düşük derişimlerde bulunan demir ve mangan su temini ve özellikle su kullanımında önemli sorunlar yaratır. Genelde çok düşük derişimlerde bulunan arsenik, selenyum, kurşun, krom gibi metal iyonları toksik etkileri nedeniyle su kalitesi bakımından önem taşırlar (http://www.cemildogutekin.com/site/sar.pdf).

Çalışma alanında yer alan sıcak su kaynaklarında kirlilik tespitine yönelik örnekler derlenerek NH_4 , NO_2 , NO_3 , NH_3 , ve PO_4 analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Karaali ve Çermik kaplıcalarının 2003-2009 yıllarına ait kirlilik analiz sonuçları

SICAK SU KAYNAKLARININ KİRLİLİK ANALİZLERİ					
KARAALİ	**Nitrit (NO_2^-) mg/l**	**Nitrat (NO_3^-) mg/l**	**Amonyuım (NH_4^+) mg/l**	**Amonyak (NH_3^+) mg/l**	**Fosfat (PO_4^-)mg/l**
18.02.2003	-	40.04	-	0.4	008
16.08.2003	-	40.04	-	0.43	0.06
26.02.2004	-	38.76	-	0.46	0.08
18.08.2004	-	40.04	-	0.46	0.08
12.08.2005	-	40.04	-	0.46	0.16
18.10.2005	-	34.9	-	0.43	0.1
06.04.2006	-	41.73	-	0.43	0.09
28.07.2006	-	38.31	-	0.48	0.15
30.03.2007	-	22.9	-	0.46	0.08
10.09.2007	-	44.3	-	0.44	0.04
26.04.2008	-	38.31	-	0.46	0.1
20.10.2008	-	40.88	-	0.46	0.08
*06.04.2009	-	41.73	-	0.43	0
ÇERMİK	**Nitrit (NO_2^-) mg/l**	**Nitrat (NO_3^-)mg/l**	**Amonyuım (NH_4^+) mg/l**	**Amonyak (NH_3^+) mg/l**	**Fosfat (PO_4^-)mg/l**
21.12.2004	<0.001	0.1	<0.05	-	1.30
21.04.2005	<0.005	<1.0	0.9	-	0.69
07.10.2008	0.016	6.160	3.612	-	0.490
*10.04.2009	-	34.9	-	0.58	0
*Çalışma sırasında yapılan analizlerdir					

4.6.2.1. Amonyak (NH_3) ve Amonyum (NH_4)

Amonyak atmosferde ve yağmur suyunda genellikle karbonat gibi eser miktarda bulunur (http://ansiklopedi.bibilgi.com/amonyak). Amonyak ve amonyum formu sularda bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşiğidir. Amonyak ve tuzları suda çözünür, amonyum iyonu genellikle bir geçiş formudur (McNeely, Neimanis ve Dwyer, 1979). Doğal sulardaki amonyak derişimleri genellikle 0.1 mg/l'den daha düşüktür. Yeraltı sularındaki amonyak derişimi toprak tanelerinin ve kil minerallerinin adsorplanması nedeniyle daha düşüktür. Atıksularda ise 30 mg/l'den yüksek derişimlere rastlanabilir. Yeraltı sularındaki amonyak derişimi,

genellikle düşüktür. Bu nedenle balıkçılık yapılan sularda amonyak için tolerans sınırı 0,10 mg/l dir.

Amonyak içeren sularda bakteri üremesi nedeniyle dağıtım şebekelerinde bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır (McNeely, Neimanis ve Dwyer, 1979). İçme ve kullanma suyu standartlarında amonyak bulunmamalı ve amonyum 0.5 mg/l aşmamalıdır (TSE, 2005).

Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait amonyak değeri; Karaali için 0.46-0.4 mg/l aralığında olup, Çermik'te ise bulunmamaktadır. Çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların amonyak değeri 0.43 mg/l, Çermik'te ise 0.58 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.4'e göre).

Amonyum değeri ise, Çermik sıcak sularında için <0.05 -3.612 aralığında olup, Karaali'de amonyak değeri bulunmamaktadır (Çizelge 4.4'e göre).

4.6.2.2. Nitrit (NO_2)

Nitrit iyonu, sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşiğidir. Nitrit iyonu sularda oldukça yaygın olarak görülür ama nitrata oranla oldukça düşük miktarda bulunur. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında (nitrifikasyon) veya nitrat ve azotoksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunur. Yeraltısuyunda azotun kökeni ve nitrifikasyon-denitrifikasyon süreçleri $\delta^{15}N$ - $\delta^{18}O$ ilişkisi ile ortaya konabilmektedir. Suda nitritin bulunması organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını göstermektedir. Güneş ışığı ve bazı bakteriler nitratları nitrite dönüştürür. Nitrit, insan ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyicidir.

İnceleme alanı Karaali sıcak ve mineralli su kaynağından alınan su örneklerindeki analiz sonuçlarında nitrit değeri görülmemiş, Çermik'te ise yok denecek kadar az bir miktar görülmüştür. Nitrit, içme suyunda kesinlikle istenmeyen bir iyondur.

4.6.2.3. Nitrat (NO_3)

Nitrat, yeraltı sularına doğal kökenli unsurlardan çok antropojen kökenli olarak (suni gübreler ve katı atıklar) karışmaktadır (TAF, 2008).

Nitrat iyonu, sularda bulunan azotlu organik bileşiklerin son yükseltgenme ürünleridir. Nitratın ana kaynaklarından biri insan ve hayvan artıkları olduğundan 5 mg/l'den daha fazla nitrat içeriği kirlenme göstergesi olarak değerlendirilmektedir (McNeely, Neimanis ve Dwyer, 1979). Diğer taraftan magmatik ve volkanik gazlar sudaki nitrata yerel kaynaklık ederler. Yüzey sularında en kararlı azot bileşiği olan nitrat iyonunun yüksek çözünürlüğü, azot bileşiklerinin tamamen oksitlenmiş olmasının sonucudur. Yeraltısularında nitrat miktarı 450 mg/l'ye kadar çıkar. Azotlu gübrelerin kullanıldığı tarım alanlarında yeraltısularında nitrat derişimi 1000 mg/l'yi aşabilir.

Yüzey ve yeraltı sularındaki nitrat çoğunlukla organik veya insan kaynaklıdır. Bozunan bitkisel ve hayvansal atıklar, endüstriyel atıksular, tarımda kullanılan gübreler, sulamadan dönen sular, atmosferik azotun yağışlarla yıkanması, yüzey ve yeraltı sularındaki nitratı sağlayan başlıca kaynaklardır (Hem, 1985). Nitratın insan sağlığı üzerine olan etkileri göz önünde tutularak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 2005), içme sularında nitrat iyonunun 50 mg/l'den daha az olması gerektiğini önermiştir. Daha önceden bu miktar üzerindeki nitrat su değerlerinin bebekler için zararlı olduğu ve "mavi bebek" hastalığına sebep olduğu kabul edilmekteydi. Fakat son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda içme suyundaki nitrat ile bebeklerde methemoglobinemi oluşması arasında direk bir bağlantı kurulmasının yanlış olacağı, nitratın bu hastalık oluşmasında etkili olabilecek birçok faktörden biri olabileceği sonucuna varılmıştır (TAF, 2008). Sonuç olarak; su kaynaklarında nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), amonyak (NH_3) bileşiklerinin belirli değerlerin üstünde olması durumunda dolaylı ya da doğrudan insan sağlığını ve suda yaşayan diğer canlıları tehdit etmektedir.

Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait nitrat değeri; Karaali için 22.09-41.73 mg/l aralığında, Çermik'te 1.0-6.160 aralığında

bulunmaktadır. Çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların nitrat değeri 41.73 mg/l, Çermik'te ise 34.9 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.4'e göre).

4.6.2.4. Fosfat (PO_4)

Fosfor, sularda çeşitli fosfat türleri şeklinde bulunur. Fosfor mağmatik kayaçlarda bulunan en yaygın elementlerden biridir. Sedimanlar içinde oldukça yaygın olmasına karşın doğal sulardaki fosfat derişimi 1 [3]ppm'in çok altındadır (Hem, 1985). Yüzey ve yer altı sularındaki 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 etkilememektedir (McNeely, Neimanis ve Dwyer, 1979). TSE standartlarında fosfat için herhangi bir sınırlama getirilmemiştir.

Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait fosfat değeri; Karaali için 0.016-1.0 mg/l aralığında, Çermik'te 0.69-1.30 aralığında bulunmaktadır. Çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında fosfat değeri görülmemiştir. (Çizelge 4.4'e göre).

4.7. Ağır Metal Analizleri

Doğal sularda başlıca iyonlar Ca^{2+}, $Mg^{2+,}$ Na^{+}, HCO^{-}, SO^{2-}, Cl^{-} olup suyun içerdiği çözünmüş maddelerin % 90'ını oluştururlar.

Doğal sularda majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. Demir dışında diğer ağır metaller sularda 1 ppm veya 1 mg/l'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freze ve Cherry, 1979). Doğal sulara evsel ve endüstriyel atık sular ve madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıklar aracılığıyla bazen önemli miktarda ağır metaller katılabilir. Suyun dolaşımı sırasında temasta bulunduğu litolojik birimlerin yapısı da suların ağır metal

[3] 1 ppm = 1000 µg/l = 1 mg/l

içermesinin bir kaynağıdır. Ayrıca madencilik faaliyetleri ortaya çıkan katı atıkların yıkanması sonucu sulara Fe, Cu, Pb, Cr, Zn, Mn gibi metaller karışır.

Çalışma alanı su örneklerinde, arsenik (As), bakır (Cu), civa (Hg), demir (Fe), krom (Cr), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), alüminyum (Al), mangan (Mn), nikel (Ni), potasyum (K), ve gibi elementlerin ağır metal analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.5).

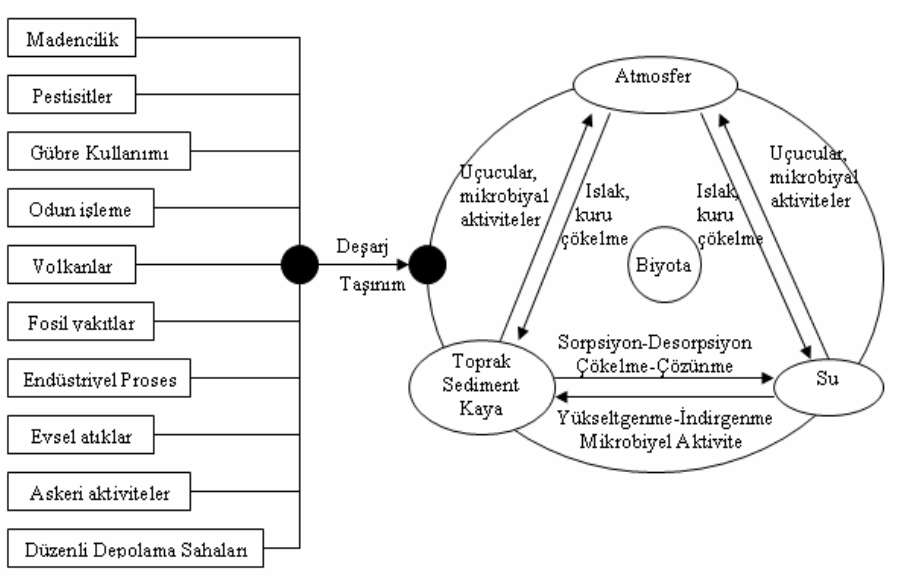
Çizelge 4.5. Karaali ve Çermik termal su kaynaklarının 2004-2009 yılları arasında yapılan ağır metal analiz sonuçları

AĞIR METAL ANALİZİ					
ELEMENTLER	**KARAALİ**	**ÇERMİK**			
	***06.04.2009**	**21.12.2004**	**21.04.2005**	**07.10.2008**	***10.04.2009**
As µg/l	-	0.001	0.001	3.612	-
Cu mg/l	0.004	0.001	0.0004	0.030	0.008
Hg µg/l	0	0.0005	0.0005	0.000	0
Fe mg/	0.01	0.09	0.0114	0.080	0.02
Cr mg/l	0.003	0.0005	0.0005	0.080	0.002
Cd mg/l	0.005	0.0005	0.0006	0.0009	0.003
Pb mg/l	0.005	0.008	0.001	0.003	0.004
Al mg/l	0.007	0.09	0.026	0.009	0.004
Mn mg/l	0.017	0.0074	0.0035	0.500	0.0011
Ni mg/l	0.010	0.0017	0.0005	0.000	0.007
*Çalışma sırasında yapılan analizlerdir. Karaali kaplıcasının 2009 yılından önce ağır metal analizleri yapılmadığından verileri elde edilememiştir.					

4.7.1. Arsenik (As)

Arsenik, hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe gibi elementlerle, Ni-Cu sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında, fosfatlı kayalarda, oksitlerde izlenir (Şahinci, 1991a). Arsenik, yerkabuğunda geniş bir alana yayılmış ve yerkabuğundaki ortalama konsantrasyonu 2 ppm olan, 5.78 g/cm^3 yoğunluğa sahip olan bir metaloiddir. Arsenik 200'den fazla mineral türünde bulunmakla beraber, doğada jeolojik olarak geniş bir alana yayılmış trivalent ve pentavalent formlarda yiyecek ve yeraltı sularında mevcut olup en çok bilinen minerali (FeAsS) arsenopirittir (Atabey, 2005).

Doğadaki oluşumu ve döngüsü Şekil 4.21'de verilen arsenik doğada hem doğal hem antropojenik kaynaklı olarak bulunabilir.



Şekil 4.21. Doğada arsenik döngüsü (Wang ve Mulligan, 2006)

Arsenik toprakta, bazı kaya türlerinde ve özellikle kurşun ve bakır içeren mineral ve cevherlerde doğal olarak bulunur. Rüzgârın taşıdığı toz, yüzeysel akış ve yeraltına sızma sonucu havaya ve suya geçebilir (Chou ve Rosa, 2003). Yüzeysel sularda ise bu değer 0.15 – 0.45 mg/l arasındadır (Bissen ve Frimmel, 2003). Arseniğin doğal kaynakları arasında kaplıcalar, ılıcalar, volkanik kayalar, çöküntü kayaları (organik/inorganik killer), başkalaşım kayaları, deniz suyu ve mineral çökeller yer alır (EPA, 2003a). Ayrıca volkanik hareketler, kaya erozyonu ve orman yangınları da arseniğin doğal kaynakları arasındadır (EPA, 2003b). Doğal sularda arsenik oluşumu akiferin jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal özelliklerine bağlıdır. Ayrıca karbonatlı kayalar, kireçtaşı/dolomit ve travertendeki kırık zonlar boyunca oluşan realgar ve orpiment formundaki epitermal jipsler ve volkano-sedimanter istiflerdeki volkanik kayalar da önemli arsenik kaynakları arasında bulunmaktadır (Doğan ve Doğan, 2007).

Doğada en çok bulunan arsenik türü olan inorganik arsenik yüzeysel su, yeraltı suyu ve deniz suyunda baskın olan tür iken organik arsenik türleri doğal gaz

ve petrolde baskın olan türlerdir (EPA, 2002). Arsenik oluşumuna neden olan en önemli insan aktiviteleri arasında zararlı bitki ve böcekleri yok eden tarım ilaçlarının kullanımı ve madencilik faaliyetleri gelmektedir (Mandal ve Suzuki, 2002). Türkiye'de 2005 yılında Resmi Gazete'de yayımlanan ve 2008 yılı başında geçiş süresinin bitmesi ile uygulanması zorunlu hale gelen İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ile arsenik için maksimum kirletici seviyesi 50 mg/l'den 10 mg/l'ye düşürülmüştür (TSE, 2005). Pek çok bölgede küresel ısınma, kuraklık, aşırı kullanım ve su yönetiminin iyi bir şekilde yapılamaması sonucu kuyu suyu seviyelerinde düşme gözlenmektedir. Su miktarının azalması ve suyun bulunduğu derinlikteki kaya türü, mineral ve cevher yapı arsenik konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Amerika Birleşik Devletleri Environmental Protection Agency (EPA) tarafından arsenik için güvenli sınır 50 μg/l'den 10 μg/l'ye indirilmiştir (Tunçok, 2009).

2004-2008 yıllarına ait ağır metal analizlerinde; Karaali sıcak sularında arsenik değeri görülmemekte, Çermik'te ise 0.001-3.612 μg/l aralığında görülmüştür. Çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında arsenik değeri görülmemiştir (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.2. 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 (Hem, 1985). Çeşitli sanayi atıklarıyla sulara karışabilen bakır için TSE içme suyu standartlarında 1.5 mg/ üst sınırı önermiştir.

2004-2008 yıllarında yapılan Çermik sıcak su analizlerinde bakır değeri; 0.001-0.030 mg/l aralığında, çalışma sırasında alınan Karaali sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında bakır miktarı 0.0004 mg/l, Çermik'in ise 0.0008 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.3. Civa (Hg)

Yer kabuğunda ve hemen hemen tüm mağmatik kayalarda benzer miktarlarda bulunur. Endüstriyel atıklarla denizlere, yılda 4-5 bin ton civa taşınmaktadır. Civa, endüstriyel atıklarla deniz suyuna geçer ve balıkların organizmalarında birikerek, dolaylı olarak insanları etkiler. TSE 266'ya göre civa için içme suyu standartlarında izin verilebilir bir sınır bulunmamaktadır.

2004-2008 yıllarında yapılan Çermik sıcak su ağır metal analizlerinde civa değeri; 0.0005 mg/l, çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında ise civa değeri görülmemiştir (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.4. Demir (Fe)

Demir magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlardaki birçok mineralde, toprakta ve alglerin yapısında yaygın olarak bulunur. Demir miktarının bazı termal kaynaklarda 10-100 ppm arasında değiştiği bilinmektedir (McNeely, Neimanis ve Dwyer, 1979). TSE tarafından demir için verilen üst sınır 1 mg/l'dir. Silikatlı bileşiklere sahip gnays, granit, mikaşist, volkanik kayalar da bol miktarda demir bulundurabilirler (Varol, Davraz ve Varol, 2009).

Çermik sıcak su kaynaklarının 2004-2008 yıllarına ait ağır metal analizlerinde demir miktarı; 0.09-0.0114 mg/l aralığında, çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında Karaali'nin 0.01 mg/l, Çermik'in ise 0.02 mg/l değerleri görülmüştür. (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.5. Krom (Cr)

Suların bileşiminde bulunan krom, kayaçlardan endüstriyel atıklardan ve tarımdan kaynaklanabilmektedir. Doğal sulardaki derişimi nedeniyle 0.01 ppm'in altındadır. Bununla birlikte suyun temasta olduğu kayacın bileşimine bağlı olarak bu derişim 0.2 ppm'e kadar artabilmektedir (Hem, 1985). Türkiye'de içme suyu standartlarında krom içeriği için önerilen üst sınır değeri 0.02 mg/l 'dir.

Çermik sıcak su kaynaklarının 2004-2008 yıllarına ait ağır metal analizlerinde krom miktarı; 0.0005-0.080 mg/l aralığında, çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında Karaali'nin 0.003 mg/l, Çermik'in ise 0.002 mg/l değerleri görülmüştür. (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.6. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, yeryüzünde eser miktarlarda bulunan ve özellikleri çinkoya benzeyen bir elementtir. Doğal suların kadmiyum içerikleri genellikle 0.001 ppm'den daha az olup, bununla birlikte bazı sularda 0.01 ppm'e kadar ulaşan derişimlerde bulunabilmektedir (McNeely, Neimanis ve Dwyer, 1979).

Çermik sıcak su kaynaklarının 2004-2008 yıllarına ait ağır metal analizlerinde kadmiyum miktarı; 0.0005-0.0009 mg/l aralığında, çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında Karaali'nin 0.005 mg/l, Çermik'in ise 0.003 mg/l değerinde görülmüştür. (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.7. Kurşun (Pb)

Kurşun, mağmatik ve metamorfik kayalarda, özellikle potasyum feldspatlar ve mikalarda bulunur. Kurşunun başlıca minerali galendir. Kayaç oluşturan birçok mineralin asıl yapısında yer alan kurşun, sularda doğal olarak bulunmakta, kayaçlardan ve insan faaliyetlerinden sağlanmaktadır. Kurşun, endüstriyel atıklar vasıtasıyla da yeraltı sularına ulaşabilmektedir (Varol, Davraz ve Varol, 2009). Doğal sularda Pb nadir olarak yüksek değerlere ulaşır (Hem, 1985). Bunun yanı sıra insanların kurşunu yaygın olarak kullanmaları (su boruları, benzin gibi), bunların çevresel olarak yaygınlaşmasını sağlamıştır. İnsan vücudunda birikim yaparak zehirli bir etkiye sahip olan kurşun için TSE 2005, içme suyu standartlarında izin verilebilir üst sınır olarak 0.05 ppm derişimini önermiştir. Kandaki kurşun konsantrasyonun 0.2 ìg/ml limitini aşması durumunda olumsuz sağlık etkileri gözlenmektedir (Şahinci, 1991b).

Çermik sıcak su kaynaklarının 2004-2008 yıllarına ait ağır metal analizlerinde kurşun miktarı; 0.001-0.008 mg/l aralığında, çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında Karaali'nin 0.005 mg/l, Çermik'in ise 0.004 mg/l olarak görülmüştür. (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.8. Alüminyum (Al)

Alüminyum, nefelin, lösit içeren alkali ve mağmatik kayaçlar, Ca-plajiyoklazlarca zengin bazaltik kayaçlar, nöritler ve granitoyitler ile özellikle bu kayaçların pegmatitik türevleri, kiltaşları, killi kireçtaşları ve bu kayaçların yüzeysel koşullarda gelişmiş bozunma ürünleri içinde bulunur (Gökçe, 1995).

Çermik sıcak su kaynaklarının 2004-2008 yıllarına ait ağır metal analizlerinde alüminyum miktarı; 0.026-0.09 mg/l aralığında, çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında Karaali'nin 0.007 mg/l, Çermik'in ise 0.004 mg/l olarak görülmüştür. (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.9. Mangan (Mn)

Mangan, magmanın kristallenmesi sırasında Fe^{+2} iyonu ile birlikte mafik yapıların yapısına girmekte ve özellikle amfibol grubu minerallerin ve biyotitlerin yapısında zenginleşmektedir. Granitoyitik ve andezitik bileşimli mağmatik faaliyetlerle ilişkili ve/veya bu kayaçları etkileyen hidrotermal çözeltilerden itibaren zaman zaman damar ve kontakt tipi zenginleşmeleri gelişebilmektedir (Gökçe, 2005). Mangan yeryüzü kabuğunda bol bulunan elementlerden biridir. Manganez yeraltı sularında hemen her zaman, yüzeysel sularda ise yılın bazı aylarında yüksek konsantrasyonlarda bulunması nedeniyle içme ve kullanma suları bakımından sorun yaratmaktadır. Mangan içme sularında istenmeyen renk ve bulanıklığa sebep olur.

