



KÜTAHYA VE KÖPRÜÖREN OVALARINDAKİ
YÜZEY VE YERALTISULARINDAKİ
AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Meral ÖZCAN

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs - 2018

KÜTAHYA VE KÖPRÜÖREN OVALARINDAKİ YÜZEY VE YERALTISULARINDAKİ
AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Meral ÖZCAN

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ

Mayıs-2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Meral ÖZCAN'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Kütahya ve Köprüören Ovalarındaki Yüzey ve Yeraltısularındaki Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

15/05/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER

Bölüm Başkanı, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ

Danışman, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Nihat Hakan AKYOL

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %8 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ

Meral ÖZCAN

KÜTAHYA VE KÖPRÜÖREN OVALARINDAKİ YÜZEY VE YERALTISULARINDAKİ AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Meral ÖZCAN

Jeoloji Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Hüseyin KARAKUŞ

ÖZET

Çalışma, Kütahya ve Köprüören Ovalarının yüzey ve yeraltısularının ağır metal kirliliğinin ve bu kirleticilerin ne derece etkin olduğunun belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmaya literatür derlemesi ve öncül arazi çalışmaları ile başlanmıştır. Arazide belirlenen lokasyonlar GPS cihazı ile koordinatları alınarak CBS tabanlı yazılımlarla harita takımlarına aktarılmış ve lokasyonların dağılımları gözlemlenmiştir. Sonraki aşamada ise bu lokasyonlarda bulunan yüzey ve yeraltısularından fiziksel ölçümler ve örnekleme yapılmıştır. Elde edilen verilerle yörenin hidrojeoloji ve elektriksel iletkenlik (EC) haritaları oluşturulmuştur. Örnekleme yapılan numunelerin major iyon ve iz element derişimlerinin tespiti için kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre major iyon dağılım haritaları oluşturularak suların jeokimyasal özellikleri ve ovalardaki dağılımı tespit edilmiştir. Buna göre, yörenin yeraltısularının kimyasal fasiyesinin karbonatlı kayalarca denetlendiği görülmüştür. İz element derişimlerinin yüksek ppb değerlere ulaştığı sular, yörenin bazı kesimlerinde insan kaynaklı kirleticilere, bazı kesimlerinde ise jeojenik kökenli kirleticilere maruz kaldığını gösterir. Her iki ovada Arsenik(As) değerleri L1, L2, L6, L7, L11, L30, L32, L36, L37, L43 nolu lokasyonlarda 10 ppb üzeri değerlerdedir ve sınır değerleri aşmaktadır.

Kurşun(Pb) konsantrasyonları L2 lokasyonunda 10 ppb değer üzerinde olup sınır değerleri aşmıştır. Demir(Fe) konsantrasyonları L34 ve L35 noktalarında 200 ppb üzerindedir ve sınır değerleri aşmıştır. Antimon(Sb) konsantrasyonları L2, L11, L30, L32 lokasyonlarında 5 ppb üzerindedir ve sınır değerleri aşmıştır. Çinko(Zn) konsantrasyonları L10, L15, L25, L29, L30, L35, L36 lokasyonlarında 100 ppb değer üzerindedir ve sınır değerleri aşmıştır. Mangan(Mn) konsantrasyonları L9 lokasyonunda 50 ppb'den fazladır ve sınır değerleri aşmıştır. Bu suların içme suyu olarak kullanımına uygunluğu Ulusal ve Uluslararası Kalite Standartlarına göre tespit edilmiştir. Ayrıca, bu suların tarımsal sulamaya uygun olup olmadığı da tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Kirlilik, İz Element, Kirlilik, Köprüören, Kütahya, Yeraltısuyu.

INVESTIGATION OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN SURFACE AND GROUNDWATERS OF KÜTAHYA AND KÖPRÜÖREN PLAINS

Meral ÖZCAN

Geological Engineering, M.S. Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Hüseyin KARAKUŞ

SUMMARY

This study carried out for determining heavy metal contamination of the surface and groundwaters of Kutahya and Koprüören Plains and to specified the effectiveness of these contaminations. The study started with literature review and preliminary field studies. Coordinates of sampling locations was taken using GPS device and transferred to map sets with GIS based software. At the next stage, physical measurements and sampling were made from the surface and groundwater these locations. Hydrogeological and electrical conductivity maps were acquired with obtained data. Chemical analyzes were conducted to determine the major ion and trace element concentrations of the sampled samples.

According to chemical analysis results, major ion distribution maps were created and geochemical characteristics of water and its distribution in the plain were determined. According to this, it is seen that the chemical facies of the groundwaters of the region are controlled by dissolution of carbonated rocks. The waters where trace element concentrations reach high ppb values indicate that some parts of the area are exposed to human-induced and/or geogenic contaminant. Arsenic(As) values are over 10 ppb and exceed limit values in the L1, L2, L6, L7, L11, L30, L32, L36, L37 and L43 locations in both of plain.

Lead (Pb) concentrations are above 10 ppb and exceed limit values in L2 locations. Iron (Fe) concentrations were above 200 ppb exceed limit values in L34 and L35. Antimony (Sb) concentrations were above 5 ppb and exceed suggested limit values in L2, L11, L30 and L32. Zinc (Zn) concentrations are above 100 ppb in L10, L15, L25, L29, L30, L35 and L36. Manganese (Mn) concentrations exceed 50 ppb and exceed limit values in L9 location. The suitability of these waters as drinking water was determined according to National and International Quality Standards. In addition, the suitability of these waters as agricultural irrigation has been determined.

Keywords: Natural Contamination, Trace Element, Contamination, Koprüören, Kutahya, Groundwater .

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana her türlü bilgi, tecrübe ve yönlendirmesinden onur duyduğum, başta danışman hocam SayınDoç. Dr. Hüseyin Karakuş'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında bana emek ve zaman ayırıp her türlü desteği sağlayan SayınArş.Gör. Ali Samet Öngen'e, kimyasal analizleri gerçekleştiren Füsun Muslu ve Esin Orhan'ateşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, çalışmalarımı büyük bir sabırla karşılayan annem Remziye İyice ve oğlum Abdullah Pekuslu'ya, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Osman Özcan'a teşekkürü üzerime borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	3
3. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI	4
3.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve İklimi.....	4
3.2. Çalışma Alanının Hidrolojisi	9
3.2.1. Akarsular.....	9
3.3. Önceki Çalışmalar	10
4. JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ.....	13
4.1. Çalışma Alanının Stratigrafisi	13
4.1.1. Afyon zonu	13
4.1.2. Tavşanlı zonu	15
4.1.3. Örtü kayalar	15
4.1.4. Alt miyosen volkanitleri	16
4.2. Kütahya ve Köprüören Ovalarının Hidrojeolojik Özellikleri	17
5. JEOKİMYA.....	21
5.1. Yerde Ölçüm Parametreleri (Fiziksel Özellikler)	23
5.1.1. Sıcaklık.....	23
5.1.2. Özgül elektriksel iletkenlik (EC).....	25
5.1.3. Hidrojen iyon aktivitesi (pH)	25
5.2. Çalışma Alanındaki Yüzey ve Yeraltısularının Genel Kimyasal Özellikleri	27
5.2.1. Analiz hataları.....	27
5.3. Kimyasal Özellikler.....	30
5.3.1. Sodyum (Na ⁺) ve potasyum (K ⁺).....	30

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3.2. Kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+})	30
5.3.3. Klorür (Cl^-)	31
5.3.4. Alkalinite (CO_3^{2-} ve HCO_3^-)	31
5.3.5. Sülfat (SO_4^{2-})	31
5.4. Yeraltı suları kimyasını denetleyen jeokimyasal süreçler	34
5.5. Suların tarımsal sulamaya uygunluğu	42
6. İZ ELEMENT ANALİZLERİ	44
6.1. Arsenik (As)	45
6.2. Kurşun (Pb)	46
6.3. Çinko (Zn)	48
6.4. Demir (Fe)	51
6.5. Baryum (Ba)	51
6.6. Ulusal ve uluslararası standartlara göre suların kullanılabilirlik durumu	53
6.7. Kirlilik indisi	59
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR DİZİNİ	67
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.	4
3.2. Kütahya ilinin aylara göre sıcaklık grafiği.	6
3.3. Kütahya ilinin yağış ve sıcaklık grafiği.	6
4.1. Kütahya ve Köprüören ovalarının jeoloji haritası.	14
4.2. Kütahya Ovasının hidrojeolojik kesiti.	17
4.3. Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yeraltısuyu eşseviye dağılım haritası.	19
5.1. Örneklem noktalarının Kütahya ve Köprüören ovalarındaki dağılımı.	24
5.2. Çalışma alanındaki su örneklerinin elektriksel iletkenlik dağılım haritası.	26
5.3. Çalışma alanındaki su örneklerinin Cl derişimi dağılım haritası.	32
5.4. Çalışma alanındaki su örneklerinin SO ₄ derişimi dağılım haritası.	33
5.5. Çalışma alanındaki su örneklerinin Piper diyagramı ile gösterimi.	34
5.6. Örneklenen su noktalarına ait doygunluk analizi sonuçları.	36
5.7. İyonlar arasındaki korelasyon ilişkileri.	38
5.8. Kütahya ve Köprüören sularının Gibbs diyagramı.	40
5.9. Analiz sonuçlarının dairesel diyagramlarla gösterimi.	41
5.10. Örneklemesi yapılan su noktalarının a) Wilcox diyagramı, b) ABD tuzluluk Lab. diyagramı.	43
6.1. Arsenik (As) konsantrasyonu dağılım haritası.	47
6.2. Kurşun (Pb) konsantrasyonu dağılım haritası.	49
6.3. Çinko (Zn) konsantrasyonları dağılım haritası.	50
6.4. Demir konsantrasyonu dağılım haritası.	52
6.5. Baryum konsantrasyon dağılım haritası.	54
6.6. Kirlilik indisi (C _d) dağılım haritası.	62
6.7. Arsenik kirliliğinin baskın olduğu noktalar.	63
6.8. Zn kirliliğinin baskın olduğu L10 noktası.	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kütahya ilinin yıllık sıcaklık ve yağış verileri.	5
3.2. Aylık potansiyel evapotranspirasyon miktarları (mm).	7
3.3. Kütahya ilinin thornthwaite-mather bütçe yaklaşımı metodu (Thornthwaite and Mather, 1955) ile aylara göre hesaplanan yağış, ETp, ETa değerleri (mm).	8
5.1a. Örnekleme noktalarının UTM koordinatları (35. Dilim) ve fiziksel ölçüm sonuçları.	22
5.1b. Örnekleme noktalarının UTM koordinatları (36. Dilim) ve fiziksel ölçüm sonuçları.	23
5.2. TSE-266 Standartlarına göre suların pH sınıflandırılması.	27
5.3. Örneklenen su noktalarının kimyasal analiz sonuçları (ppm).	28
5.4. Çalışma alanından örneklenen su noktalarının pCO ₂ değerleri.....	37
5.5. Kimyasal parametrelerin korelasyon matrisi.....	39
5.6. Elektriksel iletkenlik değerlerine göre suların sınıflandırılması	42
6.1. İz element analiz sonuçları (ppb).	44
6.2. Ulusal ve uluslararası standartlara göre sınır değerler.	55
6.3. Kütahya ve Köprüören ovalarından örneklenen suların TS266'ya göre uygunlukları.....	57
6.4. Kütahya ve Köprüören ovalarındaki su noktalarında hesaplan C _d değerleri.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
DSİ	Devlet Su İşleri
EC	Elektriksel İletkenlik
TS	Türk Standartları
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
KB/GD	Kuzeybatı/Güneydoğu
FAO	Dünya Gıda ve Tarım Organizasyonu
MTA	Maden Tetkik Arama

1. GİRİŞ

Günümüzde modern yaşamın gereği olarak endüstrileşme, şehirleşme ve artan nüfusa paralel olarak çevre kirliliği artmakta, özellikle yağışlı dönemlerde muhtemelen insan kaynaklı olan kirletici unsurlar toprağa ve doğal sulara karışmaktadır. Bu kirletici unsurların başında ağır metaller/iz elementler yer alır. Ulusal (TS266) ve uluslararası standartlarda (WHO, 2004) içme sularında genelde 5 -50 µg/L derişim limitleri belirlenen bu elementlerin başlıcaları Pb, Cd, Zn Sb, Ni, Cr, Co, Hg, Se dir.

Kütahya ilinde ise bu kirliliğe neden olabilecek faktörlerin başında çeşitli sanayi kuruluşlarının yakıt tüketiminden kaynaklanan zehirli gazlar ve foseptik atıklar, tarımsal faaliyetlerde kullanılan suni ilaç ve gübreler, yerleşim yerlerinin kanalizasyon atıkları, eski gömülü çöp yığınları, ısınma amaçlı kullanılan soba ve doğalgaz bacalarından çıkan CO, CO₂ ve SO₂ gazları gibi hem havayı hem de doğal suları kirletebilecek unsurlar yer alır. Yörede bulunan Eti Gümüş, Seyitömer Termik santrali, Tuçbilek Termik Santrali, Azot Sanayi, çeşitli taş ocakları, yersel önemli sanayi kuruluşları gibi fabrika baca gazı ve foseptik atıklarının da kirletici özellikleri gözardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Günümüzde Kütahya ve Köprüören ovalarında yeraltısuyu kullanımı tarımsal sulama ile sınırlıdır. İçme suyu ihtiyacı şehir şebeke suyu sistemi ile karşılanmaktadır. Ancak, artan nüfus ve sanayileşmeye paralel olarak kullanılabilir nitelikteki su ihtiyacının artması kaçınılmazdır. Bununla birlikte Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan RCP4.5 iklim değişim senaryosuna göre birinci dönemde (2013-2040) özellikle bahar yağışlarında %20'lere varan düşüşler meydana geleceği öngörülmektedir (MGM, 2013). Aynı senaryoya göre 2041 -2070 yılları arasını kapsayan ikinci dönemde ise Kütahya ilini içini alan bölgede mevsimlere bağlı olarak yağışlarda %5-%20 arasında düşümler beklenmektedir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yeraltısularının yakın gelecekte olmasa bile orta vadede bölgedeki yerleşimlerin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılanması amacıyla kullanılması olasılığını arttırmaktadır. Bu bağlamda Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yüzey ve yeraltısularının mevcut niteliğinin tarımsal sulama ve içme suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi ivedilik arz etmektedir.

Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu araştırmanın amacı Kütahya ve Köprüören ovalarının yüzey ve yeraltısularındaki ağır metal kirliliğinin incelenmesi ve değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda bölgedeki su

noktaları belirlenerek arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları ile su noktalarına ilişkin özellikler (konum, kuyu, dere vb.) kayıt edilerek, fiziksel ölçümler (sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik) kaynak başında yapılmıştır. Su noktalarından örnekler derlenerek majör iyon ve iz element analizlerinin gerçekleştirildiği laboratuvara ulaştırılmıştır. Elde edilen kimyasal analiz sonuçları jeoistatistiksel yöntemler yardımı ile yapılan alansal dağılımlar eşliğinde değerlendirilmiş ve çalışma alanı içindeki su kaynaklarındaki ağır metal kirliliğinin hangi aşamada olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması 7 ayrı bölümden oluşmakta olup bunlar sırası ile;

- I. Bölüm, Giriş bölümü olup çalışmanın amaç ve kapsamını,
- II. Bölüm, çalışmanın malzeme ve metodlarını,
- III. Bölüm, inceleme alanının coğrafi ve iklimsel özellikleri ile önceki çalışmalardan oluşan literatür derlemesini,
- IV. Bölüm, Kütahya ve Köprüören ovalarının jeolojik ve hidrojeolojik ana hatlarını,
- V. Bölüm, çalışmaya konu olan kimyasal analizler için örnekleme işlemi, kimyasal analiz sonuçlarına göre yapılan fizikokimyasal değerlendirmeler ile majör iyon eşderişim haritalarının yorumlanmasını,
- VI. Bölüm, iz element analiz sonuçları ile TS266-İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği çerçevesinde bölgedeki suların içme suyu olarak kullanılabilme özelliklerinin değerlendirilmesini,
- VII. Bölüm ise sonuçlar ve önerileri kapsamaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmaya konu olan ovalardaki genç alüvyal alanın yayılımı ve bölgedeki jeolojik birimlerin litolojik özelliklerinin belirlenmesi için jeolojik amaçlı çalışmalar derlenmiş, söz konusu bölge için 1/200.000 ölçekli jeoloji haritaları oluşturulmuştur. Öncül arazi çalışmaları ile her iki ovanın alüvyonal kesimlerinden sığ keson kuyuların tespiti ile başlanmıştır. Yüzey sularından derelerden ve Enne Baraj gölünden lokasyonlar belirlenmiş, bu lokasyonlardan GPS yardımıyla koordinat alınmış ve harita takımına işlenmiştir. Lokasyonların dağılımları haritada gözlemlenmiş, gerekli görülen yerlerden tekrar lokasyon alınmış ve eksik görülen alanlar tamamlanmıştır. Daha sonraki aşamada ise bu kuyu ve yüzey sularından örnekleme ile birlikte, kuyulardan seviye ölçümleri, sıcaklık ölçümleri, pH, Elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılmıştır.

Arazi çalışmalarında kuyumetre, YSI 556 MPS model multiparameter ölçer, GPS, numune kabı kullanılmıştır. GPS ile koordinat belirleme, Kuyumetre ile seviye ölçümleri ve YSI 556 MPS ile elektriksel iletkenlik, pH ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Numune kaplarına ise analize göndermek üzere örnekleme yapılmıştır. Alınan numuneler +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Örnekleme yapılan numuneler, 500 ml ve 250 ml'lik numune kaplarına alınarak, Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Su Kimyası Laboratuvarına major iyon ve ağır metal analizleri için iletilmiştir.

Arazi ölçüm verileri haritalara aktarılmış ve elde edilen fiziksel ve kimyasal veriler CBS temelli yazılımlar ile işlenerek alansal yayılımı yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarından litoloji ve hidrojeolojik yapı arasındaki ilişkinin açıklanması için hidrojeokimyasal çalışmalarda yaygın olarak yararlanılan Piper diyagramı kullanılmıştır. Ağır metal analiz sonuçları TS266-İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği çerçevesinde değerlendirilerek elde edilen bulgular öneriler eşliğinde sunulmuştur.

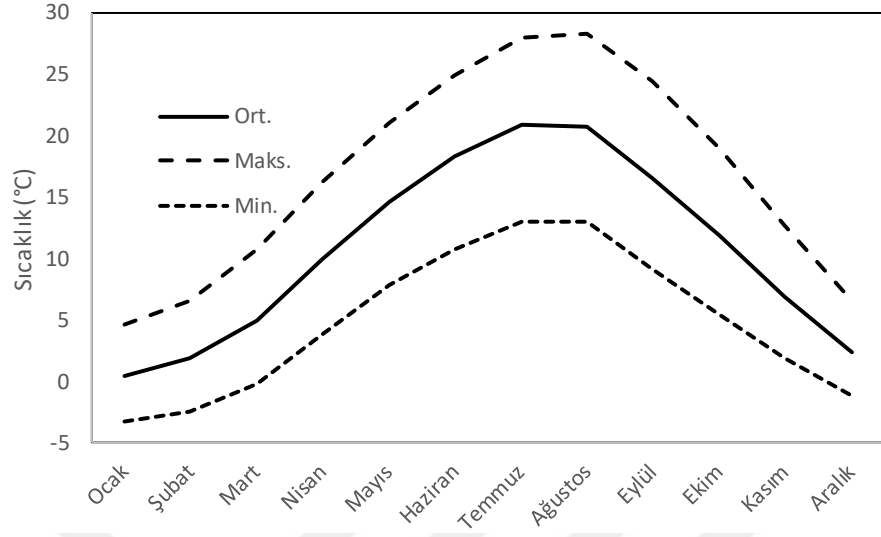
Kütahya ve Köprüören ovaları birbirinden Enne Barajı'nın inşa edildiği dar bir boğazdan ayrılır (Şekil 3.1). Köprüören Ovası 1020 m -1050 m kotları arasında yer alırken, Kütahya Ovası 920 m -970 m kotları arasında yer almaktadır. Her iki ovada da arazi eğimi %1'in altındadır. Düşük eğimli ovalık alanlar Kütahya'da yaklaşık 80 km², Köprüören'de ise 60 km² lik alan kaplar. Ovalarda tarımı yapılan başlıca ürünler buğday, arpa, nohut ve şeker pancarıdır.

Kütahya il merkezi karayolu ve demiryolu ağı üzerinde yer alır. Çevresindeki Eskişehir, Afyon, Uşak, Bursa ve Balıkesir illerine bölünmüş karayolu bağlantısı mevcuttur. Kütahya ili demiryolları ile kuzeyde Eskişehir'e, batıda Balıkesir'e, doğu'da ise Afyon'a bağlanmaktadır.

Bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı geçer. Batıda görülen Akdeniz iklimi ile İç Anadolu'nun tipik karasal iklimi arasında geçiş bölgesi olarak dikkat çeker. Yıllık ortalama sıcaklık 10.8 °C olup, en yüksek sıcaklıklar ortalama 20.9 °C ile temmuz ayında, en düşük sıcaklıklar ortalama 0,4 °C ile ocak ayında kaydedilmiştir (Çizelge 3.1, Şekil3.2).

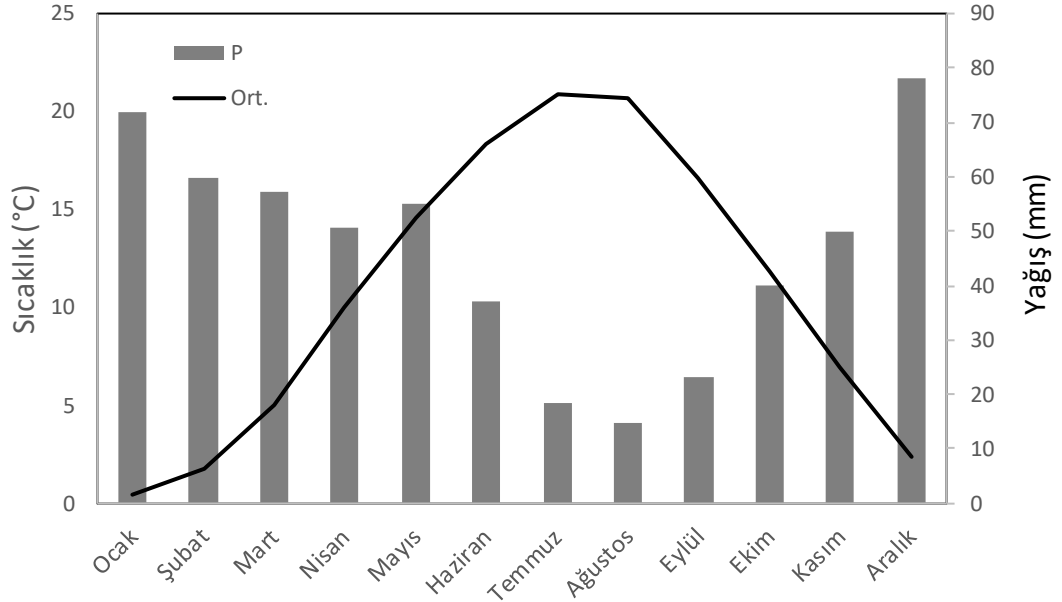
Çizelge 3.1. Kütahya ilinin yıllık sıcaklık ve yağış verileri (www.mgm.gov.tr).

