

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAFAALAN (TEKİRDAĞ – SARAY) BÖLGESİ TERKEDİLMİŞ KÖMÜR
SAHALARINDAKİ YERALTI VE YÜZEY SULARININ
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE KULLANILABİLİRLİK
POTANSİYELLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
AYŞEGÜL OYLUM KAYALAR**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Jeoloji Mühendisliği Programı**

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAFAALAN (TEKİRDAĞ – SARAY) BÖLGESİ TERKEDİLMİŞ KÖMÜR
SAHALARINDAKİ YERALTI VE YÜZEY SULARININ
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE KULLANILABİLİRLİK
POTANSİYELLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ayşegül Oylum KAYALAR
(505111305)**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN TUTAY

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505111305 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ayşegül Oylum KAYALAR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“SAFAALAN (TEKİRDAĞ – SARAY) BÖLGESİ TERKEDİLMİŞ KÖMÜR SAHALARINDAKİ YERALTI VE YÜZEY SULARININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE KULLANILABİLİRLİK POTANSİYELLERİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yüksel Örgün Tutay**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sabah Yılmaz Şahin**
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Nurgül Çelik Balcı
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Kasım 2015**
Savunma Tarihi : **24 Aralık 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışma, İTÜ Lisansüstü Tezlerini Destekleme Projeleri, kapsamında 33292 nolu proje ile desteklenmiştir.

Üniversite eğitim sürecim boyunca yanında yetiştiğim, kendimi geliştirmem için beni sürekli yönlendiren, yapmak istediğim çalışmalarında beni cesaretlendiren ve her zaman arkamda olduğunu hissettiren; bu çalışmanın yöneticisi sayın hocam Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN TUTAY 'a çalışma boyunca ayırdığı değerli vakti, görüşleri, ilgisi, desteği, sabrı ve anlayışı için teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının konu seçiminde ve hazırlanmasındaki her aşamada yardımını esirgemeyen, sonsuz sabrıyla her zaman yanımda olan, değerli hocam ve arkadaşım Ar. Gör. Cemile ERARSLAN 'a en içten dileklerimle teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasını maddi olarak destekleyen İTÜ Rektörlüğü BAP Birimi'ne teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları sırasında sahaya ulaşımımızı ve konaklamamızı sağlayan, çalışma alanıyla ilgili bilgilerini bizimle paylaşan TKİ Saray Kontrol Müdürlüğü çalışanlarından Jeoloji Müh. Erol Çavuşlu, Jeoloji Müh. Eda Er ve Memur Mesut Şimşek 'e yardımları için teşekkür ederim.

Yüksek Lisansımın bir senesini tamamladığım, Universitat Politècnica de Madrid / İspanya 'daki değerli hocam Prof. Dr. Liliana Medic Pejic ve çalışma arkadaşlarım Jeoloji Müh. Karolina Hańderek ile Mario Alins Breda 'ya teşekkür ederim.

Sabriyla her zaman yanımda olan değerli arkadaşım Gülten NALBANT 'a, Yanımda olacağını bildiğim sevgili arkadaşım ve kardeşim Buket AKKANAT 'a, Üniversite hayatım süresince, dostluğuyla ve yardımlarıyla yanımda olan değerli arkadaşım Damla ERDOĞAN 'a,

Son olarak maddi ve manevi her konuda beni destekleyen, sevgi ve güvenleriyle yanımda olan annem Oya KAYALAR ve babam Yusuf KAYALAR'a teşekkürü borç bilir, şükranlarımı sunarım.

Aralık 2015

Ayşegül Oylum KAYALAR
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Çalışma Alanı.....	2
1.2.1 Coğrafi konum	2
1.2.2 İklim ve bitki örtüsü.....	3
1.2.3 Morfoloji	3
1.2.4 Ekonomik durum.....	4
1.3 Çalışma Yöntemleri	5
1.3.1 Arazi çalışmaları	5
1.3.2 Örnek alma koşul ve yöntemleri	5
1.3.3 Laboratuvar çalışmaları.....	5
1.4 Önceki Çalışmalar	6
2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK KONUMU.....	9
2.1 Bölgesel Jeoloji	9
2.2 Çalışma Alanının Jeolojisi	13
2.2.1 Soğucak formasyonu.....	13
2.2.2 Çakıl formasyonu	14
2.2.3 Ergene formasyonu	15
2.2.4 Kırçasalılı formasyonu (Trakya formasyonu).....	16
2.2.5 Alüvyon.....	17
2.3 Bölgenin Tektonik Konumu.....	17
2.4 Safaalan Kömürlerinin Özellikleri.....	18
3. SULARIN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	21
3.1 Giriş.....	21
3.2 Çalışma Alanının Hidrojeolojik Özellikleri	21
3.3 Su Noktaları	25
3.4 Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	30
3.4.1 Suların arazide ölçülen parametreleri.....	30
3.4.1.1 Sıcaklık (°C).....	31
3.4.1.2 Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH) ve Redoks Potansiyeli (Eh)	33
3.4.1.3 İletkenlik (EC) ve Tuzluluk (NaCl) ilişkisi.....	36
3.4.1.4 Asidite, Alkalinite ve Çözünmüş Oksijen (DO)	39
3.5 Suların anyon ve katyon değerleri.....	42

3.5.1 Anyonlar.....	45
3.5.1.1 Bikarbonat (HCO_3^-).....	45
3.5.1.2 Sülfat ($\text{SO}_4^{=}$).....	45
3.5.1.3 Klorür (Cl^-).....	47
3.5.2 Katyonlar.....	48
3.5.2.1 Kalsiyum (Ca^+).....	48
3.5.2.2 Magnezyum (Mg^{++}).....	49
3.5.2.3 Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+)	50
3.6 Suların Sertliği.....	50
3.7 Suların Schoeller'in İçilebilirlik Diyagramındaki Konumu.....	53
3.8 Suların Riverside ve Wilcox Kullanılabilirlik Diyagramları.....	56
3.9 Suların İz Element İçerikleri	58
3.9.1 İnsan sağlığı için gerekli olan iz elementler.....	61
3.9.1.1 Demir (Fe^{+2})	61
3.9.1.2 Mangan (Mn^{+2}).....	62
3.9.1.3 Toplam Krom (Cr^+), Nikel (Ni^+) ve Kobalt (Co^+)	63
3.9.1.4 Bakır (Cu).....	66
3.9.2 Sağlık için muhtemelen gerekli olan iz elementler	67
3.9.2.1 Arsenik (As)	67
3.9.2.2 Baryum (Ba).....	68
3.9.3 Sağlık için gerekli olmayan iz elementler	69
3.9.3.1 Alüminyum (Al).....	70
3.9.3.2 Kadmiyum (Cd).....	71
3.9.3.3 Kurşun (Pb)	72
3.9.3.4 Bor (B).....	73
4. SULARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ İLE LİTOLOJİ ARASINDAKİ İLİŞKİ	
VE SULARIN SINIFLANDIRILMASI	75
4.1 Suların Kimyasal Bileşiminin Litolojiyle İlişkisi.....	75
4.2 Suların Sınıflandırılması	82
5. SONUÇLAR	87
KAYNAKLAR.....	93
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	101

KISALTMALAR

T.S.	: Toplam Sertlik
DO	: Çözünmüş Oksijen
Max	: Maksimum
Min	: Minimum
NaCl	: Tuzluluk
SAR	: Sodyum Adsorption Oranı
TS266	: Türk Standartları
WHO	: World Health Orginazation (Dünya Sağlık Örgütü)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Safaalan Sahasına ait bilgiler (Türkiye Linyit Envanteri, 2010).....	19
Çizelge 3.1 : Tekirdağ meteoroloji istasyonu meteorolojik verileri (1939-2002)....	24
Çizelge 3.2 : Çalışma alanında yağışlı ve kurak dönemde alınan su örneklerinin numaraları, örnek alınan lokasyonlar, ölçülen debi ve yer altı su seviyeleri	26
Çizelge 3.3 : Suların yağışlı dönemde ölçülen parametrelerinin istatistiksel özeti ...	31
Çizelge 3.4 : Suların kurak dönemde ölçülen parametrelerinin istatistiksel özeti.....	31
Çizelge 3.5 : Çalışma alanındaki yağışlı dönem sularının anyon, katyon ve toplam sertlik değerlerinin istatistiksel özeti (mg/l).....	43
Çizelge 3.6 : Çalışma alanındaki Kurak dönem sularının anyon, katyon ve toplam sertlik değerlerinin istatistiksel özeti (mg/l).....	43
Çizelge 3.7 : Çalışma alanındaki yağışlı ve kurak dönem sularının toprak sertlik değerlerinin istatistiksel özeti.....	52
Çizelge 3.8 : Fransız Sertlik sınıflaması.....	52
Çizelge 3.9 : Yağışlı dönemde alınan örneklerin sağlık için gerekli olduğu kabul edilen iz element analiz sonuçlarının istatistiksel özeti ve içme suyu standartlarında kabul edilen değerleri (ppb)	59
Çizelge 3.10 : Kurak dönemde alınan örneklerin sağlık için gerekli olduğu kabul edilen iz element analiz sonuçlarının istatistiksel özeti ve içme suyu standartlarında kabul edilen değerleri (ppb)	60
Çizelge 4.1 Keşan bölgesi Linyitlerinin iz element içerikleri (Erarslan, 2010).....	80
Çizelge 4.2 Keşan bölgesi sularının iz element içerikleri (Erarslan, 2010).....	81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası	2
Şekil 1.2 : Çalışma alanının genel görünüşü	3
Şekil 1.3 : Çalışma alanının uydu görüntüsü	4
Şekil 2.1 : Trakya havzası Tersiyer istifinin genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Siyako 2006a).....	11
Şekil 2.2 : Trakya Bölgesinin Genel Jeoloji Haritası (Kasar ve diğ., 1983; Türkecan ve Yurtsever 2002; Siyako, 2006a'dan).....	12
Şekil 2.3 : Soğucak Formasyonuna ait bir görüntü	14
Şekil 2.4 : Ergene Formasyonuna ait bir görüntü	16
Şekil 3.1 : Türkiye'deki 26 topoğrafik su havzası haritası (Akın, 2007)	22
Şekil 3.2 : G13 no'lu örneğin alındığı gölet (X: 593916, Y: 4583438).....	27
Şekil 3.3 : G14 no'lu örneğin alındığı gölet (X: 593421, Y: 4583322).....	27
Şekil 3.4 : G15 no'lu örneğin alındığı gölet (X: 593296, Y: 4583958).....	28
Şekil 3.5 : K9 no'lu örneğin alındığı kuyu (X: 591884, Y: 4587009)	28
Şekil 3.6 : Ç7 no'lu örneğin alındığı çeşme (X: 592377, Y: 4587380).....	29
Şekil 3.7 : Ç8 no'lu örneğin alındığı çeşme (X: 585865, Y: 4587731).....	29
Şekil 3.8 : Yağışlı dönem sıcaklık dağılımı.....	32
Şekil 3.9. Kurak dönem sıcaklık dağılımı.....	33
Şekil 3.10 : Örneklenen suların yağışlı ve kurak dönem pH dağılımı.....	34
Şekil 3.11 : G13 no'lu gölet etrafındaki kumlukillerin görünüşü (X: 593916, Y: 4583438)	34
Şekil 3.12 : Örneklenen suların yağışlı ve kurak dönem Eh dağılımı	35
Şekil 3.13 : Çeşme ve kuyulardan alınan yeraltı sularının pH-Eh ilişkisi	36
Şekil 3.14 : Gölet sularının pH-Eh ilişkisi.....	36
Şekil 3.15 : Örneklenen suların elektriksel iletkenlik dağılımı	37
Şekil 3.16 : Örneklenen suların Tuzluluk dağılımı.....	38
Şekil 3.17 : Gölet sularının NaCl-EC ilişkisi.	38
Şekil 3.18 : Çeşme ve kuyulardan alınan yer altı sularının NaCl-EC ilişkisi.....	39
Şekil 3.19 : Örneklenen suların Asidite dağılımı.....	40
Şekil 3.20 : Alkalinite değerlerinin ölçümü işlemi.....	41
Şekil 3.21 : Örneklenen suların Alkalinite dağılımı	41
Şekil 3.22 : Örneklenen suların Çözünmüş Oksijen dağılımı.....	42
Şekil 3.23 : Yağışlı dönem örneklerinin ana anyon-katyon değerlerinin değişim diyagramı (mg/l)	44
Şekil 3.24 : Kurak dönem örneklerinin ana anyon-katyon değerlerinin değişim diyagramı (mg/l)	44
Şekil 3.25 : Örneklenen suların Bikarbonat dağılımı	45
Şekil 3.26 : Örneklenen suların Sülfat dağılımı.....	46
Şekil 3.27 : Örneklenen suların Klorür dağılımı	47
Şekil 3.28 : Örneklenen suların Kalsiyum dağılımı	48

Şekil 3.29 : Örneklenen suların Magnezyum dağılımı	49
Şekil 3.30 : Örneklenen suların Sodyum dağılımı	51
Şekil 3.31 : Örneklenen suların Potasyum dağılımı	51
Şekil 3.32 : Örneklenen suların toplam sertlik değerleri	53
Şekil 3.33 : Kurak dönemde çeşme ve kuyu sularının Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları	54
Şekil 3.34 : Yağışlı dönemde çeşme ve kuyu sularının Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları	54
Şekil 3.35 : Kurak dönemde gölet sularının Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları	55
Şekil 3.36 : Yağışlı dönemde gölet sularının Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları	55
Şekil 3.37 : Yağışlı dönem gölet, kuyu ve çeşme sularının Riverside diyagramındaki durumu	56
Şekil 3.38 : Kurak dönem gölet, kuyu ve çeşme sularının Riverside diyagramındaki durumu	56
Şekil 3.39 : Yağışlı dönem alınan su örneklerinin Wilcox diyagramındaki durumu	57
Şekil 3.40 : Kurak dönem alınan su örneklerinin Wilcox diyagramındaki durumu ..	58
Şekil 3.41 : Örneklenen suların Fe^{+} içeriklerinin dağılımı	62
Şekil 3.42 : Örneklenen suların Mn^{+} içeriklerinin dağılımı.....	63
Şekil 3.43 : Örneklenen suların Cr içeriklerinin dağılımı.....	64
Şekil 3.44 : Örneklenen suların Nikel içeriklerinin dağılımı.....	65
Şekil 3.45 : Örneklenen suların Kobalt içeriklerinin dağılımı.....	66
Şekil 3.46 : Örneklenen suların Bakır içeriklerinin dağılımı.....	67
Şekil 3.47 : Örneklenen suların Arsenik içeriklerinin dağılımı	68
Şekil 3.48 : Örneklenen suların Baryum içeriklerinin dağılımı.....	69
Şekil 3.49 : Örneklenen suların Alüminyum içeriklerinin dağılımı	71
Şekil 3.50 : Örneklenen suların Kadmiyum içeriklerinin grafiksel dağılımı.....	72
Şekil 3.51 : Örneklenen suların Kurşun içeriklerinin dağılımı.....	73
Şekil 3.52 : Örneklenen suların Bor içeriklerinin dağılımı.....	74
Şekil 4.1 : Yağışlı dönemde gölet suyu örneklerinin yarı - logaritmik Schoeller diyagramı.....	76
Şekil 4.2 : Yağışlı dönemde çeşme ve kuyu suyu örneklerinin yarı - logaritmik Schoeller diyagramı.....	76
Şekil 4.3 : Kurak dönemde gölet suyu örneklerinin yarı - logaritmik Schoeller diyagramı.....	77
şeklinde olduğu görülmektedir. Anyon dizilimleri ise aşağıdaki gibidir.	77
Şekil 4.4 : Kurak dönemde çeşme ve kuyu suyu örneklerinin yarı - logaritmik Schoeller diyagramı.....	77
Şekil 4.5 : Piper üçgen diyagramında yağışlı dönem gölet suları sınıflaması	82
Şekil 4.6 : Piper üçgen diyagramında yağışlı dönem çeşme ve kuyu suları sınıflaması	83
Şekil 4.7 : Piper üçgen diyagramında kurak dönem gölet suların sınıflaması.....	83
Şekil 4.8 : Piper üçgen diyagramında kurak dönem çeşme ve kuyu suları sınıflaması	84

**SAFAALAN (TEKİRDAĞ – SARAY) BÖLGESİ TERKEDİLMİŞ KÖMÜR
SAHALARINDAKİ YERALTI VE YÜZEY SULARININ
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE KULLANILABİLİRLİK
POTANSİYELLERİ**

ÖZET

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın temel amacı, Safaalan Köyü (Tekirdağ – Saray) ve civarında yer alan terkedilmiş kömür sahalarında meydana gelen göletlerde biriken suların, kömür oluşumlarından etkilenip etkilenmediğini yerinde (in situ) ve laboratuarda suların fizikokimyasal parametrelerini inceleyerek, kullanılabilme potansiyellerini ortaya koymaktır. Safaalan Köyü (Tekirdağ – Saray) ve civarında yer alan terkedilmiş kömür sahası, 1992 yılında TKİ tarafından işletilmeye başlanmış ve 2002 yılında üretim faaliyeti bitirilmiştir. Günümüzde mesire / dinlenme yeri olarak kullanılan bu alanda hali hazırda yüzey alanları yaklaşık 10 m² ile 400 m² aralığında değişen 5 adet gölet tespit edilmiştir. Çalışma sahası olan Safaalan köyü ve yakın civarında yöre halkı içme ve kullanma (temizlik, pişirme, tarımda sulama suyu vb.) amaçlı su ihtiyacını çoğunlukla yer altı ve gölet sularından karşılamaktadır.

İnceleme alanının jeolojik yapısını tanımak ve haritasını hazırlamak amacıyla bölgede öncelikle arazi çalışması yapılmıştır. Bölge stratigrafisinde en altta Üst Eosen – Alt Oligosen yaşlı Soğucak Formasyonu, Orta – Üst Oligosen yaşlı Çakıl Formasyonu, Orta - Üst Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu ve Üst Miyosen – Alt Pliyosen yaşlı Kırçasalılı Formasyonu sıralanmıştır. Bütün bu birimlerin üstüne Güncel yaşlı Alüvyon çökelleri uyumsuzlukla gelir.

Bu çalışmanın ana konusu çalışma alanındaki terk edilmiş kömür sahalarının, yer altı ve yüzey sularına olası etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla yağışlı (Mart 2015) ve kurak (Ağustos 2014) dönemi temsilen toplam 20 örnek alınmıştır. Örnekler göletlerden (5 + 4), çeşmelerden (4 + 3) ve kuyulardan (2 + 2) alınmıştır. Örneklerden 9 adedi yağışlı dönemi, 11 adedi ise kurak dönemi temsil etmektedir. Suların sıcaklık, pH, Eh, iletkenlik (EC), tuzluluk (NaCl), asidite, alkalinite ve çözünmüş oksijen (DO) değerleri arazide; ana anyon, katyon ve iz element içerikleri ACME Laboratuvarında ICP-MS ve Hacettepe Laboratuvarında IC yöntemi ile analiz ettirilmiştir.

Suların içilebilirliği üzerinde önemli etkiye sahip olan pH değeri, örneklenen sularda TS266 'da verilen 6,5 – 9,2 aralığı içinde kalmaktadır. Sulardaki toplam iyon

karşılık gelen iletkenlik (EC) değeri ise TS266 'da maksimum izin verilen 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ limit değerin altında kalmıştır. Kurak dönemde örneklenen göl sularının tümünde ve 2 adet çeşme suyu örneğinde sıcaklık TS266 belirtilen 25 °C limit değerinin üzerinde ölçülmüştür.

Suların ana anyon değerleri (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) ve ana kation değerleri (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) incelenmiş olup; çeşme ve kuyu sularında ölçülen değerlerinin içme suları için verilen limit değerlerini karşıladığı, gölet sularında ise bu parametrelerin suların ancak kullanma amaçlı (temizlik ve tarımda sulama) kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Sular tarımda kullanılabilirlik açısından Riverside Diyagramına uyarlanmış olup örneklerin ağırlıklı olarak Az Tuzlu Sular sınıfında yer aldığı, sulama amaçlı kullanılan suların sınıflandırılmasında kullanılan Wilcox diyagramında ise suların benzer şekilde Çok İyi - İyi Sular ve İyi Kullanılabilir sular alanında yer aldıkları ortaya konmuştur.

Suların kimyasal bileşimlerinin litolojiyle ilişkisini oraya koymak amacıyla su örneklerinin ana kation (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ve ana anyon (HCO_3^- , SO_4^{2-} ve Cl^-) değerleri yarı - logaritmik Schoeller diyagramına uyarlanmıştır. Sahada en yaygın birim Ergene formasyonu olup, suların $r\text{Ca}^{+2} > r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ > r\text{Mg}^{+2}$ (%55) ve $r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$ (%45) şeklindeki kation dizilimi Formasyonunun litolojik özellikleri ile paralellik göstermiştir. Suların sergilediği $r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-}$ (%50), $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ (%30) ve $r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^-$ (%20) şeklindeki anyon dizilimlerinin ise Ergene Formasyonunun heterojen litolojik bileşimi, sahadaki killi birimlerin yaygın olması ve Safaalan bölgesi genelinde karbonatlı birimlerin varlığı açıklanabilir ise de suların Cl^- değerlerinin yüksek olmasının açıklanması için daha ileri boyutta laboratuvar ve saha çalışmalarını gerektirmektedir. Alınan su örneklerini ICP-MS yöntemi ile 72 adet iz elementi açısından analiz edilmiş, bu elementler içerisinde literatürde sağlık açısından riskli olduğu kabul edilen Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, değerleri incelenmiş, bazı örneklerde Mn, Fe ve Al değerlerinin anomali oluşturduğu ve içme suyu limit değerlerini aştığı tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye'nin en önemli kömür havzalarından biri olan Trakya Havzası'nda yer alan Safaalan Köyü ve yakın civarında yöre halkı tarafından kullanılan yeraltı suları Ç5, Ç6 ,Ç7 ve K9 no 'lu örneklerde tespit edilen yüksek Mn, Fe ve Na değerleri hariç içilebilir niteliktedir. Gölet suları ise SO_4^- (G13 no 'lu örnek), Cl^- (G13 ve G14 nolu örnek), Mn (G15 no 'lu örnek), Fe (G13 ve G15 no'lu örnek) ve Al (G13 ve G15 no'lu örnek) açısından içme suyu standartlarının üzerinde kalmıştır. İncelenen tüm su örneklerinin kullanma suyu ve tarımda sulama suyu olarak kullanılmasında herhangi bir sakınca görülmemektedir.

**EVALUATION OF HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES AND
USABILITY POTENTIAL OF SURFACE AND GROUND WATERS IN
SAFAALAN (TEKİRDAĞ – SARAY) REGION**

SUMMARY

This study is submitted to Istanbul Technical University Institute of Science and Technology as a master thesis and covers to research the effects of inactive coal areas on surface and ground waters as the potential of usability water quality in Safaalan Village (Tekirdağ - Saray) and its surroundings. In 1992, coal mining started by TKİ in the study area and it ended in 2002. After the ending of mining, five lakes have been formed in the area; their surface areas range from 10 m² to 400 m², approximately. The main subject of this study is to research the effects of inactive coal areas on lake waters physicochemical parameters which is identified in site and the laboratory.

To identify Safalan Villages and the surrounding 's geological structure and to create the geology map of the region, the study was conducted in the area. In the stratigraphical sequence of the area, the oldest unit is the Upper Eocene – Lower Oligocene Soğucak Formation, middle – Upper Oligocene Çakıl Formation, Middle – Upper Miocene Ergene Formation, Upper Miocene – Lower Pliocene Kırçasalılı Formation, and the youngest unit is the Quaternary aged alluvial deposits.

In this study, the main subject of this study is to research the effects of inactive coal areas on surface and ground waters in the study region. With this aim, 20 surface and subsurface waters were sampled in wet season (March 2015) and dry season (August 2014). 9 of these samples represent wet season, 11 of them represent dry season. The samples are taken from lakes (5 + 4), taps (4 + 3) and wells (2 + 2). Heat, pH, Eh, conductivity (EC), salinity (NaCl), acidity, alkalinity and dissolved oxygen (DO) values were identified on site; whereas, ingredients of main and trace elements were identified in the laboratory.

The value of pH is important for drinkable waters. The sampled waters pH value in the study area in the limit values set by TS266 (6,5 – 9,2). The EC values of the

waters which means waters total ion are belowed the limited value by TS266 (2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). The all samples of lake waters and two of taps in dry season are exceeded the heat limit values set by TS266 (25 °C).

The waters main anion (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) and main cation (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) values are identified; the tap and wells water samples values are in the limit values, the lake water are determined as usable water (clean, cook and irrigation) because of the values.

The waters are adapted to Riverside Diagram for irrigation, and the waters determined as Less Salinity Water. Also Wilcox diagrams are prepared, and the water determined as Very Well – Well Waters and Well Waters.

To prove the relationship between waters chemical components and lithology, the semi-logarithmic Schoeller Diagrams are prepared. The cation permutations of waters are $r\text{Ca}^{+2} > r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ > r\text{Mg}^{+2}$ (%55) and $r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$ (%45), the results are parallel with the main formation of the area is Ergene Formation. The anion permutations of waters are $r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-}$ (%50), $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ (%30) and $r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^-$ (%20). HCO_3^- values are higher than Cl^- and SO_4^{2-} values on some permutations, it is related with Ergene Formations heterogeneous lithological components and Safaalan Regions carbonate units. The waters high SO_4^{2-} and Cl^- values are can explained by widespread clay units and the absorption capacity of clays. The water samples were analyzed for trace elements by ICP – MS methods for 72 elements. Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb are considered to pose threat to health, Mn, Fe and Al values are determined exceeded the limit values of drinkable waters

As the all data derived are evaluated along, the ground water of Safaalan Villige and its surroundings are located in one of the most important coal areas which is called as Trakya Havzası in Turkey, is determined as drinkable waters without the high value of Ç5, Ç6, Ç7 and K9. The lake waters SO_4^- (sample G13), Cl^- (samples G13 and G14), Mn^{+2} (sample G15), Fe^{+2} (samples G13 and G15) and Al (samples G13 and G15) values are exceeded the limits. The all samples are determined as usable water and irrigation waters and the waters of the area are proved not to constitute a negative effect in this respect.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Yaşamın temel öğelerinden biri olan su, yüzyıllar boyunca medeniyetler için önemli bir doğal kaynak olmuş ve bütün büyük uygarlıklar su kenarında kurulmuştur. İnsanoğlunun hayatında bu denli yeri olan suyun özellikleri de insan sağlığında son derece önemlidir. Günümüzde hızlı nüfus artışına bağlı olarak gittikçe azalan ve hatta kullanılamaz hale gelen su kaynakları, yer altı sularına verilen değeri arttırmış, korumaya ve doğru kullanmaya yönlendirmiştir. Bu amaç doğrultusunda, geçtiğimiz 20 yıl içerisinde yayınlanan makalelere ve düzenlenen seminer ve konferanslara bakıldığında, küresel ısınmanın eşiğinde olan yerkürede gelecekte su ile ilgili ciddi sorunlar yaşanacağı vurgulanmıştır. Bu olası sorunun hasarlarını en aza indirebilmek için yeni yer altı suyu kaynakları araştırmak ve sahip olduğu kimyasal özelliklere göre en verimli şekilde kullanmak geleceğimiz için oldukça doğru bir yaklaşım olacaktır.

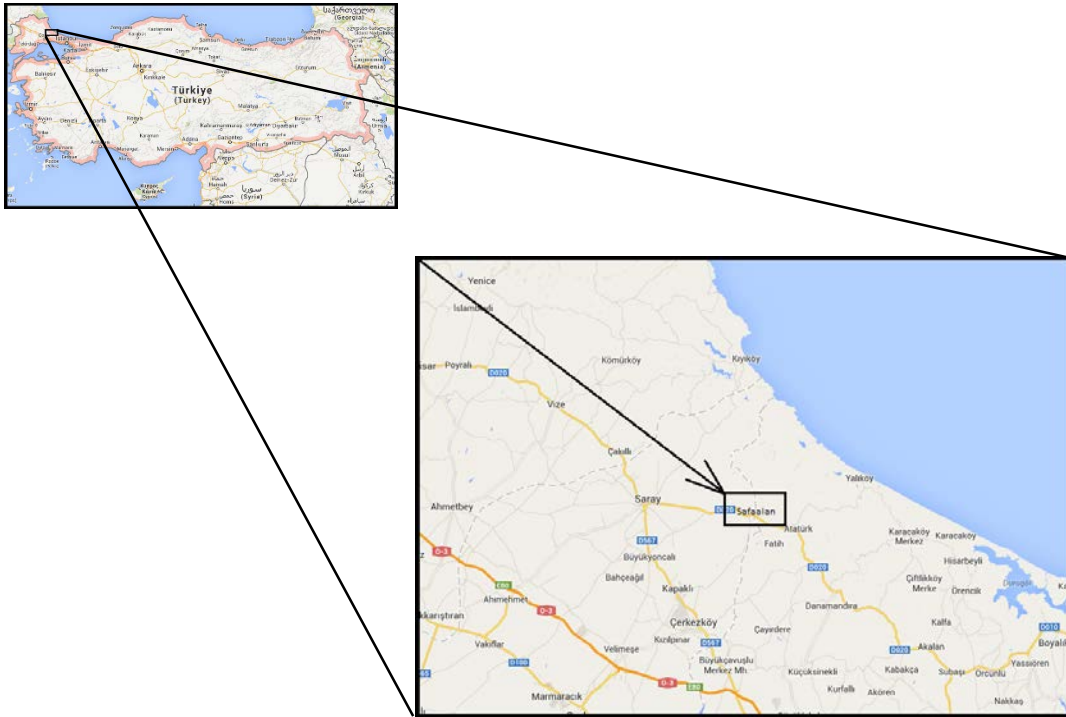
Ülkemizin en önemli linyit havzalarından biri olan Trakya Havzası, son yıllarda MTA tarafından yapılan yeni sondajlı aramalarla sahip olduğu yaklaşık 2 milyar ton linyit rezervi ile ülkemizin önemli linyit havzalarından biri haline gelmiştir. Havzada yeraltısuları özellikle kırsal bölgelerde en önemli, hatta yer yer tek içme ve kullanma suyu kaynağıdır. Enerji talebinin giderek arttığı 21. yüzyılda linyit göz ardı edilemeyecek bir enerji hammadde kaynağıdır. Bu iki önemli kaynağın kesişme noktasından hareketle, Safaalan (Tekirdağ – Saray) köyü ve civarında bulunan terk edilmiş kömür sahalarındaki yer altı ve yüzey suları çalışma konusu olarak seçilmiştir. Çalışmada yeraltı sularının fizikokimyasal özelliklerini inceleyerek bahsi geçen bölgedeki suların içme, temizlik ve tarımdan sulama suyu olarak kullanılmasının uygunluğunu belirlemeyi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, yapılan arazi çalışması ile hidrojeokimya çalışmalarında kullanılan temel parametreler belirlenmiş ve elde edilen kimyasal analiz sonuçları ilgili diyagramlar vasıtasıyla yorumlanarak bölgenin hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.2 Çalışma Alanı

1.2.1 Coğrafi konum

Çalışma alanı Tekirdağ iline bağlı, Saray ilçesinin doğusunda yer alan Safaalan Köyü ve yakın çevresini kapsamaktadır. Yaklaşık 50 km² 'lik yüzeye sahip olan alan, 1/25.000 ölçekli Kırklareli F20 a1 ve F20 a2 paftalarında yer almaktadır.

Çalışma alanının doğusunda Atatürk, kuzey batısında Güngörmez, Güneyinde Hallaçlı ve güney doğusunda Sayalar, batısında Küçükyoncalı ve Saray ilçesinin merkezi yer almaktadır. Çalışma alanına Eski İstanbul – Kırklareli Yolu ile ulaşılmaktadır. Ayrıca saha içerisinde köyler arası ulaşımında kolaylık sağlayan stabilize yollar bulunmaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1.1. 'de verilmiştir. Çalışılan bölgenin genel görünüşü de Şekil 1.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası



Şekil 1.2 : Çalışma alanının genel görünüşü

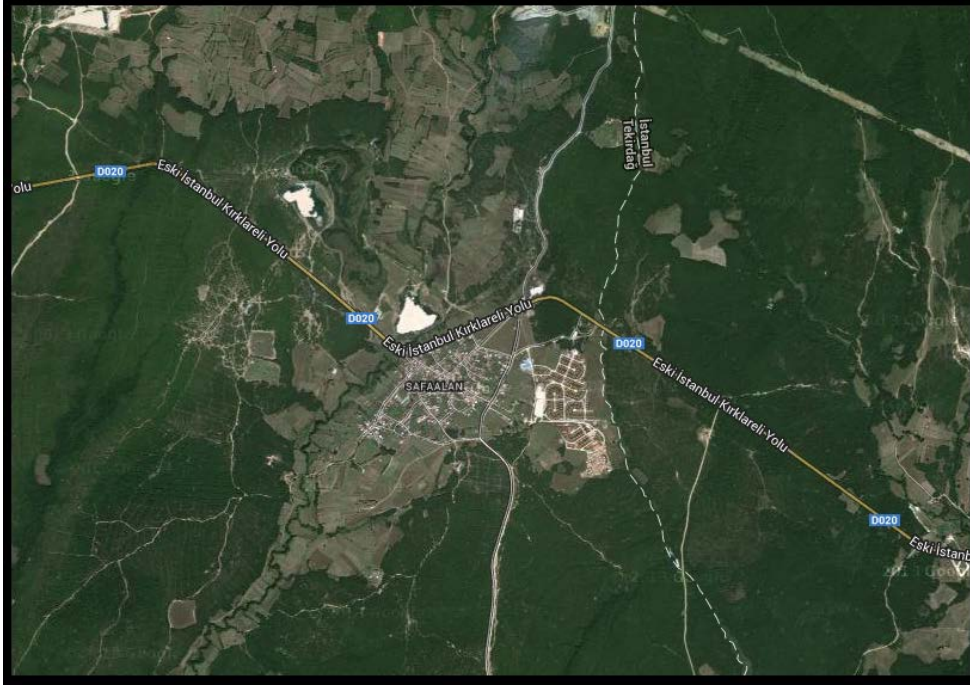
1.2.2 İklim ve bitki örtüsü

Marmara Bölgesi ‘nin kuzeyinde kalan çalışma alanında Marmara ve Karadeniz iklimi hakimdir. Kışlar sert yoğun kar yağışlı ve ayaz, yazlar ise sıcak olduğu esintiyle birlikte serin geçer. İlçe genelinde yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.2 °C ’dir. 1960 ve 2012 yılları arasında bölgedeki en yüksek sıcaklık yazın 40.2 °C, en düşük sıcaklık değeri ise -12.3 °C olarak ölçülmüştür. Çalışma sahası ormanlık olup bitki örtüsü çam ve meşe ağaçları ile temsil edilir.

1.2.3 Morfoloji

Çalışma alanı farklı yükseltilere sahip tepeler, sırtlar ve bunlar arasında kalan sınırlı alandaki düzlükler ile kuru ve akar derelerden oluşmaktadır. İnceleme alanının büyük bir kısmını verimli tarım toprakları ve kayın, meşe, gürgen türündeki sık ağaçlarla örtülü orman arazileri kaplamaktadır. Şekil 1.3 ‘te görüldüğü gibi yeşil renk ormanlık alanlar olup buradan da bölgenin yükseltiye sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Çalışma alanı içinde bulunan bazı önemli yükseltiler; Üçarmutlar Sırtı (212 m), Havyar Tepesi

(243 m), Yassı Tepe (210 m) 'dir. Şekil 1.3 'de çalışma sahasının uydu görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 1.3 : Çalışma alanının uydu görüntüsü

1.2.4 Ekonomik durum

2008 nüfus sayımına göre Saray ilçe merkez nüfusu 21.243'tür. 4 mahalle, 2 belde ve 19 köyden oluşan ilçenin toplam nüfusu 45.639'dur. Yüzölçümü 612 km² olup İl merkezine uzaklığı 82 km'dir. İlçenin sahip olduğu toprakların 314.895 dekarı kullanılan tarım alanları teşkil ederken Şekil 1.3 'te görüldüğü gibi orman ve fundalık alanlar 255.665 dekardır. Trakya'da tek Karaçam ormanı Saray Kastro yöresinde bulunur. Bu sebeple Kastro yöresindeki 329 hektarlık Karaçam ormanı 18 Nisan 1988 tarihinde doğayı koruma alanı (Milli Park) olarak ayrılmıştır. Bölge halkı geçimini tarım, hayvancılık ve özel su şirketlerinin dolum tesislerinde işçilikle sağlamaktadır. Tarımsal üretimin başında buğday, ayçiçeği, arpa, yulaf, mısır olmak üzere meyve ve sebze gelir. Hayvancılık ise ilçenin ikinci önemli bir gelir kaynağını oluşturmaktadır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvancılığın yanı sıra arıcılıkta yapılmaktadır. Kevser Kaynak Suları şirketine ait Su Dolum Tesisi, Dağdelen Doğal Kaynak Suları ve Istranca Doğal Kaynak Suları şirketlerine ait fabrikaların çalışma alanı içinde yer alması ile birlikte son yıllarda genç nüfus için geniş çalışma alanı yaratmıştır.

