

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**İNÖNÜ OVASI (ESKİŞEHİR) AKİFERİNİN KİRLENME HASSASİYETİNİN
BELİRLENMESİ**

Özlem GÜLLÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Özlem GÜLLÜ tarafından hazırlanan “İnönü Ovası (Eskişehir) Akiferinin Kirlenme Hassasiyetinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 09/09/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mehmet ÇELİK
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ
Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÇELİK
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Recep KILIÇ
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim DEMİR

Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

09/09/2014


Özlem GÜLLÜ

ÖZET

Doktora Tezi

İNÖNÜ OVASI (ESKİŞEHİR) AKİFERİNİN KİRLENME HASSASİYETİNİN BELİRLENMESİ

Özlem GÜLLÜ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Günümüzde artan nüfus ve sanayileşmenin bir sonucu olarak ortaya çıkan çevre sorunlarından biri de yeraltı suyu kirliliğidir. Yeraltı sularının kirliliğinin önlenmesi ve giderimi konusunda altyapı oluşturabilecek çalışmalardan bir tanesi de yeraltı sularının kirlenme potansiyelinin belirlenmesidir. Bu çalışmada da kuzeybatı Orta Anadolu’da, Eskişehir İli’nin batısında yer alan İnönü Ovası (Eskişehir) akifer sisteminin kirlenme potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

İnönü İlçesi artan nüfusu, endüstriyel ve tarımsal faaliyetleri ile su gereksinimi günden güne fazlalaşan bir ilçedir. İlçede, mevcut su potansiyelinin devamlılığını sağlayabilmek için yüzeysel ve yeraltı sularının korunması oldukça önemlidir. Bu bağlamda, yapılan bu tez çalışması ile İnönü Ovası’ndaki yeraltı sularının mevcut kalite durumları belirlenmiş ve bölgedeki kirleticiler kaynakların yeraltı suyu kalitesini etkileme potansiyelleri ortaya konulmuştur. Oksijen-18 (‰ -9,15-‰-11,17), döteryum (‰-65,16-‰-77,89) ve trityum (1.89-6.11 TU) duraylı izotop analiz sonuçları yeraltı sularının elektriksel iletkenlik değerleri ile karşılaştırıldığında bu sığ akifer sisteminin yağışlar, Sarısu Deresi ve kaynaklarla beslenen sığ dolaşımli sulardan oluştuğunu göstermektedir. Suların hidrokimyasal fasiyesleri daha çok Ca-Mg-HCO₃ karakterdedir. Yeraltı sularında yapılan kirlilik analizleri, pestisit analizleri ve antibiyotik analizleri, akifer sistemin lokal olarak kirlenmeye maruz kaldığını göstermiştir. Bu lokal kirlilikler, tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü alanlarda Malathion, Azinphos Methyl ve Chlorpyrifos (organofosforlu) pestisit türlerinin varlığı ile yerleşim yerlerinde ise daha çok hayvancılık faaliyetleri sonucu nitrat, nitrit ve Oksitetrasiklin grubu antibiyotik kalıntıları ile kendini belli etmektedir.

Ovada yapılan jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, izotop ve kirlilik çalışmalarından elde edilen sonuçlar, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve DRASTIC Yöntemi yardımıyla ovaya ait kirlilik hassasiyet haritası elde edilmiştir. Elde edilen hassasiyet indeks haritası, ovada 5 adet (çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) hassasiyet alanının varlığını ortaya koymuştur. Buna göre, İnönü Ovası’nda sığ akifer sistemin bulunduğu orta kısmın tarımsal kirliliğe karşı çok yüksek hassasiyete sahip olduğu ve alınacak koruma tedbirlerinin bu alandan başlanarak ovanın tamamında gerçekleştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Eylül 2014, 180 sayfa

Anahtar Kelimeler: İnönü Ovası, AHS, DRASTIC, yeraltı suyu kirlenme hassasiyeti, yeraltı suyu kirliliği, yeraltı suyu kalitesi.

ABSTRACT

PhD. Thesis

DETERMINATION OF POLLUTION VULNERABILITY OF İNÖNÜ PLAIN (ESKİŞEHİR) AQUIFER

Özlem GÜLLÜ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

One of the environmental problem as the result of increasing population and industrialization is groundwater pollution. One method to provide infrastructure is to inhibit and removal of groundwater pollution is to determine the pollution potential of groundwaters. Determination of groundwater pollution potential is one of the studies to provide infrastructure to inhibit and removal of groundwater pollution. This study aims to determine the pollution potential of Inonu Plain which is located in the west of Eskisehir City in Central Anatolia.

Inonu County's water requirements increases day by day due to industrial and agricultural activities. By this means, it is important to protect the water sources and to ensure availability to water continuously. In this context, this PhD thesis aims to determine current water quality of groundwaters and to reveal the effect of pollution sources to the water quality of groundwaters of Inonu Plain .

If oxygen-18 (‰ -9,15-‰-11,17), deuterium (‰-65,16-‰-77,89) and tridium (1.89-6.11 TU) stable isotope analyse results compared to Electrical Conductivity values of groundwaters, it shows that this shallow aquifer system is composed of shallow circulated waters which are fed from upper elevations. Performed pollution, pesticide and antibiotic analyses from Ca-Mg-HCO₃ characterized groundwaters of the water facies show that the system is exposed to pollution locally.

This local pollution is observed as Malathion, AzinphosMethyl and Chlorpyrifos type pesticides in agricultural areas and observed as nitrate, nitrite and Oxitetracycline group antibiotic residues as the result of livestocking activities in settlemental areas.

Obtained geological, hydrogeological, hydrogeochemical, isotopic and pollution analysis results are used to generate binary comparison matrices by using Analytical Hierarchy Process and to prepare pollution vulnerability map of the Inonu Plain by using Drastic Method.

Obtained vulnerability index map shows the presence of 4 (very low, low, moderate, high and very high) vulnerability areas in the study area. With reference to this, middle parts of Inonu Plain where shallow aquifer system is present has very high sensivity to pollution and conservation process should begin from the middle parts of the Inonu plain and continue throughout the whole plain.

September 2014, 180 pages

Keywords: İnönü Plain, AHP, DRASTIC, groundwater pollution vulnerability, groundwater pollution, groundwater quality.

TEŞEKKÜR

Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, Doktora çalışması olarak hazırlanan bu tezi yöneten ve çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ÇELİK'e (Ankara Ünv. Jeoloji Müh. ABD) tez çalışmam süresince karşılaştığım zorlukları aşmamda vermiş olduğu yardımlardan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında olumlu katkılar sağlayarak, çalışmamın şekillenmesi hususunda yardımlarını esirgemeyen Tez İzleme Kurulu üyesi değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Ünv. Jeoloji Müh. ABD) ve Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU'na (Ankara Ünv. Jeoloji Müh. ABD), arazi çalışmalarım ve tez yazım aşamasında yardımlarını gördüğüm değerli hocam Yrd. Doç. Dr. M. Murat KAVURMACI'ya (Aksaray Ünv. Jeoloji Müh. ABD) teşekkür ederim.

Tezimin okunup son şeklini almasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Recep KILIÇ'a (Ankara Ünv. Jeoloji Müh. ABD) ve Prof. Dr. Nail ÜNSAL'a (Gazi Ünv. İnşaat Müh. ABD) teşekkür ederim.

Alınan örneklerin kimyasal analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi esnasında yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Levent ALTAŞ'a (Aksaray Ünv. Çevre Müh. ABD), Prof. Dr. Mustafa IŞIK'a (Aksaray Ünv. Çevre Müh. ABD), Uzman Samet ÖZCAN'a (Aksaray Ünv. Çevre Müh. ABD) ve antibiyotik analizlerinin gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ'ye (Aksaray Ünv. Çevre Müh. ABD) teşekkür ederim.

Tez yazımı esnasında kritik aşamalarda yorumlarıyla destek veren Yrd. Doç. Dr. Gülden GÖK'e (Aksaray Ünv. Çevre Müh. ABD) ve Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan GÖK'e (Aksaray Ünv. Çevre Müh. ABD) teşekkürü bir borç bilirim.

Araziden derlenen örneklerin jeokimyasal analize hazırlanması ve analizlerinin yapılması süreçlerinde yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Kıymet DENİZ'e (Ankara Ünv. Jeoloji Müh. ABD), Araş. Gör. Cumhur Özcan KILIÇ'a (Ankara Ünv. Jeoloji Müh. ABD) ve tezimin değişik aşamalarının şekillenmesinde yardımlarını gördüğüm

Araş. Gör Uğur Erdem DOKUZ'a (Ankara nv. Jeoloji Müh. ABD) ve Yrd. Doç. Dr. Gökhan DEMİRELA'ya (Aksaray nv. Jeoloji Müh. ABD) teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi ve manevi her türlü sıkıntıda yanımda olan anneme, babama ve kardeşlerime, son olarak ta bu tezin ortaya gelmesinde en az benim kadar emeği geçen, her türlü sorunu aşmamda yardımcı olan eşim Yrd. Doç. Dr. Bahattin GÜLLÜ'ye (Aksaray nv. Jeoloji Müh. ABD) ve O'na ayırmam gereken zamandan almama rağmen bana gcenmeyen ve minicik yüreğiyle her zaman bana destek olan canım oğlum BAHADIR'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım...

Özlem GÜLLÜ
Ankara, Eylül 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Çalışma Alanının Tanıtımı	2
1.2.1 Coğrafi konum.....	2
1.2.2 İklim ve bitki örtüsü	4
1.2.3 Sosyo-ekonomik durum	4
1.3 Materyal ve Yöntemler	5
1.3.1 Hazırlık ve ofis çalışmaları.....	5
1.3.2 Arazi çalışmaları	6
1.3.3 Laboratuvar çalışmaları.....	7
1.4 Önceki Çalışmalar.....	8
2. ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ.....	14
2.1 Giriş.....	14
2.2 İnönü Metamorfikleri	17
2.2.1 İnönü şistleri	17
2.2.2 İnönü mermerleri	19
2.3 Ofiyolitler	21
2.4 Örtü Birimleri.....	25
2.4.1 Karkın Formasyonu.....	25
2.4.2 Porsuk Formasyonu	26
2.4.3 Ilıca Formasyonu.....	29
2.4.4 Akçakaya Formasyonu	31
2.4.5 Alüvyon	31
3. HİDROJEOLJİ.....	33
3.1 Su Noktaları.....	33
3.1.1 Kaynaklar	33
3.1.2 Kuyular	35
3.1.3 Yüzey suları	38
3.2 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	43
3.2.1 Geçirimli birimler	43
3.2.2 Yarı geçirimli birimler.....	48
3.2.3 Geçirimsiz birimler	49
3.3 Yeraltı Suyu Seviye Değişimi ve Yüzey-Yeraltı Suyu İlişkisi	51
3.4 Hidrometeoroloji	53
3.4.1 Yağış	53
3.4.2 Sıcaklık.....	54
3.4.3 Buharlaşma.....	57

3.4.4 Buharlaşma ve terleme	57
3.5 Yeraltı Suyu Bütçesi.....	63
4. HİDROJEOKİMYA	70
4.1 Giriş	70
4.2 Suların Yerinde ölçülen Parametreleri	70
4.2.1 Sıcaklık.....	70
4.2.2 Elektriksel iletkenlik	74
4.2.3 Toplam çözünmüş katı madde	75
4.2.4 Çözünmüş oksijen	76
4.2.5 Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)	77
4.2.6 Redoks potansiyeli (Eh)	78
4.2.7 Alkalinite ve asidite	78
4.3 Yeraltı Sularının Sınıflaması ve Kimyasal Özellikleri.....	79
4.3.1 Suların anyon ve katyon değerleri.....	79
4.3.1.1 Kalsiyum (Ca)	81
4.3.1.2 Magnezyum (Mg)	83
4.3.1.3 Sodyum (Na)	84
4.3.1.4 Potasyum (K)	85
4.3.1.5 Bikarbonat (HCO_3)	85
4.3.1.6 Klorür (Cl)	86
4.3.1.7 Sülfat (SO_4)	87
4.4 Suların Kimyasal Özelliklerine Göre Sınıflamaları.....	88
4.4.1 Schoeller diyagramları.....	89
4.4.2 Piper diyagramları.....	92
4.4.3 Wilcox diyagramları	94
4.4.4 ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı	97
4.5 Jeokimya Çalışmaları ve Su-Kayaç Etkileşimi	98
5. İZOTOP HİDROLOJİSİ.....	103
5.1 O18-Döteryum	103
5.1.2 O18-EC İlişkisi	105
5.2 Tritiyum-EC İlişkisi	105
6. KİRLİLİK ÇALIşMALARI.....	107
6.1 Yüzey ve Yeraltı Sularında Kirlilik Parametreleri.....	107
6.1.1 Nitrit (NO_2)	107
6.1.2 Nitrat (NO_3)	108
6.1.3 Fosfat (PO_4)	108
6.2 Yüzey ve Yeraltı Sularında Ağır Metal Kirliliği	110
6.3 Çalışma Alanında Pestisit Kirliliği	110
6.4 Çalışma Alanında Antibiyotik Kirliliği.....	112
7. AKİFER KİRLENME POTANSİYELİ VE HASSASİYET BELİRLEME YÖNTEMLERİ	114
7.1 Kirlenebilirlik Belirleme Yöntemleri	114
7.1.1 Özgöl Duyarlılığın Belirlenmesi.....	115
7.1.1.1 Tek amaçlı değerlendirmeler	115
7.1.1.2 Çok amaçlı değerlendirmeler.....	115
7.2 Yeraltı Suyunun Kirleticilere Karşı Hassasiyetinin Belirlenmesi için Kullanılan Yöntem ve Teknikler	116
7.2.1 Hidrojeolojik kompleks ve düz metodları	119

7.2.2 Parametrik sistem metodları.....	119
8. İNÖNÜ OVASI (ESKİŞEHİR) YERALTI SULARININ KİRLENEBİLİRLİĞİNİN DRASTIC YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	122
8.1 Giriş.....	122
8.2 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)	123
8.3 AHS-DRASTIC Model ve Parametreleri	126
8.3.1 Yeraltı suyu derinliği (D)	128
8.3.2 Beslenme (R)	133
8.3.3 Akifer ortam (A).....	144
8.3.4 Toprak bünyesi (S)	147
8.3.5 Eğim (T)	149
8.3.6 Vadoz zon etkisi (I)	152
8.3.7 Hidrolik iletkenlik (C)	156
8.4 İnönü Ovası AHS-DRASTIC Kirlenme Potansiyeli Haritası	160
9. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	165
KAYNAKLAR	169
EKLER	174
EK 1 İnönü Ovası ve Dolayının Jeoloji Haritası	175
EK 2 İnönü Ovası ve Dolayının Hidrojeoloji Haritası (Mayıs, 2012)	176
EK 3 İnönü Ovası ve Dolayının Hidrojeoloji Haritası (Ekim, 2012)	177
ÖZGEÇMİŞ	178