İnceleme alanlarından Çermik sıcak su kaynaklarının 2004-2008 yıllarına ait ağır metal analizlerinde mangan miktarı; 0.0074-0.5 mg/l aralığında, çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında Karaali'nin 0.017 mg/l, Çermik'in ise 0.004 mg/l olarak görülmüştür. (Çizelge 4.5'e göre).

4.7.10. Nikel (Ni)

Nikel, yer kabuğunun minör elemanlarından biridir. Mağmatik kayaçlar içerisindeki ortalama nikel miktarı 80 ppm olarak hesaplanmıştır (Rankama and Sahama, 1950). Nikel, organik sedimanlar, asfaltitler bazen sedimanter demir oksitler içerisinde konsantre olarak, serpantinleşmiş peridotitler üzerinde, şistli formasyonlar içerisinde, granitik plütonlara bağlı, bazik ve ultrabazik kayaçlar ile bağıntısı olan ve metamorfik kayaçlar içerisindeki yataklarda bulunur (Routhtier, 1963). Nikelin bilinen biyolojik fonksiyonu olmamakla birlikte orta seviyede zehirleyici özelliği olduğu söylenebilir.

İnceleme alanlarından Çermik sıcak su kaynaklarının 2004-2008 yıllarına ait ağır metal analizlerinde nikel miktarı; 0.0017-0.0005 mg/l aralığında, çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerinin analiz sonuçlarında Karaali'nin 0.010 mg/l, Çermik'in ise 0.007 mg/l olarak görülmüştür. (Çizelge 4.6'a göre).

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), Avrupa Birliği (EC) ve Sağlık Bakanlığı'nın 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazetede yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İ.T.A.S.H.Y.) ile sularda bulunan majör iyon ve ağır metallere ait standartlar Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. İçme Suyu Standartları (TSE, 2005)

STANDARTLAR	TSE 266 (2005)	WHO (1998)	EPA (2002)	EC (1998)	İ.T.A.S.H.Y.
Sıcaklık (°C)	-	-	-	-	-
pH	6.5-9.5	6.5-9.5	6.5-9.5	6.5-9.5	6.5-9.5
Bulanıklık (NTU)	5	5	1	1	1
Koku	Normal	Yok	-	-	Yok
İletkenlik	2500	-	-	-	2500
TDS (mg/l)	-	1.00	5	-	-
Serbest Klor	-	5	-	-	0.5
Amonyum (mg/l)	0.5	1.5	-	0.5	0.5
Demir (mg/l)	0.2	-	0.3	0.2	0.2
Mangan (mg/l)	0.05	0.5	0.05	0.05	0.05
Alüminyum (mg/l)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Sülfat (mg/l)	250	250	250	250	250
Klorür (mg/l)	250	250	250	250	250
Sertlik °F	-	0.5	-	-	-
Nitrit (mg/l)	0.5	-	-	-	-
Nitrat (mg/l)	50	50	45	50	50
Bakır (mg/l)	2	-	1	2	2
Siyanür (mg/l)	0.05	-	-	-	0.05
Kurşun (mg/l)	0.01	0.05	0.05	0.01	0.025
Kadmiyum (mg/l)	0.005	0.005	0.01	0.005	0.005
Krom (mg/l)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Nikel (mg/l)	0.02	-	-	-	0.02

4.8. Çözünmüş Oksijen Miktarı

Suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısını anlamak için en çok başvurulan parametrelerden biridir. Sulardaki indirgeyici madde miktarını saptamak için gereken kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) ve suların mikroorganizmalar tarafından ne kadar

kirletildiğini saptamak için gereken biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD)'nin belirlenmesinde çözünmüş oksijen miktarı kullanılır. Çözünmüş oksijen su içinde çözünmüş halde bulunan oksijen konsantrasyonu olup katot reaksiyonu verir. Sudaki mineralin miktarı, oksijeni çözme yeteneğini etkiler. Arazi ölçümleri için portatif ölçüm cihazları kullanılır. Portatif cihazlar yoksa genellikle iyodometrik titrasyon metoduna başvurulur. Numuneye eklenen Mn^{2+}, çözeltideki çözünmüş oksijenle tepkimeye girerek yüksek oksitlenme basamağına dönüşür. Oksitlenen Mn, iyodür iyonunun (I^-) varlığında, yeniden Mn^{2+}'ya çevrilir. Bu arada çözeltide, oksijen miktarına eşdeğer iyot (I_2) açığa çıkar. Çözünmüş oksijen, standart tiyosülfat çözeltisiyle titre edilen iyot miktarından hesaplanır (http://www.aquasu.com/su2.htm).

Çözünmüş oksijen; oksijen suda orta derecede çözünebilen bir gazdır. Suyun deniz seviyesinde ve 1 atm. basınç altında, oksijene doygunluk derişimleri 0°C de 14.6 mg/L, 25 °C 'de 8.4 mg/l'dir. Çözünmüş oksijenin suda varlığı, sucul hayatın devamı ve suyun kalitesi açısından temel öneme sahiptir. Bundan dolayı, oksijen en çok kullanılan su kalitesi parametresidir. Doğal sulardaki çözünmüş oksijen miktarı, sıcaklık, tuzluluk, suyun karışımı (türbülans), ve atmosferik basınç gibi fiziksel şartlara bağlı olarak değişir. Sıcaklık, tuzluluk arttıkça suda çözünen oksijen azalır.

Karaali sıcak sularında çözünmüş oksijen miktarı 1.8 mg/l, Çermik sıcak ve mineralli suda ise çözünmüş oksijen miktarının olmadığı yerinde yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir (Çizelge 4.3). Çermik sıcak ve mineralli suda oksijen miktarının yok denecek kadar az olmasının anerobik çürümenin oluşumunu sağlaması, kaplıca alanında hidrojen sülfür, amonyak ve metan gibi kötü kokulu gazların daha fazla yaygınlaşmasına neden olduğu söylenebilir.

4.9. Toplam Çözünmüş Katı Madde (Total Dissolved Solids TDS)

Sudaki toplam çözünmüş katılar, inorganik tuzları ve az miktarda organik maddeleri içerirler. Gerek yüzey suları gerekse yeraltı suları ilişkide oldukları toprak ve taş malzemeden mineral çözerler. Çözünmüş inorganik maddeler suda iyon olarak bulunur Sular ağır metal iyonlarını (kurşun, civa, kadmiyum vb) ve organik maddeleri de içerebilirler.

Toplam çözünmüş maddesi çok düşük olan sular agresif ve koroziftirler. Bu nedenle özel kullanımlarda tedbir alınmalıdır. Toplam çözünmüş madde (TDS), suların mineral ve iyon zenginligini gösteren önemli bir parametredir. 1500 mg TDS/l derişimi "Tatlı Su" kaynakları için üst limittir. 5000 mg TDS/l derişimine sahip sular genel olarak "Acı Su" olarak tanımlanırken, daha fazla TDS içeren sular "Tuzlu Su" olarak tanımlanır (Çizelge 4.7'e göre). Sularda yüksek oranda TDS bulunması (> 2000 mg TDS/l) borular içinde tabakalaşmaya da sebep olabilir, içme suyundaki yüksek konsantrasyonları ishal etkisi gösterebilir. Bu özellikteki bir su, endüstriyel veya sosyal su temininde kısıtlı amaçlar haricinde kullanılamayacağı gibi, sulama suyu amaçlı olarak da kullanılamaz. Askı maddeleri suların estetik, içme, endüstriyel kullanım gibi çeşitli amaçlar için yararlanılmasını doğrudan etkiler. Doğal sularda, ışık geçirgenliğini azaltıp dip birikintilerine yol açarak ya da doğrudan zarar vererek su canlılarını etkiler. Kanallarda ve arıtma sistemlerinde önlem alınması ihtiyacını ortaya koyar (Erguvanlı ve Yüzer,1973).

Çizelge 4.7. Çözünmüş Toplam Katı Madde Miktarına Göre Su Sınıflandırılması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973)

Çözünmüş Katı Madde Miktarı (TDS) (mg/l)	**Sınıf**
0–1000	**Tatlı Su**
1000–10000	Acı Su
10000–100000	Tuzlu Su
100000'den fazla	Deniz Suyu

Karaali sıcak ve mineralli su kaynaklarının 2003-2008 yıllarına ait TDS miktarı; 492-608 mg/l aralığında olup, Çermik'in önceki yıllara ait TDS ölçümleri yapılmamıştır. Çalışma sırasında yapılan analizlerde sıcak suların TDS miktarı Karaali için 576 mg/l ve Çermik için 654 mg/l olarak çıkmıştır (Çizelge 4.3'e göre).

Çizelge 4.7 ‘deki TDS değerlerine göre inceleme alanı suları “Tatlı Su” grubuna girmektedir.

4.10. Su Kaynaklarının Kökeni

İnceleme alanlarından alınan sıcak ve mineralli sular için yapılan kimyasal analiz sonuçları ile bölgedeki su kaynaklarının kimyasal özellikleri ve litoloji ile olan ilişkileri incelenmiştir. Bu amaçla, yapılan kimyasal analiz sonuçlarından hazırlanan Schoeller ve Piper diyagramları ile sıcak su kaynaklarının birbirleriyle olan benzerlik ve farklılıkları ortaya konulmuştur.

4.11. Su Kaynaklarının İyon Karakteristikleri

Sıcak ve mineralli su kaynaklarının meq/l değerleri; aşağıda verilen bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

$$\text{meq/l} = \text{mg/l} * [\text{iyon yükü} / \text{mol kütle}] \quad \text{ya da}$$
$$\text{meq/l} = \text{mg/l} / \text{atom ağırlığı} \qquad (4.1)$$

Çizelge 4.8. Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının 2003–2009 tarihleri arasındaki meq/l değerleri

KUYU KARAALİ	Ca	Na	Mg	Cl	HCO_3	SO_4	K	Na+K	%Mg	%Ca	%Na+K
K1 18.02.2003	2.499	1.752	2.082	2.039	2.545	1.638	0.195	1.947	31.89	38.89	29.82
K2 16.08.2003	2.499	1.513	2.082	2.096	2.545	1.510	0.230	1.743	32.92	39.51	27.56
K3 26.02.2004	2.504	1.095	2.082	2	2.545	1.562	0.221	1.316	35.27	42.42	22.29
K4 18.08.2004	2.504	1.156	2.082	2.039	2.545	1.510	0.162	1.318	35.26	42.41	22.32
K5 12.08.2005	2.204	1.421	2.082	1.8	2.090	1.562	0.325	1.746	34.51	36.53	28.94
K6 18.10.2005	2.754	1.582	1.983	2.2	2.590	1.423	0.241	1.823	30.22	41.98	27.78
K7 06.04.2006	2.504	1.378	2.082	1.759	1.954	1.631	0.182	1.56	33.87	40.74	25.38
K8 28.07.2006	2.504	1.430	2.082	2.279	2.272	1.388	0.163	1.593	33.69	40.52	25.78
K9 30.03.2007	2.103	1.595	2.380	2.118	2.363	1.302	0.433	2.028	36.55	32.29	31.14
K10 10.09.2007	2.203	1.834	2.181	2.2	2.363	1.631	0.387	2.221	33.02	33.35	33.62
K11 26.04.2008	2.504	1.678	2.479	2.119	2.5	1.668	0.310	1.988	35.56	35.92	28.51
K12 20.10.2008	2.604	1.421	2.779	2.2	2.590	1.562	0.277	1.698	64.59	60.52	39.47
K13 *06.04.2009	2.754	1.921	1.487	2.119	2.545	0.798	0.371	2.242	22.926	39.731	34.56
ÇERMİK	**Ca**	**Na**	**Mg**	**Cl**	**HCO_3**	**SO_4**	**K**	**Na+K**	**% Mg**	**% Ca**	**%Na+K**
C1 21.12.2004	1.398	9.0	0.737	3.683	7.52	1.317	0.543	9.543	6.31	11.97	81.71
C2 21.04.2005	0.846	10.06	0.920	3.6	8.1	1.329	0.659	10.72	5.90	6.77	85.85
C3 07.10.2008	0.908	9.6	1.000	5.070	8.000	0.021	0.500	10.1	8.32	7.56	84.11
C4 *10.04.2009	2.003	4.2	1.983	4	2.363	0.282	0.858	5.058	21.92	22.14	55.92

*Çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerine ait analiz sonuçlarıdır.

2004–2005'te Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığında, 2008 yılında ise İstanbul Üniversitesi Balneoloji Laboratuarında yapılan sıcak su analizleri sonucunda ortaya çıkan Çermik kaplıcasına ait veriler, Çermik Belediyesinden, Karaali verileri ise DSİ XV. Bölge Müdürlüğü raporlarından elde edilmiştir.

Çalışma sırasında inceleme alanlarından alınan sıcak su kaynaklarının iyon içeriklerinin meq/l derişimine (Çizelge 4.8'e göre) göre hâkim iyon sıralaması ve bu sıralamaya göre oluşturulmuş su tipleri, Çizelge 4.9'da ortaya konulmuştur.

Çizelge 4.9. İnceleme alanından alınan su örneklerinin katyon-anyon sıralaması ve su tipleri (sıralama meq/l değerlerine göre yapılmıştır)

Kaynak Adı ve Örnekleme Yılı		Katyon Sıralaması	Anyon Sıralaması	Su Tipi
Karaali	2003-2008	Ca > Na > Mg > K	HCO_3 > Cl > SO_4	Ca - HCO_3
	*2009	Ca > Na > Mg > K	HCO_3 > Cl > SO_4	Ca - HCO_3
Çermik	2004-2008	Na > Ca > Mg > K	HCO_3 > Cl > SO_4	Na- HCO_3
	*2009	Na > Ca > Mg > K	Cl > HCO_3 > SO_4	Na - Cl
*Çalışma sırasında alınan sıcak su örneklerine ait analiz sonuçlarıdır				

Karaali sıcak ve mineralli suların, çalışma sırasında ve önceki yıllara ait analiz sonuçlarına göre; hâkim katyon Ca ve hâkim anyon ise HCO_3'dir Buna göre Karaali sıcak sularının Ca-HCO_3 su tipinde olduğu söylenebilir. Ayrıca Karaali sıcak ve mineralli suda Cl ve Na değerlerinin de yüksek olduğu, buna göre Na ve Cl iyonlarının ikinci yüksek katyon ve anyon oldukları Çizelge 4.9'a göre söylenebilir.

Aynı şekilde Çermik sıcak ve mineralli suların meq/l değerlerinin büyüklüğüne göre katyon-anyon sıralaması yapılmıştır. Çalışmada alınan Çermik sıcak ve mineralli su örneklerinin, hâkim katyonu Na ve hâkim anyonunun ise Cl olduğu görülmüştür. Buna göre sıcak suyun Na-Cl su tipinde olduğu söylenebilir. Kimyasal analizler sonucu Na ve Cl'den sonra ikinci yüksek katyon değerinin Ca, anyon değerinin ise HCO_3 olduğu Çizelge 4.9'a göre belirtilebilir. Çermik sıcak sularının 2004-2008 yıllarında yapılan analizlerine ait anyon ve katyon değerleri ile su tiplerinin belirlenmesi için Çizelge 4.8'de verilen iyon değerlerin ortalamaları

kullanılmıştır. Buna göre hakim katyon Na ve hakim anyon HCO_3 olup, su tipinin Na- HCO_3 olduğu söylenebilir (Çizelge 4.9). Ayrıca Ca-HCO_3 değerlerinin yüksek çıkması sıcak suyun bikarbonatlı kalsiyumlu olduğu şeklinde de belirtilebilir.

4.11.1. Suların Kimyasal Analiz Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi

İnceleme alanında yer alan kaplıca sularının hidrokimyasal analiz sonuçları elde edildikten sonra, litrede miliekivalen değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen değerler grafiklerde kullanılmışlardır. Suların kökenine ve fasiyes özelliklerine yönelik olarak seçilen Schoeller (1962) ve Piper (1944) diyagramlarından yararlanılmıştır.

4.11.2. Schoeller Diyagramı

Schoeller diyagramı, yerbilimciler tarafından uygulamada ana anyon ve katyonları kullandığı önemli bir yöntemdir. Bu diyagramları önemli kılan özellikleri, incelenen suların jenetik (kökensel) olarak bilinmesine ve karşılaştırması istenen suların yapılarını, aynı kökenden gelip gelmediğinin araştırılmasına olanak sağlamasıdır. Ayrıca suların formasyon tipleri ile olan ilişkilerini de açığa çıkarabilmesidir. Schoeller (1955) suları; klorür, sülfat ile karbonat miktarına, iyon baz değişimine ve anyon-katyon derişim ilişkilerine göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflama aşağıda verilmiştir:

Klorür Derişimi

- Hiperklorürlü sular : Klorür miktarı 700 meq/l'den doygunluğa kadar olan sular.
- Klorotalistik sular : Klorür miktarı 420-700 meq/l arasındaki sular. Deniz suyu bu sınıfa girer.
- Klorürce zengin sular : Klorür miktarı 140-420 meq/l arasındaki sular.

- Orta klorürlü sular : Klorür miktarı 40-140 meq/l arasındaki sular, devamlı içilebilen sularda bulunabilecek en yüksek klorür miktarı 40 meq/l'dir.
- Oligoklorürlü sular : Klorür miktarı 15-40 meq/l arasındaki sular.
- Olağan klorürlü sular : Klorür miktarı 15 meq/l'den az sular, yeraltı sularında çoğunlukla klorür miktarı 10 meq/l'den azdır.

İnceleme alanındaki su örneklerinin Cl değerleri Çizelge 4.8'e göre 4 ve 2,119 meq/l arasında olup 10 meq/l'den azdır. Bu duruma göre inceleme alanı suları Schoeller (1955) suları sınıflamasına göre olağan klorürlü sular sınıfında yer almaktadır.

Sülfat Derişimi

- Hiposülfatlı sular : Sülfat miktarı 58 meq/l'den fazla sular, deniz suyunda ortalama 58 mek/l sülfat bulunur,
- Sülfatlı sular : Sülfat miktarı 24-58 meq/l arasındaki sular. İçme sularında sülfat için üst sınır 24 meq/l 'dir.
- Oligosülfatlı sular : Sülfat miktarı 6-24 meq/l arasındaki sular.
- Normal sülfatlı sular : Sülfat miktarı 6 meq/l'den az sular. Yeraltı sularında çoğunlukla sülfat 6 meq/l'den azdır. Suların sülfat sınıflamasında şöyle bir ayrım yapılabilir:

a) Sülfatça doygunluğa yakın sular: $[(rSO_4^{=})(rCa^{++})]\ 0{,}5 > 70$ meq/1

b) Sülfatça doygunluğun altındaki sular: $[(rSO_4^{=})(rCa^{++})]\ 0{,}5 < 70$ meq/1

yine burada iki durum söz konusu olabilir: $rSO_4^{=} < rCa^{++}$ veya $rSO_4^{=} > rCa^{++}$

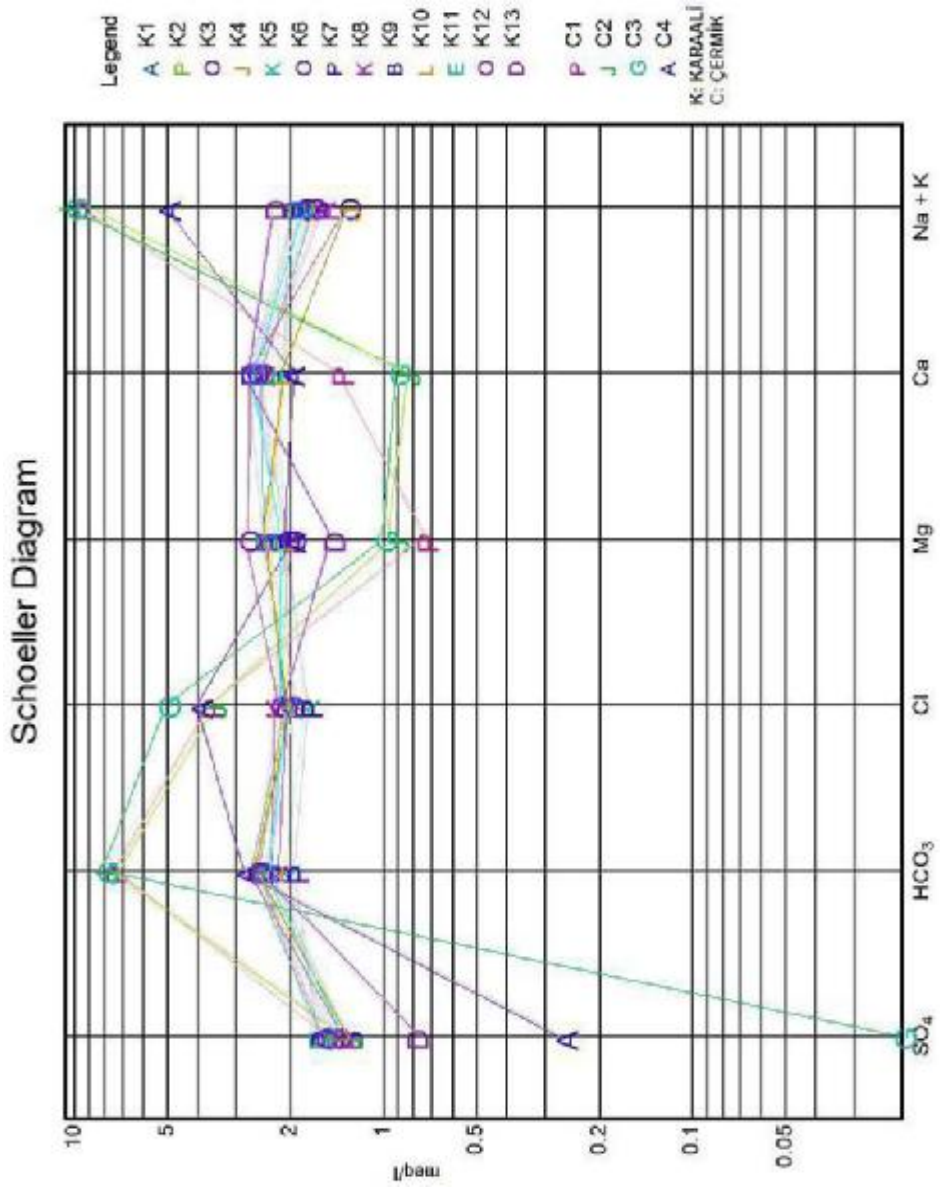
İnceleme alanındaki su örneklerinin SO_4 değerleri Çizelge 4.8'e göre 0,798 ve 0,2826 meq/l değerleri arasında yer almaktadır. Bu duruma göre inceleme alanı suları; sülfat miktarı 6 meq/l'den az olduğu için olağan sülfatlı sular sınıfındadır

Karbonat+Bikarbonat Derişimi

- Hiperkarbonatlı sular: HCO_3^- + CO_3^- toplam miktarı 7 meq/l'den fazla sular.
- Olağan karbonatlı sular: HCO_3^- + CO_3^- toplam miktarı 2-7 meq/l arasında bulunan sular. Genellikle yeraltı sularında bu değerler arasında karbonat ve bikarbonat bulunur.
- Hipokarbonatlı sular: HCO_3^- +$CO_3^=$ toplam miktarı 2 meq/1'den az sular (Şahinci, 1991a).