1.3 Çalışma Yöntemleri

1.3.1 Arazi çalışmaları

Çalışma kapsamında ilk arazi çalışması Ağustos 2014'te yapılmış ve saha genel hatlarıyla incelenmiştir. Arazinin 1/25.000'lik jeoloji haritası çalışmanın amacına uygun olarak önceki çalışmalardan da yararlanılarak hazırlanmış, terk edilmiş kömür sahaları ve bu sahaların etkileşimde olduğu yerlerdeki yer altı ve yüzey suyu noktaları belirlenmiş ve örnekleme yapılmıştır. İkinci çalışma 2015 Mart ayında yapılmış, belirlenen bölgelerden sistematik olarak su örnekleri alınmış, örnek yerleri jeoloji haritasına işaretlenmiştir (Ek-A). Yeraltı ve yüzey sularının örnekleme kurak dönemi temsil etmesi için Ağustos 2014, yağışlı dönemi temsil etmesi için Mart 2015 tarihlerinde yapılmış ve haritaya işaretlenmiştir. Suların sıcaklık (T), pH, Eh, Çözünmüş oksijen (DO), Elektriksel iletkenlik (EC), tuzluluk (NaCl), asidite ve alkalinite değerleri arazide örnekleme sırasında yerinde ölçülmüştür.

1.3.2 Örnek alma koşul ve yöntemleri

Çalışmanın istenilen amaca ulaşmasında su örneklemesinin önemi aşikârdır. Çalışma alanında faal kömür işletmesi bulunmamakla birlikte, 3 adet terkedilmiş açık işletme mevcuttur. Çalışma alanından Ağustos 2014 (Kurak) ve Mart 2015 (Yağışlı)'de 5 adet gölet, 4 adet çeşme ve 2 adet kuyu örneği olmak üzere toplam 11 adet su örneği alınmıştır. Beş adet göletin dört tanesi ve dört adet çeşmenin sadece bir tanesi kömür sahalarında olup diğerleri kömür sahalarının dışında, köy içi ve yol kenarlarında bulunur. İki adet kuyu ise Safaalan Köyü içinde olup şahıslara aittir.

1.3.3 Laboratuvar çalışmaları

Çalışmasının amacına uygun olarak bölgede bulunan yeraltı ve yüzey sularından alınan örneklerde ana anyon, katyon ve iz element tayini ACME Laboratuvarında ve Hacettepe Laboratuvarında ICP-MS ile IC yöntemi ile analiz ettirilmiştir. Suların pH ve Eh değerleri, Crison User Manual pH-meter PH 25 cihazı ile, EC ve tuzluluk değerleri Crison User Manual Conductivity Meter CM 35 cihazı ile, Çözünmüş Oksijen değerleri Crison OXI 45P cihazı ile yerli yerinde (in-situ) ölçülmüştür. Asidite değerleri Aquamerck 1.11108.0001 kodlu asidite kiti ile alkalinite değerleri

ise Aquamerck 1.11109.0001 kodlu alkalinite test kiti ile titrimetrik yöntemle arazide yerli yerinde ölçülmüştür.

1.4 Önceki Çalışmalar

Trakya Bölgesinde Ergene Havzası kömür ve hidrokarbon potansiyeli nedeniyle, ekonomik bakımdan, ülkemizin önemli enerji havzalarından birisidir. Trakya bölgesinin özellikle kuzedoğu kesiminde yer alan metamorfik ve magmatik kayalar çok uzun yıllardır maden yatakları yönünden ilgi çekmiştir. Bölgenin orta kesimi ise petrol, doğalgaz ve kömür rezervlerinin bulunması nedeniyle yerli ve yabancı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Havzada kömür amaçlı çalışmalar ağırlıklı olarak MTA tarafından, petrol ve doğalgaz amaçlı çalışmalar ise daha çok TPAO ve kısmen de yerli ve yabancı özel şirketler tarafından gerçekleştirilmiştir. Bölgesel ilk çalışmalar, 1870 'li yıllarda F.Hochstatter tarafından yapılmıştır. Lebküchner (1974), ise “Orta Trakya Oligoseninin Jeolojisi Hakkında” başlıklı makalesinde, 1957-1969 yılları arasında bölgede değişik zamanlarda yaptığı çalışmalara toplu olarak yer vermiştir.

Araştırma alanını da içine alan önemli jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar kronolojik olarak izleyen paragraflarda verilmiştir.

Pamir ve Baykal, 1947 : Trakya'nın kuzeyinde yer alan Istranca Masifi içerisinde ilk ayrıntılı jeolojik çalışmayı yapmışlardır. Çalışmalarında kaya gruplarını metamorfik kayalar ve fosilli formasyonlar olarak iki ayrı grupta toplamışlardır.

Lebküchner, 1974 : “Orta Trakya Oligoseninin Jeolojisi Hakkında” başlıklı makalede Trakya 'nın Türkiye Oligoseni üzerine 1957 – 1969 yılları arasında yapılan etütleri değerlendirmiş, kömür içeren Danişmen Formasyonu üzerinde özellikle durmuş ve Orta Trakya'nın batı bölümünün jeolojik haritasını hazırlamıştır. Oligosen stratigrafisini net şekilde ortaya koyan yazar, bölgede daha sonra yapılan çok sayıda çalışmaya da ışık tutmuştur.

Trakya Havzasının jeolojik özellikleri çok sayıda araştırmacı tarafından farklı açılardan çalışılmış ve çalışmaların sonuçları çok sayıda makaleye konu olmuştur (Keskin, 1974; Üşümezsoy, 1982; Umut ve diğ., 1983; Kasar ve Eren, 1986; Yaltırak, 1995; Görür ve Okay, 1996; Tapırdamaz ve Yaltırak, 1997; Çağlayan ve Yurtseven, 1998; Çağlayan ve Yurtseven, 1998; Temel ve Çiftçi, 2002).

Turgut ve diğ., 1983: ‘Trakya Havzası’nın Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları’ adlı çalışmada araştırmacılar, Trakya Havzası’nın oluşumundan, stratigrafisinden ve bölgedeki hidrokarbon olanaklarından bahsetmişlerdir. Çalışmalarında, yer altı ve yer üstü verilerini değerlendiren araştırmacılar, havzanın tektonostratigrafik yapısına ve gelişmesine de açıklık kazandırmışlardır.

Kasar ve diğ., 1983 : ‘Tekirdağ - Şarköy - Keşan - Enez bölgesinin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları’ adlı çalışmalarında, Edirne-Kırklareli-Saray arasındaki bölgede temelin üstündeki birimleri incelemiş ve petrol potansiyeli açısından değerlendirme yapmıştır. Fosil içeriğine ve litolojisine bakarak birimlerin çökeltme ortamlarını saptamaya çalışmıştır.

Örgün ve diğ., 1999 : Trakya Havzasındaki kömürlerin jeokimyasal karakteristiklerini inceleyen araştırmacılar, Trakya Havzasının Güneybatısından ve Kuzey doğusundan aldıkları örneklerin kaba kimyasal değerlerini ve iz element içeriklerini ortaya koymuşlardır.

MTA, 2006: Kalabalık bir çalışma grubu tarafından hazırlanan, ‘Trakya Havzası Litostratigrafi Birimleri’ adlı çalışmada ekip, Trakya bölgesinde 2006 yılına kadar yapılan hemen tüm çalışmaları derlemişler ve bölgenin stratigrafisini net şekilde ortaya koymuşlardır. Çalışma, Istranca Masifinin metamorfik kaya birimleri ile metamorfizma sonrası Kretase kaya birimleri ve Trakya Havzası Tersiyer birimleri olarak iki bölüme ayrılmıştır.

Siyako, 2006 : ‘Trakya Havzasının Linyitli Kumtaşları’ adlı çalışmada, Trakya Havzasının linyitli kumtaşlarını inceleyen araştırmacı, bölgedeki formasyonlardan bahsetmiş ve Danişmen Formasyonu içerisindeki linyitlerin oluşum ortamının delta düzlüğü olduğunu belirtmiştir.

Şengüler, 2008 : Araştırmacı tarafından 2 cilt olarak hazırlanan “Trakya Havzası Kömür Aramaları Projesi Raporu” bölgede 2005-2006-2007 yıllarında yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Raporda Trakya Havzası kömürlerinin yayılımı, özellikleri, çökeltim modeli yanında bölgede bilinen saha ve işletmelere de yer verilmiştir.

Erarslan, 2010 : ‘Küçükdoğanca (Keşan - Edirne) Civarındaki Kömür Yataklarının Yüzey ve Yer Altı Sularına Etkisi’ adlı yüksek lisans tezi çalışmada, Trakya Havzası içinde yer alan Küçükdoğanca köyü (Keşan-Edirne) ve civarındaki volkanik

kayaçların, aktif ve terk edilmiş kömür sahalarının, yer altı ve yüzey sularına olası etkisini araştırmıştır.

Erarslan ve diğ. 2014 : Keşan kömürlerinin iz elementlerinin jeokimyasını inceleyen araştırmacılar, kömürlü alanlardaki yer altı ve yüzey sularının fizikokimyasal özelliklerine olan etkisini ortaya koymuşlardır.

Perinçek ve diğ., 2015 : ‘Trakya Havzasında, Danişmen Formasyonu İçindeki Linyit Katmanlarının Potansiyelini Kontrol Eden Jeolojik Faktörler’ adlı çalışmalarında TPAO, MTA ve TKİ kuruluşlarının izniyle sağlanan çok sayıda kuyu verisi kullanarak, Trakya Havzası’nın linyit potansiyelini TKİ Kurumu için incelemişlerdir.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK KONUMU

2.1 Bölgesel Jeoloji

Trakya Havzası genel olarak iki ana jeolojik birimden oluşur. Bunlar, kuzeydoğuda Karadenize paralel bir dağ kuşağı oluşturan ve temeli oluşturan Istranca Masifi ve havzanın güneybatısındaki Ergene düzlüğünü oluşturan Trakya Tersiyer havzasıdır.

Istranca masifi, farklı kişi ve kurumların çalışmaları ile incelenmiş olup, tüm bu çalışmalarda masif temel ve örtü kayaları olarak genelleştirilmiş iki bölüme ayrılmıştır (Pamir ve Baykal, 1947; Aydın, 1974, 1982; Üşümezsoy, 1982; Çağlayan ve Yurtseven, 1998; Okay v.d., 2006). Masifin Triyas öncesi temel kayaları, amfibolit ve yüksek yeşil şift fasiyesinde metamorfizma geçirmiş, çökelme yaşı bilinmeyen metamorfiklerden ve bunları kesen geç Paleozoyik yaşlı granitoidlerden oluşur. Bu birimler ise metamorfik olmayan Senomaniyen ve daha genç çökeller tarafından üzerlenen iki farklı metamorfik istif tarafından örtülür. Triyas ve Jura yaşlı Karasal ve sığ denizel karakterli sedimenter kayalar, Geç Jura ve Erken Kretase 'de yeşilşist fasiyesinde metamorfizma ve sıkışmalı deformasyon geçirmiştir. Geç Jura – Erken Kretase yaşlı metamorfizma ve deformasyon doğal olarak Istranca masifinin temelini de etkilemiştir. Istranca masifinin bu kayaları üzerine, Senomaniyen ile başlayan volkano – sedimanter istif gelir. İstifin tümü Geç Kretase yaşlı intrüzif kayalar tarafından kesilmiştir. (Okay Yurtsever, 2006).

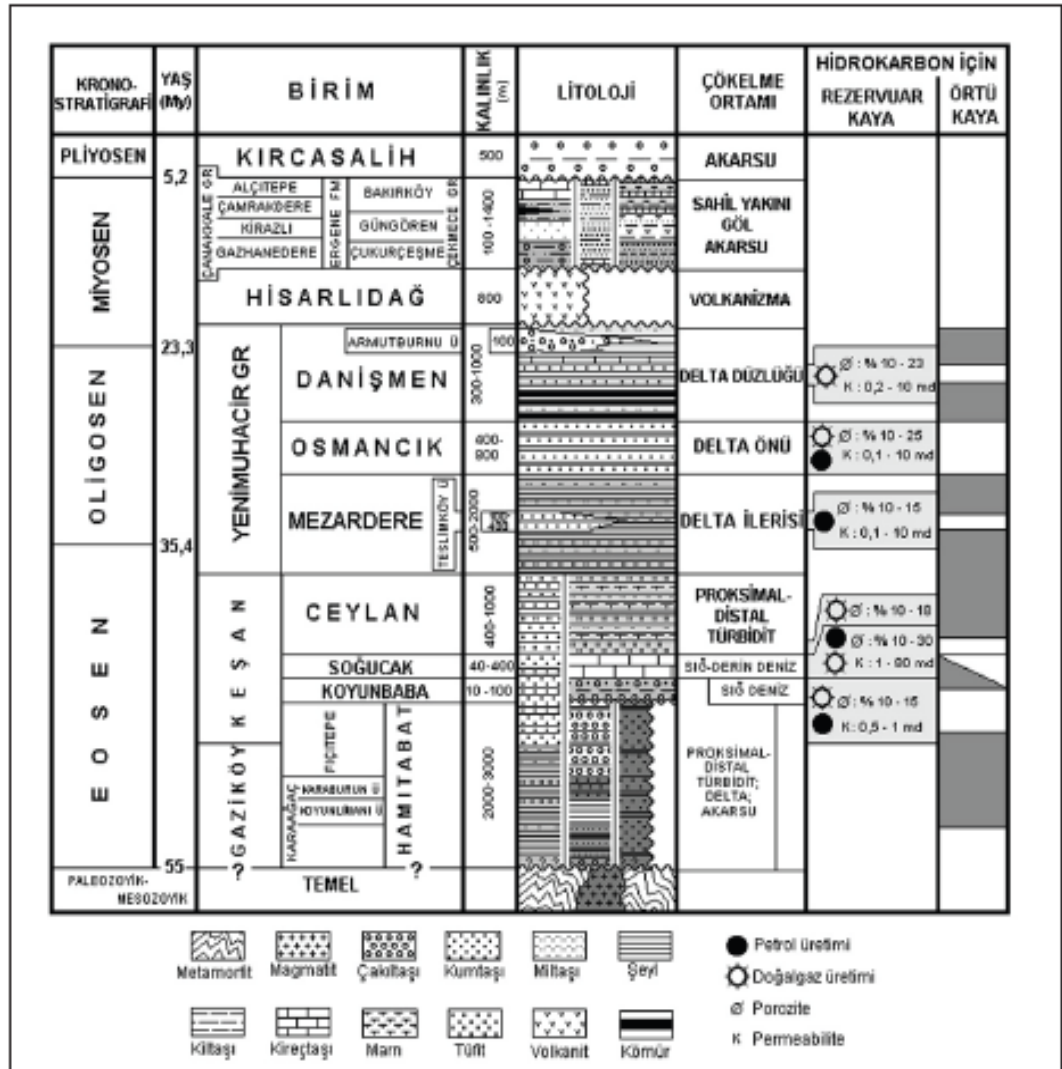
Türkiye'nin önemli havzalarından birisi olan Tersiyer yaşlı Trakya Havzasının kuzeyinde Istranca Masifi, güneyinde Kazdağ Masifi, doğusunda İstanbul Zonu ve Sakarya Zonu, batısında Rodop Masifi bulunur. Çok çeşitli sedimanter kayalardan oluşan Trakya Tersiyer Havzası, doğal gaz, petrol, endüstriyel hammadde ve linyit içeren sedimanter kayalarıyla, çeşitli amaçlarda birçok çalışmaya konu olmuştur (Lebküchner, 1974; Kasar v.d., 1983; Turgut v.d., 1983; Şentürk ve Okay, 1984; Görür ve Okay, 1996; Temel ve Çiftçi, 2002; Siyako, 2006; Erarslan, 2010; Perinçek ve diğ., 2015).

Trakya Tersiyer birimleri genellikle klastiklerden oluşmakta, şelf alanlarında ise karbonatlı birimler yer almaktadır. Tüm bu birimler aralarında önemli yükselme ve aşınma evreleri olan havzalarda ve yedi ayrı zaman aralığında çökelmiştir (Siyako, 2006).

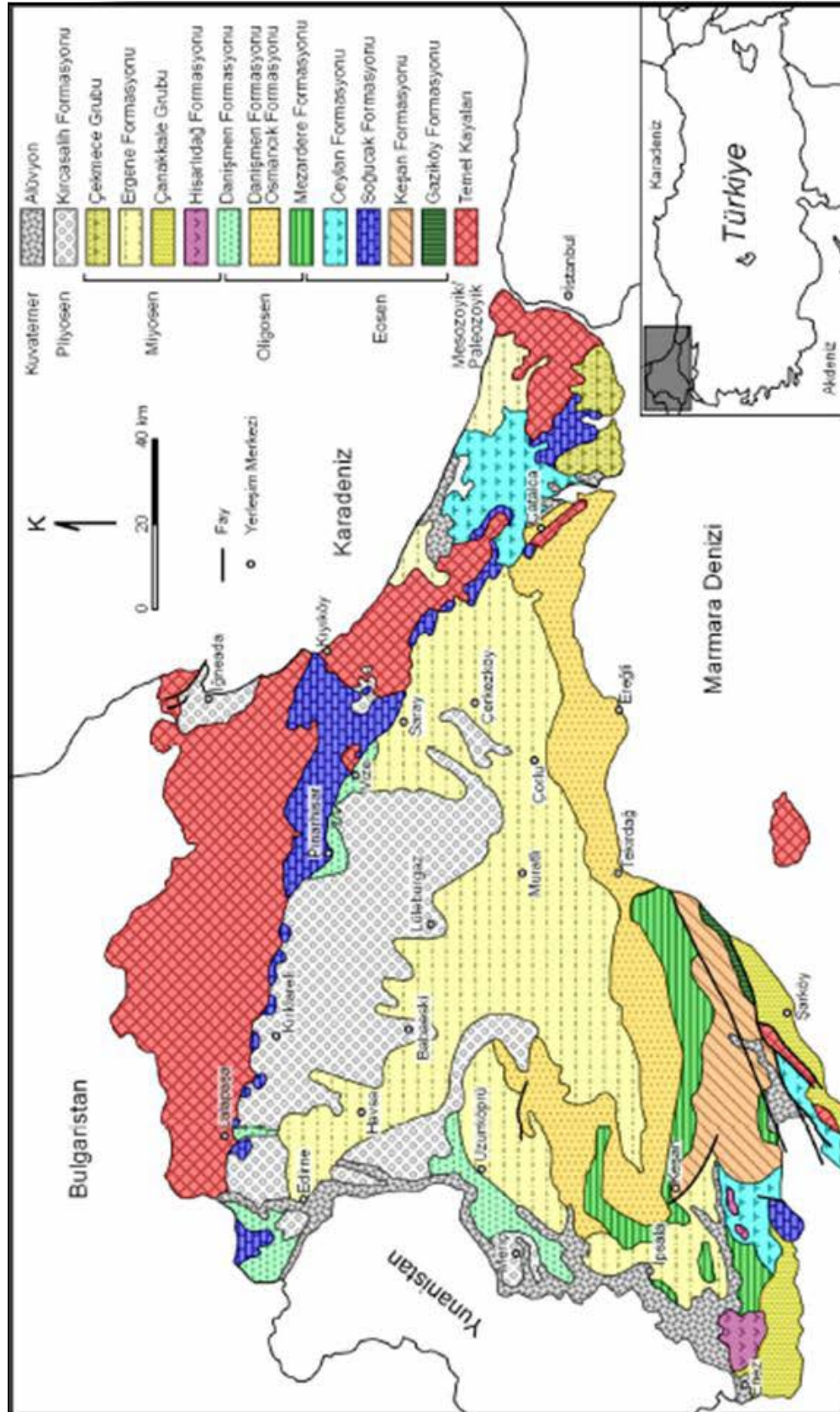
Havzada çökelen en yaşlı birim Üst – Eosen yaşlı ince kumtaşı, silttaşı ve silisifiye tuf içeren koyu gri renkli şeyllerden oluşan Gaziköy Formasyonudur. Bu formasyonun üzerine denizel türbiditik kumtaşlarından oluşan Keşan formasyonu, uyumlu olarak gelmektedir. Daha üstte birbirleri ile uyumlu olarak, gri-bej renkli mikritik kireçtaşı ve resifal kireçtaşından oluşan Soğucak Formasyonu, tuf ara katkılı gri renkli şeyl, kumtaşı ve killi kireçtaşından oluşan Ceylan Formasyonu yer alır. Oligosen çökelleri tabanda yeşil gri renkli şeyl, marn ve tüflerden oluşan Geç Eosen yaşlı Mezardere Formasyonu uyumlu olarak başlar. Üzerinde kumtaşı, şeyl, yer yer çakıltaşı, kireçtaşı ve ince linyit bantları içeren Oligosen yaşlı Osmancık Formasyonu ile gri yeşil renkli kiltası, kumtaşı, çakıltaşı, tuf ve linyit içeren birbirine uyumlu Danişmen Formasyonu yer alır. Danişmen Formasyonu bölgede yapılan ilk çalışmalarda linyitli kumtaşları olarak adlandırılmıştır. Formasyonun adını ilk defa Boer (1954) ve Beer ve Wright (1960) kullanmıştır. Ancak bu kullanımlarda, Osmancık Formasyonu da bu birime dahil edilmiştir. Ünal (1967), Osmancık Formasyonunu ayrı tutarak, formasyon aşamasında Danişmen şeylinin tanımını yapmıştır. Kasar ve diğerleri (1983), litolojinin homojen olmaması nedeniyle bunu, Danişmen Formasyonu olarak değiştirmişlerdir (Siyako, 2005).

Miyosen yaşlı kayaçların tabanında tuf ve aglomeralardan oluşan Hisarlıdağ Volkanitleri bulunur. Trakya Havzası gemelince birkaç yüz metre kareden, birkaç kilometre kareye değişen büyüklüklerdeki mostralarda halinde izlenen volkanikler riyodasitik tüfler, andezit, andezitik tüfler, kırmızımsı ve yeşil lahar akmalari ile başlayıp, üste doğru sırasıyla beyaz tuf, riyodasit, andezit, bazalt ve bazalt aglomerası, ignimbirit ve aglomeralarla devam eder. Üzerinde Hisarlıdağ Volkanitlerine uyumsuz sırasıyla kiltası, kumtaşı ve silttaşı litolojisine sahip Orta – Geç Miyosen yaşlı Çanakkale Formasyonu bulunur. Çanakkale grubunun üzerine uyumsuz olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu gelmektedir. Trakya'nın ortasında yaygın bir alanda en geniş yüzleğe sahip olan Ergene Formasyonu, çapraz tabakalı çakıltaşı ve kumtaşlarıyla, bol bitki ve omurgalı fosil

içeren kumtaşı, miltaşı ve kilaşlarından oluşmaktadır. Formasyonun alt düzeylerinde linyitli seviyelere rastlanmaktadır. Ergene Formasyonu'nun üzerine Geç Miyosen yaşlı Çekmece Grubu uyumsuz olarak gelmektedir. Birim, çamurtaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşıdan oluşmaktadır. Bu birimlerin üzerine Trakya Havzası'nın diğer bölgelerinde de olduğu gibi uyumsuz olarak Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Kırçasalılı Formasyonu gelmektedir. Çakıl, kaba taneli çakıltaşı ile kumtaşı ve seyrek kilaşlarından oluşan formasyonun üzerine Kuvaterner yaşlı güncel çökeller gelmektedir. Trakya Bölgesi'nin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti ve genel jeoloji haritası Şekil 2.1 ile Şekil 2.2'de verilmiştir (Kasar ve diğ., 1983; Türkecan ve Yurtsever 2002; Siyako, 2006a'dan alınmıştır).



Şekil 2.1 : Trakya havzası Tersiyer istifinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Siyako 2006a)



Şekil 2.2 : Trakya Bölgesinin Genel Jeoloji Haritası (Kasar ve diğ., 1983; Türkecan ve Yurtsever 2002; Siyako, 2006a'dan)

2.2 Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanı sınırları içerisinde kalan formasyonlar yaşlı yaşlıdan gence doğru, Üst Eosen – Alt Oligosen yaşlı Soğucak Formasyonu, Orta – Üst Oligosen yaşlı Çakıl Formasyonu, Orta - Üst Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu, Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı Kırçasalılı Formasyonu, ve Güncel yaşlı Alüvyon sıralanmıştır. Çalışma alanının Jeoloji haritası EK-A da verilmiştir. Birimler aşağıda genel hatlarıyla tanıtılmıştır.

2.2.1 Soğucak formasyonu

Soğucak Formasyonu, çoğunlukla şelf ortamında çökelmiş karbonatlardan oluşur. Istranca (Yıldız) Dağlarının güney eteklerinde uzunca, fakat dar bir alanda yüzlek verir. Çalışma alanının ise kuzeyinde yüzeylenir. Formasyon farklı araştırmacılar tarafından farklı adlarla adlandırılmış olup (Kemper (1961,1966), Umut ve diğ. (1984), Umut (1988a), Çağlayan ve Yurtsever (1998), Duman ve diğ. (2004) Kırklareli Kireçtaşı; Holmes (1961); Druitt (1961); Ünal (1967); Kasar ve diğ. (1982), Kasar (1987); Sümengen ve diğ. (1987)) bu çalışmada Soğucak Formasyonu adlaması benimsenmiştir.

Formasyon; beyaz, bej ve grimsi beyaz renkli, genellikle orta, yer yer ,ince ve kalın tabakalı, masif görümlü resif, resif ilerisi ve resif gerisi karbonat kayalarından oluşur. Yerinde büyüyen mercan ve hydrozoa kolonileri ile bunlardan kopmuş değişik boyuttaki parça ve kırıntılardan oluşan formasyon, sert, kırılğan, porselenimsi görümlü ve erime boşlukludur (Keskin, 1971). Şekil 2.3 'de Soğucak Formasyonuna ait bir görüntü bulunmaktadır.

Soğucak Formasyonu, Güney Trakya'da (Kasar ve diğ., 1983; Sümengen ve diğ., 1987), Gelibolu Yarımadası, Bozcaada ve Gökçeada 'da (Temel ve Çiftçi, 2002) ve Biga Yarımadasında (Siyako ve diğ., 1989) Orta ve Üst Eosen yaşındadır. Istrancalar üzerinde de transgreynonun devamıyla, Soğucak Formasyonunun Üst Eosen – Alt Oligosene kadar devamlı çökeldiği alanlar görülmektedir (Siyako ve Kasar, 1985).



Şekil 2.3 : Soğucak Formasyonuna ait bir görüntü

2.2.2 Çakıl formasyonu

Çakıl Formasyonu, kanal dolgusu özellikli, kiltası – silttaşı mercekli çakıltaşlarından oluşan birimdir. Çalışma alanının doğusunda ve Safaalan Köyü ‘nün kuzeyinde yüzeylenir.

Genel olarak sarımsı kahverenkli, çeşitli boyutlarda, iyi yuvarlanmış, iyi tutturulmuş kuvarsit, granit, gnays, çört, riyolit, ve tuf taneli, az belirgin orta – kaba tabakalanmalı, sert, karbonat çimentolu çakıltaşıdır. Sarımsı renkli, yer yer çapraz katmanlı, az tutturulmuş kumtaşı, yeşilimsi sarı renkli kiltası mercekli olup aşınmalı tabanlıdır (Siyako, 2006)

Formasyonun yaşı, Umut ve diğ. (1984)’nin Trakya Havzasının batı bölümünde yaptıkları çalışmada kil ve kiltası içinde buldukları fosillere göre Orta Oligosen olarak belirlenmiştir. Literatürde, Danişmen formasyonunun içinde ve üstünde yer alan formasyon, Danişmen formasyonunun yaşı gözönüne alınarak Orta – Üst Oligosen kabul edilmiştir.

Çakıl formasyonunun eşdeğer birimleri, Kasar ve Eren (1986) tarafından yapılan çalışmada Osmancık Formasyonunun üst kesimlerini oluşturan kanal dolgusu olarak

tanımlanmıştır. Bu çalışmada Umut ve diğ. (1984), Saraç (1987) ve 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası serisinde (1988) yer alan Çakıl Formasyonu tanımlaması kullanılmıştır.

2.2.3 Ergene formasyonu

Kiltaş ve çakıltaşı mercekli, çapraz katmanlı, gevşek kumtaşlarından oluşan birim Ergene Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, tüm Trakya Havzasında ve özellikle havzanın orta kesimlerinde olduğunu gibi inceleme alanında da geniş bir yayılım gösterir.

Ergene Formasyonu, kendisinden yaşlı formasyonlardan kuzeyde Saray ve Safaalan yakınında Kırklareli kireçtaşı üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Ergene Formasyonu genelde beyaz, sarımsı beyaz renkli, çapraz katmanlı kumtaşı ile yer yer killi kumtaşı, kırmızımsı, yeşilimsi renkli kiltaşı ve az tutturulmuş çakıl merceklerinden oluşmaktadır (Çağlayan ve Yurtseven 1998). Şekil 2.4 'te Ergene Formasyonuna ait bir görüntü bulunmaktadır.

Ergene Formasyonunun yaşı, Umut ve diğerlerinin (1983) yaptıkları çalışmada Üst Miyosen olarak verirken, Çağlayan ve diğ. (1998) de önceki çalışmalar ve kaya türü ilişkisine dayanarak birimin yaşını, Orta – Üst Miyosen kabul etmiştir.

Ergene adının kullanılışı, Umut ve diğ. (1983) 'ne göre Beer ve Wright (1960) 'a, Kasar ve Eren (1986) 'e göre formasyon derecesinde olmak üzere Holmes (1961) 'e, Siyako (2006) 'ya göre de Boer (1954)'e aittir. Farklı araştırmacılar tarafından farklı adlarla adlandırılan formasyon (Lebeckühner (1974), Umut ve diğ. (1983), Turgut ve diğ. (1983), Özatar (1988), Çağlayan ve diğ. (1998)), bu çalışmada MTA Stratigrafi Komitesi (Siyako,2006) sınıflamasına uyarak Ergene Formasyonu adlaması benimsenmiştir.



Şekil 2.4 : Ergene Formasyonuna ait bir görüntü

2.2.4 Kırçasalih formasyonu (Trakya formasyonu)

Formasyon pek çok araştırmacı tarafından Trakya Formasyonu olarak adlandırılmış olup (Kopp ve diğ., 1969; Lebckühner, 1974, Umut ve diğ., 1983, Umut ve diğ., 1984 ile Çağlayan ve Yurtseven, 1998), MTA Stratigrafi Komitesi tarafından Kırçasalih Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Siyako,2006). Kırçasalih Formasyonu, çimentolanmamış çakıl ve kaba çakıllı çakıltaşı, kumtaşı ve az miktarda kiltaşından oluşur. Birim, İnceleme alanında Safaalan Köyü ‘nün güney batısında yüzeylenir.

Kendisinden yaşlı tüm birimler üzerine uyumsuz olarak gelen Kırçasalih Formasyonu, kırmızı, kahve, açık kahverengimsi sarı, bazen beyaz renkli ve çapraz tabakalanmalı, kötü boylanmalı, kırmızımsı kil-silt matriksli, çimentolanmamış tanelerden oluşur. Taneler çoğunlukla kuvars, kuvarsit çakıllı, nadiren şist, gnays, metagranit ve volkanit parçacıklıdır. Tabanda bazen yeşilimsi gri renkte killeri gözlenir (Umut ve diğ., 1983).

Kırçasalih Formasyon birçok araştırmacı tarafından farklı yaşlarda yaşlandırılmış olup, (Lebckühner (1974), Turgut ve diğ. (1983) ile Özatar (1988), Umut ve diğ.

(1983), Çağlayan ve Yurtsever (1998)), Siyako 2006 da Üst Miyosen – Alt Pliyosen olarak gösterilmiştir.

2.2.5 Alüvyon

Akarsu vadilerinde ve düzlüklerde oluşan çakıl, kum, silt ve kil depolanmalarına Alüvyon adlanması yapılmıştır. Çalışma alanında genellikle Safaalan Köyü civarında ve Safaalan deresi aksında gözlenmektedir.

2.3 Bölgenin Tektonik Konumu

Trakya Havzasının Kuzeyden Istranca Dağları, batıdan Rodop Dağları, güneyden Korudağ ve Ganos Dağları ile büyük ölçekli doğrultu atımlı bir fay zone ile sınırlandırıldığı bilinmektedir. Tersiyer Çökelleri'nden oluşan havzanın temelini farklı ortamları temsil eden ve içeriği serpantin, fillit, diyorit, metaçört, glaukofan şist, spilite, rekristalize kireçtaşı, porfirik altere dasit ve grafit şist birimleri oluşturmaktadır (Şentürk ve Okay, 1984).

İlk etapta küçük bir denizel ortam özelliği taşıyan havzada yer yer kapalı denizel ortamlar gelişmiştir. Eosen-Alt Oligosen boyunca transgresyon bölgede hat safhaya ulaşmıştır. Başlangıçta ince klastiklerden oluşan fasiyeslerin yaygın olması dönemin hareketsiz olduğunu göstermektedir. Üst Eosen'de denizin derinleşmesi sonucu ilk olarak türbititik kumtaşı, çamurtaşı ve yarı pelajik çökellerden oluşan Gaziköy formasyonu çökelmiş ve bunu ince taneli ve ince tabakalı türbititik kumtaşı çamurtaşı, orta tabakalı ve orta kaba taneli kumtaşlarından oluşan Korudağ formasyonu takip etmektedir. Daha sonra birimin üst seviyelerine doğru ilerledikçe denizaltı yelpaze ortamında çökelen şeyl katkılı türbititik kumtaşlarından oluşan Keşan formasyonu hakim birim olmaktadır (Sümengen vd., 1991).

Bölgede Eosen-Alt Oligosen sedimantasyonunu aktif bir volkanizma izlemiştir. Çok miktarda dasitik ve andezitik malzemenin hızlı bir çökme ve çökme sürecinde olan havzaya yayılması, havzadaki çökellerin tüf ara tabakalı veya tüf matrisli olmasını sağlamıştır. Üst Eosen'in sonlarına doğru havzada yavaş yavaş bir regresyon hareketi başlamıştır. Regresyonun ilk aşamalarında çamurtaşı, silttaşı ve kumtaşından oluşan Yenimuhacir formasyonu çökelmiştir. Alt Oligosen'in sonunda bölge tamamen regresyonun etkisiyle gölsel, taşkın ovası ve akarsu ortamına geçerek Orta-Üst

Oligosen yaşı Danışmen formasyonunu oluşturan kıltaşı, kumtaşı, çakıltası ve linyitli seviyeler içeren istif oluşmuştur. Alt Miyosen başlarında bölge tamamıyla yükselerek etkili bir erozyon etkisinde kalmış ve birimler aşınmaya uğramışlardır. Bazı yerlerde bu erozyon Üst Eosen'i ortaya çıkaracak etkiyi yapmıştır. Orta Miyosen'den itibaren havza şiddetli bir tektonizmanın etkisinde kalmıştır. Yaltırak 1995 'te yaptığı çalışmada bölgede 4 etkin tektonik dönem saptamıştır.

Karasal ortamın hakim olmasından sonra Orta ve Üst Miyosen'de tüm birimleri örten gevşek tutturulmuş çakıltası, kumtaşı ve kıltaşıdan oluşan kalın bir istif olan Ergene formasyonu çökelmiştir. Üst Miyosen'de ise bölgede alkali bazalt özelliği taşıyan ve eski kırık hatları boyunca gelişen tabakalı ve sütünsal yapıya sahip akmalı lavlar volkanik faaliyet göstermiştir. Daha sonraki genç tektonik hareketlerle ve Kuvaterner alüvyonunun klastiklerinin yerleşmesi sonucu havza bugünkü konumunu almıştır.

2.4 Safaalan Kömürlerinin Özellikleri

Safaalan kömür sahasında, Türkiye linyit envanterinin verilerine göre, 1973 yılında 11 adet, 1975 – 1977 yılları arasında 83 adet, 1984 'te ise 21 adet olmak üzere toplam 115 adet sondaj yapılmış olup, 91 tanesi olumlu sonuçlanmıştır. Toplam yayılım alanı 24,2 km² olan kömürün kalınlığı 0,20 ile 4,08 aralığında değişip ortalama 2,00 m 'dir. Minimum derinlik 6,00 m ve maksimum derinlik 170,00 m olup ortalama 60,00 m derinliktedir. Kömürün kimyasal özellikleri açık işletmelerde %43,12 su, %25,41 kül ve %1,86 kükürt iken kapalı işletmelerde %42,06 su, %20,30 kül ve %1,22 kükürt şeklindedir. 2009 yılı TKİ verilerine göre toplam rezerv 50.050.000 ton olup şuan üretim yapılmamaktadır. TKİ Saray bölge müdürlüğünde alınan bilgilere göre sahada su örneklerinin alındığı bölge 1992 ile 2002 yılları arasında işletilmiş olup yaklaşık 13 yıldır faal değildir (Bakınız Çizelge 2.1).