SİMGELER DİZİNİ

NO ₃	Nitrat
NO ₂	Nitrit
HCO ₃	Bikarbonat
Ca	Kalsiyum
Na	Sodyum
K	Potasyum
PO ₄	Fosfat
pH	Hidrojen İyonu Konsantrasyonu

Kısaltmalar

DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EC	Elektriksel İletkenlik
GTHB	Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı
IC	İyon Kromatografisi
ICP	İndüktif Eşleşmiş Plazma
MTA	Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü
SKKY	Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği
SÜY	Su Ürünleri Yönetmeliği
NSSM	Nokta Sayma Sistem Modeli
GC-MS	Gaz Kromatografisi- Kütle Spektrometrisi (Gas Chromatography–Mass Spectrometry)
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
HPLC	Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (High-Performance Liquid Chromatography)
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
K	Kuzey

G	Güney
D	Doğu
B	Batı
KD	Kuzeydoğu
KB	Kuzeybatı
GD	Güneydoğu
GB	Güneybatı
EC	Elektriksel İletkenlik
TÇM	Toplam Çözünmüş Katı Madde
ICP-OES	İndüklenmiş Çift Çekirdekli Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy)
ÇO	Çözünmüş Oksijen
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organisation)
EU	Avrupa Birliği
MS	Matriks Sistemleri
RS	Ağırlıklandırma Sistem Metodları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Çalışma alanı yer bulduru haritaları	3
Şekil 1.2	İnönü Ovası'ndan güneye bakış (İnönü İlçesi kuzeyi)	4
Şekil 2.1	Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti	15
Şekil 2.2	A-A' enine jeolojik kesiti	16
Şekil 2.3	B-B' enine jeolojik kesiti	16
Şekil 2.4	C-C' enine jeolojik kesiti	16
Şekil 2.5	D-D' enine jeolojik kesiti.....	16
Şekil 2.6	İnönü glokofanlı yeşil şistleri	17
Şekil 2.7	Şistler içerisinde gözlenen metabazik kafalar ve üzerinde gözlenen ikincil muskovit mineralleri	18
Şekil 2.8	Şistlerin göstermiş oldukları mineralojik ve dokusal özelliklerin polarizan mikroskop altında çift, tek nikol görüntümleri.....	18
Şekil 2.9	İnönü mermerleri ve mermerlerde faylanmaya bağlı gelişen asılı vadiler	19
Şekil 2.10	Masif yapılı İnönü mermerlerinin makroskobik görüntüsü	20
Şekil 2.11	Mermerlerin kırık çatlakları boyunca gelişen ikincil kalsit kristalleri.....	20
Şekil 2.12	Mermerlerin polarizan mikroskop altında çift, tek nikol görüntümleri	21
Şekil 2.13	Peridotitlerin polarizan mikroskop altında çift, tek nikol fotomikrograf görüntümleri.....	22
Şekil 2.14	Peridotitlerde ağsı-damarsı yapıda gözlenen manyezit oluşumları	23
Şekil 2.15	Manyezitler içerisinde nodüller şeklinde gözlenen dunit kalıntıları	23
Şekil 2.16	Peridotitler içerisinde gözlenen kılcal, ağsı yapıda silika damarcıkları.....	24

Şekil 2.17	Listvenitlerde elek dokuyu oluşturan silis duvarlarının oluşturduğu localardan bir görünüm	24
Şekil 2.18	Karkın Formasyonu'nun arazi görünümü	25
Şekil 2.19	Rekristalize kireçtaşlarının polarizan mikroskop altında çift, tek nikol görüntüleri	26
Şekil 2.20	Porsuk Formasyonu taban seviyelerini oluşturan konglomeralar ...	27
Şekil 2.21	Porsuk Formasyonunun orta-üst seviyelerini oluşturan tuf-çamurtaşı arakatlı kireçtaşları	27
Şekil 2.22	Porsuk Formasyonu tuf seviyelerinin polarizan mikroskop altında çift, tek nikol görüntüleri	28
Şekil 2.23	Porsuk formasyonunun en üst seviyelerini temsil eden masif yapıli kireçtaşının arazi ve el örneği görüntüsü	28
Şekil 2.24	Porsuk Formasyonu masif kireçtaşlarının polarizan mikroskop altında çift, tek nikol görüntüleri	29
Şekil 2.25	Bazaltik lav akıntıları ile örtülü (a) Ilıca Formasyonunun killi-kumlu- tüflü kireçtaşlarından oluşan orta seviyelerinin (b) arazi görünümü	29
Şekil 2.26	Siyahımsı yeşil (a) ve kahverengimsi (b) bazaltlardan görünüm	30
Şekil 2.27	Amogdoloidal doku özelliği gösteren bazalt	30
Şekil 2.28	Bazaltların polarizan mikroskop altında çift, tek nikol görüntüleri	31
Şekil 2.29	Akçakaya Formasyonunun genel görünümü	32
Şekil 2.30	Bağladeresi içerisinde gözlenen yeni alüvyonların iç yapısı	32
Şekil 3.1	İnönü Kaynakları	34
Şekil 3.2	Satılmış kaynakları	34
Şekil 3.3	Sarısu Deresi'nden bir görünüm	39
Şekil 3.4	Sarısu Deresi üzerinde bulunan 4 adet limnigrafın yer bulduru haritası	40

Şekil 3.5	Sarısu Deresi'nde Dodurga Barajı çıkışında bulunan Dodurga Barajı limnigrafından elde edilen aylık ortalama akım değerlerinin grafiksel gösterimi	40
Şekil 3.6	Sarısu Deresi'nde Yeni Dodurga limnigrafından elde edilen aylık ortalama akım değerlerinin grafiksel gösterimi	41
Şekil 3.7	Sarısu Deresi'nde Kandilli limnigrafından elde edilen ortalama akım değerlerinin grafiksel gösterimi	41
Şekil 3.8	Sarısu Deresi'nde İnönü limnigrafından elde edilen ortalama akım değerlerinin grafiksel gösterimi	42
Şekil 3.9	Çalışma alanında 2013 yılı Ağustos ayında 4 farklı noktada yapılan debi ölçümlerinin grafiksel gösterimi	43
Şekil 3.10	Sarısu Deresi üzerindeki pompajlardan görüntüler	44
Şekil 3.11	Kandilli'den geçen A-A' hidrojeolojik enine kesiti	45
Şekil 3.12	Yurtbay'dan geçen B-B' hidrojeolojik enine kesiti	46
Şekil 3.13	Çalışma alanından alınan C-C' hidrojeolojik enine kesiti	47
Şekil 3.14	Çalışma alanından alınan D-D' hidrojeolojik enine kesiti.....	47
Şekil 3.15	İnönü havzası içerisinde batıdan doğuya doğru Kandilli-Oklubalı-Çukurhisar ve Satılmışoğlu yerleşim yerleri arasında açılan DSİ sondaj kuyu logları	51
Şekil 3.16	Çalışma alanında bulunan 3 adet limnigrafa ait akım değerleri grafiği	52
Şekil 3.17	Çalışma alanı çevresinde bulunan meteoroloji istasyonları	53
Şekil 3.18	Çalışma alanı çevresinde bulunan en yakın 4 Meteoroloji Gözlem İstasyonu kayıtlarına göre uzun yıllar ortalaması aylık yağışların dağılımı.....	54
Şekil 3.19	Eskişehir Anadolu Meteoroloji İstasyonu'nda ölçülen 2006-2010 yılları arası aylık ortalama sıcaklık grafiği	55
Şekil 3.20	DMİ Eskişehir Anadolu İstasyonu'na ait son 5 yılın en düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklık değerleri	56
Şekil 3.21	İnönü Ovası sıcaklık (°C) dağılım haritası	56

Şekil 3.22	Yağış ve düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terlemenin yıllık değişim grafiği.....	59
Şekil 4.1	Çalışma alanında 3 dönem boyunca ölçülmüş olan sıcaklık değerleri.....	74
Şekil 4.2	EC değerlerinin 3 örnekleme dönemi boyunca değişimi	75
Şekil 4.3	Örneklerin TÇM grafiği	76
Şekil 4.4	Çalışma alanındaki kuyularda ölçülen çözünmüş oksijen değerleri grafiği	77
Şekil 4.5	pH değerleri değişim grafiği.....	78
Şekil 4.6	İnceleme alanı sularının alkalinite değişim grafiği	79
Şekil 4.7	Çalışma alanı sularının Ağustos 2011 örnekleme dönemi iyon dağılımı.....	81
Şekil 4.8	Çalışma alanı sularının Mayıs 2012 örnekleme dönemi iyon dağılımı.....	81
Şekil 4.9	Çalışma alanı sularının Ekim 2012 örnekleme dönemi iyon dağılımı.....	82
Şekil 4.10	Çalışma alanı sularının kalsiyum değerleri dağılım grafiği	82
Şekil 4.11	Yeraltı sularında ölçülen magnezyum değerleri grafik gösterimi	83
Şekil 4.12	Yeraltı sularında ölçülen sodyum değerlerinin grafik gösterimi.....	84
Şekil 4.13	Yeraltı sularında ölçülen potasyum değerlerinin grafik gösterimi...	85
Şekil 4.14	Yeraltı sularında ölçülen bikarbonat değerlerinin grafik gösterimi .	86
Şekil 4.15	Yeraltı sularında ölçülen klorür değerlerinin grafik gösterimi.....	87
Şekil 4.16	Yeraltı sularında ölçülen sülfat değerlerinin grafik gösterimi.....	88
Şekil 4.17	Çalışma alanındaki kaynaklara ait Schoeller Diyagramı (Mayıs 2012)	89
Şekil 4.18	Çalışma alanındaki kuyulara ait Schoeller Diyagramı (Mayıs 2012)	90
Şekil 4.19	Çalışma alanındaki akarsulara ait Schoeller Diyagramı (Mayıs 2012).....	90

Şekil 4.20	Çalışma alanında bulunan kaynaklara ait Schoeller Diyagramı (Ekim 2012).....	91
Şekil 4.21	Çalışma alanındaki kuyulara ait Schoeller Diyagramı	91
Şekil 4.22	Çalışma alanındaki akarsulara ait Schoeller Diyagramı.....	92
Şekil 4.23	Çalışma alanındaki kaynak sularına ait Piper Diyagramı.....	93
Şekil 4.24	Çalışma alanındaki kuyu sularına ait Piper Diyagramı	94
Şekil 4.25	Çalışma alanındaki akarsulara ait Piper Diyagramı	95
Şekil 4.26	İnceleme alanındaki suların Wilcox Diyagramı (Ekim 2012)	96
Şekil 4.27	İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk diy. (Ekim 2012)	97
Şekil 5.1	Çalışma alanı yeraltı sularının standartlara göre bağlı konumu	104
Şekil 5.2	Çalışma alanı örneklerinin $\delta^{18}O$ -EC grafiği	105
Şekil 5.3	Çalışma alanı sularının EC-Trityum grafiği.....	106
Şekil 8.1	DRASTIC Model Parametreleri	127
Şekil 8.2	İnönü Ovası Yeraltı Suyu Derinliği Tematik Haritası.....	135
Şekil 8.3	Sızma-tutulma ve Yağış Fazlasının Zamanla Değişimi	137
Şekil 8.4	İnönü Ovası mevcut arazi kullanım haritası.....	139
Şekil 8.5	İnönü Ovası Beslenme Tematik Haritası	143
Şekil 8.6	İnönü Ovası akifer ortam tematik katman haritası	146
Şekil 8.7	İnönü Ovası Büyük Toprak Gruplarına göre arazi kullanım diyagramı.....	148
Şekil 8.8	İnönü Ovası toprak bünyesi haritası	150
Şekil 8.9	İnönü Ovası toprak bünyesi tematik haritası	151
Şekil 8.10	İnönü Ovası Eğim Haritası	153
Şekil 8.11	İnönü Ovası Topoğrafya Tematik Haritası	154
Şekil 8.12	İnönü Ovası vadoz zon tematik haritası	157

Şekil 8.13	İnönü Ovası hidrolik iletkenlik tematik haritası.....	159
Şekil 8.14	Potansiyel Kirlenebilirlik Haritası ve karşılaştırılan tematik harita	163
Şekil 8.15	İnönü Ovası potansiyel kirlenebilirlik haritası	164



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	İlçede yer alan kuruluşlardan bazılarına ait atık su deşarj miktarları.....	6
Çizelge 1.2	Oksitetrasiklin için HPLC analiz koşulları	8
Çizelge 3.1	Çalışma alanında örneklenen kaynaklar ve debileri	34
Çizelge 3.2	Çalışma alanında bulunan DSI'ye ait kuyular ve özellikleri	36
Çizelge 3.3	Çalışma alanındaki şahıs kuyularının koordinat ve derinlikleri	38
Çizelge 3.4	Sarısu Deresi'nde Ağustos 2013'te ölçülmüş olan debi değerleri...	42
Çizelge 3.5	Çalışma alanı ve çevresinde bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen ortalama aylık yağış verileri	54
Çizelge 3.6	Çalışma alanı çevresinde bulunan Eskişehir Anadolu Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nda son 5 yılda ölçülen sıcaklık (°C) değerleri	55
Çizelge 3.7	Eskişehir Anadolu İstasyonu'nda ölçülmüş olan 1990-2010 yılları arası ortalama yüzey buharlaşma değerleri (DMİ)	57
Çizelge 3.8	Eskişehir Anadolu Meteoroloji İstasyonundan alınan 2010 yılına ait veriler kullanılarak Thornthwaite Yöntemi'ne göre hazırlanan nem bilançosu	60
Çizelge 3.9	Penman yöntemi ile hazırlanmış buharlaşma-terleme değerleri.....	62
Çizelge 3.10	Penman yöntemi ile hazırlanmış meteorolojik su bilançosu	62
Çizelge 3.11	İnönü Ovası sığ akiferinin yeraltı suyu bütçesi	68
Çizelge 4.1	Ağustos 2011 örnekleme dönemine ait suların fizikokimyasal özellikleri	71
Çizelge 4.2	Mayıs 2012 örnekleme dönemine ait suların fizikokimyasal özellikleri	72
Çizelge 4.3	Ekim 2012 örnekleme dönemine ait suların fizikokimyasal özellikleri	73
Çizelge 4.4	Suların anyon katyon değerlerine göre su tipleri	80
Çizelge 4.5	Sülfat için sınır değerler.....	87