İnceleme alanındaki su örneklerinin HCO_3^- + CO_3^- değerleri Çizelge 4.8'e göre 2,545 ve 2,363 meq/l arasında olup karbonat+bikarbonat derişimine göre olağan karbonatlı sular sınıfındadır.

Çalışma sırasında ve önceki yıllara ait analiz sonuçlarına göre, Çermik ve Karaali sularının Schoeller diyagramı çizilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. İnceleme alanı sularının Schoeller Diyagramında sınıflandırılması

Her örneğin ayrı bir doğru ile temsil edildiği diyagramda kaplıca sularının meq/l değerlerini birleştiren doğruların birbirine paralel geçtiği görülmektedir (Şekil 4.22). Çermik ve Karaali sularının parallelik göstermesi, bu suların aynıı kökene sahip olduğu söylenebilir.

4.11.3. Piper Diyagramı

Suların genel anyon-katyon yapısını gösterebilmek amacıyla Piper diyagramı kullanılmıştır. Piper diyagramı anyon ve katyonların % meq/l cinsinden gösterildiği iki ayrı üçgen ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrojeokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, eşkenar dörtgen ise suların sınıflandırılması ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada Piper Diyagramı kullanılarak, çalışma alanında yer alan Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının karşılaştırılması ve bu suların sınıflandırılması, litoloji ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal evrim süreçlerinin ve dönemsel farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Piper diyagramına göre çalışma alanındaki sular 5 bölgede toplanmıştır.

Grup 1; sıcak su kaynakları Na^+ ve SO_4^{-2} minerallerince zengindir. Na - SO_4^{-2} 'li suları oluştururlar. Derin dolaşımlı kaynaklardır.

Grup 2; sıcak su kaynakları Ca^+ ve SO_4^{-2} minerallerince zengindir. Ca - SO_4^{-2} 'li suları oluştururlar.

Grup 3; sıcak su kaynakları Cl^- ve SO_4^{-2} minerallerince zengindir. Cl - SO_4^{-2} 'li suları oluştururlar.

Diyagram eşkenar bir üçgenin her kenarı 9 eşit parçaya bölünerek hazırlanmıştır. Anyon ve katyonları meq/l değerleri hesaplanarak, % cinsinden diyagrama işaretlenerek suların Piper'e göre sınıflaması yapılır. Bu diyagram 9 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelere göre sınıflaması şöyledir:

1. Bölge: $Ca^{++} + Mg^{++} > Na^+ + K^+$ Karbonatlı ve sülfatlı sular,
2. Bölge: Na+K > Ca+ Mg Tuzlu ve sodalı sular,
3. Bölge: $CO_3^{=} + HCO_3^{=} > Cl^- + SO_4^{=}$ (zayıf asit kökleri)

4. Bölge: $Cl^- + SO_4^{=} > CO_3^{=} + HCO_3^{=}$ (güçlü asit kökleri)

5. Bölge: HCO_3 ve $MgCO_3$'lü sular, karbonat sertliği > karbonat olmayan sertlik (karbonat sertliği > %50)

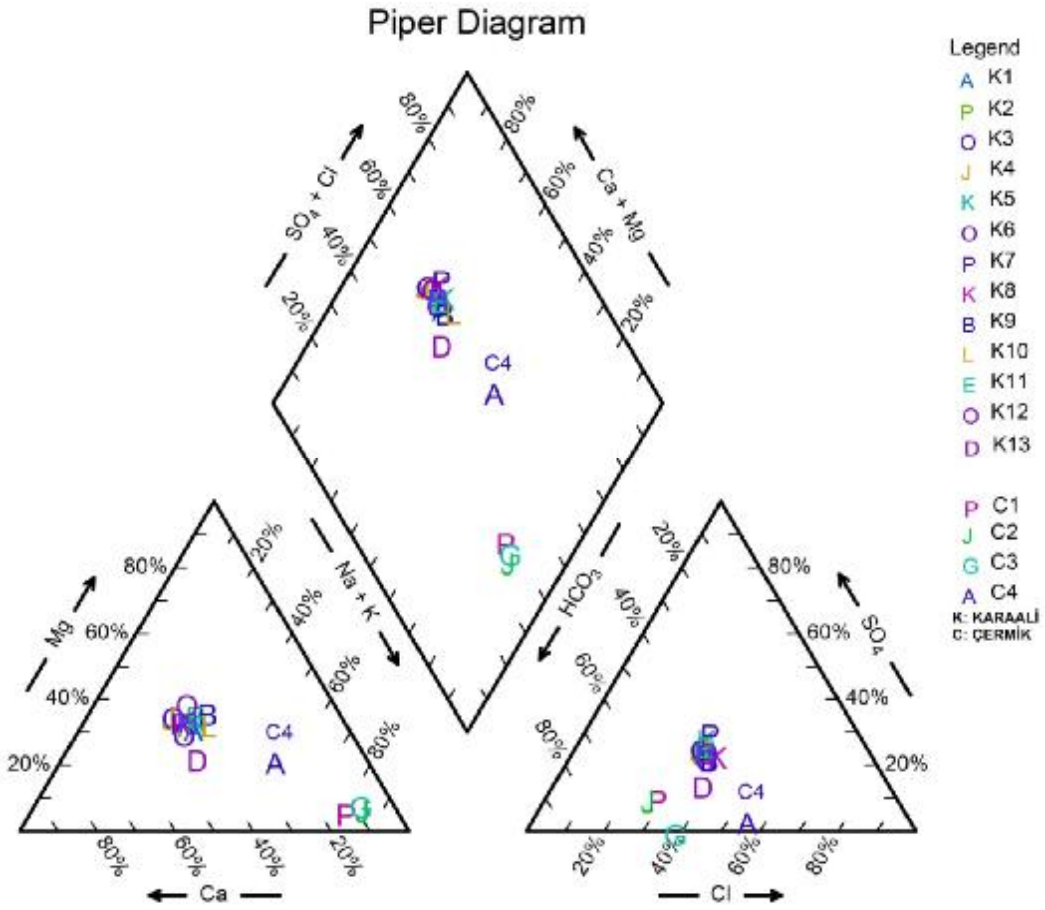
6. Bölge: $CaSO_4$ ve $MgSO_4$' lı sular, karbonat olmayan sertlik > karbonat sertliği (karbonat olmayan sertlik > %50)

7. Bölge: Karbonat olmayan alkalilik > karbonat alkaliliği, NaCl, Na_2SO_4 ve KCl'li sular, alkaliler ve güçlü asitler egemendir, (deniz suyu ve çok acı sular)

8. Bölge: Karbonat alkaliliği > karbonat olmayan alkalilik, (doğada az rastlanan çok yumuşak sular)

9. Bölge: Hiçbir iyonun oranı % 50'yi geçmeyen karışık suları nitelemektedir.

Çalışma alanı olan Karaali ve Çermik sıcak sularının, Piper diyagramındaki eşkenar dörtgene göre, iyonları % 50 'yi geçmeyen karışık sular sınıfında yer aldığı görülmüştür (Şekil 4.23). Ayrıca, Piper diyagramı üçgenlerinde Karaali sıcak sularının, 1. Bölge olarak adlandırılan karbonatlı ve sülfatlı sular ile güçlü asitlerin egemen olduğu 4. Bölgede yoğunlaştığı görülmüştür. Çermik sıcak sularının ise tuzlu ve sodalı sular olarak adlandırılan 2.Bölge ile zayıf asitlerin egemen olduğu 3.Bölgede yoğunlaştığı görülmüştür.



Şekil 4.23. İnceleme alanı sularının Piper Diyagramında sınıflandırılması

4.11.4. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Yapılan birçok araştırma sonucu dünyadaki çoğu ülkelerin su sıkıntısı içerisinde olduğu görülmüştür. Bu sıkıntılar içme ve sulamada büyük sorunlara neden olmaktadır. Dolayısıyla bu sıkıntıların giderilmesi için suyun etkin ve verimli kullanılması konusunda gerekli önlemler alınmaktadır. Ülkemizde yerüstü ve yeraltı su kaynakları envanterlerinin çıkarılması ve haritalanmaları, doğru yerde su kuyularının açılmasına izin verilmesi, toprak sulanmasının bilinçli yapılması ve özellikle bu alanda "Sulama Birlikleri" nin kurulması, su konusunda çiftçilerin, yerel yönetimlerin, eğitim kurumlarının, ilgili kamu kurum ve kuruluşlarının çalışmaları hızla yapılmaktadır. Ayrıca küresel ısınmanın da etkisiyle yeryüzünde meydana gelen olumsuzluklar için, asgari düzeyde etkilenme çalışmaları bilimsel olarak sürdürülmektedir. Bu nedenle özellikle tarımda sulama suyundan maksimum verim alabilmek için; sulama suyunun kimyasal özelliklerinin bilinmesine önem verilmektedir. Çünkü sulama suyunun özelliklerine bakıldığında, suyun içinde fazla miktarda çözünmüş iyonların, bitkiler ile tarım toprağını fiziksel ve kimyasal yollarla etkileyerek verimi düşürdüğü görülmüştür. Tuzlu sulardaki sodyum (Na^{+}) tabandaki kalsiyum (Ca^{++}) ile yer değişimi yaparak toprağın geçirgenliğini ve hava almasını azaltır. Bu da doğal olarak bitkilerin gelişimini yavaşlatır. Bundan dolayı sulama amaçlı kullanımlarda, suların sodyum miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Suların sulama suyu olarak uygunluğunun en önemli ölçütleri sodyum iyonu (Na) miktarı ve elektriksel (EC) kondüktivitedir. Bu suların kullanım sınırlarını belirleyen ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı ve Wilcox Diyagramlarında, bu iki parametre göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanındaki sıcak suların sulama için elverişli olup olmadığını belirlemek amacıyla, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Diyagramları kullanılmıştır. İnceleme alanından alınan ve analizi yapılan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları diyagramlara yerleştirilerek suların sınıfları belirlenmiştir.

ABD Tuzluluk Laboratuarı Diyagramı tarafından önerilen bu sınıflandırmada sular, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri

göz önüne alınarak, tuzluluklarına göre 4, sodyum miktarlarına göre 4 olmak üzere sular toplam 16 alt sınıfta toplanmıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Suların Tuzluluk ve Sodyum miktarlarına göre sınıflandırılması

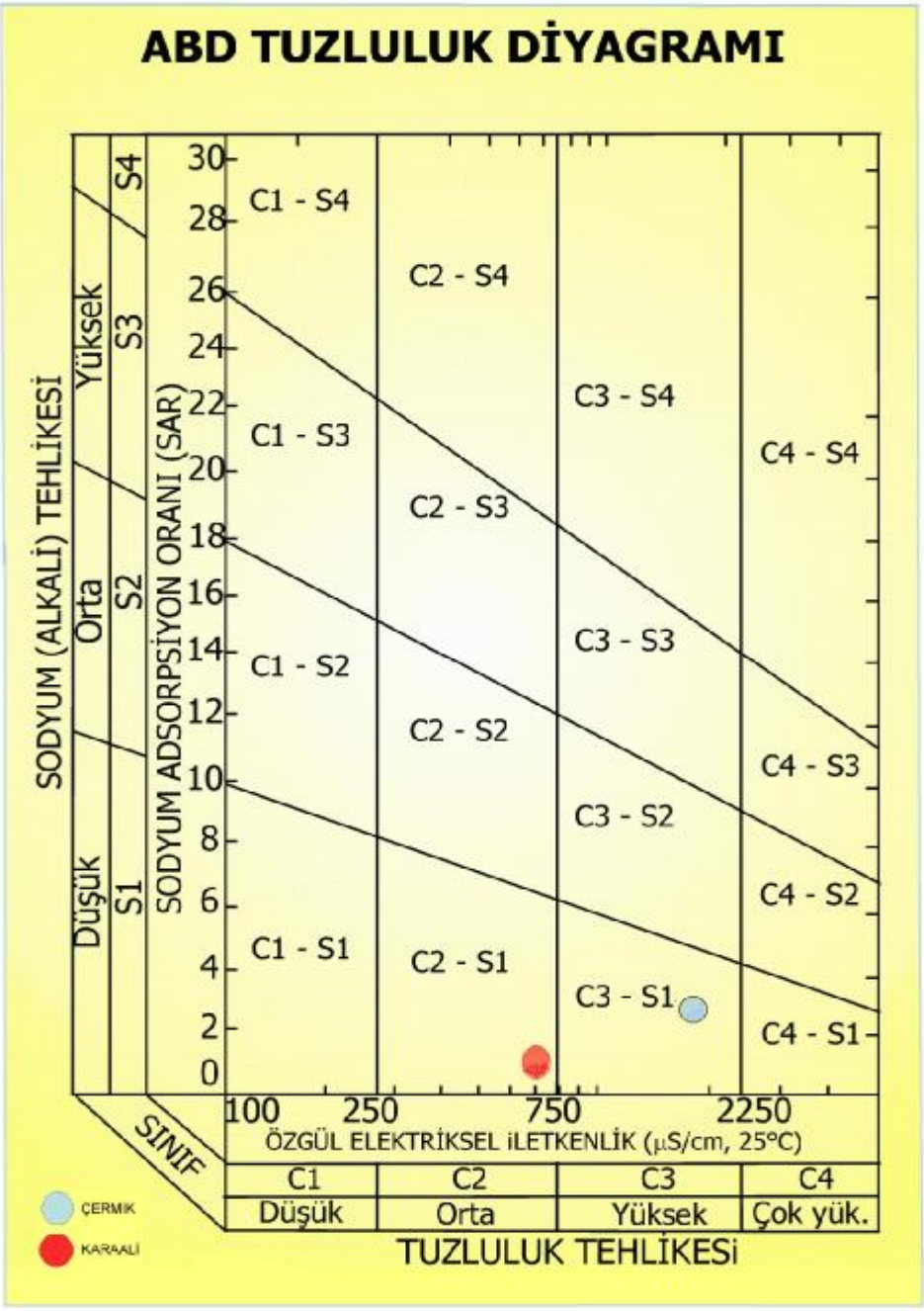
Tuzluluğa Göre Alt Sınıflama		**Sodyum Miktarına Göre Alt Sınıflama**	
C_1	Az tuzlu su. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir.	S_1	Az sodyumlu su. Sodyuma karşı çok duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygundur. Topraklarda sodyum tehlikesi yaratmaz.
C_2	Orta tuzlulukta su. Orta derecede tuza ihtiyacı olan bitkiler için kullanılabilir	S_2	Orta derecede sodyumlu su. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygundur. İnce yapılı topraklarda, çok iyi yıkama ve suya organik maddeler katılması şartıyla sodyum tehlikesi önlenebilir.
C_3	Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılmaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.	S_3	Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir. Çoğu toprak türlerinde sodyum tehlikesi oluşturur. Sodikleşmeye neden olur. Çok iyi yıkama, arazilerde bol su kullanılarak, suya organik maddeler katılarak ve periyodik olarak yapılacak kimyasal tahlillerle sodyum tehlikesi önlenebilir.
C_4	Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenaj yapılmış alanlarda bazı bitkiler yetişebilir.	S_4	Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılamaz. Jips ile beraber kullanılması ve suda kimyasal değişimler yapılarak özel durumlarda kullanılması mümkün olabilir.

Çizelge 4.10'da yer alan sınıflamalara göre sular tuzluluk ve sodyum içeriğine bağlı olarak alt sınıflamalara ayrılmıştır.

- C_1S_1 ve C_2S_1 her türlü sulamada,
- C_4S_1, C_3S_2 bazı özel koşullarda kullanılabilir,

- C_4S_2, C_4S_3 sulamada kullanılmaz,
- C_2S_1, orta tuzlu, az sodyumlu tüm topraklarda ve bitkilerde kullanılabilen su sınıfı,
- C_3S_1, tuzlu, az sodyumlu sulardır. Akaçlaması çok kötü olan arazilerde, sulamada kullanılamaz zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir.

İnceleme alanı içerisinde yer alan kaplıcaların su kimyası analizleri sonucunda ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre; Karaali kaplıcasının C_2S_1 ve Çermik kaplıcasının da C_3S_1 su sınıfında yer aldığı görülmüştür (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. ABD Tuzluluk Diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde; düşey eksende sodyum (alkali) tehlikesi ve tuzluluk tehlikesinin belirlenmesi amacıyla Sodyum Adsorbsiyon Oranı

(SAR kısaca S de denilir) değeri, yatay eksende ise elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri işaretlenmiştir.

SAR; Na^+ iyonunun iyon değişim tepkimelerindeki aktifliğin ifadesi olup, sodiklik yönünden suların sınıflandırılmasında kullanılan geçici bir ölçüdür (Doğan, 1981). Bikarbonat ve karbonat değerleri nispeten düşük olan suların değerlendirilmesi için SAR kullanılan bir ölçüttür (Çizelge 4.11). Sudaki meq/l sodyum, kalsiyum, magnezyum konsantrasyonları arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

SAR kavramı Na^+ 'nun tek başına değil, Ca^{+2} ve Mg^{+2} ile karşılıklı etkileşimi ve katyon değişimi tepkimelerindeki aktifliğini dikkate aldığı için % Na'a göre daha hassastır.

Çizelge 4.11. Sodyum Adsorpsiyon Oranına (SAR) göre sulama suları değerleri (SKKY, 1991)

SAR (%) Değeri	**Sulama Suları Sınıfı**
10'dan az	**Az sodyumlu sular (Çok iyi özellikte sulama suları)**
10–18	Orta derecede sodyumlu sular (İyi özellikte sulama suları)
18–26	Yüksek sodyumlu sular (Kullanılabilir sulama suları)
26'dan fazla	Çok yüksek sodyumlu sular (İhtiyatla kullanılabilen sulama suları)

Çizelge 4.3'te yer alan 2003-2008 yıllarına ait inceleme alanı sıcak sularının SAR değerleri; 0.7-1.0 mg/l aralığında, çalışma sırasında yapılan analizlerde ise 1.2-2.55 mg/l aralığında yer almaktadır. Buna göre sıcak suların SAR değerine göre, "çok iyi özellikte sulama suları" sınıfında yer aldıkları görülmüştür (Çizelge 4.11'e göre).

Jeotermal alanındaki doğal sıcak sular, sera ısıtılması gibi amaçlar için kullanıldıktan sonra tarım alanlarının sulanmasında değerlendirilmektedir. Kalitesi iyi olan bu termal sular tarımsal alanlarda toprak sıcaklığını yükselttiklerinden, erkenciliğe neden olabilmektedir. Kaplıcalardaki termal suların, çay, nehir gibi sular ile karışımından sonra sulanan, çevre sebze ve meyve bahçelerinde herhangi bir zararın gözlenmemiş olması bu termal suların kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir (Sevgican ve Eşder, 1984).

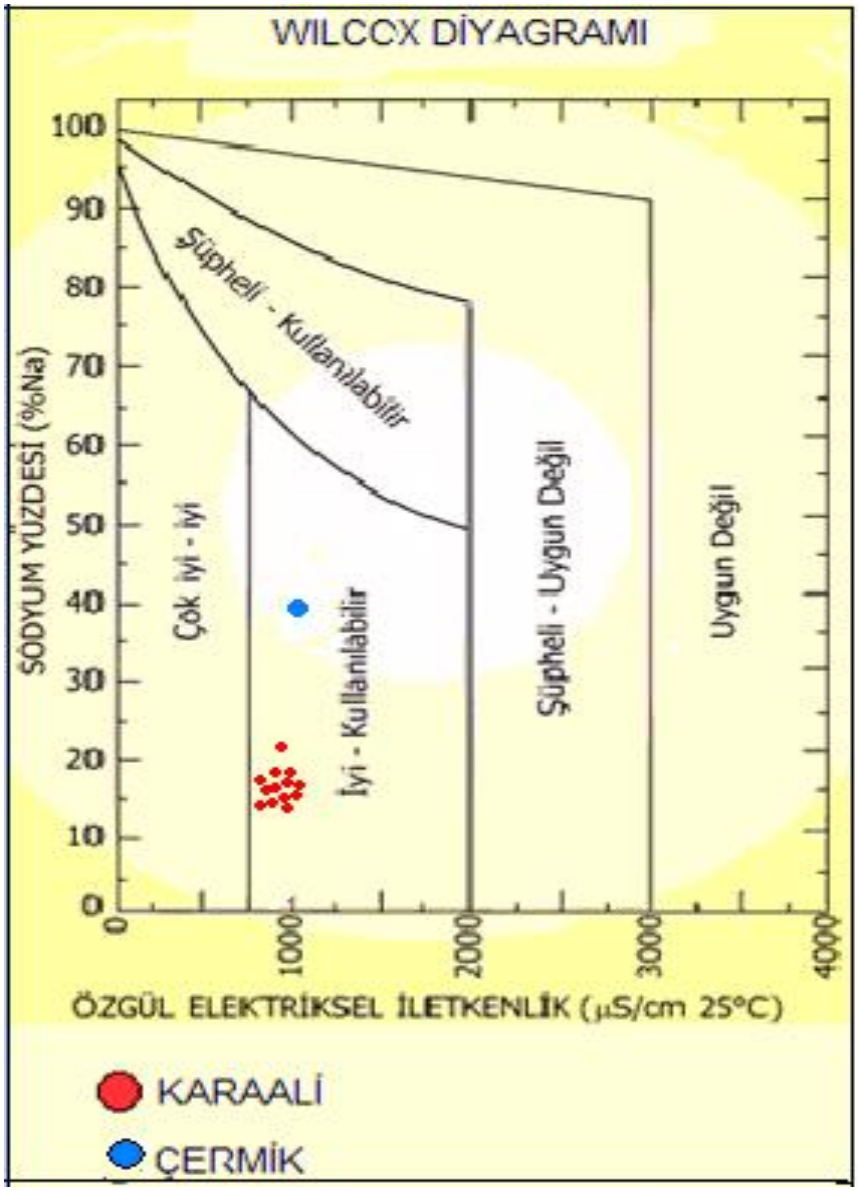
Jeotermal suların sulama suyu olarak kullanılıp kullanılmayacakları konusunda bir yargıya varmak ve tarım topraklarında olası zararlara neden olmalarını önlemek için bu suların kalitelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu suların kalitesinin saptanmasında suların bor içerikleri, karbonat (Na_2CO_3) miktarları, toplam tuzlulukları (elektriksel iletkenlikleri) ve sodyum katyonlarının diğer katyonlara oranı (SAR) üzerinde durulmalıdır (Sevgican ve Eşder, 1984; Ergüden, 1996).