Sahada Eosen, Oligosen, Pliyosen ve Kuvaterner 'e ait çökeller bulunur. Eosen, kireçtaşları ve silisli kumlar ile temsil edilir. Kireçtaşları, fosil bakımından zengin gözüktür. Kömürlü seri olan Oligosen 'in tabanında kumtaşları ve kireçtaşları vardır. Bunların üzerinde uyumlu olarak karton marnlar ve daha üstte ise linyitli seri gelmektedir. Linyit burada ince kumlu tuf, marn ve kumtaşları arasında yer almaktadır. Pliyosen, bölgede ince kumtaşı, kıltaşı, marn ve tüfitli bir seviye ile temsil edilir. Oligosen serisi üzerine uyumsuz olarak gelir. Karakteristik fosil kapsamadığından yaşı tartışmalıdır. Tabakalanma göstermez. Kısa mesafelerde yanal

geçişli, yer yer fazlaca çimentolanmış alacalı gri, yeşilimsi sarı renklerde görülür. Yer yer demir oksitle boyanmıştır. Çakıl kum ve killere temsil edilen, pleistosen, Pliyosen birimleri üzerine uyumsuz olarak gelir. Genellikle kırmızımsı renkli kilaşı, çapraz tabakalı kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşur. Gevşek yapılı, az çimentolu olup erozyona pek dayanıklı değildir. Sahanın en geç oluşukları alüvyonlardır. Çalışma alanının genç Pliyosen birimleriyle örtülü olması nedeniyle herhangi bir yapısal düzensizlik gözlenmemiştir. (Türkiye Linyit Envanteri, 2010)

1. Sahada Yapılan Etütler					
1955	:	1/25.000 ölçekli detay jeolojik etüt			
1974	:	1/25.000 ölçekli detay jeolojik etüt			
1984	:	1/25.000 ölçekli detay jeolojik etüt			
2. Yapılan Sondajlar					
1973	:	11 adet			
1975- 1977	:	83 adet			
1984	:	21 adet			
Toplam	:	115 adet			
Olumsuz Sondaj	:	91 adet			
Olumlu Sondaj	:	24 adet			
Toplam Metraj	:	11,467,25 m			
Sondaj Mesafeleri	:	200 - 800 m			
3. Kömürün Özellikleri					
Kömür Kalınlıkları		Kömürün Derinlikleri			
Maksimum Kalınlık	:	0,20 m	Maksimum	:	6,00 m
Minimum Kalınlık	:	4,08 m	Minimum	:	170,00 m
Ortalama Kalınlık	:	2,00 m	Ortalama	:	60,00 m
Kömür Yayılım Alanı	:	24,20 Km			
Orijinal Kömürde Kimyasal Özellikler					
	Açık İşletme		Kapalı İşletme		
Su		43,12%			42,06%
Kül		25,41%			20,30%
Kükürt		1,86%			1,22
AİD (Kcal/kg)		1677			1699
Kömürün Yoğunluğu	1,39 ton/m2				
4. Sahanın Rezervi (2009 yılı TKİ rakamı)					
	15.050.000,00 ton görünür rezerv				
	35.000.000,00 ton görünür rezerv				
	50.050.000,00 ton toplam rezerv				
Kullanım alanı	:	Teshin, Termik santral.			
İşletme Yöntemi	:	Açık ve kapalı işletme.			
Üretim Durumu	:	Üretim yapılmıyor.			
Teknolojik Çalışmalar	:	Yapılamamıştır.			

Çizelge 2.1 : Safaalan Sahasına ait bilgiler (Türkiye Linyit Envanteri, 2010)

3. SULARIN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

3.1 Giriş

Bir bölgedeki yer altı sularının veya toprağın ana ve iz element karakterleri o bölgedeki kayaçların mineralojik ve jeokimyasal özellikleri ile yakından ilişkilidir. Kayaçlarda, toprakta ve maden sahalarında bulunan ana ve iz elementler, çeşitli kimyasal ve biyojeokimyasal yollarla serbest kalmasıyla birlikte bölgenin asıl karakterini belirleyen değerler anomali vermeye başlar.

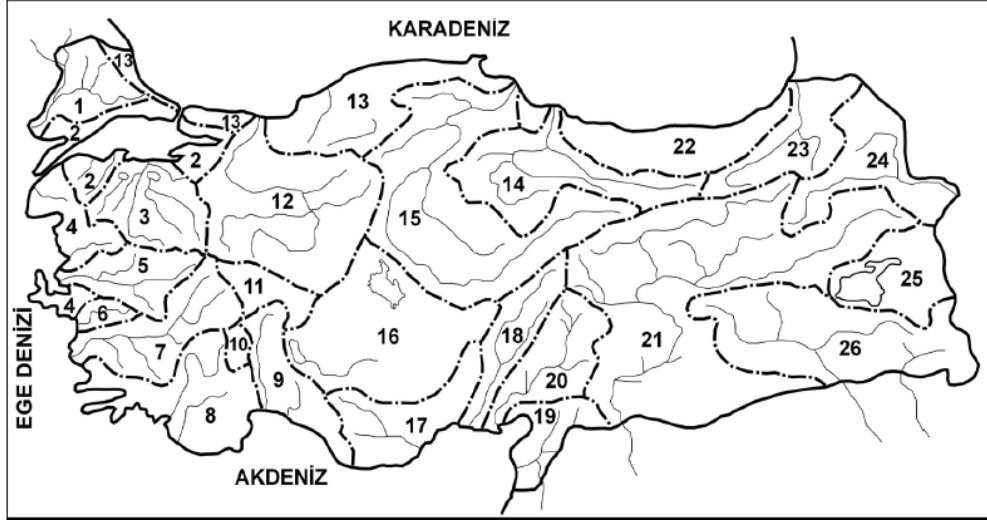
Yer altı suları normal koşullarda, az miktarda çözünmüş gaz içeren saf suya yakın bir bileşime sahip yağmur sularıyla beslenir. Bu ilişki göz önüne alınırsa, bölgedeki suların yansıttıkları kimyasal bileşim suların süzildükleri ortamla iyon alışverişi yaptıklarını gösterir. Bu alışverişte belirleyici olan ana etmen de aynı ortamda bulunan kayaçların mineralojik bileşimidir. Bu sebepten, suların ana anyon (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) ve kation (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) değerlerinin yanında Ni, Fe, As, Cu, Cd, Hg, Al, Cr, Pb, Mn gibi iz element içerikleri bölgedeki yer altı sularının etkileşim halinde olduğu kayaçların mineralojik ve kimyasal özelliklerini ifade etmede önemli birer parametredir (Şahinci, 1991; Gray 1994).

Yer altı sularının kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri temas halinde olduğu kayaçları temsil ettiğine göre, bu sulara yapılan kimyasal analizler de ortamda bulunan kayaçlarının kimyasal bileşimi hakkında bilgi verebilir. Bu açıdan bakıldığında hidrojeokimyasal çalışmalar, ilgili bölgenin sularındaki olası kirleticilerin kaynağını belirlemek yönünden de faydalı olmaktadır. Ayrıca, elde edilen verilerin su kalitesi bakımından değerlendirilmesi ve toplum sağlığı ile ilgili kurumlara ulaştırılması da insan sağlığı açısından önemli bir çalışmadır.

3.2 Çalışma Alanının Hidrojeolojik Özellikleri

Ülkemiz topoğrafik yapısına bağlı olarak 26 hidrolojik su havzasına ayrılmıştır (Şekil 3.1). Çalışma alanı haritada 1 numarayla gösterilen Meriç - Ergene Havzası içerisinde yer almaktadır. 14.560 km² yüz ölçümüne sahip Meriç – Ergene Havzası

yıllık 1,33 milyar m³ su potansiyeli ile Türkiye ortalamasının altında yer almaktadır (Öziş ve ark., 1997).



Şekil 3.1 : Türkiye’deki 26 topoğrafik su havzası haritası (Akın, 2007)

Tekirdağ Meteoroloji İstasyonu’nun 1939 – 2002 yılları arasında yapmış olduğu gözlemlerde yıllık yağış ortalaması 580,80 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. En yüksek yağış 86,8 mm ile Aralık ayında, en düşük yağış 13,4 mm ile Ağustos ayındadır (Çizelge 3.1). Genel olarak Ekim ayında başlayan yağışlı dönem Mart ayı sonuna kadar devam etmekte ve Nisan’dan itibaren giderek azalmaktadır. Buna göre yıllık yağışın % 68,3’ü yağışlı dönemde (Ekim- Mart) ve % 31,7’si kurak dönemde (Nisan-Eylül) düşmektedir. Yağışlı dönem zeminin suya tamamen veya kısmen doymun olduğunu, kurak dönem ise zemin suyunun hiç bulunmadığını tanımlamaktadır. Ancak 2008’den günümüze ülkemizde yaygın olarak görülen ani sellenme oluşturan yağışlar Trakya Bölgesi’nide etkilemiş olup bölgeye düşen yağış miktarının %100 artış gösterdiği Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenmiştir.

Çalışma alanında yeraltı suyu seviyesi ölçümleri yapılmış olup, Çizelge 3.2’de örnek alınan su noktalarının lokasyon bilgileri ile birlikte belirtilmiştir. Yağışlı dönemde Ç6 no’lu örneğin debisi 1.85 lt/sn iken, kurak dönemde bu değer 0,31 lt/sn, Ç7 no’lu örneğin yağışlı dönem debisi 1.81 lt/sn iken, kurak dönemde bu değer 0,47 lt/sn olarak ölçülmüştür. Ç5 no’lu örnek noktasında debi yağışlı dönemde 0,15 lt/sn ölçülmüş; ancak fiziksel koşulların elverişsizliği nedeniyle bu örneğin kurak dönem örnekleme yapılamamıştır. Örnek alınan iki kuyudan sadece bir tanesinde yer altı su seviyesi ölçülmüş, K8 nolu kuyuda ise kuyu sahibinin izni alınamamıştır. K9 no’lu örneğin alındığı kuyuda yeraltı su seviyesi yağışlı dönemde 28 cm ölçülürken,

kurak dönemde seviye 85 cm'ye düşmüştür. Bu sonuç, çalışma sahasının da içinde kaldığı bölgede yazların kurak geçmesi ve özellikle kırsal yerleşim alanlarında sulama ve temizlik suyu ihtiyacının yeraltı suyundan karşılandığı gerçeğiyle örtüşmektedir.

1939-2002 yılları arasında ölçülen yıllık sıcaklık ortalaması 13,8 °C'dir. Seçilen meteoroloji istasyonunda sıcaklık değerlerinin ağırlıklı istatistik ortalamasına göre en soğuk aylar 4,6 °C ile Ocak ve 5,2 °C ile Şubat ayı, en sıcak aylar ise 23,5 °C ile Temmuz ve 23,4 °C ile Ağustos ayıdır. Bölgede potansiyel buharlaşmanın Temmuz ayında 105,36 mm.su/ay ile en yüksek, Ocak ayında 10,68 mm.su/ay ile en düşük; yıllık potansiyel buharlaşmanın ise 644,125 mm.su/yıl olarak hesaplanmıştır (Işık, 2007).

Bölüm 2'de tanıtılmış olan formasyonlar akifer ortam olma açısından değerlendirildiğinde Trakya Havzası gözenekli akifer niteliğindedir. Özellikle kumtaşı seviyelerinin geçirimsiz ve yarı geçirimli birimler ile geçiş durumuna göre yersel basınçlı, yarı geçirimli ve yersel serbest akifer olma özelliği sergiler. Orta iyi boylanma gösteren kırıntılı malzemeler üzerlerinde geçirimsiz birim olması durumunda serbest akifer ortam oluşturmaya uygundur. Çakıllı seviyelerin oransal artış gösterdiği seviyeler akifer olma açısından yeterlidir ve içermiş olduğu kil ve silt boyutlu malzeme nedeniyle yeraltı suyunu iletme konusunda sıkıntı yaratmamaktadır. Çalışma alanında en geniş yüzey alanına sahip, kumtaşı, kiltası ve silttaşı birimlerinden oluşan Ergene Formasyonu 'nun genellikle yatay tabakalı olması ve bünyesinde kırık çatlak sisteminin yeterinde gelişmemesi bu formasyon kayaçlarının kötü bir akifer ortam olmasına neden olur. Yine de yer yer faylanma ve aşınma ile formasyonun zayıflamış kayaç ortamında artan çatlak gelişimine bağlı olarak yersel küçük alanlı (ve hacimli) akifer ortamlar oluşturmakta, bu tür ortamlardaki boşalım noktaları üzerinde yapılmış olan çeşmelerde hidrolojik yağışlı dönemde yeraltı suyu boşalımı olurken yağışsız dönemde etkin rezervuar alanının boşalım sonrası çeşmeler kurumaktadır.

Inceleme alanında dereler ve akarsu çevresinde gözlenen alüvyon çökeller karakteri nedeniyle ayrı malzemeden oluşan ve kil boyutundan çakıl boyutuna kadar değişen çeşitli malzemelerden oluşmakta ve bu niteliğiyle alüvyon birimler çevresinde formasyona göre daha geçirimli ortam oluşturmaktadır.

İstasyon Adı: Tekirdağ

Konum: Enlem: 40°59'

Boylam: 27°33'

Yükseklik: 4m

Çizelge 3.1 : Tekirdağ meteoroloji istasyonu meteorolojik verileri (1939-2002)

Aylar Özellikler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Σ	Σ_{ort}
P (mm)	68,1	50,8	57,4	40,9	38,2	38,5	22,6	13,4	30,5	54,3	79,3	86,8	580,8	
t (°C)	4,6	5,2	7,0	11,7	16,6	21,0	23,5	23,4	19,8	15,3	10,9	7,0		13,8
n(saat/gün)	2,50	3,34	4,09	5,46	7,35	9,06	9,45	8,54	7,32	5,06	3,18	2,28		5,50
R_H	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,68	0,68	0,72	0,77	0,81	0,82		0,75
U₁₀(m/sn)	3,1	3,1	2,9	2,3	2,2	2,3	2,6	2,9	2,7	2,8	2,8	3,3		2,8

(P: yağış, t: sıcaklık, n: güneşlenme süresi, R_H: bağıl nem, U₁₀: 10m'deki rüzgar hızı)

3.3 Su Noktaları

Saray ilçesine bağlı Safaalan köyündeki terkedilmiş kömür sahalarının yüzey ve yeraltısularına olası etkisini araştırmak amacıyla bölgedeki terk edilmiş açık kömür işletmelerinde meydana gelen göletlerden, Safaalan Köyü içi ve yol kenarlarındaki çeşmelerden, ve kuyulardan su örnekleri alınmıştır. Su örnek noktaları seçilirken, Safaalan Köyü merkezi, terkedilmiş kömür sahaları ve yakın çevresi ile bölgedeki yeraltısuyunun genel durumunu kıyaslamak için terkedilmiş kömür sahalarıyla ilişkili olmayan çalışma sahası içinde daha uzak noktaların seçilmesine dikkat edilmiştir.

Örnek alınan yüzey suları madencilik faaliyetleri sonrasında oluşan çukur alanlarda biriken, yüzey alanı fazla olmayan küçük gölcüklere aittir. Örnek alınan üç çeşmede debi ölçümleri, bir kuyuda ise yeraltı suyu seviyesi ölçümü yapılabilmektedir. Örnek numaraları, alındıkları yerler, ölçülen debi ve yeraltı suyu verileri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Su örneklerinin alındığı yerler Ek-A’da verilen jeoloji haritasında belirtilmiş olup, bu noktalardan bazılarının görüntüleri Şekil 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ’de verilmiştir.

Göletler Ergene Formasyonu içinde yer almakta olup, suların yerinde yapılan sıcaklık, pH, Eh, asidite, alkalinite, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk ölçümlerinde elde edilen sonuçların, formasyonun killi birimlerin suları tamponladığını göstermektedir.

İki dönem şeklinde örneklenen göletler, 1992 ile 2002 yılları arasında faaliyet göstermiş olan açık kömür işletmelerinin kapanmasının ardından terkedilmiş maden sahalarında meydana gelmiştir. Yaklaşık 14 yıllık olduğu tahmin edilen bu göletlerin çevresinde kömürlü birimler saptanamamış olmakla birlikte, açık renkli berrak göletlerde balık tutulduğu da gözlenmiştir. Yapılan saha araştırmalarında göletlerini yakın/uzak çevrelerinde kömür işletmelerine ve kömür oluşumlarına ait bulguya rastlamamıştır

Çizelge 3.2 : Çalışma alanında yağışlı ve kurak dönemde alınan su örneklerinin numaraları, örnek alınan lokasyonlar, ölçülen debi ve yer altı su seviyeleri

Örnek No.	Debi (lt/sn)	Yeraltı Suyu Seviyesi (m)	Lokasyon
G13			Safaalan Köyü - Birinci Gölet
G14			Safaalan Köyü - İkinci Gölet
G15			Safaalan Köyü - Üçüncü Gölet
G16			Safaalan Köyü - Dördüncü Gölet
G17			Safaalan Köy Çıkışı Gölet
Ç5	Y: 2lt/13sn		Safaalan Saha Çıkışı Çeşme
Ç6	K: 2lt/6,45sn Y: 2lt/1,08sn		Sincap Evleri Çeşmesi
Ç7	K: 2lt/4,30sn Y: 2lt/1,10sn		Safaalan Köyü - Birinci Çeşme
Ç8			Safaalan Köy Çıkışı Çeşme
K8			Sincap Evleri Kuyusu
K9		K: 85 cm Y: 28 cm	Safaalan Köyü - Birinci Kuyu

K: Kurak dönem, Y: Yağışlı dönem, G:Gölet, Ç:Çeşme, K:Kuyu



Şekil 3.2 : G13 no'lu örneğin alındığı gölet (X: 593916, Y: 4583438)



Şekil 3.3 : G14 no'lu örneğin alındığı gölet (X: 593421, Y: 4583322)



Şekil 3.4 : G15 no'lu örneğin alındığı gölet (X: 593296, Y: 4583958)



Şekil 3.5 : K9 no'lu örneğin alındığı kuyu (X: 591884, Y: 4587009)



Şekil 3.6 : Ç7 no'lu örneğin alındığı çeşme (X: 592377, Y: 4587380)



Şekil 3.7 : Ç8 no'lu örneğin alındığı çeşme (X: 585865, Y: 4587731)

3.4 Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Safaalan bölgesindeki yer altı suları, bölge halkı tarafından içme, temizlik ve sulama gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Tez çalışmasının en önemli amacı, çalışma alanındaki yerleşim birimlerinde kullanılan bu yer altı sularının hidrojeokimyasal özelliklerini belirleyerek, terkedilmiş kömür sahalarından etkilenip etkilenmediklerini ve suların içilebilirlik kalitesini ortaya koymaktır. Bu amaçla yeraltı sularını temsilen 4 çeşme ve 2 kuyudan örnekler alınmıştır. Yörede mesire alanı olarak kullanılan, balık tutulan ve hayvanların su içtiği terkedilen kömür sahalarında meydana gelen göletlerin tümü örneklenmiş ve bu amaçla 5 su örneği alınmıştır. Suların fizikokimyasal özellikleri in-situ ve laboratuvar ortamında analiz edilmiştir.

Suların sıcaklık (T), hidrojen iyon konsantrasyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC), tuzluluk (NaCl), çözülmüş oksijen (D.O), asidite ve alkalinite parametreleri arazide yerli yerinde ölçülmüştür. Suların anyonları (HCO_3 , Cl, SO_4), katyonları (Ca, Mg, Na, K) ve iz element analizleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Toplam sertlik değerleri Ca ve Mg değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde arazide yapılan ölçüm sonuçları, ana anyon - katyon içerikleri ve iz element analiz sonuçları yorumlarıyla birlikte ayrı başlıklar altında verilmiştir.

3.4.1 Suların arazide ölçülen parametreleri

Arazide yerli yerinde ölçülen yağışlı ve kurak döneme ait parametrelerin özeti Çizelge 3.3 ve 3.4'te istatistiksel olarak ayrı ayrı verilmiştir. İçme suyu olarak kullanılan çeşmeler ve kuyu örneklerinin değerleri Türkiye içme suyu (TS 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (WHO, 2004) içme suyu limit değerleri ile birlikte karşılaştırılarak sunulmuştur. Her bir parametre ayrı başlıklar halinde aşağıda tanıtılmıştır.

Çizelge 3.3 : Suların yağışlı dönemde ölçülen parametrelerinin istatistiksel özeti

	Sıcaklık (°C)	pH	Eh (mv)	EC (µS/cm)	Tuzluluk (mg/lt)	Asidite (mmol/lt)	Alkalinite (mmol/lt)	D.O (mg/lt)
			Göletlerden Alınan Su Örnekleri					
Minimum	13,00	7,30	-65,00	315,00	150,00	0,50	2,30	7,64
Maksimum	16,00	7,90	-31,00	601,00	290,00	0,50	4,20	9,39
Ortalama	15,00	7,53	-44,50	465,50	223,50	0,50	3,08	8,59
			Çeşmelerden Alınan Su Örnekleri					
Minimum	11,00	5,67	-9,00	106,20	50,00	0,50	0,50	8,41
Maksimum	13,00	6,90	53,00	674,00	327,00	0,50	1,20	9,45
Ortalama	11,67	6,12	32,00	298,57	143,80	0,50	0,87	8,80
			Kuyulardan Alınan Su Örnekleri					
Minimum	12,00	6,45	-37,00	536,00	258,00	0,50	4,30	1,90
Maksimum	15,00	7,26	16,00	1388,00	685,00	0,50	5,30	7,17
Ortalama	13,50	6,86	-10,50	962,00	471,50	0,50	4,80	4,54
			Limit Değerler					
TS266(T)	12	6,5 - 8,5	-	-	-	-	-	8
TS266(MİV)	25	6,5 - 9,2	-	2000	-	-	-	-
WHO	-	-	-	-	-	-	-	-

TS 266T : Türkiye içme suyu standardı, tavsiye edilen değer; TS266MV : Türkiye içme suyu standardı, maksimum izin verilen değer; WHO: Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standartları

Çizelge 3.4 : Suların kurak dönemde ölçülen parametrelerinin istatistiksel özeti

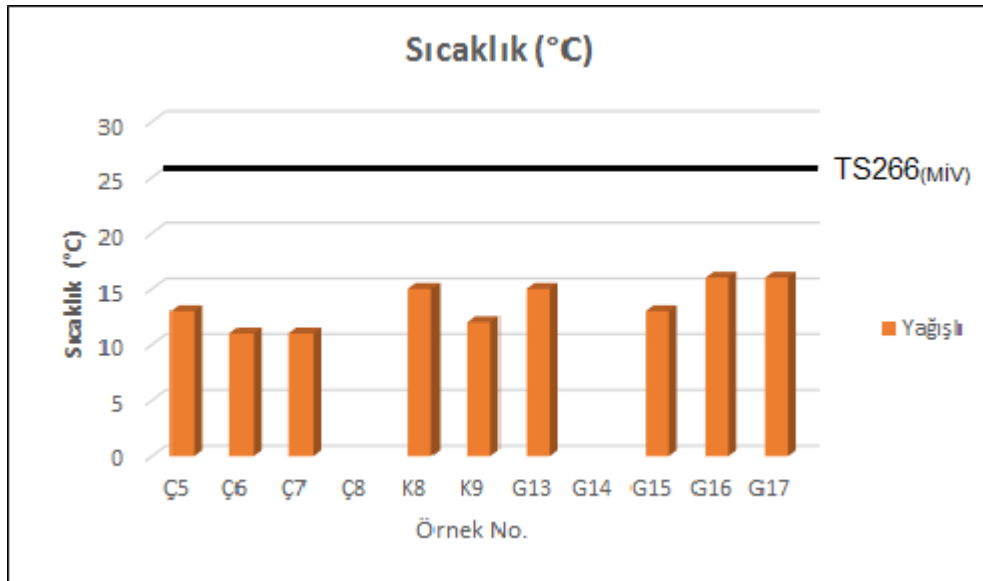
	Sıcaklık (°C)	pH	Eh (mv)	EC (µS/cm)	Tuzluluk (mg/lt)	Asidite (mmol/lt)	Alkalinite (mmol/lt)	D.O (mg/lt)
			Göletlerden Alınan Su Örnekleri					
Minimum	28,50	8,03	-167,00	580,00	280,00	0,25	2	12,67
Maksimum	30,00	8,76	-71,00	1480,00	733,00	0,25	3,8	16,09
Ortalama	29,40	8,49	-109,60	932,40	456,40	0,25	2,68	13,804
			Çeşmelerden Alınan Su Örnekleri					
Minimum	18,00	5,69	7,00	38,90	18,16	0,25	0,40	9,85
Maksimum	29,50	6,73	64,00	1103,00	547,00	0,25	5,60	13,32
Ortalama	24,13	6,17	37,50	322,75	158,82	0,25	2,72	11,03
			Kuyulardan Alınan Su Örnekleri					
Minimum	22,00	6,82	-45,00	394,00	188,20	0,25	3,70	6,86
Maksimum	26,00	7,62	1,00	1167,00	580,00	0,25	5,60	12,38
Ortalama	24,00	7,22	-22,00	780,50	384,10	0,25	4,65	9,62
			Limit Değerler					
TS266(T)	12	6,5 - 8,5	-	-	-	-	-	8
TS266(MİV)	25	6,5 - 9,2	-	2000	-	-	-	-
WHO	-	-	-	-	-	-	-	-

TS 266T : Türkiye içme suyu standardı, tavsiye edilen değer; TS266MV : Türkiye içme suyu standardı, maksimum izin verilen değer; WHO: Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standartları

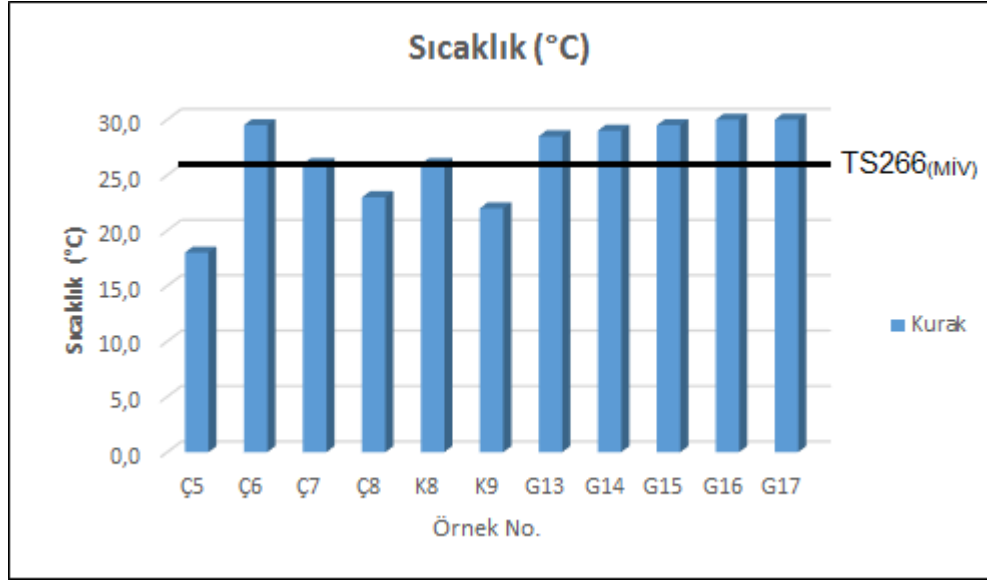
3.4.1.1 Sıcaklık (°C)

Örneklenen su numunelerinin sıcaklık değerlerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.3 ve 3.5'te verilmiştir. Ölçümler, santigrat derece cinsinden ifade edilmiş olup tablodan da görüleceği gibi, TS 266MİV içme suyunun sıcaklığı için 25 °C değerini sınır olarak

tanımlanmışken, tavsiye edilen içme suyu sıcaklığını ise 12 °C olarak belirtilmiştir. WHO ise bu konuda herhangi bir kısıtlamada bulunmamıştır. Şekil 3.8 ve 3.9. de örneklenen suların yağışlı ve kurak döneme ait sıcaklık değerlerinin dağılımı görülmektedir. Bu dağılımlara göre gölet sularında ölçülen maksimum sıcaklık değerleri yağışlı dönemde 16 °C (G16 ve G17 no 'lu örnekler), kurak dönemde 30 °C dir (G16 ve G17 no 'lu örnek). En düşük sıcaklık yağışlı dönemde 13 °C'dir (G15 no 'lu örnek), kurak dönemde ise 28,5 °C (G13 no 'lu örnek) olarak ölçülmüştür. Çeşme sularında maksimum sıcaklık değerleri yağışlı dönemde 13 °C (Ç5 no 'lu örnek), kurak dönemde 29,5 °C (Ç6 no 'lu örnek) 'dir . En düşük sıcaklık yağışlı dönemde 11 °C'dir (Ç6 ve Ç7 no 'lu örnekler), kurak dönemde ise 18 °C (Ç5 no 'lu örnek) olarak ölçülmüştür ve kuyu sularında ise ölçülen maksimum sıcaklık değerleri yağışlı dönemde 15 °C (K8 no 'lu örnek), kurak dönemde 26 °C dir (K8 no 'lu örnek). En düşük sıcaklık yağışlı dönemde 12 °C'dir (K9 no 'lu örnek), kurak dönemde ise 22 °C (K9 no 'lu örnek) olarak ölçülmüştür. Buna göre içme suyu amaçlı da kullanılan çeşme ve kuyu suları yağışlı dönemde TS266_(MIV)'da verilen limit değerlere uygun iken, kurak dönemde verilen limit değerlerinin üzerinde kalmaktadır.



Şekil 3.8 : Yağışlı dönem sıcaklık dağılımı



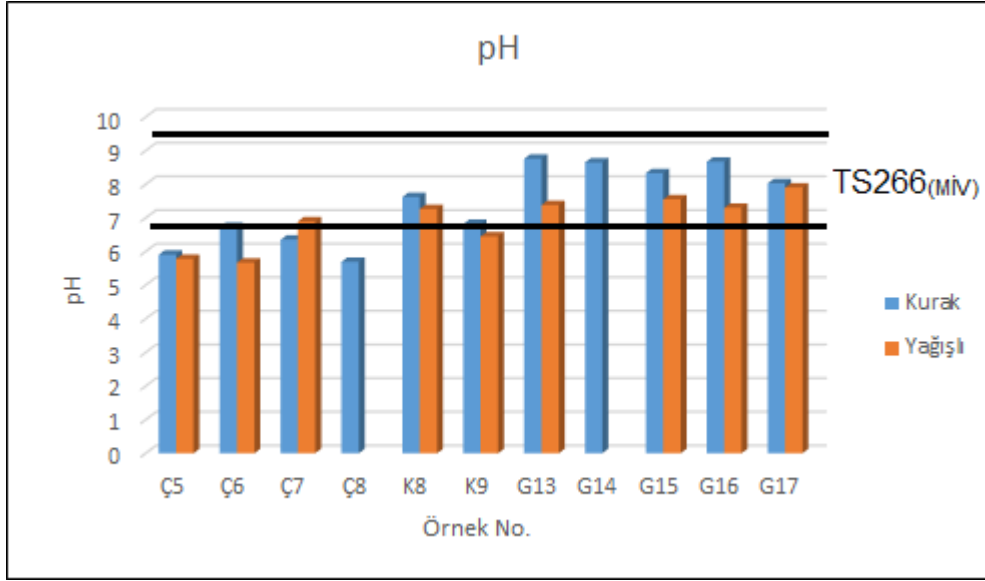
Şekil 3.9. Kurak dönem sıcaklık dağılımı

3.4.1.2 Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH) ve Redoks Potansiyeli (Eh)

Bir çözeltinin asitlik ya da bazlık derecesini ifade eden ölçü birimi, Hidrojen iyon konsantrasyonudur. Doğal suların pH değerinin 4 ila 9 arasında olduğu kabul edilmektedir (Gray, 1994; Şahinci, 1991). İncelenen suların hidrojen iyon konsantrasyonunun istatistiksel özeti çizelge 3.4 ve 3.5'te de verilmiş olup, tablodan da görülebileceği gibi WHO içme sularının pH değeri için bir sınır belirtmezken, TS266(Miv), 6,5 – 9,2 aralığında müsaade etmektedir.

Şekil 3.10 'te görüldüğü gibi çeşme sularının yağışlı dönem pH değerleri 5,7 – 6,9 ve kurak dönem değerleri yaklaşık 5,7 – 6,7 aralığında değişirken, kuyu sularının yağışlı dönem pH değerleri 6,5 – 7,3 aralığında ve kurak dönem pH değerleri yaklaşık 6,9 – 7,6 aralığında değişmiştir.

Göletler, Ergene Formasyonunun killi birimleri içinde gelişmiştir. Göl sularında ölçülen pH, Eh, asidite, alkalinite, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik değerleri killi birimlerin suları tamponladığını göstermektedir. Bununla ilintili olarak suların pH değerleri yağışlı dönemde 7,3-7,9 aralığında, kurak dönemde ise 8 - 8,8 aralığında değişmiştir (Bakınız Şekil 3.10).



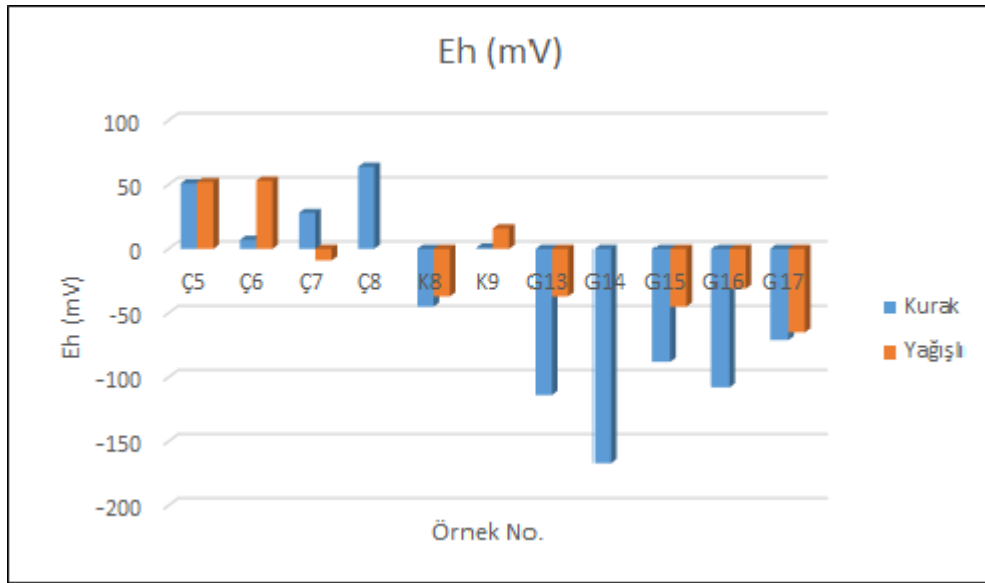
Şekil 3.10 : Örneklenen suların yağışlı ve kurak dönem pH dağılımı



Şekil 3.11 : G13 no'lu gölet etrafındaki kumlukillerin görünüşü (X: 593916, Y: 4583438)

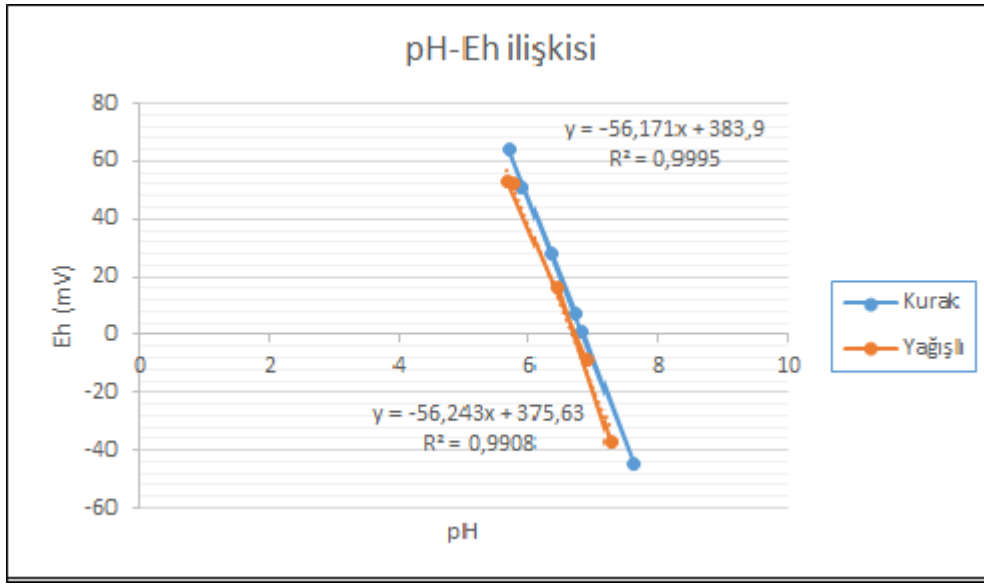
Bir çözeltinin yükseltgenme ve indirgenme özelliklerini belirleyen Eh ise, gerçekte ortamda bulunan element ve iyonların yük değerliklerinin değişimi ile alakalı redoks tepkimeleri sonucunda oluşan voltajın değeridir. Yer altı suları normal koşullarda

oksijen zengin yağış sularıyla beslendiğinden Eh değerleri yüksektir. Bu miktar yüzeyden derine indikçe, zemindeki organik madde miktarı ve maddenin bulunduğu derinlik, zeminin geçirgenliği, yağışların sıklığı gibi parametrelere bağlı olarak azalır (Şahinci, 1991; Gray, 1994) İncelenen suların redoks değerlerinin yağışlı ve kurak dönem istatistiksel özeti Çizelge 3.3 ve 3.4 'te verilmiştir. Şekil 3.12 de ise alınan su numunelerinin yağışlı ve kurak dönem Eh değerleri mV cinsinden verilmiştir. Buna göre çeşme ve kuyu sularının yağışlı ve kurak dönem Eh değerleri yaklaşık -37 ile 64 mV aralığında değişirken, gölet sularında yağışlı dönemde -65 ile -37 mV aralığında, kurak dönemde ise -167 ile -71 mV aralığında değişmiştir. TS266 ve WHO tarafından içilebilir sulara Eh için verilen bir aralık yoktur.