	Ocak	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	Ort.
Ort.Sıc. (°C)	0,4	1,8	5	10	14,6	18,3	20,9	20,7	16,6	11,8	6,9	2,4	10,8
Min.Sıc. (°C)	4,6	6,5	10,7	16,2	21,1	25	28	28,4	24,5	19	12,7	6,5	16,9
Maks. Sıc. (°C)	-3,3	-2,5	-0,3	3,8	7,8	10,8	13	13	9,1	5,5	1,9	-1,2	4,8
Yağış (mm)	71,9	59,9	57,4	50,7	55,2	37,2	18,4	14,9	23,2	40,1	49,8	78,1	556,8



Şekil 3.2. Kütahya ilinin aylara göre sıcaklık grafiği.

Yıllık ortalama yağış yüksekliği 556,8 mm olup, en fazla yağış ortalama 78.1 mm ile aralık ayında, en az yağış ise 14.9 mm ile ağustos ayında düşmektedir (Çizelge 3.1, Şekil 3.3). Kış aylarında düşen yağışın önemli bir kısmı kar şeklindedir. Ovalardaki kar örtüsü 50-60 cm'yi geçmemektedir.



Şekil 3.3. Kütahya ilinin yağış ve sıcaklık grafiği.

Çizelge 3.1’de sunulan yıllık ortalama değerlerde Gerçek Evapotranspirasyon (ETa), TurcYöntemine göre aşağıdaki ampirik formüle göre hesaplanmıştır (Eşitlik 3.1-3.2).

$$ET_a = \left(\frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \right) \quad (3.1)$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (3.2)$$

$$ET_a = 430.4 \text{ mm'dir.}$$

Aylık ortalama sıcaklık verilerine göre aylık PotansiyelEvapotranspirasyon (ETp) ise Thontwaite (1948) eşitliğiyle aşağıdaki ampirik formüle göre hesaplanmıştır (Eşitlik 3.3-3.5).

$$ET_p = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (3.3)$$

$$a = (675 \times 10^{-9}) \times I^3 - (771 \times 10^{-7}) \times I^2 + (179 \times 10^{-4}) \times I + 0.492 \quad (3.4)$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1.514} \quad (3.5)$$

Burada;

ETp= Aylık Potansiyel Evapotranspirasyon miktarı (mm),

T= Aylık Ortalama Sıcaklık (°C),

I= Sıcaklık indisi,

J= Ay

olmak üzere, aylık potansiyel evapotranspirasyon miktarları mm olarak hesaplanmış ve sonuçlar aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Aylık potansiyel evapotranspirasyon miktarları (mm).

Aylar	Ocak	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Ekim	Kas.	Ara.k
ETp(mm)	0,4	3,9	18,6	53,4	95,2	134,4	164,6	162,2	115,8	68,8	30,3	6,1

$$\Sigma ET_p = 853,6 \text{ mm'dir.}$$

Kütahya Meteoroloji İstasyonunda kaydedilen 1929-2016 yılları arasındaki aylık ortalama yağışlar (Çizelge 3.1) ve Thorntwaite (1948) metodu kullanılarak hesaplanan buharlaşma-terleme kayıpları kullanılarak hesaplanan Thorntwaite-Mather Bütçe Yaklaşımı (Thorntwaite ve Mather, 1955) bileşenleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Bütçe bileşenlerinden biri olan rezerv su (toprağın su tutma kapasitesi) yüzeydeki toprak örtüsünün organik içeriğine, bitki desenine ve kök derinliğine bağlıdır (Mather, 1978). Rezerv Su aşağıda sunulan eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Food ve Fisheries, 2015).

$$\text{Rezerv Su} = \text{KD} \times \text{KSDK} \quad (3.6)$$

Burada, KD ve KSDK sırasıyla bitki kök derinliğini (m) ve kullanılabilir su depolama kapasitesini (mm/m) ifade etmektedir.

Kütahya ve Köprüören ovalarında genelde killi, kumlu çakıllı toprak örtüsü bulunur. KSDK değeri FAO (Dünya Gıda ve Tarım Organizasyonu)'nun Dünya Toprak Veri Bankası (Harmonized World Soil Database v1.2; FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC 2012) yardımı ile 150 mm/m olarak bulunmuştur. Bölgede buğday ve şekerpancarı ekimi yapıldığından buğday için KD değeri 0.15 m - 1.25 m arasında değişen kök derinliğinin (Oweis et al. 2001) ortalaması olan 0.7 m.; Şekerpancarı için ise KD değeri 0.3 m - 1 m (FAO 2016) arasında değişen kök derinliğinin ortalaması 0,65 m değeri kabul edilmiştir. Her iki ova için KD değeri bu iki değer ortalaması olan 0,675 m kabul edildiğinde Rezerv Su = 101,25 mm (0,675 m × 150 mm/m) olarak hesaplanmıştır. Bütçe çizelgesini sadeleştirmek amacıyla bu değer 100 mm alınarak bileşenler hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3. Kütahya ilinin thorntwaite-mather bütçe yaklaşımı metodu (Thorntwaite and Mather, 1955) ile aylara göre hesaplanan yağış, ETp, ETa değerleri (mm).

Aylar	Ocak	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Ekim	Kas.	Ara.	Top.
Yağış	71,9	59,9	57,4	50,7	55,2	37,2	18,4	14,9	23,2	40,1	49,8	78,1	556,8
ETp	0,4	3,9	18,6	53,4	95,2	134,4	164,6	162,2	115,8	68,8	30,3	6,1	853,7
Rezerv Su	100	100	100	97,3	57,3	0	0	0	0	0	19,5	91,5	
ETa	0,4	3,9	18,6	53,4	95,2	94,5	18,4	14,9	23,2	40,1	30,3	6,1	399
Fazla Su	63	56	38,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157,8
Eksik Su	0	0	0	0	0	39,9	146,2	147,3	92,6	28,7	0	0	454,7

Elde yıllık 399 mm'lik ETa değeri Turc yöntemi ile edilen 430 mm lik değer ile kısmen uyumludur. Birim alana düşen, yüzeysel akışa veya yeraltına sızan su miktarını ifade eden fazla su terimi 157,8 mm bulunmuştur. Bu değer, Kütahya Ovası'nın 80 km² lik alanı düşünüldüğünde

ovanın yağışlar ile gelen su potansiyelinin yaklaşık $80 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,1578 \text{ m} = 12,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ olduğunu ortaya koymaktadır. Köprüören Ovası için bu potansiyel $60 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,1578 \text{ m} = 9,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak çıkmaktadır. Şüphesiz bu miktarların bir kısmı ovalardaki yüzeysularına katılarak drene olmaktadır.

3.2. Çalışma Alanının Hidrolojisi

Kütahya İl Çevre Durum Raporu (2009)'a göre şehrin İçmesuyu ihtiyacının çok büyük bir kısmı porsuk kaynağından karşılanmakta olup 1990 yılında İller Bankası tarafından yaptırılan mevcut porsuk terfi merkezinin toplama odasına 2 ayrı kaynaktan su cazibe ile gelmektedir. Bunlardan birisi Porsuk Menba Kaptajı, diğeri ise Gelinkaya memba kaptajıdır. Aynı raporda Porsuk kaptajından gelen ortalama debinin yaklaşık 550 lt/s olduğu bildirilmektedir. Raporda ayrıca Gelinkaya kaptajından gelen suyun ortalama debisinin ise yaklaşık 450 lt/s olduğu bildirilmektedir. Böylece bu kaynaklardan elde edilen suyun ortalama toplam debisi $450 \text{ lt/s} + 550 \text{ lt/s} = 1000 \text{ lt/s}$ olduğu da bildirilmektedir. Çalışmada Kütahya şehri 2043 yılı İçme suyu ihtiyacının $0,840 \text{ m}^3/\text{s}$ olduğu ve bu durumda mevcut su kaynakları 2043 yılı nüfusuna göre içme suyu ihtiyacının karşılanacağı ve herhangi bir ilave su kaynağına ihtiyaç duyulmayacağı da kaydedilmiştir. Kütahya İl Çevre Durum Raporu (2009)'a göre, Kütahya şehir merkezinde içmesuyu ihtiyacının karşılandığı ikinci kaynak Aksu Memba'dır ve Memba verimi Kasım 1973'te debi ölçümü yapılmış olup 28 lt/s ölçülmüştür. Kaynak günümüzde de kullanmakta olup, halen 25 lt/s civarında debi akışının bulunduğu da raporda belirtilmiştir.

3.2.1. Akarsular

Çalışma alanında ana akarsu ağını Porsuk Çayı ve onun yan kolu olan Felent Çayı oluşturur. Her iki akarsu, Kütahya ovasının kuzey sınırında birleşerek Ilıca civarında Porsuk baraj gölüne dökülür.

Felent Çayı

DSI (1981)'e göre, Köprüören Havzası'nın kuzeybatısından Şahmelek –Örenköy-Çobanköy, Şenlik, İsaköy yöresinden doğar ve Örenköy'de iki koldan birleşir, Köprüören Ovasını doğu-batı istikametinde katederek Enne Baraj Gölüne ulaşır. Daha sonra Kütahya'nın kuzeydoğusunda Porsuk Çayı'na ulaşır. Uzunluğu 35 km., ortalama debisi $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

Porsuk Çayı

Porsuk Ovasının en önemli akarsuyu Porsuk Çayıdır. Havza dışından doğan ve Çat Tepenin güneyinde havzaya giren Porsuk Çayı havza dahilinde Güvezdere, Çaydere ve Değirmen

Dereyi alarak Porsuk Baraj Gölü sahasına ulaşır. Porsuk Barajından çıktıktan sonra Karkın Deresi, Uludere ve Musaözü Deresini alarak havzayı terk eder. Kuzeybatıda bulunan Koca Dere, Güvenaz Dere ve Yeniköy’de birleşir ve baraj gölü sahasına girer.

3.3. Önceki Çalışmalar

DSI (1981)’ ne göre, her iki ovanın da hidrojeolojik özelliklerini aydınlatmak amacıyla yapılan ilk çalışma DSI Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Daire Başkanlığınca “Kütahya Ovası Hidrojeolojik ve Yeraltısuyu Rezerv Raporu” ve “Kütahya- Köprüören Ovası Yeraltısuyu Çalışma Raporu” adları altında çalışılmıştır. Sonraki yıllarda ise 5 adet araştırma sondaj kuyuları açılmış ve kısmen hidrojeolojik özellikleri aydınlatılmaya çalışılmıştır. 1965 yılında ise bu çalışmalara ek olarak “Kütahya Ovası Jeofizik Rezistivite Etüdü Raporu” adı altında çalışma yapılmıştır. Hazırlanan rapora göre; Kütahya Ovasının Neojen yaşlı kireçtaşlarının geçildiği araştırma sondajları pompalama testlerinde (T) iletkenlik katsayısının $141 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ ile $876 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ arası, özgül debilerin $0,4 \text{ lt/s/m}$ ile 35 lt/s/m arası olduğu tespit edilmiştir.

DSI’(1981) ne göre, Köprüören ovasında yapılan çalışmalarda, akifer kalınlıklarının 200-300 m olduğu, iletkenlik katsayısının $590 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ ve özgül debinin 5 lt/s/m olduğu tespit edilmiştir. Ovada yeraltısuyu akımı Felent çayı boyunca batıdan doğuya doğru ilerlemektedir. Boşalım ise ovanın kuzeydoğusunda Porsuk çayına ulaşmaktadır. Buna göre; beslenme ve boşalım ile ilgili yeraltısuyunun ortalama yıllık seviye değişimlerinin 0,5 ile 2,5 m arasında olduğu da yapılan bu çalışmalarda tespit edilmiştir. Her iki ova içerisindeki Porsuk ve Felent çayları ve bunları besleyen akarsulardan alınan numunelerin kimyasal analiz sonuçlarına göre akarsular oldukça bazik ($\text{Ph} > 8,2$), orta tuzlu, kalsiyum bikarbonatlı, düşük klorürlü olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu kaynak sularının, akarsuların ve sondaj kuyularındaki suların tarımsal amaçlı kullanımında bir sakınca tespit edilmemiş, mevcut durum o yıllardaki kriterlere uygun olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında yapılan bir diğer çalışma ise Kütahya yerleşim alanının jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla Zengin (2013) tarafından yapılan çalışmadır. Araştırmacı zemin özelliklerini farklı lokasyonlardan örnekleme yapıp, fiziksel ve indeks, konsolidasyon ve şişme deneyleri gerçekleştirmiş, görgül yaklaşımlar ile şişme parametreleri ve alansal dağılımlarını tespit etmiştir. Yörenin depremselliğini göz önünde bulundurarak güvenlik katsayılarını ve sıvılaşma potansiyeli indeksi parametrelerini hesaplamış ve sonuçları haritalama yaparak değerlendirmiş ve Kütahya yerleşim yerlerinin bazı yerlerinde çok yüksek ve yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip olduğunu tespit etmiştir.

Ergun (1965), yörenin jeolojik ve hidrojeolojik yapısını, jeofizik yöntemlerle araştırmış, rezistivite ölçümleri yapmıştır. Araştırmacı 27 değişik lokasyondan ölçümler yapmış, aynı zamanda bu lokasyonlarda 10 adet sondaj kuyuları açılmıştır. Araştırma sonucuna göre Kütahya ovasının doğu ve batı olarak ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini, belirtmiştir. Batı kesimlerde toprak örtüsünün hemen altında killi, kumlu, çakıllı seviyelerin geniş yayılım gösterdiğini belirterek, Bölcek mevkiinde şistler ve serpantinlerden oluşan taban kayalarla biraradalık bulunduğunu belirtmiştir. Bölgenin doğu kesiminde toprak örtüsünün altında blok halindeki çakıllarla çakıllı killerin, diğer kesimlerde ise kil, marn, marnlı kalker ve kalkerlerin bulunduğunu tespit etmiştir. Ayrıca tektonik özelliklerini belirtirken, faylanma ve aktif fay zonunun Yellice dağı eteklerinden geçtiğini vurgulamıştır. Araştırmacıya göre bölge yapısal jeoloji ve tektonik açıdan karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir.

Biçer (1981), 1977-1978 yıllarında Kütahya ve Köprüören Ovalarının Yeraltısuyunun bulunduğu lokasyonların tespiti, derinliği, miktarı ve kalitesini belirlemek amacıyla, her iki ovada da toplamda 1578 km²'lik alanda çalışmıştır. 1932-1977 meteorolojik verilerine göre, yıllık ortalama yağış miktarını 516.4 mm olarak değerlendirmiştir. Yazar, çalışma alanındaki alüvyon kalınlığının 10-100 m arası olduğunu, en önemli akifer özellik sunan birimlerin Neojen kireçtaşları olduğunu, akiferin iletimlilik katsayısının 141 m²/gün ile 876 m²/gün arası, Özgül verimin 0,4 lt/s/m ile 35 lt/s/m arası değiştiğini ifade etmiştir. Kütahya ovasının yıllık besleniminin 73 x 10⁶ m³/yıl olduğunu, yıllık yeraltısuyu seviye değişimlerinin 0,5-2,5 m arası olduğunu ve yeraltısuyu akımının batıdan doğuya doğru Felent çayı boyunca olup Porsuk çayına ulaştığını, toplam boşalımın %85'inin emniyetli verimle yeraltısuyundan çekilebileceğini vurgulamıştır.

DSI (1985) tarafından yapılan Kütahya- Eskişehir illerini de kapsayan drenaj alanı 1690 km²'lik Eskişehir-İnönü ovaları ile Yukarı Sakarya Havzası arasındaki bölgenin hidrojeolojik özelliklerini ve jeolojik yapısını aydınlatmak amacıyla çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, jeofizik veriler özgül debisi 0.5 lt/s/m ve debisi 20-30 lt/s arası değişim gösteren akifer birimin tüflerden oluştuğu bildirilmiştir. Havzanın kuzey kesimlerinde işletmeye uygun yeterli miktarda yeraltısuyu barındıran akiferin bulunmadığı ve bu kesimlerde açılması planlanan kuyuların Gamma-ray, sp ve tek nokta rezistivite logları alınması gerektiği ve ölçüm sonucu verilere göre kuyu açılması gerektiği de bildirilmiştir (DSI, 1985).

DSI (2003) tarafından Kütahya ili, merkez ilçesi ve batısında bulunan 15 km²'lik ovanın sulama projesi kapsamında 450 km²'lik alanda Kütahya ve çevresinde yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı Arıkaya formasyonunu ve Mesozoyik yaşlı Çöğürler Karmaşığının akifer özelliklerinin

araştırılması amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada meteorolojik veriler değerlendirilmiş, açılması planlanan sondaj kuyularının lokasyon, derinlik ve yeraltı jeolojisinin aydınlatılması amacıyla jeofizik rezistivite etütleri yapılmıştır (DSI, 2003). Çalışmalar sonucunda sodyum yüzdesi ve elektiksel iletkenlik değerlerine göre Wilcox diyagramı kullanılarak yeraltısuyunun “çok iyi-iyi” ve “iyi-kullanılabilir” olduğu belirlenmiştir. Yeraltı suları SAR ve Ec değerleri ABD Tuzluluk diyagramına göre incelenmiş ve sulamaya uygun olduğu tespit edilmiştir. Sondaj kuyu sularında pH 7,49 – 7,74 arası, Ec değerleri 463 mikroohm/cm ile 698 mikroohm/cm arası, sertlikleri ise 22,75 – 35,5 FS arası olduğu bildirilmiştir. Yapılan çalışmada Çöğürler karmaşığının akifer özellikte olduğu, açılmış olan sondaj kuyularında debi ölçümlerinin 71- 73lt/s arası ölçüldüğü ifade edilmiştir. Ovanın yıllık beslenimin 5,56 m³/yıl, emniyetli verimin işletme rezervi olarak kullanıldığı takdirde 4,44 x 10⁶ m³/yıl olarak hesaplandığı vurgulanmaktadır (DSI, 2013).

Arslan (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, Köprüören ovasının yeraltısuyunun ve toprak numunelerinin tarımsal kullanım için uygunluğunu tespit etmek amacıyla, su, toprak ve bitki numunelerinin ağır metal analizleri yapıp değerlendirmiştir. Araştırmacı, yöredeki yeraltısuyunun ve tarım arazilerinin ağır metallerce kirletildiğini ve bu kirleticilerin yer yer jeolojik, yer yer insan kaynaklı olduğunu bildirmiştir.

4. JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

Kütahya ve Köprüören ovaları, Türkiye'nin neotektonik dönemi gerilmeli tektonik rejimi etkisinde gelişmiş çöküntü yapılarından. Ovaların gelişimi güneylerinde yer alan yükselim alanları ile düzlükleri ayıran eğim bileşeni baskın KB-GD gidişli basamaklı bir fay dizisi tarafından denetlenmektedir. Ovaları çevreleyen yükselim alanlarında Paleozoyik ve Mesozoyik dönemlerine ait birimler yer alır. Ovalık bölüm ise Kuvaterner ve Pliyo-Kuvaterner genç çökel dolguludur. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası MTA tarafından hazırlanmış olan 1/500000 ölçekli İzmir ve Ankara paftaları ile Özburan (2009) tarafından yapılmış haritalardan derlenerek Şekil 4.1'de sunulmuştur. Bu bölümdeki litolojik tanımlar ve birim isimleri ise Özburan (2009)'a göre yapılmıştır.

4.1. Çalışma Alanının Stratigrafisi

Kütahya ve çevresinde temel kayaları Afyon Zonu'na (Kaya, 1972; Gün vd., 1979; Okay, 1986) ait şist ve mermer ve kristalize kireçtaşlarından oluşan metamorfik kayalar ve bunların üzerine tektonik dokanakla yerleşmiş ofiyolitler oluşturur. Temele ait bu kayaların üzerinde uyumsuz olarak göl ve akarsu ortamını yansıtan, volkaniklerle girik, kırıntılı ve karbonatlı kalın bir örtü istifi yer alır. Neotektonik dönemde grabenlerin oluşum sırası ve sonrasında gelişen daha genç flüviyal çökeller graben dolgusu olarak bulunur (Özburan, 2009). Bölgedeki kayaç grupları Okay (1984a, 1986, 2011) tarafından tanımlanan Afyon Zonu ve Tavşanlı Zonu ile örtü kayaları olmak üzere üç ayrı zon içinde ayırtlanmıştır.

4.1.1. Afyon zonu

İlk olarak Okay (1984b) tarafından ayırtlanan Afyon zonu metamorfikleri batıda görülen Menderes Masifi gnaysları üzerinde örtü kayaları olarak durur (Kaya, 1972; Gün vd., 1979; Okay, 1986). Kalınlıkları 1500 m'yi bulan bu kayalar çoğunlukla düşük dereceli metamorfik kayalardan, metakumtaşı, metakiltaşı, metakuvarsit ve metabazit, rekristalize kireçtaşları gibi yeşilşist ve mavişist kuşağında değerlendirilir (Okay, 1984). Bölgede Sarıcasu ve Arıkayası formasyonları ile temsil edilir.

Sarıcasu formasyonu

Akdeniz ve Konak (1979), formasyonu Sarıcasu Formasyonu adı altında değerlendirdiği çalışmalarını Simav ve çevresinde gerçekleştirmişlerdir. Birim başlıca mikaşistlerden oluşmuş olup yer yer rekristalize kireçtaşları ve mermer mostraları da değişik ölçeklerde gözlemlenmiştir. Çalışma alanında Yellice Dağı ve eteklerinde yüzeyleyen bu birim, bölgedeki en yaşlı taban

Arıkaya formasyonu

Birim ilk olarak Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Arıkaya formasyonu olarak değerlendirilmiştir. Başlıca kristalize kireçtaşı, mermerlerden ve yer yer dolomitik kireçtaşlarından oluştuğu, fay zonuna yakın yerlerde yoğun makaslamaya uğramış breş dokulu olarak gözlenir. Birimin kalınlığı 400 m civarı olup, Kütahya Fay Zonuna yakın yerlerde fay pudrası ismiyle nitelendirilmiştir (Özburan, 2009). Arıkaya formasyonu tektonik dokanakra Kocasu Formasyonu tarafından üzerlenir. Birimin yaşı çoğu araştırmacıya göre içeriğindeki fosil bulgulardan Üst Permien-Alt Triyas olarak yaşlandırma yapılmıştır. Yellice Dağı'nın üst kesimlerinde çatlaklı ve kırıklı, yer yer karstik oluşuklar bulundurulur.

4.1.2. Tavşanlı zonu

Çalışma alanı içindeki Tavşanlı Zonu kayaçları farklı araştırmacılar tarafından Ovacık Melanjı ile Kınık Ofiyoliti adı altında incelenmiştir. Ovacık Melanjı, Okay (1981)'e yüksek basınç/düşük sıcaklık metamorfizması geçirmiş bazik lav, volkanik aglomera, tuf, radyolaryalı çört, kırmızı ve yeşil şeyl, serpantin, talk, grovak ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Kınık Ofiyoliti ise peridotit, harzburgit, serpantin, splitik diyabaz ve serpantinleşmiş harzburgitlerden oluşur (Özburan, 2009).

4.1.3. Örtü kayaçlar

Alt-orta miyosen

Genelde kaba kırıntılardan oluşan birim Alt-Orta Miyosen yaş aralığına sahip, Beke Formasyonu (Baş, 1983), Çayca Tüfü (Özburan, 2009) ile Çokköy Formasyonu (Baş, 1983) adları altında incelenmiştir. Kütahya ve çevresindeki graben çöküntülerinin ilk dolgusu şeklinde oluşmuş Alt Miyosen yaşlı Beke Formasyonu alacalı, kırmızı, bordo renkli, kahverengi, sarımsı yer yer gri renkli kaba konglomera, kumtaşı ve üste doğru kıltaşı marnlardan oluşur (Özburan, 2009).