Tunus'da 1980 yılların başında devletin sulama politikası termal suların tarımda kullanımı üzerine kurulu olup günümüzde bu ülkede termal sularla sulanan arazilerin toplamı daha da artmış ve termal suların % 95'i tarımsal amaçlı ve soğutulduktan sonra kullanılmaktadır. Tunus'da termal sular özellikle hurma ağaçlarının sulanmasında kullanılmaktadır (Mohammed, 2002).Bu suların kullanılmasından sonra toprak ve bitkiler üzerine olası tuz etkileri nedeniyle üretimin her aşamasında toprak ve bitki örneklerinin analiz edilmesi gerekmektedir (Yağmur ve Okur, 2009).

4.11.5. Wilcox Diyagramı

Karaali ve Çermik jeotermal alanındaki sıcak su kaynaklarının tarımda ve diğer alanlarda kullanımı ile ilgili olarak ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı ve Wilcox Grafik sistemine göre değerlendirilmiştir. Özellikle, suların sulama amaçlı kullanımlarının uygunluğunu belirlemek için, Wilcox (1955) diyagramında değerlendirmeleri yapılmıştır. Wilcox diyagramı; EC (µS/cm) ve Na (% Na) değerlerine göre suların sınıflandırılması için kullanılan bir diyagramdır (Şekil 4.25).

Wilcox Diyagramında su sınıfının belirlenmesinde şu yöntem kullanılır; düşey eksende % Na miktarı, yatay eksende elektriksel iletkenlik (EC) değerleri yer almaktadır. Suyun kimyasal analizlerinden % Na hesaplanarak düşey eksen üzerine işaretlenir ve bu noktadan yatay eksene bir paralel çizilir. Elektriksel iletkenlik (EC) değeri yatay eksende bulunarak bu noktadan bir dik çıkılır ve yatay eksene çizilen paraleli kestiği nokta, suyun özelliğini verir.



Şekil 4.25. Çalışma alanı su örneklerinin Wilcox Diyagramında gösterimi

Yukarıda belirtilen yönteme göre yapılan sınıflamada; Çizelge 4.4'te verilen 2003 ve 2009 yıllarına ait % Na miktarı ile elektriksel iletkenlik sonuçları kullanılmıştır. Ancak önceki yıllara ait analiz sonuçlarında, Çermik sıcak sularının % Na miktarı belirlenmediğinden, sadece çalışma sırasında yapılan % Na analiz değeri kullanılmıştır. Karaali ve Çermik sıcak suları; sodyum yüzdesine ve elektriksel iletkenliklerine göre, Wilcox diyagramında "iyi-kullanılabilir" sular sınıflamasında yer almaktadır.

4.11.5.1. Sodyum İyon Yüzdesi (%Na)

Suyun kimyasal bileşimi sulamada önemli faktörlerden biridir. Ancak bu su ile sulanan toprağın bileşimi, arazinin topoğrafyası, sulamada kullanılan su miktarı ve sulama metodu, yetiştirilen bitki, çeşitli iklim ve yağış dağılımı da sulamayı etkiler. Sodyum iyon yüzdesi, sulama suları için önemli bir özellik olup, sulama sularında sodyum yüzdesinin artışı topraktaki kalsiyum ve magnezyumla baz değişimine neden olur.

Sulama suyunun sınıflandırılmasında aşağıdaki etkenler önemli rol oynar.
Yüzde Sodyum (% Na^+) = Sodyumun sudaki katyon toplamına oranıdır.

$$\%Na = \frac{Na}{Na + Ca + Mg + K} x100$$

olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.4'te verilen 2003 ve 2009 yıllarına ait analizlerde % Na miktarı, Karaali için 14.99-20.31 mg/l aralığında olup, Çermik için önceki yıllara ait ölçümler yapılmamıştır. Çalışma sırasında yapılan analizlerde Karaali sıcak su % Na değerleri 15.23-20.66 mg/l aralığında, Çermik'in ise 39.21 mg/l olarak belirlenmiştir. % Na değerinin suda yüksek olması suya yumuşak olma özelliğini kazandırabilir.

4.11.6. Sertlik

Sabunu çöktürebilme özelliği suların sertlik durumunu ortaya koyar. Sabun öncelikli olarak, kalsiyum ve magnezyum iyonları ile çökelmektedir. Bunun yanında alüminyum, demir, mangan, stronsyum ve çinko gibi metallerle de çökelmektedir. Uygulama alanında bir suyun sertliği, içerisinde çözünmüş kalsiyum ve magnezyum tuzlarından ileri gelir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatları geçici sertliği veya karbonat sertliğini yine bu elementlerin klorür, nitrat, sülfat, fosfat ve silikatları ise

kalıcı sertlik verir. Her iki setliğe birden "sertlik bütünü" denir. İki sertliğin tayini içme ve endüstri suları için çok önemlidir.

$Ca + Mg + Na + K > CO_3 + HCO_3 + Cl + SO_4$ durumu geçici sertliği verir.

$Ca + Mg + Na + K < CO_3 + HCO_3 + Cl + SO_4$ durumu kalıcı sertliği verir.

Sulardaki geçici sertlik suların kaynatılma durumuyla giderilir. Kalıcı sertlik kalsiyum ve magnezyum ile sülfat ve klorürden meydana geldiğinden kaynatılması halinde bile sertliğin giderilmesi mümkün görülmemektedir.

Kullanılan başlıca sertlik birimleri şunlardır:

Fransız sertlik derecesi: 10 ppm $CaCO_3$ / litre

Alman sertlik derecesi: 10 ppm CaO / litre

İngiliz sertlik derecesi: 1 grain (0.0648 g) $CaCO_3$ / İngiliz galonu (4.5435 litre)

Amerikan sertlik derecesi: 1 grain (0.0648 g) $CaCO_3$ / Amerikan galonu (3.785 litre)

Rus sertlik derecesi: 0.001 g Ca/l

Toplam Sertlik (T.S) = (ppm $CaCO_3$ veya $CaCO_3$ mg/l)

1 Fransız sertliği (ppm) =0.1x $CaCO_3$

Ülkemizde Fransız Sertlik Derecesi kullanılmaktadır.

Çizelge 4.12. Sertlik dereceleri ve ülkelere göre dönüşüm değerleri (DSİ, 1981)

	ppm	**D e r e c e**				
	$CaCO_3$	**İngiliz**	**Amerikan**	**Fransız**	**Alman**	**Rus**
ppm veya mg/l $CaCO_3$	1.00	0.07	0.058	1.10	0.056	0.40
İngiliz sertlik derecesi	14.19	1.00	0.83	1.43	0.80	5.72
Amerikan sertlik derecesi	17.16	1.20	1.00	1.72	0.96	6.86
Fransız sertlik derecesi	10.00	0.70	0.58	1.00	0.56	4.00
Alman sertlik derecesi	17.86	1.25	1.04	1.79	1.00	7.14
Rus sertlik derecesi	2.50	1.18	0.15	0.25	0.14	1.00
Meq $CaCO_3$	50	3.50	2.90	5	2.80	20.04

Kalsiyum ve magnezyum iyonlarının dışındaki iyonlardan ileri gelen sertlik için aşağıdaki değerler kullanılır. Bu iyonların mg/l değerleri verilen faktörlerle çarpıldığında mg/l $CaCO_3$ 'a çevrilmiş olur.

Katyon	**Faktör**
Sr	1.142
Fe	1.792
Al	5.565
Zn	1.531
Mn	1.822

Sertlik suda çözünmüş haldeki kalsiyum (Ca^{+2}), magnezyum (Mg^{+2}) ve demir (Fe^{+2}) miktarının bir fonksiyonudur. Kalp hastalığı ölümlerindeki değişkenlik içme suyunun kimyasal bileşimi, özellikle sertliği ile ilginç ilişkiler göstermektedir. Bu elementlerin yüksek konsantrasyonlarda olması suyun sertliğini artırır. Bu elementlerin suda az bulunması ise suyun yumuşak olmasını sağlar. Değişik ülkelerde yapılan çalışmalar, yumuşak su içen toplumların sert su içenlere göre daha yüksek oranda kalp hastalığına yakalandığını göstermektedir (Schroeder, H.A.,1966).

Çizelge 4.13. Çeşitli ülkelerin Sertlik birimlerine göre suların sınıflandırılması (Oğur ve Tekbaş, 2005)

Suyun Sertliği	**Fransız**	**İngiliz**	**Alman**
Çok yumuşak	0-4	0-5	0-7.2
Yumuşak	5-8	6-10	7.3-14.2
Orta sert	9-12	11-15	14.3-21.5
Oldukça sert	13-18	16-22.5	21.6-32.5
Sert	19-30	22.5-37.5	32.6-54.0
Çok sert	30'dan	37.5'den	54'ten

Çizelge 4.14. İnceleme alanı sularının 2003-2009 yılı toplam sertlik değerleri

KARAALİ	Toplam Sertlik ($CaCO_3$) mg/l	ÇERMİK	Toplam Sertlik ($CaCO_3$) mg/l
18.02.2003	35	21.12.2004	
16.08.2003	35	21.04.2005	
26.02.2004	35	07.10.2008	14.1 Fr^o S
18.08.2004	35	*10.04.2009	300
12.08.2005	32.5		
18.10.2005	37.5		
06.04.2006	35.5		
28.07.2006	35.5		
30.03.2007	33		
10.09.2007	33		
26.04.2008	37.5		
20.10.2008	40		
*06.04.2009	350		

Çizelge 4.14'e göre önceki yıllara ait Karaali kaplıcası toplam sertlik analiz değerleri ile çalışma sırasında yapılan analiz değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Ancak Çermik kaplıcasına ait toplam sertlik analiz değerleri düzenli olarak yapılamamıştır. Bu nedenle, sıcak suların sertlik değerinin belirlenmesinde, çalışma sırasında yapılan analiz sonuçları kullanılmıştır. Yukarıda verilenlere göre inceleme alanı sıcak sularının sertliği pratik olarak;

Toplam Sertlik (T.S) = (ppm $CaCO_3$ veya $CaCO_3$ mg/l)

1 Fransız sertliği (ppm) =0.1x $CaCO_3$

$T.S_{Karaali}$ = 1 Fransız sertliği (ppm) x Toplam sertlik ($CaCO_3$ mg/l)

$T.S_{Karaali}$ = 0.1 x 350

$T.S_{Karaali}$ = 35

$T.S_{Çermik}$ = 0.1 x 300

$T.S_{Çermik}$ = 30

bulunur. İnceleme alanı suları pratik hesaplamada Çizelge 4.13'teki Fransız sertliği değerlerine göre " sert ve çok sert su" sınıfına girdiği görülmüştür.

4.11.7. Sıcak Su Kaynaklarının Kalsite Doygunluğunun Hesaplanması

Sıcak suların kalsite ($CaCO_3$) doygunluğunun hesaplanmasında öncelikli olarak iyonların molalite değerlerinin bilinmesi gerekir. Termal ve mineral sularının hidrojeokimyasal değerlendirilmesi için çözünmüş iyon ve bileşiklerin termodinamik davranışlarının bilinmasi gerekir. Tüm çözeltilerde olduğu gibi jeotermal akışkanların içindeki bir bileşiğin termodinamik hareketi ise bu bileşiğin derişimi (konsantrasyonu) yerine etkinliğiyle belirlenmektedir. Laboratuvarda kimyasal analiz sonucunda ölçülen iyon ve bileşikler çoğu kez litrede miligram (mg/l), 1 kilogramda miligram (mg/kg), milyonda bir kısım (ppm) olarak belirlenir. Sulu çözeltilerde bu derişim birimleri yaklaşık özdeştir. Birçok hidrokimyasal değerlendirme çözünmüş her bir iyonun eş değer ağırlığının (mili ekivalan değerinin) ve yüzdelerinin belirlenmesi ile molaritelerinin hesaplanması ile yapılmaktadır (Tarcan, 2002). İyonların molalite değerleri aşağıda verilen formül ile belirlenmektedir.

$$M_i = C_i / P_i \times 1000 \quad \text{(Tarcan, 2002)} \qquad (4.2)$$

C_i = Her bir iyonun derişimi (mg/l, mg/kg veya ppm)
P_i = Her bir iyonun formül gram ağırlığı
Başka bir deyişle;

$$\text{Molalite} = \text{mg/l} \times 10^{-3} / \text{formül ağırlığı}$$

Çizelge 4.8'e göre önceki yıllara ait değerler ile çalışma sırasında elde edilen değerlerin birbirine yakın olmasından, sıcak suların molalite değeri ve iyonik kuvvetinin belirlenmesinde, çalışma sırasında yapılan analiz sonuçlarının kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarına ait iyonların mg/l cinsinden değerleri aşağıda Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Alınan örneklerdeki majör iyonlar (mg/l)

Örnek İsmi	Ca^{++}	Na^{+}	Mg^{++}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO^{-2}_4
Karaali	110.22	44.2	18.24	75.15	280	38.33
Çermik	80.16	96.6	24.32	141.8	260	13.57

Sıcak su kaynaklarının molalite değerleri hesaplanmış ve aşağıda Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Alınan örneklere ait iyonların molalite değerleri (x 10^{-3})

Örnek İsmi	**Ca^{++}**	**Na^{+}**	**Mg^{++}**	**Cl^{-}**	**HCO_3^{-}**	**SO^{-2}_4**
Karaali	2.758	1.921	1.487	2.116	4.590	0.798
Çermik	2.003	4.2	1.983	3.994	4.262	0.282

Tuzlulukla ilişkili termodinamik bir terim olan İyonlaşma Gücü veya İyonik Kuvvet (I);

$$I = 0.5 \Sigma C_i Z_i^2 \quad \text{(Tarcan, 2002)} \qquad (4.3)$$

bağıntısıyla tanımlanır.

C_i = Her bir iyonun molarite olarak derişimi

Z_i = Her bir iyonun değerliği

Başka bir deyişle;

$I = ½ \Sigma m Z_i^2$ şeklinde de hesaplanır.

Seyreltik suların iyonlaşma güçleri düşük, derişik suların ise yüksek değerdedir. Örneğin deniz sularının iyonlaşma gücü 0.7 mol civarında iken, seyreltik

tatlı sular (göl suyu, akarsu, yer altı suyu vb) 0.003-0.01 mol gibi değerler alabilmektedirler (Tarcan, 2002).

Yukarıda verilen 3 nolu formüle göre inceleme alanı kaplıcalarının iyonlaşma gücü veya iyonik kuvveti şu şekilde hesaplanır:

Karaali kaplıcası için;

$$I_{Karaali} = ½ [4 (Ca^{++}) + 4 (Mg^{++}) + (Na^{+}) + 4 (SO^{-2}_{4}) + Cl^{-} + HCO_3^{-}]$$

$$I_{Karaali} = ½ [4 (2,758) + 4 (1,487) + 1,921 + 0,798 + 2,116 + 4,590$$

$$I_{Karaali} = 0,0144$$

Çermik kaplıcası için;

$$I_{Çermik} = ½ [4 (Ca^{++}) + 4 (Mg^{++}) + (Na^{+}) + 4 (SO^{-2}_{4}) + Cl^{-} + HCO_3^{-}]$$

$$I_{Çermik} = ½ [4 (2.003) + 4 (1,983) + (4,2) + 4 (0,282) + 3,994 + 4,262]$$

$$I_{Çermik} = 0.0147$$

Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarına ait molalite ve iyon değerleri kullanılarak 3 nolu formüle göre hesaplanarak Çizelge 4.17'de verilmiştir.

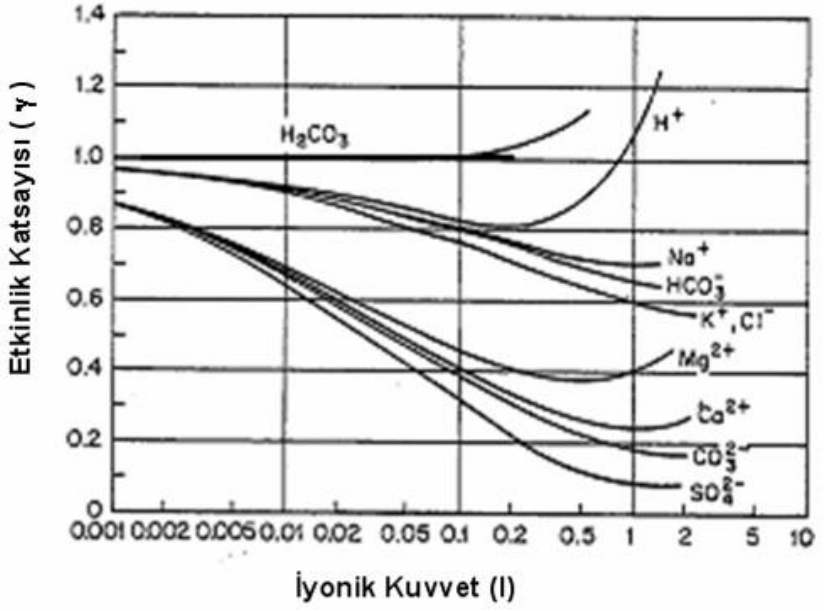
İyonik oranlar, suları birbirleri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimlerini araştırmak ve diyagramlara işlenmesindeki hesaplamaları kolaylaştırmak için bulunurlar (Tarcan, 2002).

Çizelge 4.17. Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının iyonik kuvvet değeri (x 10^{-2})

Kaplıca Adı	**Karaali**	**Çermik**
İyonik Kuvvet (I)	0.0144	0.0147

Sıcak su kaynaklarına ait iyonik kuvvet değerleri kullanılarak iyonlara ait etkinlik katsayısı (γ_i) Çizelge 4.18'de verilen abak yardımıyla belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Etkinlik katsayısı-İyonik şiddet grafiği (Freze ve Cherry, 1979)



Majör iyon değerleri Çizelge 4.18'deki abak yardımıyla belirlenmiştir.

Çizelge 4.19. Alınan örneklerdeki majör iyonlar (etkinlik katsayısı)

Kaplıca adı	Ca^{++}	Na^{+}	Mg^{++}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO^{-2}_4
Karaali	0.63	0.96	0.70	0.93	0.91	0.64
Çermik	0.62	0.95	0.69	0.92	0.90	0.63

Jeotermal akışkanların (termal ve mineral suların) hidrojeokimyasal değerlendirilmesi için çözünmüş iyon ve bileşiklerin termodinamik davranışlarının bilinmesi gerekir. Tüm çözeltilerde olduğu gibi jeotermal akışkanların içindeki bir bileşiğin termodinamik hareketi ise bu bileşiğin derişimi (konsantrasyonu) yerine etkinliğiyle (aktivitesi) belirlenmektedir.

İnceleme alanındaki kaplıcalara ait iyon etkinlik (aktivite) katsayısı değerleri belirlendikten sonra her iyon için aktivite (ai) değeri hesaplanmaktadır.
Bir iyonun etkinliği (ai);

$a_i = M_i \cdot \gamma_i$ (Tarcan, 2002) (4.4) γi = iyon etkinlik katsayısı

formülü ile hesaplanır.

İyon etkinliği, çözeltideki iyonların tepkimelerdeki hareketinin miktarını açıklamaktadır. Yani sudaki iyonun analiz edilen derişiminin gerçek derişime dönüştürülmesinin bir ifadesidir. Laboratuarda analiz edilen değerler, o iyon veya bileşiğin gerçek görünümünü yansıtmazlar. Bu nedenle mg/l ve benzeri analiz derişim birimleri iyonun görünür (zahiri) derişimini, iyon etkinliği ise gerçek derişimini tanımlamaktadır. İyon etkinlik katsayısı (γ_i) derişimin gerçek değerlerden sapmasının bir ölçüsüdür ve tuzluluk ile yakın ilişkilidir. Seyreltik çözeltilerde etkinlik katsayısı 1'e eşit olup, tuzluluk artıkça etkinlik katsayısıda 1 'den farklı (daha düşük) değerler alır (Tarcan, 2002).

İyonlaşma gücü (molarite olarak) 0.1 'den düşük olan tüm diğer sularda;

Debye-Hückel Bağıntısı = [$\log \gamma_i = -A\ Z_i^2\ I^{0.5} / 1 + B\ ro\ I^{0.5}$] (Tarcan, 2002) (4.5)

kullanılır. Bu bağıntıdaki A ve B sabitleri sıcaklık ve basınca bağlı parametreler olup, yapılan hesaplamalarda suların sıcaklıklarına uygun parametreler kullanılmalıdır.

Sıcak su kaynaklarnın $CaCO_3$'e (kalsit) doygunluğunun hesaplanmasında;
Burada ;

$CaCO_3$ çözünme reaksiyonu;

$CaCO_3 \longleftrightarrow Ca^{++} + CO^{-}_3$ şeklindedir.

Su örneklerinin pH değerleri yerinde ölçülmüştür. Ancak inceleme alanı kaplıcalarının sıcaklıkları farklı olduğu için sıcaklığa bağlı olarak pH değerleri Çizelge 4.20. 'den bulunmuştur (Harberer, 1969). Kendi sıcaklıklarındaki pH değerleri bulunduktan sonra, bu sıcaklıklarda dengedeki pH değeri aşağıda verilen

bağıntı ile hesaplanmaktadır (Strohecker, 1936; Langelier, 1936; Larson ve Buswell, 1942).

$$pH_{eq} = pK^* - logC_{Ca} - logC_{HCO} + logf_L \quad (4.6)$$

Formülden;

pH_{eq} = dengedeki pH değeri

pK* = langelier sabiti (Çizelge 4.29.)

logC = iyonların konsantrasyonu (meq/l)

$logf_L$, değeri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır;

$$logf_L = 2,5 \times \sqrt{I} / 1 + 5,3 \times \sqrt{I} + 5,51 \quad (4.7)$$

Çizelge 4.20. Sıcaklığa bağlı olarak pH değerleri (Harberer, 1969 a' dan)

Sıcaklık (^oC)	**pH**
0	7.47
5	7.37
10	7.27
15	7.17
20	7.08
24	7.00
25	6.99
30	6.92
35	6.84
40	6.77
45	6.70
50	6.63
55	6.57
60	6.51

İnceleme alanları olan Karaali ve Çermik kaplıcalarının pH_{eq} değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra aşağıda verilen bağıntı ile kalsite doygunlukları araştırılmıştır.

$$\Delta pH = pH_k - pHe_q \quad (4.8)$$

pH_k = kendi sıcaklığındaki pH değeri.