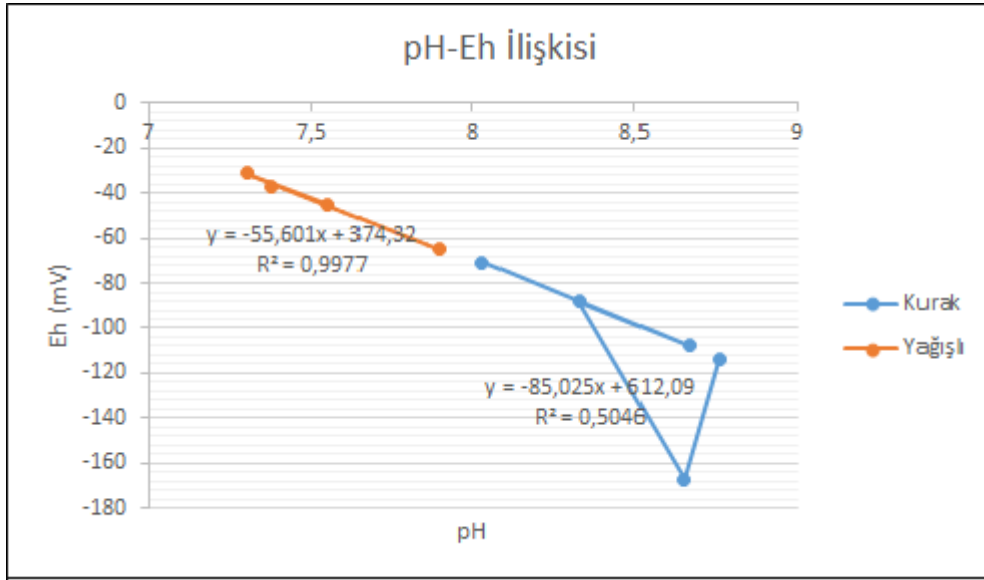


Şekil 3.12 : Örneklenen suların yağışlı ve kurak dönem Eh dağılımı

Sulu ortamlarda H^+ iyon derişimindeki değişim, ortamda bir elektrik akımının doğmasına sebep olduğundan, Eh ile pH arasında önemli bir bağ vardır. Çeşme ve kuyulardan alınan yeraltı sularının pH-Eh ilişkisi şekil 3.13’de, gölet sularının pH-Eh ilişkisi ise şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.13 : Çeşme ve kuyulardan alınan yeraltı sularının pH-Eh ilişkisi

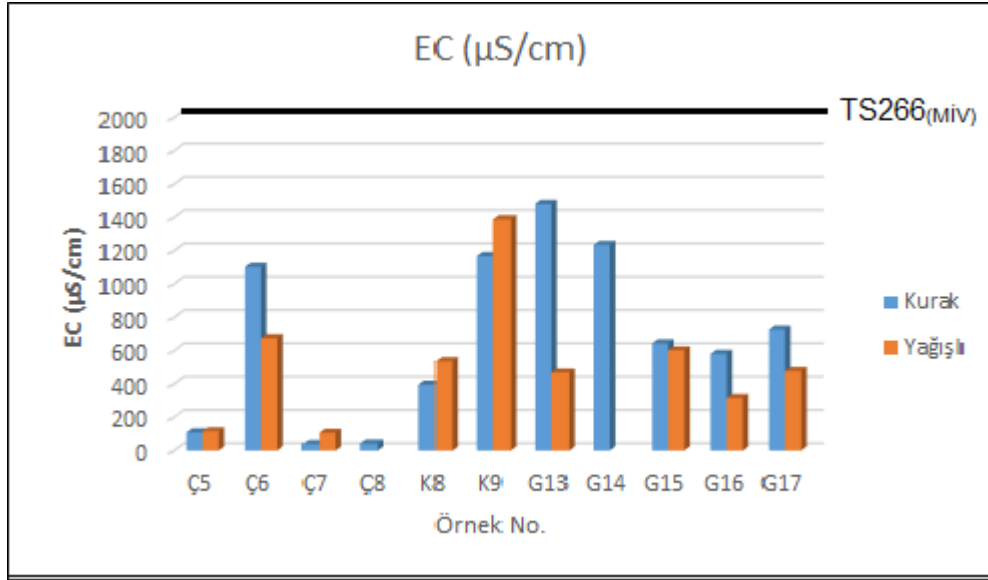


Şekil 3.14 : Gölet sularının pH-Eh ilişkisi

3.4.1.3 İletkenlik (EC) ve Tuzluluk (NaCl) ilişkisi

EC, suyun elektrik akımını iletme özelliğini gösteren bir parametredir. Saf suyun iletkenliğinin çok az olduğu bilinmektedir. Bu yüzden, örneklenen suların yüksek EC değerleri vermesi suyun saflıktan uzaklaştığını ve içerisinde belli oranda iyon barındırdığını gösterir. Sularda ölçülen yüksek EC değerleri, suyun iyon miktarına, iyon cinsine ve sıcaklığına bağlı olarak değişen ve su-kayaç etkileşim süresi, akiferin geçirimsizliği ve iletkenliği gibi ortam koşulları hakkında bilgi veren önemli bir parametre konumundadır (Şahinci, 1991; Gray, 1994). Tez çalışması kapsamında örneklenen suların elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin istatistiksel özeti yağışlı ve kurak dönem

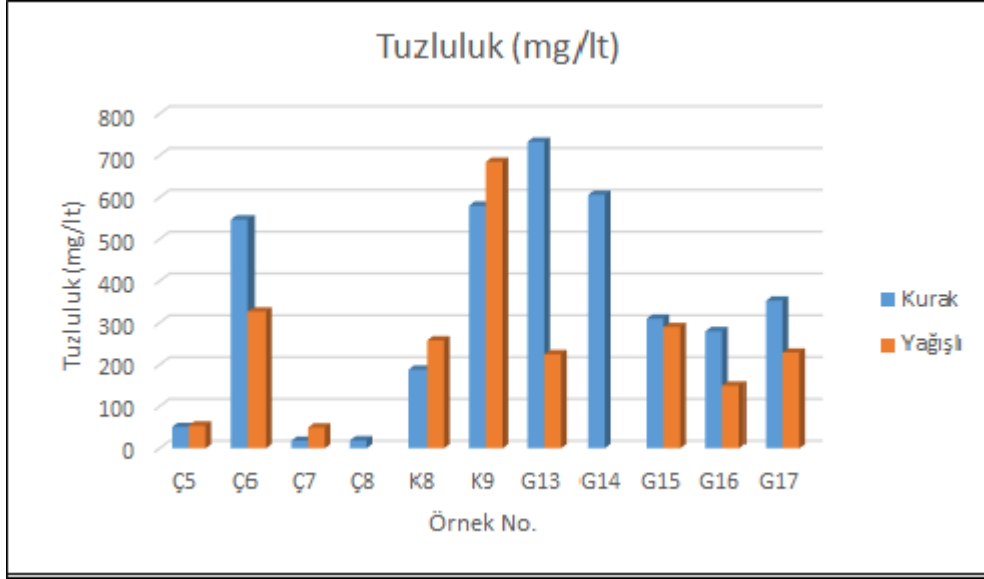
için Çizelge 3.3 ve 3.4 'te verilmiştir. Alınan numunelerin EC değerlerinin dağılımı ise, Şekil 3.15'de görülmektedir. Buna göre çeşme ve kuyu sularının yağışlı ve kurak dönem EC değerleri 38,9 - 1388 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değişirken, gölet sularında yağışlı dönemde 315 - 601 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında, kurak dönemde ise 580 - 1480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değişmiştir. EC için WHO tarafından her hangi bir limit değeri belirtilmemişken, TS266(MIV) 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ belirlenmiş olup sular bu değerin altında kalmıştır.



Şekil 3.15 : Örneklenen suların elektriksel iletkenlik dağılımı

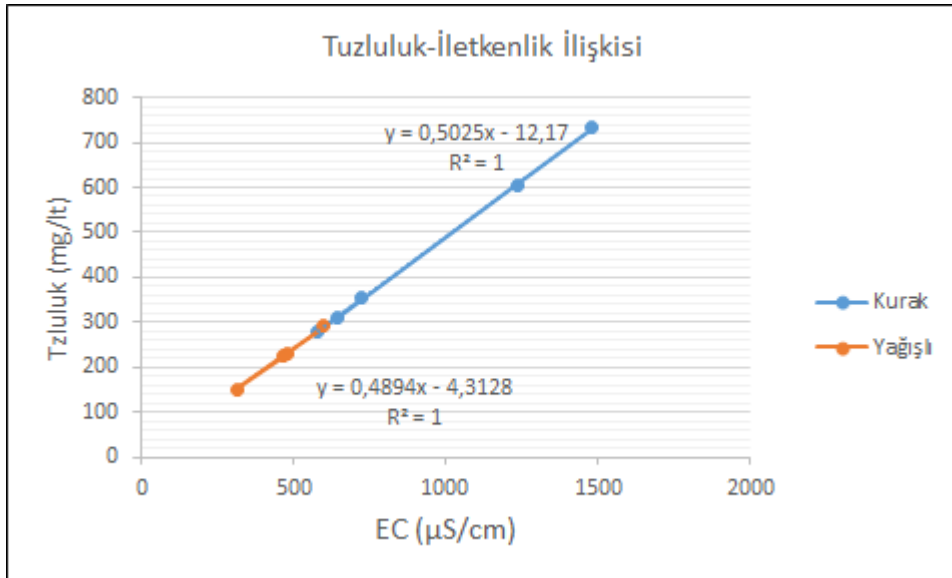
Bir kilogram suda karbonatlar okside, bromür ve iyodür klorüre dönüşüp organik maddeler yükseltgendikten sonra 480 °C'de sabit tartımda elde edilen kütlenin gram olarak ağırlığına tuzluluk denir. Tuzluluk, suların iletkenliğinde önemli rol oynayan bir parametredir. WHO ve TS266 standartlarında tuzluluk için herhangi bir limit belirtilmemiştir. Örneklenen suların tuzluluk değerlerinin istatistiksel özeti yağışlı ve kurak dönem için Çizelge 3.3 ve 3.4'te verilmiştir. Alınan numunelerin NaCl değerlerinin dağılımı ise, Şekil 3.16'de görülmektedir. Çalışma alanında gölet sularında bulunan tuzluluk değerleri yağışlı dönem için 150-290 mg/l arasında değişmekte olup, en yüksek değer EC değerlerinde olduğu gibi G15 no'lu örneğe, en düşük değer ise G16 no'lu örneğe aittir. Kurak dönemde yapılan ölçümlerde suların tuzluluk değerleri 280 - 733 mg/l aralığında değişmekte olup en yüksek değer G13 no'lu örnekte, en düşük değer G16 no'lu örnekte ölçülmüştür. Çeşme ve kuyularında yapılan ölçümlerde ise NaCl değerleri yağışlı dönem için 50 - 327 mg/l aralığında olup, en yüksek değer Ç6, en düşük değer Ç7 no'lu örneğe aittir. Kurak dönemde

yapılan ölçümlerde ise tuzluluk değerleri 18,2 - 547 mg/lt aralığında değişirken, en yüksek değer Ç6, en düşük değer Ç7 no'lu örneğe aittir.

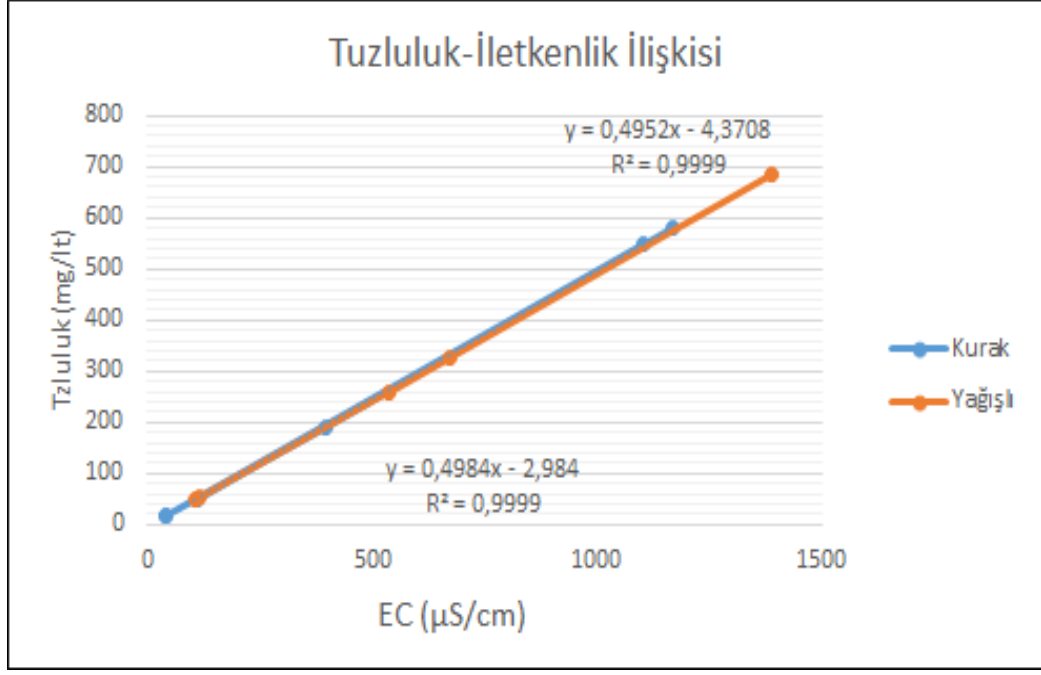


Şekil 3.16 : Örneklenen suların Tuzluluk dağılımı

Örneklerin tuzluluk değerleri EC değerlerine paralel olarak değişmiştir. Suların EC-Tuzluluk ilişkisi gölet suları, çeşme ve kuyu örneklerine göre ayrı ayrı diyagramda değerlendirilmiş, Şekil 3.17 ve 3.18 verilmiştir.



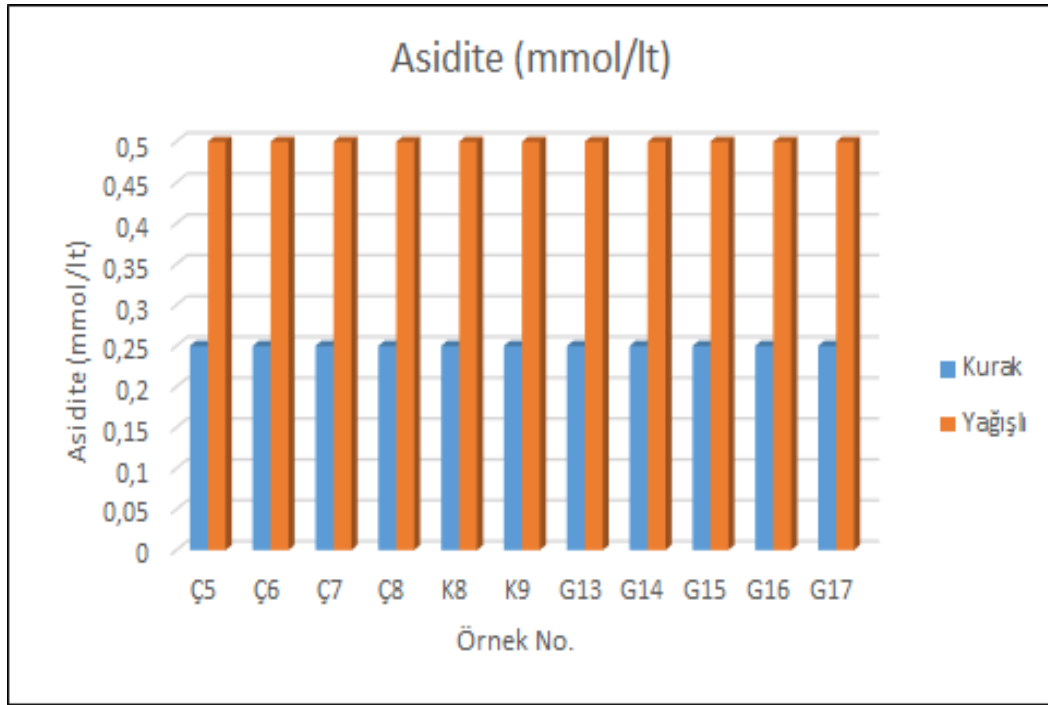
Şekil 3.17 : Gölet sularının NaCl-EC ilişkisi.



Şekil 3.18 : Çeşme ve kuyulardan alınan yer altı sularının NaCl-EC ilişkisi.

3.4.1.4 Asidite, Alkalinite ve Çözünmüş Oksijen (DO)

Bir suyun asiditesi o suyun kuvvetli bir bazı belirtilen bir pH değerine kadar nötralize edebilme kapasitesi olarak tanımlanır ve sulardaki mineral asitleri, asetik asit, karbonik asit, Fe^{+2} , Al^{+3} , SO_4^{-2} gibi bileşenlerle alkalidir (Erarslan, 2010). Asidite, değeri için WHO ve TS266 tarafından herhangi bir değer belirlenmemiştir. Tez çalışma kapsamında örneklenen suların asidite değerlerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.3 ve 3.4 'te verilmiş olup, alınan numunelerin asidite dağılımı ise Şekil 3.19 'da mmol/Lt cinsinden gösterilmiştir. Asidite değerleri tüm su noktalarında kurak dönemde 0,25 mmol/Lt, yağışlı dönemde 0,5 mmol/Lt olarak ölçülmüştür. Sonuçlar bu şekilde çıkınca ölçüm hataları olup olmadığını kontrol etmek amacıyla, ölçümler birkaç kez tekrar edilmiş ve hatta aynı kitler farklı sahalarda test edilip ölçüm hatası olmadığı ortaya çıkmıştır. Safaalan bölgesinde, yeraltı sularının pH değerleri her iki dönem bazında 5,69-7,62 arasında değişirken, suların sergilediği bu asidite özelliğinin daha detaylı ölçümlerle araştırılması gerektiği görülmektedir.



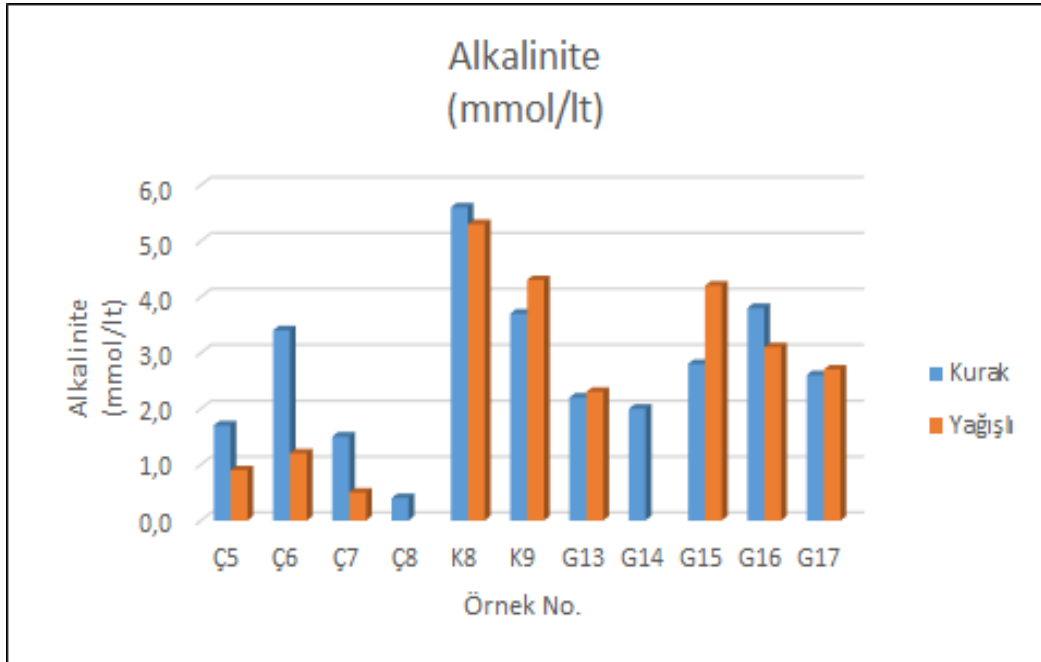
Şekil 3.19 : Örneklenen suların Asidite dağılımı

Su içinde bulunan aslen bikarbonat, kısmen de karbonat ve hidroksitlerin toplamı olarak ifade edilebilen bir parametre olan alkalinite; başka bir deyişle, kabaca, suyun kuvvetli bir asidi belirtilen bir pH değerine kadar nötralize edebilme kapasitesini vermektedir. Arazide yapılan ölçümlerle elde edilen alkalinite değerlerinin ölçümü Şekil 3.20 'de gösterilmiştir. Tez çalışması kapsamında incelenen suların alkalinite değerlerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.3 ve 3.4 'te verilmiş olup, ayrıca örneklenen suların alkalinite dağılımı Şekil 3.21'de görülmektedir. Alkalinite değeri için WHO ve TS266 tarafından herhangi bir değer belirlenmemiştir.

Sudaki çözülmüş oksijenin (D.O.) suda yaşayan bitkilerin fotosentez olayı sonucu verdikleri oksijen ve havadaki oksijenden ileri gelmektedir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü havadaki oksijenin kısmi basıncına, suyun sıcaklığına ve su içerisindeki minerallerin konsantrasyonlarına bağlı bulunmaktadır. Dolayısıyla D.O. su içinde çözülmüş halde bulunan oksijen konsantrasyonu anlamındadır ve mg/L olarak ifade edilmektedir.



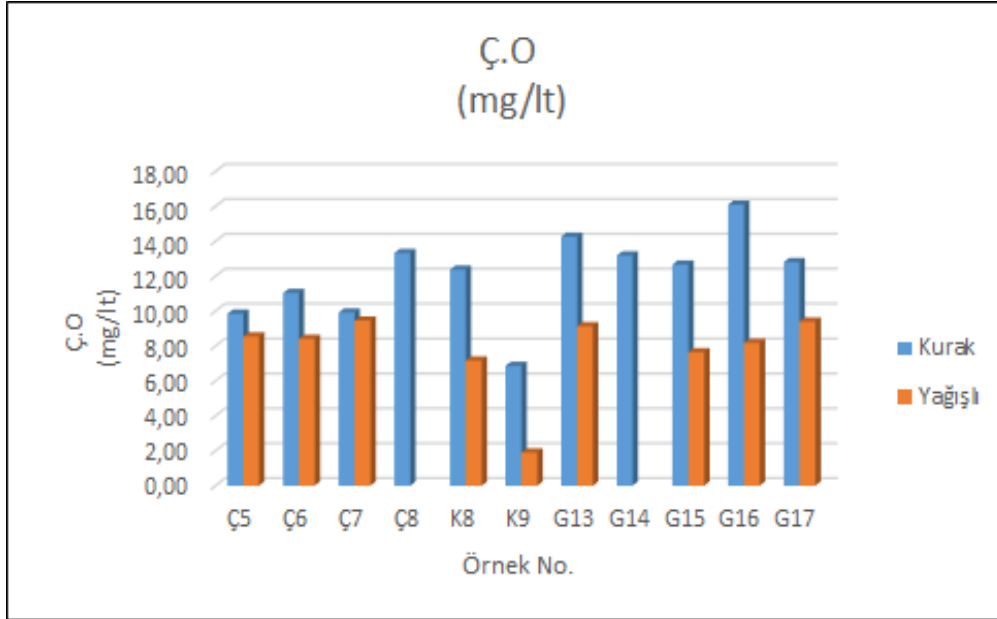
Şekil 3.20 : Alkalinite değerlerinin ölçümü işlemi



Şekil 3.21 : Örneklenen suların Alkalinite dağılımı

Çizelge 3.3 ve 3.4 'ten de görülebileceği gibi, örneklenen suların ortalama çözünmüş oksijenin (D.O.) değeri gölet sularında yağışlı dönem için 8,6 mg/l, kurak dönem

için 13,8 mg/lt olarak; çeşme ve kuyulardan alınan örneklerde yağışlı dönem için 7,1 mg/lt, kurak dönem için 10,6 mg/lt belirlenmiştir. Örneklenen suların D.O dağılımı Şekil 3.22’da verilmiştir.



Şekil 3.22 : Örneklenen suların Çözünmüş Oksijen dağılımı

3.5 Suların anyon ve katyon değerleri

Suların kimyasal bileşimi esas itibariyle ana katyon ve anyonlardan meydana gelmektedir. Literatür çalışmalarında suların ana anyonları olarak HCO_3^- , SO_4^{2-} ve Cl^- ana katyonları olarak ise Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ ve K^+ değerleri dikkate alınmaktadır. Bu iyonların analiz sonuçları, ilgili diyagramlara koyularak suların sınıflandırılması yapılmakta ve suların yer kabuğundaki beslenme-dolaşım-depolanma özelliklerine açıklama getirilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca, yine bu analiz sonuçlarına bakılarak akifer kayaçların litolojik özellikleri hakkında da bilgi sahibi olunabilmektedir. Tez çalışması kapsamında incelenen numunelerin ana anyon, katyon ve sertlik değerlerinin istatistiksel özeti ile Türkiye (TS266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu limit değerleri yağışlı ve kurak dönem olarak Çizelge 3.5 ve 3.6 ’de verilmiştir.

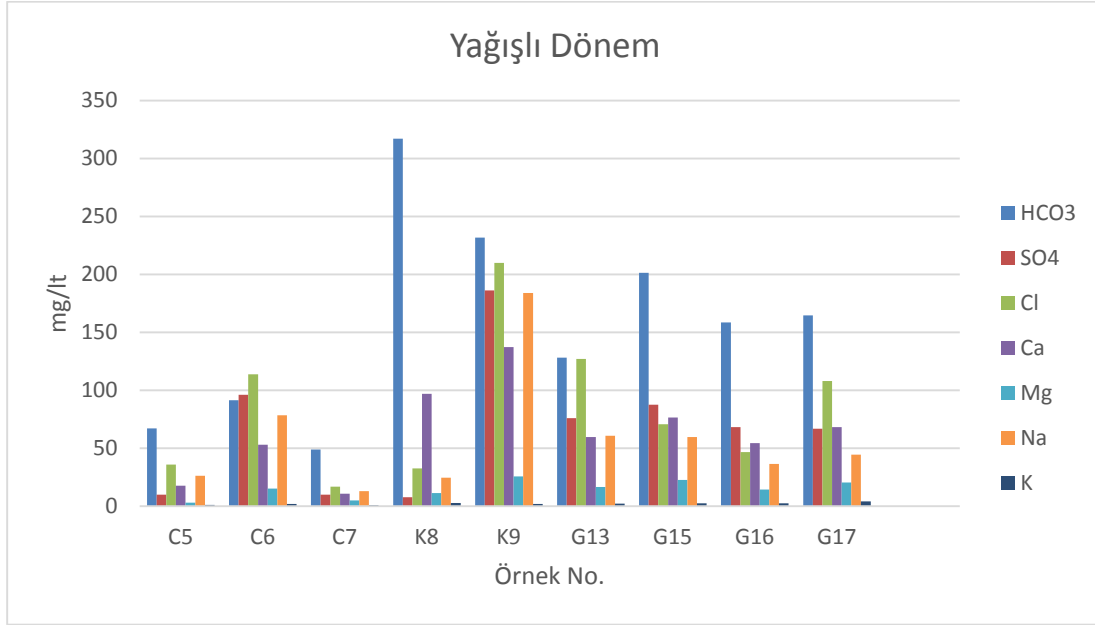
Çizelge 3.5 : Çalışma alanındaki yağışlı dönem sularının anyon, katyon ve toplam sertlik değerlerinin istatistiksel özeti (mg/lt)

	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	K
		Göletlerden Alınan Su Örnekleri					
Minimum	128,10	66,75	46,48	54,38	14,34	36,51	2,03
Maksimum	201,30	87,59	126,94	76,38	22,45	60,84	4,17
Ortalama	163,18	74,60	87,96	64,66	18,43	50,37	2,72
		Çeşmelerden Alınan Su Örnekleri					
Minimum	48,80	9,84	16,76	10,73	2,92	12,94	0,81
Maksimum	91,50	96,02	113,78	53,07	15,02	78,28	1,83
Ortalama	69,13	38,59	55,46	27,11	7,65	39,08	1,22
		Kuyulardan Alınan Su Örnekleri					
Minimum	231,80	7,75	32,56	96,89	11,29	24,48	1,97
Maksimum	317,20	186,26	210,02	137,24	25,53	183,87	2,67
Ortalama	274,50	97,01	121,29	117,06	18,41	104,18	2,32
		Limit Değerler					
TS266(T)	-	25	25	100	30	20	10
TS266(MiV)	-	250	600	200	50	175	12
WHO	-	250	250	-	-	200	-

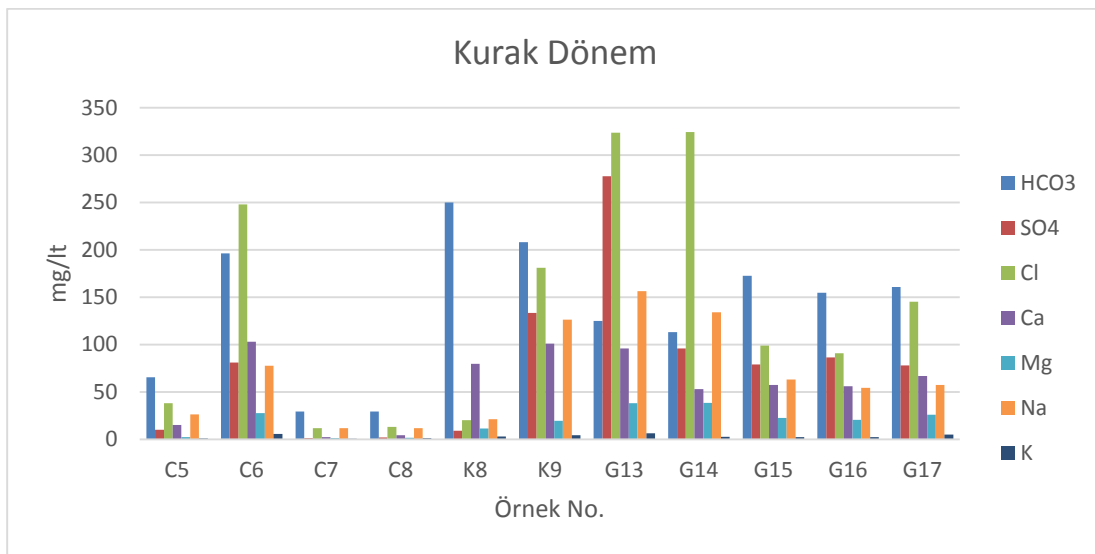
Çizelge 3.6 : Çalışma alanındaki Kurak dönem sularının anyon, katyon ve toplam sertlik değerlerinin istatistiksel özeti (mg/lt)

	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	K
		Göletlerden Alınan Su Örnekleri					
Minimum	113,07	78,07	90,96	53,01	20,64	54,32	2,14
Maksimum	172,59	277,92	324,28	95,82	38,53	156,29	6,46
Ortalama	145,21	123,47	196,69	65,85	29,16	93,08	3,69
		Çeşmelerden Alınan Su Örnekleri					
Minimum	29,46	1,26	11,72	2,40	1,31	11,61	0,59
Maksimum	196,39	80,94	248,05	103,13	27,81	77,60	5,78
Ortalama	80,19	23,57	77,82	31,24	8,27	31,85	2,18
		Kuyulardan Alınan Su Örnekleri					
Minimum	208,29	8,99	20,13	79,55	11,49	21,24	2,82
Maksimum	249,95	133,40	181,04	100,84	19,47	126,44	4,22
Ortalama	229,12	71,20	100,59	90,20	15,48	73,84	3,52
		Limit Değerler					
TS266(T)	-	25	25	100	30	20	10
TS266(MiV)	-	250	600	200	50	175	12
WHO	-	250	250	-	-	200	-

Alınan örneklerin anyon ve katyon değerlerinin grafiksel dağılımı ayrıca Şekil 3.23 ve 3.24’de gösterilmiş olup, Çizelge 3.5 ve 3.6’de adı geçen tüm anyon ve katyon parametrelerinin her biri bu bölümde ayrı başlıklar altında tanıtılmıştır.



Şekil 3.23 : Yağışlı dönem örneklerinin ana anyon-katyon değerlerinin değişim diyagramı (mg/Lt)

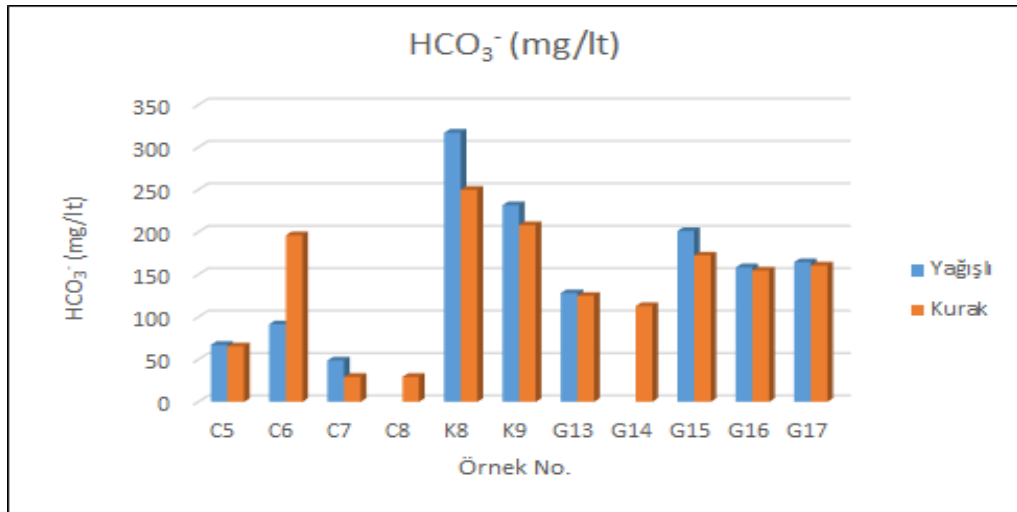


Şekil 3.24 : Kurak dönem örneklerinin ana anyon-katyon değerlerinin değişim diyagramı (mg/Lt)

3.5.1 Anyonlar

3.5.1.1 Bikarbonat (HCO_3^-)

Çalışma alanında örneklenen sulara HCO_3^- değerleri yağışlı dönem ortalama değerleri gölet suları için 163,18 mg/lt, çeşme suları 69,13 mg/lt ve kuyu suları için 274,50 mg/lt dir (Çizelge 3.5). Kurak dönem ortalama HCO_3^- değerleri ise gölet suları için 145,21 mg/lt, çeşme suları 80,19 mg/lt ve kuyu suları için 229,12 mg/lt olarak bulunmuştur (Çizelge 3.6). Tez çalışması kapsamında örneklenen suların bikarbonat dağılımları örnekleme dönemlerine göre Şekil 3.25’de gösterilmiştir. Buna göre, sadece Safaalan Köyü Sincap Evleri içinde kalan K8 ‘nolu kuyuya ait su örneğinin bikarbonat değeri ortalamanın üstünde bir değere sahip olup, TS266 ve WHO standartlarında HCO_3^- değeri için bir sınırlamada bulunmamaktadır.



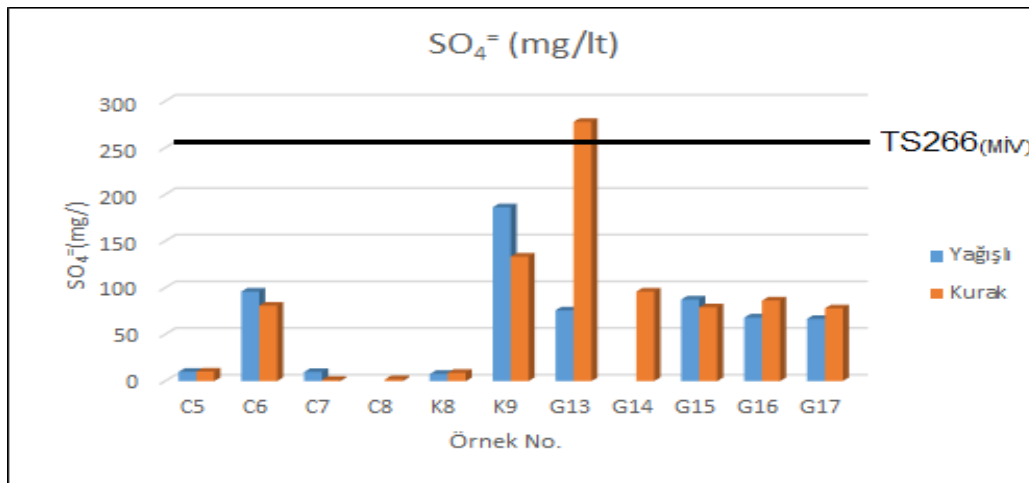
Şekil 3.25 : Örneklenen suların Bikarbonat dağılımı

3.5.1.2 Sülfat (SO_4^{2-})

Kükürdün doğadaki göçü çoğunlukla SO_4^{2-} şeklindedir ve oldukça büyük bir iyon yarıçapına sahip olan SO_4^{2-} çok hareketli bir bileşiktir. Doğadaki SO_4^{2-} varlığının başlıca kaynakları arasında volkanlar, pirit mineralinin oksitlenmesi, jips ve anhidritlerin çözünmesi ile deniz sularının buharlaşıp rüzgarın etkisiyle atmosfere karışması gibi prosesler gösterilebilir. Yağış sularında 1 mg/l den fazla SO_4^{2-} bulunur ve bu değer bazen 10 mg/l ye kadar çıkabilir; bunun üzerindeki değerler ise çoğunlukla akifer kayaçlarından ve antropojenik kaynaklardan çözünerek yer altı

suyuna karışan sülfatın varlığına işaret etmektedir. Eğer sularda Na_2SO_4^- ve MgSO_4^- bileşikler bol miktarda bulunursa bu, suya asitlik özelliği kazandırır ve acı bir tat verir. Ayrıca, insanda bağırsakların bozulmasına sebebiyet verdiği bilinmektedir. Bu nedenle, içme sularındaki SO_4^- miktarının WHO ve TS 266 tarafından sınır değeri olarak belirlenen 250 mg/l değerini aşması istenmeyen bir durumdur (Şahinci, 1991; Gray, 1994)

Alınan su örneklerinin SO_4^- değerlerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.5 ve 3.6 'da verilmiştir. Buna göre, örneklenen suların yağışlı dönem ortalama sülfat değeri gölet suları için 74,60 mg/l, kuyu suları için 97,01 mg/l ve çeşme suları için 38,59 mg/l olarak; kurak dönem ortalama sülfat değeri gölet suları için 123,47 mg/l, kuyu suları için 71,20 mg/l ve çeşme suları için 23,57 mg/l olarak belirlenmiş olup, sülfat dağılımının grafiksel gösterimi ise Şekil 3.26' de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, göletlerden alınan örneklerden G13 nolu örnek haricinde tüm örnekler TS 266_{MIV} ve WHO tarafından belirlenen 250 mg/l değerini aşmamaktadır. Bununla birlikte ölçülen değerler dikkate değerdir ve kaynağının detaylı olarak araştırılması gerekir. Mevcut verilerden hareketle; örnek sularda saptanmış olan SO_4^- 'ün kaynağı için şunlar önerilebilir: Ergene formasyonunun killi birimleri, hem kayalar da hem de kömürlü birimlerde olması mümkün olan Pirit oluşumları, Trakya havzasında Miyosen dönminde yaygın olan volkanizma ve sedimanlar içinde hapis kalmış fosil sular. Bu kaynakların ikili, üçlü kombinasyonları SO_4^- için kaynak olabileceği gibi hepsi birde de etkili olabilir. Bu haliyle incelenen su kaynakları Sülfat içerikleri bakımından sınır değerin aşağısında olması sebebiyle içme suyu olarak kullanılabilir.