Kütahya Ovası'nın KD'dunda geniş bir alanda yüzeyleyen tuf birimleri Çayca Tüfü (Özburan, 2009) olarak incelenmiş olup genelde kirli beyaz, açık sarı renkli olan bu tüflerin yaşı için araştırmacı tarafından Orta Miyosen yaşı önerilmiştir.

Bölge genelinde geniş yayılım sunan konglomera, kumtaşı, marn ve yer yer karbonat seviyeleri içeren birimler Baş (1983) ve Özburan (2009) tarafından Çokköy Formasyonu adı altında incelenmiştir. Baş (1983) tarafından Pliyosen, Özburan (2009) tarafından Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşı önerilen bu birimler MTA (2002) haritalarında Orta Miyosen yaşlı gösterilmiştir.

Gölsel karbonatlar

Akdeniz ve Konak (1979) tarafından yapılan çalışmada bu birimler Emet Formasyonu adıyla ayırtlanmıştır. Kireçtaşı ve marndan oluşan birim 150 m'yi bulan kalınlığıyla bölgede geniş alanda yüzlek verir (Özburan, 2009). Formasyon tabanda killi, kumlu seviyelerle başlayıp üste doğru beyaz, kirli beyaz, sarımsı, açık gri ve bej renkli gözlemlenebilen istif, çamurtaşı, marn, çörtlü ve silisifiye kireçtaşlarıyla aralanmalı istif şeklindedir (Özburan, 2009). Farklı araştırmacılarca değişik yaş verilen birim Özburan (2009) tarafından Alt Pliyosen olarak kabul edilmiş, MTA (2002) haritalarında Üst Miyosen olarak gösterilmiştir.

Pliyo-kuvaterner

Kütahya ovasının kuzey- kuzeybatısında ve Yellice Değî eteklerinde uzun bir hat boyu gözlemlenen Pliyo-Kuvaterner birimler Kirazpınar Formasyonu olarak adlandırılmış (Özburan,2009) olup pekişmiş-yarı pekişmiş çimentolanma derecesinde, sarımsı, bej ve kırmızımsı renkli çakıtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşur. Yellice Dağı etekleri boyunca Kütahya Fay zonunun değişik kesimlerinde oluşan alüvyal yelpazeler ise Kütahya Formasyonu olarak ayırtlanmıştır (Özburan, 2009).

Kuvaterner

Köprüören Ovası'nda tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kilden oluşan eski akarsu çökelleri olarak ayırtlanan birim Özburan (2009) tarafından Yakaca Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Baş (1983) göre “eski alüvyon” olarak nitelendirilen formasyon kırmızımsı, pembemsi, kahverengi tonlarda ve gri-boz renklerde tutturulmamış malzemelerden oluşur.

Kütahya Ovası'ndaki alüvyon ise iki ovada drenajı sağlayan dereler ve Porsuk çayının bıraktığı çökellerdir. Genellikle çakıl, kum, silt, kil boyutu malzemelerden oluşan sedimanların en önemli kaynağı özellikle Felent çayı ve Porsuk çayıdır (Özburan, 2009). Kütahya ovasında yaklaşık 80 km² lik bir alanı kaplayan alüvyonun kalınlığı DSİ (1981)'e göre bazı bölgelerde 100 m'yi aşmaktadır.

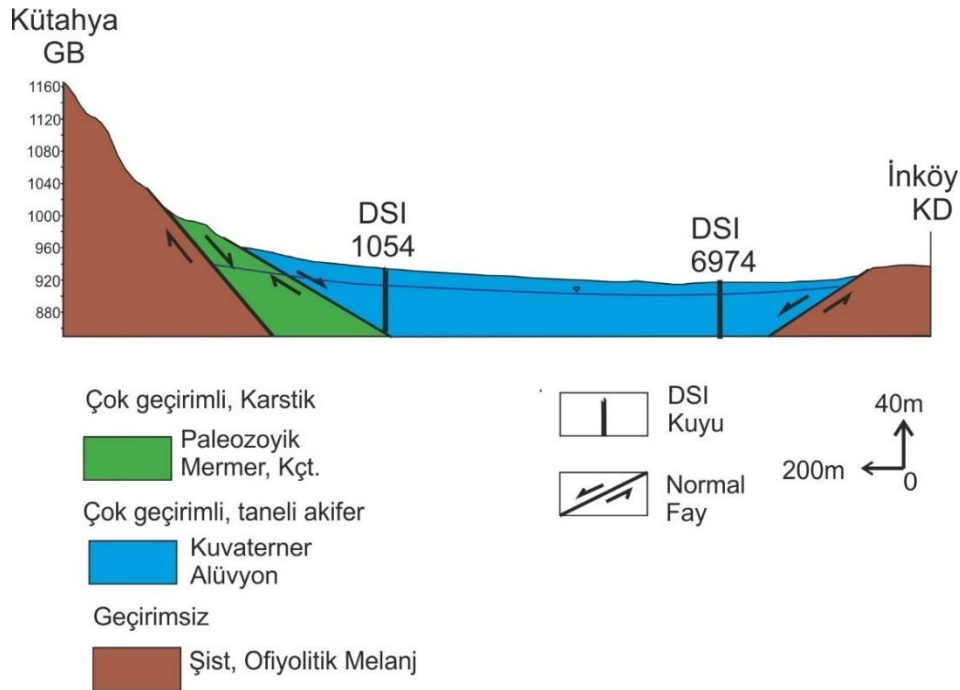
4.1.4. Alt miyosen volkanitleri

Köprüören Ovası GB'sın yer alan Gümüşköy'de yüzlek veren volkanitler başlıca andezit ve bazalttan oluşmaktadır. MTA (2002) haritalarında Alt Miyosen yaşı verilen bu volkanitler aynı zamanda Gümüşköy'deki gümüş işletme tesislerinin hammaddesini oluşturmaktadır.

4.2. Kütahya ve Köprüören Ovalarının Hidrojeolojik Özellikleri

Kütahya ve Köprüören ovalarında DSI tarafından açılmış olan sondaj kuyuları ve bu kuyuların logları, çalışma alanının alüvyon akiferin özelliklerini belirtmek açısından önemlidir. Nitekim, yörede en kapsamlı çalışma kurum tarafından yapılmıştır. Her iki ova Felent çayı ile birbirinden ayrıldığından akifer özelliklerinin değerlendirilmesi ayrı ayrı yapılacaktır. Buna göre;

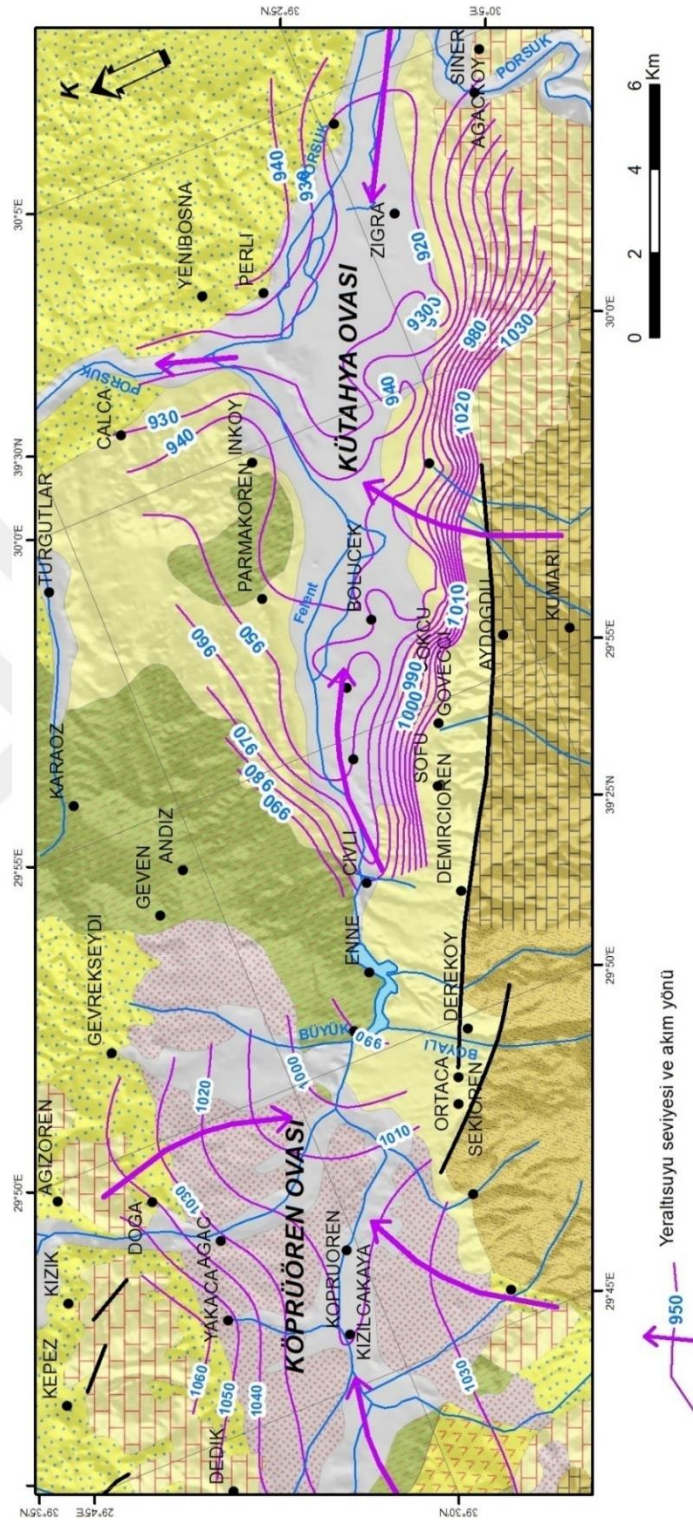
Kütahya Ovası: Ovada alüvyonun yüzelediği alan 80 km²'lik alanı kapsar. Kurum tarafından yapılan sondaj çalışmalarında alüvyon kalınlıkları 10- 100 m arası değiştiği görülür. Ovanın doğusunda Aşağısaka ile Ağaçköy ve Alayunt arasında alüvyon kalınlığı 10-20 m arasında değişir. Kütahya il merkezi ile Azot Sanayi arasında kalan bölgede ise alüvyon 20-100 m arası değişir. Kuzey kesimlerde ise Porsuk ve Felent çaylarının taşıdığı sedimanlar ve eski taraça çökelleri nedeniyle alüvyon kalınlığının 100 m'yi aştığı görülür. Ovanın batı kesiminde Kirazpınar ile Kütahya merkezi arasında kalan bölgede ise alüvyon kalınlıkları ince olup 10-40 m arası değişir (DSI, 1981). Ovada açılan sondaj kuyularından pompalama deneyi ile 3-40 l/s arası değişen debiye, özgül debilerin 1-3 l/s/m arası değiştiği, iletimlilik katsayısı 210 m³/gün/m olduğu tespit edilmiştir. Ovada yeraltısuyu seviyeleri yüzeyden 1.5-9 m arası derinliğe sahiptir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kütahya Ovasının hidrojeolojik kesiti.

Köprüören Ovası: Köprüören ovasında alüvyonun yüzelediği alan 88 km²'lik alandır. Kalınlığı ise 40 m civarında olduğu gözlemlenmiştir (DSİ, 1981).

Kütahya Ovasının yeraltısuyu seviye dağılımlarının tespiti için ovada belirlenen kesimlerden sığ keson kuyular tespit edilmiş, belirlenen lokasyonlarda seviye ölçümleri yapılmış, elde edilen veriler harita takımına işlenmiştir. Yeraltısuyu seviye dağılımı belirlemek amacı ile çalışma konusu olan ovalık alanlar dışında, yükselim alanlarındaki kaynaklar ile Paleozoyik şist ve mermerlerde açılmış olan kuyulardan da ölçümler alınmıştır. Elde edilen veriler CBS tabanlı ARCGIS yazılımına aktarılmış, Spatial Analyst uzantısı yardımı ile yeraltısuyu eşseviye dağılım haritası hazırlanmıştır. Buna göre hazırlanan yeraltısuyu eşseviye dağılım haritası Şekil 4.3'de verilmiştir. Ovada yeraltısuyu seviyeleri yüzeyden 1.5-6 m arası derinliktedir.



Şekil 4.3. Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yeraltısıyu eşseviye dağılım haritası.

Hazırlanan Seviye Dağılım Haritasına göre, yeraltısıyu akım yönü kuzeydoğuya doğru olmaktadır. Güneyde topografyanın yükselmesiyle yeraltısıyu seviyesi de yükselmekte ve ovaya

doğru topografyaya uygun olarak düşmektedir. Dolayısıyla yüksek kesimlerde hidrolik yük yüksek, alçak kesimlerde ise hidrolik yük daha düşüktür. Yeraltısuyu akım yönü yüksek hidrolik yükün olduğu kesimlerden daha düşük olduğu kesimlere doğru olacağından yapılan çalışma sonucunda da hazırlanan haritadan yeraltısuyunun akım yönünün kuzeydoğu yönünde Felent Çayı doğrultusunda olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.3).

Hazırlanan haritaya göre tespit edilen bu sonuç, DSI’ce hazırlanmış olan ovanın hidrojeoloji haritasıyla uyumludur. Yorumlamalar, bölgede hidrojeoloji alanında DSI Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı’nca hazırlanan “Kütahya Ovası Yeraltısuyu Rezerv Raporu” ve “Kütahya Köprüören Ovası Yeraltısuyu Çalışma Raporu’nda” belirtilen yorumlamalarla benzerlik gösterir. Raporda ovanın batı kesimlerinde yeraltısuyu akımı batıdan doğuya doğru Felent Çayı boyunca olduğu ve ovanın kuzeydoğusunda Porsuk Çayına ulaştığı ifade edilmektedir.

5. JEOKİMYA

Bu çalışmanın esas konusu teşkil eden jeokimyasal değerlendirmeler için örnekleme ve analiz işlemleri yapılmıştır. Kütahya ve Köprüören ovalarındaki genelde Kuvaterner ve Pliyo-Kuvaterner çökellerde açılmış kuyular ve derelerden olmak üzere toplamda 43 adet su noktasında, fiziksel özellikleri belirlemek amacıyla arazide sıcaklık, EC, pH ölçümleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Örnekleme noktaları her iki ovanın alansal yayılımını temsil edecek şekilde seçilmiş olup arazide örnekleme yapılan bu noktaların UTM koordinatları ile birlikte ölçülen fiziksel özellikleri Çizelge 5.1 de sunulmuştur. Ölçüm ve örnekleme çalışmaları bölgenin yağışlı dönemi olarak kabul edilen Nisan 2017 ayında yapılmış olup örnekleme noktalarının dağılımı Şekil 5.1’de sunulmuştur.

Örnekleme çalışmaları sırasında suların sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC) ve pH ölçümleri YSI 556 MPS model multiparametre ölçer ile yapılmıştır. Kuyulardaki su seviye ölçümleri kuyumetre ile yapılmış, koordinatlar ise el tipi GPS ile alınmıştır. Ölçümler öncesinde cihazlar standart çözeltilerle (pH için pH= 4.01 ve pH= 7.01 standart çözeltileri ile; EC için EC= 1413 μ S/cm çözeltisi ile) kalibre edilmiştir. Örnekleme aşamasında;

- Majör analizler için: Katyonlar analizleri için 500 ml. lik polietilen şişelere filtre edilerek örnekler alınmıştır. Anyon analizleri için, su numuneleri yine aynı tür ve hacimdeki şişelere hava kabarcığı kalmayacak şekilde (blank) alınmıştır.
- Ağır metal ve iz element analizleri için: Su numuneleri filtre edilerek 200 ml. lik polietilen şişelere alınmıştır.

Araziden alınan örnekler +4 °C sıcaklığında (buzdolabında) analiz edilinceye kadar korumaya alınmıştır. Örnekler, Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Müh. ABD. Su Kimyası Laboratuvarına ulaştırılmış ve ilgili analizler burada gerçekleştirilmiştir. Analiz işlemlerinde kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

- Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , SO_4^{-2} , vb. major iyon ile F^{-} , Br^{-} , PO_4^{-3} , NO_3^{-} ve NO_2^{-} analizleri iyon kromatografi yöntemi (Dionex model) ile,
- CO_3 - HCO_3 analizleri ise hata sınırı ± 3 mg/l olan titrimetrik yöntem ile,
- İz element analizleri ICP-MS yöntemi ile,

gerçekleştirilmiştir. Arazide lokasyon olarak belirlenen koordinatlar ve ölçülen pH, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık değerleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.1a-b).

Çizelge 5.1a. Örneklem noktalarının UTM koordinatları (35. Dilim) ve fiziksel ölçüm sonuçları.

Kod	Lokasyon	Örnek Türü	Doğu	Kuzey	Rakım (m)	pH	EC (µS/cm)	T (°C)
L1	Köprüören	Kuyu	737631	4376805	1022	7,67	1689	9
L2	Köprüören dere	Dere	736802	4376630	1007	8,25	616	10
L3	Gümüşköy	Kuyu	737875	4373780	1041	8,25	662	9,06
L4	Kızılcakaya	Kuyu	740089	4373682	1034	7,79	668	10,68
L5	Yakacaköy	Kuyu	738878	4379080	1019	7,95	1141	11,80
L6	Örenköy-Dedik dere	Dere	736249	4377723	1017	8,38	1096	9,80
L7	Örenköy	Kuyu	733663	4378350	1031	7,53	801	11
L8	Ağaçköy	Kuyu	741052	4378649	1028	7,71	798	12,43
L9	Yoncalı	Kuyu	744573	4375411	1002	7,58	938	-
L10	Seydiköy	Kuyu	745821	4378973	1044	7,75	740	-
L11	Enne Barajı	Dere	746339	4373299	991	8,70	615	11,90
L12	Civli	Kuyu	747916	4372536	965	7,75	738	11,40
L13	Civli2	Kuyu	748195	4372363	956	8,40	323	7,90
L14	Civli dere	Dere	749300	4372206	946	7,99	783	9,50
L15	Kirazpınar	Kuyu	750552	4371281	964	7,46	802	10,60
L16	Kirazpınar2	Kuyu	751158	4371832	946	7,55	778	8,80
L17	Dumlupınar	Kuyu	752078	4371866	943	7,78	829	-
L18	Mehmet Ali Ceylan	Kuyu	750797	4370258	973	7,92	475	12,70
L19	Evliya Çelebi	Kuyu	753326	4368794	956	7,89	662	10,04
L20	Yavuz Selim Külliye	Kuyu	752820	4370878	948	7,78	668	13,50
L21	Mehmet Ali Yurttaş	Kuyu	753751	4370311	942	7,42	1567	12,70
L22	Parmakören dere	Dere	755195	4370012	928	7,83	857	11,40
L23	Parmakören	Kuyu	754457	4371832	932	7,52	837	12,60
L24	Parmakören fırın	Kuyu	753850	4372435	935	7,47	793	12,50
L25	Parmakören bahçe	Kuyu	752802	4372374	940	7,56	738	12,20
L26	Parmakören dere	Dere	752616	4372033	939	7,81	744	9,60
L27	TOKİ dere	Dere	756713	4370142	930	8,17	877	10,10
L28	İnköy mera	Kuyu	756991	4370374	929	7,70	1853	11
L29	İnköy mera	Kuyu	757529	4370786	926	7,85	742	12,70
L30	Sanayi	Kuyu	755883	4368555	937	7,44	832	13,60
L31	Şeker Fabrikası yanı	Kuyu	757044	4368941	940	7,63	814	13,80
L32	İstasyon	Kuyu	758218	4367922	923	7,55	1486	7,20

Çizelge 5.1b. Örnekleme noktalarının UTM koordinatları (36. Dilim) ve fiziksel ölçüm sonuçları.

Kod	Lokasyon	Örnek Türü	Doğu	Kuzey	Rakım (m)	pH	EC (µS/cm)	T (°C)
L33	Hediye Güral Anaokulu	Kuyu	243047	4366536	916	7,71	736	16
L34	Zığra	Kuyu	245567	4366518	903	7,27	1362	11,80
L35	Zığra2	Kuyu	245957	4366107	912	7,38	778	11,80
L36	İkizhüyük	Kuyu	247264	4366669	909	8,01	656	12,50
L37	İkizhüyük	Kuyu	246270	4368218	917	8,32	617	14,60
L38	Vefa	Kuyu	241967	4368218	962	7,89	1175	12,50
L39	Polisevi	Kuyu	241913	4368907	925	7,56	709	13,60
L40	Perli dere	Dere	242551	4370205	923	7,93	847	12,20
L41	Perli	Kuyu	244403	4369525	918	8,03	567	12,40
L42	Yenibosna Belediye sondaj kuyu	Kuyu	243880	4372144	925	7,52	1098	13,46
L43	Yenibosna Porsuk	Dere	244301	4372641	943	7,89	884	14,20

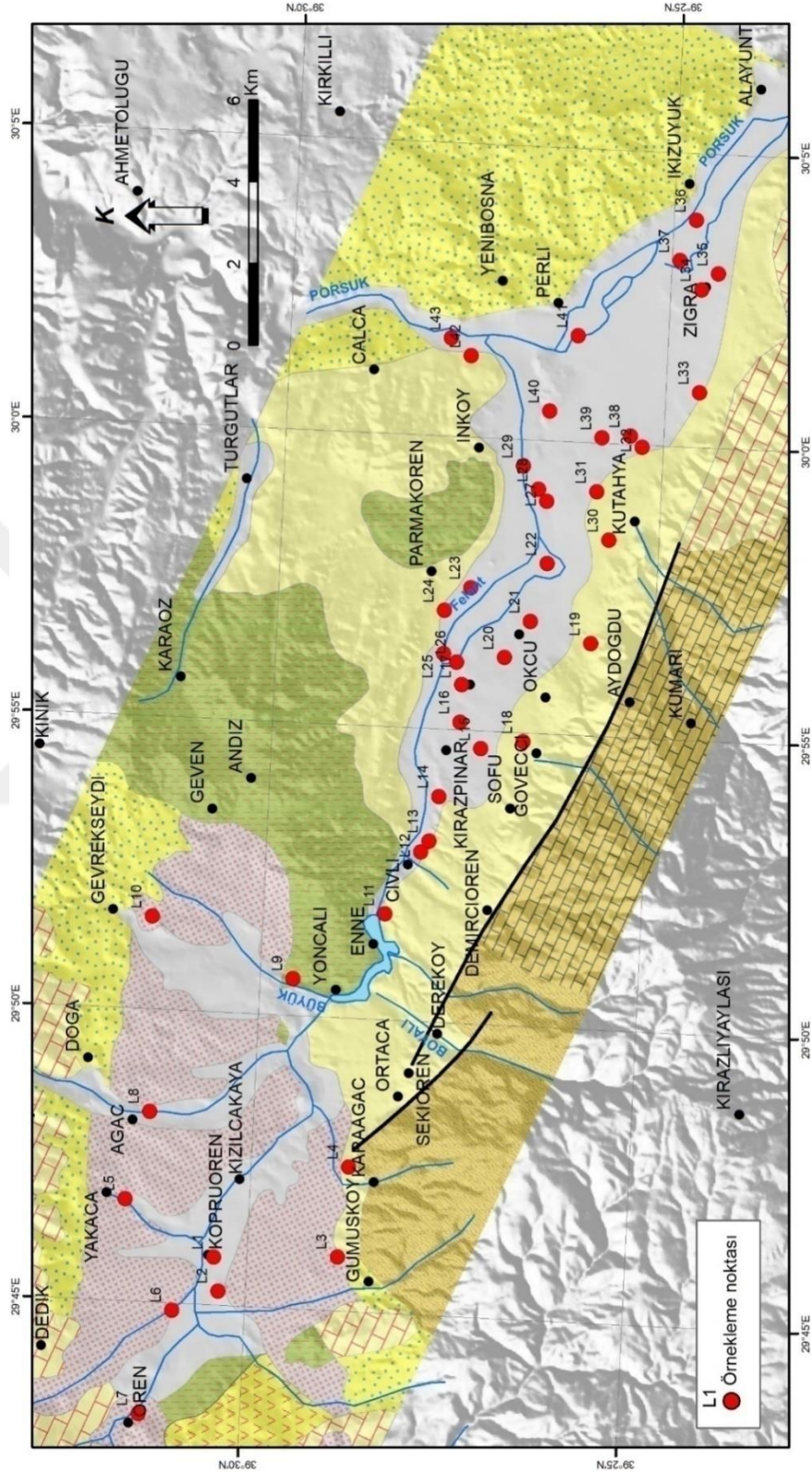
Çalışma alanında belirlenen lokasyonlar CBS tabanlı yazılımlara aktarılmış ve yerleri haritada gösterilmiştir. Toplam 43 adet lokasyonun 9'u derelerden, 34'ü kuyu olmak üzere belirlenen lokasyonları gösteren harita Şekil 5.1 de gösterilmiştir.