$\Delta pH < 0$ sular kalsite doymamış

$\Delta pH = 0$ dengede

$\Delta pH > 0$ aşırı doygun olarak belirtilmektedir (Strohecker, 1936; Langelier, 1936)

Çizelge 4.21. Sıcaklığa bağlı Strochecker-Langelier kosantrasyon sabitleri (Matthess, 1982)

t (^oC)	pK* (meq/l)	t (^oC)	pK* (meq/l)
0	8.901	16	8.492
1	8.878	17	8.468
2	8.851	18	8.445
3	8.825	19	8.422
4	8.798	20	8.400
5	8.771	21	8.376
6	8.745	22	8.354
7	8.718	23	8.333
8	8.692	24	8.311
9	8.665	25	8.288
10	8.639	30	8.196
11	8.614	35	8.100
12	8.589	40	7.996
13	8.56	45	7.923
14	8.540	50	7.844
15	8.515		

(8) ve (9) bağıntılarında ilgili veriler konulduğunda;

Karaali için; $\log f_L = -2, 301$
$pH_{eq} = 4.778$ değerleri elde edilir.
Çermik için; $\log f_L = -2, 303$
$pH_{eq} = 4.868$ değerleri elde edilir.

(8) numaralı bağıntıda; (6) ve (7) bağıntılarından elde edilen değerler yerine konularak;

$\Delta pH_{Karaali}$ = 5,622 bulunur.

$\Delta pH_{Çermik}$ = 5,362 bulunur.

$\Delta pH_{Karaali} > 0$ (mineral çökeltici özelliktedir)

$\Delta pH_{Çermik} > 0$ (mineral çökeltici özelliktedir)

Yapılan bu işlemlerden sonra Karaali ve Çermik kaplıca suyu değerleri sıfırdan büyük olduğu için $CaCO_3$'e doygundur. Sıcak su kaynaklarının çıkış noktalarında ve suların serbest dolaşımına izin verilmesi halinde özellikle az eğimli alanlarda $CaCO_3$ çökelmesi beklenir. Çermik kaplıcasında yapılan çalışmalarda kalsit çökelmesi görülmüştür (Şekil 4.26-4.27 ve 4.28). Sıcak su kaynaklarının kalsite doygun olması, kabuk yapıcı özelliğini ortaya çıkarır. Özellikle bu tür kaplıca alanlarında yapılacak tesis inşalarında, kabuklaşmadan dolayı meydana gelen boru tıkanmalarına dikkat edilmesi gerekir.



Şekil 4.26. Çermik kaplıcası karbonat çökelimi



Şekil 4.27. Çermik kaplıcaları su kenarında karbonat çökelimi

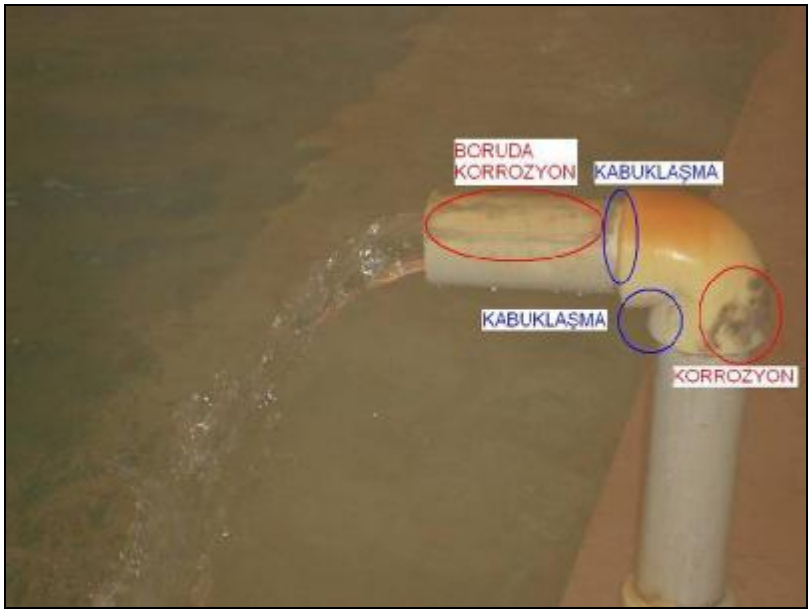


Şekil 4.28. Çermik kaplıcaları karbonat çökelimi

Daha geniş bir şekilde kabuklaşma; jeotermal akışkanlar bileşimlerinin ve asiditelerinin bir fonksiyonu olarak çoğu kez kireç ve bazı durumlarda ise silis kabuklaşmaları yapabilirler. Bu kabuklar sondaj boruları içerisinde olabildiği gibi

ayırıcı içerisinde, türbin kanatlarında ve iletim borularında da gerçekleşebilir. Suları 350 ppm'den daha fazla olan SiO_2 içeren termik sahalarda sondajlarda, sıcaklığın belli bir limitin altına düşmesi halinde borular içerisinde SiO_2 kabuklaşması kendini gösterir. Kaynak sularındaki pH'ın 6 ile 8 arasında olduğu ve kalsiyum iyonlarının konsantrasyonunun birkaç ppm dolaylarında olduğu her termal ortamda ise "Kalsiyum Karbonat" kabuklaşması görülür. Bunun nedeni, kuyunun üretime geçmesi ile basıncın ve buna bağlı olarak karbondioksit gazının kısmi basıncının düşmesi ve yeni basınç dengesi koşuluna uyarak sıvı ortamdan atmosfere doğru CO_2 gazı kaybı ile pH yükselmesi ve suda erimeyen $CaCO_3$ kimyasal tuzunun oluşarak sıvı ortamı terk etmesidir. Bu duruma karşın bazı önlemler alınabilmesine rağmen, üretim prosesinin aksamasına sebep olunur. Arada bir üretim durdurularak mekanik yolla temizleme yapılabilir. Diğer bir önlem, kuyu başı basıncının belirli bir limitin daima üzerinde kalacak şekilde yüksek tutmaktır. Tabii ki bu da üretimin azalması ve kuyu veriminin düşmesi demektir. Kabuklaşmayı engelleyecek ve aynı zamanda debinin düştüğü değeri minimumda tutacak olan optimum kuyu başı basıncı her bir kuyuda ayrı ayrı yapılacak üretim testleri sonucunda hesaplanabilir.

Kuyu içi kabuklaşmayı engelleyecek diğer bir yöntem de kuyu içerisine belirli bir basınç altında kompresör yardımı ile karbondioksit gazı enjekte edilmesidir. Kuyu dışında taşıma yollarında gelişebilecek kabuklaşma, korozyon, vb. olumsuz etkileri önlemek için ise jeotermal akışkanın ısıl enerjileri, ısı değiştiricilerde kullanılabilir özellikteki sulara aktarılabilir (Şekil 4.29). Ancak bu işlem de tabii ki bir miktar enerji kaybı ile uygulanabilir (http://www.bolbilgi.com).



Şekil 4.29. Karaali kaplıcaları borularında korozyon ve kabuklaşma durumu

Kabuklaşmanın yanında korozyon olayı da önemlidir. Bazı jeotermal akışkanlar yukarıda bahsedilenlerin tam aksine "agresif"tirler, yani asit karakterli olup betonu, metalleri, harçları vb malzemeyi kemirebilirler. Bunun önlenebilmesi için korozyona dayanıklı (genellikle plastik) malzemenin kullanılması yeğlenmeli ve toprağa gömülü metalik elemanlar, katodik koruma ile korozyon etkisinden korunmalıdır. Problemin diğer bir çözümü ise kabuklaşma konusunda da verilmiş olan jeotermal akışkanın direkt olarak kullanımı yerine ısı değiştiriciler vasıtası ile kullanılmasıdır. Ayrıca borularda ısı kaybını önlemek için; jeotermal akışkanı kuyu başı türbinlere, mekanlardaki radyotörlere vb. yerlere ileten borulardan kaybedilen ısı, iyi bir izolasyon (yalıtım) ile minimuma indirgenebilir. Metalik borular genellikle su geçirmez asbestli çimento boru kılıfı içerisine sokularak izole edilmelidir. Bu izolasyon, boruları toprak altında korozyona karşı da korumaktadır.

4.11.8. Suların Mineral Doygunlukları

Suların mineral doygunluk durumlarının araştırılması; yeraltı sularının üretimi ve kullanımı sırasında kullanılan borular ve pompalarda meydana gelebilecek

kabuklaşma ve korozyon gibi problemlerin önceden bilinmesi ve önlem alınmasında oldukça önem taşımaktadır.

Su mineral denge durumu doygunluk indisi (Saturation Index: SI), her mineral için sıcaklık ve kısmen de basınçla değişir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanabilir.

SI = 0 ise su ile ilgili mineral dengededir.

SI > 0 ise su, ilgili mineralle aşırı doygundur yani minerali çökeltme özelliğine sahiptir.

SI < 0 ise su, ilgili mineral ile doygun değildir yani minerali çözme özelliğine sahiptir.

İnceleme alanlarındaki sıcak su kaynaklarından Karaali'nin Doygunluk İndisi (DI) hesaplamaları sonucunda, sıcak suların kalsit ($CaCO_3$) ve dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) minerallerine doygun, halit mineraline (NaCl) ise doygun olmadığını göstermiştir. Sıcak su kaynağının çevresinde bulunan soğuk sular söz konusu minerallerin hiç birine doygun değildir (Doğdu ve Kırmızıtaş, 2006).

Karaali sıcak suyunun kalsit ($CaCO_3$) ve dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) minerallerine doygun olmasını şu şekilde yorumlayabiliriz; kaplıca alanında yapılan inceleme ve gözlemler sonucu sıcak su borularında kalsit çökelmesi ve korrozyon olayı belirgin olarak görülmüştür. Bu durum, Doğdu ve Kırmızıtaş (2006)'ın analiz sonuçlarını desteklediği söylenebilir. Kalsit ve dolomite doygunluğun olması sonucu borularda meydana gelen kabuklaşma, borulardaki su akışını güçleştirmektedir. Bu da yatırımcıya ek bir maddi kaynağın harcanmasını sağlamaktadır. Yılda birkaç defa borulardaki kabuklaşma ve korozyon için temizleme çalışmaları yapılmaktadır. Ancak son zamanlarda kabuklaşma ve korozyonu önleyici yeni boruların yapımı için teknolojik çalışmalar devam etmektedir.

Aynı şekilde Çermik kaplıcaları da kalsit ve dolomite doygun olduğundan aynı sorunlar burada da görülmektedir. Önceki yıllarda kaplıca alanında yapılan çalışmalarda kalsit çökeliminin yüksek olduğu görülmüştür (Özel ve Bekişoğlu, 2001).

4.12. Jeotermal Sistemlerde Akifer Kaya Sıcaklıklarının Saptanması

Sıcak suların yeraltında yüzeye erişirken dokanakta bulunduğu kayalarla ısı alış-verişinde bulunması, soğuk yeraltı suları ile karışımı, hazne kaya sıcaklığının atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz örtü kayaların çok ince veya bulunmayışı gibi nedenler, suların sıcaklıklarının azalmasında başlıca etkenlerdir. Suların yeraltında katettiği yol ne kadar kısa ve debisi yüksek ise, o oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır. Hazne kaya sıcaklıklarının saptanmasında çok değişik yöntemler kullanılmaktadır. Termal suların akifer içerisindeki sıcaklıklarının tahmin edilmesi amacıyla kaynak ve kuyulardan alınan örneklerin kimya ve izotop analizlerinden yararlanılarak kimyasal ve izotopik jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir.

Kimyasal jeotermometreler alınan örneklerin kimyasal bileşimine (silis, katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların bağıl oranına), izotopik jeotermometreler ise su-gaz-mineral fazları arasındaki izotopik değişime dayalıdır.

Bu çalışmada rezervuar sıcaklıkları tahmini için; kabuklaşmayı ve korozyonu en çok sağlayan, sadece silis ve katyon kimyasal jeotermometre hesaplamaları kullanılmıştır.

4.13. Doğal İzotop Jeotermometreleri

Jeotermal sistemlerin hazne kaya sıcaklıkları; beslenme, akışkanların kökeni ve molarite süreleri, sıcak-soğuk su karışımları, hidrojeolojik devir, buharlaşma gibi sorunların çözümünde kullanılmaktadır. Suyun ilkel izotop yapısını; buharlaşma, hazne kaya yapısındaki mineraller ile akışkan (su) arasında kimyasal tepkimelerle hidrojen ve oksijen değişimi etkiler.

4.14. Hidrotermal Bozunum Jeotermometreleri

Derinde ve yüzeye çıkarken, dokanakta bulundukları kayaları kimyasal ve mineralojik faz değişimlerine uğratan sıcak akşıkanlar hidrotermal bozunumu meydana getirirler. Hidrotermal bozunum ile oluşan ve ortaya çıkan kil mineralleri;

ortamın fiziko-kimyasal özelliğine, sıcaklık ve basınca, pH'a, bazı gazların varlığına (CO_2, H_2S gibi) ilkel kaya ile akışkanın kimyasal bileşimine, gözenekliğe ve kaya geçirgenliğine bağlıdır. Kil minerallerinin oluşum sıcaklıkları bilinmesi halinde akışkanın sıcaklığı hakkında bilgi edinilebilir. Kil minerallerinin akışkan sıcaklıklarının belirlenmesinde kılavuz mineral rolü üstlendiği söylenebilir. Aktif jeotermal sistemlerde olduğu gibi sıcak akışkan; içinde bulunduğu kayalarla, jeokimyasal ve mineralojik faz dengelerine ulaşmamıştır. Bu gibi alanlar jeotermal enerji araştırmalarında, hazne kaya sıcaklığının saptanmasında büyük önem taşır.

4.15. Kimyasal Jeotermometreler

Arazide veya laboratuarda; sıcak ve soğuk sular (yeraltı ve yüzey suları) buhar ve gaz tahlillerine dayanır. Kimyasal jeotermometreler, rezervuar koşulları altındaki mineral ve su arasındaki sıcaklığa bağlı kimyasal denge üzerine geliştirilmiştir. Bu jeotermometrelerin kullanımında suyun yüzeye çıkışı boyunca kimyasal bileşiminin korunduğu varsayılmıştır.

Kimyasal jeotermometreler kalitatif ve kantitatif olmak üzere ikiye ayrılır (Şahinci, 1991b). Kalitatif kimyasal jeotermometreler ile zemin gazlarında, fümerollerde, sıcak-soğuk yüzey ve yeraltı sularında, suların bıraktıkları çökellerde varolan kılavuz elementlerin tespitinde, bir kısım iyon oranlarından hazne kaya sıcaklıklarını ve jeotermal sistemlerin özellikleri hakkında göreceli bilgiler elde etmede kullanılırlar.

4.15.1. Kalitatif (Niteleyici) Kimyasal Jeotermometreler

Birçok kalitatif (niteleyici) jeotermometreler uçucu elementlerin sıcak akışkanlardaki zeminde göreli miktarına, dağılımına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır. Termal akışkanlarda bulunan bazı element, bileşik ve oranlar sıcaklık hakkında bilgi verebilir.

a.1) SiO_2: Hazne kaya sıcaklığı hakkında en iyi bilgiyi veren silistir. Yüksek sıcaklıktaki suda, yaklaşık 180 ^oC'de başlayan silis çökelmesi, sıcaklığın düşmesi ile hızla artar. Sıcak sularda silis azalması izlenebilir. Doğal gayzerlerde, yüzeyde amorf silis veya kristalleşmiş silis çökellerinin varlığı, hazne kaya sıcaklığının 180 ^oC veya daha fazla olabiliceğini gösterir.

a.2) Klorür: Hazne kaya sıcaklığı 150 ^oC'nin üzerindeki sularda, genellikle 150 ppm'den fazla klorür (kökeni deniz suyu olanlar dışında), ender olarak yüksek sıcaklıklı su sistemlerde (200 ^oC'nin üzerinde) ise 40 ppm'in altındadır. Klorür, sıcak su sistemi ile buhar sistemini ayıran en önemli kıstastır. Birçok klorür tuzları sıcak sularda çözünür ve sıcak sistemlerde bol bulunur. Düşük basınçlı buhar sistemlerinde klorür azdır. Klorür değeri 50 ppm'in üzerinde izlenirse, sıcak su sisteminin varlığını belirler (Şahinci, 1991b). Bu değer doğrultusunda inceleme alanı suları olan Karaali ve Çermik'in sıcak su sistemine sahip olduğu söylenebilir. İnceleme alanı akışkanlarının düşük klor içeriği, sahayı besleyen su kaynaklarının meteorik orijinli olduklarını belirtebilir.

a.3) B, NH_4, H_2S, Hg, CI, Na, K, Li, Rb, Cs, As: Bu gibi element ve bileşiklerin bir veya bir kısımının suda fazla bulunması, hazne kaya sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir. TSE 2005'e göre potasyum (K) değeri 12 ppm veya 12 mg/l'dir. İnceleme alanı suları olan Karaali ve Çermik'in hazne kaya sıcaklığının yüksek olabileceğini göstebilir.

a.4) Na / K oranı: Bu oranın yüksekliği, genellikle hazne kaya sıcaklığının fazla olabileceğini işaret eder. Özellikle bu oran, 20/1–8/1 arasında anlamlıdır. Silis çözünürlüğü sıcaklığa bağlı olduğundan, kısa sürede kimyasal denge gerçekleşir. Silis jeotermometreleri ile saptanan kaya sıcaklıkları, belirli bir zondaki akışkanların sıcaklığını yansıtır. Yüzeydeki suların kimyasal tahlillerine göre silis jeotermometreleri ile saptanan hazne kaya sıcaklık değeri, Na / K ile bulunandan küçük ise, akışkanın hazne kayadan yüzeye gelişi esnasında soğuk sular ile karışmış olabiliceğini vurgular. TSE 2005 standartlarına göre bu oran (200/12) 16.666'dır.

Karaali ve Çermik sıcak suları için Na / K oranı, çalışma sırasında yapılan analiz sonuçları kullanılarak sırasıyla 3.04 ve 2.88 olarak bulunmuştur.

a.5) Traverten çökelmeleri: Hazne kaya sıcaklığının düşük olduğunu (100◦C civarında) gösterir. Ancak ender olarak, bikarbonatlı sular yer altında soğuduktan sonra kireçtaşlarından geçmiş ise, hazne kaya sıcaklığı yüksek olabilir.

a.6) Cl / (HCO_3 +CO_3) oranı: Bu oran yüksek ise hazne (akifer) kaya sıcaklığı fazla olabilir.

a.7) Mg ve Mg / Ca oranı: Mg miktarı ve Mg / Ca oranı küçük ise hazne kaya sıcaklığının yüksek olabiliceğini gösterir. TS 2005 standartlarına göre bu oran (Mg/Ca= 50/200) 0.25'tir. İnceleme alanı suları olan Karaali ve Çermik'in Mg / Ca oranı sırasıyla 0.165 ve 0.303 olarak bulunmuştur.

Bağıntıda iyonlar meq/l olarak ele alınır. Eğer R, 50 den büyük ise, suların oldukça soğuk bir ortamdan geldiği ve akifer sıcaklığının, kaynakta ölçülen sıcaklığa yakın olduğu düşünülebilir. Bu nedenle Na-K-Ca bağıntısından elde edilen yüksek akifer sıcaklıklarında bazı düzeltmeler yapılması gereklidir. Bulunan akifer sıcaklığı 70 ^{0}C nin altında ise düzeltme yapılmaz. Tersine akifer sıcaklığı 70 ^{0}C den fazla ve 5-50 arasında veya daha yüksek ise aşağıda belirtilen bağıntılardan yararlanarak düzeltme hesaplanabilir ve akifer (hazne) sıcaklığından çıkarılır.

$$t^oC = 10.66- 4.741R+325.87 (\log R)^2 - [1.032 \times 105 (\log R)^2 /T] - [1.968 \times 107 \times (\log R)^2 / T^2] + 1.605 \times 107 (\log R)^3 / T^2$$

Eğer R, 0.5-5 arasında ise şu bağıntı kullanılır;

$$t^0C = -1.03 + 59.971 (\log R) + 145.05 (\log R)^2 - 36711 (\log R)^2 / T – 1.67 \times 107 (\log R) / T^2$$

Bağıntılarda t^oC: magnezyum düzeltme sıcaklığı (^{o}C)

R: düzeltme katsayısı

T: Na-K-Ca jeotermometresinde hesaplanan akifer sıcaklığıdır (^{o}K).

a.8) Cl / SO_4 oranı: Bu oran yüksek ise hazne kaya sıcaklığı yüksektir. TSE 2005 standartlarına göre bu oran (Cl/SO_4= 250/250) 1'dir. İnceleme alanı sularının çalışma sırasında yapılan analizlere göre, Karaali ve Çermik'in Cl / SO_4 oranı sırasıyla 1.96

ve 10.449 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre Çermik hazne kaya sıcaklığı hem TSE standartlarına göre yüksek hem de Karaali hazne kaya sıcaklığından çok yüksektir. Serpantin bulunmasından olabilir.

a.9) CI / F oranı: Bu oran yüksek ise hazne kaya sıcaklığı fazladır. TS 2005 standartlarına göre bu oran (Cl/F = 250/1.5) 166,66'dir. İnceleme alanı sularının çalışma sırasında yapılan analizlere göre, Karaali ve Çermik'in Cl / F oranı sırasıyla 125.486 ve 83.5 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre Çermik hazne kaya sıcaklığı, hem TSE standartlarına göre hem de Karaali hazne kaya sıcaklığından çok yüksektir.

a.10) H_2 / diğer gazlara oranı (buhar dışında): Oran yüksek ise hazne kaya sıcaklıkları fazladır.

a.11) Ender gazlar: He, Ne, Ar^{36} ve Xe gibi ender gazlar kimyasal tepkimelere girmezler. Eğer, sıcak sularda bol miktarda ender gazlar bulunursa, hazne kayada suyun kaynamadığını gösterir. Kaynama gerçekleşmiş ise sıcak suda bu gazlar az, buhar fazında fazladır. İnceleme alanı suları olan Karaali ve Çermik analizlerinde bu gazlara ait değerler bulunmamıştır.

4.15.2. Kantitatif (Sayısal) Kimyasal Jeotermometreler

Kantitatif kimyasal jeotermometrelerin kullanılmasında bazı temel varsayımlar göz önünde bulundurulur. Bunlardan bazıları şunlardır;

1. Hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan sıcak sulardaki maddelerin buluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, hazne-su arasında gerçekleşmektedir.
2. Sıcaklık saptanmasında gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler sürekli olup tepkimelerin ham maddesi hazne kayada fazladır.
3. Hazne kaya sıcaklığında kaya – su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
4. Hazne kayadan yüzeye erişen sıcak suyun, soğuma sonucu kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.