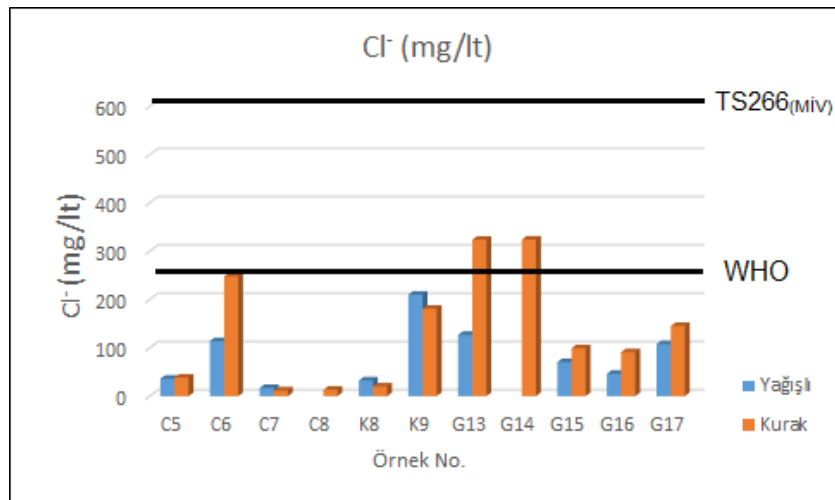


Şekil 3.26 : Örneklenen suların Sülfat dağılımı

3.5.1.3 Klorür (Cl⁻)

Klorür, magmadan HCl⁻, NaCl ve değişik metal klorürler formatında yüzeye taşınır ve yer kabuğunun üst seviyelerinde, asidik magma kayaçlarının kayaç yapıcı mineralleri (mika, amfibol, apatit vb.) içinde zenginleşir. Buna rağmen, kiltaşları, şeyl, marn vb. ince taneli kayaçlar içinde zenginleşen evaporitlerden özellikle Halit (NaCl⁻) minerali klorun asıl kaynağı olarak gösterilebilir. Bu kayaçlarla temas eden sular Cl⁻ yönünden çok daha fazla zenginleşir. Biyokimyasal açıdan aktifliği az olan Cl⁻, sodyum ile birlikte kanın bileşiminde bulunur ve kanın ozmatik basıncını dengeler. Yetişkin bir insanın günlük tuz (NaCl⁻) ihtiyacı 4-8 gr.dır. 150 mg/lt.den az klorür içeren sular her türlü kullanıma uygundur. WHO, TS 266 ve AB içme sularında 250 mg/lt değerini sınır değer olarak belirlemiştir. Bunun üzerinde Cl⁻ içeren suların tadı bozulur ve içmeye uygun değildir (Şahinci, 1991; Gray, 1994).

Tez çalışması kapsamında, örneklenen suların Klorür değerlerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.5 ve 3.6’de verilmiş olup, alınan numunelerin grafiksel dağılımı Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Buna göre, numunelerin suların yağışlı dönem ortalama klorür değeri gölet suları için 87,96 mg/l, kuyu suları için 121,29 mg/lt ve çeşme suları için 55,46 mg/lt olarak; kurak dönem ortalama klorür değeri gölet suları için 196,69 mg/l, kuyu suları için 100,59 mg/lt ve çeşme suları için 77,82 mg/lt olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar TS266_(MIV) ‘nın klorür için verdiği sınır değerleri karşılamakta ancak G13 ve G14 numaralı göl suyu örnekleri WHO belirlemiş olduğu limit değerleri aşmaktadır. Çeşme sularının tamamı TS266_(miv) ‘in verdiği sınır değerinin altında kalmıştır.



Şekil 3.27 : Örneklenen suların Klorür dağılımı

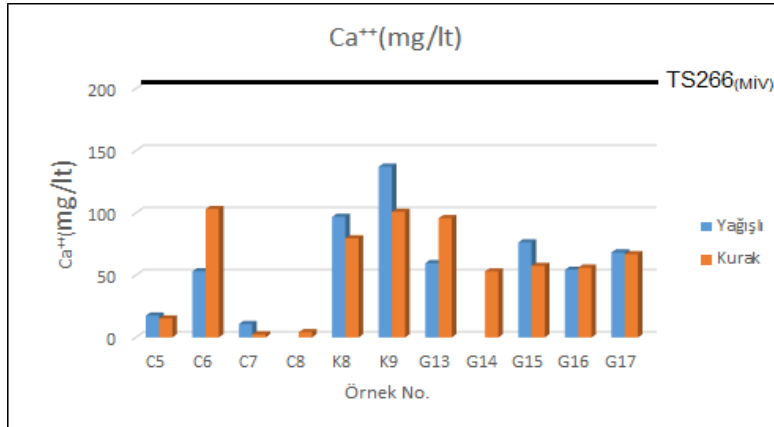
Yukarıda SO_4^{2-} için belirtilen görüşler Cl^- içinde geçerlidir. Her ne kadar değerler limit değerlerin altında kalmakla birlikte, yüksektir. Bölgede klorürün kaynağı Ergene formasyonunun killi birimleri olabileceği gibi buna Volkanizma ve sedimanlar içinde hapis kalmış fosil sular da eşlik edebilir.

3.5.2 Katyonlar

3.5.2.1 Kalsiyum (Ca^{2+})

Kalsiyum, tatlı sularda en bol bulunan üçüncü elementtir ve suyun yapısında Kalsiyum iyonu olarak bulunmaktadır. Yer altı sularında Ca^{2+} varlığına neden olan asıl mineraller kalsit, dolomit, jips, anhidrit ve apatit olarak sıralanabilir. Kalsiyum canlı organizmaların temel yapıtaşlarından biridir ve omurgalılarındaki ana görevi kemik kütlesini oluşturmak ve bu yapıyı korumaktır. Ayrıca, kas kasılması ve sinir uyarılarının iletimi gibi önemli proseslerin gerçekleşmesinde de rol oynar. Bunlara ek olarak, kanın pıhtılaşmasını da kolaylaştırır. Bu saydığımız sebeplerden dolayı, Ca^{2+} insan sağlığı açısından hayati öneme sahip bir elementtir (Şahinci, 1991; Gray, 1994).

Çizelge 3.5 ve 3.6 'dan görülebileceği gibi Türk Standartları maksimum izin verilen içme suyunda Ca^{2+} varlığını 200 mg/l, tavsiye edilen değeri 100 mg/l olarak belirlemişken, WHO bu konuda herhangi bir kısıtlama getirmemiştir. Tez çalışması kapsamında örneklenen suların Kalsiyum değerlerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.5 ve 3.6 'da verilmiştir. Buna göre Şekil 3.28'te görülen grafiksel dağılımda Safaalan Köyü içerisinde alınan K9 nolu kuyu suyu olmak üzere diğer örneklerde tespit edilen Ca^{2+} un kaynağı Ergene formasyonu içinde yaygın olan karbonatlı birimlerdir. İncelenen sular Ca^{2+} açısından içme suyu olarak kullanımının uygundur.

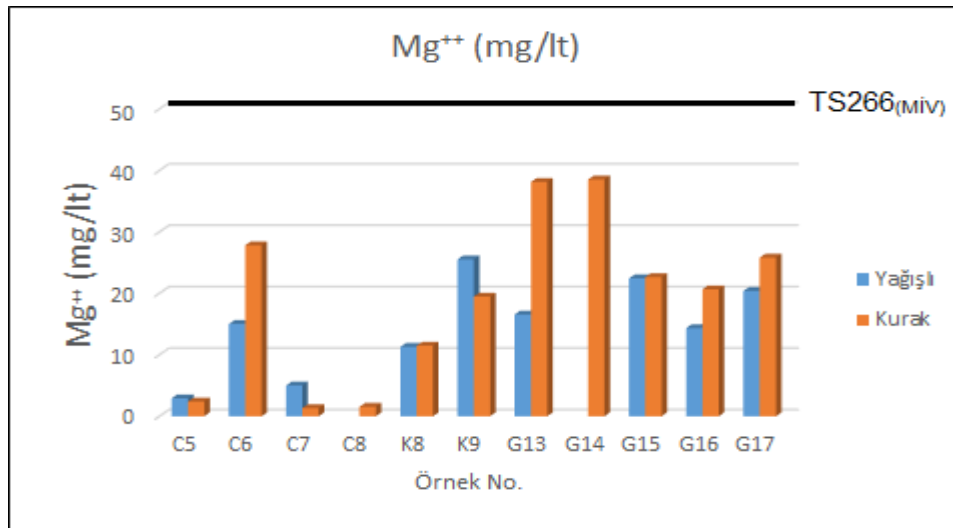


Şekil 3.28 : Örneklenen suların Kalsiyum dağılımı

3.5.2.2 Magnezyum (Mg^{++})

Yer altı sularında Mg çoğunlukla Mg^{++} iyonu şeklinde bulunur ve miktar olarak genellikle Ca'dan daha az görülür. Magnezyum, canlı organizmaların işlevlerini doğru yerine getirebilmesi açısından hayati öneme sahip elementlerden biridir. Hayvanlarda ve insanlarda bütün enzimatik reaksiyonların ko-faktörü olarak görev yapar. WHO, içme sularında Mg^{++} varlığı açısından herhangi bir sınır değer

belirtmemişken, TS 266 tavsiye edilen değeri 30 mg/lt, sınır değeri ise 50 mg/lt. olarak belirlemiştir (Şahinci, 1991; Gray, 1994). Tez çalışması kapsamında örneklenen suların Magnezyum değerlerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.5 ve 3.6 'da grafiksel dağılımı ise Şekil 3.29 'da verilmiştir. Buna göre, numunelerin suların yağışlı dönem ortalama Magnezyum değeri gölet suları için 18,43 mg/l, kuyu suları için 18,41 mg/lt ve çeşme suları için 7,65 mg/lt olarak; kurak dönem ortalama Magnezyum değeri gölet suları için 29,16 mg/l, kuyu suları için 15,48 mg/lt ve çeşme suları için 8,27 mg/lt olarak belirlenmiştir. Bu değerler Türk Standartları'nın belirlediği sınır değerlere uygun olması sebebiyle, bölge suları Mg^{+} açısından içme suyu kullanımına uygundur.



Şekil 3.29 : Örneklenen suların Magnezyum dağılımı

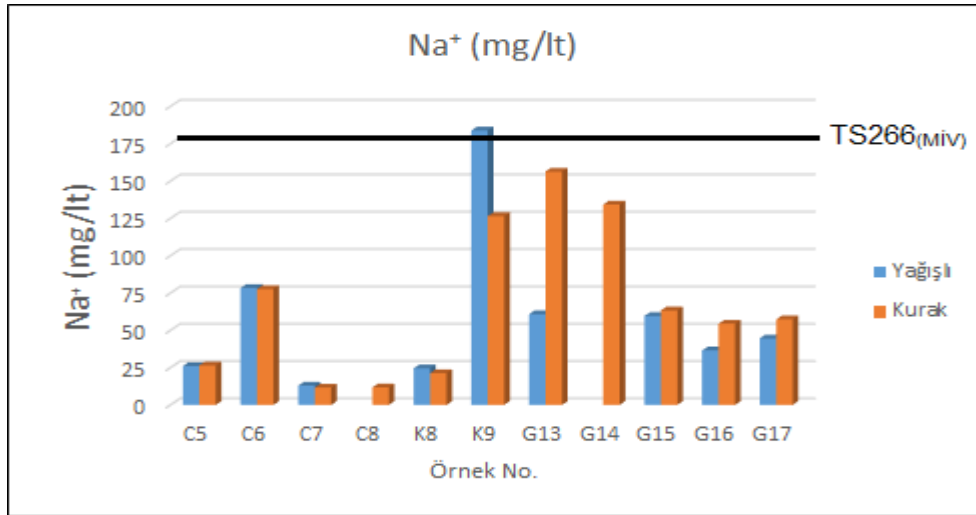
3.5.2.3 Sodyum (Na⁺) ve Potasyum (K⁺)

Sodyum ve Potasyum elementlerinin yer kabuğundaki varlıkları yaklaşık eşit miktarlarda olmasına rağmen, K⁺ sulara oldukça az miktarda bulunur. Bunun sebebi de Sodyum'a göre toprakta çok daha fazla tutulması ve killer tarafından soğurulmasıdır. Her iki element de asidik magmatik kayalar ve bu kayaların sedimenter ve metamorfik eşleniklerinin kayaç yapıcı minerallerinin ana elementi konumundadır. İnsanlarda Na⁺ ve K⁺ iyonları kan plazmasında ve hücreler arasındaki sıvılarda bulunur ve kan dolaşımının dengelenmesinde rol alır. Eksikliğinde sinir sistemi olumsuz etkilenir. Ancak, içme sularında 200 mg/lit.den fazla Na⁺ bulunması, midede şiddetli yanma, kusma, damar sertleşmesi ve hipertansiyon gibi rahatsızlıklara sebep olur. Bu nedenle, içme sularındaki Na sınır değerini WHO ve AB 200 mg/lit., TS 266 ise 175 mg/lit. olarak belirlemiştir. Buna karşılık, WHO ve AB içme sularında K⁺ varlığına herhangi bir kısıtlama getirmezken, TS 266 12 mg/lit değerini üst sınır olarak tanımlamıştır (Şahinci, 1991; Gray, 1994).

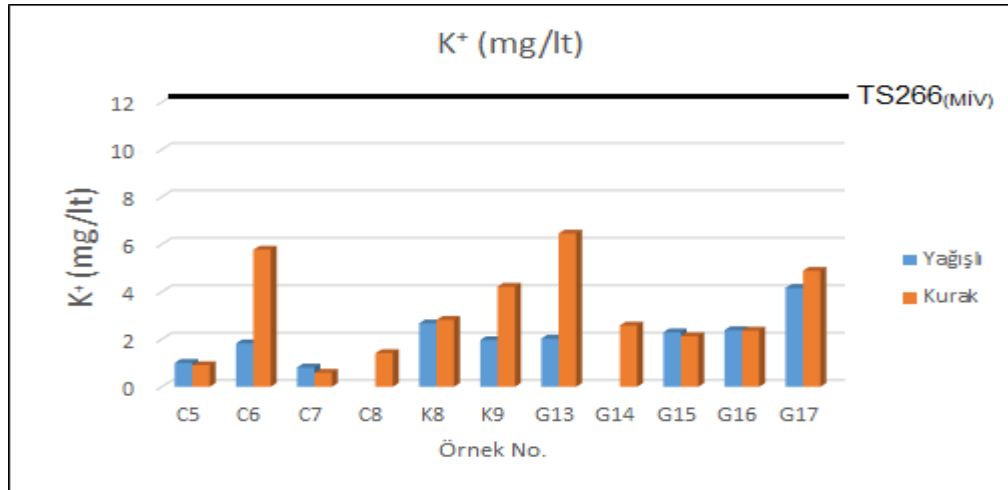
Tez çalışması kapsamında örneklenen suların Sodyum ve Potasyum değerlerinin istatistiksel özeti ve limit değerler Çizelge 3.5 ve 3.6 'da verilmiştir. Buna göre, örneklenen suların Sodyum içeriklerinin Türk Standartları ve WHO 'nun verdiği sınır değerlerde olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, alınan numunelerin Sodyum ve Potasyum içeriklerinin grafiksel dağılımı Şekil 3.30 ve 3.31'da gösterilmiştir. Su örneklerinin Na⁺ değerleri incelendiğinde K9 no 'lu kuyu örneğinin yağışlı dönemde 183,87 mg/lit içeriği ile TS266(MIV) 'nın belirlediği maksimum izin verilen değeri aştığı ancak WHO 'nun belirlediği limit değerinin altında kaldığı gözlenmiştir. Sodyum ve potasyum elementlerinin kaynağı Cl⁻ 'ün kaynaklarıyla büyük benzerlik gösterdiği için Na ve K içerikleri için de yukarıda belirtilen kaynaklar gösterilebilir. Bu haliyle sular hem Sodyum hem de Potasyum değerleri açısından içme suyuna uygundur.

3.6 Suların Sertliği

Suların sertliği içlerinde var olan Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Al⁺, Fe⁺⁺ ve Mn⁺⁺ gibi iki değerlikli metal katyonlarından ileri gelir. Bu katyonlar, karbonat, sülfat ya da klorür gibi belli anyonlarla tepkimeye girer ve bileşik oluşur, böylece suların sertliğini belirlerler. Ancak, suların sertliğinin hesaplanmasında esasen Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ katyonları dikkate alınmaktadır (Şahinci, 1991; Gray, 1994).



Şekil 3.30 : Örneklenen suların Sodyum dağılımı



Şekil 3.31 : Örneklenen suların Potasyum dağılımı

Suların içim-tat kalitesini belirleyen en önemli faktör sertliğidir ve sertliği 500 CaCO₃/ml ‘nin üzerinde olan suların tadı bozuktur. Bu konuda WHO, bir sınır değeri belirlememişken, TS266_(MIV) ise 150 CaCO₃/ml değerini sınır değeri olarak kabul etmiştir. Alınan örneklerin sertlik dereceleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam Sertlik} = 5 * (r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++})$$

Bağıntıda, r, meq/Lt ‘yi tanımlar. Alınan numunelerin sertlik değerlerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.7 ‘de verilmiştir. Buna göre, su örneklerinin sertlik ortalaması yağışlı dönem için göletlerde 23,75 °F, çeşmelerde 9,92 °F ve kuyularda 36,84 °F iken, kurak dönem için göletlerde 28,46 °F, çeşmelerde 11,21 °F ve kuyularda 28,92 °F

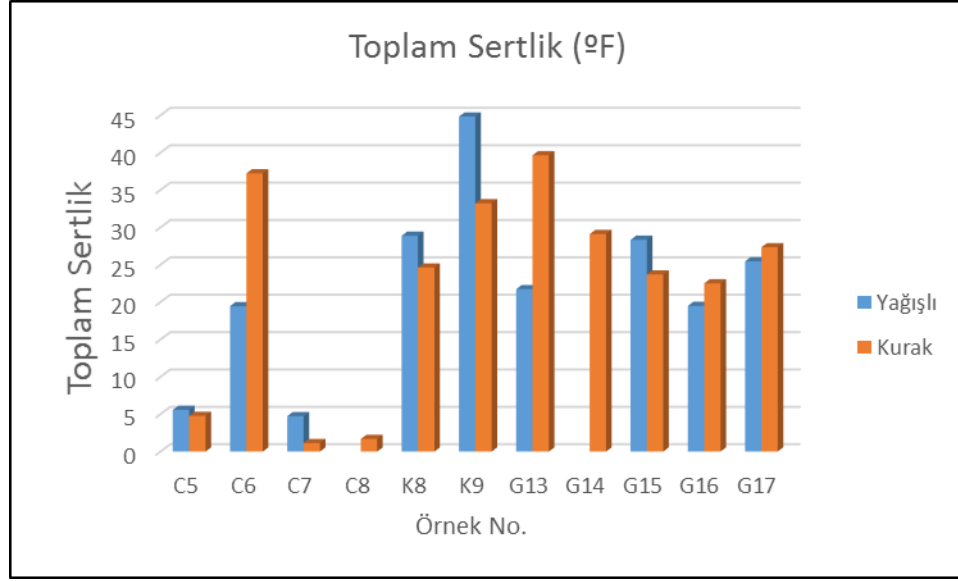
olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında çeşme suları hem yağışlı hem kurak dönemde yumuşak olarak belirlenirken gölet ve kuyu suları oldukça sert – sert sınıfında yer almaktadır. Şekil 3.32’de örneklerin toplam sertliklerinin grafiksel dağılımı verilmiştir. Suların sert ve yumuşak olarak sınıflayan pek çok sınıflama mevcuttur, bu çalışmada ise suların sertliğini belirlemek için Çizelge 3.8’de gösterilen Fransız sertliği sınıflaması kullanılmıştır.

Çizelge 3.7 : Çalışma alanındaki yağışlı ve kurak dönem sularının toprak sertlik değerlerinin istatistiksel özeti

	Yağışlı Dönem Top.Ser. (Fr°)	Kurak Dönem Top.Ser. (Fr°)
Gölet Örnekleri		
Minimum	19,49	22,51
Maksimum	28,33	39,65
Ortalama	23,75	28,46
Çeşme Örnekleri		
Minimum	4,74	1,14
Maksimum	19,45	37,23
Ortalama	9,92	11,21
Kuyu Örnekleri		
Minimum	28,87	24,62
Maksimum	44,82	33,22
Ortalama	36,84	28,92

Çizelge 3.8 : Fransız Sertlik sınıflaması

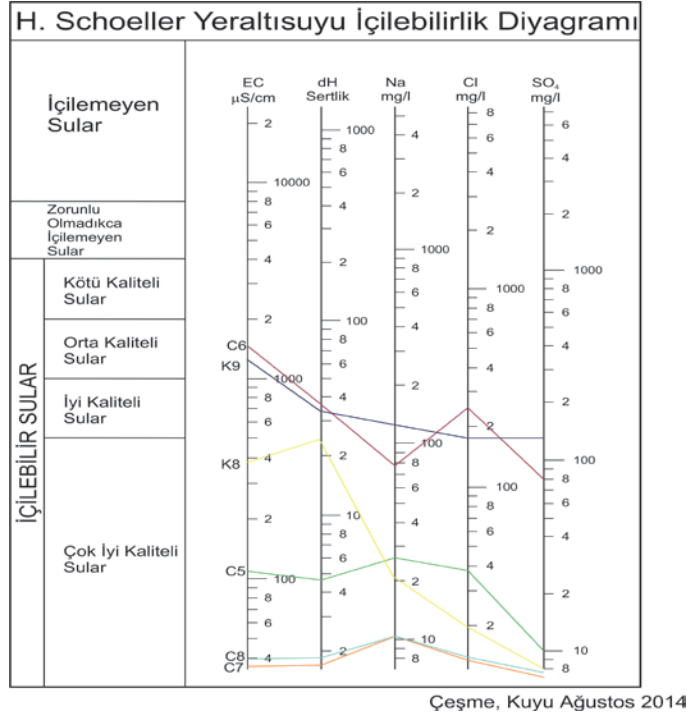
FRANSIZ SERTLİĞİ	
Konsantrasyon	Sertlik
(mg/l)	Derecesi
0.0 – 7.2	Çok yumuşak
7.2 – 14.5	Yumuşak
14.5 – 21.5	Az Sert
21.5 – 32.5	Oldukça sert
32.5 – 54	Sert
54 <	Çok sert



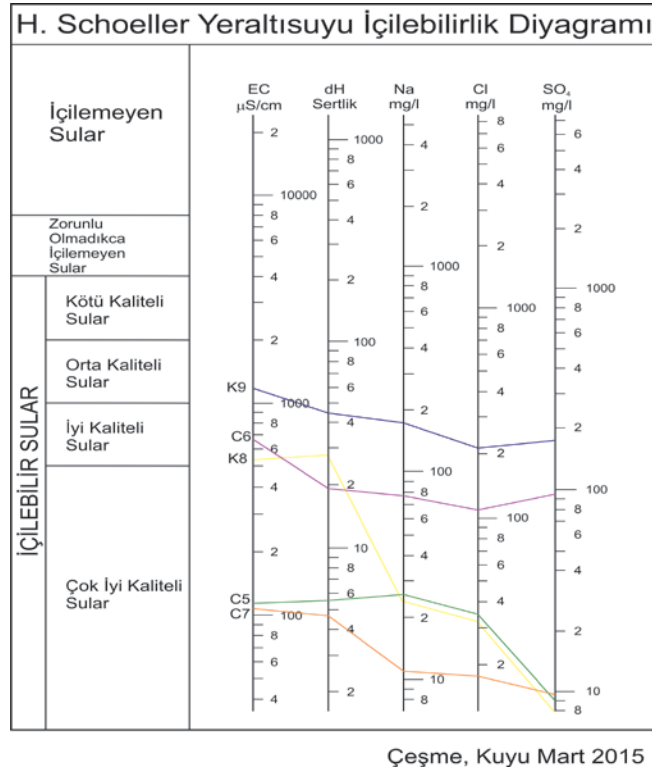
Şekil 3.32 : Örneklenen suların toplam sertlik değerleri

3.7 Suların Schoeller'in İçilebilirlik Diyagramındaki Konumu

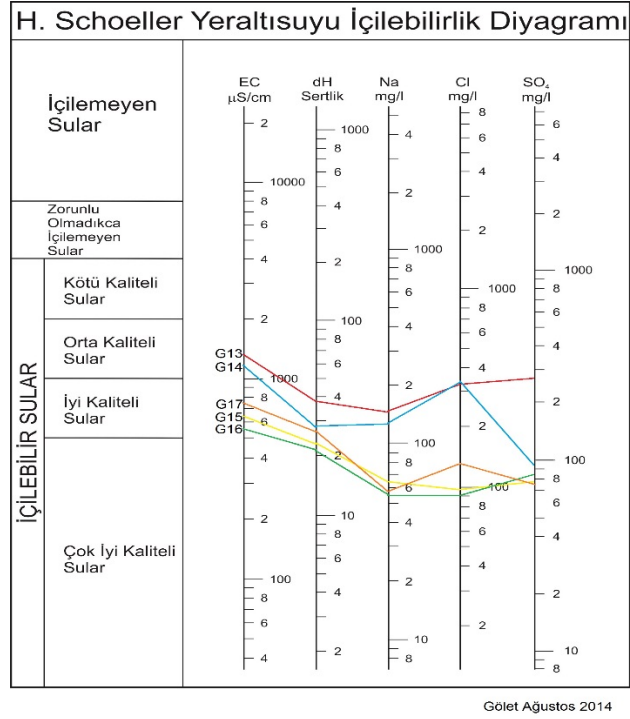
Çalışma alanında çeşme ve kuyu suları çoğunlukla içme, temizlik ve tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle çeşme ve kuyulardan alınan örneklerin yağışlı ve kurak dönem için ayrı ayrı EC, sertlik, tuzluluk, Cl^- ve SO_4^{2-} değerlerine göre Schoeller'in içilebilirlik diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 3.33, 3.34, 3.35 ve 3.36). Çeşme ve kuyu suları kurak dönemde, Ç6 ve K9 numuneleri orta kaliteli – iyi kaliteli sular sınıfında, Ç5, Ç7, Ç8 ve K8 numuneleri çok iyi kaliteli sular sınıfına girmektedir. Yağışlı dönemde elde edilen veriler kurak döneme paralellik göstermektedir. Gölet suları içinde ayrıca hazırlanan diyagramlarda yağışlı dönemde suların Çok iyi kaliteli sular sınıfında yer aldığı buna karşılık kurak dönemde suların kalitesinde düşme gözlenmiştir.



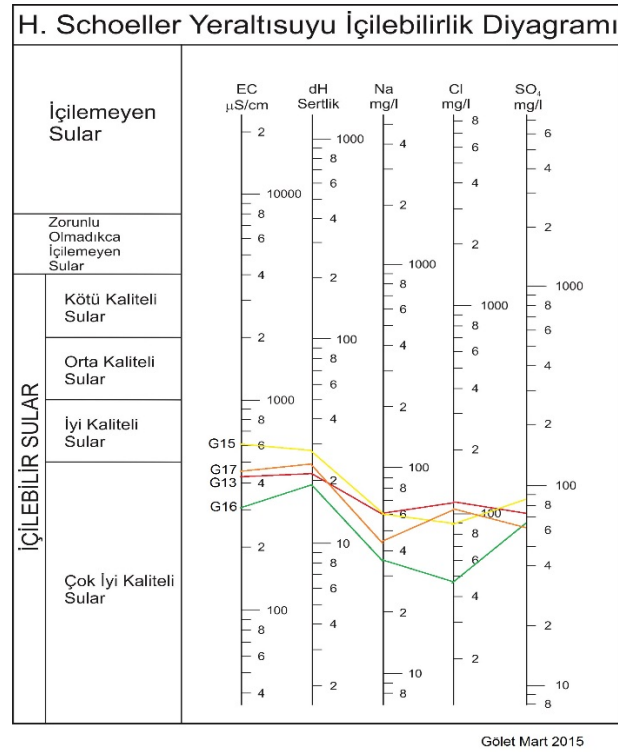
Şekil 3.33 : Kurak dönemde çeşme ve kuyu sularının Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları



Şekil 3.34 : Yağışlı dönemde çeşme ve kuyu sularının Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları



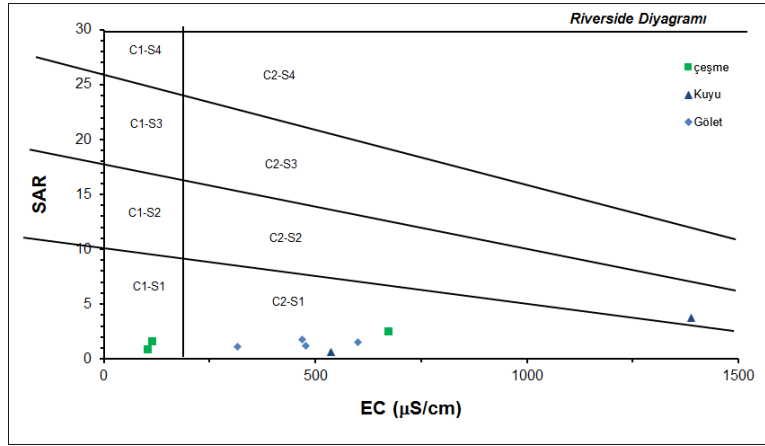
Şekil 3.35 : Kurak dönemde gölet sularının Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları



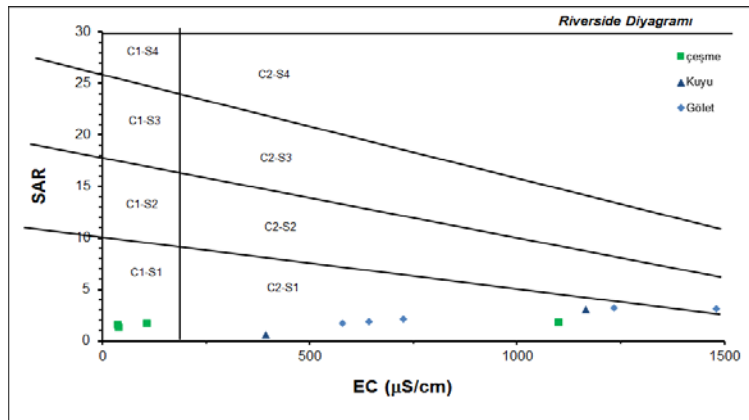
Şekil 3.36 : Yağışlı dönemde gölet sularının Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları

3.8 Suların Riverside ve Wilcox Kullanılabilirlik Diyagramları Konumları

Bölgedeki sular tarımda kullanılabilirlik açısından Riverside Diyagramına uyarlanmıştır. Çalışma alanına ait örnekler yağışlı ve kurak döneme ait olmak üzere Şekil 3.37 ve 3.38 'de verilmiştir. Diyagramda, çeşme suları yeşil, kuyu suları lacivert ve gölet sularından alınan örnekler mavi renk ile temsil edilir. Örneklerin ağırlıklı olarak C1-S1 ve C2-S1 alanına düştüğü görülmektedir. Bu alana düşen sular az tuzlu sular sınıfında yer alıp, her türlü sulamada kullanılabilir. Yalnızca yağışlı dönemde K9 no 'lu kuyu ve kurak dönemde G13 no'lu gölet örneklerinin C2-S2 aralığına düştüğü ve bu aralıktaki suların orta tuzlu sular sınıfında yer alıp yine tüm bitkiler sulanabilir. Ancak yıkama ile toprağın tuzluluğu azaltılıyorsa bu tip sular kullanılamaz (Şahincili, 1991).



Şekil 3.37 : Yağışlı dönem gölet, kuyu ve çeşme sularının Riverside diyagramındaki durumu



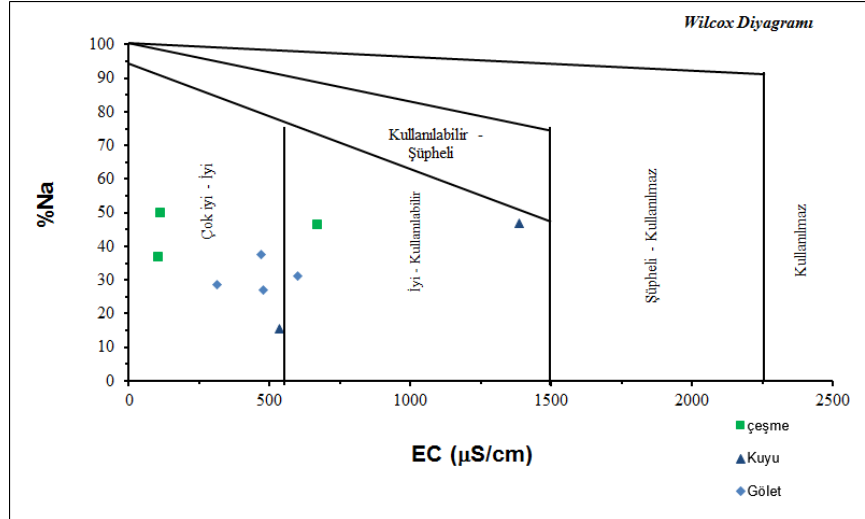
Şekil 3.38 : Kurak dönem gölet, kuyu ve çeşme sularının Riverside diyagramındaki durumu

Riverside diyagramında kullanılan SAR, Sodyum Adsorpsiyon Oranı 'dır. Sulama sularında sodyum miktarı önemli bir yer tutar. Toprağın yapısını bozarak, geçirgenliğini azaltan ve sulamadan sonra zeminin üst seviyelerinde soğrulan sodyum, toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olur ve bitki köklerinin havalanması engellenir. Ayrıca, sodyum, bitkiler için zehirli bir ortam yaratır. Cinsine bakılmaksızın, sodyumca doymuş topraklarda bitkiler çok az gelişir veya gelişmezler. Sar değeri,

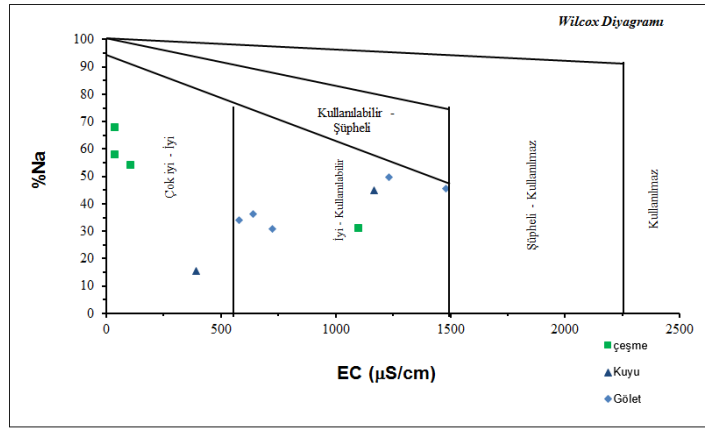
$$S.A.R. = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}$$

formülü ile hesaplanır.

Sulama amaçlı kullanılan suların sınıflandırılmasında Wilcox diyagramı da kullanılmaktadır. Benzer şekilde yağışlı ve kurak dönemde alınan örnekler Wilcox diyagramına uygulanmış ve diyagram Şekil 3.39 ve 3.40 'ta gösterilmiştir. Yağışlı dönem örneklerine paralel olarak örnekler çok iyi - iyi sular ve iyi kullanılabilir sular alanında yer almışlardır.