5.1. Yerinde Ölçüm Parametreleri (Fiziksel Özellikler)

5.1.1. Sıcaklık

Doğal suların sıcaklık parametreleri endüstride kullanılmalarında önemli etkindir. Genel olarak yeraltısuların sıcaklıkları su tablasının derinliğine, coğrafik enleme, yüksekliğe ve volkanik etkinliğine bağlı olarak değişir. Sıcaklıklarına göre, +5°C'ye kadar olan sular çok soğuk, +10°C'ye kadar olan sular soğuk, +18°C'ye kadar olan sular çok az ılık, +25°C'ye kadar olan sular az ılık, +37°C'ye kadar olan sular ılık ve +40°C'den fazla olan sular sıcak sular diye adlandırılır. Pek çok araştırmacıya göre, +20°C'ye kadar olan sular için soğuk kaynaklar olarak nitelendirilir. Doğal suların sıcaklığının yükselmesi, su içerisinde çözünen gazların miktarında azalmaya neden olur (Schoeller, 1962).

Çalışma alanında ölçülen suların sıcaklıkları ise +7°C ile +16°C arasında değişmektedir (Çizelge 5.1.a-b). Sıcaklığın nispeten yüksek olduğu kesimler şehirleşmenin olduğu lokasyonlarda gözlenmektedir. Yüzey sularında ve kırsal kesimlerde bulunan yeraltısularında ise sıcaklıklar göreceli olarak daha düşük olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.1. Örnekleme noktalarının Kütahya ve Köprüören ovalarındaki dağılımı.

5.1.2. Özgöl elektriksel iletkenlik (EC)

Doğal sularda çözünmüş toplam iyon derişimine, iyon cinsine ve suyun sıcaklığına bağı olarak, 1cm³ suyun elektriksel iletkenliğine, özgöl elektriksel iletkenlik denir. Birimi $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens/cm) veya $\mu\text{mho}/\text{cm}$ (microhms/cm)'dir. Elektriksel iletkenlik sıcaklıkla artar (Şahinci, 1991). Doğal suların sıcaklığı arttıkça bulunduğu akiferde çözündürdüğü madde miktarı da artacağından elektriksel iletkenlik de artacaktır. Toplam çözünmüş iyon konsantrasyonları ve elektriksel iletkenlik arasında korelasyon yapılabilmesi için genellikle +25°C'ye indirgenerek hesaplamaları yapılır.

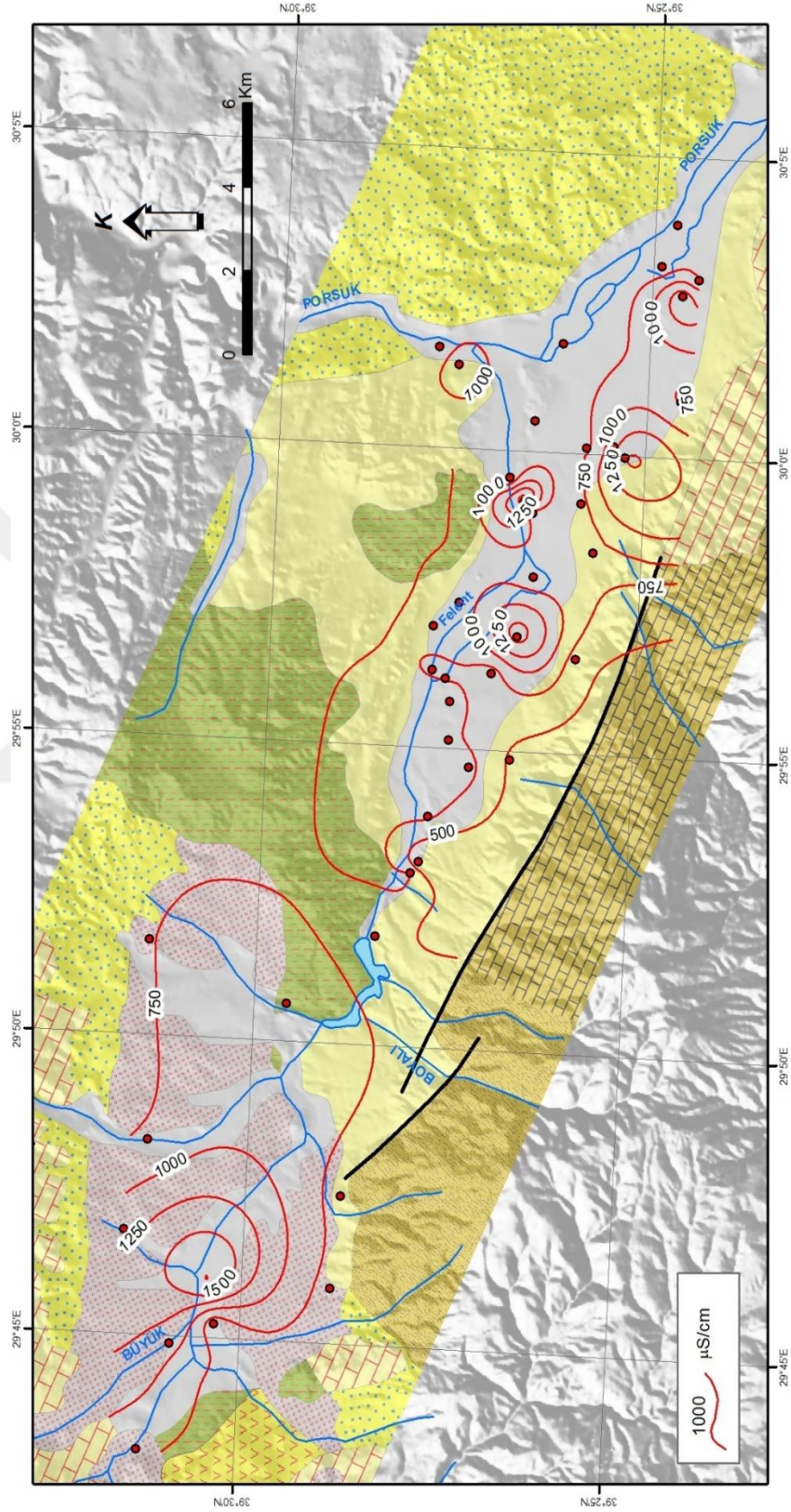
Doğal sularda, elektriksel iletkenlik 0,7 ile çarpılırsa, suda çözünmüş toplam iyonların yaklaşık olarak mg/l cinsinden değerleri bulunur. Saf suya yakın suların EC değerleri 100'e bölünürse, % 5 hata ile suyun meq/l cinsinden toplam çözünmüş madde miktarı bulunur (Wilcox, 1955). Suyun iletkenliği suyun kalitesinin belirlenmesi için önemlidir.

Bu çalışmada ise arazide ölçülen özgöl elektriksel iletkenlik değerleri 320 – 1860 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arası değerlere sahiptir (Çizelge 5.1a-b). Ölçüm sonuçlarına göre EC dağılım haritası yapılmış ve sonuçlar Şekil 5.2' de sunulan haritaya göre değerlendirilmiştir. Buna göre; her iki ovanın orta kesimlerinde ovaları sınırlayan yükseltilerden ovalara doğru gerçekleşen yeraltısuyu akım yönü boyunca (bkz. Şekil 5.2) iletkenlik artışı gözlenmektedir. İletkenlik artışının nedeni yeraltısuyunun içerisinden geçtiği formasyonlarda, su-kayaç etkileşimi ile mineralleri çözündürmesi sonucunda çözünmüş iyonların artması nedeniyledir. Çözünmüş iyon ne kadar fazla ise elektriksel iletkenlik de o kadar yüksek olacaktır.

5.1.3. Hidrojen iyon aktivitesi (pH)

pH, suyun içerisinde çözünmüş H ve OH⁻ derişimlerinin eksi logaritması alınarak hesaplanan değerlerdir. Bu değerin 7 olması nötr olarak nitelendirilirken, >7 olması suyun bazik karakterli, <7 olması ise asidik karakterli olduğunu vurgular (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Doğal sularda asit karakterli sular özellikle CaCO₃ çökeli miyle oluşmuş kayaçlar için aşındırıcı özelliktedir. Bazik karakterli sular ise tortul bağlayıcı özelliktedir. WHO 2004'ün sınır değerleri, insani amaçlı kullanıma uygun sular için 6,5 – 8,5 olarak bildirilmiştir. TSE-266 standartında kabul gören sınıflama ise aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.2).

Çalışma alanında ölçülen değerler ise, 7,0 ile 8,5 arası değişmektedir. TSE-266 sınıflamasına göre bu sular bazik karakterlidir.



Şekil 5.2. Çalışma alanındaki su örneklerinin elektriksel iletkenlik dağılım haritası.

Çizelge 5.2. TSE-266 Standartlarına göre suların pH sınıflandırılması.

pH	Sınıfı
>8.5	Bazik
8.5 – 7.0	Bazik Karakterli
7.0	Nötr
7.0 – 4.5	Asidik Karakterli
< 4.5	Asidik

5.2. Çalışma Alanındaki Yüzey ve Yeraltısularının Genel Kimyasal Özellikleri

Her iki ovadaki yüzey ve yeraltısularının kimyasal analiz sonuçları major iyon konsantrasyonları ile birlikte F⁻, Br, Li⁺, NO₂, NO₃, NH₄ ve PO₄ derişimleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

5.2.1. Analiz hataları

Her kimyasal analizlerin doğruluğunu ve % hata payını tespit etmek gerekir. Doğruluk oranı % 0'a yaklaştıkça hata payı da düşük olur. Bu çalışmada ise kimyasal analizler, her bir numune için üçer kez ardışık okunan sonuçların hata oranları % olarak tespit edilmiştir. Hatalı analizler tekrar edilmiş ve yapılan üç analiz sonucunun ortalaması alınmak suretiyle sonuçlar major iyonlar için ppm olarak ve iz elementler için ppb olarak rapor edilmiştir. Major iyonların analiz hataları hesaplanırken iyon derişimlerinin ekvalen ağırlıkları dikkate alınır.

Her bir numune için analiz sonuçlarının % hata payı EN olmak üzere, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$EN = 100 \times [(\sum K - \sum A) / (\sum K + \sum A)]$$

Buna göre;

EN < % 5 → Analiz sonucu kabul edilebilir,

EN > % 5 → Analiz tekrarlanmalıdır.

Bu çalışmada Çizelge 5.3'te sunulan iyon kromatografi sonuçlarına göre analiz hataları% 0.04 - % 4.5 arasında değişmekte olup, jeokimyasal değerlendirmeler için analiz sonuçları güvenilir olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3. Örneklenen su noktalarının kimyasal analiz sonuçları (ppm).

Örnek	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	F	Br	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	% Hata
L1	54,99	180,69	81,24	103,84	51,90	215,05	586,31	*	*	*	128,61	*	*	3,46
L2	13,89	2,18	50,31	67,09	10,66	24,11	402,72	0,07	*	*	7,13	*	*	3,99
L3	16,32	1,10	19,03	115,96	10,01	81,45	343,49	0,44	*	*	5,12	*	*	2,39
L4	4,16	1,76	18,95	117,29	9,08	44,65	373,11	*	*	*	10,59	0,06	*	1,11
L5	20,48	24,26	78,18	125,40	49,50	109,33	533,01	*	*	*	51,77	0,18	*	3,53
L6	22,59	6,83	110,55	75,16	11,19	152,71	579,61	*	*	*	7,24	*	0,14	3,24
L7	10,65	19,22	64,58	76,13	12,06	52,22	467,86	0,06	*	*	13,30	*	0,38	3,84
L8	11,68	3,42	68,88	76,64	13,46	156,68	367,18	0,08	*	*	25,55	*	*	0,06
L9	20,74	1,97	45,40	143,21	13,71	133,77	503,40	0,23	*	*	0,65	*	*	1,67
L10	12,48	2,06	58,13	79,73	8,36	27,54	481,90	0,15	*	*	6,80	*	*	2,92
L11	13,74	3,46	49,20	64,78	10,09	115,46	307,4	0,54	*	*	0,14	0,52	*	1,45
L12	9,14	0,86	34,62	115,29	12,37	41,68	438,25	*	*	*	1,73	*	*	3,38
L13	7,69	0,41	25,75	25,70	18,56	9,52	177,67	*	*	*	0,01	0,30	*	1,73
L14	10,49	1,94	45,08	106,72	13,16	106,29	414,56	0,15	*	*	0,29	0,11	*	0,81
L15	8,53	0,22	46,86	111,27	15,05	33,72	444,17	0,04	*	*	36,26	*	*	4,20
L16	9,97	0,80	43,06	90,77	16,58	30,70	402,72	*	*	*	32,54	0,12	*	1,77
L17	16,47	7,24	49,44	93,33	25,19	44,98	420,48	*	*	*	41,14	0,11	*	2,27
L18	3,42	0,92	31,57	60,61	2,78	2,55	325,73	*	*	*	5,72	0,07	*	2,06
L19	8,36	1,63	49,40	87,20	8,15	103,24	384,95	*	*	*	0,13	0,77	*	0,97
L20	10,63	1,66	35,11	89,81	13,06	27,84	384,95	*	*	*	15,43	0,09	*	2,42
L21	61,04	19,80	98,64	173,81	100,14	202,13	639,61	*	*	*	95,15	*	*	2,30
L22	22,65	2,96	53,66	104,91	28,71	116,87	425,44	0,20	*	*	7,94	*	*	1,60
L23	24,21	0,94	49,87	110,32	17,81	122,94	426,41	0,32	*	*	4,86	*	*	2,58
L24	25,73	1,51	47,54	105,54	22,61	96,99	408,64	0,32	*	*	23,56	*	*	2,89
L25	16,27	0,91	37,63	110,39	17,65	62,13	414,56	0,09	*	*	3,74	*	*	3,79

Çizelge 5.3. Örneklenen su noktalarının kimyasal analiz sonuçları (ppm) (devam).

Örnek	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	F	Br	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	% Hata
L26	19,08	2,43	43,68	97,52	18,11	107,18	366,4	0,35	*	*	1,69	*	*	3,00
L27	23,74	3,35	56,36	99,90	30,34	112,50	425,63	0,12	*	*	6,45	*	*	2,09
L28	77,74	6,23	137,68	194,12	168,97	606,53	544,85	0,11	*	*	2,71	*	*	-3,58
L29	19,72	2,31	53,64	79,60	19,28	49,01	426,41	0,12	*	*	5,42	*	*	3,64
L30	20,52	18,66	38,27	104,78	19,64	72,71	414,56	0,45	*	*	21,96	*	2,25	2,27
L31	22,54	15,71	36,38	95,50	21,67	69,08	390,87	*	*	*	38,06	0,32	*	0,48
L32	98,11	17,57	93,12	138,12	95,65	198,39	645,53	0,18	*	*	27,57	*	*	3,78
L33	16,44	0,47	28,90	111,80	30,03	46,74	384,95	0,03	*	*	14,84	*	*	1,82
L34	53,20	0,93	27,62	187,82	137,76	206,26	302,04	*	*	*	14,50	*	*	2,25
L35	12,67	0,43	16,68	144,81	23,10	54,74	396,79	*	*	*	30,73	*	*	2,05
L36	12,95	15,66	33,66	81,42	12,06	41,87	367,18	0,22	*	*	14,06	*	*	2,13
L37	14,70	2,68	26,65	86,77	12,01	32,65	337,57	0,12	*	*	3,79	*	*	4,40
L38	55,46	11,06	64,89	116,28	51,88	213,34	426,41	0,07	*	*	25,43	*	*	1,94
L39	18,06	11,64	31,30	71,90	10,80	40,15	325,73	0,02	*	*	18,57	*	*	3,31
L40	26,17	5,05	46,02	95,74	30,85	103,57	379,03	0,08	*	2,17	23,22	*	0,31	0,79
L41	7,04	1,49	27,18	81,23	5,38	18,85	331,65	0,15	*	*	5,02	*	*	4,44
L42	28,51	8,71	74,63	111,53	39,72	195,87	361,26	0,12	*	*	81,73	0,79	*	2,99
L43	31,64	8,40	30,87	91,55	28,09	49,78	414,56	0,12	*	5,87	0,35	9,60	1,38	2,36

*Belirlenme limitlerinin altında (Dionex, yüksek performanslı iyon kromatografi)

Anyon	Belirlenme limiti (ppm)	Katyon	Belirlenme limiti (ppm)
F	0.008	Li	0.0005
Cl	0.012	Na	0.002
NO ₂	0.04	NH ₄	0.0025
Br	0.04	K	0.005
NO ₃	0.04	Mg	0.00025
PO ₄	0.06	Ca	0.0005
SO ₄	0.06		

5.3. Kimyasal Özellikler

5.3.1. Sodyum (Na^+) ve potasyum (K^+)

Sodyum alkali elementler arasında doğada en fazla bulunur. Doğal sularda sodyumun kaynağı, yağış sularının evaporitler ve yeraltısuyuyla temas halindeki kayaçlar içerisinde bulunan bazı mineralleri çözündürmesi sonucu iyonlar halinde yüzey ve yeraltısularına karışmasıdır. Ayrıca yeraltısularında bulunan kalsiyum iyonları, kayaçlarda bulunan sodyumla redoks tepkimesiyle sudaki sodyum miktarı artar. Yeraltısuyularında sodyumun bulunuşu mineral cinsine ve miktarına, pH'a, bozunum süresine, yeraltısuyu akım hızına, ortamdaki kalsiyum iyon derişimine, yapay ve doğal kirlenme gibi faktörlere bağlıdır (Şahinci, 1991). Buzlu yollara atılan tuzlar, tarımsal gübreler, lağım ve fabrika atık suları, suları dezenfekte etmek veya sertliğini düşürmek için kullanılan sodyumlu kimyasal maddeler de sularda yapay sodyum zenginleşmesine neden olur (Şahinci, 1991).

Bu çalışmada kullanılan numunelerde sodyum konsantrasyonları 3,42 – 98,11 ppm arası değerlerdedir (Çizelge 5.3).

Potasyum da kimyasal özellikler bakımından sodyuma benzer. Genellikle basit anyonlarla bileşik yapar ve kolay çözünür. Potasyumun silikat ve alüminosilikat minerallerinden suya geçmesi çok zordur. Potasyum miktarının çoğu yer kabuğunda alkali feldispatlarda bulunur. Granitik kayaçlarda K-feldispatların bozunumu pH'a, ortamdaki alüminyum ve silisyum derişimine bağlıdır ve bozunum ürünleri silis, kil ve potasyum iyonlarıdır.

Numune analizlerinde potasyum konsantrasyonları 0,47 ppm – 180,69ppm arası değerlerdedir (Çizelge 5.3).

5.3.2. Kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+})

Yeraltısularında kalsiyumun kaynağı kalsit, dolomit, aragonite, anhidrit ve jibstir. Bunlardan başka magmatik ve metamorfik kayaçların bozunumundan kaynaklanan kalsiyum iyonları yeraltısuyuna geçer. Suda çözünmüş CO_2 arttıkça kalsiyumun çözünürlüğü yükselir. Numune analizlerinde kalsiyum derişimleri 25,70 – 194,12ppm arası değerlerdedir (Çizelge 5.3).

Yeraltısularında genelde magnezyum miktarı kalsiyuma göre düşüktür. MgCO_3 'ın suda çözünebilmesi CO_2 miktarına bağlıdır. Yapılan analizlerinde ise magnezyum iyon konsantrasyonları 16,65 – 137,68ppm arası değerlerdedir (Çizelge 5.3).

5.3.3. Klorür (Cl⁻)

Klorür halojenler grubunun doğada en bol bulunan elementidir. Doğal sularda sadece -1 değerlikli iyonları halinde bulunur. Klorür tuzlarının kaynağı deniz suları ve evaporitlerdir. Yağışlı bölgelerde akarsuların Cl derişimi düşükken, kurak iklimlerde akarsularda Cl daha yüksektir. Bu durum buharlaşma ile yakından ilgilidir. Bununla birlikte yeraltısularında korunumlu (tepkimeye girmeye eğilimi olmayan) kabul edilen klorürün derişimi yeraltısuyu akımı boyunca artar. Örnekleme yapılan lokasyonların numune analizlerinde Cl iyon derişimleri 2,78 – 168,97 ppm arası değerlere sahiptir (Çizelge 5.3).

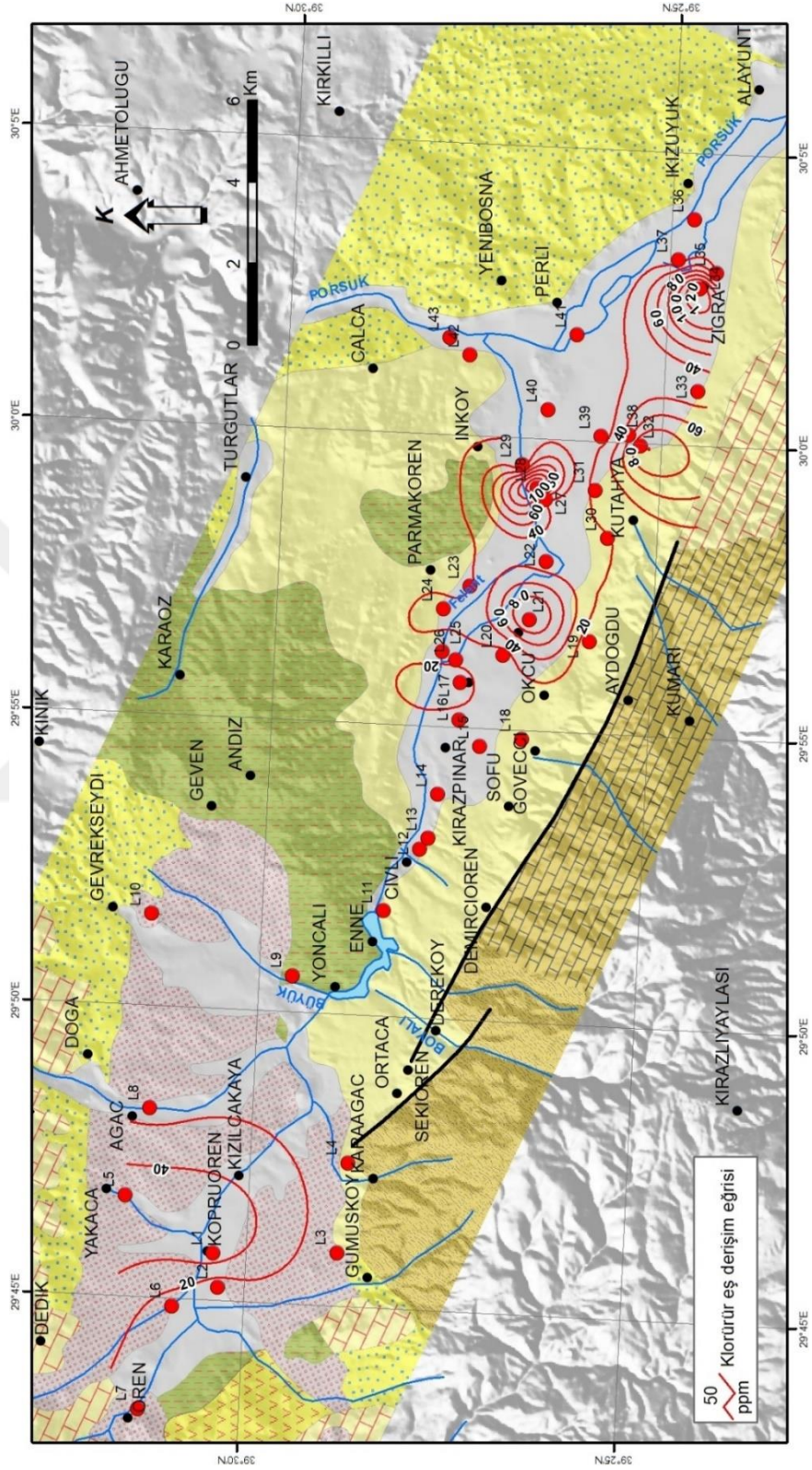
Göreceli yüksek Cl derişimleri Şekil 5.3'teki haritada da gösterildiği gibi ova merkezlerinde gözlenmektedir. Bu durumu EC değerleri (Şekil 5.2) gibi akım yolu boyunca su-kayaç etkileşim süresinin artması ile ilişkilendirmek mümkündür. Bununla birlikte, en yüksek Cl derişiminin serbest su yüzeyinin olduğu ve kısmen bataklık özelliğindeki İnköy merası yakınındaki L28 noktasında gözlenmesi buharlaşmanın etkinliği şeklinde yorumlanmıştır.