5. Hazne kayadan gelen sıcak suların, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

Varsayımların ilk üçü genellikle SiO_2 ve Na – K – Ca jeotermometreleri için geçerlidir. Son iki varsayım, tam olarak gerçeği yansıtmaz. Çünkü hazne kayadan yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suların karışımı ile kimyasal yapısı değişebilir. Bu gibi durumlarda hazne kaya kimyasal yapısı ve sıcaklığı hakkında sınırlı bilgi edinilir. Ayrıca asid sülfatlı sıcak suların kimyasal tahlilleri yaklaşık hazne kaya sıcaklığını verebilir. Denizsuyu kökenli sular genellikle hazne kayada dengeye erişemediklerinden, hazne kaya sıcaklığı hakkında yanıltıcı bilgi verebilirler. Arazide gözlenen sıcak kaynakların özelliklerine göre, hangi jeotermometrenin kullanılacağı hakkında genel bilgiler şöyledir;

- Düşük debili kaynaklar
- Yüksek debili kaynaklar

Düşük debili kaynaklar: Bu kaynaklar ısı kaybına uğramış ancak tuzluluğu değişmemiştir. Yani kondüktif soğumaya uğramışlar. Yorumu zor olan sular olarak değerlendirilebilir. Hazne kayada ki su sıcaklığı çok yüksek olabilir. Bunun yanında sıcak su yüzeye ulaşırken kondüksiyonla soğumuş veya soğuk su karışımı olmuş olabilir.

Yüksek debili kaynaklar: Adiyabatik soğuma egemendir ve buhar kaybı varsayan jeotermometreler kullanılır. Kondüktif soğuma varsayılarak Na-K-Ca jeotermometreleri kullanılabilir. Eğer bu yöntemle hazne kaya sıcaklığı yüksekse karışım modelleri uygulanmalıdır.

Bu açıklamalar ışığı altında hazne kaya – sıcak su arasında kimyasal denge birçok etkenlerin altında bulunduğu görülür. Bunlar jeotermometreler içn özge kimyasal tepkimelerin hızı, hazne kaya sıcaklığı, su – kaya kimyasal etkinliği, jeotermometrelerin klavuz elementlerin suda bulunuş miktarları, sıcak suyun hazne kayada molaritesi gibi nedenlerdir. Kantitatif kimyasal jeotermometreler çözünürlük, iyon değişimi ve iyon etkinliği diye üçe ayrılır:

4.15.2.1. Çözünürlüğe Dayalı Jeotermometreler

Minerallerin çözünürlüğü genellikle sıcaklık ve basınçla değişir. Silis minerallerin çözünürlüğü ise jeotermometre olarak pek kullanılmaz. Silis çözünürlüğü diğer iyonların, karmaşık molekül oluşuklarının, uçucu maddelerin ayrılması gibi nedenlerden etkilenmez.

Silis jeotermometreleri: Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Hazne kaya sıcaklığı $150^{o}C–225^{o}C$ arasında iyi sonuçlar vermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda hazne kayadan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi izlenir. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır.

4.15.2.2. İyon Değişimine Dayalı Jeotermometreler

Denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. İyon değişimine uğramış çözünen maddelerin oranı, denge sıcaklığı değişimine bağlıdır. Suda birçok iyon değişimine uğramış mineraller bulunur ve bunlar jeotermometre olarak kullanılabilinir.

Na / K jeotermometreleri: Sıcaklığa bağlı olarak, Na- feldispatlardaki Na^{+} iyonu yerine ortamdaki K^{+} iyonları yerine geçebilir. Na / K jeotermometreleri, suda fazla miktarda Ca^{++} iyonları bulunuyorsa, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında, yüksek değerler verirler.

Na – K – Ca jeotermometresi: Özellikle, Ca / Na (mol/l) oranının 1'den büyük olduğu durumlarda, Na / K jeotermometre bağıntıları, hazne kaya sıcaklığı hesabında çok yüksek değerler vermektedir.

Na – K – Ca jeotermometresinde magnezyum düzeltmesi: Fournier ve Potter (1979), Na-K-Ca jeotermometre bağıntısında bazı koşullarda düzeltmeler yapılmasını önermişlerdir. Buna göre düzeltme katsayısı (R) ;

$$R=Mg / (Mg + Ca + K) \times 100$$

bağıntıda, iyonlar mek /l alınmıştır. Eğer R 50'den büyükse, suların oldukça soğuk bir ortamdan geldiği ve hazne kaya sıcaklığının, kaynakta ölçülen sıcaklığa yakın olduğu düşünülebilinir. Bu nedenle, Na – K – Ca bağıntısından elde edilen yüksek hazne kaya sıcaklıklarında bazı düzeltmeler yapılması gereklidir.

İnceleme alanı suları olan Karaali ve Çermik'in düzeltme katsayısı (R) değeri sırasıyla 32.20 ve 40.93 olarak bulunmuştur. Her iki kaplıca suları R < 50'dir. Suların çok soğuk bir ortamdan gelmediği düşünülebilir.

4.15.2.3. İyon Etkinliğine Dayalı Jeotermometreler

Sıcak akışkanların, kimyasal tahlillerinden bulunan iyon değerleri yerine, bu iyonların, iyon etkinlikleri kullanılır. Bunlar; iyon etkinliğine dayalı kalsedon, Na / K (düşük albit – mikrolin) ve Na / Li jeotermometreleridir.

- **İyon etkinliğine dayalı kalsedon jeotermometresi:** Bu jeotermometre genellikle 25 ^{o}C – 180 ^{o}C arasında iyi sonuçlar vermektedir.
- **İyon etkinliğine dayalı Na / K jeotermometleri:** İki değişik bağlantıyla hesaplanabilir.
- **İyon etkinliğine dayalı Na /Li jeotermometreleri:** Sıcak suyun içerdiği çözünmüş tuz miktarına bağlı olarak, değişik iki Na / Li jeotermometreleri bağıntısı vardır.

4.16. Karışım Modelleri

Sıcak akışkanlar yüzeye ulaşırken soğuk yeraltı suları ile karışabilirler. Bu karışım bazı incelemelerle belirlenebilir. Eğer bir arazide birçok kaynak bulunuyorsa ve kaynakların sıcaklıkları veya kimyasal bileşimlerindeki klorür, bor gibi elementlerin yaptığı oranlarda büyük değişiklikler izleniyorsa karışım söz konusudur. Sıcak su-soguk su karışımlarından yararlanarak hazne kaya sıcaklıkları saptanmıştır.

4.16.1. Silise Dayalı Karışım Modelleri

Buhar kaybının bulunmadığı ve buhar kaybının varsayıldığı modeller, diyağram ve hesaplamalarla açıklanır.

4.16.1.1 Buhar Kaybının Bulunmadığı Varsayımına Dayalı Olanı

Karışım ile soğuk yeraltı sularını ısıtan akışkan (buhar + sıcak su) entalpisinin hazne kayadaki entalpisine eşit olduğu varsayılır.

4.16.1.2 Buhar Kaybı Varsayımına Dayalı Karışım Modeli

Sıcak akışkandan buhar ayrıldıktan sonra geri kalan sıcak su, soğuk yeraltı suları ile karıştığı varsayılır. Buhar kaybından dolayı sıcak ve soğuk karışım bölgesindeki sıcak suyun entalpisi, hazne kayadakinden azdır.

4.16.2. Klorüre Dayalı Karışım Modeli

Bu modelle hazne kaya sıcaklığı iki yolla saptanır.

4.16.2.1. Grafik Çözümü

Diyagramda düşey eksene suların entalpileri, yatay eksene ise klorür miktarları konulmuştur. Buharın, sıcak sudan ayrılma entalpisi 639.15 cal / g düşey eksen üzerine işaretlenir. Diyagramda bu nokta “buhar” olarak tanımlanmıştır. Kaplıca sularının diyagram üzerinde belirledikleri nokta buhar noktası ile birleştirilir. Bu diyagrama göre en düşük ve en yüksek sıcaklıklar, hazne kaya sıcaklığını belirler.

4.16.2.2. Matematiksel Çözümü

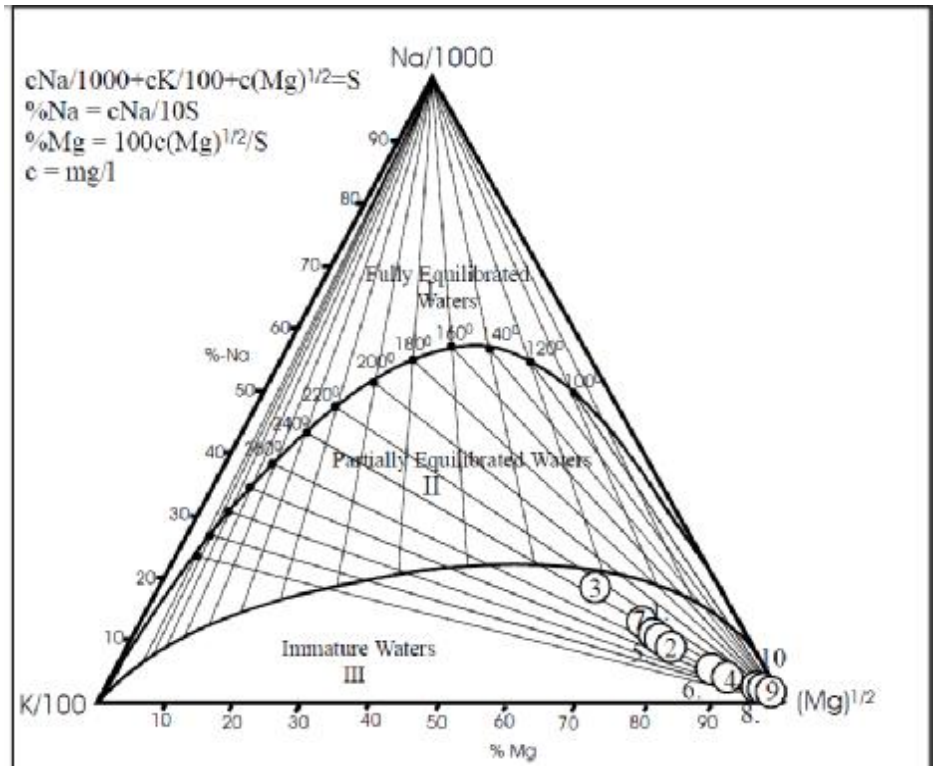
Bunun için ısı ve klorür denge bağıntılarından yararlanılır. Hesaplamalarda yapılacak hatalar gerçek değerden büyük ölçüde sapmalara neden olabilirler.

4.17. Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometrelerin sıcak suyun kimyasal yapısına bağlı olarak uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla çeşitli araştırıcılar tarafından grafiksel modeller geliştirilmiştir.

Burada kare şekilli ve üçgen şekilli iki diyagram tanıtılmıştır (Giggenbach, 1988). Budiyagramlar ile hem hızlı bir şekilde jeotermometre sonuçları görülebilmekte, hem de katyon jeotermometre bağıntılarının geçerliliği sınanabilmektedir. İlk olarak üçgen şekilli diyagram incelenmiştir. Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır (Şekil 4.30). Fournier (1990), bu diyagram üzerinde bazı revizyonlar yaparak, en güvenilir sonuçların bu üçgen diyagramdan oluşan jeotermometre uygulaması ile alınabileceğini vurgulamıştır. Diyagram kısaca, su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular) ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sular olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır.

Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri olgunlaşma indeksinin (MI=maturity index) MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmuştur.



Şekil 4.30. Giggenbach Na-K-Mg Jeotermometre Diyagramı (Tarcan ve ark., 2000b)

Termal suya Na-K jeotermometrelerinin uygulanıp uygulanamayacağını gösteren olgunluk indeksi (MI) ;

$$MI = 0.315 * \log (K^2/Mg) - \log (K/Na) \text{ (Tarcan, 2000b)} \quad (4.9)$$

bağıntısıyla tanımlanmıştır. Burada iyon derişimleri mg/l'dir.

Olgunluk indeksi 2'den küçük ise Na-K-Mg üçgen diyagramında (Çizelge 4.30) termal su rezervuar kayaç ile kimyasal açıdan dengede değildir ve bu tip sulara Na-K jeotermometresinin uygulanması hatalı rezervuar sıcaklığı sonuçları vermektedir. Eğer MI değeri 2-2.66 arasında ise termal su rezervuar kayaç ile kısmen dengede, MI değeri 2.66'dan büyük ise termal su rezervuar kayaç ile tam dengede kabul edilmektedir. Başka bir deyişle, MI değerinin 2'den büyük olması durumunda diğer şartlarda (jeotermometre tipinin rezervuar kayaç mineral bileşimine uygunluğu vb.) göz önünde bulundurularak rezervuar sıcaklığının belirlenmesi amacıyla termal suya Na-K jeotermometresi uygulanabilmektedir.

İnceleme alanı olan Karaali için olgunluk indeksi 1.215, Çermik için ise hesaplanan olgunluk indeksi 0.984 arasında olup MI değerleri < 2 olduğundan termal su rezervuar kayaç ile dengede bulunmamaktadır. Na-K tipi jeotermometre eşitliklerinin kullanılmasında hatalı rezervuar sıcaklığı hesabından kaçınmak için MI > 2 olması istenir. Jeotermometre hesaplamalarına başlamadan önce su analiz sonuçlarının doğruluğunu test etmek amacıyla majör iyon dengesi (MID) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$MID = [(\Sigma \text{ Katyon} - \Sigma \text{ Anyon}) / (\Sigma \text{ Katyon} + \Sigma \text{ Anyon})] \times 100$$

Burada katyon ve anyon derişimleri meq/l'dir. Sular elektriksel açıdan nötr olduklarından dolayı anyon ve katyon toplamları eşit olmalıdır. Fakat iyonların kimyasal analizlerinde yapılan hatalardan dolayı çoğu zaman bu eşitlik sağlanamaz. Su analizinin doğru sayılabilmesi için MID değerinin %5'den küçük olması istenmektedir. Bu nedenle jeotermometre eşitliklerinde kullanılacak olan termal suya ait iyon analiz sonuçları yukarıda belirtilen eşitlik ile kontrol edilmiştir.

Giggenbach (1988), ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir. Fournier (1990) ise diyagram üzerinde benzer yorumlar yapmakta, yaptığı revizyonla kısmen dengelenmiş alan ile tam dengelenmiş alan sınırını biraz daha aşağıya kaydırmıştır (Janik ve ark.,1992).

İnceleme alanlarının Na-K-Mg Jeotermometre uygulama hesaplamaları çalışma sırasında alınan analiz sonuçları kullanılarak aşağıda verilen bağıntılarla bulunmuştur (Tarcan ve ark., 2000b). Bağıntılarından elde edilen değerler Çizelge 4.31'e uygulanmıştır.

$$S = cNa / 1000 + cK / 100 + c\,(Mg)^{1/2} \quad \text{(Tarcan ve ark., 2000b) (4.10)}$$

$$\%\ Na = cNa / 10\ S \quad \text{(Tarcan ve ark., 2000b) (4.11)}$$

$$\%\ Mg = 100\ c(Mg)^{1/2} / S \quad \text{(Tarcan ve ark., 2000b) (4.12)}$$

c = mg/l

Karaali sıcak suları için;

$$S_{Karaali} = 44,2/1000 + 14,5/100 + (18,24)^{½}$$

$$S_{Karaali} = 4,46$$

$$\% Na_{Karaali} = 44,2/10.\ 4,46$$

$$\% Na_{Karaali} = 0,991$$

$$\% Mg_{Karaali} = 100 * (18,24)^{½} / 4,46$$

$$\% Mg_{Karaali} = 95,739$$

Çermik sıcak suları için;

$$S_{Çermik} = 96,6/1000 + 33,5/100 + (24,32)^{½}$$

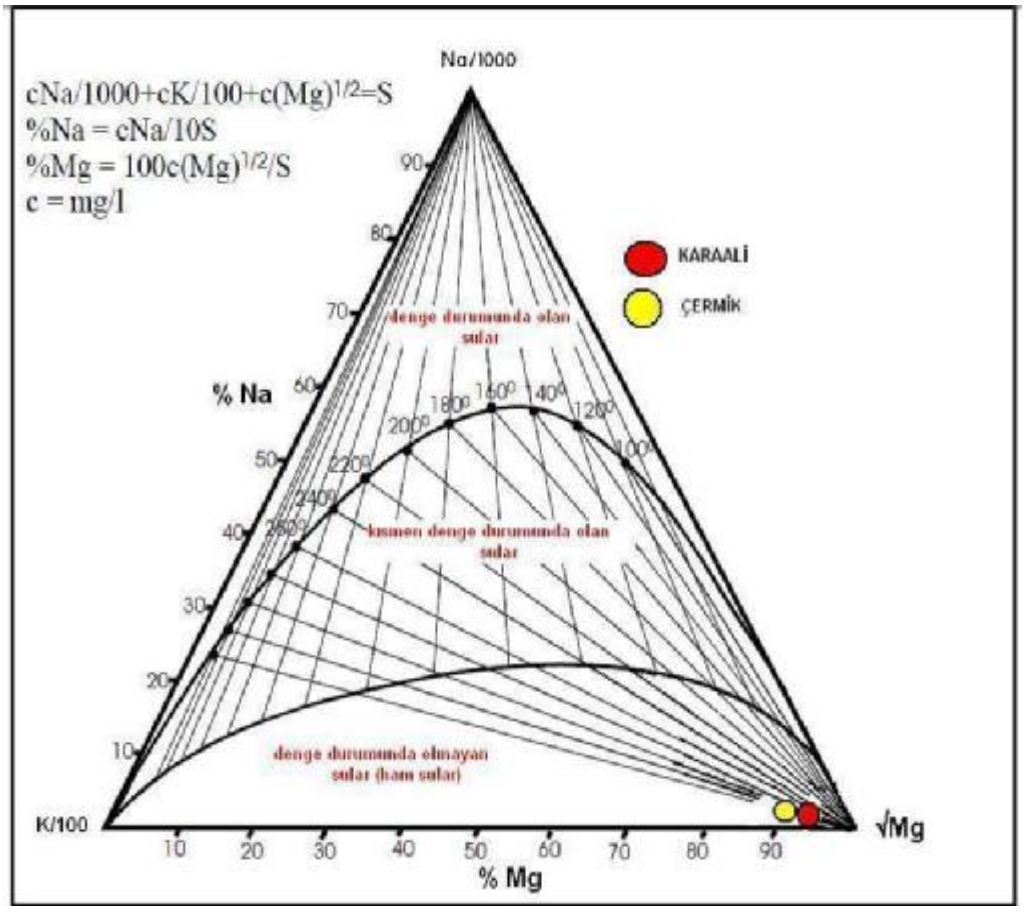
$$S_{Çermik} = 5.36$$

$$\% Na_{Çermik} = 44,2/10.\ 4,46$$

$$\% Na_{Çermik} = 1,802$$

$$\% Mg_{Çermik} = 100 * (24,32)^{½} / 5,36$$

$$\% Mg_{Çermik} = 91,776$$



Şekil 4.31. Karaali ve Çermik sıcak suları Na-K-Mg Jeotermometre Diyagramı (Tarcan ve ark., 2000b'den değiştirilerek)

Şekil 4.31'a göre Na-K-Mg üçgen jeotermometre değerlendirmeleri sonucunda Karaali ve Çermik suları "denge durumunda olmayan veya ham sular" bölgesine karşılık gelmektedir. Sıcaklık izotermi olarak da 100 ^{0}C arasına karşılık gelmektedir. Çizelgeden görüleceği üzere sıcak yeraltı suları denge durumunda olmayan veya ham sular olarak adlandırılan bölgenin en aşağı kesimlerinde Mg köşesinde yer almaktadır.

Yine Giggenbach (1988) suda çözünen başlıca katyonlara dayalı olarak geliştirmiş olduğu diğer bir diyagramda ise su-kayaç dengesini Na-K-Ca-Mg katyonlarına bağlı olarak incelemiştir.

4.17.1. Katyon Jeotermometreleri

İyon değişimine bağlı jeotermometrelere "Katyon Jeotermometreleri" denir. Sıcak suyun yeryüzüne doğru hareketi sırasında ortamdaki kayaçlarla etkileşimi ve bulunan soğuk su karışımı, jeotermal suyun kimyasal yapısını etkiler. Bu nedenle katyon jeotermometreleri hesaplanmasında farklı sıcaklık değerlerinin çıkması kaçınılmaz olacağından sadece sondajlı çalışmalarda elde edilecel jeotermal suların hesaplanmasında kullanılmaları sağlıklı olacaktır Katyon jeotermometreleri için belirlenen jeotermometre eşitlikleri Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Termal suyu hem ekonomik olarak işletmek hem de maksimum düzeyde geliştirmek için rezervuarın kaç derece sıcaklıkta olduğunun bilinmesi önem taşır. Jeotermometrelerin termal suya uygulanmasında temel varsayım sıcaklıga baglı su-mineral dengesinin derinlerdeki rezervuar kayaçta sağlanmış olmasıdır (Andresdottir ve Arnorsson, 1995). Birçok çalışma 50–100°C gibi düşük sıcaklıklarda bile birçok ana iyon bileşeni açısından su mineral dengesinin sağlandığını göstermiştir (Giggenbach, 1981; Arnorsson ve ark., 1982). Jeotermometre eşitlikleri; silis jeotermometreleri (mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü esas alır) ve katyon jeotermometreleridir. Katyon jeotermometreleri (Na-K, Na- Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Li-Na vb) çözünmüş iyonların sıcaklığa bağlı iyon takas reaksiyonlarına dayanırlar (Fournier, 1991). Daha önceki konularda belirtilmişti (Bölüm 4.3.2).

Jeotermal akiferler, genelde yaşlı yeraltı suları ile beslenimini yaptıkları için, Na-K jeotermometreleri (katyon jeotermometresi) bu akiferlerde kullanımı tercih edilmektedir. Na-K iyon değişim tepkimesine dayalı jeotermometre eşitlikleri Çizelge 4.22'de verilmiştir.

İnceleme alanlarına ait Na-K jeotermometre eşitlikleri değerleri Çizelge 4.23'de görülmektedir.