Şekil 3.39 : Yağışlı dönem alınan su örneklerinin Wilcox diyagramındaki durumu



Şekil 3.40 : Kurak dönem alınan su örneklerinin Wilcox diyagramındaki durumu

3.9 Suların İz Element İçerikleri

Tez çalışması kapsamında, çalışma alanından yağışlı dönemi temsilen 9 adet ve kurak dönemi temsilen alınan 11 adet su örneğinin ana katyon ve iz element içerikleri ACME Laboratuvarında ICP-MS yöntemiyle tayin edilmiş olup, bu yöntemle örneklenen suların iz element içerikleri tanımlanmıştır.

Analiz edilen iz elementlerden sağlık açısından önemli olduğu WHO tarafından ifade edilen Al, As, Ba, Be, B, Br, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni, Sb, Se, Sn, U, Zn değerlerinin istatistiksel özeti Dünya Sağlık Örgütü ve Türk Standartları tarafından verilen limit değerlerle birlikte Çizelge 3.9 ve 3.10'da yağışlı ve kurak dönemler olarak gölet, çeşme ve kuyu örnekleri için ayrı ayrı verilmiştir.

Sulardaki iz elementler literatürde çeşitli şekillerde sınıflandırılmışlardır; bu çalışmada Edmunds ve Smedly'in (1996) sağlık için gerekli olanlar, muhtemelen gerekli olan ve gerekli olmayan şeklindeki 3 ana başlık altında yaptığı sınıflandırma esas alınmıştır. Edmunds ve Smedly'in (1996) tarafından yapılan çalışmada sağlık için gerekli olan elementler başlığı altında Fe, P, Mg, K, Si, Na, Ca, SO₄, Cl, NO₃, HCO₃, Mo, V, Se, Cu, Mn, Co, Ni ve Cr; sağlık için muhtemelen gerekli olan iz elementler sınıfında As, Ba, Nb, Rb, Li, Sr, La, Be, Sc, Sn, Te ve sağlık açısından gerekli olmayanlar sınıfında Ru, Rh, Pd, In, Hf, Ta, Re, Os, Sb, Pb, Al, B, Br, Zr, Bi, W ve Pt'e yer verilmiştir. Bu çalışma kapsamında Edmunds ve Smedly tarafından yapılan sınıflandırmaya göre üç ana başlık altında toplanan iz elementlerden yalnızca literatürde yaygın olarak kullanılan 16 tanesi değerlendirilmiş ve ayrı ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

Çizelge 3.9 : Yağışlı dönemde alınan örneklerin sağlık için gerekli olduğu kabul edilen iz element analiz sonuçlarının istatistiksel özeti ve içme suyu standartlarında kabul edilen değerleri (ppb)

	Al	As	B	Ba	Be	Br	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	U	Zn
Göletlerden Alınan Su Örnekleri																			
Minimum	2,00	1,50	17,00	41,74	0,05	188,00	0,05	0,03	1,20	1,30	10,00	11,57	0,20	2,80	0,10	0,05	0,50	1,71	0,90
Maksimum	222,00	1,90	147,00	102,22	0,09	420,00	0,07	0,64	1,90	3,10	215,00	65,19	1,50	12,50	4,40	0,09	22,20	19,17	3,40
Ortalama	149,50	1,65	82,00	67,89	0,07	305,25	0,06	0,28	1,58	2,48	127,50	41,21	0,63	6,70	1,40	0,07	6,00	9,60	2,18
Çeşmelerden Alınan Su Örnekleri																			
Minimum	10,00	0,50	5,00	17,30	0,20	81,00	0,05	0,02	0,90	0,40	57,00	1,43	0,10	1,00	0,10	0,05	0,50	0,18	1,20
Maksimum	39,00	1,80	9,00	141,93	0,91	456,00	0,32	7,91	1,30	3,60	270,00	305,99	0,30	24,90	1,00	0,05	0,50	7,47	9,60
Ortalama	21,00	0,97	6,67	70,23	0,44	223,00	0,14	2,92	1,10	1,63	139,67	129,06	0,17	9,47	0,43	0,05	0,50	2,74	4,73
Kuyulardan Alınan Su Örnekleri																			
Minimum	1,00	0,50	20,00	168,05	0,05	99,00	0,05	0,02	1,70	6,00	10,00	3,55	0,40	0,90	0,20	0,05	0,50	2,14	17,40
Maksimum	2,00	3,60	21,00	311,30	0,15	463,00	0,08	0,22	3,00	6,40	10,00	30,93	0,70	4,00	0,30	0,10	1,00	2,49	42,60
Ortalama	1,50	2,05	20,50	239,68	0,10	281,00	0,07	0,12	2,35	6,20	10,00	17,24	0,55	2,45	0,25	0,08	0,75	2,32	30,00
Limit Değerler																			
WHO	200,00	10,00	500,00	700,00	-	-	3,00	-	50,00	2000,00	300,00	50,00	70,00	20,00	10,00	-	10,00	-	5000,00
TS266_T	50,00	-	1000,00	100,00	-	-	-	-	-	100,00	50,00	20,00	-	20,00	-	-	-	-	100,00
TS266_{MIV}	200,00	10,00	2000,00	300,00	-	10,00	5,00	-	50,00	2000,00	200,00	50,00	-	50,00	10,00	10,00	10,00	-	5000,00

TS 266_T : Türk İçme Suyu Standartları – Tavsiye edilen değer; TS 266_{MIV} : Türk İçme Suyu Standartları – Maksimum izin verilen değer; WHO : Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standartları

Çizelge 3.10 : Kurak dönemde alınan örneklerin sağlık için gerekli olduğu kabul edilen iz element analiz sonuçlarının istatistiksel özeti ve içme suyu standartlarında kabul edilen değerleri (ppb)

	Al	As	B	Ba	Be	Br	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	U	Zn
Göletlerden Alınan Su Örnekleri																			
Minimum	3,00	2,40	27,00	59,76	0,05	249,00	0,05	0,02	1,10	1,00	10,00	1,77	0,20	0,80	0,10	0,09	1,10	0,78	1,00
Maksimum	9,00	4,30	469,00	155,02	0,07	849,00	0,05	0,07	1,50	4,60	10,00	52,96	11,60	10,60	0,30	0,27	82,60	17,09	3,30
Ortalama	5,20	3,14	197,00	99,75	0,05	483,80	0,05	0,04	1,34	1,84	10,00	14,00	2,82	3,70	0,14	0,14	18,06	8,64	1,78
Çeşmelerden Alınan Su Örnekleri																			
Minimum	7,00	0,50	5,00	5,66	0,21	55,00	0,05	0,14	0,50	0,30	10,00	4,71	0,10	1,10	0,10	0,05	0,50	0,49	2,60
Maksimum	64,00	2,20	45,00	217,74	0,61	651,00	0,12	4,28	1,30	2,20	543,00	222,79	0,60	11,20	0,50	0,05	3,20	7,13	11,20
Ortalama	29,00	0,93	16,25	72,23	0,43	219,75	0,07	1,43	0,93	1,58	181,00	78,71	0,23	3,93	0,25	0,05	1,23	2,26	6,80
Kuyulardan Alınan Su Örnekleri																			
Minimum	1,00	0,70	25,00	135,63	0,05	95,00	0,05	0,02	3,30	1,30	10,00	2,38	0,60	0,20	0,10	0,11	1,20	1,52	14,40
Maksimum	12,00	4,00	56,00	298,44	0,09	356,00	0,05	0,15	9,00	6,70	10,00	2,73	1,20	2,40	0,20	0,21	2,30	2,25	19,20
Ortalama	6,50	2,35	40,50	217,04	0,07	225,50	0,05	0,09	6,15	4,00	10,00	2,56	0,90	1,30	0,15	0,16	1,75	1,89	16,80
Limit Değerler																			
WHO	200,00	10,00	500,00	700,00	-	-	3,00	-	50,00	2000,00	300,00	50,00	70,00	20,00	10,00	-	10,00	-	5000,00
TS266_T	50,00	-	1000,00	100,00	-	-	-	-	-	100,00	50,00	20,00	-	20,00	-	-	-	-	100,00
TS266_{MIV}	200,00	10,00	2000,00	300,00	-	10,00	5,00	-	50,00	2000,00	200,00	50,00	-	50,00	10,00	10,00	10,00	-	5000,00

TS 266_T : Türk İçme Suyu Standartları – Tavsiye edilen değer; TS 266_{MIV} : Türk İçme Suyu Standartları – Maksimum izin verilen değer; WHO : Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standartları

3.9.1 İnsan sağlığı için gerekli olan iz elementler

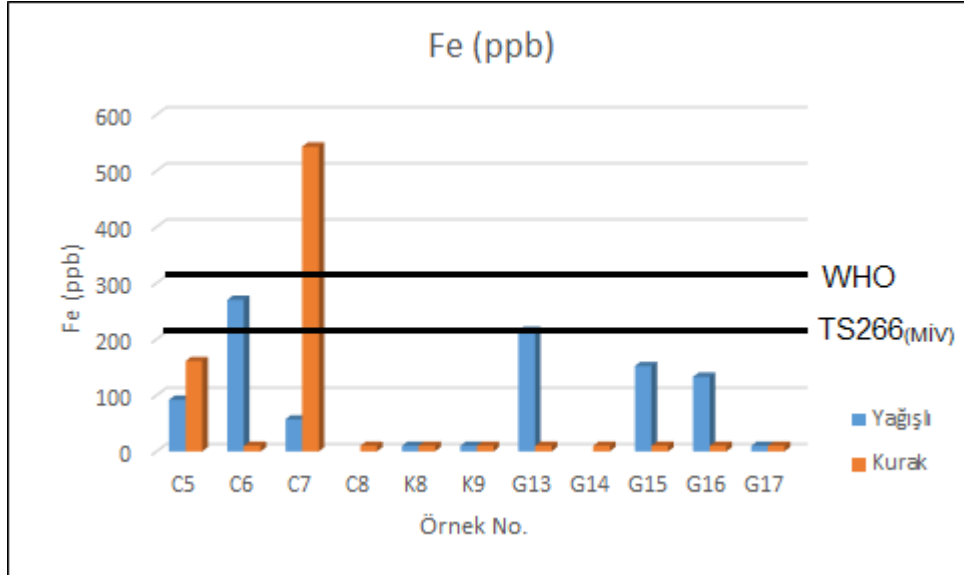
Alınan su örneklerinde insan sağlığı için gerekli ve yararlı kabul edilen iz elementlerin istatistiksel özeti yağışlı ve kurak dönem olarak Çizelge 3.9 ve 3.10'da verilmiştir. Bu elementlerden Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- ve HCO_3^- hakkında bilgi Bölüm 3.5'te verilmiştir. Bunların dışında kalan ve insan sağlığına yararlı kabul edilen iz elementlerden sulara ppm ve ppb mertebesinde bulunabilen ve literatürde üzerinde fazlaca durulan Fe^{++} , Mn^{++} , Co^+ , Ni^+ , Cr^+ ve Cu^+ bu bölümde ele alınmıştır. Bahsi geçen bu elementlerin insan sağlığına faydalı oldukları biliniyorsa da, içme sularında belli değerlerin üzerinde olmaları istenen bir durum değildir. Bu sebepten, TS 266 ve WHO Sağlık Örgütünün ilgili elementler için belirledikleri sınır değerler de tabloya eklenmiştir (Bakınız Çizelge 3.9 ve 3.10).

3.9.1.1 Demir (Fe^{+2})

Demir, içme sularına jeolojik formasyonlardan ve demir içeren suni gübrelerden karışmaktadır (Varol ve diğ., 2008). Bir insan vücudunda yaklaşık 4-5 gr. Fe^{++} bulunur ve bunun büyük bir kısmı kırmızı kan hücrelerindeki hemoglobinde bulunur (Şahinci, 1991; Gray, 1994). Vücutta demir eksikliğinde anemi, halsizlik, yorgunluk ve uyku düzensizliği gibi sorunlar ortaya çıkarken, demirin fazla alınmasıyla karaciğer yetersizliği ve mide ağrıları gözlenebilir (Varol ve diğ., 2008).

İncelenen su örneklerinin Demir içeriklerinin istatistiksel özeti yağışlı dönem ve kurak dönem olarak sırasıyla Çizelge 3.9 ve 3.10. de verilmiştir. Ortalama olarak Türk standartları ve Who 'nun vermiş olduğu değerlere uygun çıkan veriler Şekil 3.41'da grafiksel olarak gösterilmiştir. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 10 ppb ile 127,5 ppb arasında (ortalama 127,50 ppb), çeşme sularında 57 ppb ile 270 ppb arasında (ortalama 139,67 ppb), kuyu sularında ise her iki örnekte de 10 ppb olduğu saptanmıştır. Kurak dönemde alınan göl ve kuyu suyu örneklerinde Fe içeriği 10 ppb olarak ölçülürken çeşmelerden alınan örnekte minimum 10 ppb maksimum 543 ppb (ortamala 181 ppb) olarak tespit edilmiştir. Kurak dönemde alınan örneklerden C7 no'lu çeşme suyu hariç tümü TS266 'da belirlenen maksimum 200 ppb limit değerinin altında kalmıştır. Yağışlı dönemde ise Şekil 3.41'de görüldüğü gibi C6 ve G13 no 'lu örneklerde Fe içeriği TS 266 'da belirlenen

maksimum 200 ppb değerinin üzerinde kaldığı gözlenmiştir. Buna karşılık yağışlı dönem C7 örneği haricinde tüm su örnekleri WHO ‘nun belirlediği 300 ppb değerini aşmadığı görülmektedir. C6 örneğinde yağışlı C7 örneğinde ise kurak dönemde ölçülen yüksek Fe değeri lokal kirlenmeden kaynaklanabilir.

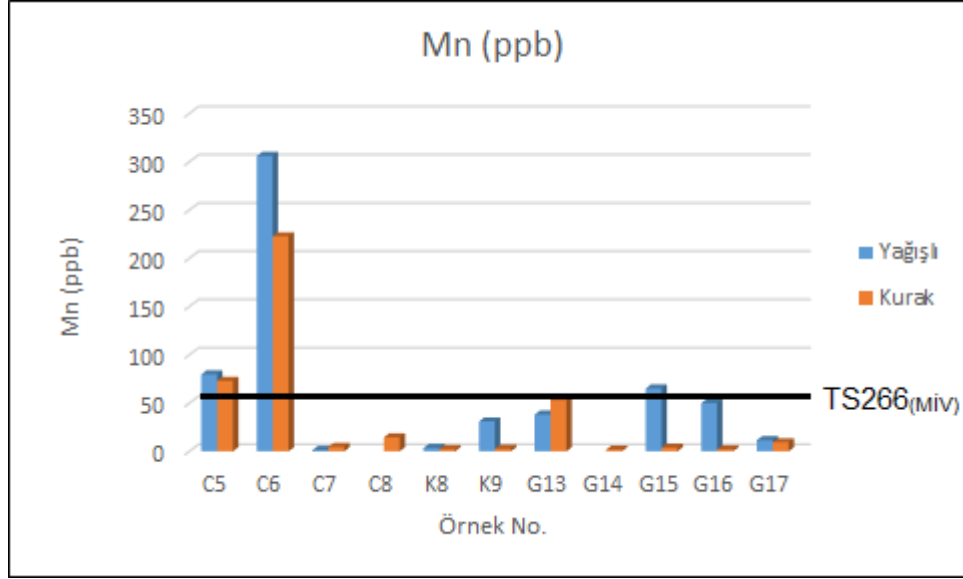


Şekil 3.41 : Örneklenen suların Fe⁺ içeriklerinin dağılımı

3.9.1.2 Mangan (Mn⁺²)

Yetişkin bir insanın vücudunda ortalama 12-20 mg bulunan Mangan, genellikle karaciğer, kemik ve böbrek gibi bölgelerde yoğunlaşır. Diğer pek çok elemente oranlara daha az toksikdir ve eksikliği insan vücudunda ciddi bir probleme neden olmamaktadır (Şahinci, 1991; Gray, 1994). İçme sularında yüksek Mangan içeriğinin ise Alzheimer hastalığına yol açtığını düşünülmektedir (Varol ve diğ., 2008).

Örneklerinin Mangan içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10. ‘de verilmiştir. Örneklerin Mn içerikleri Şekil 3.42 ‘de görüldüğü gibi Ç5 ve Ç6 no ‘lu çeşme örnekleri hem yağışlı hem kurak dönemde; G13 no ‘lu örnek kurak dönemde ve G15 no ‘lu örnek yağışlı dönemde TS266 da maksimum izin verilen 50 ppb Mangan değerinin üzerinde belirlenmiştir. Kimyasal olarak demire benzer davranışlar gösteren Mn elementinin sulardaki bolluğu, Trakya havzasının Mn mineralizasyonu açısından zengin olmasıyla açıklanabilir. Bununla birlikte C6 örneğini her iki dönemde de yüksek Mn içermesi lokal bir kirlilikten kaynaklanabileceği gibi, doğal kaynaklı da olabilir; küçük bir volkano-sedimanter Mn zuhurunun (Mn yumrularının) varlığı gibi ki bu tip Mn zenginleşmeleri Havza genelinde yaygındır.



Şekil 3.42 : Örneklenen suların Mn^{+} içeriklerinin dağılımı

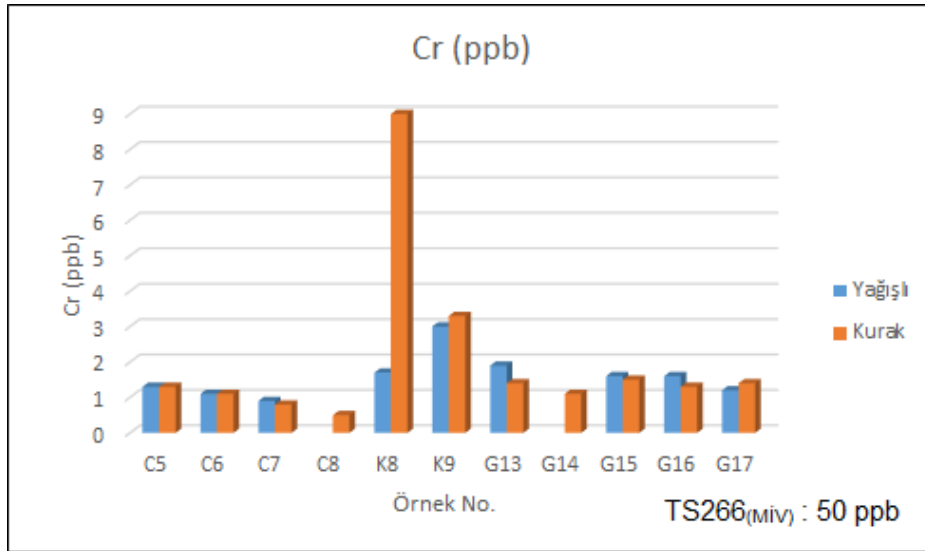
3.9.1.3 Toplam Krom (Cr^{+}), Nikel (Ni^{+}) ve Kobalt (Co^{+})

Krom, Nikel ve Kobaltın sudaki varlığının en önemli kaynağı olarak ultrabazik-bazik kayalar ve sepanit ve talk gibi metamorfizma ürünü kayaç ve mineraller gösterilebilir. Yetişkin bir insanın vücudunda yaklaşık 6 gr krom bulunur (Şahinci, 1991; Gray, 1994) Bir insanın günlük krom ihtiyacı ise 50-200 mikrogram arasındadır. Yüksek dozları ciltte alerjik reaksiyonlara neden olabilir (Varol ve diğ., 2008).

Her ne kadar su analizlerinde toplam krom değeri veriliyor olmakla birlikte sağlık açısından asıl riskli olan Cr^{+6} miktarıdır. Bu çalışmada suların toplam krom içerikleri analiz edilmiştir.

Örneklerin Cr içeriklerinin istatistiksel özeti kurak ve yağışlı dönem ayrı ayrı Çizelge 3.9 ve 3.10 'de verilmiş olup, ortalama olarak Türk standartları ve WHO 'nın vermiş olduğu değerlere uygun çıkan veriler Şekil 3.43 'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 1,20 ppb ile 1,90 ppb arasında (ortalama 1,58 ppb), çeşme sularında 0,9 ppb ile 1,3 ppb arasında (ortalama 1,10 ppb), kuyu sularında ise 1,7 ppb ile 3,00 ppb arasında (ortalama 2,35 ppb) olduğu saptanmıştır. Kurak dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 1,10 ppb ile 1,50 ppb arasında (ortalama 1,34 ppb), çeşme sularında 0,5 ppb ile 1,3 ppb arasında (ortalama 0,93 ppb), kuyu sularında ise 3,3 ppb ile 9,0 ppb arasında (ortalama 6,15 ppb) olarak tespit edilmiştir. Grafiğe dayanarak, K8 nolu kuyunun Cr

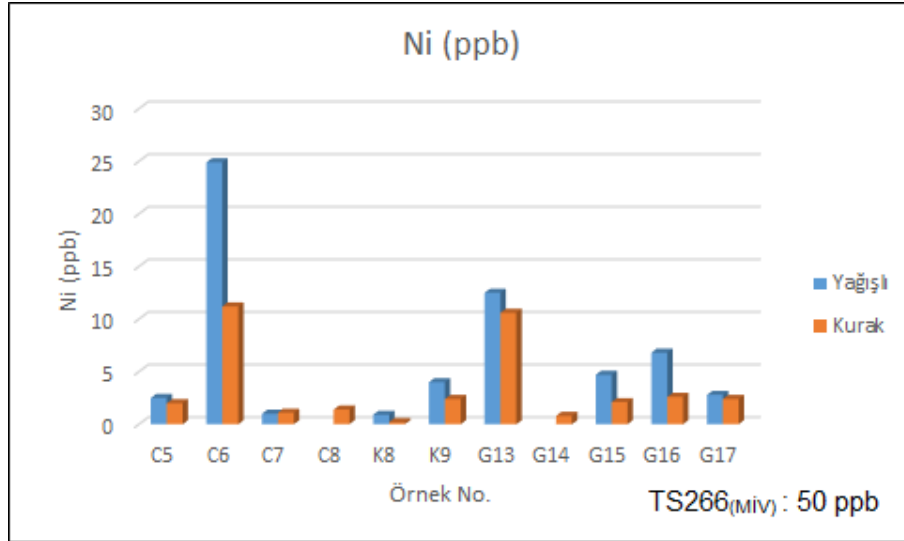
içeriği bakımından yüksek belirlendiği görülse de, tüm su değerlerin TS 266 ‘da tavsiye edilen sınır değer olan 50 ppb ‘ye ulaşmadığı, buna göre de örneklenen suların içilebilir nitelikte olduğu ortaya konmuştur.



Şekil 3.43 : Örneklenen suların Cr içeriklerinin dağılımı

Nikel (Ni), yer kabuğunda ortalama 75 ppm mertebesinde bulunur. Doğal sularda +2 iyon halinde bulunan nikel, insan dokusunda eser miktarda bulunur. İnsanda nikel fazlalığı kansere neden olduğundan içme suları için oldukça önemli bir parametredir (Şahinci, 1991; Gray, 1994). WHO içme sularında 20 ppb değerine izin verirken, TS 266_{MIV} 50 ppb değerini sınır olarak kabul etmektedir.

Su örneklerinin Nikel oranlarının istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10. de verilmiştir olup, örneklenen suların ortalama Nikel değeri kurak dönemde alınan göl sularında 0,80 ppb ile 10,60 ppb arasında (ortalama 3,70 ppb), çeşme sularında 1,10 ppb ile 11,20 ppb arasında (ortalama 3,93 ppb), kuyu sularında ise 0,20 ppb ile 2,40 pbb arasında (ortama 1,30 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 2,80 ppb ile 12,50 ppb arasında (ortalama 6,70 ppb),



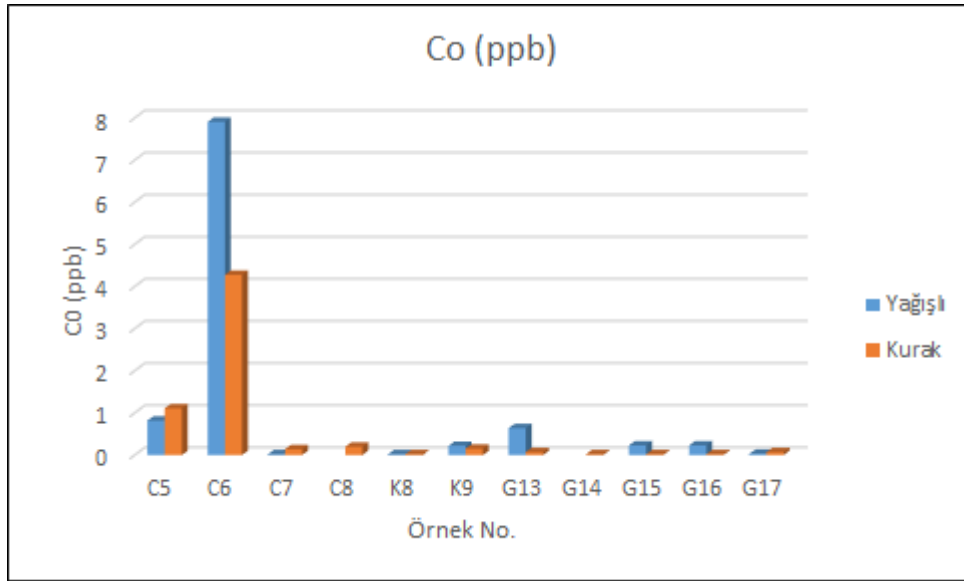
Şekil 3.44 : Örneklenen suların Nikel içeriklerinin dağılımı

çeşme sularında 1,0 ppb ile 24,90 ppb arasında (ortalama 9,47 ppb), kuyu sularında ise 0,90 ppb ile 4,0 pbb arasında (ortama 2,45 ppb) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin Nikel içeriklerinin grafiksel dağılımı Şekil 3.44 'de verilmiştir. Örneklerin Nikel içerikleri yağışlı dönemde örneklenen C6 çeşmesi haricinde WHO ve TS 266_T tarafından belirlenen sınır değerinin aşağısında kaldığından içme suyuna uygun bulunmuşlardır. C6 örneğindeki yüksek Ni içeriği Mn değerinde olduğu gibi lokal bir volkano-sedimanter mineralizasyondan kaynaklanabilir.

Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından nikel benzeyen kobalt, yer kabuğunda nikel'e oranla daha az miktarda bulunur. Kobalt'ın iyon yarıçapı Mg ve Fe'in iyon yarıçaplarına yakın olduğundan birçok silikat minerallerinde bu elementlerin yerini alabilir (Şahinci, 1991; Gray, 1994). İçme sularında Co için herhangi bir sınır belirlenmemiştir.

Su örneklerinin Kobalt içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10. de verilmiştir. Suların Kobalt içerikleri kurak dönemde alınan göl sularında 0,02 ppb ile 0,07 ppb arasında (ortalama 0,04 ppb), çeşme sularında 0,14 ppb ile 4,28 ppb arasında (ortalama 1,43 ppb), kuyu sularında ise 0,02 ppb ile 0,15 pbb arasında (ortama 0,09 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 0,03 ppb ile 0,64 ppb arasında (ortalama 0,28 ppb), çeşme sularında 0,02 ppb ile 7,91 ppb arasında (ortalama 2,92 ppb), kuyu sularında ise 0,02 ppb ile 0,22 pbb arasında (ortama 0,12 ppb) olarak tespit edilmiştir. Su numunelerinin Kobalt içeriklerinin grafiksel dağılımı ise Şekil 3. 45 'te gösterilmiştir. Nikel değerlerinde

olduğu gibi C6 örneğinde Co değeri de lokal mineralleşmeye bağlı olarak yüksek çıkmış olabilir.



Şekil 3.45 : Örneklenen suların Kobalt içeriklerinin dağılımı

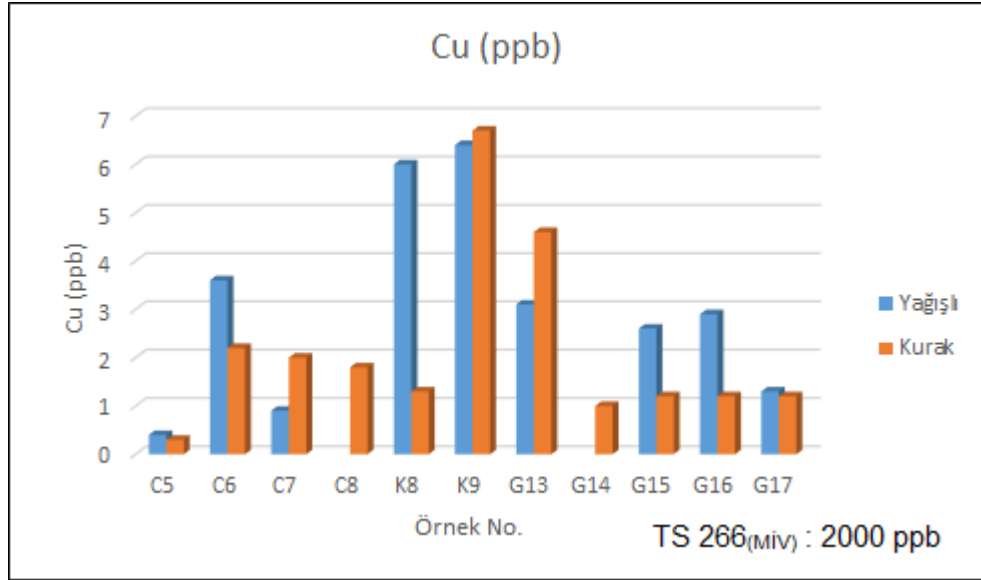
3.9.1.4 Bakır (Cu)

Bakır, genellikle bazik kayalar içerisinde zenginleşir ve doğal sularda az miktarda bulunur. Çünkü kil mineralleri, Fe ve Mn oksitler ile organik maddeler bakırı kolaylıkla soğurabilir. İnsanda en yüksek oranda karaciğer, böbrek, kalp ve beyinde bulunan bakır, insan vücudu için toksin özellik gösterebilmektedir. Yetişkin bir insanın vücudunda yaklaşık 100-150 mg. Bakır bulunur (Şahinci, 1991; Gray, 1994).

WHO ve TS 266 tarafından içme sularında bakır bulunması tavsiye edilmektedir. Tablodan da görülebildiği gibi WHO üst sınırı 2000 ppb, TS 266T ise 100 ppb olarak belirlemiştir. Ancak, TS 266MIV 2000 ppb değerine kadar müsaade etmektedir.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin Bakır içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10. de verilmiştir. Örneklerin ortalama Bakır değeri kurak dönemde alınan göl sularında 1,00 ppb ile 4,60 ppb arasında (ortalama 1,84 ppb), çeşme sularında 0,30 ppb ile 2,20 ppb arasında (ortalama 1,58 ppb), kuyu sularında ise 1,30 ppb ile 6,70 ppb arasında (ortalama 4,00 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 1,30 ppb ile 3,10 ppb arasında (ortalama 2,48 ppb), çeşme sularında 0,40 ppb ile 3,60 ppb arasında (ortalama 1,63 ppb), kuyu sularında ise 6,00 ppb ile 6,40 ppb arasında (ortalama 6,20 ppb) olarak tespit edilmiştir. Bu

değer içme suyu standartlarında belirlenen sınır değerlerin oldukça altındadır. Ayrıca, su örneklerinin Bakır içeriklerinin grafiksel dağılımı Şekil 3.46 'da verilmiştir. Bütün numunelerin Bakır içerikleri sınır değerinin altında olduğundan, içme suyuna uygun oldukları sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.46 : Örneklenen suların Bakır içeriklerinin dağılımı

3.9.2 Sağlık için muhtemelen gerekli olan iz elementler

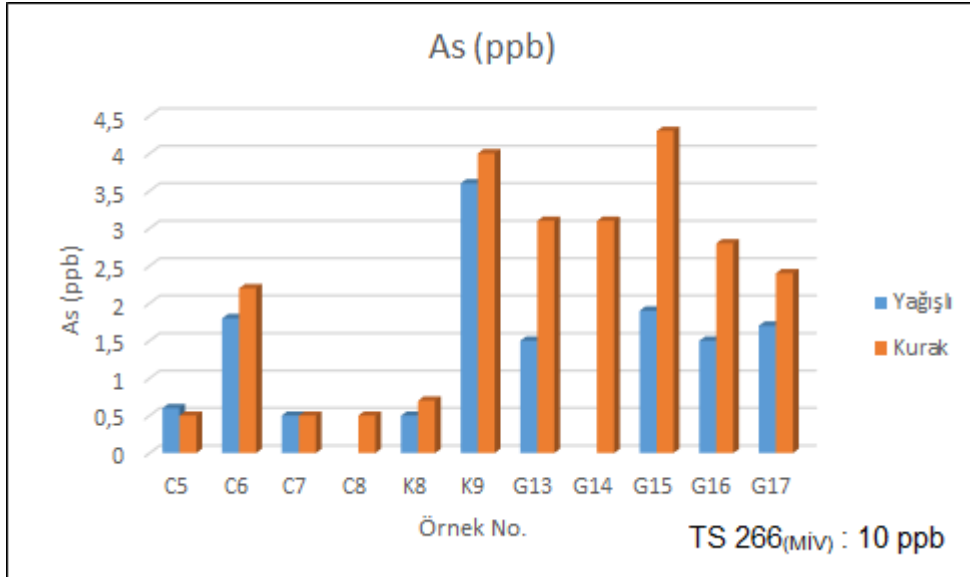
Arsenik ve Baryum sağlık için muhtemelen gerekli olan iz elementlerden olup tez çalışması kapsamında incelenmiştir. Bu iz elementlerin analiz değerleri Çizelge 3.9 ve 3.10 de verilmiştir. TS 266_{MIV} ve WHO Sağlık Örgütü'nün ilgili elementler için belirledikleri sınır değerler de ayrıca tabloya eklenmiştir.

3.9.2.1 Arsenik (As)

Pek çok kayacıkta, kömür dahil, iz element olarak bulunan Arsenik, özellikle realgar ve orpiment gibi sülfid mineraller içinde zenginleşir (Şahinci, 1991; Gray, 1994). Yapılan araştırmalar, Arsenik'in kansere kadar ulaşabilen solunum yolu, karaciğer, cilt ve idrar yolu hastalıkları ile şeker hastalığına neden olduğunu ortaya koymuştur (Davraz & Varol, 2008).

Su örneklerinin Arsenik içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10'de verilmiş olup, alınan numunelerin ortalama Arsenik içeriği kurak dönemde alınan göl sularında 2,40 ppb ile 4,30 ppb arasında (ortalama 3,14 ppb), çeşme sularında 0,50 ppb ile 2,20 ppb arasında (ortalama 0,93 ppb), kuyu sularında ise 0,70 ppb ile 4,00

ppb arasında (ortama 2,35 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 1,50 ppb ile 1,90 ppb arasında (ortalama 1,65 ppb), çeşme sularında 0,50 ppb ile 1,80 ppb arasında (ortalama 0,97 ppb), kuyu sularında ise 0,50 ppb ile 3,60 ppb arasında (ortama 2,05 ppb) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, örneklenen suların Arsenik içeriklerinin grafiksel dağılımı Şekil 3.47 'de gösterilmiştir. Trakya havzasında kömürlerin As içeriklerinin yüksek olduğu bilinmektedir (Erarslan ve diğ.,2014). Şekilden görüleceği gibi değerler düşük olmakla birlikte yüksek arsenik değerlerinin Göl suyu örneklerinde saptanması, kömür artıklarının suları etkilediğini göstermektedir. WHO içme sularında arsenik içeriğinin üst sınırını 10 ppb olarak belirlemiştir. Bu standart değer baz alınarak tüm örneklerin Arsenik içeriği bakımından içme suyuna uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 3.47 : Örneklenen suların Arsenik içeriklerinin dağılımı

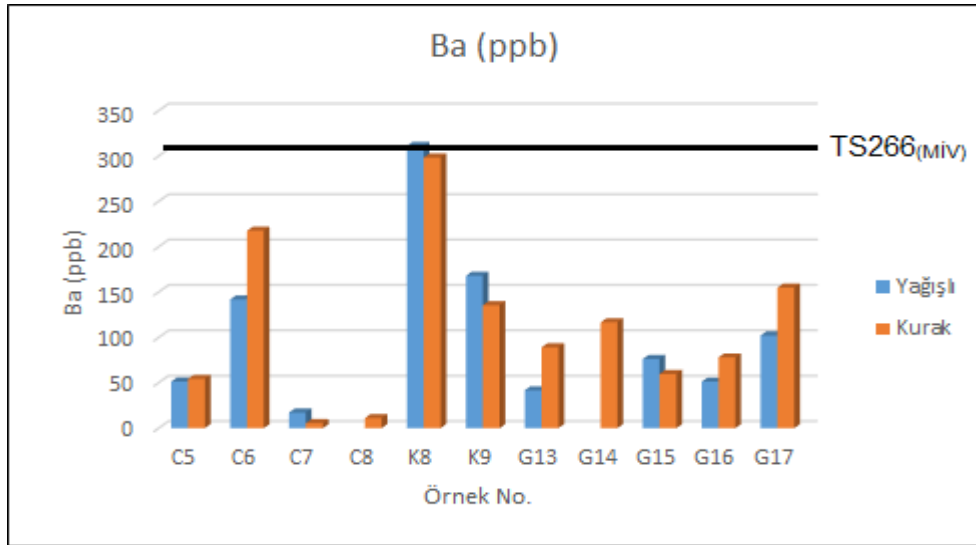
3.9.2.2 Baryum (Ba)

En önemli Baryum kaynağı Barit minerali olsa da Baryum, ayrıca, Kalsiyum ve alkali oranı yüksek olan kayalarda da zenginleşme eğilimindedir. İzomorfizma ile feldispat ve mikalardaki Ca ve K'un yerini alabilir. Bu nedenle bu minerallerin bozunması, sudaki Baryum oranını önemli ölçüde etkiler (Şahinci, 1991; Gray, 1994).