Çizelge 4.6	Ekim 2012’de alınan örneklerin EC ve hesaplanan %Na değerleri	95
Çizelge 4.7	Çalışma alanından alınan kayaç örneklerinin ana element oksit ve iz element analiz sonuçları.....	99
Çizelge 5.1	Çalışma alanına ait suların $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ ‰ (döteryum fazlası) değerleri	104
Çizelge 5.2	Çalışma alanı yeraltı sularının trityum ve EC değerleri	106
Çizelge 6.1	Çalışma alanındaki sularda ölçülen nitrit değerleri ve ulusal ve uluslararası limitlerle karşılaştırılması.....	108
Çizelge 6.2	Çalışma alanındaki sularda ölçülen nitrat değerleri ve ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması.....	109
Çizelge 6.3	Çalışma alanı sularının fosfat değerleri	109
Çizelge 6.4	Çalışma bölgesi içerisinde yer alan kuyularda yapılan ağır metal ve toksik element analiz sonuçları.....	111
Çizelge 6.5	Çalışma alanında ölçülen pestisit değerleri	112
Çizelge 6.6	Çalışma alanındaki numune noktalarına ait analiz sonuçları	113
Çizelge 7.1	Yeraltı suyunun hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ve parametreler.....	121
Çizelge 8.1	AHS Değerlendirme Ölçeği	125
Çizelge 8.2	DRASTIC Yöntem parametrelerinin ağırlıkları	127
Çizelge 8.3	DRASTIC yönteme ait parametre ve alt sınıflandırmaları	129
Çizelge 8.4	DRASTIC Modele ait parametreler için İnönü Ovası’na ait veritabanı oluşturmada kullanılan veriler	130
Çizelge 8.5	İnönü Ovası için DRASTIC parametrelerine ait veri kaynakları ve özellikleri.....	130
Çizelge 8.6	YAS derinliğine göre sınıf değerleri (Dr)	131
Çizelge 8.7	Çalışma alanında bulunan kuyuların yeraltı suyu derinlik değerleri	131
Çizelge 8.8	Çalışma alanında YAS Derinliği parametresi için referans noktalarının koordinat ve derinlik değerleri.....	132

Çizelge 8.9	Yeraltı Suyu Derinliği (D) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi.....	133
Çizelge 8.10	YAS Beslenme Miktarı Sınıf Değerleri (Rr)	134
Çizelge 8.11	Hidrolojik toprak gruplarının tarifi	137
Çizelge 8.12	ABD Toprak Koruma Servisi (SCS) tarafından geliştirilen ve Özer (1990) tarafından Türkiye topraklarına göre revize edilen hidrolojik toprak grupları ve arazi örtüsü sembolleri	140
Çizelge 8.13	Hidrolojik Zemin Grupları ve Bitki Örtüsüne göre Akış Eğri Numaraları	141
Çizelge 8.14	Çalışma alanı arazi kullanım durumuna göre hidrolojik toprak grupları ve eğri numaraları.....	142
Çizelge 8.15	Çalışma alanı net beslenme miktarları	142
Çizelge 8.16	Beslenme (R) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi	142
Çizelge 8.17	Akifer ortam sınıf değerleri (Ar)	144
Çizelge 8.18	Akifer ortam (A) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi ...	145
Çizelge 8.19	Toprak materyali sınıf değerleri (Sr)	147
Çizelge 8.20	Toprak bünyesi (S) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi	149
Çizelge 8.21	Topoğrafya parametresi sınıf değerleri	149
Çizelge 8.22	Topografik eğim (T) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi.....	152
Çizelge 8.23	Vadoz Zon Materyali Sınıf Değerleri (<i>I_r</i>)	155
Çizelge 8.24	Vadoz zon alt parametrelerinin ikili karşılaştırma matrisi	155
Çizelge 8.25	Akiferin Hidrolik İletkenliğine Göre Sınıf Değerleri (<i>C_r</i>)	156
Çizelge 8.26	Hidrolik iletkenlik alt parametrelerinin ikili karşılaştırma matrisi ..	158
Çizelge 8.27	AHS-DRASTIC yöntemi ile hesaplanan oran ve göreceli öncelik değerleri.....	160
Çizelge 8.28	AHS-DRASTIC potansiyel kirlenabilirlik sınıfları	161

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus ve sanayileşmenin bir sonucu olarak ortaya çıkan çevre sorunlarından biri de yeraltı suyu kirliliğidir. Yeraltı suyu kirlenmesi, yeraltı suyunun içme, kullanma, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerdeki kullanımını sınırlayıcı veya tamamen önleyici şekilde suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değişmesidir.

Sanayileşmiş ülkelerde son yıllarda yapılan yeraltı suyu araştırmaları, yer altı sularından yararlanmadan çok kalite, kirlenme, kirliliğe karşı koruma ve kirlenmiş yeraltı sularının kalitesinin düzeltilmesi üzerine odaklanmış durumdadır.

Yeraltı sularının kirlenmesinin önlenmesi ve giderimi konusunda altyapı oluşturabilecek çalışmalardan bir tanesi de yeraltı sularının kirlenme potansiyelinin belirlenmesidir. Kirlenme potansiyeli, bir suyun bir kirleticisi ile ne kadar zamanda ne kadar kirlenmeye maruz kalacağını belirler.

1.1 Amaç ve Kapsam

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmaya, arazi ön verilerinin toplanması ve çalışma süreci ile çalışmada izlenecek yöntemlerin belirlenmesi amacı ile 2011 yılı yaz döneminde başlanmış ve 2013 yılı yaz dönemine kadar devam edilmiştir.

İnönü İlçesi artan nüfusu, endüstriyel ve tarımsal faaliyetleri ile su gereksinimi gün geçtikçe fazlaşan bir ilçedir. Bu nedenle, ilçede bulunan su kaynaklarının korunması, sürekli kullanılabilirliğinin sağlanması önem taşımaktadır. Bu bağlamda yapılan bu tez çalışması ile İnönü Ovası'ndaki yeraltı sularının mevcut kalite durumlarının belirlenerek bölgedeki kirlilik kaynaklarının yeraltı suyu kalitesine etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma ile öncelikle İnönü Ovası sularının mevcut kaliteleri belirlenmek üzere örnekler toplanmış, analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler ile tematik haritalar oluşturulmuş ve nihai bir kirlenmeye

karşı hassasiyet haritası elde edilmiştir. Çalışma kapsamında DRASTIC metodu kullanılmış, metod içerisinde kullanılan ağırlıklandırma değerlerinin elde edilmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Elde edilen haritalardan yararlanılarak çalışma alanı sularının kirlenme potansiyeli belirlenmiştir. Bu potansiyel yorumlanarak kirlenmenin önlenmesi için önerilerde bulunulmuştur.

1.2 Çalışma Alanının Tanıtımı

1.2.1 Coğrafi konum

Eskişehir i24-a3, i24-a4, i24-b3 ile i24-b4 paftalarını kapsayan çalışma alanı Kuzeybatı Orta Anadolu'da Eskişehir İli'nin batısında yer almaktadır. Çalışma alanının en önemli yükseltilerini; kuzeybatıda Topçutepe (1064 m), Balıcalık Tepe (994 m) , batıda Pilav Tepe (1281 m), Eskikale Tepe (1150 m), güneyde Tavşan Tepe (1102 m), Kuzudoruğu Tepe (1333 m), Kocatürkmen Tepe (1177 m) ve güneydoğuda Kocayatak Tepe (1230 m), doğuda Yavşanlı Tepe (849 m), Taşbayır Tepe (874 m), kuzeydoğuda Kahvedoruğu Tepe (857 m) ve kuzeyde Kayayatak Tepe (981 m) oluşturmaktadır (Şekil 1.1).

Çalışmada İnönü Ovası olarak tanımlanan alan, Kuzeybatı Anadolu'nun doğusunda Eskişehir İli'nin batısında yer alan İnönü ilçe merkezi başta olmak üzere Karagözler, Satılmış, Çukurhisar, Zemzemiye, Poyra, Karaağaç, Yörükyayla ve Yusufkar yerleşim yerlerini kapsamaktadır (Şekil 1.1). Ovaya ismini veren ilçe İnönü, doğuda Merkez İlçe (Eskişehir), güneyde Kütahya, güneybatı, batı ve kuzeyde Bilecik illeriyle çevrilidir. Denizden ortalama 840 m yükseklikte olan ilçe Eskişehir'e 35 km uzaklıkta olup yüzölçümü 358 km²'dir (Şekil 1.2). 2011 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 7.230 kişi olup, nüfusun 3.271'i köylerde, 3.959'u ise ilçe merkezinde yaşamaktadır. İlçenin yüzölçümü 341 km² olup, nüfus yoğunluğu 21,20 km²/kişi'dir.



Şekil 1.2 İnönü Ovası’ndan güneye bakış (İnönü İlçesi kuzeyi)

1.2.2 İklim ve bitki örtüsü

Çalışma alanında İç Anadolu karasal iklimi hüküm sürmektedir. Kışları sert, uzun ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kuraktır.

Eskişehir ve yöresinin florası incelendiğinde; 58 familya, 268 cins’e ait olmak üzere 531 bitki grubunun bölgede doğal yayılış gösterdiği görülmektedir. Bu bitki grubunun yaklaşık olarak % 10.31’i ise Eskişehir ve yöresine özgü bitkilerdir (Anonim 2008).

Bölgenin % 26,3’ü ormanlarla kaplı olup önemli ormanlık alanlarını Çatacık, Mihaliççık, Sarıcakaya, Seyitgazi, Büyükyayla ve Kalabak oluşturmaktadır.

1.2.3 Sosyo-ekonomik durum

Tarihi Hititler zamanına kadar uzanan İnönü İlçesi, 1092-1107 yılları arasında Eskişehir’den Anadolu’ya girmeye çalışan Haçlılar ile Sultan I. Kılıçarslan arasındaki mücadeleye tanıklık etmiştir. I. Haçlı Seferi’nde 2 ordu Sarısu denen İnönü Ovası’nda karşılaşmış ve Haçlılar burada I. Kılıçarslan tarafından hezimete uğratılmıştır. İnönü

İlçesi, Germiyanogulları tarafından bir uç beyi olarak Osmanlı İmparatorluğu'nun kurucusu Osman Bey'e 1289 yılında hediye olarak verilmiştir. Bu durum İnönü'yü Osmanlı'ya bağlamış ve asırlar boyunca da Osmanlı olarak bırakmıştır. tarihsel döneme bakıldığında İnönü ilçesi, 16 ay Yunan işgalinde kalmış, Yunanlıların İzmir'de denize dökülmesi ile bu işgal sona ermiştir. İlçe, Söğüt Sancak Beyliği'ne bağlı bir nahiye iken Cumhuriyetin ilk yıllarında Bilecik İli, Bozüyük İlçesine bağlanmış, 1963 yılından itibaren de Eskişehir İline bağlı bir nahiye olarak kalmıştır. 1987 yılında ise ilçe statüsüne kavuşmuştur (Anonim 2011).

Doğu-batı doğrultusunda Bozüyük'e kadar uzanan İnönü Ovası, son derece verimlidir. Bu sebeple, ilçe halkının esas geçim kaynağı tarımdır. Hayvancılığın ilçe ekonomisinde ayrı bir önemi vardır. Yetişkin nüfusun azımsanmayacak bir bölümü, ilçe sınırları içerisindeki Ford-Otosan A.Ş., Magnesit A.Ş., Seranit Granit Seramik San A.Ş., Yurtbay Seramik A.Ş., Kudret Akü ve Deniz Porselen gibi fabrika ve kuruluşlarda işçi statüsünde çalışarak geçimini sağlamaktadır.

Ayrıca ilçede Atatürk'ün emri ile 1936 yılında kurulan Türk Hava Kurumu Planör ve Paraşüt Kampı ülkemizde paraşüt ve planör eğitiminin verildiği önemli merkezlerden biridir.

1.3 Materyal ve Yöntemler

1.3.1 Hazırlık ve ofis çalışmaları

1:25000 ölçekli Eskişehir i24-a3, i24-a4, i24-b3, i24-b4 paftaları içerisinde yer alan tez alanında bulunan su kaynakları ve kirletici kaynakların mevcut durumlarını belirlemek amacıyla arazi ön çalışmalarına 2010 yılında başlanmıştır.

Yapılan arazi ön çalışması sonucunda çalışma alanını batıdan doğuya kateden Sarısu Deresi ve Sarısu Deresi'ni kirleten kaynaklar belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmaya göre, İnönü İlçesinde bulunan ve Sarısu Deresi'ne deşarj yaparak derenin kirlenmesine neden olabileceği düşünülen 4 adet kuruluş gözlenmiştir. Bu sanayi

kuruluşları; Yurtbay Seramik, Efes Seramik, Ford Otosan ve Deniz Porselen'dir. bu kuruluşların atık su deşarjları çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 İlçede yer alan kuruluşlardan bazılarının ait atık su deşarj miktarları

İNÖNÜ	FORD OTOSAN A.Ş.	Aritma tesisinde arıtılan sular DSİ kurutma kanalına deşarj (60 m ³ /gün) edilmektedir.
	YURTBAY SERAMİK A.Ş.	Aritma tesisinde arıtılan sular kendi imalatlarında kullanmakta, artan kısmı Sarı Deresi'ne deşarj (50 m ³ /gün) edilmektedir.
	EFES SERAMİK A.Ş.	Aritma tesisinde arıtılan sular kendi imalatlarında kullanıp, artan kısmı Sarısu Deresi'ne deşarj (60 m ³ /gün) edilmektedir.
	DENİZ PORSELEN A.Ş.	İşletmenin kendi alanında yaptığı havuzda bekletilme ve sisteme (10 m ³ /gün) geri döndürülmektedir.

1.3.2 Arazi çalışmaları

İnönü Ovası birimlerinin hidrojeoloji özellikleri incelenmiş, yeraltı sularının hidrokimyasal, litolojik ve kalite özelliklerini belirlemek ve yeraltı sularının kirliliğe karşı hassasiyetini ortaya çıkarmak amacıyla ovayı temsil edebilecek, şahıslara ve ovada bulunan fabrikalara ait kuyular, kaynaklar ve akarsu örnekleme noktaları belirlenmiştir. Belirlenen bu noktalardan 2011 yılı Ağustos, 2012 yılı Ekim ve Mayıs ayında olmak üzere 3 dönem örnekleme gerçekleştirilmiştir. Örnekleme yapılan tüm noktalarda portatif multianalyser ile sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, eh, çözülmüş oksijen ve tuzluluk ölçümleri örnekleme esnasında arazide gerçekleştirilmiştir. Her noktadan temel anyon ve katyon ölçümleri için 1000 ml'lik, kirlilik analizleri için 1000 ml'lik ve izotop analizleri için 50 ml'lik olmak üzere örnekler alınmıştır. Katyon örnekleme şişesi içerisine pH değerini düşürmek amacıyla %5'lik nitrik asit damlatılmıştır. Ayrıca pestisit analizleri için 6 adet örnek noktasından 2'şer adet 1 litrelik örnek alınarak koyu renk cam şişelerle 24 saat içerisinde laboratuvara getirilmiştir.