Çizelge 4.22. Rezervuar sıcaklığı tahmininde kullanılan jeotermometre eşitlikleri

KATYON JEOTERMOMETRELERİ		
Na-K Jeotermometreleri		
T1 $t^oC = 856 / [0.857+\log(Na/K)]-273.15$	>150 ^oC	Truesdell ve Fournier(1976)
T 2 $t^oC = 883 / [0.780+\log(Na/K)]-273.15$		Tonani (1980)
T3 $t^oC = 933 / [0.993+\log(Na/K)]-273.15$	25-250 ^oC	Arnorsson (1983)
T4 $t^oC = 1319 / [1.699+\log(Na/K)]-273.15$	250-350^oC	Arnorsson (1983)
T5 $t^oC = 1217 / [1.483+\log(Na/K)]-273.15$	>150 ^oC	Fournier (1979)
T6 $t^oC = 1178 / [1.471+\log(Na/K)]-273.15$		Nivea ve Nivea (1987)
T7 $t^oC = 1390 / [1.750+\log(Na/K)]-273.15$		Giggenbach vd.(1983)
SİLİS JEOTERMOMETRELERİ		
Kuvars Jeotermometreleri		
T8[a] $t^oC = C_1+C_2S+C_3S^2+C_4S^3+C_5 \log S$	0-350 ^oC	Fournier ve Potter (1982)
T9 $t^oC = 1309 / [5.19-\log SiO_2]-273.15$	0-250 ^oC (buhar kaybı yok)	Fournier (1973)
T10 $t^oC = 1522 / [5.75-\log SiO_2]-273.15$	0-250 ^oC (en çok buhar kaybı)	Fournier (1973)
Eşitliklerde yer alan iyon derişimleri mg/l'dir.		
(a) $C_1 = -4.2198*10^1$ $C_2 = 2.8831*10^{-1}$ $C_3 = -3.6686*10^{-4}$ $C_4 = 3.1665*10^{-7}$ $C_5 = 7.7034*10^1$ $S = SiO_2$		

4.17.2. Silis Jeotermometreleri

Silisin su içerisindeki sıcaklık temeline dayalı olarak çözünen jeotermometrelere "Silis Jeotermometreleri" denir. Termodinamik olarak belirli bir kritik noktaya kadar sıcaklığın artmasına bağlı olarak silis çözünürlüğü de artmaktadır. Farklı silis yapıları (amorf, kristobalit, kuvars, kalsedon gibi), su içerisinde çözünürlüğü farklı olduğu için her biri ayrı ayrı jeotermometre bağıntıları ile değerlendirilmiştir (Çizelge 4.32).

Kuvars çözünürlüğü, sıcaklığı 120-180 °C'den daha yüksek olan jeotermal rezervuarlarda çözünmüş silisi kontrol eder (Fournier, 1991).

Yüksek sıcaklıkta yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkan, hızlı silis çökelimini meydana getirir. Jeotermal sistemlerde, sıcaklığı 180 °C'den az ise daha çok kalsedon çökelmesi görülür. Sıcaklığı 180 °C'den çok olan jeotermal sistemlerde ise kuvars çökelmesi görülür. Bu nedenle sıcaklığı 180 °C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180 °C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir (Arnorsson ve D'Amore, 2000).

Doğal sularda çözünmüş olarak bulunan silis miktarı genellikle 20-30 mg/l civarındadır. Yüzeye yakın deniz sularında, silis miktarı çok düşük olup, çoğu zaman 1 mg/l'nin altındadır. Bunun sebebi, mevcut silisin deniz canlılarının kabuk iskeletinin oluşturulmasında tüketilmiş olmasıdır (Doğan, 1981).

Karaali ve Çermik sıcak su kaynaklarının tahmini rezervuar sıcaklıkları çalışma sırasında alınan analiz sonuçları kullanılarak, Çizelge 4.22'deki bağıntılara göre bulunmuştur. Katyon ve silis jeotermometreleri bağıntılarına göre hesaplanan değerler Çizelge 4.23'de sunulmuştur.

Çizelge 4.23. İnceleme alanlarının katyon ve silis jeotermometreleri ile hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları

Örnek Adı	T1t °C	T2 t °C	T3 t °C	T4 t °C	T5 t °C	T6 t °C	T7 t °C	T8 t °C	T9 t °C	T10 t °C
Karaali	365	425	358	331	345	329	349	47	47	54
Çermik	376	438	368	337	353	336	355	61	61	67

Sonuç olarak; Na-K tipi jeotermometre eşitliklerinin kullanılmasında hatalı rezervuar sıcaklığı hesabından kaçınmak için olgunluk indisi (Oİ veya MI) ‘nın 2’den büyük olması istenir (Doğdu ve Kırmızıtaş, 2006). Bu değerlendirmeyi doğrulayıcı nitelikte yapılan Karaali ve Çermik sıcak sularının Oİ < 2 oldukları için, Na-K jeotermometreleri ile hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklığı değerlerine tedbirli yaklaşmakta yarar görülmektedir. Çizelge 4.33’de T1-T7 arasındaki değerler katyon, T8-T10 arasındaki değerler silis jeotermometreleri ile elde edilen sonuçlardır. Karaali ve Çermik sıcak su kaynakları “denge durumunda olmayan sular bölümünde ”yer almasından dolayı katyon jeotermometrelerinin bu kaynaklarda uygunluğu doğru görülmemektedir. Bunun yanında silis jeotermometreleri katyon jeotermometrelerine göre daha sağlıklı sonuç vermektedir.

4.18. Karaali ve Çermik Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Yaklaşık Rezervuar Derinliği

Yeraltı sıcaklığının ölçülmesi ve gradyan artışının belirlenmesi, jeotermal enerji aramalarının sağlıklı ve güvenilir yöntemlerindendir. Yeraltı sıcaklığı derinlik ile orantılı olarak artmaktadır. Jeotermal gradyan; sıcaklığın 1°C artması için gerekli derinliktir (Altınlı, 1986). Dünyada ortalama gradyan artışı 25 C°/km. dir (Tissot ve Weite, 1984). Bu gradyan artışı dünyanın her yerinde düzenli değildir. Kayaçların ısı iletkenliği, mineraloji bileşimine, gözenekliliğine, geçirgenliliğine, suya ve gaza doygunluğuna bağlıdır. Şeyllerin ısı iletkenliği 2, kireçtaşlarının 3.1, kumtaşlarının 4.5, kuvarsın ise 15 Mili. cal/ sn C°’dır (Ünalan, 1977). Yeraltında ısı iletkenliğini düşük kayaçlar örtü yaparak bölgesel jeotermal gradyanının artmasına neden olur.

Karaali sıcak ve mineralli su kaynağının yaklaşık rezervuar derinliği, kaynağın Akçakale grabenin komprensif ve ekstensif kuvvetlere bağlı olarak meydana gelmiş olmasından dolayı, Karaali jeotermal sisteminin oluşan bu yapı içerisinde; doğrultu atımlı fayların kontrolünde derinlerden konveksiyon ve kondüksiyon yolu ile transfer

olan ısı sonucu jeotermal kaynağın ısındığı kabul edilmiştir. Ayrıca herhangi bir yüzey suyunun (yağmur, dere vb) karışmadığı kabul edilerek ve başka herhangi bir

ısınma kaynağının olmadığı varsayılarak Şimşek, 1995'in aşağıdaki formülüne göre hesaplanmıştır.

$$P = P_s + (T_2 - T_1) J_g \quad \text{(Şimşek, 1995)} \qquad (4.13)$$

P = jeotermal rezervuarın derinliği, m

Ps = atmosferik etki altındaki üst toprak düzeyi, m

J_g = bölgesel jeotermal gradyan, ^oC/ m

T_1 = kaynak bölgesinin sıcaklığı, ^oC

T_2 = sıcak su kaynağının sıcaklığı, ^oC

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, hesaplamalarda jeotermal gradyanın ortalama her 30 m'de 1 ^oC arttığı kabul edilmiştir. Atmosferik etki altındaki üst toprak düzeyi ~25 m alınmıştır. Yıllık sıcaklık ortalaması olarak Şanlıurfa Devlet Meteoroloji İstasyonu (DMİ) 1975-2008 yılları arası istatistik verilerine göre aylık ortalama sıcaklık değerleri Çizelge 1.1'den alınmıştır.

Karaali rezervuar derinliği;

P = 25 + (42 - 18.30) x 30 (Formül 4.13'e göre)

P = 25 + (23.7) x 30

P = 736 m olarak hesaplanmıştır.

Çermik sıcak ve mineralli su kaynağının yaklaşık rezervuar derinliği, kaynak muhtemel magmatik sokulumlar ile ısınarak ve yüksek jeotermal gradyanın etkisi ile sıcak suları oluşturmaktadır. Yerin derinliklerinde bulunan jeotermal gradyanın varlığı nedeniyle ısınan sıcak sular, faylanmalar ile rezervuar özellikteki Üst Paleozoyik ve Kretase yaşlı dolomitlerden ilerleyerek, Üst Kretase flişinin çatlak ve kırıklarından yüzeye, kaplıca yakınında sıcak su kaynağı şeklinde çıktığı kabul edilmiştir. Karaali de de belirtildiği gibi, herhangi bir yüzey suyunun (yağmur, dere vb) sıcak su kaynağına karışmadığı kabul edilerek ve başka herhangi bir ısınma kaynağının olmadığı varsayılarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Şimşek, 1995). Hesaplamalarda jeotermal gradyanın ortalama her 30 m'de 1 ^oC arttığı kabul

edilmiştir. Atmosferik etki altındaki üst toprak düzeyi ~25 m alınmıştır. Yıllık sıcaklık ortalaması olarak Diyarbakır Devlet Meteoroloji İstasyonu (DMİ) 1975-2008 yılları arası istatistik verilerine göre aylık ortalama sıcaklık değerleri Çizelge 1.2'den alınmıştır

Çermik rezervuar derinliği;

P = 25 + (52 - 13.16) x 30 (Formül 12'e göre)

P = 25 + (38.84) x 30

P = 1190,2 m olarak hesaplanmıştır.

4.19.İzotop Hidrolojisi

Jeotermal araştırmalarda doğal yollarla bozunmayan duraylı izotoplardan en çok kullanılanları; oksijen izotopları (^{16}O ve ^{18}O), sülfür izotopları (^{32}S ve ^{34}S), hidrojen izotopları (^{1}H, ^{2}H) ve karbon izotopları (^{12}C ve ^{13}C)'dır. á, â ve ã partiküllerinin yayınımıyla bozunan radyoaktif izotoplar jeotermal akışkanın yaşını ve akışkanın rezervuar içerisindeki kalış süresini tespit etmede kullanılırlar. Bu radyoaktif izotoplardan en çok kullanılanlar; ^{3}H (Tirityum), ^{222}Rn (Radon) ve ^{131}I (İyot)'tur. İzotop oranlarının birimi ppt ($‰_0$, binde bir) olarak kullanılır.

İnceleme alanlarında hidrodinamik yapının veya jeotermal akışkanların çevresel izotop içeriklerinin aydınlatılması amacıyla Karaali ve Çermik kaynaklarından alınan su örneklerinde, Alfa ve Beta analizleri yapılmıştır.

İnceleme alanı sularının kökensel olarak araştırılmasında kesin bir sonuca ulaşmak için; birbiri ile ilişkisi aranan Karaali ve Çermik sıcak sularının farklı izotopik kompozisyonlar ile oluşmuş olmaları gerekir. İnceleme alanı sularının kararlı izotop içerikleri aynı ise bu iki suyun aynı orijinli sular olduğu söylenebilir. Ancak aralarındaki ilişkiyi tespit etmek zordur. Bu nedenle su örneklerinin, izotop değerlerini ve kimyasal analiz sonuçlarını bir bütün olarak değerlendirmek suların kökensel yorumlanmasında yararlıdır.

Hidrojeoloji çalışmalarında yararlanılan doğal izotoplar özellikle, "Duraylı İzotoplar" dediğimiz ağır su elemanı olan ve suların yapısında bulunan hidrojenin

izotopu Döteryum (D veya ^{2}H) ile Oksijenin izotopu ^{18}O ve hidrojenin radyoaktif izotopu Trityum ^{3}H dur. Suyun doğal bileşenleri olmaları nedeniyle iyi bir izleyicidirler. Akiferlerde gelişen hidrojeokimyasal süreçlerin çoğundan etkilenmezler. Buna karşın suyun etkilendiği fiziksel/kimyasal süreçler hakkında değerli ipuçları verirler (Kurttaş, 2000).

Jeotermal sahaların izotop kimyasının incelenmesindeki temel amaç, jeotermal akışkanların kökeni, yaşı ve yeraltı bekleme süresi, suların geçirdiği fiziksel süreçler, beslenme yönü, kayaç-akışkan etkileşimi ve rezervuar hakkında bilgiler elde etmektir. Bu nedenle inceleme alanlarının jeotermal akışkan kökenlerinin beslenme alanlarının meteorik, fosil ve metamorfik olup olmadığını belirlemek ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesi için duraylı oksijen (^{18}O) ve döteryum (^{2}H) izotopları analizleri, akışkanların yaşlarının tespitinde ise radyoaktif trityum (^{3}H) izotopu analizlerinin yapılmasında yarar görülmektedir. Sonuç olarak, izotoplar, suyun kökeninin ve bölgesel akım yolunun belirlenmesinde izleyici olarak kullanılabilirler (DSİ,1987).

4.20 Örnekleme ve Analiz Çalışmaları

İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarına ait izotop örnekleri Nisan 2009'da alınmış, Alfa ve Beta analizleri Ankara DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi İzotop Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır (Çizelge 4.34).

4.21. İnceleme Alanlarının Alfa ve Beta Ölçümleri

İnceleme alanları olan Karaali ve Çermik sıcak sularından alınan numunelerin toplam alfa ve toplam beta analiz sonuçları; Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) ve Türk Standartlar Enstitüsünün (TSE) vermiş olduğu izin değerlerine göre; Karaali alfa (Bq/L) değeri 1.298, beta değeri 0.58 (Bq/L), Çermik alfa(Bq/L) değeri 0.484 ve beta maksimum değerleri 0.68 (Bq/L) belirlenmiştir (Çizelge 4.24). Bu değerler dikkatle

incelendiğinde TSE 266 (2005) ve WHO (1998)'e göre alfa aktivitesi 0.1 Bq/L, aynı şekilde TSE 266 (2005) ve WHO (1998)'e göre beta aktivitesi 1 Bq/L olarak içme suyu standartlarında maksimum değerler olarak kabul edilmiştir.
İnceleme alanlarından alınan su örneklerinin analiz sonuçlarına ait toplam alfa ve beta sonuçları aşağıda verilmiştir.

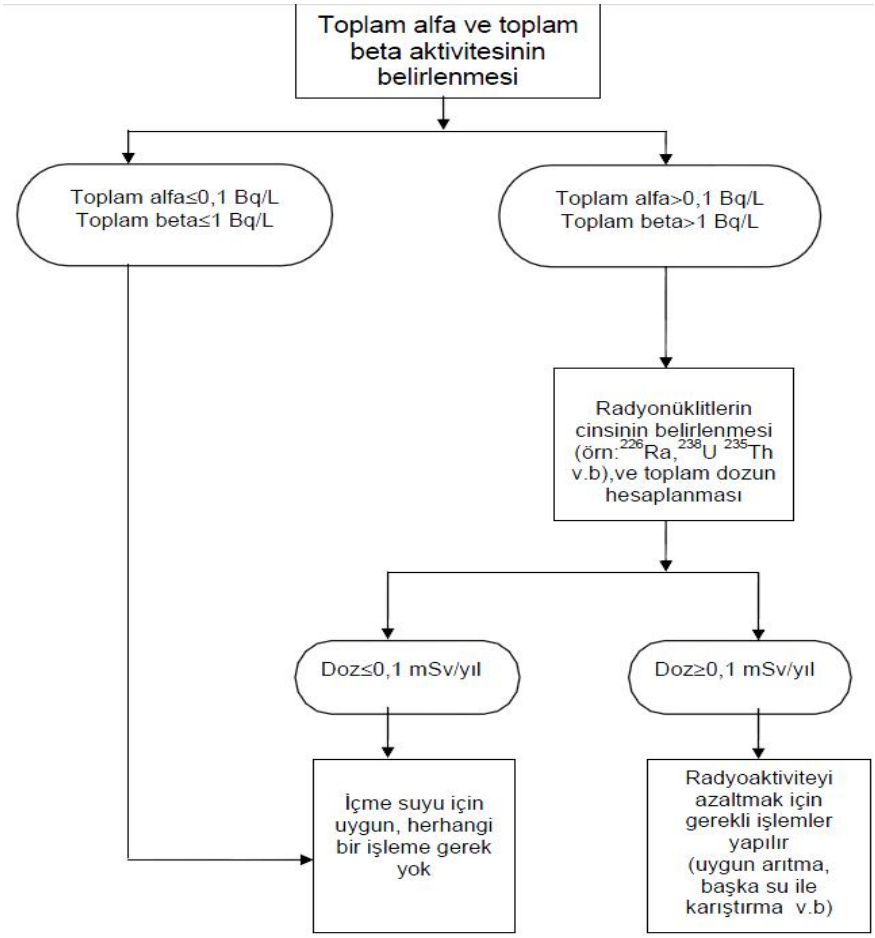
Çizelge 4.24. Karaali ve Çermik sularına ait toplam alfa ve beta değerleri

Numune Adı	**Alfa* (Bq/L)**	**Alfa Belirsizlik ± (Bq/L)**	**Beta* (Bq/L)**	**Beta Belirsizlik ± (Bq/L)**
Karaali	1.298	0.073	0.58	0.04
Çermik	0.484	0.073	0.68	0.10

(*) Akredite olunan deneyleri göstermektedir. Ölçüm belirsizliği, deney süresindeki belirsizlikleri kapsamaktadır ve % 95 (k=2) güven aralığında hesaplanmıştır.

Buna göre Karaali suları içme suyu standartlarına göre uygun görülmemektedir. Radyoaktiviteyi azaltmak için uygun arıtma, başka sular ile karıştırma gibi gerekli işlemlerin yapılması uygun görülmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme sularında radyoaktif maddenin olup olmadığının saptanmasına yönelik izlenmesi gereken işlemleri gösteren prosedürün akış şeması Şekil 4.32'de verilmiştir (UN, 1988).



Şekil 4.32. İçme sularının radyoaktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde izlenen akış diyagramı (UN, 1988)

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma sırasında yapılan arazi ve analiz sonuçları ile önceki yıllara ait analiz sonuçları kullanılarak iki sıcak kaynağının karşılaştırılması yapılarak bu yüksek lisans çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. İnceleme alanını oluşturan birimler içerisinde en geniş alanı Karaali için, Fırat Formasyonu'na ait kireçtaşlarının akifer özelliği gösterdiği, Çermik'te ise Üst Paleozoyik-Kratese yaşlı dolomitik kireçtaşlarının akifer özelliği gösterdiği, egemen litolojik biriminin kireçtaşı ($CaCO_3$) olduğu söylenebilir.

2. İnceleme alanlarından Karaali ve Çermik'te saha çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda formasyon sınırları belirlenmiş, 1/25000 ölçekli jeolojik haritaları yapılmıştır.

3. İnceleme alanlarında yapılan saha çalışmalarından jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal veriler elde edilmiştir. Buna göre, Karaali ve Çermik kaplıcalarının hidrodinamik yapıları ortaya konmuştur. Karaali çevresinin jeoloji kesiti ve Çermik jeotermal sahasının kavramsal hidrotermal modeli çıkarılmıştır. Hidrotermal modele göre, sıcak ve mineralli sular, meteorik kökenli olarak adlandırdığımız yağmur ve kar yağışı sonucu yeraltına süzülmektedir. Bu meteorik suların yeraltında muhtemel mağmatik sokulumlar ve yüksek jeotermal gradyan ile ısınarak kırık-çatlaklar ve fay hatlarınca yeryüzüne çıkmaları veya yükselmeleri sonucu oluşmuşlardır. Jeotermal suların her koşulda genç (jüvenil) ya da mağmatik kökenli sular olmadıklarını suların büyük çoğunluğunun meteorik kökenli sular oldukları belirlenmeye çalışılmıştır.

4. İnceleme alanı sıcak sularının fiziksel özelliklerinden sıcaklık, elektriksel iletkenlik, hidrojen iyonu aktivitesi (pH), çözünmüş oksijen miktarı yerinde, bulanıklık, koku ve tad özellikleri analizler ile belirlenmiştir.

5. Çermik sıcak su kaynağının Eİ değerinin Karaali kaynağına göre daha yüksek olması; çevresindeki jipsli birimlerle olan mesafesinin kısa ve temas süresinin daha uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Karaali ve Çermik sıcak sularında Cl içeriğinin düşük olması sahayı besleyen su kaynaklarının meteorik orjinli oldukları hakkında fikir verir.

6. Çermik örneğinin az oksijen veya oksijensiz olması, olası fay ve kırık çatlakların da etkisiyle H_2S gazının çıkmasına neden olması, bunun sonucu olarak da suyun Na-SO_4 özelliğini kazanmasına sebep olduğu söylenebilir.

7. Sıcak suların kimyasal özellikleri incelenmiştir. Majör iyonları, ağır metal ve kirlilik analizleri yapılmıştır. Çalışma sırasında inceleme alanlarından alınan sıcak su kaynaklarının ve 2003–2009 tarihleri arasındaki iyon içeriklerinin meq/l derişimine göre, hâkim iyon sıralaması ve bu sıralamaya göre oluşturulmuş su tipleri ortaya konulmuştur. Buna göre, Karaali sıcak suları Ca - HCO_3 sınıfına, Çermik sıcak suları ise Na- HCO_3 ve Na-Cl sınıfında yer aldığı görülmüştür.

8. İnceleme alanlarından alınan sıcak ve mineralli sular için yapılan kimyasal analiz sonuçları ile bölgedeki su kaynaklarının kimyasal özellikleri ve litoloji ile olan ilişkileri incelenmiştir. Bu amaçla, yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan Schoeller ve Piper diyagramları ile sıcak su kaynaklarının birbirleriyle olan benzerlik ve farklılıkları ortaya konulmuştur.

9. Çalışma alanındaki sıcak suların sulama için elverişli olup olmadığını belirlemek amacıyla, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Diyagramları kullanılmıştır. İnceleme alanı içerisinde yer alan kaplıcaların su kimyası analizleri sonucunda ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre; Karaali kaplıcasının C_2S_1 ve Çermik kaplıcasının da C_3S_1 su sınıfında yer aldığı görülmüştür.

10. Karaali ve Çermik sıcak suları; sodyum yüzdesine ve elektriksel iletkenliklerine göre, Wilcox diyagramında “iyi-kullanılabilir” sular sınıflamasında yer almaktadır.

11. 2003-2009 yıllarına ait inceleme alanı sıcak sularının SAR değerleri göre, “çok iyi özellikte sulama suları” sınıfında yer aldıkları görülmüştür.

12. İnceleme alanı suları pratik hesaplamada Fransız sertliği değerlerine göre “ sert ve çok sert su” sınıfına girdiği görülmüştür.