5.3.4. Alkalinite (CO₃²⁻ ve HCO₃⁻)

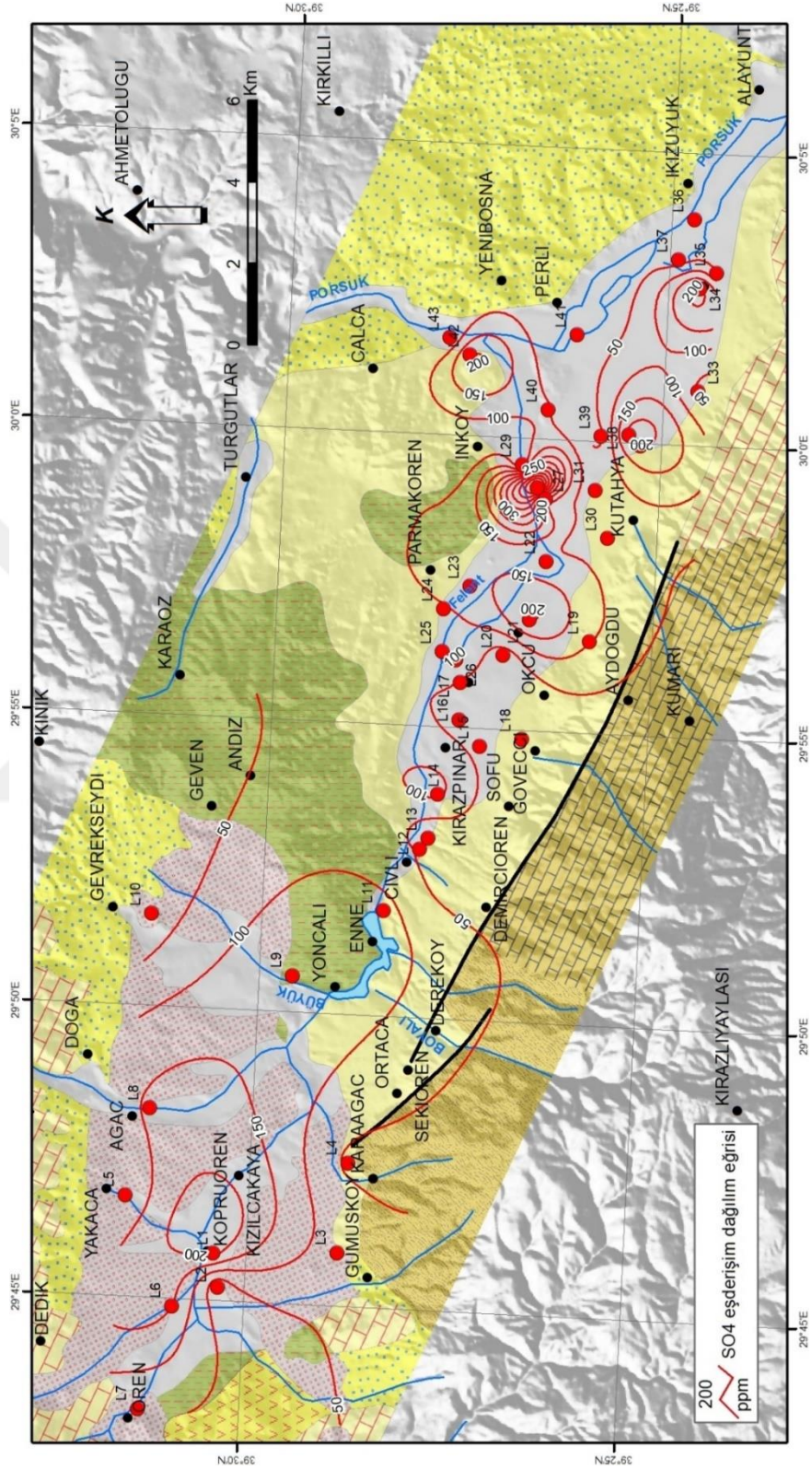
Suyun alkalitesi, asidi nötr hale getirme özelliğidir. Doğal sularda ise alkalitenin başlıca kaynağı CO₃²⁻ ve HCO₃⁻ iyonlarıdır. pH 8,2 üzerinde HCO₃⁻ iyonları CO₃²⁻ ve H⁺ iyonlarına ayrılır. pH 8,2'nin altında ise HCO₃⁻ iyonları egemendir. Suyun alkalitesi ve pH düşük ise çürütücü özelliğe, yüksekse tortul bırakıcı özelliğe sahiptir. İçme sularında toplam alkalinite 500 ppm fazla olmamalıdır. Sulama sularında yüksek alkalinite sodyum tehlikesini azaltır. Örnekleme yapılan lokasyonlarda numunelerin toplam alkalitesi 177,67 – 645,53 ppm arası değerlerdedir (Çizelge 5.3).

5.3.5. Sülfat (SO₄²⁻)

Doğal sularda bikarbonattan sonra en fazla bulunan anyondur. Kükürt ve kükürtlü bileşikler magmatik ve sedimanter kayalarda indirgenme tepkimesiyle bileşiklerine ayrılarak yeraltısuyuna geçer (Şahinci, 1991). Numunelerin kimyasal analizlerinde SO₄²⁻ iyon konsantrasyonları 2,55 – 616,53 ppm arası değerlerdedir (Çizelge 5.3). SO₄²⁻ derişimleri, Cl derişimlerine benzer bir dağılım sunarak ova merkezlerinde en yüksek değerlere ulaşır (Şekil 5.4).



Şekil 5.3. Çalışma alanındaki su örneklerinin Cl derişimi dağılım haritası.

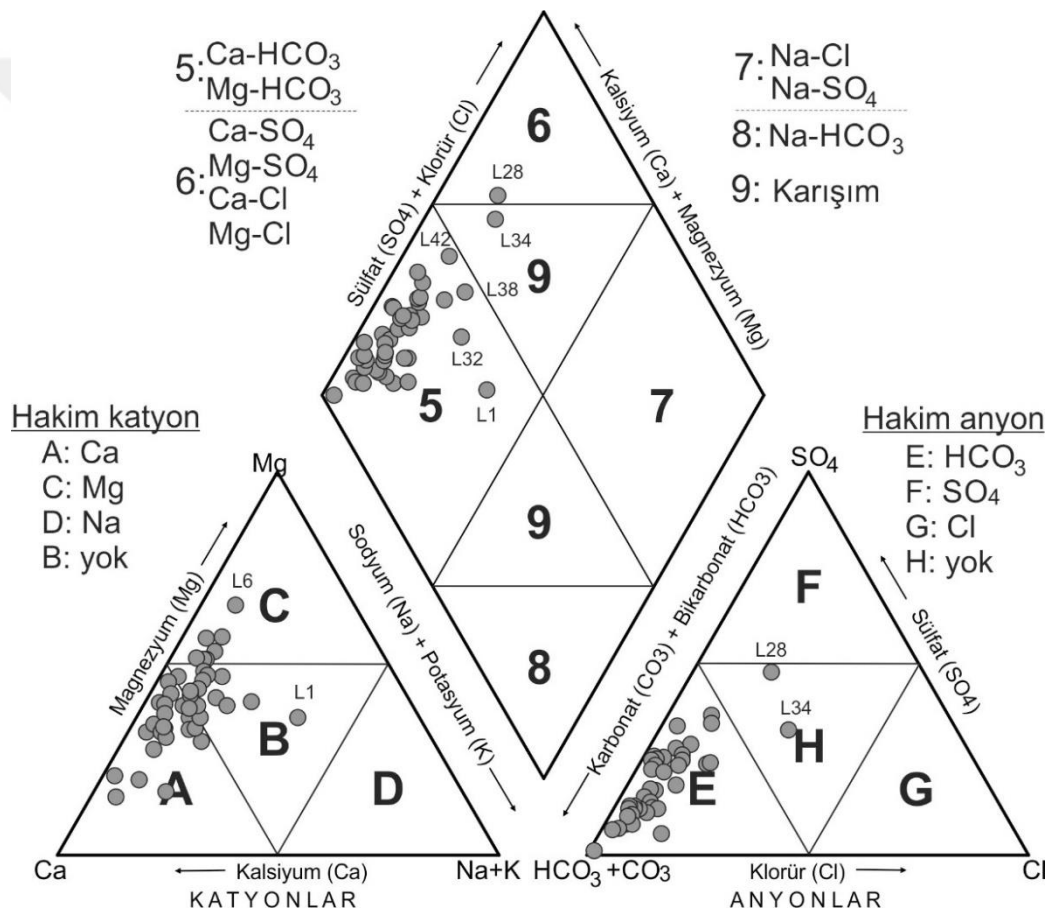


Şekil 5.4. Çalışma alanındaki su örneklerinin SO_4 derişimi dağılım haritası.

5.4. Yeraltıları Kimyasını Denetleyen Jeokimyasal Süreçler

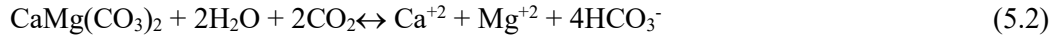
Kütahya ve Köprüören ovalarındaki yüzey ve yeraltısu kimyasını kontrol denetleyen süreçler, bu amaç için yaygın olarak kullanılan Piper ve dairesel diyagramlar ile majör iyonlar arasındaki korelasyon katsayıları ile incelenmiştir.

İnceleme alanındaki su noktalarının Şekil 5.5 de yer alan Piper diyagramı üzerindeki konumlarına göre, sular kimyasal fasiyes olarak çoğunlukla Ca-HCO_3 ile Mg-HCO_3 tipi sular sınıfına girmektedirler.



Şekil 5.5. Çalışma alanındaki su örneklerinin Piper diyagramı ile gösterimi.

Kimyasal fasiyes türlerine göre sularda Ca, Mg ve HCO_3 iyonlarının baskın olmasını, jeolojik yapı dikkate alındığında, bölge genelinde yaygın yayılım gösteren Arıkaya Formasyonu ile Gölsel karbonatlar ile ilişkilendirmek mümkündür. Karbonatlı kayaç (kireçtaşı ve dolomit) mineralleri kalsit ve dolomitin çözünme tepkimeleri sonucunda, su fazına sırası ile Ca, Mg, HCO_3 geçer:



Su noktalarının Piper diyagramının katyon üçgeninde Ca ve Mg kenarında (A ve C bölgeleri), anyon üçgeninde de HCO_3 baskın E bölgesinde yer almaları bu çözünme tepkimelerini destekler niteliktedir.

Kalsit ve dolomitin çözünme tepkimeleri mineral-su dengesi gerçekleşene kadar devam eder. Bu durumun gerçekleşmesi bu minerallerin denge durumuna bağlı olup doygunluk indisi (SI) analizleri ile denge durumunun ortaya konulması mümkündür. Doymunluk indisi (SI) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$SI = \log\left(\frac{IAP}{K}\right) \quad (5.3)$$

Logaritmik bir değer olması nedeniyle;

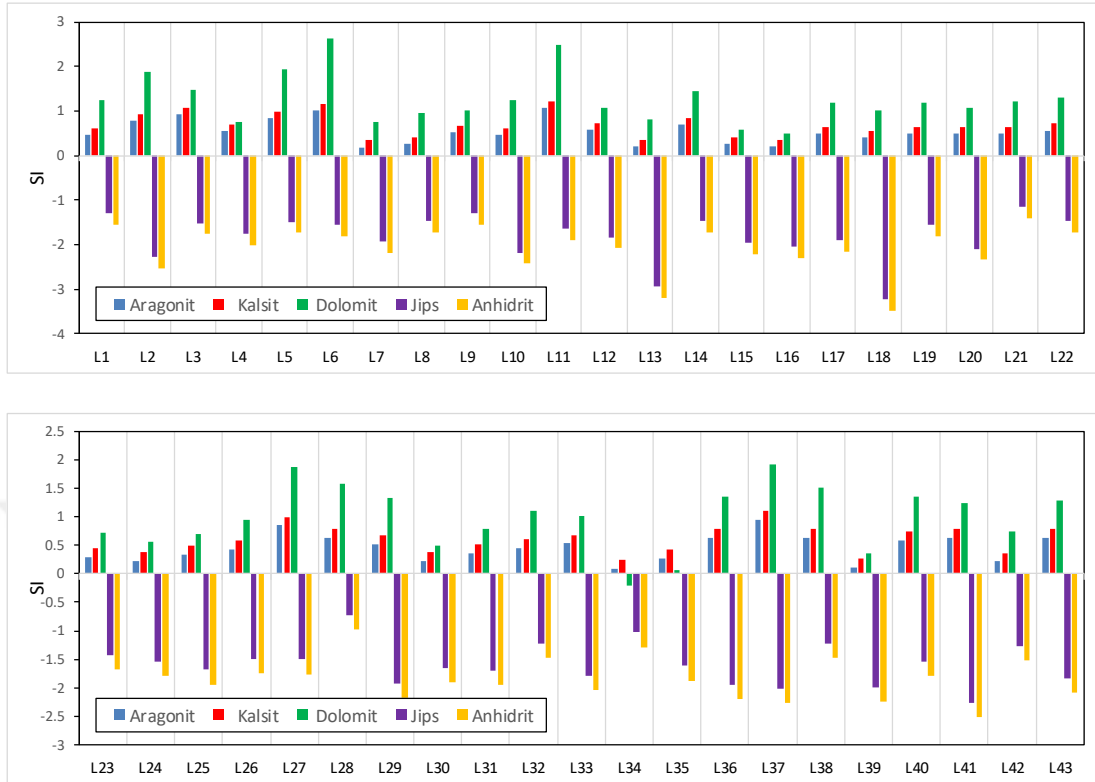
SI=0 olması durumunda su o mineral ile dengede;

SI>0 olması durumunda su o mineral göre aşırı doymun (çökeltici);

SI<0 olması durumunda su ilgili minerali doymun değildir (çözündürücü).

K, ilgili mineral-su arasındaki sıcaklığa göre değişen denge sabiti, IAP ise aktivite katsayısı ile derişim çarpımı sonucunda elde edilen etkin derişime bağlı çözünürlüğü ifade eder. Bu çalışmada kalsit, dolomit ve aragonit gibi karbonat mineralleri ile jips ve anhidrit gibi evaporit minerallerin SI değerleri PhreeqC yazılımı (Parkhurst ve Appelo, 1999) ile hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 5.6'da grafik halinde sunulmuştur.

Şekil 5.6'da gösterildiği gibi tüm örnekler kalsit, aragonite ve dolomite (L34 hariç) doymun durumdadır. Evaporit mineralleri ise doymunluktan uzaktır. Dolayısıyla çalışma alanındaki suların major iyon bileşimini karbonatların denetlediği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.6. Örneklenen su noktalarına ait doygunluk analizi sonuçları.

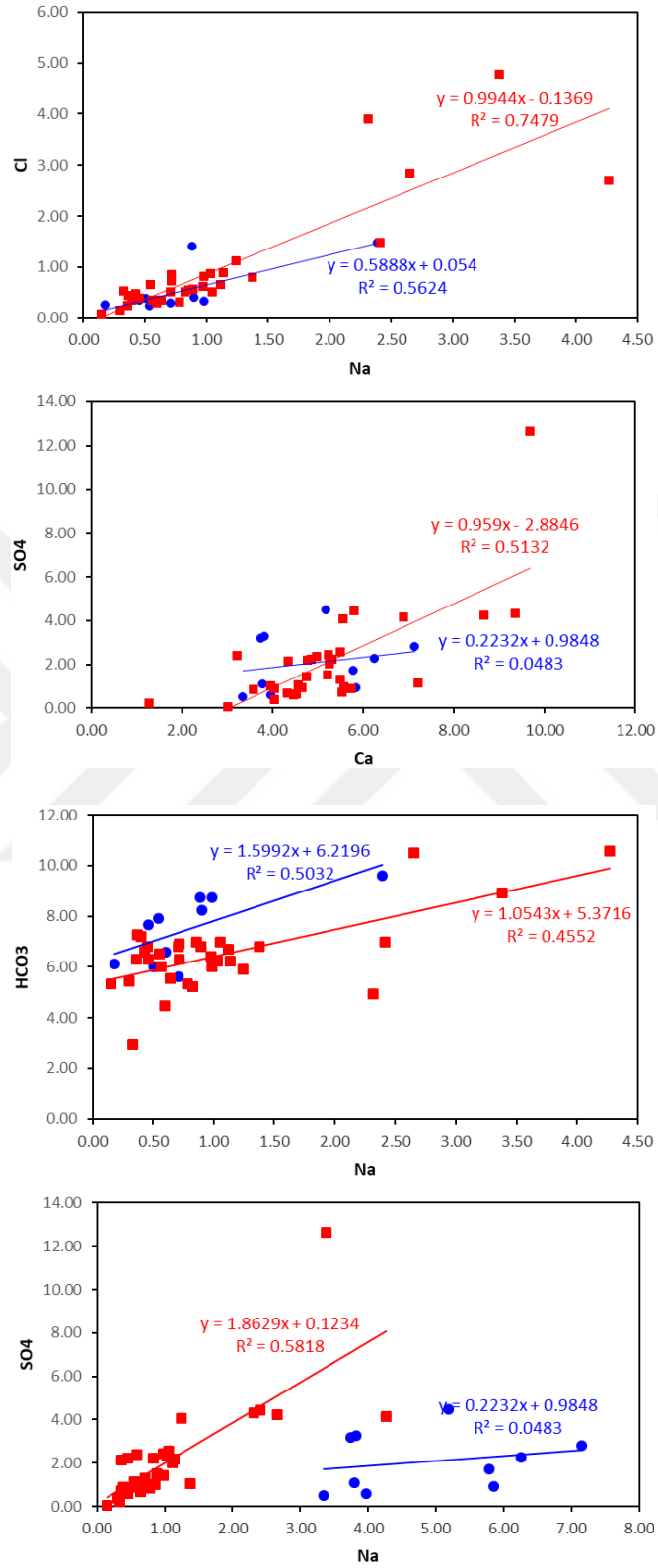
Kalsit ve dolomitin çözünme tepkimeleri için gerekli kaynak CO_2 dir. En önemli CO_2 kaynağı atmosferik ve toprak kaynaklı CO_2 dir. Atmosferik CO_2 'nin ($p\text{CO}_2$) kısmi basıncı $10^{-3.5}$ atm dir. Çalışma alanında örneklenen su örneklerinin $p\text{CO}_2$ değerleri aynı yazılım ile hesaplanmış ve Çizelge 5.4'te sunulmuştur. Buna göre en düşük $p\text{CO}_2$ değeri $10^{-3.4}$ atm ile Enne Baraj gölünde atmosferik CO_2 ($10^{-3.5}$ atm) ile denge koşuluna yakın bir değerde hesaplanmıştır. Yeraltısuyu örneklerinde ise en düşük $p\text{CO}_2$ değeri bekleneceği gibi örnekler arasında en düşük iyonik derişime sahip L13 örneğinde (Civli, EC: $313 \mu\text{S}/\text{cm}$) $10^{-3.3}$ atm olarak hesaplanmıştır. Diğer örneklerde ise atmosferik değerden 4 ile 58 kat arasında değişen daha yüksek $p\text{CO}_2$ değerleri hesaplanmıştır. Bu durum, çalışma alanındaki suların esas CO_2 kaynağının toprak zonunda üretilen CO_2 olduğu sonucunu çıkarmak mümkündür.

Çizelge 5.4. Çalışma alanından örneklenen su noktalarının pCO₂ değerleri.

Örn.	Log (pCO ₂)	Örn.	Log (pCO ₂)	Örn	Log (pCO ₂)	Örn.	Log (pCO ₂)
L1	-2.1	L13	-3.3	L25	-2.0	L37	-2.9
L2	-2.8	L14	-2.5	L26	-2.4	L38	-2.4
L3	-2.8	L15	-1.9	L27	-2.7	L39	-2.1
L4	-2.3	L16	-2.1	L28	-2.1	L40	-2.5
L5	-2.3	L17	-2.3	L29	-2.3	L41	-2.6
L6	-2.8	L18	-2.5	L30	-1.9	L42	-2.1
L7	-2.0	L19	-2.4	L31	-2.1	L43	-2.4
L8	-2.3	L20	-2.3	L32	-1.9		
L9	-2.0	L21	-1.7	L33	-2.2		
L10	-2.2	L22	-2.3	L34	-1.9		
L11	-3.4	L23	-2.0	L35	-1.9		
L12	-2.2	L24	-2.0	L36	-2.5		

Piper diyagramındaki konumlarına göre L1, L28 ve L38 nolu örneklerin karbonatların çözünmesi dışında farklı süreçlerden de etkilenmiş oldukları anlaşılmaktadır. İnceleme alanında örnekleme yapılan su noktalarından en yüksek EC değerlerine (1363-1853 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sahip bu örnekler Na ile SO₄ ve Cl bakımından kısmen zenginleşmiştir. SO₄ ve Cl zenginleşmesine gölsel çökeller içinde olması muhtemel jips, anhidrit ve halit gibi minerallerin çözünmesinin neden olması mümkündür. Bu süreci incelemek için hazırlanan korelasyon grafikleri Şekil 5.7’de, majör iyonlar, EC ve NO₃ arasındaki korelasyon matrisi ise Çizelge 5.5’te yer almaktadır.

Elektriksel iletkenlik ile en yüksek korelasyon katsayısına sahip iyonlar Na (0,88) ve Cl (0,85) dir. Oldukça yüksek korelasyon katsayıları halitin (NaCl) çözünmüş olduğuna işaret etmektedir. Na-Cl arasındaki korelasyon katsayısı 0,85 olup Ca-SO₄, Na-SO₄, Na-HCO₃ arasındaki korelasyon katsayı genelde 0,5’ten küçüktür. Bu sonuçlar, CaSO₄, Na₂SO₄ ve NaHCO₃ bölgedeki sulardaki çözünürlüğünün NaCl kadar baskın olmadığını ifade etmektedir.