Örnekleme yapılan her kuyuda yeraltı suyu seviye ölçümü gerçekleştirilmiş olup, kuyulara ait diğer bilgiler kuyu sahiplerinden sözlü olarak alınmaya çalışılmıştır. Ayrıca kirlilik yorumlamalarının yapılmasına olanak sağlaması açısından örnek noktaları çevresindeki kirlilik kaynakları not edilmiştir.

Çalışma alanında bulunan Sarısu Deresi'nde 2013 yılı Ağustos ayında muline ile debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

1.3.3 Laboratuvar çalışmaları

İnceleme alanı ve yakın dolay, jeolojik yapısının bugünkü konumunu tanımlayacak şekilde bölgesel ve yerel ölçeklerde var olan topoğrafik (1/100 000, 1/25 000), jeolojik (1/100 000) haritaları ve uydu görüntüleri ArcMap 9.3 (ESRI 2002) programı ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS-GIS) tabanlı bir modele yansıtılmıştır.

Sistemin hidrodinamik davranışının açıklanmasında temel oluşturacak hidrolojik verilerin sağlanacağı örnek noktalarından yerinde ölçümler ve alınan örneklerle laboratuvar da kimyasal analizler yapılmıştır. Alınan örnekler üzerinde majör iyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ve iz element (F, Br, Cd, Cr, Cu, Fe, Al, Mn, Ni, Pb ve Zn) analizleri Ankara Üniversitesi ICP ve Mikroanaliz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Sulardaki inorganik kirliliği incelemek amacı ile azot bileşikleri (NH_3^- , NO_2^- , NO_3), HCO_3 , CO_3^{-2} , Cl^- , SO_4^{-2} ile PO_4^3 analizleri Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı (ÇANARGE)'nda iyon kromatografisi ile yapılmıştır.

Bir hidrolojik dönemi temsilen (2011 yılı Ağustos ayı ile 2012 yılı Mayıs ve Ekim aylarında) alınan su örneklerinin izotop analizleri ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H) Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Analiz sonuçları Aquachem 5.1 programına aktarılmış, değerlendirmelerde kullanılan diyagram ve istatistikler elde edilerek yorumlanmıştır.

Ayrıca çalışma alanından alınan 6 adet örneğin pestisit analizi, Devlet Su İşleri Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Su Kimyası Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Organoklorlu pestisitler Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) tekniği ile tayin edilmiştir. Analizler EPA Method 508.1 ile yapılmaktadır. Analizlerde Elektron Yakalamalı Dedektör (ECD) kullanılmıştır. Organofosforlu pestisitlerin analizleri de, Gaz Kromatografisi Cihazı ile yapılmaktadır. Analizlerde EPA Metod 507 kullanılmaktadır.

5 adet örneğin antibiyotik analizi ise Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Kimyası Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Analizler için Agilent-1100 marka HPLC cihazı kullanılmıştır. HPLC cihazının analiz koşulları ise çizelge 1.2'de verilmiştir (Şenyuva vd. 2000).

Çizelge 1.2 Oksitetrasiklin için HPLC analiz koşulları

HPLC Koşulları	Oksitetrasiklin Antibiyotiği
Kolon Tipi	Zorbax-C ₁₈ ters kolon 250x4,6 mm
Hareketli Faz	(85:15) (v/v)Asetonitril+Deiyonize su
Akış Hızı	1,25 ml/dakika
Enjeksiyon Hacmi	20-µl
UV Dedektör	254 nm

Çalışma alanında yer alan litolojik birimlerin mineralojik ve petrografik tanımlaması için 30 adet ince kesit, polarizan mikroskopta incelenmiştir.

1.4 Önceki Çalışmalar

Doktora tez konusu ve inceleme alanı ile ilgili sorunların ve literatürde bölge ile ilgili eksikliklerin belirlenebilmesi amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Yapılan literatür çalışmasında, Eskişehir ovası ile ilgili hidrojeolojik, jeolojik amaçlı yapılmış birçok çalışma bulunurken İnönü Ovası ile ilgili özellikle hidrojeolojik ve jeolojik çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür.

Bölgesel ölçekte düşünöldüğünde İnönü Ovası'nı da kapsayan ve/veya farklı alanlardaki yeraltı sularının kirlenme potansiyeli ve kirliliğe karşı hassasiyetlerinin belirlenmesi kapsamında yapılan çalışmalar kronolojik olarak şu şekilde verilebilir.

Weingart (1954), Eskişehir'in batısında geniş bir alanı kaplayan araştırmasında, çalışma alanı içinde kalan şistlerin Paleozoyik yaşlı olduğunu, bunların üzerinde yer alan mermerlerin, Permo-Karbonifer kireçtaşlarının kontak metamorfizmasıyla oluştuğunu ve Triyas'tan daha yaşlı olduğunu belirtmiştir.

DSİ tarafından 1975 yılında yayınlamış olan Eskişehir ve İnönü Ovaları'nın Hidrojeolojik Etüt Raporu'nda İnönü Ovası'nın hidrojeolojik özelliklerinden bahsedilmiştir. Ovaların jeolojik özellikleri, ovada bulunan DSİ'nin açmış olduğu kuyuların logları ile belirlenmiş, kaynaklar, kuyular ve akarsuların fiziksel ve kimyasal özellikleri 1975 yılında yapılmış analiz sonuçları ile verilmiştir.

Gözler vd. (1985), Eskişehir Ovası ve civarını kapsayan çalışmalarında alanın genel jeolojik özelliklerini ve tektonik yapısını incelemişlerdir. Bölgenin 1/25000 ve 1/100000 ölçekli haritalarını hazırlamışlardır. Bölgedeki istifte en altta Jura öncesi oluşmuş metamorfik-ofiyolit-metadetritik tektonik birliğinin yer aldığını belirtmişlerdir. Jura ve Kretase yaşlı kayalar konglomera, kireçtaşı ve granitten oluşmaktadır. Bu birimler üzerinde Eosen-Miyosen-Pliyosen çökel ve volkanik kayalar yer almaktadır. Bölgede en genç birim Pleyistosen yaşlı eski ve yeni alüvyondur.

Aller vd. (1987) "DRASTIC: A Standardized System For Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings" başlıklı raporlarında hidrojeolojik verileri kullanarak yeraltı suyu kirlenme potansiyelinin belirlenmesinde DRASTIC metodunu geliştirmişlerdir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapmış oldukları çalışmada, hidrojeolojik altyapı ile DRASTIC indekslerini kombine ederek, haritaya aktarılacak şekilde getirmişlerdir. Uygulama, 10 hidrojeolojik değişkenin farklı sembol ve renklerle haritaya aktarılmasını kapsamaktadır.

Gözler vd. (1996), Orta Sakarya ve güneyini kapsayan çalışmalarında, sahadaki mermerleri Sivrihisar mermerleri olarak adlandırmışlardır. Kalınlığı 150-200 m olarak tahmin edilen mermerlerin Permo-Triyas yaşlı olduğu ifade edilmiştir.

Wilcox ve diğ. (1997), beslenim hesaplarında en önemli bilinmeyenlerden süzülme işleminde yağış, hidrolik eğim, buharlaşma, bitki örtüsü, geçirimsizlik, akifer taban topografyası gibi faktörlerden, belirleyici olan faktörün, suyun uygunluğu olduğunu vurgulamışlardır. Suyun uygunluğu ile yağışın hızlı bir şekilde süzülüp akifere ulaşma işlemi kastedilmiştir.

Gogu ve Dassargues (2000), yaptıkları çalışmada yer altı sularının kirliliğe karşı hassasiyetlerinin belirlenmesinde kullanılan ve gelecekte kullanılması muhtemel metotları karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında 1970-1997 arasında yeraltı suyu hassasiyetinin belirlenmesi amacıyla kullanılan 10 adet metodu incelemiş ve hangi metod için hangi parametrelerin kullanıldığı ve nasıl uygulandığını karşılaştırmalı olarak açıklamışlardır. Bu metodlar; Albinet ve Margat (1970), Goossens ve Van Damme (1987), Carter ve Palmer (1987), GOD (Foster 1987), DRASTIC (Aller vd. 1987), SEEPAGE, SINTACS (Civita 1994), AVI (Van Stampvoort vd. 1993), ISIS (Civita ve De Regibus 1995) ve EPIK (Doerfliger ve Zwahlen 1997) olarak sıralanabilir.

Demirkıran (2002), Ovaçayı Ovasında yapmış olduğu çalışmada akiferin kirliliğe karşı hassasiyetini belirlemeye çalışmıştır. Yapmış olduğu bu çalışmaya göre serbest ve basınçlı akifer olarak iki adet akifer varlığından bahsetmiştir. Vadoz zon ve hidrolik iletkenlik katmanlarının oluşturulmasında kuyu log ve testlerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanında uzun yıllık ortalama 381,5 mm'lik yağış ve 35-96 mm beslenim miktarı belirlenmiştir. 2001 yılı yeraltı suyu derinliğine bağlı olarak elde edilen potansiyel kirlenebilirlik haritasına göre kirlenebilirlik indisinin 13-182 arasında değiştiği ifade edilmiştir.

Thapinta ve Hudak (2003), Orta Tayland'da yapmış oldukları çalışmada coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak yer altı sularının pestisitler ile kirlenme potansiyelini belirlemişlerdir.

Eskişehir Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü (2008) tarafından yayınlanan "Eskişehir İl Çevre Durum Raporu"nda Eskişehir ili ve çevresinde bulunan su kaynakları ve kirletici unsurlardan bahsedilmiştir. Rapor içerisinde İnönü İlçesinin jeomorfolojik durumu, ilçedeki Pınarbaşı Sıcak su kaynağının sıcaklığı (26 °C), debisi (60 l/s) belirtilmiştir. Ayrıca bu sıcak su kaynağının sıcaklığının yağışlara bağlı olarak değiştiği bilgisi verilmiştir.

Diamantino vd. (2005), Zhangji'de yapmış oldukları çalışmada atık su parametresini içeren WRASTIC adını verdikleri bir metot kullanarak 6 adet tematik harita elde etmişlerdir. Bu metodun DRASTIC metodundan farkı ise DRASTIC metodunda kullanılan yer altı suyu derinlik parametresi yerine atıksu parametresinin kullanılmasıdır.

Yıldırım (2005) yapmış olduğu, "Antalya Kentindeki Yeraltı Suyu Kaynaklarının Kirlenme Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Teknolojisi İle Belirlenmesi" adlı çalışmasında DRASTIC yöntemini kullanarak hassasiyet haritası çıkarmış ve bunu kirleticilere karşı yer altı suyunun hassasiyeti haritasının kirletici kaynaklar ile karşılaştırarak çalışma alanındaki yer altı suları için bir kirlenme potansiyeli belirlemiştir.

Gemitzi vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada yer altı sularının kirliliğe karşı hassasiyetlerinin belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri, mantık ve karar verme tekniklerinin kullanıldığı bir kombinasyonu açıklamışlardır. Yaptıkları çalışmada gözlenen nitrat konsantrasyonlarına, akifer özelliklerine, dış akifer kaynaklarının kirliliğine, bir jeotermal alan ve tuzlu su girişi kirliliğine göre hassasiyet haritaları oluşturmuşlardır.

Bayındır (2006), Harran Ovası'nda yapmış olduğu çalışmada Harran Ovası'ndaki serbest akiferin kirlilik potansiyelini belirlemeye çalışmıştır. 23 örnekleme noktasında pH, EC, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , SO_4^{-2} , $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, PO_4 , TOK, TÇK ve bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular ışığında kirliliğe neden olan parametreler için kirlilik haritaları oluşturulmuştur.

Özkan (2006), Bozüyük Ovası'nda yapmış olduğu çalışma ile ovanın hidrojeolojik incelemesini yapmış ve yeraltı suyu bilanço hesabı yapmıştır. Çalışma sonucunda Bozüyük Ovası için emniyetli rezerv, boşalımın % 96'sı olarak hesaplanmasına rağmen, boşalımın % 65'i alınarak işletme rezervinin belirlenmesi uygun bulunmuştur.

Çakmak (2007), Eskişehir'de yapmış olduğu tez çalışmasında yeraltı ve yüzeysel sularda nitrat kirlilik kaynakları göz önünde bulundurularak değerlendirmede bulunmuştur. Yaptığı bu çalışma sonucunda bölgedeki kirliliğin, son yıllarda artan endüstriyel faaliyetlerle bağlantılı olduğu sonucuna varmıştır.

İleri vd. (2007), "Tahtalı Ovası Yeraltı Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmalarında Tahtalı Ovası yeraltı suyu kalitesini coğrafi bilgi sistemlerine aktararak değerlendirmişlerdir.

Boyacıoğlu ve Boyacıoğlu (2007), Tahtalı Baraj Ovasında, çok yönlü istatistiksel yöntemler ile su kirlilik kaynaklarının değerlendirilmesi konusundaki çalışmada yöntemin, su kalitesinin karmaşık yapısını anlamak ve su kalitesi önceliklerini saptamada kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yüce vd. (2008), Eskişehir Ovası (Aşağı Porsuk Ovası)'nda yapmış oldukları çalışmada yüzey ve yeraltı su kaynaklarındaki kirliliğin nedenleri ve zamansal değişimini incelemişler ve çalışma alanında oldukça dikkat çeken nitrat kirliliğinin nedenlerini endüstriyel faaliyetlere bağlamışlardır.

Çeliker (2008), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilen "Uluova'nın (Elazığ) Hidrojeolojisinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile İncelenmesi" adlı çalışmasında coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak hidrojeoloji incelemesi yapmıştır.

Barış (2008), "Tahtalı Baraj Ovasının Hidrojeolojik İncelenmesi ve Yeraltı Suyu Kirlenebilirliğinin AHS-DRASTIC Yöntemi İle Değerlendirilmesi" adlı doktora tezinde İzmir Tahtalı Baraj ovasının hidrojeolojik özelliklerini belirleyerek, ovada AHS-DRASTIC yöntemini uygulamıştır. AHS ile bulmuş olduğu ağırlık sınıfları ile DRASTIC yönteminin içerdiği 7 parametreye ait tematik haritaları elde etmiş, son olarak DRASTIC kirlenebilirlik haritasını ortaya çıkarmıştır. Çıkan haritanın doğruluğunu ise nitrat kirliliği haritası ile test etmiştir.