İçme sularında Baryum içeriği açısından TS 266_{MIV} 300 ppb değerini belirlemişken, WHO bu değeri 700 ppb olarak tanımlamıştır. İki sınır değeri arasındaki bu ciddi

fark, ülkelerin sınır değerleri belirlerken kendi ülkelerinin içme suyu potansiyellerini ve jeolojik özelliklerini göz önünde bulundurdıklarını düşündürmektedir (Şahinci, 1991; Gray, 1994).

Tez çalışması kapsamında, çalışılan bölgede örneklenen suların Baryum içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10 'de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi, su numunelerinin ortalama Baryum değeri kurak dönemde alınan göl sularında 59,76 ppb ile 155,02 ppb arasında (ortalama 99,75 ppb), çeşme sularında 5,66 ppb ile 217,74 ppb arasında (ortalama 72,23 ppb), kuyu sularında ise 135,63 ppb ile 298,44 ppb arasında (ortalama 217,04 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 41,74 ppb ile 102,22 ppb arasında (ortalama 67,89 ppb), çeşme sularında 17,30 ppb ile 141,93 ppb arasında (ortalama 70,23 ppb), kuyu sularında ise 168,05 ppb ile 311,30 ppb arasında (ortalama 239,68 ppb) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, su örneklerinin Baryum içeriklerinin grafiksel dağılımı Şekil 3.48 'de verilmiştir. Bu değerler, içme suyu standartlarıyla karşılaştırıldığında tüm su örneklerinin Baryum içeriği bakımından içme suyuna uygun olduğu sadece K8 no'lu örneğin anomali gösterdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.48 : Örneklenen suların Baryum içeriklerinin dağılımı

3.9.3 Sağlık için gerekli olmayan iz elementler

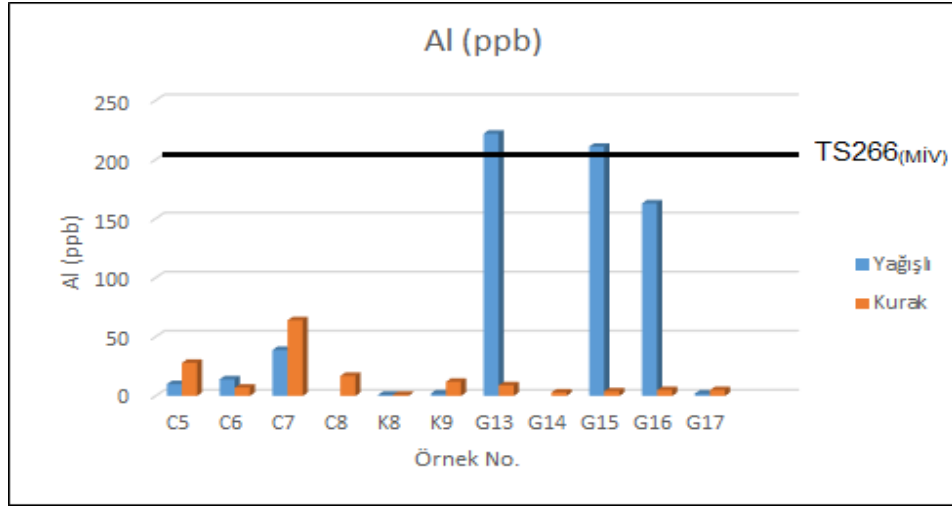
Sulardaki iz elementler literatürde çeşitli şekillerde sınıflandırılmış olup, bu çalışmada Edmunds ve Smedly'in (1996) sınıflandırması bağlı kalınmıştır. Buna göre, Edmunds ve Smedly (1996) tarafından insan sağlığı için gereksiz olarak

isimlendirilen iz elementlerden literatürde yaygın olarak kullanılan Al, Cd, Pb ve B bu bölümde incelenmiş ve analiz sonuçları Çizelge 3.9 ve 3.10’de verilmiştir.

3.9.3.1 Alüminyum (Al)

Ortalama %8.6 oranıyla yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden biri olan Alüminyum, başta feldispat ve feldispatoyid grubu mineraller ile bunların ikincil ürünleri içerisinde oldukça fazla oranda bulunur. Yer altı sularındaki Al içeriğinin ana kaynağı da bu minerallerin bozunması olarak gösterilebilir. Ancak, Alüminyum’un çözünürlüğünün düşük olması yer altı sularındaki varlığını kısıtlayan önemli bir etmendir (Şahinci, 1991; Gray, 1994). İnsan ve hayvan sağlığı üzerine etkileri kesin sonuçlarla ortaya konulmamış olan Alüminyum için, WHO ve TS266_{MIV} içme sularındaki sınır değerini 200 ppb olarak belirlemiştir.

Su örneklerinin Alüminyum içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10’de verilmiştir. Al değeri kurak dönemde alınan göl sularında 3,00 ppb ile 9,00 ppb arasında (ortalama 5,20 ppb), çeşme sularında 7,00 ppb ile 64,00 ppb arasında (ortalama 29,00 ppb), kuyu sularında ise 1,00 ppb ile 12,00 pbb arasında (ortama 6,50 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin 2,00 ppb ile 222,00 ppb arasında (ortalama 149,50 ppb), çeşme sularında 10,00 ppb ile 39,00 ppb arasında (ortalama 21,00 ppb), kuyu sularında ise 1,00 ppb ile 2,00 pbb arasında (ortama 1,50 ppb) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, alınan örneklerin Alüminyum içeriklerinin grafiksel dağılımı Şekil 3. 49 ’da verilmiştir. Bununla birlikte, G13, G15 ve G16 no’lu gölet örneklerinin yağışlı dönem analiz sonuçlarının ortalamanın üstünde olduğu ve hatta G13 ile G15 yağışlı dönem Alüminyum içerikleri WHO ve TS 266_{MIV} ’nın belirlediği sınır değerin üstünde kaldığı görülmektedir.

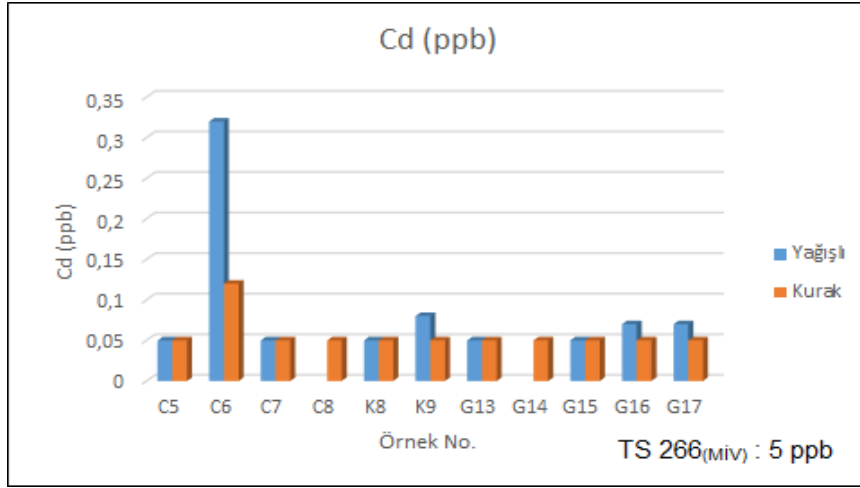


Şekil 3.49 : Örneklenen suların Alüminyum içeriklerinin dağılımı

3.9.3.2 Kadmiyum (Cd)

Toprak ya da suda hem doğal hem de antropojenik nedenlerle çevresel Kadmiyum oluşumları gerçekleşebilmektedir. Boya, plastik ve metal endüstrisinde kullanım alanı bulunan Kadmiyum, bu sanayilerin endüstriyel atıkları ile doğaya karışmakta ve çevresel Cd düzeyini artırmaktadır. Kadmiyum, insan sağlığına ciddi etkileri olabilen toksin bir elementtir ve uzun süre Cd etkisine maruz kalmak kansızlık, koku alma duyusunda azalma ve yüksek tansiyona neden olabilir (Robards ve Worsfold, 1991).

Çalışma alanından alınan su örneklerinin Kadmiyum içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10’de verilmiştir. Numunelerin Kadmiyum içeriklerinin kurak dönemde alınan göl sularında 0,05 ppb ile 0,05 ppb arasında (ortalama 0,05 ppb), çeşme sularında 0,05 ppb ile 0,12 ppb arasında (ortalama 0,07 ppb), kuyu sularında ise 0,05 ppb ile 0,05 ppb arasında (ortalama 0,05 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 0,05 ppb ile 0,07 ppb arasında (ortalama 0,06 ppb), çeşme sularında 0,05 ppb ile 0,32 ppb arasında (ortalama 0,14 ppb), kuyu sularında ise 0,05 ppb ile 0,08 ppb arasında (ortalama 0,07 ppb) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.50 ‘de görülen grafiksel dağılımda da bütün örneklerin Cd içeriklerinin düşük olduğu görülmektedir. Ancak Mn, Ni ve Co değerlerinde olduğu gibi C6 örneğinde yukarıdaki elementlerle benzer ortamlarda bulunan Cd değerlerinin de yüksek olması lokal mineralleşme olasılığını güçlendirmektedir. Bununla birlikte ölçülen tüm Cd değerleri TS 266_{MIV} için içme suyunda sınır değer olarak belirlenen 5 ppb değerinin oldukça altında kalmıştır.



Şekil 3.50 : Örneklenen suların Kadmiyum içeriklerinin grafiksel dağılımı

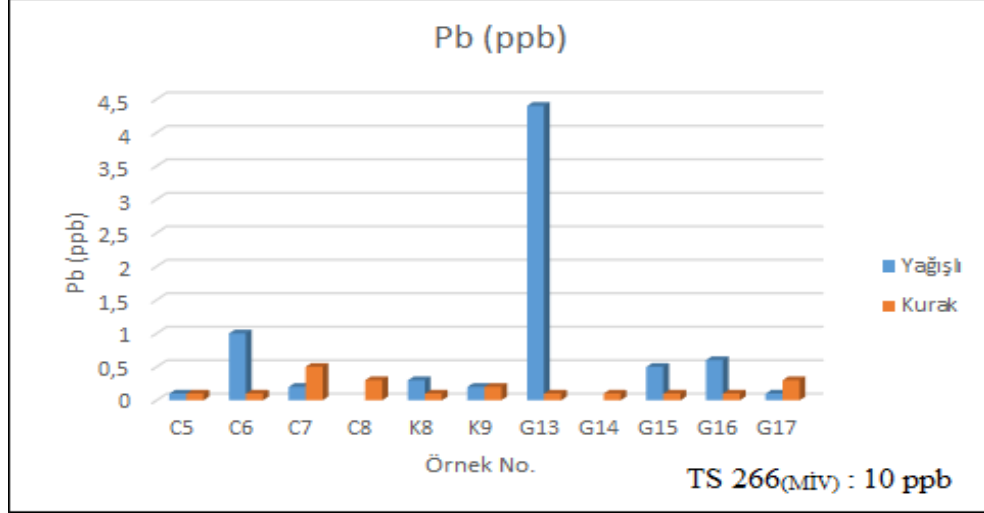
3.9.3.3 Kurşun (Pb)

Kurşun, yer kabuğunda ortalama 12.5 ppm oranında, killi ve organik maddeler tarafından tutulur. Özellikle K-feldispat ve mikalar içerisinde zenginleşen Pb hem bu yolla hem de endüstriyel atıklar vasıtasıyla yer altı sularına karışabilmektedir (Varol ve diğ., 2008).

Kurşun, tüm canlılar için oldukça zehirleyici bir elementtir. Bitkilere kökleri ve yaprakları vasıtasıyla geçen Kurşun, hayvanlara ve insanlara solunum ve sindirim sistemleri yoluyla ulaşır (Şahinci, 1991; Gray, 1994). İnsanlarda kandaki kurşun konsantrasyonunun 0.2 µg/ml limitini aşması durumunda olumsuz sağlık etkileri gözlenmektedir (Varol ve diğ., 2008). Kurşun zehirlenmesi, insanda hafıza kaybıyla başlar, ileriki aşamalara gelindiğinde ise beyinde tahribata sebep olup ölümle sonuçlanabilir (Şahinci, 1991; Gray, 1994).

TS 266_T içme suyunda Pb bulunmasını tavsiye etmezken, 50 ppb değerine kadar izin vermektedir. WHO ise içme suyundaki kurşun içeriğini 10 ppb ile sınırlamıştır. Tez çalışmasında, Safaalan bölgesinden alınan su örneklerinin Pb içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10'da verilmiştir. Örneklerin Pb içeriklerinin kurak dönemde alınan göl sularında 0,10 ppb ile 0,30 ppb arasında (ortalama 0,14 ppb), çeşme sularında 0,10 ppb ile 0,50 ppb arasında (ortalama 0,25 ppb), kuyu sularında ise 0,10 ppb ile 0,20 ppb arasında (ortalama 0,15 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 0,10 ppb ile 4,40 ppb arasında (ortalama 1,40 ppb), çeşme sularında 0,10 ppb ile 1,00 ppb arasında (ortalama 0,43 ppb), kuyu sularında ise 0,20 ppb ile 0,30 ppb arasında (ortalama 0,25 ppb) olarak

tespit edilmiştir. Ayrıca tüm su numunelerinin Kurşun içeriklerinin grafiksel dağılımı Şekil 3.51 'de verilmiştir. Bu dağılıma dayanarak, bölgedeki tüm su örneklerinin içme suyuna uygun oldukları sonucuna varılmış olup sadece G13 no'lu gölet örneğinin yağışlı dönem verisinde anomali görülmüştür.



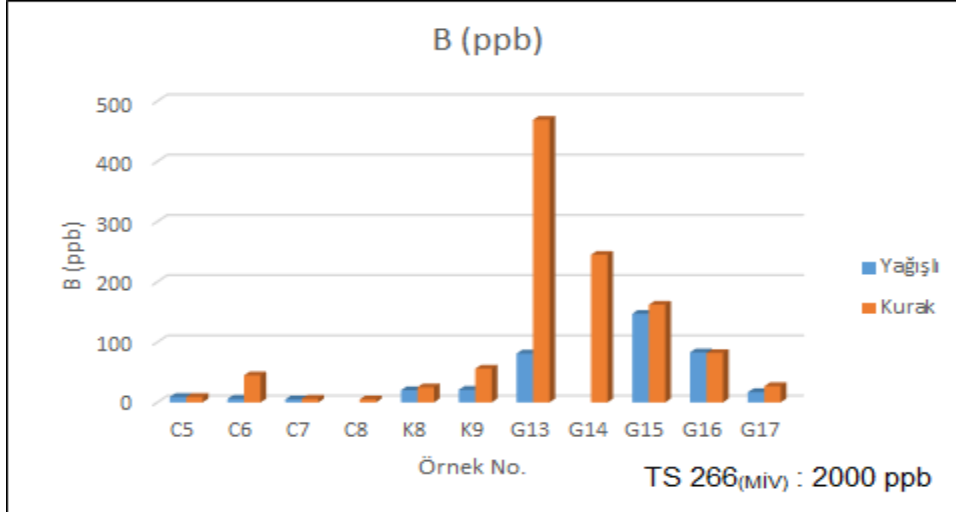
Şekil 3.51 : Örneklenen suların Kurşun içeriklerinin dağılımı

3.9.3.4 Bor (B)

Bor, yer kabuğunda az bulunan elementlerden biridir, buna karşın yer altı sularında bol miktarlarda bulunabilir. Yüksek sıcaklıklarda magmadan direkt atmosfere karışırken daha düşük sıcaklıklarda termal sularla yüzeye çıkmaktadır. Hemen hemen tüm canlı organizmaların yapısında bulunan Bor, özellikle bitkiler üzerinde önemli bir rol sahibidir. Az miktarda boraks tarımda verimliliği artırırken, fazlası zehirleyici olabilmektedir (Şahinci, 1991; Gray, 1994). WHO içme sularında tavsiye edilen Bor değerini 500 ppb olarak belirlemişken, özellikle Batı Anadolu'nun bir bor provensi olması nedeniyle , bor temel değeri dünya ortalamasının çok üstünde olması nedeniyle TS266 bu değeri 2000 ppb ile sınırlandırmıştır.

Alınan örneklerin B içeriklerinin istatistiksel özeti Çizelge 3.9 ve 3.10'da verilmiştir. Örneklerinin B içeriklerinin kurak dönemde alınan göl sularında 27,00 ppb ile 469,00 ppb arasında (ortalama 197,00 ppb), çeşme sularında 5,00 ppb ile 45,00 ppb arasında (16,25 ppb), kuyu sularında ise 25,00 ppb ile 56,00 ppb arasında (ortama 40,50 ppb) olduğu saptanmıştır. Yağışlı dönemde alınan göl suyu örneklerinin içerikleri 17,00 ppb ile 147,00 ppb arasında (ortalama 82,00 ppb), çeşme sularında 5,00 ppb 9,00 ppb arasında (ortalama 6,67 ppb), kuyu sularında ise 20,00 ppb ile

21,00 ppb arasında (ortama 20,50 ppb) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, örneklerin B içeriklerinin grafiksel dağılımı Şekil 3.52 'de verilmiştir. G13 no 'lu gölet örneğinin yağışlı dönemde anomali gösterdiği buna rağmen tüm değerlerin, içme suyu standartlarına uygun olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.52 : Örneklenen suların Bor içeriklerinin dağılımı

Görüldüğü gibi değerlendirilen elementler içinde en yüksek anomaliyi veren element Mn 'dır. TS266 ve WHO tarafından 50 mg/lt olarak belirlenen mangan içeriği, Ç5 no 'lu örnekte yağışlı dönemde 79,8 mg/lt, Ç6 no 'lu örnekte 306 mg/lt ve G15 no'lu gölet örneğinde 65,2 mg/lt ölçülmüştür. Diğer anomali veren element ise Fe 'dir. Ç7 no'lu çeşme örneğinin Fe içeriği kurak dönemde 543 mg/lt olup WHO tarafından belirlenen 300 mg/lt sınırını aştığı gözlenmektedir. Bu iki elementin yanı sıra G13 (222 mg/lt) ve G15 (211 mg/lt) no 'lu örneklerde Al değerleri, TS266 ve WHO tarafından verilen 200 mg/lt sınır değerinin aşmıştır. Bu üç element dışında yukarıda belirtilen diğer elementler WHO ve TS266 tarafında içme suları için belirtilen sınır değerlerin çok altında kalarak suların bu elementler açısından içilebilir nitelikte olduğu ortaya çıkmıştır. G16 ve G17 nolu göl suyu örnekleri incelenen tüm anyon katyon ve iz element içerikleri bakımından içilebilir nitelikte olduğu görülmüştür.

4. SULARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ İLE LİTOLOJİ ARASINDAKİ İLİŞKİ VE SULARIN SINIFLANDIRILMASI

Normal koşullarda yağış suları ile beslenen sular, akifer niteliği taşıyan kayalara ulaşmadan önce süzüldüğü ortamlarla iyon alış verişinde bulunurlar. Akiferlere ulaştıklarında ise burada yeraltı sularını meydana getirirler. Akifere ulaşana dek, değişik bileşimlerde kütlelerle temas halinde olan yeraltı sularının erimiş madde miktarı, ortamın pH, Eh değerleri, sıcaklık koşulları ile bu suların kaya kütlelerine değme süresine, suyun hızına, sıcaklığına, kütlenin cinsine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişir.

Oluşan sularının içindeki erimiş maddeleri ayrı ayrı incelemeden önce, suların içinde bulundukları akiferin litolojik özelliklerini araştırmak ve dolayısıyla yeraltı suyunun kimyasal bileşimi ile akiferin magmatik, sedimanter ve metamorfik gibi litolojik kökenini araştırmak daha yararlı olacaktır.

4.1 Suların Kimyasal Bileşiminin Litolojiyle İlişkisi

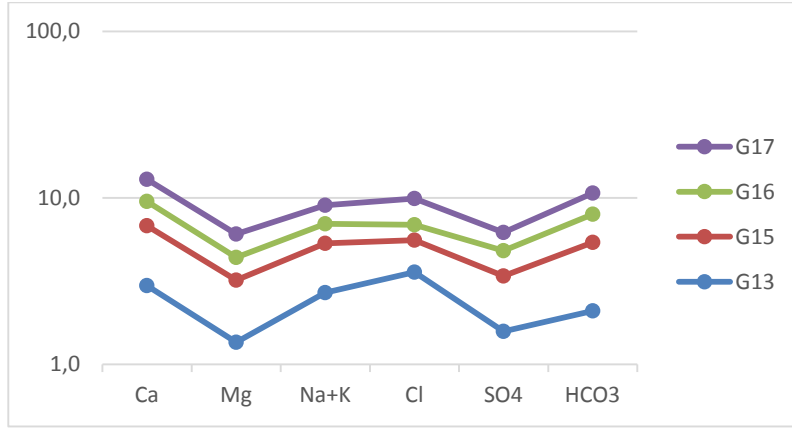
Çalışma alanında incelenen suların kimyasal bileşimlerinin litolojiyle ilişkisini oraya koymak için yağışlı ve kurak dönem su örneklerinin ana katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ve ana anyon (HCO_3^- , SO_4^{2-} ve Cl^-) değerleri meq/l cinsinden hesaplanarak yarı-logaritmik Schoeller diyagramına uyarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar yağışlı ve kurak dönem gölet suları ile çeşme ve kuyu suları için ayrı ayrı Şekil 4.1 Şekil, 4.2 Şekil, 4.3 ve Şekil 4.4 verilmiştir.

Şekil 4.1 'de yağışlı dönem gölet sularının

-Katyon dizilimlerinin, $r\text{Ca}^{+2} > r\text{Na}^+ + \text{K}^+ > r\text{Mg}^{+2}$ şeklinde

-Anyon dizilimlerinin ise; $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ ve $r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-}$

şeklinde olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.1 : Yağışlı dönemde gölet suyu örneklerinin yarı - logaritmik Schoeller diyagramı

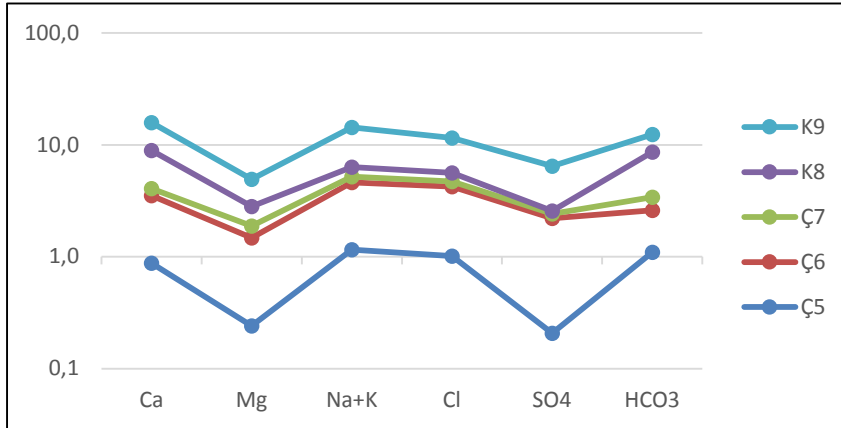
Şekil 4.2’de yağışlı dönem çeşme ve kuyu sularının kanyon dizilimlerinin,

$$rCa^{+2} > rNa^{+}+K^{+} > rMg^{+2} \text{ ve } rNa^{+}+K^{+} > rCa^{+2} > rMg^{+2}$$

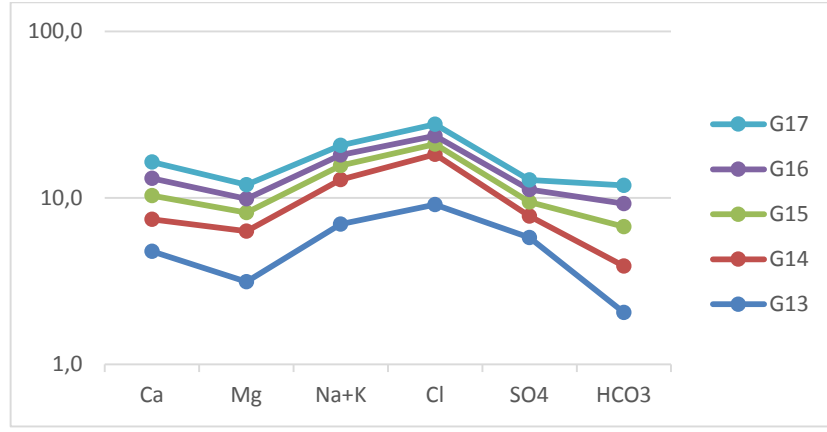
şeklinde olduğu görülmektedir. Anyon dizilimleri ise

$$rHCO_3^{-} > rCl^{-} > rSO_4^{-} \text{ ve } rCl^{-} > rHCO_3^{-} > rSO_4^{-}$$

şeklindedir.



Şekil 4.2 : Yağışlı dönemde çeşme ve kuyu suyu örneklerinin yarı - logaritmik Schoeller diyagramı



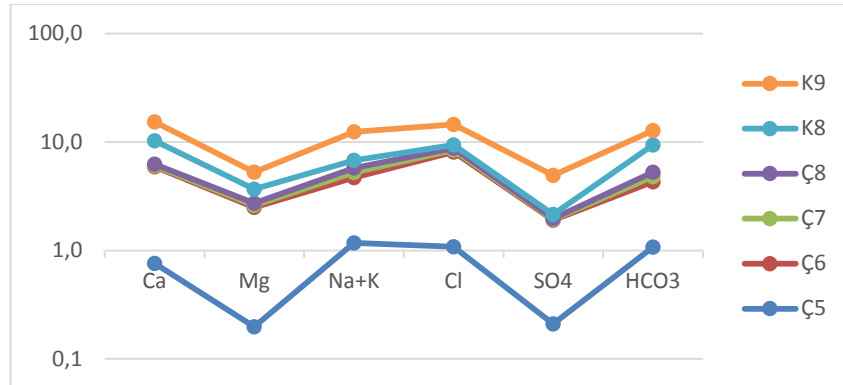
Şekil 4.3 : Kurak dönemde gölet suyu örneklerinin yarı - logaritmik Schoeller diyagramı

Şekil 4.3’de yağışlı dönem kuyu sularının katyon dizilimlerinin,

$$rNa^{+}+K^{+} > rCa^{+} > rMg^{+}$$

şeklinde olduğu görülmektedir. Anyon dizilimleri ise aşağıdaki gibidir.

$$rCl^{-} > rSO_{4}^{-} > rHCO_{3}^{-}$$



Şekil 4.4 : Kurak dönemde çeşme ve kuyu suyu örneklerinin yarı - logaritmik Schoeller diyagramı

Şekil 4.4 ’de kurak dönem çeşme ve kuyu sularının dizilimlerinin,

$$rCa^{+2} > rNa^{+}+K^{+} > rMg^{+2} \text{ ve } rNa^{+}+K^{+} > rCa^{+2} > rMg^{+2}$$

şeklinde olduğu görülmektedir. Anyon dizilimleri;

$$rHCO_{3}^{-} > rCl^{-} > rSO_{4}^{-} \text{ ve } rCl^{-} > rHCO_{3}^{-} > rSO_{4}^{-}$$

şeklindedir.

Diyagramlar incelendiğinde sahadaki litolojilere paralel olarak 2 farklı katyon ve 3 farklı anyon diziliminin olduğu ortaya çıkmıştır. Bu dizilimler çokluk sırasına göre aşağıdaki gibidir.

Katyon Dizilimi

$rCa^{+} > rNa^{+} + rK^{+} > rMg^{+}$ (%55)

$rNa^{+} + rK^{+} > rCa^{+} > rMg^{+}$ (%45)

Anyon Dizilimi

$rCl^{-} > rHCO_3^{-} > rSO_4^{=}$ (%50)

$rHCO_3^{-} > rCl^{-} > rSO_4^{=}$ (%30)

$rCl^{-} > rSO_4^{=} > rHCO_3^{-}$ (%20)

Bölgede hakim litolojinin kıltaşı ve çakıltası mercekli, çapraz katmanlı, gevşek kumtaşları, marn ve tüflerden oluşan Ergene Formasyonu olduğu göz önünde bulundurulduğunda, normal koşullarda bu formasyondan beslenen suların ülkemizden ve dünyadan örneklerinde olduğu gibi katyon ve anyon diziliminin aşağıdaki gibi olması beklenirdi (Şahinci, 1991).

$rCa^{+2} > rNa^{+} + rK^{+} > rMg^{+2}$ veya $rNa^{+} + rK^{+} > rCa^{+2} > rMg^{+2}$ ve $rCl^{-} > rSO_4^{=} > rHCO_3^{-}$

Katyon dizilimi litoloji ile paralellik gösterirken, yukarıda Safaalan bölgesine ait verilen anyon dizilimleri her nekad Şahinci (1991) 'den verilen dizilimden farklı olmakla birlikte, HCO_3 değerinin bazı su örneklerinde Cl^{-} ve $SO_4^{=}$ değerinden yüksek olması, Ergene Formasyonunun heterojen litolojik bileşimi ve Safaalan bölgesi genelinde karbonatlı birimlerin varlığı ile uyumdur. Öte yandan Safaalan bölgesinde sularında $SO_4^{=}$ değerlerinin (Minimum 1,26 ppb, maksimum 278 ppb ve ortalama 73 ppb) yüksek olması literatürde kil minerallerinin kristal yapılarının bir sonucu olarak güçlü iyon değiş - tokuş özelliğine sahip olduğu ve bu nedenle başta $SO_4^{=}$ anyonu olmak üzere ortamdaki ana anyon ve katyonları absorplayıp daha sonra da temas halindeki sulara verdikleri tezi ile açıklanabilir (Aykol ve diğ, 1985). Ancak kömür ve litolojik birimler içindeki pirit mineralinin varlığı ve yanısıra tüfler de suların sülfat içeriği üzerinde etkili olabilir.

Safalan sahasında yaklaşık 10 yıl kömür madenciliği yapılmıştır. Sahada yapılan arazi çalışmaları sırasında bölgenin yoğun şekilde ormanlık alanlarla kaplı olduğu gözlenmiş ve bu nedende kömürlü formasyonlara dair herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Ancak sahada 10 yıl kömür üretildiği bir gerçektir. Bölüm 2.4 'te Safaalan kömürleri ile ilgili bilgi verilmiş olup buradan görüleceği gibi kömürlerin sülfür içeriği %1,86 'dır ve kömür birimleri Ergene Formasyonunun ince kumlu tuf, marn ve kumtaşları arasında yer alır (Türkiye Linyit Envanteri, 2010). Dolayısıyla

terkedilen kömür sahalarında tespit edilen yüksek sülfat içeriğinin kömür oluşumlarından kaynaklı olabileceği düşünülebilir. Yanısıra gerek kömürden gerekse de çevrede bulunan diğer birimlerden liç olarak killer içerisinde absorblanmış sülfat, sulardaki sülfat içeriğinin nedenlerinden biri olabilir.

Suların klorür içeriği bölgeye deniz suyu girişimi, bölgedeki volkanik etkinlik ve volkanik birimler içerisinde NaCl ve KCl gibi bileşiklerin varlığı ile açıklanır (Şahinci ,1991). Önceki paragrafta belirtildiği gibi kömürler Ergene Formasyonunun ince kumlu tuf, marn ve kumtaşları arasında yer alır (TKİ, 2006). Dolayısıyla terkedilmiş kömür sahalarında oluşan göl suları bu formasyonlarda etkilenecek klorür açısından zenginleşmiş olabilir. Verilen bu nedenlerin yanı sıra sedimanter istif içindeki hapis kalmış fosil sulara yüksek klor değerinin nedeni olarak düşünülebilir.

Literatürde terk edilmiş kömür sahalarında meydana gelen yüzey sularının genellikle standartlarda verilen limit değerlerin çok üstünde iz element içerdiği görülmektedir (Erarslan 2010; Sungur 2012; Erarslan ve diğ 2014). Safaalan köyü ve civarındaki göletlerden alınan örneklerde tespit edilen iz element içeriklerinin literatürde verilen değerler ile karşılaştırıldığında düşük olması sahadaki Safaalan kömürlerinin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin bir sonucu olabileceği gibi kömürlerin içinde bulunduğu sedimanter kayaçların mineralojik ve jeokimyasal bileşiminin bir sonucu da olabilir. Tarafımızdan sahada yapılan çalışmalarda bölge yoğun şekilde ormanlık alanlarda kaplı olduğu için herhangi bir kömür emaresi bulunamamıştır. Gerek literatür araştırmamızda gerekse MTA envanterlerinde de Safaalan bölgesi kömürlerinin mineralojik ve kimyasal içeriklerine dair detaylı bir araştırmaya rastlanmamıştır. Ancak Trakya bölgesinin önemli kömür sahalarından biri olan Keşan – Küçükdoğanca bölgesinde yapılan çalışmalarda kömürlerin iz element içeriklerinin yüksek olduğu (Bakınız Çizelge 4.1) buna karşın bu kömür sahalarındaki gölet sularının iz element içeriklerinin (Bakınız Çizelge 4.2) kömürlerin içeriğine göre düşük olduğu tespit edilmiştir (Erarslan, 2010; Erarslan ve diğ 2014). Araştırmacılar bu durumu kömür taban altı killerinin kömürden liç olan elementleri absorblaması ile açıklamışlardır. Safaalan kömürlerine ait kimyasal sonuçlar olamamakla birlikte kömürlerin killi birim içinde olması, Keşan - Küçükdoğanca kömür sahasına benzer şekilde Safaalan bölgesinde de suların iz element içeriklerinin düşük olmasından sorumlu olabileceği söylenebilir.