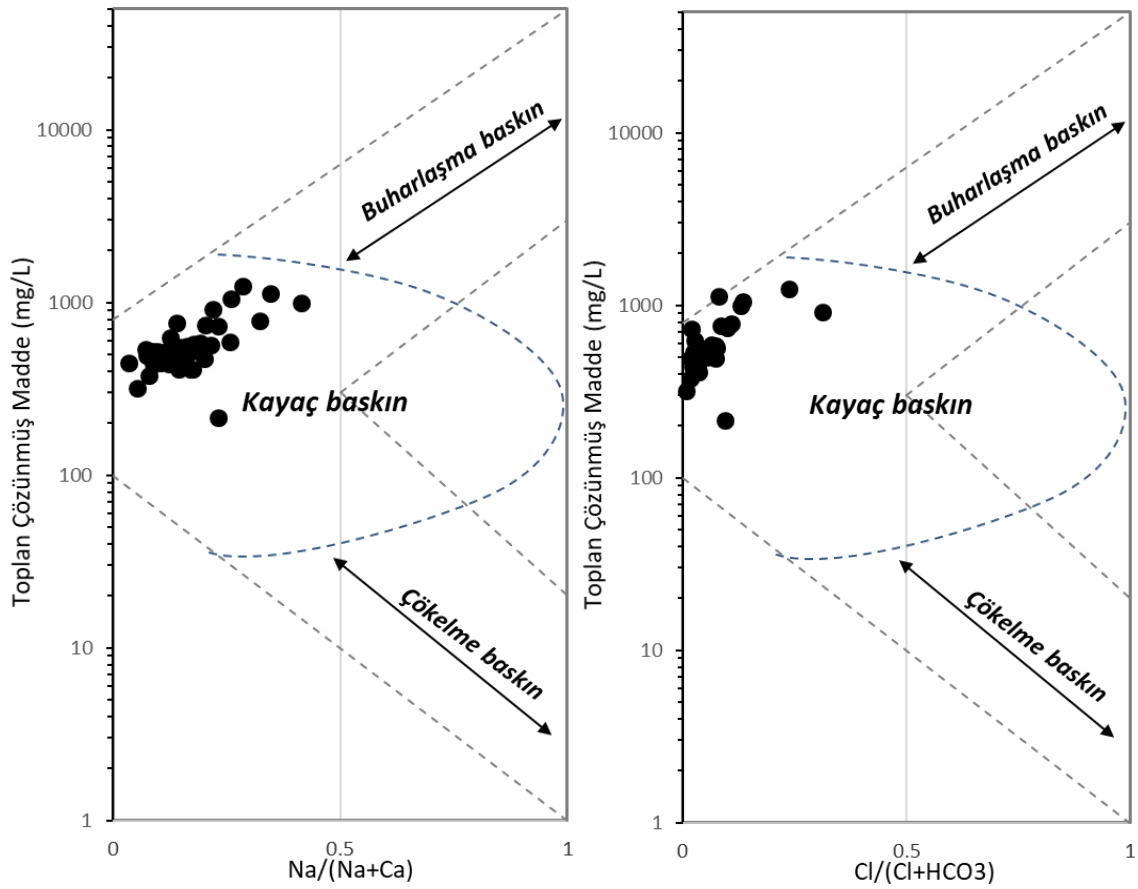
Şekil 5.7. İyonlar arasındaki korelasyon ilişkileri. Derişimler meq/L, kırmızı kareler Kütahya Ovası su örnekleri, mavi daireler Köprüören Ovası su örnekleridir.

Çizelge 5.5. Kimyasal parametrelerin korelasyon matrisi.

	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca	EC
Cl	1,00								
NO ₃	0,29	1,00							
SO ₄	0,82	0,22	1,00						
HCO ₃	0,42	0,47	0,44	1,00					
Na	0,85	0,37	0,76	0,60	1,00				
K	0,16	0,72	0,22	0,41	0,34	1,00			
Mg	0,58	0,37	0,76	0,71	0,65	0,28	1,00		
Ca	0,78	0,26	0,66	0,51	0,63	0,04	0,33	1,00	
EC	0,85	0,57	0,83	0,74	0,88	0,49	0,77	0,74	1,00

Korelasyon matrisinin sunmuş olduğu diğer önemli bulgu K-NO₃ arasındaki görece yüksek (0,72) korelasyon katsayısıdır. Bölgenin tarım arazisi olması nedeniyle gübreleme işleminin yeraltısuyu kimyasına yer yer etki ettiği anlaşılmaktadır. Özellikle L1 örneğinde K iyonun en yüksek derişime sahip katyon olması ve NO₃ derişimin 128,61 mg/L ile en yüksek olarak bu noktada gözlenmesi gübre kullanımının bir sonucu olarak yorumlanmıştır.

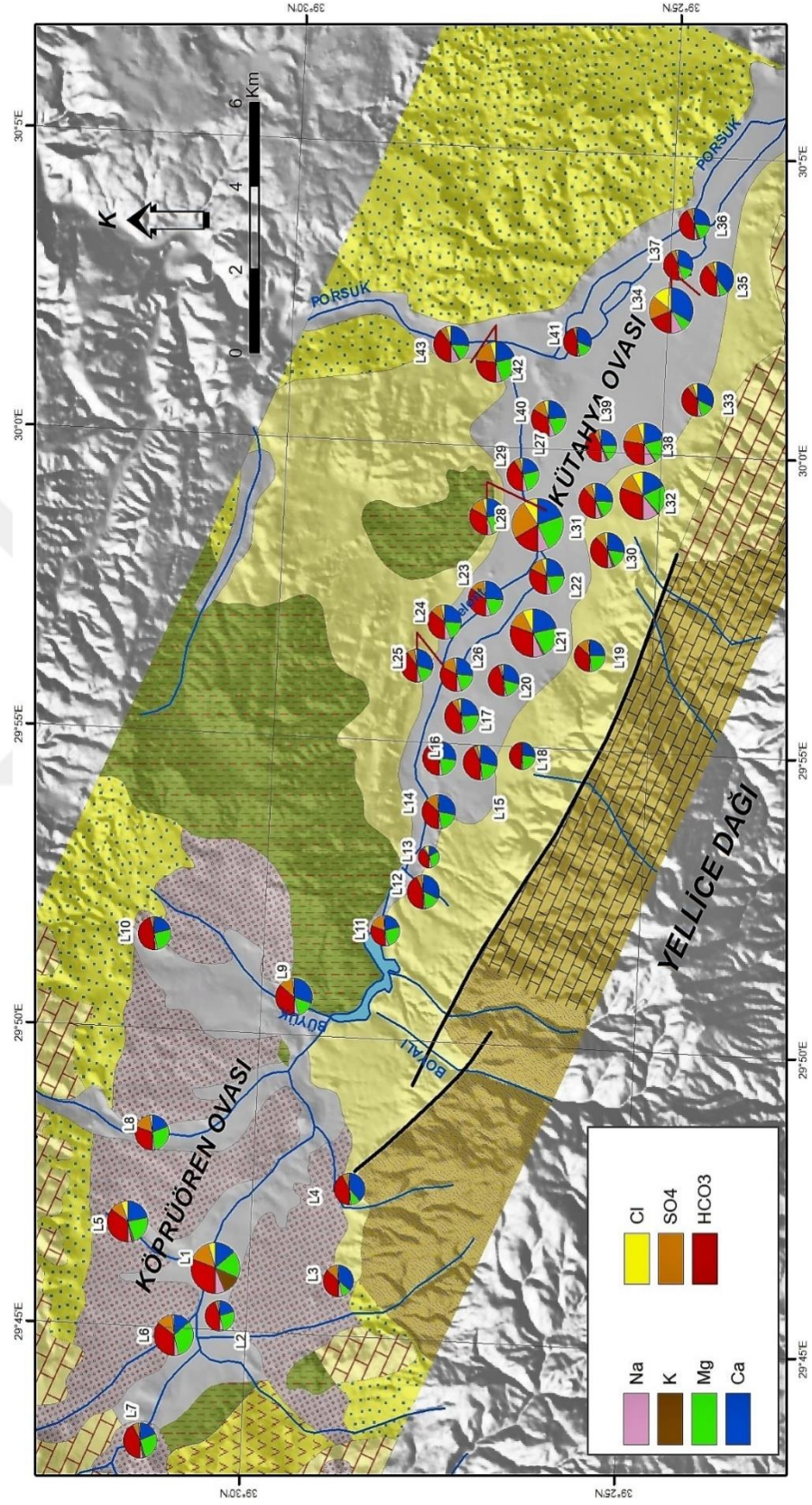
Ova düzlüklerindeki yeraltısuyu seviyesinin yüzeye yakın olması buharlaşma sonucunda Na ve Cl iyon derişimlerinin artışına neden olması mümkündür. Buharlaşma sürecinin etkinliğini incelemek için yoğun olarak kullanılan Gibbs diyagramı oluşturularak Şekil 5.8 de sunulmuştur. İnceleme alanındaki noktaların konumu, buharlaşma baskın yönde olmasına karşın Na/(Na+Ca) ve Cl/(Cl+HCO₃) değerlerinin 0,5'ten küçük olması nedeniyle, buharlaşmadan daha çok, kayaç çözünmesinin su kimyasında baskın olduğu sonucunu çıkmaktadır.



Şekil 5.8. Kütahya ve Köprüören sularının Gibbs diyagramı.

Yeraltısuyu akımı boyunca gerçekleşen jeokimyasal süreçleri irdelemek için hazırlanan dairesel diyagramlar harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.9). Buna göre; çözünmüş iyon konsantrasyonların fazla olduğu lokasyonlarda dairesel diyagramda daireler büyük, az olduğu lokasyonlarda ise daireler küçük olarak göze çarpar. Bu durum özgül iletkenlikle de doğru orantılıdır. Nitekim, dairesel diyagramda konsantrasyon artışının olduğu kesimler her iki ovada da elektriksel iletkenliğin fazla olduğu yerlere tekabül eder (Şekil 5.9).

Her iki ovanın orta kesimlerinde kimyasal bileşimde ($\text{Ca}+\text{Mg}-\text{HCO}_3$) değişiklik olmamasına rağmen iyonik derişimdeki artışı göze çarpar. Yeraltısuyu hidrolik yükün yüksek olduğu yerden düşük olduğu yöne doğru gelişeceğinden, akım yönü boyunca, içerisinde geçtiği karbonatlı kayaları (Arıkaya formasyonu ve Gölsel kireçtaşları) çözündürdüğü ve yeraltısuyunda iyonların konsantrasyon artışına neden olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.9. Analiz sonuçlarının dairesel diyagramlarla gösterimi.

5.5. Suların Tarımsal Sulamaya Uygunluğu

Kütahya ve Köprüören ovalarında tarımsal faaliyetin yoğun olması nedeniyle, yüzey ve yeraltısuları sulama için kullanılmaktadır. Her iki ovadaki suların tarımsal sulamaya uygunlukları basit ve güvenilir olmaları nedeniyle Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları ile incelenmiştir. Her iki diyagramda düşey ekseninde EC yer alırken düşey ekseninde Wilcox diyagramında %Na değeri, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında ise Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) yer alır.

$$\%Na = (Na+K) / (Na+K+Ca+Mg) \quad (5.5)$$

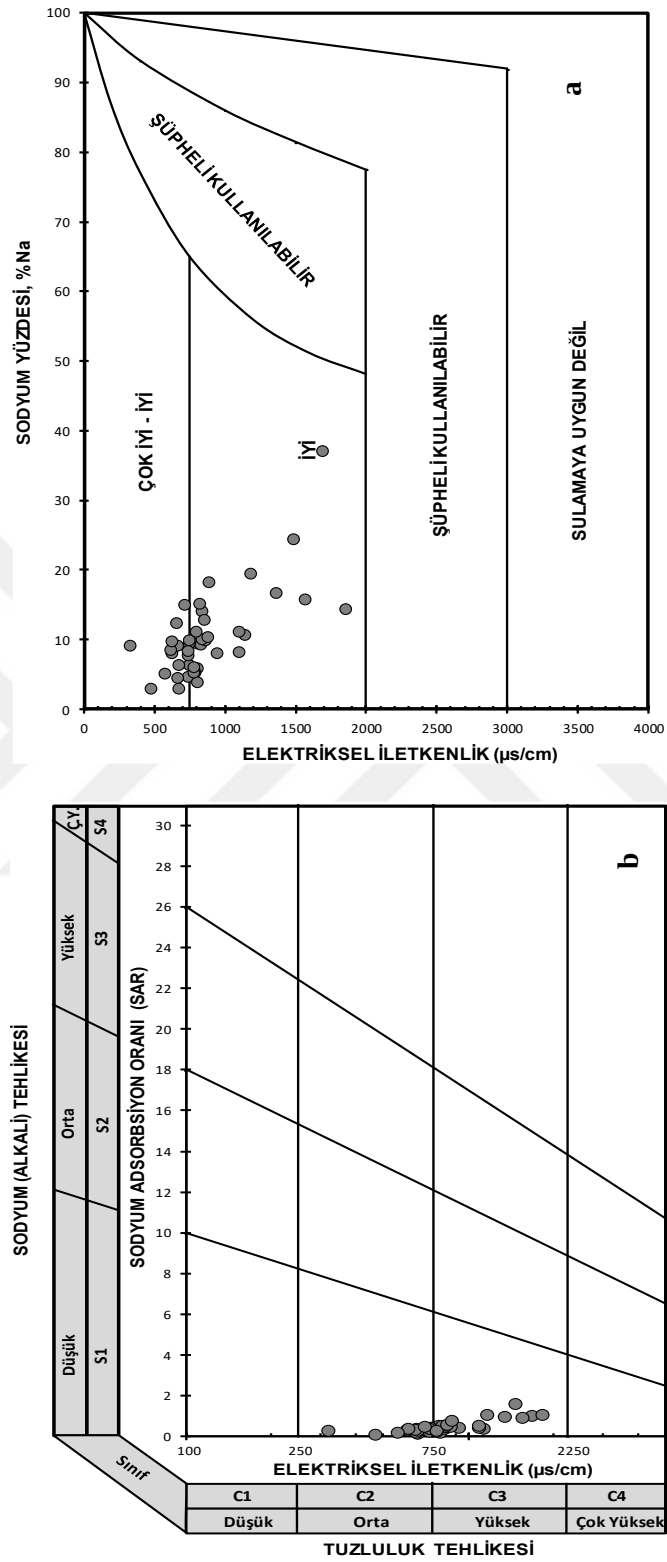
$$SAR = Na / [(Ca+Mg)/2]^{0.5} \quad (5.6)$$

Şekil 5.10a’da yer alan Wilcox Diyagramına göre çalışma alanı içindeki sular tarımsal sulama için Çok İyi ve İyi sınıfında yer almaktadır (Çizelge 5.6). Bu çalışmada yerinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre EC değerleri 300 – 1900 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Wilcox 1955’e göre bu sular kullanılabilir sular sınıfındadır.

Çizelge 5.6. Elektriksel iletkenlik değerlerine göre suların sınıflandırılması (Wilcox, 1955).

EC değerleri ($\mu\text{S/cm}$)	Suyun Sınıflaması
<250	Çok İyi
250 - 750	İyi
750 - 2000	Kullanılabilir
2000 - 3000	Şüpheli
>3000	Kullanılamaz

Şekil 5.10b’de yer alan ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında ise sular C_2S_1 ile C_3S_1 sınıflarında yer alır. C_2S_1 sınıfı orta derecede tuzlu, az sodyumlu suları ifade edip EC değeri 750 $\mu\text{S/cm}$ olan sular için tuzluğa orta derecede dayanıklı bütün bitkilerin sulamasında kullanılabilir. C_3S_1 sınıfına düşen EC değerleri 750 $\mu\text{S/cm}$ – 2250 $\mu\text{S/cm}$ olan sularda ise Na tehlikesi bulunmamasına karşın tuza dayanıklı bitkiler için kullanımı uygundur. Yeraltısuyu tablasının yüzeye yakın olması nedeniyle sulama koşullarında etkin bir drenaj kontrolünün sağlanması gereklidir.



Şekil 5.10. Örnekleme yapılan su noktalarının a) Wilcox diyagramı, b) ABD tuzluluk Lab. diyagramı.

6. İZ ELEMENT ANALİZLERİ

Çalışmanın esas amacını teşkil eden yüzey ve yeraltısularının iz elementlerin varlığı ve kirlilik durumunu tespit etmek için numunelerin iz metal analizleri yapılmıştır. İz elementlerin analiz sonuçlarında Be, Al, V, Mn, Fe, Ni, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, La, Ce, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Ir, Au, Tl, Pb, Th, U elementlerinin doğadaki izotoplarının en bol bulunanları dikkate alınarak yapılmıştır. Analiz sonuçları çoğu elementin analiz sonuçlarının saptama sınırının altında değerlerde olduğundan bu çalışmada önemli görülen belli başlı elementlerin sonuçları dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Buna göre analiz sonuçları değerleri ppb olmak üzere aşağıdaki çizelgede sunulmuştur (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. İz element analiz sonuçları (ppb).

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Zn	Cd	Se	Ba
L1	8,987	71,09	8,007	0,546	6,422	1,391	0,22	0,78	39,01	0.05	1,52	124,9
L2	115,9	125,2	8,053	*	180	11,89	16,97	2,068	18,57	0.029	0,46	264,3
L3	8,586	3,365	4,305	*	3,345	1,512	0,265	*	10,57	*	*	109,3
L4	11,1	1,299	5,754	*	6,085	1,071	*	0,116	7,482	*	*	47,94
L5	37,93	9,779	8,145	*	118,2	1,339	28,07	3,338	53,17	*	1,559	266,5
L6	17,28	14,07	9,314	*	79,03	1,313	1,597	12,58	4,556	*	0,247	141,9
L7	7,017	38,4	6,058	*	11,13	1,479	*	0,547	8,658	*	0,165	168,7
L8	7,293	9,505	5,353	*	2,975	4,768	*	*	5,51	*	0,201	134,1
L9	8,458	0,133	5,061	*	12,97	1,011	63,06	*	58,27	*	*	39,03
L10	7,997	4,461	7,423	11,62	186,2	2,526	2,69	0,54	703	*	*	383
L11	8,604	33,61	6,662	*	27,62	2,006	14,52	1,372	5,838	*	*	73,96
L12	9,601	0,071	6,61	*	57,69	1,681	0,383	*	3,783	*	*	42
L13	6,811	*	2,723	*	181,1	1,846	28,63	*	4,538	*	*	15,75
L14	12,96	2,415	3,632	*	105,9	1,368	1,054	0,343	3,51	*	0,178	76,91
L15	7,811	*	5,731	*	8,366	1,49	1,034	0,24	173,7	*	*	30,67
L16	8,832	*	8,344	7,555	15,67	1,717	1,098	4,315	56,42	*	*	32,02
L17	8,145	*	4,845	*	23,11	1,419	0,24	*	3,364	*	0,06	56,66
L18	5,908	0,259	5,033	*	3,938	1,649	*	*	4,687	*	0,044	34,29
L19	7,186	2,578	5,473	*	16,78	1,5	49,32	*	3,795	*	*	32,72
L20	6,863	3,12	4,25	*	55,36	1,429	0,085	*	3,968	*	0,148	53,68
L21	6,081	0,05	6,817	*	6,204	1,463	*	0,662	9,008	*	*	115,7
L22	9,42	4,211	5,814	*	110,8	1,509	4,156	1,597	4,555	*	0,135	67,38

Çizelge 6.1. (devam) İz element analiz sonuçları (ppb).

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Zn	Cd	Se	Ba
L23	7,044	2,011	4,848	*	3,573	1,739	1,328	0,047	14,75	*	*	136
L24	6,725	3,182	6,28	*	40,62	1,977	0,121	1,289	42,41	*	0,634	121,7
L25	6,794	1,372	3,825	*	*	1,771	5,849	0,799	266,8	*	*	104,5
L26	8,797	3,747	0,827	*	26,53	1,663	3,928	0,898	4,083	*	0,175	67,11
L27	7,178	5,245	3,844	*	58,23	2,563	11,91	1,315	5,044	*	*	76,95
L28	5,989	2,873	3,808	*	2,315	1,649	0,899	2,575	37,35	*	0,594	73,86
L29	5,857	9,051	7,506	*	4,03	1,462	0,576	1,137	200,9	*	*	132,7
L30	5,94	84,06	2,168	*	18,63	1,263	16,77	0,399	307	*	*	37,4
L31	5,413	0,405	1,648	*	*	1,692	0,048	0,26	74,65	*	*	48,74
L32	6,239	31,6	6,05	1,131	6,503	1,763	0,316	7,722	9,091	*	1,922	47,2
L33	86,63	4,15	2,76	*	164,1	3,657	*	*	22,84	*	*	53,15
L34	53,58	1,549	*	*	256,8	3,14	5,554	*	11,66	*	0,688	93,28
L35	23,84	0,847	*	*	204,7	2,683	6,31	*	1892	*	*	288,1
L36	14,2	14,77	*	*	106,6	5,872	*	*	944	*	0,818	130,9
L37	12,21	13,64	*	*	114,3	3,031	*	*	5,7	*	*	104,9
L38	12,4	0,722	*	*	155,4	2,646	*	*	15,01	*	0,349	61,3
L39	29,89	0,506	0,391	*	111,3	2,561	0,672	*	4,151	*	*	31,53
L40	13,06	5,235	*	*	158,2	3,749	0,636	*	11,24	*	*	51,43
L41	9,382	7,449	*	*	105,7	3,137	*	*	78,15	*	*	121,9
L42	8,589	6,149	0,874	*	125,1	3,47	*	*	4,591	*	0,541	124,2
L43	20,55	12,33	*	*	131,2	4,35	14,42	*	9,173	*	*	107,3

*Belirlenme limitlerinin altında. Belirlenme limitleri (ppb).

Al	0.3	Mn	0.03	Cu	0.02	Cd	0.002
As	0.025	Ni	0.03	Fe	0.05	Se	0.01
Cr	0.003	Zn	0.1	Pb	0.01	Ba	0.002

6.1. Arsenik (As)

Arsenik kalkofil bir elementtir ve Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe gibi elementlerle birlikte, Ni-Cu sülfür yataklarında, fosfatlı kayalarda, oksitlerde, Cu içeren şeyl ve kumtaşı gibi tortul kayalarda (Cu, V, U, Ag) gibi elementlerle birlikte ve bazı uranyum damarlarında bulunur (Şahinci, 1991). Doğal izotopu As75 tir. Doğal içme sularında 10 ppb den fazla olmaması öngörülür. Az miktarda arseniğin, hayvancılık yapılan yerlerde hayvan içme sularında bulunması, canlılığın gelişimi için ve parazitlere karşı oldukça etkili olabilir (Atabey, 2015). İnsan sağlığına

etkileri ise keratozis denilen bir tür cilt hastalığına neden olabilir. Bu hastalık el ve ayak parmaklarda şekil bozukluğuyla birlikte cildin kalınlaşması, çatlaması, pul pul döküntüler, kızarıklık ve şişme şeklinde gözlemlenebilir. Ayrıca toksik etki gösterdiğinden kanserojen elementtir (Atabey, 2015).

Altın, gümüş, kobalt, bakır, çinko, kurşun yataklarının araştırılmasında arsenik, yüksek konsantrasyonlarda bulunmasıyla kılavuzluk edebilir. Mineralleşmenin yüksek olduğu kömür yataklarında yüksek arsenik içeriği ile dikkat çekebilir. Bununla birlikte termal kaynaklarda ve mineralli sularda yüksekderişimlerde bulunabilir (Şahinci, 1991).