Gürsoy (2009), İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilen "Hidrojeolojik Verilerin CBS İle İrdelenmesi: Edremit Ovası Örneği" adlı çalışmasında Edremit Ovası'nda hidrojeolojik verileri CBS ile birleştirerek incelemiştir.

Civita (2010), "The Combined Approach When Assessing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination" adlı çalışmasında yeraltı suyunun kirliliğe karşı hassasiyetini belirlemede bir yöntem olan SINTACS metodunu baz alarak hassasiyet belirlemede kullanılan diğer metodların birbirlerine olan avantaj ve dezavantajlarını incelemiştir.

Büyükdemirci (2012) Kırıkkale Ovası'nda yapmış olduğu çalışmada yeraltı suyu hassasiyetini DRASTIC yöntemini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Çalışma sonucunda Kırıkkale şehir merkezinin orta hassas zonda olduğunu belirtmiştir.

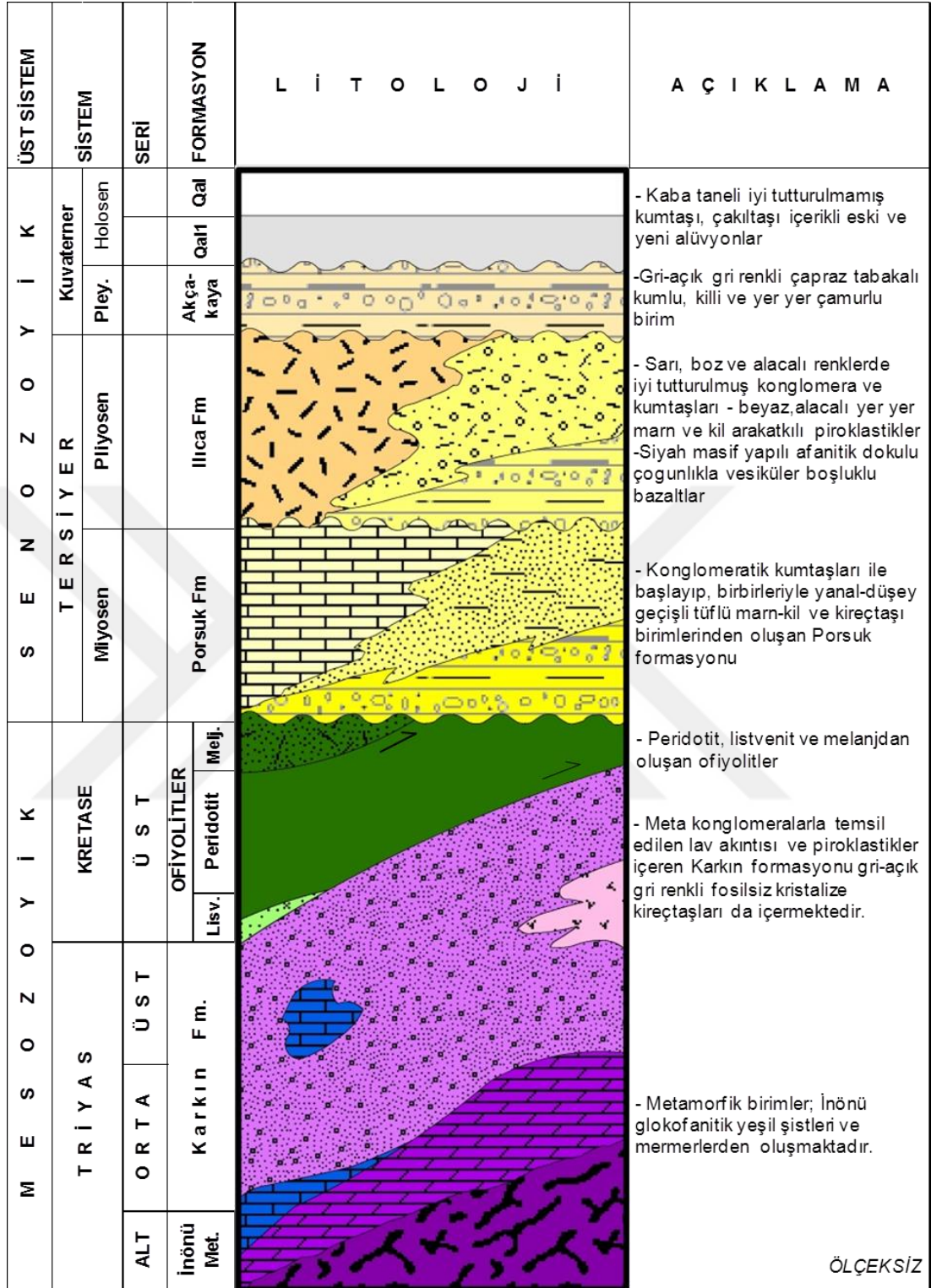
2. ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ

2.1 Giriş

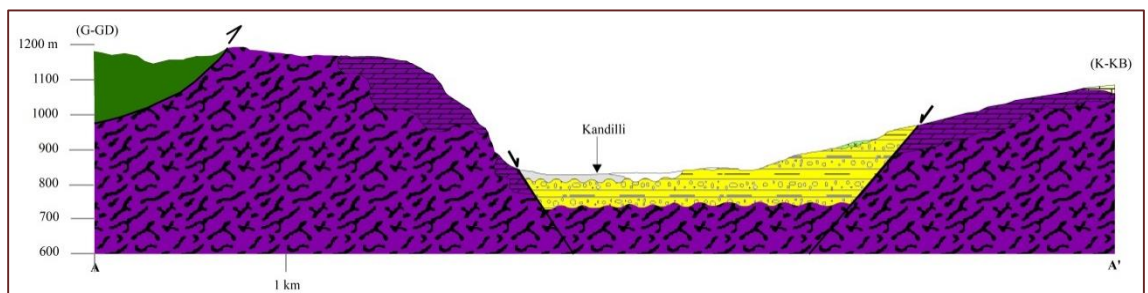
Bu çalışmada Norman vd. (1986) tarafından Türkiye Stratigrafi Komitesi adına hazırlanan kılavuza göre önerilen birim adlandırılması yapılmıştır. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti şekil 2.1’de verilmiştir. Çalışma alanının jeoloji haritası EK 1’de verilmiş olup, jeoloji haritasından yararlanılarak çizilen enine jeolojik kesitler şekil 2.2-2.5’te verilmiştir. Çalışma alanına ait jeoloji haritasının yapılmasında, Gözler vd. (1985) ve Anonim (1975) çalışmalarından yararlanılmıştır.

Çalışma alanının temelini İnönü metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Metamorfik kayalar alttan üste doğru, glokofanlı yeşil şistler ve mermerler olmak üzere haritalanabilir ölçekte iki alt litoloji birimine ayrılmıştır. Alt Triyas yaşlı bu metamorfik kayalar üzerine uyumsuz olarak Orta Triyas yaşlı Karkın Formasyonu gelmektedir. Bu birimler üzerine ise; yerleşme yaşı Üst Kretase olarak bilinen Üst Triyas yaşlı Peridotit, serpantinit, gabro ve listvenit türü kayaç gruplarından oluşan ofiyolitler tektonik dokanıklı olarak yerleşmiştir.

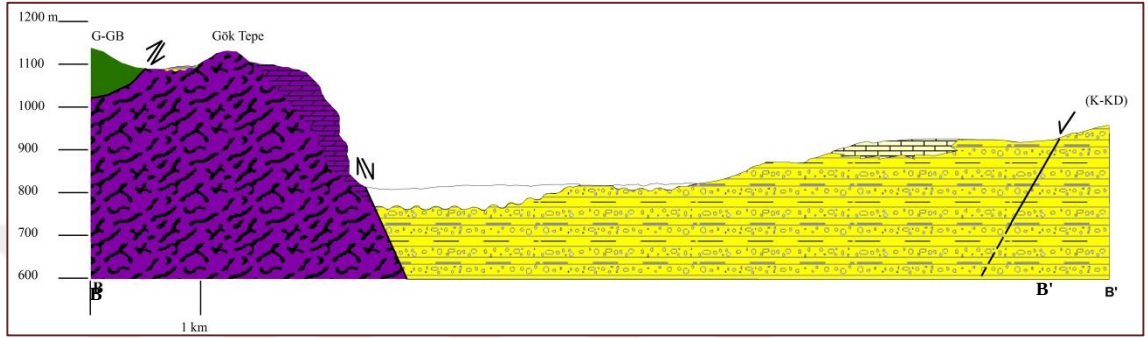
Temele ait metamorfik kayalar üzerine ilk olarak Miyosen yaşlı ve çalışma alanında özellikle Yusufkar ve Turgutlar yerleşim yerleri arasında gözlenen konglomera-kumtaşı, tuf-tüfit arakatkılı marn ve kireçtaşıdan oluşan Porsuk Formasyonu gelmektedir. Porsuk Formasyonu üzerinde; sarı, boz ve alacalı renklerde iyi tutturulmuş konglomera ve kumtaşları-beyaz, alacalı yer yer marn ve kil arakatkılı piroklastikler ve siyah masif yapılı afanitik dokulu çoğunlukla vesiküler boşluklu bazaltlarla temsil edilen Pliyosen yaşlı Ilica Formasyonu yer almaktadır. Çalışma alanının genelinde gri-açık ve gri renkli çapraz tabakalı kumlu, killi ve yer yer çamurlu birimlerle temsil edilen ve örtü birimleri olarak gözlenen Pleyistosen yaşlı Akçakaya Formasyonu Ilica Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. İnceleme alanındaki tüm bu birimler yine Kuvaterner yaşlı eski ve yeni alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedirler.



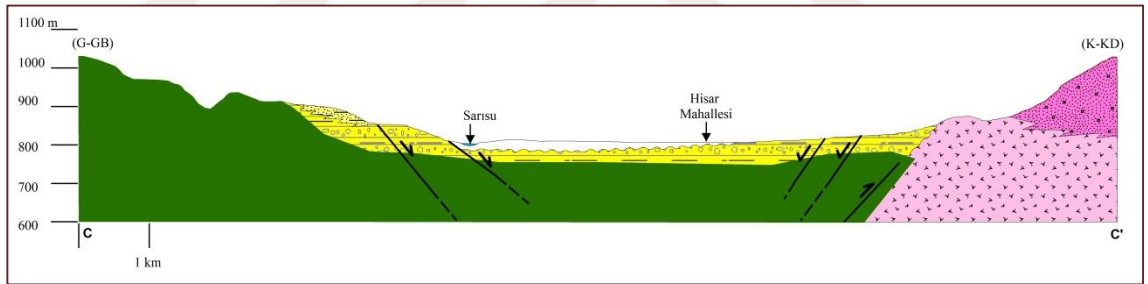
Şekil 2.1 Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti



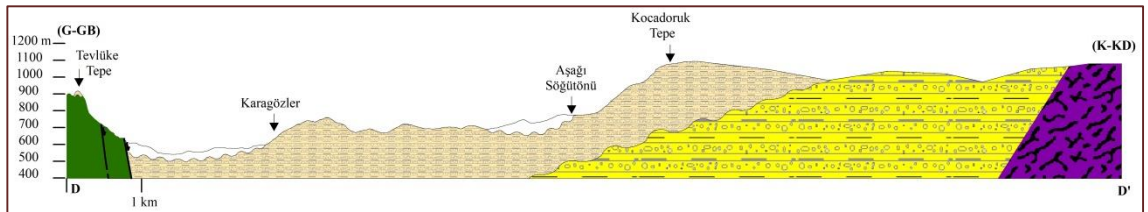
Şekil 2.2 A-A' enine jeolojik kesiti



Şekil 2.3 B-B' enine jeolojik kesiti



Şekil 2.4 C-C' enine jeolojik kesiti



Şekil 2.5 D-D' enine jeolojik kesiti

2.2 İnönü metamorfikleri

Eskişehir-İnönü arasında doğu-batı istikametinde yaklaşık 20 km'lik bir kuşak halinde uzanan birim çalışma alanı içerisinde yeşil şistler, glokofanlı yeşil şistler ve mermerler olmak üzere üç değişik kayaç grubu olarak yüzeylemektedir (EK1).

2.2.1 İnönü şistleri

Çalışma alanında Yörükyayla köyü ve civarında Karadede ve Akçaağaçdüzü hakim olarak $K80^{\circ}D/28^{\circ}GD$ 'dan $D-B/8^{\circ}G$ yöneliminde folyasyon düzlemlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Açık yeşil-mavimsi yeşil renklerde gözlenen şistler yer yer kuvarsit bantları da içermektedir (Şekil 2.6). Alterasyon yüzeyleri oldukça dağınık, alterasyondan korunan kısımları daha karmaşık özellik sunan şisti dokusuyla diğer birimlerden kolayca ayırt edilebilmektedir (EK 1).