13. İnceleme alanları için yapılan mineral doygunluk hesaplamalarına göre sıcak su kaynaklarının kalsit minerallerine doygun oldukları belirlenmiştir. Bu duruma göre Karaali ve Çermik sularının kısmen kabuk yapıcı özelliği taşıdıkları belirlenmiştir.

14. Sıcak ve mineralli suların rezervuar sıcaklıklarını tahmin etmek için silis ve katyon jeotermometrelerinden yararlanılmıştır. Rezervuar sıcaklığının belirlenmesi için uygulanan jeotermometre hesaplamalarında Karaali ve Çermik sıcak su kaynakları Giggenbach (1988) diyagramına göre "kısmen denge durumunda olmayan veya ham sular" sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

15. Katyon ve Silis jeotermometre eşitliklerinden yararlanılanarak Karaali ve Çermik inceleme alanlarının tahmini rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; Karaali katyon jeotermometreleri hesaplamalarına göre 47-54 ^{o}C arasında, silis jeotermometreleri hesaplamalarına göre ise 329-425 ^{o}C arasında olduğu bulunmuştur. Çermik ise, katyon jeotermometreleri hesaplamalarına göre 61-67 ^{o}C arasında, silis jeotermometreleri hesaplamalarına göre ise 336-438 ^{o}C arasında olduğu görülmüştür.

16. Çalışma alanındaki suların laboratuar analiz sonuçlarına göre kaynak sularında bulunan anyon ve katyonların kökenleri açıklanmıştır. Bu verilerin yardımıyla Piper, Schoeller, Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramları çizilerek suların kimyasal bileşimlerinin litolojisiyle ilişkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. ABD Tuzluluk Diyagramına göre suyun tarımda sulama amaçlı kullanıp kullanılmayacağı belirlenmiştir.

17. Schoeller diyagramında kaplıca sularının meq/l değerlerini birleştiren doğruların birbirine paralel geçtiiği görülmüştür. Çermik ve Karaali sularının bibirine parallelik göstermesi bu suların aynı kökene sahip olduklarını gösterebilir.

18. İnceleme alanı sıcak sularının sulama suyu olarak sınıflandırılması amacıyla sodyumun sudaki katyon toplamına oranı hesaplanarak inceleme alanlarının % Na değerleri bulunmuştur.

19. İnceleme alanı sıcak suları tuzluluklarına (C) ve sodyum adsorbsiyon (S) değerlerine göre alt sınıflamaları yapılmıştır.

20. Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS) değerlerine göre inceleme alanı suları "tatlı su" grubuna girmektedir.

21. Su kaynaklarının sıcaklıkları 41-52 ^{o}C ve debileri 6-27 lt/s arasında değişmektedir.

22. Suların Alfa ve Beta (izotop) analizleri yapılmıştır. Sular içme suyu standartlarına uygun değildir.

23. Su örneklerinin atomik Cl/F iyon oranları, Karaali ve Çermik'te düşük Cl/F oranları termal suların yüzeye çıkışları sırasında kısmen florca zengin kayaçlardan etkilendiklerini göstermektedir.

24. Karaali ve Çermik sularının rezervuar derinlikleri 969 ile 1174 m arasında bulunmuştur.

25. Doğal suların fiziksel özellikleri ve major iyon içerikleri, suları kendi içinde gruplandırabilmektedir. Bunun yanında Cl^{-}/SO_4, Mg^{+2}/Ca^{+2}, $Cl^{-}/Na^{+}+K^{+}$ veya HCO_3/SO_4 ve doygunluk indisi hesaplamaları tuz/karışım konsantrasyonu ve kökeni hakkında yeterli bilgiyi sağlayabilir.

26. Karaali sıcak ve mineralli su kaynağının dışında Şanlıurfa ve çevresinde başka bir yakın kaynağın olmayışı nedeniyle sağlık ve turizm açısından öncelikli kullanım olanağı vardır. Ayrıca, sıcak suyun kaplıca amaçlı kullanımına yönelik koruma alanlarının belirlenmesi ve koruma alanlarıyla ilgili hükümlere uyulması gerekmektedir.

27. Karaali ve Çermik sıcak su akiferlerinin yayılımını ve yakın rezervuarlarla ilişkilerinin belirlenmesi, hidrotermal modellerinin geliştirilmesine yönelik olarak detaylı sondaj ve jeofizik çalışmalarının yapılması, sıcak suların çok amaçlı olarak kullanılmasını sağlayacaktır. Yeni kuyuların açılması ve debi artışının sağlanması halinde sıcak sular; şehir ısıtması, tahıl kurutması, seracılık ve akvaryumculuk gibi farklı alanlarda değerlendirilerek ekonomik artış ve istihdamın artırılmasınına olanak sağlayacaktır.

28. İnceleme alanlarında, yüksek sıcaklıklarda kalsit çökeliminin olmasından dolayı, termal suların konut, sera ısıtmacılığı ya da başka amaçlarla kullanımı sırasında silika ve kalsiyum karbonat kabuklaşması problemlerine karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

29. Akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesi için duraylı oksijen (^{18}O) ve döteryum (^{2}H) izotopları kullanılmasında büyük yarar görülmektedir.

30. Çermik ve Karaali toprak katmanları analizlerinin yapılmasında yarar görülmektedir. Çünkü suyun temas ettiği toprak katmanları Ca ve Mg karbonatlarından oluşmuşsa bikarbonat olarak suda çözünürler. Toprağın bileşimindeki Ca ve Mg karbonat, bikarbonata dönüşerek suda çözünür. Fazla silikatlı topraklar daha az çözünür. Bu nedenle kalkerli tabakalardan geçen sularda killi tabakalardan geçenlere oranla daha fazla çözünmüş madde vardır. Kırık ve çatlakların çok olduğu yerlerden geçen su beraberinde birçok bakteri de taşır. Bu da bölgedeki yeni hastalıkların oluşmasına neden olur. Çünkü yeraltındaki diğer katmanlar süzgeç görevini görmektedir. İyi süzgeç görevi gören katmanlardan geçen su çok çabuk bakterilerden temizlenir.

32. İnceleme alanlarının derin kuyularından su kimyası ve izotop verilerinin alınması, beslenme yönlerinin ve yüksekliklerinin belirlenmesi, jeotermal alan sınırlarının ve suların yaşlarının bilinmesi halinde bu konularda daha iyi araştırmalar ve yorumlar yapılabilir.

33. İyon oranlarıyla eş eğri haritalarının çizilmesi ile jeotermal alanlar hakkında detaylı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

AKKUŞ, İ., AKILLI, H., CEYHAN, S., DİLEMRE, A.ve TEKİN, Z., 2005.Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Yayını, Envanter Serisi:201, 849s.

AKTAŞ ve ROBERTSON, A.H.F., 1984. The Maden Complex SE Turkey: Evolution of Anatolia

ALTINLI, I JE., 1986. Yerbilimleri Sözlüğü. MTA Genel Müdürlüğü Yayınları No: 195, Ankara

ANDRESDOTTİR, A., ve ARNORSSON, S., 1995. Studies of the Chemical Evolution of Natural Waters in the Hrepper-Land Geothermal Field, Iceland. An Aid to Geothemometry Interpretation. Procedings of The World Geothermal Congress, 18-31 May 1995, International Geothermal Association (IGA), Vo. 2, Florence, Italy, 1001–1006

ARNORSSON, S., SIGURDSSON, S. ve SVAVARSSON, H., 1982. The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland I. Calculation of Aqueous Speciation From 0 ^{o}C to 370 ^{o}C. Geochim. Cosmochim. Acta, 46, 1513-1532

_____ ., 2000. Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use, Sampling Methods, Data Handling, Interpretation, International Atomic Energy Agency, Vienna, 351p.

_____, S. ve D'AMORE F., 2000. Geothermometry Isotopic and Chemical Teqhicues in Geothermal Exploration, Development and Use. Arnorsson, S.(ed.), IAEA, Vienna, p.152-199

ANONYMOUS, 1984.Türk İçme Suyu Standartları, UDK 662.6:543, TS 266, Ankara

http://ansiklopedi.bibilgi.com/amonyak (Erişim tarihi: 3 Mart 2009)

http://www.aquasu.com/su2.htm (Erişim tarihi: 7 Mart 2009)

ATABEY, E. 2005. Tıbbi Jeoloji. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 194s

BİSSEN, M. and FRİMMEL, F.H. 2003. Arsenic–A review Part I: Occurrence, Toxicity, Speciation, Mobility. Acta Hydrochim. Hydrobiol, 1, 9–18.

http://www.bolbilgi.com/turkiye-8217-de-genel-enerji-durumu-ve-sanayinin-yapisi t104560.html?s=63fc025a091232ddf3ecffd4cce11227&Kabuklaşma (Erişim tarihi: 5 Nisan 2009)

BOLGİ, T., 1964. Adıyaman sahalarının jeolojik etüdü, TPAO Arşivi No.32 (Erişim tarihi: 22 Nisan 2009)

CHOU, H.S.J. and ROSA, C.T.D. 2003, Case studiesarsenic J. Hyg. Env. Health. 206, 381–386.

DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ,"İl ve İlçelerimize Ait İstatistiki Veriler" http:// www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx (Erişim tarihi: 13 Mart 2009)

http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx (Erişim tarihi: 13 Mart 2009)

DOĞAN, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSİ Yayınları, 178s. Ankara.

DOĞAN, M. and DOĞAN, A.U., 2007. Arsenic Mineralization, Source, Distribution, and Abundance in the Kutahya Region of the Western Anatolia, Turkey. Env. Geochem. Health, 29, 119–129

DOĞDU M.Ş., ve KIRMIZITAŞ, H., 2006. Karaali (Şanlıurfa-Yardımcı) Sıcak Suyunun Oluşumu ve Rezervuar Sıcaklığının Tahmini, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 30 (1), 1-16

DSİ, 1972. Harran Ovası hidrojeolojik etüt raporu, DSİ Yayını 49 s. Ankara

_____, 1981. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Su ve Analiz Metotları. DSİ Basım ve Foto–Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara

_____, 1987.Hidrolojide İzotoplar ve Nükleer Teknikler, Ankara

ERGUVANLI, K., ve YÜZER E., 1973. Yeraltı Suları Jeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları 967: 293–324

ERGÜDEN, Ş. 1996. Seferihisar-Balçova Jeotermal Kaynaklarının Konut ve Sera Isıtılmasına Yönelik Projelerin Değerlendirilmesi Üzerine İncelemeler. Ege Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), 45 sayfa., İzmir

ERZENOĞLU , Z ve ÖZEKE, H., 1984, Diyarbakır-Çermik Kaplıcası I ve II nolu sıcak su sondajları kuyu bitirme raporu: MTA Der. Rap. No: 7652, 7s., (yayımlanmamış), Ankara

FETH, J.H., 1981. Cloride in naturel continental water a rewiew: U.S. Geological Survey Water-Suppl Paper 2176, U.S. Goverment Printing Office, Washington, 30p.

FOURNİER, R.O., 1990. The interpretation of Na-K-Mg relations in Geothermal Waters. Geoth. Res. Counc. Trans., 14, 1421-1425.

FOURNİER, R.O., 1991. Water Geothermometers Applied to Geothermal Energy. In Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, Rome, F.D'amore (Co-Ordinator), UNITAR/UNDP Publications, 37-69

_____, R.O., POTTER, R.W., 1979. Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. Geochimica et Cosmochimica Acta, 43, 1543–1550

FREEZE, R.A. and CHERRY, J.A., 1979, Groundwater, Prentice-hall, 604p

GAMSIZ, E. ve AĞACIK, G., 1981. Su ve Analiz Metodları: DSİ Yayını, Ankara, 158s.

GİGGENBACH, W.F., 1981. Geothermal Mineral Equlibria, Geochimica et Cosmochimica Acta 45, 393-410

_____, W.F., 1988. Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators: Geochimica et Cosmochimica Acta, 52., 2749-2765.

GOLDSCHMİDT, V.M., 1958, Geochemistry: Oxford University Pres, london, 730p. Rankama, K. And Sahama, T.H.G., 1964, Geochemistry: The University of Chicago and London, 912p.

GÖK, C.,1984. Çermik ilçesi ve Çermik kaplıcası içmesuyu temini hakkında hidrojeolojik rapor. Çermik Belediyesi Arşivi.

GÖKÇE, A., 1995. Maden Yatakları. Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları No:59, Sivas, 295s.

HARBERER, K., 1969a. Physikalische und Chemische. Eigenschaften des Wassers, in: S.W.Süuci and K.-E. Quentin, eds., Handbuch der

Lebensmittelchemie, Vol8, Part 14. Heilderberg, Springer, pp, 1-50. (G. Mattehess, 1982 editör)

HEM, J.D., 1985, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print Office, 263 p.

JANİK, J.C.; GOFF, F.; FAHLQUİST, L.; ADAMS, A.I.; ROLDAN-M.A.; CHİPERA, J.S.; TRUJİLLO, P.E.; COUNCE, D.,1992. Hydrogeochemical exploration of geothermal prospects in theTecuamburro volcano region, Guatemala. Geothermics, vol. 21, No. 4, pp. 447-481.

KETİN, İ.,1983b.Türkiye Jeolojisi'ne Genel Bir Bakış. İTÜ Vakfı, Kitap Yayın No:32, İstanbul, 309s.

_____, İ.,1988.Genel Jeoloji, Yerbilimlerine Giriş Cilt 1. İTÜ Vakfı, İstanbul

KURTTAŞ,T., 2000. Çevresel İzotop Hidrolojisi, Jeoteknik ve Yeraltısuları Semineri. TC. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşler Genel Müdürlüğü, 18-22 Eylül 2000, Gümüldür, İzmir, pp. 135-144

LANGELİER, W.A., 1936. The Analytical Control of Anticorrosion Water Treatmeant. Journal of American Water Works Association, vol 28, p1500

LARSON, T.E. ve BUSWELL A.M., 1942. CalciumCarbonate Saturation Index and Alkalinity Interpretations. Journal of American Water Works Association, 34, p1667

MANDAL, B.K. ve SUZUKİ, K.T., 2002. Arsenic Round the World: A Review. Talanta. 58 (1), 201–235

MATTHESS, G., 1982. The Properties of Groundwater.Translated by Harvey, C.J., A Willey-Interscience Publication John Willey and Sons, New York

MAXSON ve TROMP.,1940. NTS'nin VI. Bölgedeki çalışmaları

MCNEELY, R.N., NEİMANİS, V.P. ve DWYER, L., 1979, Water quality source book-Aguide to water quality parameters:Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottowa, Canada, 88 p.mineralization and health. 1970;62:26-30.

MOHAMMED, B.M., 2002. Geothermal Utilization in Agriculture in Kebili Region.Southern Tunisia CRDA Kebili 4200 Tunisia

MTA, 1996. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritalar Serisi No.42 Urfa-K 25 Paftası

PERİNÇEK, D. ve ÖZKAYA, 1., 1981. Arabistan Levhası Kuzey 114 Kenarının Tektonik Evrimi: H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Bült., 8, s. 91-101.

_____, D., 1979. The Gology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Elazığ-Malatya Area: Guide Book, TJ.K. Yayını, 33 s.

PIPER, A.M., 1944. Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, T.A.G.U. part, p.914-928

POLAT, C, 1994. Ergani-Çermik-Çüngüş (Diyarbakır) Arasındaki Bölgenin Jeolojik Özellikleri: F.Ü. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 101 sayfa. (yayımlanmamış), Elazığ

RANKAMA, K. ve SAHAMA, T.G., 1950. Geochemistry. The University of Chicago Press and Cambridge University Press, £ 5 12s. 6d, 912 pp.

RİGO DE RİGHİ, M ve CORTESİNİ, A., 1964. Gravity Tectonics in Foothills Structure Belt of Southeasth Turkey: AAPG Bult.Vol.48, No.12 pp, 1911-1937

ROUTHTIER, P., 1963. Les gisements métalliferes.Géologie et Principes de recherche. Masson et Cie, Paris, tome I, n

SEVGİCAN, A. ve EŞDER, T., 1984. Jeotermal Kaynaklar ve Sera. Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 21 (1), 56-60, Antalya.

SCHROEDER H.A.,1966. Municipal Drinking Water and Cardiovascular Death-Rates.195,125-9.

SCHMİDT,G.C., 1964. Türkiye-Irak sınırlarında, Harbol Civarında Mevcut Permiyen ve Mesozoik Formasyonlar MTA Dergisi No. 62, Ankara

SCHOELLER, H., 1955.Gechemie des eaux souterranes. Rev. Inst. France. Petrole, Paris, 10. No.3-4

_____, 1962. Les Eaux Souterraines, Masson Etcie, Paris

STROHECKER, H.f., 1936. Review:Camel-Crickets.Ecology 17(3):529-530

SUNGURLU, O., 1972. VI. Bölge Gölbaşı-Gerger Arasındaki Sahanın Jeolojisi, TPAO Raporu.Arşiv No.802 (yayımlanmamış)

_____, 1974. IV. Bölge Kuzey Saha Jeolojisi: Türkiye 1.Petrol Kongresi Tebliğleri, 85-107.

S.K.K.Y., 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılması, Madde 46, Ankara

ŞAHİNCİ, A., 1970. Maden Tetkik Arama Rapor Genel Müdürlüğü. Rapor No: 4372, Ankara

_____, A., 1991a. Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir, s.394-543

_____,1991b. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. Reform Matbaası, İzmir, 247s.

ŞAROĞLU, F., 1987. Doğu Anadoluda Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri. MTA Dergisi, 107, s.73-94

ŞENGÖR, A.M.C. ve YILMAZ, Y., 1983. Türkiye'de Tetis'in Evrimi, Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım T.J.K. Yerbilimleri Özel Dizisi, No: 1, 75 s.

ŞİMŞEK, Ş., 1995, Sıcak ve mineralli sular, Hacettepe Üniversitesi, Ders Notları, No.18, Beytepe-Ankara,83 s.

TAF, 2008. Yeraltı Suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi. Preventive Medicine Bulletion, 7(4), 351–356

TARCAN G., 2002. Jeotermal Su Kimyası Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, Jeneraum Yaz Okulu , İzmir, 200s.

TARCAN G., FİLİZ, Ş., GEMİCİ, Ü., 2000b. Geology and Geochemistry of the Salihli Geothermal Fields, Turkey.WGC-2000 World Geothermal Congress 28 May-10 June, 2000 Congress Kyuhu-Tohoku, Japan, CD-books of Proceedings, R-922, v.6, 1829-1834

TİSSOT, B., Welle, D.H.,1984.Petroleum Formation and Occurence, Springer Verlag. Berlin, 698p.

TSE, 2005. Türk Standartları Enstitüsü. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (266), Ankara

TUNÇOK, Y., 2009. İçme Suyunda Arsenik ve İnsan Sağlığına Etkileri. Türk Farmakoloji Derneği Bülteni, (99):17-19, Ankara

TURAN, M., 1995. Doğu Torosların Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, C.7/2, s.177-199, Elazığ

U.S. EPA, 2002. Arsenic Treatment Technologies For Soil, Waste, and Water, U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati

EPA, 2003a. Design Manual: Removal of Arsenic From Drinking Water By Ion

EPA, 2003b. Workshop on Managing Arsenic Risks to the Environment: Characterization of Waste, Chemistry, and Treatment and Disposal

UN, 1988. Scientific Commitee on the Effeect of Atomic Radiation Source, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Newyork

USLU, O. ve TÜRKMAN, A., 1987. Su Kirliligi ve Kontrolü. T. C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü ve Yayın Egitim Dizisi, İzmir, 364s.

UZEL, Ö.F. ve KALKAN, İ., 1992. Şanlıurfa-Yardımcı-Karaali kaplıcası hidrojeoloji etüdü, MTA Derleme No: 9419, 8s.

ÜNALAN, G., 1977. Isı akısı, Jeotermal Gradyan ve Petrol. Yeryuvarı ve İnsan, 2:(3), 54-71.

İNCEÖZ, M., 1989. Çermik-Çüngüş (Diyarbakır) Arasındaki Bölgenin Tektonik Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78 s., (yayımlanmamış)

OĞUR, R., ve TEKBAŞ, Ö.F., 2005. Temel Su Analizleri. GATA Halk Sağlığı AD, Aydan Matbaacılık, s.27-8, ISBN 975-00366-1-1, Ankara

ÖZEL, N. Ve BEKİŞOĞLU, Ş., 2002. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Termal Su Kaynaklarının Seracılık ve Termal Turizmde Değerlendirilmesi. ÇESAV Yayın No.1, Ankara, 158s.

VAROL E., DAVRAZ, A., ve VAROL, S., 2009. Tıbbi Jeoloji ve Kardiyovasküler Hastalıklarla İlişkisi. Genel Tıp Dergisi, Isparta, 19(1), 45–49.

WANG, S.,MULLİGAN, C.N., 2006. Natural attnuation processes for remediation of arsenic contaminated soils and groundwater. Journal of Hazardous Materials, B138, 459-470.

WİLCOX, L.V., 1955. Classfication and Use of Irrigation Waters. U.S. Dept. Agric. Circ.969, Washington, D.C., 19p.

WİLSON, H.H ve KRUMMENACHER, R., 1957.Geology and oil prospects of the Gaziantep region; Availoble information in tecnical fields of NV Turkse Shell, 1963 Petroleum activites in Turkey.Petroleum Administration Publication Bult.No.8

YAĞMUR, B., ve OKUR, B., 2009. Bitkisel Üretimde Termal Suların Kullanım Olanakları.Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 46(2): 123-128, ISSN 1018-8851, İzmir

YAZGAN, E. ve CHESSEX, R., 1991. Geology and Tectonic Evoluation of The Southeastern Taurides inthe Region of Malatya, T.P.J.D. Bült., 3/1,1-42.

YAZGAN, E., 1984. Geodynamic evolution of the Eastren Taurus region; Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C., eds., "the Geology of the Taurus Belt", 199-208.

YILMAZ, Y., 1981a. Rift, Alakojen, İmpaktojen ve Türkiye'den örnekler. TJK Konferans Dizisi 17, Ankara

_____, Y., 1981b. Rift, Alakojen, İmpaktojen ve Türkiye'den örnekler. TJK Konferans Dizisi 17, Ankara

_____, Y., 1993. New Evidence and Model on the Evolution of the Southeast Anatolian Orogen, Bulletin Geological Society of America, 105:251-71.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılı Siverek/Şanlıurfa doğdu. 1992 yılında Akdeniz Üniversitesi Isparta MYO İnşaat Bölümünü, 1997 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliğinden derece ile mezun oldu. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimine başladı. Hala yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Yurt içi ve yurt dışı birçok eğitime katılmıştır.1997'den beri Başbakanlık GAP Bölge Kalkınma İdaresinde jeoloji mühendisi olarak çalışmakta ve iki çocuk annesidir.