Çalışma alanında ise L3, L4, L5, L8, L9, L10, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L31, L32, L33, L34, L35, L38, L39, L40, L41, L42 nolu lokasyonlarda arsenik konsantrasyonu 10 ppbden daha düşük değerlerde olup, L1, L2, L6, L7, L11, L30, L32, L36, L37, L43 nolu lokasyonlarda 10 ppb üzeri değerlerdedir (Çizelge 6.1). Bu lokasyonların dağılımına dikkat edilecek olursa, Kütahya ovasında yersel sanayinin bulunduğu kesimlerde ve Köprüören Ovasında konsantrasyon artışı gözlemlenir. Köprüören ovasında yöredeki gümüş madenciliği ve maden sahası nedeniyle konsantrasyon artışı olduğu gözlemlenir. Enne baraj gölünün bulunduğu havzada ise yüksek konsantrasyon artışı Yoncalı termal sahasının varlığı ile ilişkilendirilebilir (Şekil 6.1).

6.2. Kurşun (Pb)

Doğada oksitlenmiş sülfür bileşiklerleri pek çok Pb-oksit bileşiğini oluşturur. Kıtasal kabukta en çok magmatik kayalarda bulunur. K- Feldspatlar en çok kurşun içeren minerallerdir. Değerlik yükü +2 olan Pb, iyon yarıçapının K, Sr, Ba, Ca, Na gibi elementlere yakın olduğundan yerdeğiştirme tepkimesi ile bu elementlerin yerini alabilir (Şahinci, 1991).

İnsan vücudunda etkisi toksikolojiktir. Kurşun erişkin bireylerde yüksek tansiyon, kısırlık sorunu, eklem ve adale ağrıları, hafıza kaybı, kanser, böbrek yetmezliği, karaciğer yetmezliği gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olur (Kahvecioğlu vd., 2003).

Doğal sularda ise atmosferik koşullar ki bunlar fosil yakıtların yanması sonucu ve kömür yanması sonucu havaya salınan gazlar, bu gazların yağış suları ile toprağa ve yeraltısuyuna karışması, Pb-sülfid yataklarının yağış suları ile yıkanması sonucu yeraltısuyuna karışması gibi nedenlerle konsantrasyon artışı gözlemlenebilir. K-Feldspatların bozunumu sonucu oluşan kil minerallerinin varlığı ve bu minerallerle yeraltısuyunun etkileşimi de konsantrasyon artışına etki eder (Kahvecioğlu vd., 2004). İçme sularında 10 ppb den az kurşun olmalıdır.

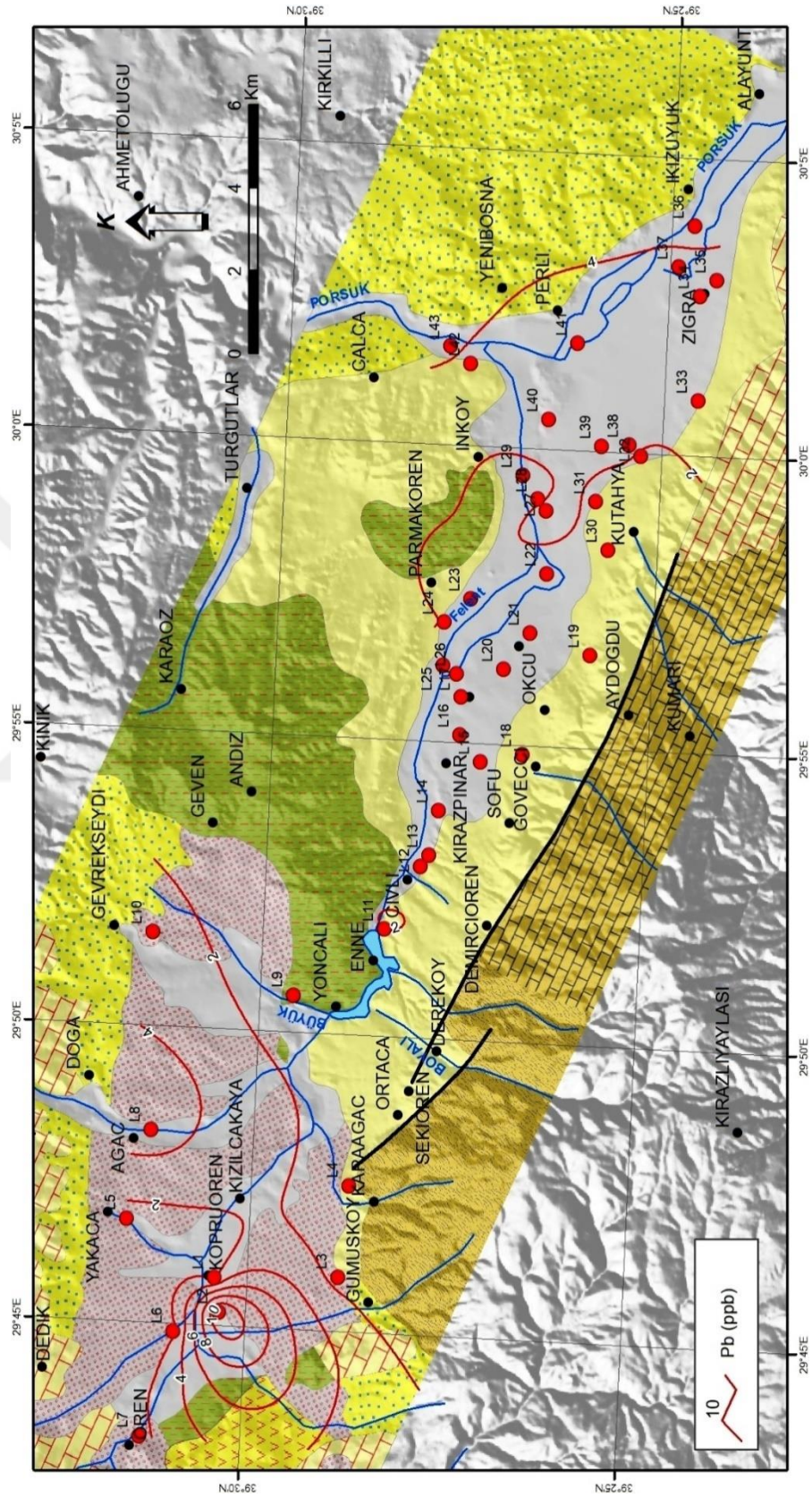
Çalışma alanında ki lokasyonların analiz sonuçlarına göre; 11,89 ppb ile 1 ppb arası değişkenlik gösterir (Çizelge 6.1). Dağılım Haritasına göre yüksek konsantrasyonlar Köprüören Ovasında gözlenir (Şekil 6.2). Yöredeki Gümüş madenciligi, pasa döküm sahasının bulunması ve maden sahasında sülfür bileşiklerinin yıkanması sonucu ortaya çıkan Pb-oksitler ve bunların yeraltısuyuyla etkileşimi bu alandaki konsantrasyon artışının nedeni olabilir.

6.3. Çinko (Zn)

Genellikle magmatik kayaların kimyasal bileşiminde bulunan çinko, özellikle bazik ve ultrabazik kayalarda (bazalt gabro gibi) ve magnetitlerde bol bulunur. Derinlik kayalarından yüzey ve asit magmatik kayalara doğru çinko konsantrasyonunda azalma gözlenir.

Granitik kayalarda ise biyotit ve amfibol minerallerinde bulunan çinko yağışlı dönemlerde yıkanarak yüzey ve yeraltısularına katılabilir. Yüzey sularının çinkoca kirlenmesi, sülfitlerin yıkanmasıyla ortaya çıkan asit maden suları, demir-çelik sanayi kuruluşlarının ve endüstriyel atıkların suları kirlenmesi, kömür kül tozlarının yüzey sularına karışmasıyla oluşur. Yüzey ve yeraltısularında ise organik maddeler, kil mineralleri ve demirli oksit minerallerince soğrulur (Şahinci, 1991). Bu nedenle konsantrasyon artışı birkaç km'lik alanda gözlenir.

Çalışma alanında Köprüören ovasında ve Kütahya ovasında izlenir. Köprüören ovasında L10 lokasyonda 703 ppb, L35 lokasyonda 1892 ppb konsantrasyonlardadır (Çizelge 6.1). En düşük değerler ise 3-3.5 arası değişmekte olup diğer lokasyonlar 3- 1892 ppb arası değişim gösterir (Şekil 6.3). Yüksek ppb değerlerine sebep, Seyitömer Termik Santralinin yakınlarında lokasyonlarda kömür ve kül tozlarının yüzeysularına ve Zn-sülfür bileşiklerinin yıkanıp yeraltısuyuna karışması sonucu konsantrasyon artışı olabilir. L10 lokasyonu ise hidrotermal alterasyonun bulunduğu opal oluşumlarının yakınlarında bulunur. Hidrotermal çözeltilerin yeraltısuyuyla etkileşimi sonucu L10 lokasyonunda Zn'nin yüksek değerde olması muhtemeldir. Kütahya Ovasında ise İkizhüyük mevkinde bulunan lokasyonlardaki konsantrasyon artışı ise yakınlarında bulunan organize sanayi bölgesinin atık sularının doğal sulara karışmış olabileceğini düşündürür.



Şekil 6.2. Kurşun (Pb) konsantrasyonu dağılım haritası.

6.4. Demir (Fe)

Demir ve demir bileşiklerinin jeokimyasal özellikleri çoğunlukla oksijen, kükürt ve karbona bağlıdır. Havadaki oksijen, iki değerlikli Fe^2 minerallerini oksitler ve Fe^3 bileşikleri oluşturur. Tortul kayalarda, bakterilerin etkinliği ve organik karbonun etkisiyle Fe^3 i, Fe^2 bileşiklerine ve sülfatları sülfürlere dönüştürürler. Ortamda sülfidler az ise, çözünmüş oksitlemiş demirle $FeCO_3$, çözünmüş sülfid ve karbonat az ve silikat bol ise, Fe-silikatlar oluşur (Şahinci, 1991).

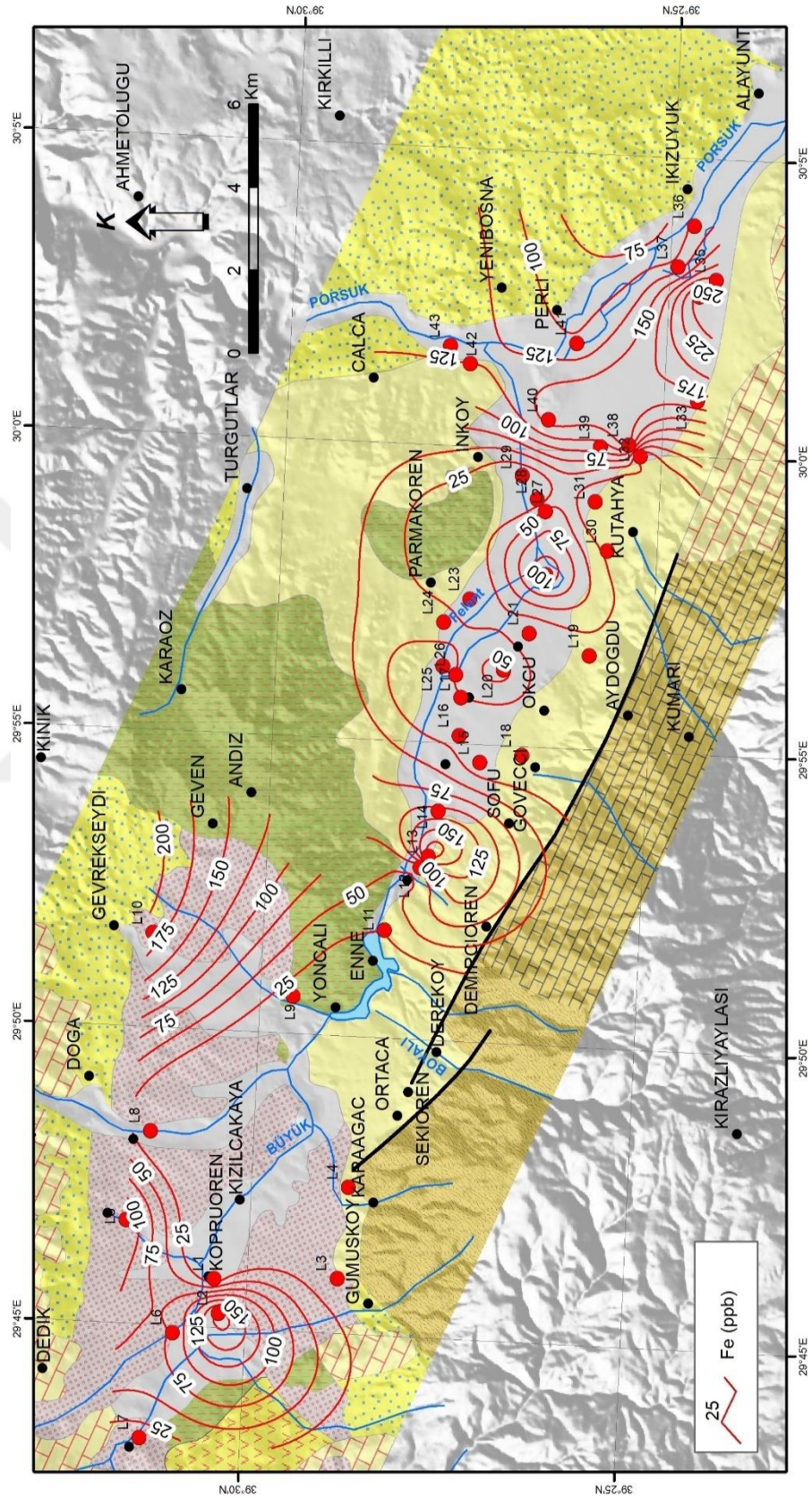
Magmatik kayalarda Fe minerallerinin bozunum sırası olivin, piroksen, amfibol, biyotit şeklindedir. Tortul kayalar oksitlenmeden dolayı yüksek demir içerikli olabilir. Metamorfik kayalarda ise Fe oksit formlarında bulunur. Silikatlı kayalar, granit, gnays, mikaşist, bol silikatlı kumtaşları, alüvyon ve killi formasyonlarda bol miktarda bulunur.

Doğal sulara demir kaynağı organik olabilir. Suda yaşayan canlıların yumuşak dokularında, kavkı-iskelet gibi katı kısımlarında, mikroorganizmanın etkinliği ile açığa çıkan demir çökelişi ve çözünmesi gibi etkenler yüzey sularında konsantrasyon artışına neden olabilir.

Çalışma alanında çalışmaya konu olan lokasyonlarda 3-256 ppb arası değerlerde izlenir (Çizelge 6.1). Konsantrasyon dağılım haritasında ise her iki ovada da geniş dağılım gösterir. Seyitömer Linyit İşletmelerine ve Gümüşköydeki gümüş maden sahasına yakın lokasyonlarda, Porsuk Çayına yakın lokasyonlarda ve Kütahya Ovasında sanayi faaliyetlerinin olduğu kesimlerde göreceli yüksek değerlerde görülür (Şekil 6.4).

6.5. Baryum (Ba)

Baryum özellikle asidik magmatik kayalarda potasyum ve kalsiyumun yerini alır. Kayaç içerisinde silis miktarı arttıkça Ba içeriği de artar. Ultrabazik kayalarda ise Ba içeriği çok azdır. Karbonatlı kayalarda ortalama 90 ppm, kumtaşı ve grovaklarda ortalama 316 ppm, şeylerde ise organik şeyllerin derişimi daha fazla olmak üzere ortalama 546 ppm kadar Ba içeriğine rastlanır (Şahinci, 1991).



Şekil 6.4. Demir konsantrasyonu dağılım haritası.

Hammadde olarak elde edilen Baryum ve türevleri bileşikler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kağıt sanayinde dolgu madde olarak, cam yapımında, tarımda fare zehiri ve böcek ilacı olarak, elektrik sanayinde flüoresan perdelerin yapımında, x ışınları teknolojisinde, lastik, plastik, boya ve benzeri ürünlerde kurşun, alüminyum ve magnezyum gibi metallerin alaşımlarında kullanılır.

İnsan vücudunda yüksek Baryum bulunması kemiklerde kalsiyumun yerini alabildiğinden kemik deformasyonlarına neden olur. Ayrıca vücutta ayrışması sonucu kan basıncının yükselmesine, felç ve ölümlere neden olabilir (Atabey, 2011).

Bu çalışmada örnekleme yapılan lokasyonlarda Ba, 30-390 ppb arası değerlerde gözlenir (Çizelge 6.1). Baryum konsantrasyonu en fazla Köprüören Ovasında L2, L5, L10 ve L35 noktalarında göreceli olarak yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Şekil 6.5).

6.6. Ulusal ve Uluslararası Standartlara Göre Suların Kullanılabilirlik Durumu

Doğal suların insani amaçlı kullanılabilmesi için uygun olup olmadığını denetlemek amacıyla, ulusal ve uluslararası standartların belirlediği sınırlar dahilinde değerlendirilir. Suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri belirlenen sınır değerlerin altında veya üzerinde olduğu durumlarda suların içme ve kullanmaya elverişli olup olmadığı anlaşılır. Sınır değer üzerinde bulunan lokasyonlar içme ve kullanmaya elverişli değil, sınır değerler altında ise insani ihtiyaçların giderilmesinde kullanıma uygun olduğu belirlenir.

Bu çalışmada analizleri yapılan numunelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, ulusal ve uluslararası standartlara göre kullanılabilirlik durumu irdelenmiş ve tanımlaması yapılmıştır (Çizelge 6.2, 6.3).

Bu çalışmada ölçüt kabul edilen ulusal ve uluslararası standartlarda, parametrelerin limit değerleri verilmeyen kalsiyum, potasyum, magnezyum gibi parametrelere göre değerlendirme yapılamadığı için göz önünde bulundurulmamıştır (Çizelge 6.2, 6.3). Limit değeri verilmiş olan parametrelerden gümüşe göre de değerlendirme yapılamamıştır. Bunun nedeni numunelerin Ag^+ iyonlarının analizlerinin yapılmamış olmasıdır (Çizelge 6.2).

Sıcaklık tüm lokasyonlarda 25 °C'den düşüktür ve elektriksel iletkenlik (Çizelge 6.3.)'de belirtilen 2500 $\mu S/cm$ limit değerinin altındadır (Çizelge 5.1a-b). Hidrojen İyonu Konsantrasyonu sadece L11 lokasyonunda 8.70 değerinde ve WHO 2004 kalite standartları limit değerinin üzerindedir (Çizelge 6.2). Bu parametrelere göre tüm sular kullanıma "uygundur".

Çizelge 6.2. Ulusal ve uluslararası standartlara göre sınır değerler.

Parametreler	TS-266 (2005)	EPA (2005)	WHO (2004)	Doğal Mineralli Sular Yönetmeliği 2004	TSE 9130 Mineralli Sular 2010
Sıcaklık	25	-	-	-	-
PH	6.5<pH<9.5	6.5<pH<9.5	6.5<pH<8.5	-	-
EC (µS/cm)	2500	-	2500	-	-
Na (mg/l)	200	-	-	-	-
K (mg/l)	-	-	-	-	-
Ca ² (mg/l)	-	-	-	-	-
Mg ² (mg/l)	-	-	-	-	-
Cl ⁻ (mg/l)	-	250	250	-	-
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250	250	250	-	-
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	-	-	-	-	-
Sb ⁺ (µg/l)	5	6	5	5	5
Ag ⁺ (µg/l)	-	-	-	-	-
Al ³⁺ (µg/l)	200	200	200	200	200
As ⁺ (µg/l)	10	10	10	10	10
Zn	100	500	300	500	-
Cd (µ/l)	5	5	3	3	3
Cr (µg/l)	50	-	50	50	50
Fe (µg/l)	200	300	300	300	300
Cu (µg/l)	200	300	300	-	-
Mn (µg/l)	50	-	100	500	500
Hg (µg/l)	1	2	-	1	1
Ni (µg/l)	20	-	20	20	20
Pb (µg/l)	10	15	10	10	10
Se (µg/l)	10	50	10	10	10
F (µg/l)	1500	4000	1500	4000	4000
Ba (µg/l)	-	2000	-	1000	1000

Sodyum için tüm lokasyonlar verilen limit değerinin altındadır ve bu parametreye göre sular kullanıma “uygundur” (Çizelge 6.3).

Çalışma alanında bulunan lokasyonlarda, sülfat için sadece L28 lokasyonunda sınır değerleri aşmıştır (Çizelge 6.3). Dolayısıyla L28 lokasyonundaki su insani kullanım amaçlı kullanılmamalıdır.

Antimuan için L2, L11, L30, L32 lokasyonları sınır değerin üzerindedir ve bu lokasyonlardaki suların antimuan parametresine göre kullanımı “uygun değildir” (Çizelge 6.3).

Arsenik için L1, L2, L6, L7, L11, L30, L32, L36, L37, L43 lokasyonları Arsenik kirliliği olan sulardır ve bu lokasyonlar kalite standartlarının hiçbirine “uygun değildir” (Çizelge 6.3). Bu lokasyonlardan herhangi bir insani kullanım amaçlı kullanılmaması gerekmektedir.



Çizelge 6.3. Kütahya ve Köprüören ovalarından örneklenen suların TS266'ya göre uygunlukları.

Parametre	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22
Sıcaklık	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
PH	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
EC (μS/cm)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Na (mg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Cl ⁻ (mg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Sb (μg/l)	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Al (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
As (μg/l)	×	×	√	√	√	×	×	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Zn (μ/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	×	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√	√
Cd (μ/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Cr (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Fe (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Cu (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Mn (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Hg (μg/l)																						
Ni (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Pb (μg/l)	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Se (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
F (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Ba (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Çizelge 6.3. (devam) Kütahya ve Köprüören ovalarından örneklenen suların TS266'ya göre uygunlukları.

Parametre	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30	L31	L32	L33	L34	L35	L36	L37	L38	L39	L40	L41	L42	L43
Sıcaklık	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
PH	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
EC (μS/cm)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Na (mg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Cl ⁻ (mg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	√	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Sb (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	×	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Al (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
As (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	×	√	×	√	√	√	×	×	√	√	√	√	√	×
Zn (μ/l)	√	√	×	√	√	√	×	×	√	√	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√	√
Cd (μ/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Cr (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Fe (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√	√	√
Cu (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Mn (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Hg (μg/l)																					
Ni (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Pb (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Se (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
F (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Ba (μg/l)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

√: uygun

×: Uygun değil

Çinko kirliliğinin mevcut olduğu lokasyonlar ise; L10, L15, L25, L29, L30, L35, L36 lokasyonlarıdır (Çizelge 6.3). Bu lokasyonların hepsi kalite standartlarının hiçbirine “uygun değildir”.

Kadmiyum için numune analizlerinde sadece kalite standart limitinin altında olan L1 ve L2 lokasyonlarının analizi, analizlerin belirlenme limitinin üstündedir. Diğer lokasyonlar ise saptama sınırının altında olduğundan “*” işareti ile gösterilmiştir (Çizelge 6.3). Çalışma alanında herhangi bir kadmiyum kirliliği mevcut değildir.

Krom için yapılan değerlendirmede ise hiçbir lokasyonda herhangi bir kromca kirlilik tespit edilmemiştir (Çizelge 6.3). Dolayısıyla bu parametreye göre kullanımı “uygundur”.

Demir kirliliğinin tespiti için yapılan değerlendirmede, sadece L34 ve L35 lokasyonları TS-266 (2005) standardı için limit değeri aştığı görülür. Dolayısıyla TS-266 (2005)’e göre kullanılması “uygun değildir”. Diğer standartlara göre bu lokasyonlardaki sular da kullanıma uygun gözükmemektedir fakat insani amaçlı kullanılmaması tavsiye olunur (Çizelge 6.3).