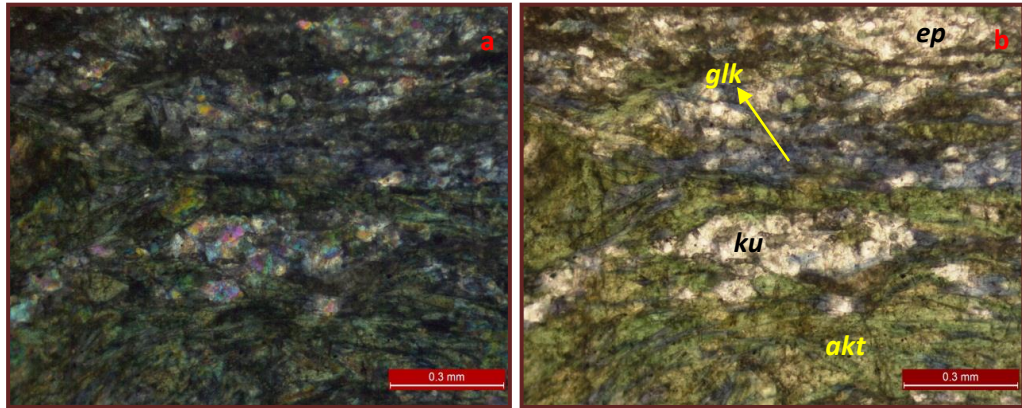
Şekil 2.6 İnönü glokofanlı yeşil şistleri (Yörükyayla-Erenköy Yolu Yörükyayla çıkışı)

Oldukça kıvrımlı ve klivajlı olarak gözlenen şistler içerisinde, şistlerden daha sert ve yer yer kafalar şeklinde gözlenen metabazik seviyeler gözlenmektedir. Hakim olarak biyotit ve amfibol minerallerinin makroskobik olarak izlenebildiği birim içerisinde nadiren muskovit minerali de göze çarpmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Şistler içerisinde gözlenen metabazik kafalar ve üzerinde gözlenen ikincil muskovit mineralleri (Yörükyayla-Erenköy Yolu Yörükyayla çıkışı)

Bölgesel jeolojik olarak meta-pelit ve metabaziklerle temsil edilen İnönü şistleri inceleme alanında daha çok metabaziklerle temsil edilmektedir. Yoğun olarak kıvrımlanmış-kırıklanmış olarak gözlenen birim polarizan mikroskop altında granonematoblastik dokuda gözlenmektedir (Şekil 2.8). Petrografik olarak aktinolit, glokofan, kuvars, $\pm$ epidot, $\pm$ plajiyoklaz, $\pm$ grafit ve $\pm$ opak mineral birlikteliğinin tanımlandığı kayaç glokofanlı yeşil şist olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2.8 a. Şistlerin göstermiş oldukları mineralojik ve dokusal özelliklerin polarizan mikroskop altında çift, b. tek nikol görünüşleri (akt: aktinolit, glk: glokofan, ep: epidot) (İŞM-1 no'lu örnek)

İnce kesitlerde nadiren gözlenen plajiolazlar genelde albit bileşiminde olup, serizitleşme ve killeşme türü bozunmalar göstermektedir. Serizitleşme ve killeşmenin yoğun olarak gözleendiği bazı kesitlerde de tanımlama yapılamamaktadır. Kayaç içerisinde aktinolit ve glokofan mineralleri yarı özşekli olarak izlenmektedir.

2.2.2 İnönü mermerleri

Yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan kuşak boyunca geniş yayılım gösteren ve İnönü metamorfiklerinin en üst seviyesini oluşturan mermerler metabazik arabantlı olarak beyaz, gri ve siyahımsı gri renklerde gözlenmektedir.

İnönü güneyinde sert yükseltiler şeklinde gözlenen mermerlerde İnönü-Eskişehir fay zonunun etkisiyle asılı vadiler de gözlenmektedir (Şekil 2.9).

İnönü mermerleri masif görünlü (Şekil 2.10), kırık-çatlaklı, ve kırık çatlakları boyunca kalsit dolgulu olarak gözlenmektedir. Kırık-çatlaklar içerisindeki bu kalsit kristalleri yer yer 2.5 cm boyutlarında izlenebilmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.9 İnönü mermerleri ve mermerlerde faylanmaya bağlı gelişen asılı vadiler (İnönü merkez Havuzlar mevki Güneydoğuya bakış)



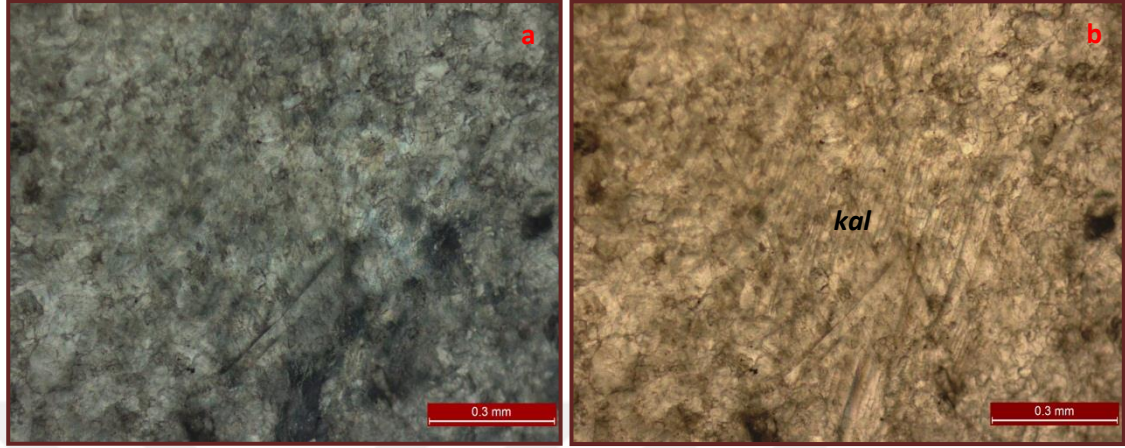
Şekil 2.10 Masif yapılı İnönü mermerlerinin makroskobik görüntüsü



Şekil 2.11 Mermerlerin kırık ve çatlakları boyunca oluşan ikincil kalsit kristalleri

Polarizan mikroskop altında petrografik tanımlamaları yapılan birimde ince taneli rekristalize kalsit kristalleri gözlenmektedir. Genel olarak granonematoblastik grift doku

özelliği gösteren kayaçta hakim mineral parajenezini kalsit ve $\pm$ kuvars'lar oluşturmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 a. Mermerlerin polarizan mikroskop altında çift, b. tek nikol görünüşleri (kal: kalsit) (İM-2 no'lu örnek)

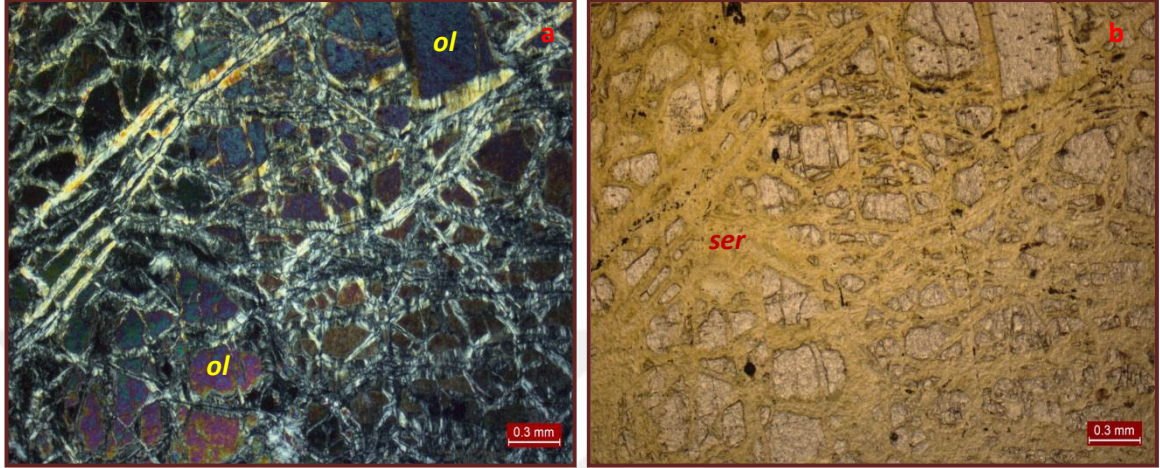
Kayaç grubu içerisinde tanımlanan kalsit mineralleri çoğunlukla öz şekilsiz kristaller halinde 4. dizi pastel renklerle karakterize olunan girişim renklerinde gözlenmektedir.

2.3 Ofiyolitler

Ofiyolitler, çalışma alanı içerisinde İnönü güneyinde Turgutlar, Esnemez ve Seyitali yerleşim yerleri arasında yaklaşık 20 km doğu-batı, 4 km kuzey-güney yayılıma sahip kuşak şeklinde gözlenmektedir. Düzenli bir istif özelliği göstermeyen ofiyolitler; peridotit, peridotitlerin alterasyonu sonucunda yersel olarak gözlenen serpantinit, peridotitler içerisinde kafalar şeklinde gözlenen gabro ve tektonik hatlar boyunca silisleşmiş-karbonatlaşmış listvenit birimlerinden meydana gelmektedir.

Peridotitler; dış görünüşleri koyu yeşil-yeşil renk aralığında değişen peridotitler çalışma alanında en iyi İnönü'nün güneyinde Seyitali ve Esnemez yerleşim yerleri arasında gözlenmektedir. Genel olarak dunit bileşimine sahip peridotitler içerisinde yer yer piroksen mineralleri çıplak gözle ayırt edilebilir büyüklükte görülmektedir.

Yapılan ince kesit çalışmalarında çoğunlukla dunit bileşiminde gözlenen bu peridotitler yer yer harzburjit bileşimi de sergilemektedir. Kayacı oluşturan minerallerden olivinlerin tamamına yakını serpantinleşmiş olarak gözlenmektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 a. Peridotitlerin polarizan mikroskop altında çift, b. tek nikol fotomikrograf görünümleri (ser: serpantin, ol: olivin) (SAT 5 no'lu örnek)

Karbonatlaşma, silisleşme ve FeO sıvamalarının yoğun olarak gözleendiği kayaç grubunda yer yer nodüller halinde manyezit oluşumları dikkati çekmektedir.

Oldukça geniş yayılımlar sunan peridotitler içerisinde yoğun olarak manyezitler gözlenmektedir. Manyezitler peridotitler içerisinde ağsı, damarsı bir şekilde karbeyazı renkte gözlenmektedir. Damar kalınlıkları cm'den birkaç m'ye varan kalınlıklarda gözlenen manyezitler (Şekil 2.14) içerisinde dunit kalıntıları gözlenmektedir (Şekil 2.15).

Listvenitler; silisleşmiş-karbonatlaşmış ultramafik kayaçlar çalışma alanı içerisinde, Karaağaç kuzeyinde ve Turgutlar'ın batısında olmak üzere iki lokasyonda gözlenmektedir.

Bölgedeki peridotitlerin hidrotermal alterasyonu sürecinde geliştiği düşünülen listvenitlerin oluşumu sürecinde, önce bölgedeki peridotitler içerisine kılcal silikalar yerleşmektedir (Şekil 2.16).



Şekil 2.14 Peridotitlerde ağsı-damarsı yapıda gözlenen manyezit oluşumları (Satılmışoğlu-Turgutlar yolu)



Şekil 2.15 Manyezitler içerisinde nodüller şeklinde gözlenen dunit kalıntıları (Satılmış-Turgutlar yolu)



Şekil 2.16 Peridotitler içerisinde gözlenen kılcal, ağsı yapıda silika damarcıkları (Satılmışoğlu Köyü kuzey batısı)

Daha sonra alterasyonun etkisiyle yoğunluğu azalan ve kırılgen-dağılgan özellik kazanan peridotitler fiziksel koşullar altında ortamdan uzaklaşarak geride sadece silis duvarların gözlendiğı elek dokusunu oluşturan localar gözlenmektedir (Şekil 2.17).



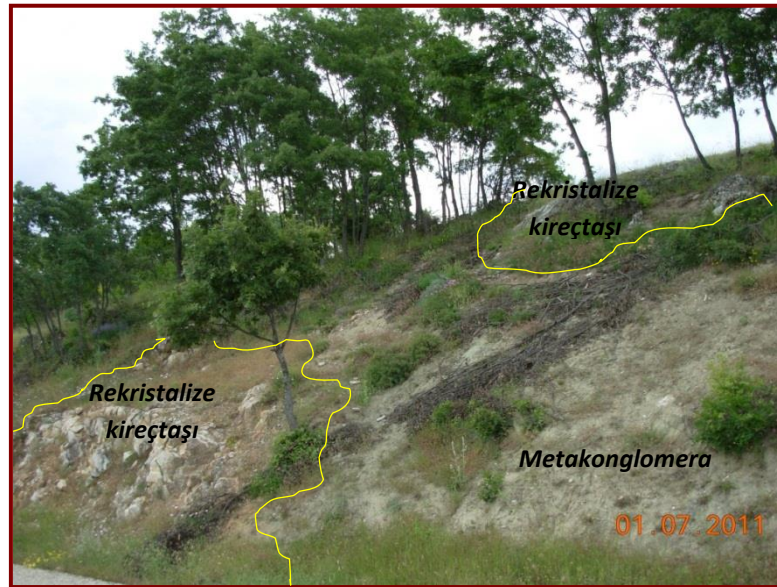
Şekil 2.17 Listvenitlerde elek dokuyu oluşturan silis duvarlarının oluşturduğu localardan bir görünüm (Satılmışoğlu güney batısı)

2.4 Örtü Birimleri

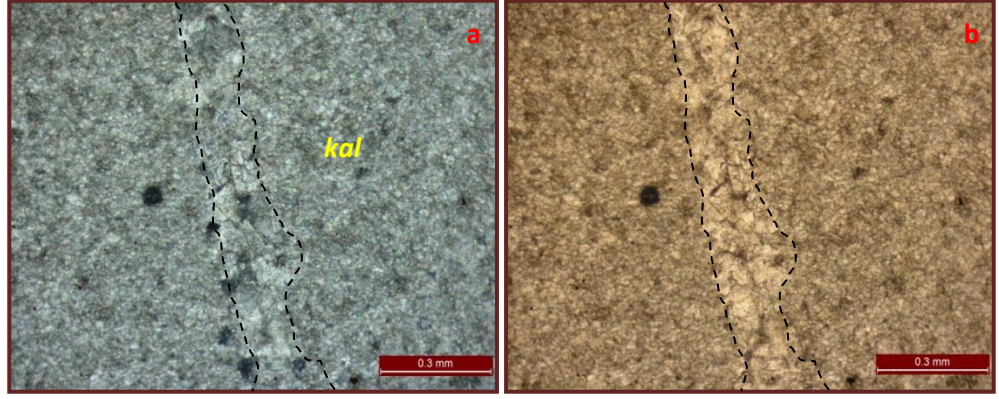
Çalışma alanı stratigrafisi içerisinde tektonik yerleşimli olarak ofiyolitlerin altında bulunan Orta Triyas yaşlı Karkın Formasyonu ile ofiyolitler üzerine uyumsuz olarak gelen Senozoyik yaşlı diğer örtü birimleri yazım bütünlüğü düşünülerek litostratigrafi birimleri olarak ele alınmıştır (Şekil 2.1, EK 1).

2.4.1 Karkın Formasyonu

Karkın Formasyonu çalışma alanı kuzeyinde Çukurhisar, Zemzemiye ve Keskin yerleşim yerleri arasında yüzeylemektedir. Daha çok meta konglomeralar içerisinde blok kireçtaşlarıyla temsil edilen birim (Şekil 2.18) açık gri, krem, beyaz renkli olarak ileri derecede kristalize olmuştur. Polarizan mikroskop altında mikrokristalin kalsitlerle temsil edilen birim içerisinde kırık ve çatlaklar boyunca yerleşmiş ikincil kalsit dolguları gözlenmektedir. Kayaç içerisinde gözlenen kalsit kristallerinden ana kayacı oluşturanlar ince taneli grift dokuda gözlenirken kırık ve çatlaklara yerleşmiş kalsitler ise orta taneli poligonal dokuda gözlenmektedir (Şekil 2.19).