Çizelge 4.1 Keşan bölgesi Linyitlerinin iz element içerikleri (Erarslan, 2010)

	As	Be	Cd	Co	Hg	Ni	Pb	Se	Th	U	V
Minimum	8,2	2	<0,1	8,5	<0,01	66	4	<0,5	11,2	5,8	88
Maksimum	247,9	15	<0,1	49,6	<0,01	639,5	48,2	<0,5	32,9	14,2	286
Ortalama	54,83	9,22	<0,1	26,06	<0,01	246,90	18,42	<0,5	19,00	9,41	185,89
Medyan	-	4	<0,1	-	<0,01	-	-	<0,5	-	8,9	-
D.O*	0,5-80	0,1-15	0,1-0,3	0,5-30	0,02-1	0,5-50	2-80	0,2-10	0,5-10	0,5-10	2-100
Çanakkale**	489	10,5	0,39	26,1	<0,1	29	57,3	-	27,5	19,4	395
Manisa**	138	2,71	0,9	10	<0,1	60,1	44,4	-	8,7	127	336
İstanbul**	68,4	10,2	0,9	55,6	<0,1	56,9	49,2	-	22,4	29	298

*D.O: Dünya ortalama iz element değerleri (Swaine, 1990), **Değerler Seferinoğlu ve diğ.(2003)'den Tablo4'den alınmış olup, örnek numaraları sırasıyla: 1, 10, 8'dir

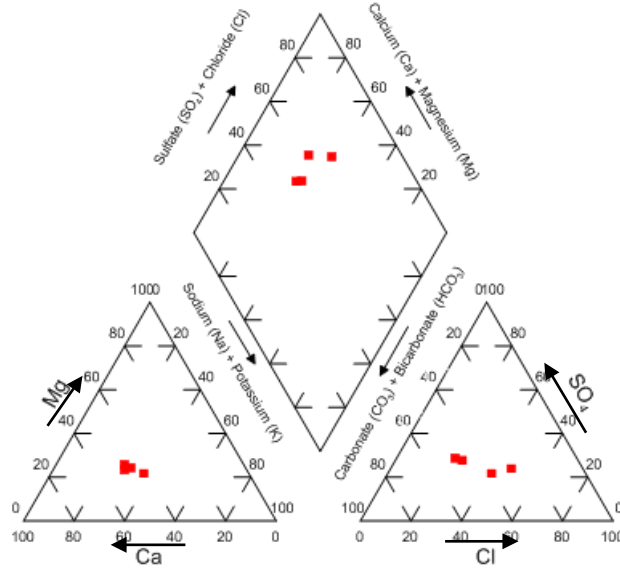
Çizelge 4.2 Keşan bölgesi sularının iz element içerikleri (Erarslan, 2010)

<i>Kömür Yataklarından Alınan Su Örneklerinin İstatistiksel Özeti</i>																					
	Al	As	Ba	Be	B	Br	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Hg	Mo	Ni	Sb	Se	Ag	Sn	U	Zn
Min	4	0,5	24,41	<0,05	250	78	<0,005	4,8	1,9	<10	<0,1	0,87	<0,1	0,9	1,2	<0,05	1	<0,05	<0,05	0,3	0,03
Max	11	9,7	93,39	0,29	7631	325	0,13	28,2	5,5	10352	0,5	1184,95	<0,1	4,3	55,8	0,29	3,4	<0,05	<0,05	7,47	35,5
Ort	8,11	1,76	50,29	0,14	2077,78	194,22	0,07	17	3,48	1210,78	0,17	167	0,1	2,08	20,3	0,11	2,02	0,05	0,05	4,09	12,2
Medyan	6	0,6	-	0,05	-	-	0,05	-	-	10	0,1	-	0,1	-	-	0,06	-	0,05	0,05	-	6,5
<i>İçme ve Kullanma Sularının WHO, EU ve TS266 Standartları ile Karşılaştırılması</i>																					
Min	1	0,5	44,96	0,05	34	91	0,05	9,1	0,5	10	0,1	0,05	0,1	0,5	0,2	0,05	1,2	0,05	0,05	0,97	1,1
Max	6	1,5	97,38	0,05	170	465	0,05	35,3	4,3	52	0,2	204,37	0,1	1,3	6,1	0,05	4,9	0,05	0,4	15,07	7,8
Medyan	1	0,5	-	0,05	48	-	0,05	-	-	10	0,1	-	0,1	0,5	0,2	0,05	2,5	0,05	0,05	-	2,3
ORT	3,2	0,95	66,48	0,05	76,25	218,5	0,05	15,89	1,5	25,17	0,2	38,55	0,1	0,79	2,43	0,05	2,8	0,05	0,05	5,56	5,5
<i>Muzalı Göleti Su Örneği</i>																					
Muzalı Göleti	16	1,5	51,53	<0,05	208	157	<0,05	5,6	2	51	0,1	2,25	<0,1	0,8	5,5	0,1	1,1	<0,05	0,05	3,42	1,7
WHO	200	10	700	-	500	-	3	50	2000	300	10	50	1	70	20	-	10	-	-	-	5000
TS266 _T	50	-	100	-	1000	-	-	-	100	50	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	100
TS266 _{MLV}	200	50	300	-	2000	-	5	50	3000	200	50	50	1	-	50	10	10	10	-	-	5000

TS 266_T: Türkiye içme suyu standardı, tavsiye edilen değer; TS 266_{MLV}: Türkiye içme suyu standardı, maksimum izin verilen değer; WHO: Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standartları

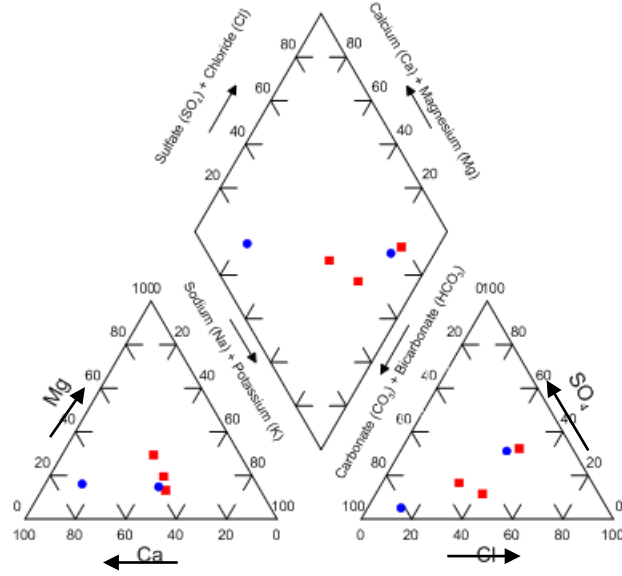
4.2 Suların Sınıflandırılması

Literatürde içilebilir suları sınıflamak için pek çok yöntem teklif edilmiştir; bunlar içinde en yaygın kabul gören ve kullanılan Piper sınıflamasıdır (Şahinci, 1991). Piper vermiş olduğu üçgen diyagramda, suların ana anyon ve ana katyonlarını kullanarak suları sınıflandırmıştır. Suların ana anyon ve katyon değerleri baz alınarak yapılan Piper sınıflaması Şekil 4.5 ve 4.6’da yağışlı dönem gölet suları ve çeşme ile kuyu suları örneklemeleri için, Şekil 4.7 ve 4.8 ‘de ise kurak dönem gölet suları ve çeşme ile kuyu suları örneklemeleri için ayrı ayrı verilmiştir.



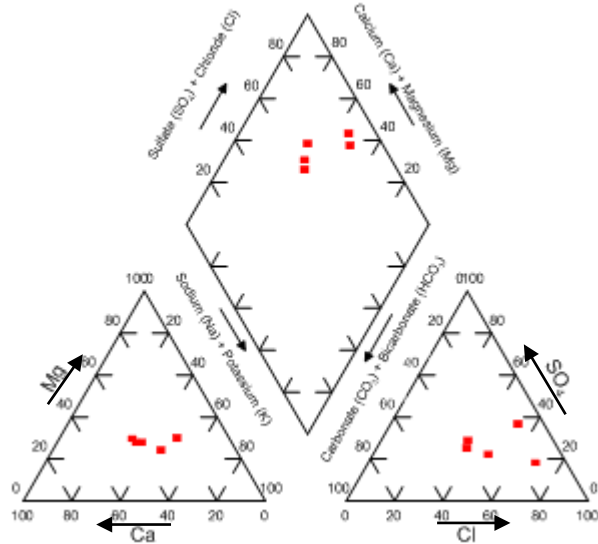
Şekil 4.5 : Piper üçgen diyagramında yağışlı dönem gölet suları sınıflaması

Şekil 4.5 'te görüldüğü gibi gölet suları katyon oranlarına göre kalsiyum ve ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) oranı yüksek magnezyumlu sular sınıfına girmektedir. Anyon oranlarına göre ise bikarbonat oranı yüksek klorürlü sular sınıfına girmektedir. Piper'ın paralel kenar diyagramında ise örnekler iyonların hiçbirisi %50 'yi geçmeyen, karışık sular olduğunu gösteren sular sınıfına girmektedir.



Şekil 4.6 : Piper üçgen diyagramında yağışlı dönem çeşme ve kuyu suları sınıflaması

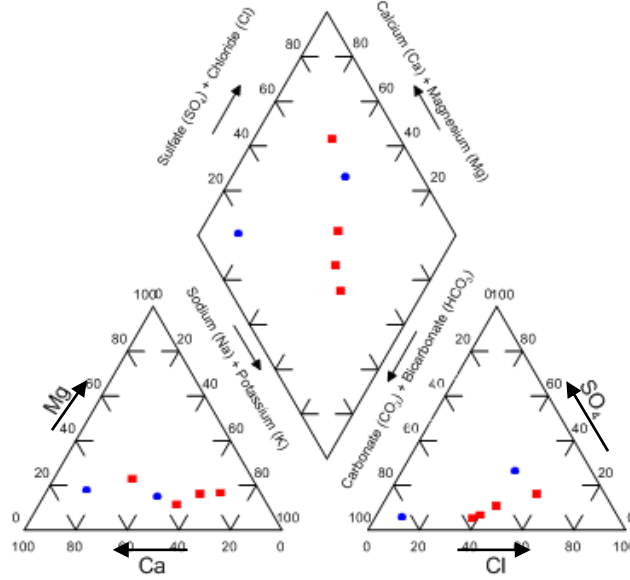
Şekil 4.6 'd görüldüğü gibi çeşme ve kuyu suları örnekleri katyon oranlarına göre ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) – kalsiyumlu 'lu sular sınıfına girmektedir. Anyon oranlarına göre ise karbonatlı – klorürlü ve klorürlü – sülfatlı sular sınıfında yer almaktadır. Piper'ın paralel kenar diyagramında ise örnekler NaCl, NaSO₄ ve KCl'li sular sınıfına girmektedir.



Şekil 4.7 : Piper üçgen diyagramında kurak dönem gölet suların sınıflaması

Şekil 4.7 'de görüldüğü gibi gölet suları katyon oranlarına göre Ca^{+2} - Mg^{+2} - ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) 'lu sular sınıfına girmektedir. Anyon oranlarına göre ise klorür oranı

yüksek sülfatlı - karbonatlı sınıfında yer almaktadır. Piper'in paralel kenar diyagramında ise örnekler iyonların hiçbirini %50'yi geçmeyen, karışık sular olduğunu gösteren sular sınıfına girmektedir.



Şekil 4.8 : Piper üçgen diyagramında kurak dönem çeşme ve kuyu suları sınıflaması

Şekil 4.8 'de görüldüğü gibi çeşme ve kuyu suları örnekleri katyon oranlarına göre kalsiyumlu – ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) 'lu sular ve ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) oranı yüksek kalsiyumlu sular sınıfına girmektedir. Anyon oranlarına göre ise karbonatlı – klorürlü sular sınıfında yer almaktadır. Piper'in paralel kenar diyagramında ise örnekler iyonların hiçbirini %50 'yi geçmeyen, karışık sular olduğunu gösteren sular sınıfına girmektedir.

Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7 incelendiğinde katyon dağılımları, yarı-logaritmik Schoeller diyagramında ortaya çıkan iki farklı katyon dizilimine paralel olarak örnekler üçgende Ca^{+2} ve $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 'un yüksek olduğu alanlarında dağılmıştır. Bu dağılıma göre sular üç farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- 1- Ca^{+2} oranı yüksek ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) 'lu sular
- 2- Ca^+ - ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) 'lu sular
- 3- ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) oranı yüksek kalsiyumlu sular

Anyon değerlerine göre çizilen anyon üçgeninde örnekler HCO_3^- ve Cl^- değerlerinin yüksek olduğu alanlara dağılmıştır. Buna göre sular dört farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

1-Bikarbonat oranı yüksek klorürlü sular

2-Karbonatlı – klorürlü

3-Klorürlü – sülfatlı

4-Klorür oranı yüksek sülfatlı – karbonatlı sular

Sular diyagramının paralel kenar kısmında ise genel olarak iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık sular sınıfında yer almakla beraber, NaCl, NaSO₄ ve KCl 'lü sular sınıfında yer aldığı da görülmüştür.

Piper Diyagramında ortaya çıkan bu dağılım yarı-logaritmik Schoeller Diyagramındaki katyon - anyon trendleri ile uyumlu olarak bölgenin karışık / zengin litolojik çeşitliliği ile örtüşmektedir.

5. SONUÇLAR

Çalışma sahası olan Safaalan köyü ve yakın civarında yöre halkı içme ve kullanma (temizlik, pişirme, tarımda sulama suyu vb.) amaçlı su ihtiyacını çoğunlukla yer altı sularından karşılamaktadır.

Safaalan kömür sahası, 1992 yılında TKİ tarafından işletilmeye başlanmış ve 2002 yılında üretim faaliyeti bitirilmiştir. Saha terkedildikten sonra ocaklarda değişik boyutlarda göletler meydana gelmiştir. Günümüzde mesire / dinlenme yeri olarak kullanılan bu alanda hali hazırda yüzey alanları 0,006 ile 0,04 km² aralığında değişen 5 adet gölet tespit edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, terkedilen kömür sahalarında meydana gelen bu göletlerde biriken suların kömür oluşumlarından etkilenip etkilenmediğini yerinde (in situ) ve laboratuarda suların fizikokimyasal parametrelerini inceleyerek, kullanılabilme potansiyellerini ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında gölet sularının yanısıra Safaalan Köy 'ünde ve köyün yakınında 2 adet kuyu ve 4 adet çeşme suyu yeraltı sularını temsil edecek şekilde örneklenerek fizikokimyasal açıdan incelenmiştir. Örneklemeler yağışlı (Mart 2015) ve kurak (Ağustos 2014) dönemi temsilen 2 kez yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda;

1. Göletlerin yüzey alanları, sahada alınan koordinatlar ile Autocad programında, en büyük yaklaşık 400 m² (G14) ve en küçük yaklaşık 10 m² (G15) olduğu hesaplanmıştır.
2. Suların sıcaklık, pH, Eh, iletkenlik (EC), tuzluluk (NaCl), asidite, alkalinite ve çözülmüş oksijen (DO) değerleri arazide yerinde ölçülmüştür ve suların içilebilirliği üzerinde önemli etkiye sahip olan pH değerinin gölet sularında maksimum 8,8 ve minimum 7,30; çeşme sularında maksimum 6,7 ve minimum 5,7 ve kuyu sularında maksimum 7,6, minimum 6,5 olup TS266 'da verilen 6,5 – 9,2 aralığı içinde kalmaktadır. Sulardaki toplam iyona karşılık gelen iletkenlik (EC) değeri ise gölet sularında maksimum 1480 µS/cm ve minimum 315 µS/cm, çeşme sularında maksimum 1103 µS/cm ve minimum 38 µS/cm ve kuyu sularında maksimum 1388 µS/cm, minimum 394 µS/cm olup TS266 'da maksimum izin verilen 2000 µS/cm limit değerini

altında kalmıştır. Kurak dönemde örneklenen göl sularının tümünde ve 2 adet çeşme suyu örneğinde sıcaklık TS266 tarafından belirlenen 25 °C limit değerinin üzerinde ölçülmüştür. Yerinde ölçülen diğer parametreler için içme suyu standartlarında herhangi bir limit değeri verilmemiştir.

3. Suların ana anyon değerleri (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), Hacettepe Laboratuvarında IC yöntemi ile analiz ettirilmiştir. Çeşme ve kuyu sularında ölçülen değerlerinin içme suları için verilen limit değerlerini karşıladığı, gölet sularında ise G16 ve G17 hariç, bu parametrelerin suların ancak kullanma amaçlı (temizlik, pişirme ve tarımda sulama) kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Bununla beraber suların klorür içeriklerinin içme ve kullanma amaçlı kullanılan çeşme ve kuyu sularında sınır değerlerin altında kaldığı ancak Ç6 (248,05 mg/Lt) ve K9 (210,02 mg/Lt) no 'lu örneklerin klorür değerlerinin anomali yaptığı ortaya çıkmıştır. G13 (323,26 mg/Lt) ve G14 (324,28 mg/Lt) no 'lu gölet sularının klorür içeriğinin WHO 'nın belirlediği 250 mg/Lt değerini aştığı ancak TS266 'da izin verilen maksimum değeri olan 600 mg/Lt 'nin altında kaldığı tespit edilmiştir. WHO ve TS266 'da HCO_3^- değerleri için bir sınır değeri verilmemiştir. Sülfat için TS266 ve WHO tarafından içme suları için maksimum izin verilen değeri 250 mg/Lt olup G13 (277,92 mg/Lt) no 'lu gölet örneği bu değerin üzerinde kalmıştır. Terk edilmiş kömür sahalarından uzakta yer alan G16 ve G17 no 'lu (Bakınız Ek A) göl suyu örnekleri incelenen ana anyon ve katyon içerikleri bakımından içilebilir nitelikte sular olduğu görülmüştür.
4. Suların ana katyon değerleri (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) Kurak dönemde ACME Laboratuvarında ICP-MS, yağışlı dönemde Hacettepe Laboratuvarında IC yöntemi ile analiz ettirilmiş olup; gölet, çeşme ve kuyu sularında ölçülen katyon değerlerinin içme suları için verilen limit değerlerini karşıladığı ve bu parametreler açısından suların içme ve kullanma amaçlı kullanımında sorun olmadığı görülmüştür. İncelenen örneklerden yalnızca K9 no 'lu su örneğinin potasyum içeriği açısından TS266 'da belirtilen 175 mg/Lt limit değerini aştığı ancak WHO 'nın belirlediği 200 mg/Lt değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir.
5. Suların sertlik değerleri Fransız Sertliği 'ne göre hesaplanmış olup maksimum 44,8 °F ve minimum 1,1 °F olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre çeşme suları hem yağışlı hem de kurak dönemde Yumuşak sular olarak

belirlenirken gölet ve kuyu suları Oldukça sert – sert sular sınıfında yer almaktadır.

6. İçilebilir suları sınıflamak için yaygın olarak kullanılan Piper diyagramında sular katyon içerikleri bakımından incelendiğinde, yağışlı dönem gölet suları katyon oranlarına göre kalsiyum ve ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) oranı yüksek magnezyumlu sular; çeşme ve kuyu suları ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) – kalsiyumlu ‘lu sular; kurak dönem gölet suları $\text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2} - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ ‘lu sular, çeşme ve kuyu suları ise kalsiyumlu – ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) ‘lu sular ve ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) oranı yüksek kalsiyumlu sular sınıfında yer almaktadır. Anyon içerikleri bakımından yağışlı dönem gölet suları bikarbonat oranı yüksek klorürlü sular, yağışlı dönem çeşme ve kuyu suları karbonatlı – klorürlü ve klorürlü – sülfatlı sular; kurak dönem gölet suları klorür oranı yüksek sülfatlı - karbonatlı sular, kurak dönem çeşme ve kuyu suları ise karbonatlı – klorürlü sular olarak belirlenmiştir. Diyagramın paralel kenar kısmında örneklerin dağılımı incelendiğinde suların genel olarak iyonların hiçbirini %50’yi geçmeyen karışık sular sınıfında yer aldığı ancak yağışlı dönem çeşme ve kuyu örneklerinin NaCl, NaSO₄ ve KCl ‘lü sular sınıfında yer aldığı görülmüştür. Sonuçların tümü sahanın litolojik özellikleri ile uyumludur.
7. Sular tarımda kullanılabilirlik açısından Riverside Diyagramında değerlendirilmiş ve örneklerin ağırlıklı olarak Az Tuzlu Sular sınıfında yer aldığı, yalnızca yağışlı dönemde K9 no ‘lu kuyu ve kurak dönemde G13 no ‘lu gölet suyu numunelerinin C2-S2 aralığına düştüğü ve bu aralıktaki suların orta tuzlu sular sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Sulama amaçlı kullanılan suların sınıflandırılmasında kullanılan Wilcox diyagramında ise suların benzer şekilde Çok iyi - iyi sular ve iyi kullanılabilir sular alanında yer aldıkları belirlenmiştir.
8. Suların kimyasal bileşimlerinin litolojiyle ilişkisini oraya koymak amacıyla örneklerin ana katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ve ana anyon (HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$ ve Cl^-) değerleri yarı - logaritmik Schoeller diyagramında değerlendirilmiştir. Sahada en yaygın birim olan Ergene formasyonunun heterojen litolojik bileşimi (kilitaşı ve çakilitaşı mercekli, çapraz katmanlı gevşek kumtaşıları, marnlar ve tüfler) ile uyumlu olarak katyon dizilimi $r\text{Ca}^{+2} > r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ > r\text{Mg}^{+2}$ (%55) ve $r\text{Na}^+ + r\text{K}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$ (%45) şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu

dizilim ve bu oranlar formasyonda killi birimlerin yaygınlığı ile uyumludur. Suların sodyum ve potasyum değerlerinin yüksek olması ile uyumlu olarak suların anyon dizilimleri şeklinde $rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-}$ (%50), $rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$ (%30) ve $rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ (%20) şeklinde ortaya çıkmıştır. Anyon dizilimlerinde HCO_3^- değerinin bazı su örneklerinde Cl^- ve SO_4^{2-} değerinden yüksek olması, Safaalan bölgesi genelinde yer yer gözlenen karbonatlı birimlerin varlığı ile uyumdur. Suların SO_4^{2-} ve Cl^- değerlerinin yüksek olması ise sahadaki killi birimlerin yaygın olması ile örtüşmektedir. Yanı sıra kömür ve litolojik birimler içindeki pirit mineralinin varlığı, tüfler ve sedimanter istif içinde hapis kalmış fosil sular da suların sülfat ve klorür içeriği üzerinde etkili olabilir.

9. Su örneklerinin iz elementleri, ICP-MS yöntemi ile analiz edilmiş ve örnekler 72 parametre açısından incelenmiştir. Bunların içerisinde sağlık açısından risk teşkil ettiği kabul edilen Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb değerleri tablolar ve diyagramlarda değerlendirilmiş; WHO ve TS266 standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu elementler içinde en yüksek anomaliyi veren elementin Mn olduğu görülmüştür. TS266 ve WHO tarafından 50 mg/lt olarak belirlenen mangan içeriği, Ç5 no 'lu örnekte yağışlı dönemde 79,8 mg/lt, Ç6 no 'lu örnekte 306 mg/lt ve G15 no'lu gölet örneğinde 65,2 mg/lt ölçülmüştür. Diğer anomali veren element ise Fe 'dir. Ç7 no'lu çeşme örneğinin Fe içeriği kurak dönemde 543 mg/lt olup WHO tarafından belirlenen 300 mg/lt sınırını aştığı gözlenmektedir. Bu iki elementin yanı sıra G13 (222 mg/lt) ve G15 (211 mg/lt) no 'lu örneklerde Al değerleri, TS266 ve WHO tarafından verilen 200 mg/lt sınır değerinin aşmıştır. Bu üç element dışında yukarıda belirtilen diğer elementler WHO ve TS266 tarafında içme suları için belirtilen sınır değerlerin çok altında kalarak suların bu elementler açısından içilebilir nitelikte olduğunu yansıtmışlardır. G16 ve G17 nolu göl suyu örnekleri incelenen ana anyon ve katyon içeriklerinde olduğu gibi iz element içerikleri bakımından da içilebilir nitelikte sular olduğu görülmüştür. Trakya Havzasında başta Çatalca Binkılıç Bölgesi olmak üzere sulardaki, özellikle C6 nolu su kaynağında, yüksek Fe, Mn, Ni, Co ve Cd değerleri lokal cevherleşmelerinin varlığı ile açıklanabilir.

10. Elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye'nin en önemli kömür havzalarından biri olan Trakya Havzası'nda yer alan Safaalan Köyü ve

yakın civarında yöre halkı tarafından kullanılan yeraltı suları Ç5, Ç6 ,Ç7 ve K9 no 'lu örneklerde tespit edilen yüksek Mn, Fe ve Na değerleri hariç içilebilir niteliktedir. Gölet suları ise $\text{SO}_4^{=}$ (G13 no 'lu örnek), Cl^- (G13 ve G14 nolu örnek), Mn (G15 no 'lu örnek), Fe (G13 ve G15 no'lu örnek) ve Al (G13 ve G15 no'lu örnek) açısından içme suyu standartlarının üzerinde kalmıştır. İncelenen tüm su örneklerinin kullanma suyu ve tarımda sulama suyu olarak kullanılabilir nitelikte olduğu ortaya konmuştur. Bir diğer önemli sonuç da G16 ile G17 no 'lu gölet sularının bu çalışma kapsamında incelenen inorganik parametreler açısından içilebilir nitelikte olduğudur.

KAYNAKLAR

- Akın, M., 2007.** Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 47, sf. 105 - 118
- Akyol E., Kayabalı K., 2006.** Çevre Jeolojisine Giriş, Gazi Kitabevi, 547s, Ankara
- Appelo, C.A. J. & Postma, D., 1993.** Geochemistry, groundwater and pollution. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Arkoç, O., 2005.** Ergene Havzası, Çorlu-Çerkezköy arasındaki kesimin Hidrojeolojisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arkoç, O., Erdoğan, M., 2006.** Ergene Havzası, Çorlu-Çerkezköy arasındaki kesimin Hidrojeokimyası, İTÜ Dergisi, 2, sf. 125 - 134.
- Atalay, Z., 2002.** Trakya Bölgesindeki Linyitli Formasyonların (Danışmen ve Ağaçlı Formasyonları) Stratigrafisi, Fasiyes ve Çökelme Ortamı Özellikleri, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri C19, S1, sf. 61 - 80.
- Aydin, Y., 1974.** Etude petrographique et geochemique de la partie centrale du Massif d'Istranca (Turquie) (Doctoral dissertation).
- Aykol, A., 1985.** Jeokimya’ya giriş, İTÜ Matbaası Gümüşsuyu, İstanbul.
- Boer, N.P., 1954.** Report on a geological reconnaissance in Turkish Thrace, September, December G.A. 25373.
- Beer, H. ve Wright, J.A., 1960.** Stratigraphy of the Ganosdağ, Korudağ and Keşan Hills, District I. TPAO Arama Grubu Arşivi (yayımlanmamış), rapor no, 736, sf. 42.
- Çağlayan, M. A. ve Yurtsever, A., 1998.** 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, MTA no.20,21,22,23, 45, Ankara.
- Çağlayan, M.A., ve Yurtsever, A., 2002.** 1/100.000 ölçekli Açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 65, İstanbul F21 ve G21 paftalar, MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi, s.30, Ankara.
- Davraz & Varol, 2008. Varol, S., Davraz, A., & Varol, E. (2008).** Yeraltı suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi. Türk Silahlı Kuvvetleri Koruyucu Hekimlik Dergisi, 7(4), 351-356.
- Druitt, C.E., 1961.** Report on the petroleum prospects of Thrace, Turkey. Turkish Gulf Oil Co. TPAO Arama Grubu Arşivi (yayımlanmamış), rapor no, 1427.
- Duman, T.M., Keçer, M., Ateş, Ş., Emre, Ö., Gedik, I., Karakaya, F., Durmaz, S., Olgun, Ş., Şahin, H. ve Gökmenoğlu, O., 2004.** İstanbul Metropolü Batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca Yöresi)

- Smedley, P. L., Edmunds, W. M., & Pelig-Ba, K. B. (1996).** Mobility of arsenic in groundwater in the Obuasi gold-mining area of Ghana: some implications for human health. Geological Society, London, Special Publications, 113(1), 163-181.
- Erarslan, C., 2010.** Küçükdoğanca (Keşan-Edirne) bölgesi ve civarındaki kömür yataklarının yüzey ve yer altı sularına etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Erarslan, C., 2014.** Geochemistry of trace elements in the Keşan coal and its effect on the physicochemical features of ground- and surface waters in the coal fields, Edirne, Thrace Region, Turkey, International Journal of Coal Geology, Volume 133, pg 1 – 12.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987.** Yeraltıları Jeolojisi, Maçka-İstanbul, sf. 257-260.
- Gök, L., 1994.** Tekirdağ-Malkara (Tekirdağ İli) Keşan-İpsala (Edirne İli) Arasının Jeolojisi, MTA Raporu 9710 (yayımlanmamış), MTA Trakya Bölge Müdürlüğü.
- Gökçen, S.L., 1967.** Keşan Bölgesinde Eosen-Oligosen Sedimentasyonu, Güneybatı Türkiye Trakya, MTA Dergisi, 69, sf. 1-11.
- Görür, N., Okay, A.I., 1996.** A fore- arc origin fort he Thrace Basin, NW Turkey, Geologishe Rundschau, 85, sf. 662 - 668.
- Gray, N.F., 1994.** Drinking Water Quality, Problems and Solutions, John Wiley & Sons Ltd., England, 315s.
- Holmes, A.W., 1961.** A stratigraphic review of Thrace. TPAO Arama Grubu Arşivi (yayımlanmamış), rapor no.368.
- Kasar, S., Bürkan, K., Siyako, M., Demir, O., 1983.** Tekirdağ-Şarköy-Keşan-Enez bölgesinin jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, TPAO Arama Grubu Arşivi (yayımlanmamış rapor), no.1771, 71s., Ankara.
- Kasar, S., ve A. A. Eren, 1986.** Kırklareli—Saray—Kıyıköy bölgesinin jeolojisi. Turkish Petroleum Corporation, Rapor 2208.
- Kasar, S., 1987.** Edirne – Kırklareli – Saray (Kuzey Trakya) bölgesinin jeolojisi, Türkiye 7. Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı, sf. 281 – 291.
- Kemper, E., 1961.** The Kırklareli Limestone (Upper Eocene) of the northern basin rim. G. Deilman Bergbau GMBH jeolojik raporu, T37.
- Keskin, C., 1971.** Pınarhisar Alanının Jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 14, sf. 31 – 84.
- Keskin, C., 1974.** Kuzey Trakya Havzası'nın Stratigrafisi. Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı, sf. 137 – 163.
- Kopp, K.O., Pavoni, N. Ve Schindler, C., 1969.** Geologie Thrakiens IV. Das Ergene-Becken. Beih zum Geol. Jahrb., Heft 76, sf. 136.
- Lebküchner, R.F., 1974.** Orta Trakya Oligoseninin Jeolojisi Hakkında, MTA Dergisi, 83, sf. 1 - 30.

- MTA, 2006.** Trakya bölgesi litostratigrafi birimleri, MTA Genel Müdürlüğü Stratigrafi Komitesi, 83s.
- Okay, A., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S., Chen, F., 2001.** The tectonics of the Strandja Massif: late-Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean, *Int J Earth Sciences*, 90, sf. 217 - 233.
- Okay, A., Yurtsever, A., 2006.** Trakya Bölgesi Litostratigrafi Birimleri, Istranca Masifinin Metamorfik Kaya Birimleri ile Metamorfizma Sonrası Kretase Kaya Birimleri Bölümü, MTA Genel Müdürlüğü Stratigrafi Komitesi, sf. 1 - 41.
- Örgün, Y., Ugur, Z. & Gültekin, A.H., 1995.** Hydrogeochemistry of waters in Sile region, Istanbul. *MinChem'95, Proceedings*, sf. 133 - 142.
- Örgün, Y. & Uğur, Z., 1996.** İstanbul sularının hidrojeokimyası. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 11, sf. 102 - 108.
- Örgün, Y., 1997.** Büyükçekmece Su Havzasının jeolojik-hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri, İstanbul. *Su ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, sf. 71 - 79, İstanbul
- Örgün, Y., Çelik, N., Gültekin, A.H., Bürküt, Y., 1999.** Geochemical characteristics of coal from the Thrace Region, NW Turkey, *Progress in Mining and Oilfield Chemistry*, 1, sf. 249 - 258.
- Örgün, Y., Gültekin, A.H., Altınsoy, N., Çelebi, N., Karahan, G., 2004.** Sivrihisar ve Beylikova (Eskişehir) Bölgesindeki Florür ve Radyoaktif İçerikli İçme ve Kullanma Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Sağlık Üzerine Etkileri, İTÜ BAP Birimi Araştırma Projesi Raporu, Proje No:1698.
- Örgün, Y., Yılmaz, S., Gültekin, A.H., Güngör, Y., Altınsoy, N., Çelebi, N., Karacık, Z., Göker, F.A., 2007.** Geyikli Güneyindeki (Ezine-Çanakkale) Magmatik Kaya Akiferlerinden Sağlanan İçme ve Kullanma Sularının Hidrojeokimyasal Karakteristikleri, Radyoaktivite Seviyeleri ve Bunların Sağlık Üzerine Etkileri, Tübitak Projesi Proje No: 104Y03, İstanbul, sf. 108 - 110.
- Örgün, Y., Tamer, C., Kırıkoğlu, M.S., 2007.** İstanbulun Endüstriyel, Metalik ve Enerji Hammadde Kaynakları, içinde İstanbulun Jeolojisi Sempozyumu III Bildiri Özleri Kitabı (Editörler, Prof. Dr. Yüksel Örvün ve Doç. Dr. Sabah Yılmaz Şahin, JMO yayını, sf. 334 - 342.
- Öziş, Ü. Baran T. Durnabaşı, İ. Özdemir, Y., 1997.** “Türkiye’nin su kaynakları potansiyeli” Meteoroloji Mühendisliği. TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Yayın Organı. Sayı 2: 40-45.
- Pamir, H. N., & Baykal, F., 1947.** Le massif de Stranca. *Geological Society of Turkey Bull*, 1, 26-43.
- Perinçek, D., Nurdan, A. T. A. Ş., Karatut, Ş., & Erensoy, E. (2015).** Trakya Havzasında, Danişmen Formasyonu İçindeki Linyit Katmanlarının Potansiyelini Kontrol Eden Jeolojik Faktörler, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, (150).

- Robards, K., & Worsfold, P., 1991.** Cadmium: toxicology and analysis. A review. Analyst, 116(6), 549-568.
- Sakıncı, M., Yaltırak, C., Örcen, S., 1995.** Trakya'nın Neojen Paleocoğrafyası ve Evrimi, Trakya Havzası'nın Jeolojisi Sempozyumu Bildiri Özleri, sf. 35 - 36.
- Sakıncı, M., Yaltırak, C., Oktay, F. Y., 2000.** Kuzey Batı Türkiye'de (Trakya) Tetis-Paratetis ilişkisi ve Trakya Neojen Havzası'nın Paleocoğrafyası vs Tektonik Evrimi, Yer Bilimleri ve Madencilik Kongresi, MTA, Ankara.
- Saraç, G., 1987.** Kuzey Trakya Bölgesinde Edirne-Kırklareli-Saray-Çorlu-Uzunköprü-Dereikebir yörelerinin memeli paleofaunası, Ankara Univ. Fen Bil. Enst. Jeol. Müh. Anabilim Dalı Yük. Lisans Tezi (yayımlanmamış).
- Siyako M., Bürkan, K., Okay, A.I., 1989.** Biga ve Gelibolu yarımadalarının Tersiyer Jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 1, sf.183-199.
- Siyako, M. ve Kasar, S., 1985.** Edirne-Lalapaşa-Kırklareli Bölgesinin Jeolojisi. TPAO Arama Dergisi Arşivi, (yayımlanmamış) rapor no. 4608, sf.104.
- Siyako, M., 2006a.** Trakya bölgesi litostratigrafi birimleri, Tersiyer Kaya Birimleri Bölümü, MTA Genel Müdürlüğü Stratigrafi Komitesi, sf. 43 - 66.
- Siyako, M., 2006.** Trakya Havzası'nın Linyitli Kumtaşları, MTA Dergisi, 132, sf. 63 - 73.
- Siyako, M., Huvaz, O., 2007.** Eocene stratigraphic evolution of the Thrace Basin, Turkey, Sedimentary Geology, 198, sf. 75 - 91.
- Sungur, M., 2012.** Avcıkoru (İstanbul) Bölgesi Kömür Ve Kil Sahalarındaki Yeraltı Ve Yüzey Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri Ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Sümengen, M. ve Terlemez, İ., Şentürk, K., Karaköse, C., Erkan, E.N., Ünay, E., Gürbüz, M. ve Atalay,Z., 1987.** Gelibolu Yarımadası ve Güneybatı Trakya Tersiyer havzasının stratigrafisi, sedimantolojisi ve tektoniği. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (yayımlanmamış rapor),no.8218.
- Sümengen, M. vd., 1991.** Güneybatı Trakya yöresi Eosen çökellerinin stratigrafisi. Maden Tetkik Arama Dergisi 113, sf. 17-30.
- Şahinci, A., 1991.** Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, İzmir, 548s.
- Şengüler, İ., Toprak, S., Kara, H., Öner, A., Tuncalı, E., Kır, N., 2000.** Güney Trakya Bölgesindeki Kömürlerin Petrografik İncelenmesi ve Ortamsal Yorumu, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 173 - 180.
- Şengüler, İ., 2008.** Trakya Havzası Kömür Arama Raporları, 2005-2006-2007 yılı sondaj verileri, MTA Raporları (yayımlanmamış), Ankara, sf. 6 - 32.

- Şengüler, İ. 2010.** Silivri-Çatalca (İstanbul) Kömürlerinin Kimyasal ve Organo-petrografik Özellikleri, 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, 264s.
- Şentürk, K., and A. I. Okay, 1984.** Blueschists discovered east of Saros Bay in Thrace: MTA Bull., 97/98, 72-75.
- Tapırdamaz, M. C., Yaltırak, C., 1997.** Trakya'da Senozoyik Volkaniklerinin Paleomanyetik Özellikleri ve Bölgenin Tektonik Evrimi, MTA Dergisi, 119, sf. 27 - 42.
- Temel, R. Ö., Çiftçi, N. B., 2002.** Gelibolu Yarımadası, Gökçeada ve Bozcaada Tersiyer çökellerinin stratigrafisi ve ortamsal özellikleri, Türkiye Petrol Jeologları Bülteni, 4, sf. 35 - 46.
- TSE-266, 2005.** Sular-insani amaçlı sular Türk standardı, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Turgut, S., Siyako, M., Dilki, A., 1983.** Trakya Havzası'nın Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, *Türkiye Jeoloji Kongresi Bülteni*, 4, 35-46.
- Türkecan, A. ve Yurtsever A., 2002.** İstanbul Paftası, 1:500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Umut, M, İmik, M., Kurt, Z., Özcan, İ., Sarıkaya, H. ve Saraç, G., 1983.** Tekirdağ, Silivri (İstanbul), Pınarhisar alanının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Teknik Rapor, 7349, (Yayınlanmamış).
- Umut, M., Imik, M., Kurt, Z., Özcan, I., Ateş, M., Karabıyıkoglu, M. ve Saraç, G., 1984.** Edirne iliKırklareli ili-Lüleburgaz(Kırklareli ili) Uzunköprü (Edirne ili) civarının jeolojisi: MTA Rap., No 7604.
- Umut, M., 1988a.** Kırklareli C5 Paftası ve İzahnamesi, 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, sf.10.
- Ünal, O. T., 1967.** Trakya Jeolojisi ve Petrol İmkanları, TPAO arama grubu arşivi (yayınlanmamış), rapor no 391, sf. 80.
- Üşümezsoy, Ş., 1982.** Igneous and Metamorphic Geology and Mineralization of Istranca Region: Jeotectonic Setting and Mineralizaion of Istranca Region. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 3 sf. 1-2.
- Varol, S., Davraz, A., Varol E., 2008.** Yeraltı suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi, TAF Preventive Medicine Bulletin, sf. 351 – 356
- Yaltırak, C. 1995.** Tectonic mechanism controlling the Plio-Quaternary sedimentation in the Gelibolu Peninsula. Geophysics, 9(10), sf.103-106.

EKLER

EK A Safaalan (Tekirdağ – Saray) Bölgesi Jeoloji Haritası

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ayşegül Oylum KAYALAR

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 12.11.1987

Lisans Üniversitesi: İ.T.Ü Jeoloji Mühendisliği Bölümü