Bakır için tüm lokasyonlar kullanıma uygundur. Yörede herhangi bir bakır kirliliği tespit edilmemiştir (Çizelge 6.3).

Mangan için sadece L9 lokasyonu limit değerinin üzerindedir (Çizelge 6.3). Diğer lokasyonlardaki sular ise kullanıma “uygundur”.

Nikel için tüm lokasyonlar kullanıma “uygundur” (Çizelge 6.3).

Kurşun parametresi için L2 lokasyonu dışında diğer tüm lokasyonlar kullanıma “uygundur” (Çizelge 6.3).

Selenyum, Flor ve Baryum için tüm lokasyonların analiz sonuçları, standart parametrelerinin limit değerlerinin altında olup bu parametrelerce kullanımı “uygundur” (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3’e göre, L3, L4, L5, L8, L12, L13, L14, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L26, L27, L31, L33, L38, L39, L40, L41, L42 lokasyonları ulusal ve uluslararası standartların bu çalışmada belirtilen tüm parametrelerine göre uygun olduğu görülür.

6.7. Kirlilik İndisi

Yeraltı ve yüzey sularının kirlilik (ağır metal, iyon) durumlarının incelenmesinde ölçülen parametreler ile bu parametreler için önerilen standart limitlerin karşılaştırılmasına dayalı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Uygulama aşamasında kolay ve baskın parametrelerin belirlenmesine

olanak sağlayan Kirlilik İndisi (C_d) yaklaşımı (Backman vd., 1998) bu çalışma kapsamında örneklenen noktalara uygulanmıştır.

Bu yöntemde, Kirlilik İndisi (C_d) analiz edilen her bir su örneği için ayrı ayrı hesaplanır. İndis değeri standartlarda izin verilen limit değeri aşan parametrelerin kirlilik faktörlerinin (C_{fi}) toplamına karşılık gelir. Elde edilen değer bu nedenle içme suları için tehlikeli-zararlı olduğu düşünülen parametrelerinin toplam etkisini özetlemektedir. Kirlilik İndisi (C_d) aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır (Backman vd., 1998):

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (6.1)$$

$$C_{fi} = \frac{C_{Ai}}{C_{Ni}} - 1 \quad (6.2)$$

Burada, C_{fi} , i bileşeninin kirlilik faktörü, C_{Ai} , i bileşeninin analiz edilen derişimi, C_{Ni} , i bileşeni için standartlarda önerilen üst derişim limitidir. Yöntemde standartlarda izin verilen derişim değerlerinin altındaki analitik değerlere sahip elementler ve iyonik türler dikkate alınmaz. Elde edilen C_d değerine göre yeraltısuyu kirlilik durumu aşağıdaki üç kategoride gruplandırılır:

$C_d < 1$ (düşük)

$C_d = 1-3$ (orta)

$C_d > 3$ (yüksek)

Kütahya ve Köprüören ovalarında örneklenen su noktalarında sadece As, Fe, Pb, Mn, Zn ve SO_4^{2-} parametrelerinin bazı noktalarda TS266 standartında önerilen eşik değerleri aştığı tespit edilmiştir (Çizelge 6.3). Bu parametrelere göre hesaplanan C_{fi} ve C_d değerleri Çizelge 6.4'te verilmektedir.

Uygulanan bu yönteme göre:

- L6, L9, L15, L34, L37 ve L43 örnekleri düşük kirlilik ($C_d < 1$)
- L7, L11, L25, L29 ve L32 örnekleri orta kirlilik ($1 < C_d < 3$)
- L1, L2, L10, L30, L35 ve L36 örnekleri yüksek kirlilik ($C_d > 3$)

sınıflarına girmektedir. Yüksek kirlilik sınıfına giren örneklerde ana kirletici parametreler L1 ve L2 örneklerinde As; L10, L35 ve L36 da Zn; L30 ise As ve Zn olarak belirlenmiştir.

Kirlilik İndisi (C_d) değerlerinin alansal yayılımı Şekil 6.6 da gösterilmektedir. Arsenik kirliliğinin baskın olduğu L1 ve L2 örnekleri Köprüören ovasında, Eti Gümüş Tesislerinin

mansabında yer almaktadır (Şekil 6.7). Bölgede bu işletmeye yakın, ancak daha yüksek kotlarda yer alan noktalarda (L3 ve L4) kirlilik belirtisi bulunmaması L1 ve L2 noktalarındaki arsenik kirliliğinin cevherleşmeye bağlı jeojenik veya işletmeden sızıntı kaynaklı olabileceğini düşündürmektedir.

Çizelge 6.4. Kütahya ve Köprüören ovalarındaki su noktalarında hesaplan C_d değerleri.

	C_{fi}						C_d	Baskın parametre
	As	Fe	Pb	Mn	Zn	SO ₄		
L1	6,109						6,109	As
L2	11,52		0,189				11,709	As
L6	0,407						0,407	As
L7	2,84						2,84	As
L9				0,261			0,261	Mn
L10					6,03		6,03	Zn
L11	2,361						2,361	As
L15					0,737		0,737	Zn
L25					1,668		1,668	Zn
L29					1,009	1,426	2,435	Zn
L30	7,406				2,07		9,476	As+Zn
L32	2,16						2,16	As
L34		0,284					0,284	Fe
L35		0,024			17,92		17,944	Zn
L36	0,477				8,44		8,917	Zn
L37	0,364						0,364	As
L43	0,233						0,233	As

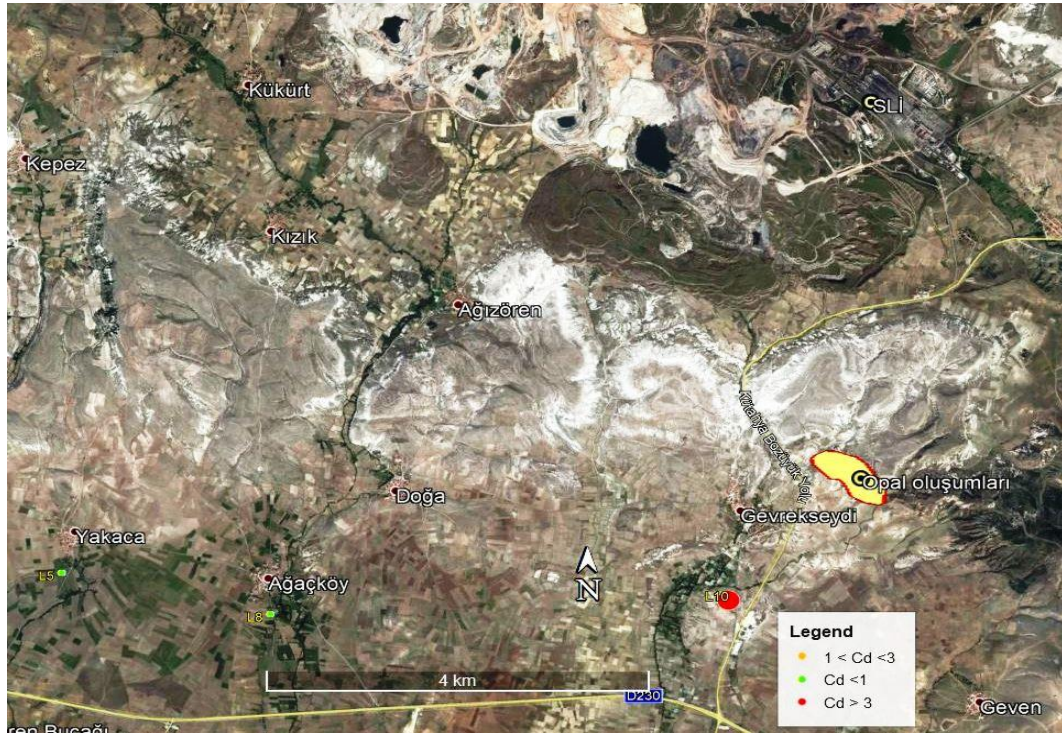
Zn kirliliğinin baskın olduğu L10 noktası Gevrekseydi köyünde dar bir alanda hidrotermal opal oluşumlarının gözlemlendiği alanın akış aşağısında bulunur. Bu nokta aynı zamanda Seyitömer Linyit Havzası ve Seyitömer Termik Santralinin hemen yakında da bulunur (Şekil 6.8). Linyit havzasına aynı uzaklıkta bulunan L8 (Ağaçköy) ve L5 (Yakaca) örneklerinde ağır metal kirliliğine rastlanılmaması nedeniyle L10 noktasındaki Zn kirliliğinin jeojenik kökenli olması muhtemeldir.

As ve Zn kirliliğinin birlikte bulunduğu L30 noktası Kütahya merkez sanayi bölgesinde yer alır. Benzer şekilde Zn kirliliğinin var olduğu L35 ve L36 noktalarının organize sanayi bölgesi yakınında yer alması nedeniyle bu noktalardaki ağır metal kirliliğinin, sanayi atık sularının doğal sulara karışımı şeklinde açıklama mümkündür (Şekil 6.6).

Şekil 6.6. Kirlilik indisi (C_d) dağılım haritası.



Şekil 6.7. Arsenik kirliliğinin baskın olduğu noktalar.



Şekil 6.8. Zn kirliliğinin baskın olduğu L10 noktası.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma sürecinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Örneklemede elde edilen numunelerin Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarında kimyasal analizleri yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre; örneklerin major iyonlarından Na^+ 3,42 – 98,11 ppm arası, K^+ 0,47 ppm – 180,69 ppm arası, Ca^{+2} 25,70 – 194,12 ppm arası, Mg^{+2} 16,65 – 137,68 ppm arası, Cl^- 2,78 – 168,97 ppm arası, toplam alkalinite 177,67 – 645,53 ppm arası ve SO_4^{2-} 2,55 – 616,53 ppm arası konsantrasyonlara sahiptirler. Kimyasal fasiyes sınıflamasında ise örneklerin çoğu Ca-HCO_3 ile Mg-HCO_3 tipi sular sınıfındadır. Kimyasal olarak bu sular, karbonatlarca denetlenir. Ayrıca tüm örnekler kalsit, aragonite ve dolomite (L34 hariç) doymun durumdadır. Evaporit mineralleri ise doymunluktan uzaktır (Şekil 3.6).

Çalışmanın esas amacını teşkil eden yüzey ve yeraltısularının iz elementlerin varlığı ve kirlilik durumunu tespit etmek için numunelerin iz element analizleri yapılmıştır. Buna göre;

Çalışma alanında ise L3, L4, L5, L8, L9, L10, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L31, L32, L33, L34, L35, L38, L39, L40, L41, L42 nolu lokasyonlarda arsenik konsantrasyonu 10 ppb den daha düşük değerlerde olup, L1, L2, L6, L7, L11, L30, L32, L36, L37, L43 nolu lokasyonlarda 10 ppb üzeri değerlerdedir (Çizelge 6.1). 10 ppb üzeri değerlerde olan lokasyonlar ise kalite standartlarının hiçbirine “uygun değildir” (Çizelge 6.3). Bu lokasyonlardan herhangi bir insani kullanım amaçlı kullanılmaması gerekmektedir. Bu lokasyonların dağılımına dikkat edilecek olursa, Kütahya ovasında yersel sanayinin bulunduğu kesimlerde ve Köprüören Ovasında konsantrasyon artışı gözlemlenir. Köprüören ovasında yöredeki gümüş madenciliği ve maden sahası nedeniyle konsantrasyon artışı olduğu gözlemlenir. Enne baraj gölünün bulunduğu havzada ise yüksek konsantrasyon artışı Yoncalı termal sahasının varlığı ile ilişkilendirilebilir (Şekil 6.1).

Kurşun ise, 11.89 ppb ile 1 ppb arası değişkenlik gösterir (Çizelge 6.1). Kurşun parametresi için L2 lokasyonu dışında diğer tüm lokasyonlar kullanıma “uygundur” (Çizelge 6.3). Dağılım Haritasına göre yüksek konsantrasyonlar Köprüören Ovasında gözlenir (Şekil 6.2). Yöredeki Gümüş madenciliği, pasa döküm sahasının bulunması ve maden sahasında sülfür bileşiklerinin yıkanması sonucu ortaya çıkan Pb-oksitler ve bunların yeraltısuyuyla etkileşimi bu alandaki konsantrasyon artışının nedeni olabilir.

Yüksek Zn içerikleri ise Köprüören ovasında ve Kütahya ovasında izlenir. Köprüören ovasında L10 lokasyonda 703 ppb, L35 lokasyonda 1892 ppb konsantrasyonlardadır (Çizelge 6.1). En düşük değerler ise 3-3.5 arası değişmekte olup diğer lokasyonlar 3- 1892 ppb arası

değişim gösterir (Şekil 6.3). Çinko kirliliğinin mevcut olduğu lokasyonlar ise; L10, L15, L25, L29, L30, L35, L36 lokasyonlarıdır (Çizelge 6.3). Bu lokasyonların hepsi kalite standartlarının hiçbirine “uygun değildir”. Yüksek ppb değerlerine sebep, Seyitömer Termik Santralinin yakınlarında lokasyonlarda kömür ve kül tozlarının ve Zn-sülfür bileşiklerinin yıkanıp yeraltısuyuna karışması sonucu konsantrasyon artışı olabilir. Kütahya Ovasında ise İkizhüyük mevkinde bulunan lokasyonlardaki konsantrasyon artışı ise yakınlarında bulunan organize sanayi bölgesinin atık sularının doğal sulara karışmış olabileceğini düşündürür.

TS-266 2005 standart parametrelerine göre L34 ve L35 lokasyonlarında demir kirliliği söz konusu olup, 200 ppb üzeri değerdedir (Çizelge 6.1). Dolayısıyla TS-266 (2005)’e göre kullanılması “uygun değildir”. Diğer standartlara göre bu lokasyonlardaki sular da kullanıma uygun gözükmemektedir fakat insani amaçlı kullanılmaması tavsiye olunur (Çizelge 6.3). Konsantrasyon dağılım haritasında ise her iki ovada da geniş dağılım gösterir. Seyitömer Linyit İşletmelerine ve Gümüşköydeki gümüş maden sahasına yakınlıkta, Porsuk Çayına yakın lokasyonlarda ve Kütahya Ovasında sanayi faaliyetlerinin olduğu kesimlerde göreceli yüksek değerlerde görülür (Şekil 6.4).

Baryum ise lokasyonlarda, 30-390 ppb arası değerlerde gözlenir (Çizelge 6.1). Baryum konsantrasyonu en fazla Köprüören Ovasında L2, L5, L10 ve L35 noktalarında nispeten yüksek değerlerde bulunur (Şekil 6.5). Kalite standartlarının Baryum parametresine göre tüm lokasyonlar kullanıma “uygundur” (Çizelge 6.3).

Kirlilik indisi parametresine göre; L6, L9, L15, L34, L37 ve L43 örnekleri düşük kirlilik ($C_d < 1$); L7, L11, L25, L29 ve L32 örnekleri orta kirlilik ($1 < C_d < 3$); L1, L2, L10, L30, L35 ve L36 örnekleri yüksek kirlilik ($C_d > 3$) gösterir. Yüksek kirlilik sınıfına giren örneklerde ana kirliletiçi parametreler L1 ve L2 örneklerinde As; L10, L35 ve L36 da Zn; L30 ise As ve Zn olarak belirlenmiştir (Şekil 6.6).

Bu çalışma yağışlı dönemde gerçekleştirilmiştir. Ancak, kurak dönemlerde yüzey ve yeraltısularının buharlaşma ve bitki örtüsünün terleme kayıplarının çok fazla olduğu, tarımsal amaçlı sulamanın ihtiyaç duyulduğu yaz aylarında yapılmış olsaydı numunelerin iz element derişimlerinde konsantrasyon artışı gözlemlenebilirdi. Bunun için çalışmanın kurak dönemlerde de aynı lokasyonlardan alınan numunelerin kimyasal analizlerinin yapıp değerlendirilmesi gerekir. Yüzey ve yeraltısularının belki daha geniş alanlarda kirliliğinin tespiti mümkün olabilirdi. Yağışlı dönemlerde düşük derişimlere sahip lokasyonlar, kurak dönemlerde yüksek derişimlere sahip olabilirdi. Yıl içerisinde değişken kabul edilebilecek bu göreceli düşük-yüksek

konsantrasyon değişiminin irdelenmesi, bize ovanın ağır metallerce kirliliğinin çok daha sağlam delillerle tespitine imkan sağlayabilir.

Jeojenik doğal kirlenmelerin ve insan kaynaklı kirleticilerin var olduğu çalışma alanında, bu tip kirleticilerin etkilerini en aza indirmek mümkündür. Bunun için sanayi kuruluşları bu konuda bilinçlendirilmeli, sanayi atık sularının tahliyesi için arıtma tesisleri kurmaları ve devletin teşvik etmesiyle uygulamanın yaygınlaştırılması gerekir. Evsel atıklar için geri dönüşüm tesisleri faaliyetlerine ve evsel atık sular için arıtma tesislerinin varlığına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için etkin drenaj koşullarının sağlanması ve kurulması istenen bu tesislerin, atık suların drene olduğu kesimlerde kurulması öngörülebilir. Tarımsal faaliyetlerde suni gübre ve kimyasal ilaçlamanın denetlenmesi gerekir. Hatta mümkünse suni gübre yerine organik gübre kullanımının teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması öngörülebilir. Fabrika bacalarından çıkan zehirli gazların emisyonunu en aza indirmek için filtrelemeler yapılması ise atmosfere zehirli gaz salınımını asgari düzeye indirebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akdeniz, N., Konak, N., (1979). Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi. M.T.A. Raporu, No:6547.
- Arslan, Ş. (2017). Assessment of groundwater and soil quality for agricultural purposes in Koprüören basin. Kütahya, Turkey. Journal of African Earth Sciences, 1-13,5.
- Atabey, E., (2009). Tıbbi Jeoloji. T.M.M.O.B Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 88, 210 s.
- Atabey, E., (2015). Kütahya ili tıbbi jeolojik unsurları ve halk sağlığı. Kütahya Belediyesi Kültür Yayınları.
- Baş, H., (1983). Domaniç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz yöresinin tersiyer Jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği, 27, 11-18.
- Biçer, A., (1981). Kütahya ve Köprüören ovaları hidrojeolojik etüt raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 65s.
- British Columbia Ministry of Agriculture, Food and Fisheries (2015). Harmonized World Soil Database v1,2; FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC2112.
- Doğal mineralli sular hakkında yönetmelik (2004). Resmi Gazete, 25657, Aralık.
- DSİ (1985). Kütahya-Porsuk havzası jeofizik etüd raporu, D.S.İ. III. Bölge Müdürlüğü, 5s.
- DSİ (2003). Kütahya Ovası karst hidrojeolojisi ara raporu, D.S.İ. III. Bölge Müdürlüğü, 41s.
- DSİ (1965). Kütahya Ovası jeofizik rezistivite etüd raporu. D.S.İ. Genel Müdürlüğü, 15s.
- DSİ (1981). Kütahya ve Köprüören ovaları hidrojeolojik etüt raporu. D.S.İ. Genel Müdürlüğü, 65s.
- Ergun, Y., (1965). Kütahya Ovası jeofizik rezistivite etüd raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., (1987). Yeraltı suları jeolojisi, İTÜ Maden Fakültesi Yayını, 238-260s., İstanbul.
- EPA, (2002). U.S. EPA, Standart Methods For The Examination Of Water And Wastewater American Publish Health Assoc.
- Gautier, Y. (1984). “Déformations et métamorphismes associés à la fermeture téthysienne en Anatolie Centrale (Région de Sivrihisar, Turquie)”, Ph. D. Thesis, Universite de Paris-Sud, Centre d'Orsay, Fransa, 236s.
- Göncüoğlu, M. C., Özcan, A., Turhan, N., Işık, A., (1992). “Stratigraphy of the Kütahya Region, Guide Book: A Geotraverse Across Suture Zones in NW Anatolia”, Publication of the General Directorate of Mineral Research and Exploration, 3-8.
- Gün, H., Akdeniz, N., Günay, E., (1979). “Gediz ve Emet güneyi neojen havzalarının jeolojisi ve yaş sorunları”, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 8, 3-13.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., (2008). Metallerin çevresel etkileri-I. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları.

Kaya, O., (1972). "Tavşanlı yöresi ofiyolit sorununun ana çizgileri", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 15, 26-108, Mather, J.R., 1978, The climatic water balance in environmental analysis: Lexington, Mass., D.C. Heath and Company, 239s.

M.T.A, (2002). Türkiye 1/500000 ölçekli jeoloji haritası, Kütahya paftası, MTA.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <http://www.mgm.gov.tr> 28 Ocak 2013

Okay, A.I., (1981). "Kuzeybatı Anadolu'daki ofiyolitlerin jeolojisi ve mavişist metamorfizması (Tavşanlı-Kütahya)", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 85-95, Okay, A.I., "Kuzeybatı Anadolu'da yer alan metamorfik kuşaklar", Ketin Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurumu, Ankara, 83-92, 20-21 Şubat, (1984a).

Okay, A.I., (1984b). "Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists", In: The geological evolution of the eastern Mediterranean (Editors: Dixon JE, Robertson AHF), Geological Society of London Special Publication, 17, 455-466.

Okay, A.I., (1986). "High pressure/low temperature metamorphic rocks of Turkey, In: Blueschists and Eclogites (Editors B.W. Evans and E.H. Brown)", Geological Society of America Memoir, No: 164, 333-348.

Okay, A.I., (2001). "Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: a New structural model", International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau), 89, 709-727.

Oweis, T., Salkini, A., Zhang, H., Ilbeyi, A., Ustun, H., Dernek, Z., Erdem, G. (2001). Supplemental Irrigation Potential for Wheat in the Central Anatolian Plateau of Turkey. ICARDA, Aleppo, Syria.

Özcan, A., Göncüoğlu, C., Turhan, N., (1989). "Kütahya-Çifteler-Bayat-İhsaniye yöresinin temel jeolojisi", M.T.A. Raporu, No: 8974.

Özburan, M., (2009). Kütahya ve çevresinin neotektonik incelemesi, Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

Piper, A. M., (1944). A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses: Trans. Amer. Geophys. Union, 25, s.914-928.

Schoeller, H., (1962). Les eaux souterraines: 642s., Mason et cie, Paris.

Şahinci, A., (1991). Doğal suların jeokimyası, Reform Matbaası. 548 s. İzmir

Thornthwaite, C. W., (1948). An Approach A Rational Classification Of Climate: The geographical review: s.55-94, C.38, New York.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., (1955). The Water Balance. Climatology, 8:1-86.

TSE, (2005). Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE, (2010). Doğal mineralli sular, TSE 9130, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

WHO, (2004). World Health Organisation (WHO), Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Resolution WHA55. WHO

Wilcox, L. V., (1955). Classification and Use of Irrigation Waters. US Department of Agriculture. Cire. 969, Washington D.C., USA, s.19.

Zengin, E., (2013). Kütahya yerleşim alanı zeminlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması., Yüksek Lisans Tezi, D.P.U., Jeo. Müh. Böl., Kütahya-Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZCAN, Meral
Doğum tarihi ve yeri : 31/10/1978 Kütahya
e-mail : meryemin39@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
2.97	Dumlupınar Üniversitesi	2014
Doktora	-	
Yüksek lisans	-	
Lisans	2.97/ Jeoloji Mühendisliği/ 2014	
Lise	4.00/ Kütahya Ticaret Meslek Lisesi/ 1995	

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008	Art Craft	İşçi
2009	Seher Tekstil A.Ş.	İşçi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-