Şekil 2.18 Karkın Formasyonu'nun arazi görünümü (Zemzemiye)



Şekil 2.19 a. Rekristalize kireçtaşlarının polarizan mikroskop altında çift, b. tek nikol görünüşleri (kal: kalsit) (ZEM no'lu örnek)

Genel stratigrafik istifte Karkın Formasyonu üzerine Zeyköy Formasyonuna ait kumtaşları ve kireçtaşları uyumsuz olarak gelmektedir. Ancak bu ilişki çalışma alanında gözlenmemektedir.

İnceleme alanında temele ait olan Karkın Formasyonu üzerine uyumsuz olarak Miyosen yaşlı Porsuk Formasyonu gelmektedir.

2.4.2 Porsuk Formasyonu

Çalışma alanında konglomera, kumtaşı, bazalt akıntıları, tuf, tüfit, marn, kil, jipsli marn ve kil, jips ve kireçtaşlarından oluşan, yaklaşık doğu-batı doğrultusunda Porsuk çayı boyunca görülen birimler Gözler vd. (1985) tarafından Porsuk Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Çalışma alanında Porsuk Formasyonu orta-iri kısmen kaba taneli derecelenmesiz olarak gözlenen konglomeralar ile başlamaktadır (Şekil 2.20). Genel olarak çamurtaşı arakatkılı olarak gözlenen konglomeralar üst seviyelere doğru tuf, çamurtaşı arakatkılı kireçtaşlarına geçiş göstermektedir (Şekil 2.21).

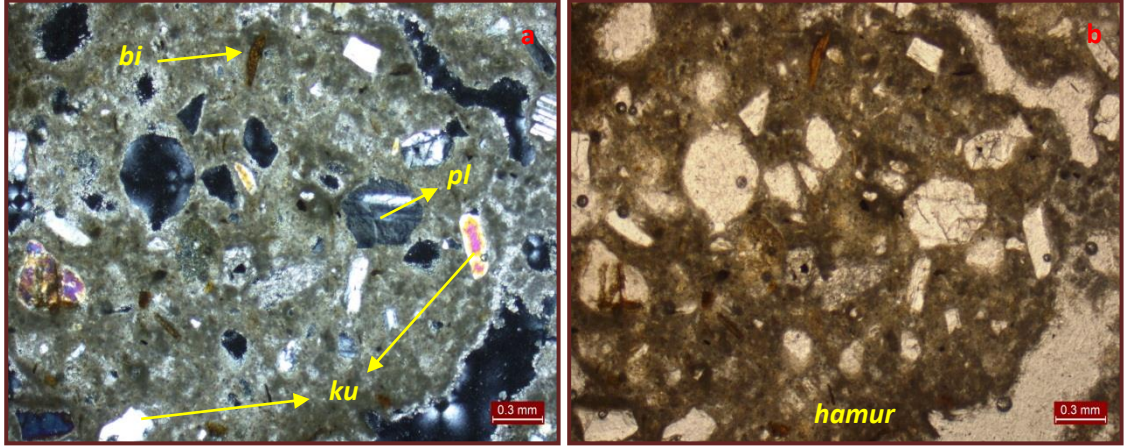


Şekil 2.20 Porsuk Formasyonu taban seviyelerini oluşturan konglomeralar (Çukurhisar-Zemzemiye yolu)



Şekil 2.21 Porsuk Formasyonunun orta-üst seviyelerini oluşturan tuf-çamurtaşı arakatkılı kireçtaşları (Çukurhisar-Zemzemiye yolu)

Porsuk Formasyonu içerisinde tüflerden alınan örneklerden yapılan petrografik incelemeler sonucunda dasitik tuf olarak adlandırılan birim esas olarak plajiyoklaz+ biyotit + ileri derecede karbonatlaşmış - serisitleşmiş hamur $\pm$ pumis $\pm$ kıymık $\pm$ opak mineral bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 2.22). Hakim olarak vitrofirik dokunun gözlemlendiği tüflerde kaynaklaşmanın olmadığı göze çarpmaktadır.



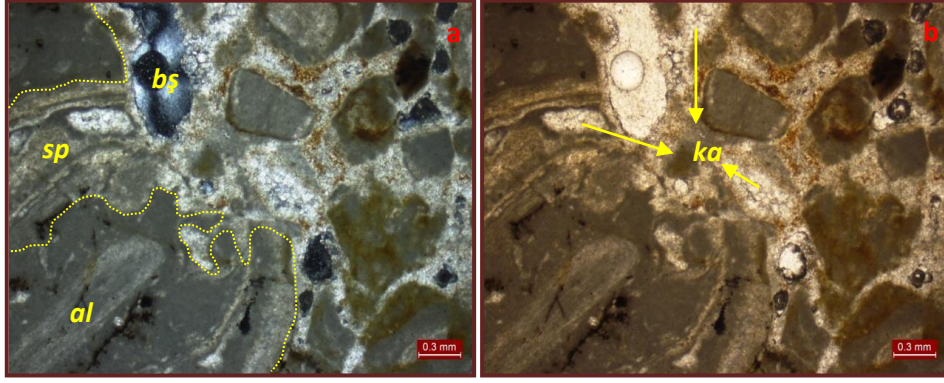
Şekil 2.22 a. Porsuk Formasyonu tuf seviyelerinin polarizan mikroskop altında çift, b. tek nikol görüntüleri (bi: biyotit, pl: plajiyoklaz, ku: kuvars) (KÜM 1 no'lu örnek)

Çalışma alanında oldukça geniş yayılımlar sunan tuf, çamurtaşı arakatkılı kireçtaşları, krem renkli alg'li yer yer çört yumruları içeren masif kireçtaşları ile son bulmaktadır (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Porsuk formasyonunun en üst seviyelerini temsil eden masif yapılı kireçtaşının arazi ve el örneği görüntüsü (Çukurhisar güneyi)

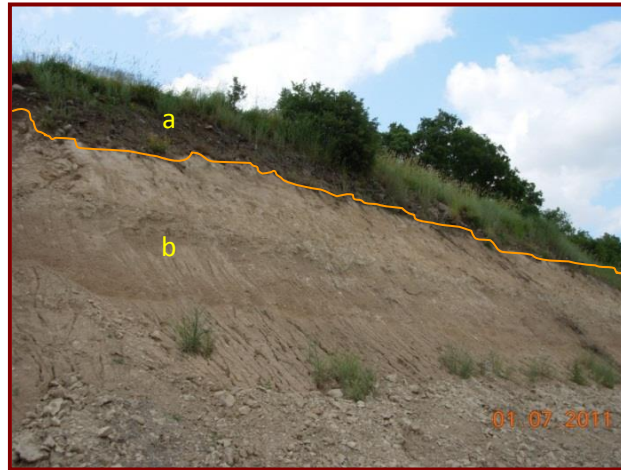
Formasyonun en üst seviyesini temsil eden bu kireçtaşları içerisindeki algler ince kesit altında yumrular şeklinde kirlenmiş olarak gözlenmektedir. Kayaç içerisinde gözlenen boşluklar ise çoğunlukla ince taneli kalsit veya ışınal lifsi sparit ile doldurulmuştur (Şekil 2.24).



Şekil 2.24 a. Porsuk Formasyonu masif kireçtaşlarının polarizan mikroskop altında çift, b. tek nikol görünümü (spr: sparat, alg: kirlenmiş alg, bş: boşluk, kal: kalsit) (CUK-G no'lu örnek)

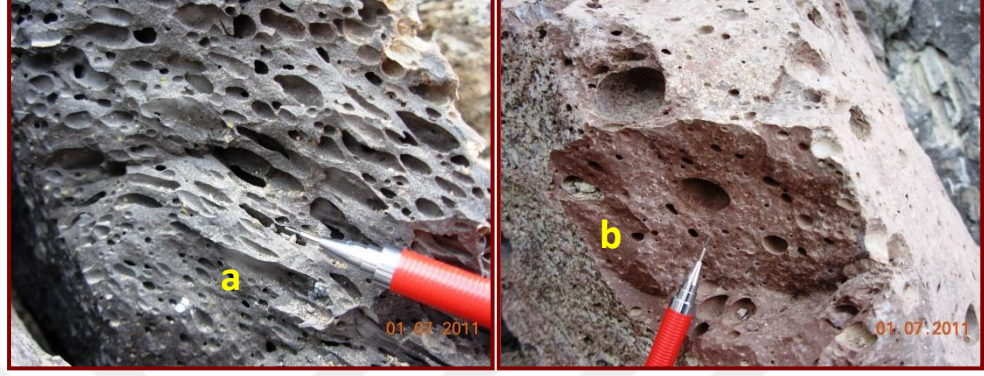
2.4.3 Ilıca Formasyonu

İnceleme alanında Ilıca Formasyonu olarak bilinen birim yeşilimsi gri-kırmızımsı renkli konglomeralar ile başlayıp iri ve orta boyda volkanik kayaç parçaları ve piroklastiklerden oluşan aglomeralar ve tuf-tüfitler ile devam eden ve killi, kumlu, tüflü kireçtaşlarıyla son bulan istif özelliği sunmaktadır. Birim bazaltik lav akıntılarıyla örtülü olarak en iyi İnönü-Bozüyük yolu üzerinde yol yarmasında gözlenmektedir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 Bazaltik lav akıntıları ile örtülü (a) Ilıca Formasyonunun killi-kumlu-tüflü kireçtaşlarından oluşan orta seviyelerinin (b) arazi görünümü (İnönü-Bilecik Yolu 30. km yol yarması)

Ilıca Formasyonu'nu keser ve örten konumda gözlenen bazaltlar daha çok porfiroafanitik dokusal özellikte gözlenmektedir. Genel olarak koyu yeşilimsi-siyah renkte gözlenen bazaltlar yer yer kahverengi olarak da yüzeylemektedir (Şekil 2.26).



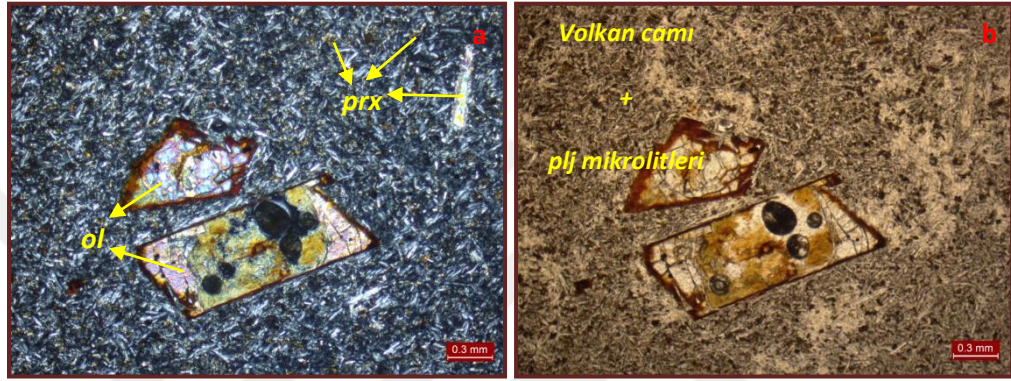
Şekil 2.26 Siyahımsı yeşil (a) ve kahverengimsi (b) bazaltlardan görünüm

Yaklaşık 10-15 m kalınlıklar sunan bazaltlar tabanda daha masif yapı ve vasiküler boşluk içermezken yüzeye doğru oldukça boşluklu ve amogdoloidal doku özelliği sergilemektedir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27 Amogdoloidal doku özelliği gösteren bazalt

İnce kesit çalışmalarında hipokristalin porfirik dokuya sahip olan bazalt örneklerinde, trakitik, intersertal ve vasiküler dokular da gözlenmektedir. Kayaça hamuru volkan camı ve plajiyoklaz mikrolitleri oluşturmaktadır. Kayaç içerisinde piroksen mineralleri mikrolitlerin aralarını doldurur vaziyette gözlenirken, olivinler ise porfirik dokuyu oluşturur şekilde kırık ve çatlaklı olarak gözlenmektedir. Olivin bazalt olarak adlandırılan birimde olivinlerin FeO'lu akışkanların etkileriyle iddingsitleştikleri gözlenmektedir (Şekil 2.28).



Şekil 2.28 a. Bazaltların polarizan mikroskop altında çift, b. tek nikol görünüşleri (ol: olivin, prx: piroksen,) (BZ-4no'lu örnek)

2.4.4 Akçakaya Formasyonu

Gri açık-gri renkli gevşek tutturulmuş yer yer çapraz tabakalı çakıl, kil, kum ve çamur aralanmalı olarak gözlenen birim çalışma alanının doğu kesiminde Zincirlikuyu, Turgutlar ve Satılmışoğlu yerleşim yerleri arasında yüzeylemektedir. Taban seviyelerinde kısmen iri çakıllarla başlayan birim üst seviyelere doğru killi ve siltli olarak gözlenmektedir (Şekil 2.29).

2.4.5 Alüvyon

Çalışma alanında eski ve yeni alüvyonlar en iyi Bağladeresi içerisinde yaklaşık 8 m kalınlıkta gözlenmektedir (Şekil 2.30) (EK1).

İnce taneli kumtaşı ile başlayan alüvyonlarda üst seviyelere doğru gittikçe çamur arakatmanlı moloz akması şeklinde gözlenmektedir. İçerisinde boyutları 0.5 cm'den blok boyutuna kadar değişen ofiyolit çakıllarının yer aldığı alüvyonların taban seviyelerinde herhangi bir derecelenme gözlenmezken dönemsel sellenmeyi işaret eden çakılların boyutundaki artışlar karakteristik olarak gözlenmektedir.



Şekil 2.29 Akçakaya Formasyonunun genel görünümü (Satılmışoğlu-Turgutlar yolu)



Şekil 2.30 Bağladeresi içerisinde gözlenen yeni alüvyonların içyapısı (Satılmışoğlu-Turgutlar yolu üzeri)

3. HİDROJEOLOJİ

Bu bölümde çalışma alanında yer alan su noktaları (kaynaklar, sığ ve derin kuyular ile yüzey suları), jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri, akifer özelliği taşıyan birimler, eş su seviye haritaları, hidrometeoroloji ve yeraltı suyu bütçesi üzerinde durulacaktır.

Çalışma alanında yüzlek veren birimleri, jeolojik yerleşimi, litolojik özellikleri, süreksizlik durumu, dokusu, kurumlar ve şahıslar tarafından açılan sondajlar, sıcak ve soğuk su kaynakları ve su verimleri dikkate alındığında, geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak gruplandırmak, akifer sistem/leri ayırt etmek mümkün olabilecektir. Çalışma kapsamında, tezin amaçları doğrultusunda sığ akifer sistemde farklı amaçlarla açılan sondaj kuyularında iki farklı dönem için yeraltı suyu eş seviye haritaları hazırlanmıştır (EK 2-3). Akifer sistemle ilişkili olduğu düşünülen Sarısu deresi üzerinde ölçülmüş olan Devlet Su İşleri limnigraf verileri elde edilmiş, ayrıca bizzat debi ölçümleri de yapılmıştır. Alanda bulunan su kaynaklarının debi ölçümleri de gerçekleştirilmiştir.

3.1 Su Noktaları

Bu bölümde çalışma alanı içerisinde bulunan kaynaklar (sıcak ve soğuk su kaynakları), kuyular (DSİ ve şahıs kuyuları) ve Sarısu Deresi'nin özelliklerinden bahsedilecek olup, örnekleme noktaları hakkında da bilgi verilecektir.

3.1.1 Kaynaklar

Çalışma alanı içerisinde 9 adet kaynak yer almaktadır. Bu kaynaklardan, 1 tanesi sıcak su kaynağıdır. Örnekleme yapılan kaynakların koordinat ve debi değerleri çizelge 3.1'de verilmiştir (EK 2-3). Örnekleme dönemlerinde sıcaklığı 24 ile 27.2 °C arasında değişen Havuzlar kaynağı bölgedeki en yüksek debili ve tek sıcak su kaynağıdır. İST1, İST2, İST3 ve İST4 kaynakları ise İnönü merkezde yer alan kaynaklar olup Porsuk Formasyonu ile alüvyon dokanağından çıkan kaynaklardır (Şekil 3.1). SAT11, SAT12,

SAT13 ve SAT14 kaynakları ise çalışma alanının doğusunda yer almakla birlikte alüvyon kaynakları niteliğindedir (Şekil 3.2).

Çizelge 3.1 Çalışma alanında yer alan kaynaklar ve debileri

Kaynak adı	X	Y	Debi (l/s) (Ekim, 2012)	Debi (l/s) (Mayıs, 2012)
HAVUZLAR	253337	4411014	120	138
İST	257148	4414242	0.8	1
İST1	257923	4414189	0.625	1.2
İST2	259601	4413975	0.09	0.25
İST3	260309	4414324	0.11	0.5
SAT11	273109	4410103	0.09	0.25
SAT12	272564	4409726	0.13	0.5
SAT13	271858	4409225	0.25	0.33
SAT14	272650	4409895	0.33	042



Şekil 3.1 İnönü Kaynakları (İST, İST1)



Şekil 3.2 Satılmış kaynakları (SAT11, SAT12)

3.1.2 Kuyular

Çalışma alanında Devlet Su İşleri tarafından açılmış yaklaşık 29 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyular 1960 yılından günümüze kadar farklı tarihlerde açılmış, bazıları halen faaliyette olup birçoğunun faaliyetleri ise sona ermiştir (EK 2-3).

DSİ tarafından açılmış olan bu kuyuların zemin kotu, derinlik, statik seviye, debi, düşüm, özgül debi, transmissivite, EC parametreleri ve su tipleri ile hangi formasyonlardan alındığı ve akiferin kalınlık özellikleri çizelge 3.2’de verilmiştir. 1975 yılında DSİ tarafından ovada yapılan çalışma sonucunda hazırlanmış olan etüt raporunda belirtilen bu kuyuların hiçbirinden örnekleme yapma imkanı bulunamamıştır. Ancak bölgenin hidrojeolojik yapısının ortaya konulmasında bu veriler ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Çalışma alanında çok sayıda şahıs kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyuların derinlikleri 8-25 m arasında değişmektedir. Yine çalışma alanında bulunan fabrikalar tarafından açılmış derin kuyular da mevcuttur. Çalışma alanında bulunan en derin kuyu Kandilli Köyü’ne içme suyu temini amaçlı kullanılan DSİ tarafından açılmış olan 145 m derinliğe sahip olan Kandilli rumuzlu kuyudur.

Ova içerisinde bulunan 14 adet şahıs kuyusunda örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılan bu 14 kuyunun koordinat ve derinlikleri çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3’te verilmiş olan kuyuların derinlikleri çok fazla olmayıp, 100 m’nin üzerinde olan sadece 3 kuyu bulunmaktadır. Kandilli kuyusu 169 m derinliğe sahip, Kandilli Köyü’ne içme suyu sağlamaktadır.

Çizelge 3.2 Çalışma alanında bulunan DSI'ye ait kuyular ve özellikleri (Anonim 1975)

Kuyu No	5586	5587/A	5587/B	5587/C	5588/A	5588/B	5589/A	5589/B	5590/A	5590/B
Kuyu Adı	Turgutlar	Satılmış	Satılmış	Satılmış	Okubah	Okubah	İnönü	İnönü	Kandilli	Kandilli
Açılma Amacı	Arş	Arş.	Arş.	Arş.	Arş.	Arş.	Arş.	Arş.	Arş.	Arş.
Açıldığı Yıl	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964	1964
Zemin Kotu, m	811,7	805,8	805,9	806	819,1	819	831,4	830,8	854,6	854,6
Derinlik, m	29	165	37	16	213	45	232	70	153	11
Ölçme Tarihi	Ağustos	VERİMSİZ	Ağustos	Ağustos	Ağustos	Ağustos	Eylül	Ağustos	Ağustos	VERİMSİZ
Statik Seviye	9,12		0,9	1,75	2,7	2,55	0,6	0,6	0,98	
Debi (l/s)	2		0,4	12	1	1	3	24	2,5	
Düşüm (m)	7,9		31,35	3,69	29,59	26,64	31,03	5,75	32,19	
Özgül Debi	0,25		0,01	3,25	0,03	0,04	0,09	4,3	0,07	
Transmisibilite (m ³ /gün/m)	60		-	300	-	-	-	-	70	
EC (µS/cm)	425	VERİMSİZ	650	1350	570	680	450	680	900	VERİMSİZ
Su Sınıfı	C2S1		C2S1	C3S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C3S2	
Su veren formasyon	kireçtaşı	-	-	Alüvyon	-	-	-	-	Konglomera	-
Akifer kalınlığı(m)	13	-	-	12	-	-	-	-	100	-

Çizelge 3.2 (devam) Çalışma alanında bulunan DSI'ye ait kuyular ve özelliklikleri (Anonim 1975)

Kuyu No	5590/B	1	2	3	4	5	6	7
Kuyu Adı	Kandilli	İnönü	İnönü	İnönü	İnönü	İnönü	İnönü	İnönü
Açılma Amacı	Arş.							
Açıldığı Yıl	1964	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966
Zemin Kotu	854,6	846	837	836	824	820	818	816
Derinlik	11	46	20	38	20	20	20	20
Ölçme Tarihi		Haziran	Haziran	Mayıs	Haziran	Temmuz	Mayıs	Mayıs
Statik Seviye		-	0,58	-	0,86	0,54	0,85	1,05
Debi (l/s)		-	9,39	-	4,54	-	-	-
Düşüm (m)		-	2,98	-	4,4	-	-	-
Özgül Debi (l/s/m)		-	-	-	-	-	-	-
Transmisibilite (m ² /gün/m)		-	-	-	-	-	-	-
EC		-	-	-	-	-	-	-
Su Sınıfı		-	-	-	-	-	-	-
Su veren formasyon	-	Çakıllı kil	Alüvyon	-	Alüvyon	Çakıllı kil kum	Killi silt	Alüvyon
Akifer kalınlığı(m)	-	4	10	-	11	10	8	4

Çizelge 3.3 Çalışma alanındaki şahıs kuyularının koordinat ve derinlikleri

Kuyu Adı	X	Y	Derinlik (m)
ARICI	247494	4413124	145
ÇEVİK	263606	4411104	29
ÇİMSA	267854	4412061	45
DSİ KUYU	250049	4413168	30
SÖK1	271882	4409469	15
SÖK2	271234	4409674	12
KABADAĞ	255717	4412393	13
KANDİLLİ	246820	4412042	169
KAZANKAYA	272151	4409727	20
KESON	247802	4413148	50
KÜÇÜKEV	253813	4412017	25
ÖZER	272107	4410575	30
SEBAHATTİN	272751	4409651	10
YURTBAY	262132	4411211	100

3.1.3 Yüzey Suları

Çalışma alanında bulunan en önemli akarsu ovayı batıdan doğuya kateden Sarısu Deresidir (Şekil 3.3). Sarısu Deresi, Kütahya İlinin merkez ilçesine bağlı Dodurga Köyü yakınındaki Yirce Dağı eteklerinden doğmakta ve Eskişehir-Kütahya yolunun 5. km'sinde Porsuk Çayı'na karışmaktadır. Sarısu üzerinde, taşkınları önleme ve sulama tesisleri yapmak amacıyla Dodurga Barajı yapılmıştır (Anonim, 1975).

Sarısu Deresi, ovaya Kandilli köyünün güney batısından girerek İnönü merkezden geçer ve Satılmışoğlu Köyü'nün doğusunda ovayı terkeder. Sarısu Deresi'nin toplam uzunluğu 44 km'dir.

Ayrıca Sarısu Deresi'nde DSİ tarafından 2010 yılında bir ıslah çalışması başlatılmış olup, İnönü merkezden başlayarak ovanın doğusuna doğru drenaj hendekleri yapılmıştır (EK 2-3).

Sarısu deresi üzerinde DSİ tarafından çalışma alanının güneybatısında yer alan Dodurga Barajı inşa edilmiştir (Şekil 3.4). Dodurga Barajı 1972 yılında inşaatına başlanan 1977

yılında tamamlanan sulama ve taşkın koruma amaçlı yapılmış bir barajdır. Barajın gövde dolgu tipi toprak olup gövde hacmi 678 dam³'tür. Normal su kotunda göl hacmi 22 hm³ ve normal su kotunda göl alanı 2 km²'dir (Anonim, 1975).



Şekil 3.3 Sarısu Deresi'nden bir görünüm (Kandilli-İnönü yol kenarı, Ağustos 2013)

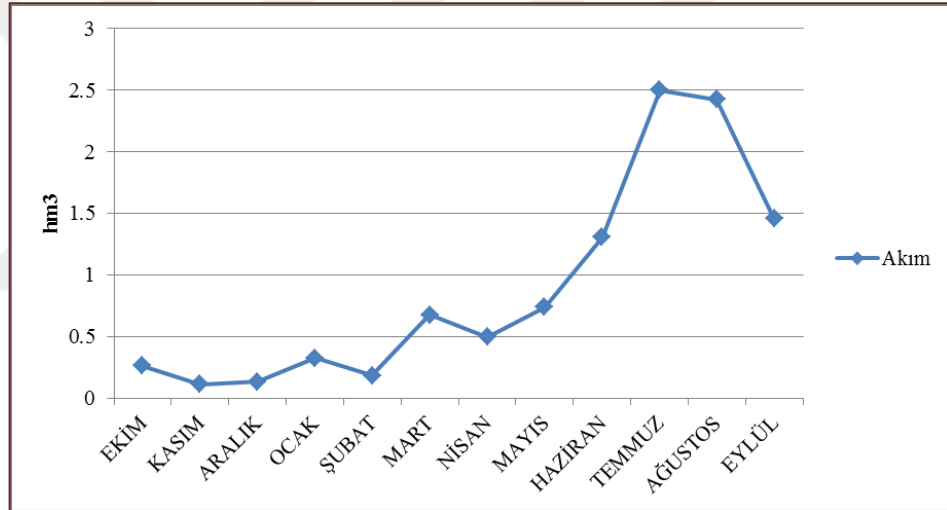
Çalışma alanı içerisinde DSI'ye ait 4 adet limnigraf bulunmaktadır. Limnigrafardan ilki Dodurga Barajı çıkışı'nda, ikincisi Kandilli'de üçüncüsü ise İnönü İlçesi merkezinde bulunmaktadır (Şekil 3.4). Bu 4 limnigraftan alınan debi ölçüm değerleri kullanılarak 1983-2005 yılları arasında ölçülen debi değerlerinin değişim grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.5-3.8). Limnigrafardaki veriler, barajdan bırakılan sular, yağış ve yüzey akaçlamasına bağlı olarak değişmektedir.

Kandilli'de bulunan limnigraftan sadece akım verileri elde edilmiş olup buna göre akım grafiği çizilmiştir.

Sarısu Deresi üzerindeki Dodurga Barajı çıkışındaki limnigraf verilerinden yararlanılarak çizilen grafiğe göre (Şekil 3.5), 1983-2005 yılları arasındaki ortalama debi değerleri en yüksek Temmuz ayında ölçülmüştür. Bu da barajdan Sarısu Deresi'ne Temmuz ayında sulama amaçlı su bırakıldığı şeklinde yorumlanmaktadır.

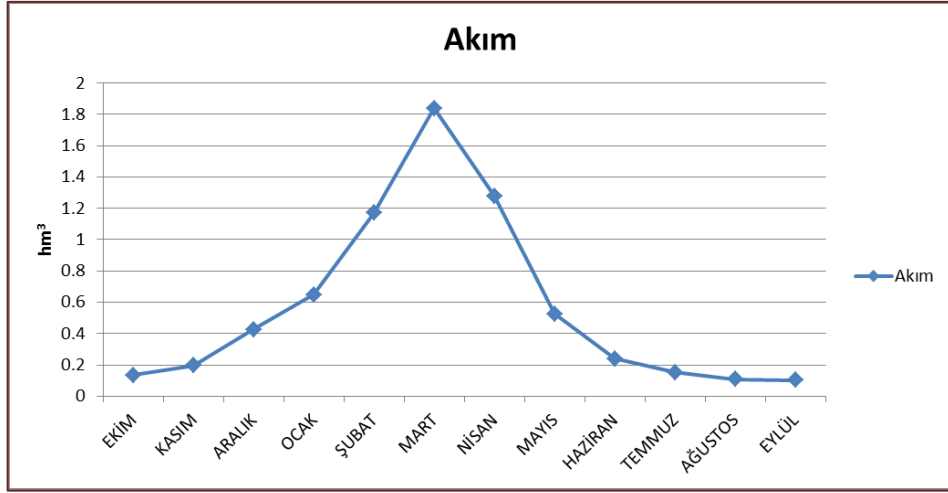


Şekil 3.4 Sarısu Deresi üzerinde bulunan 4 adet limnigrafın yer bulduru haritası



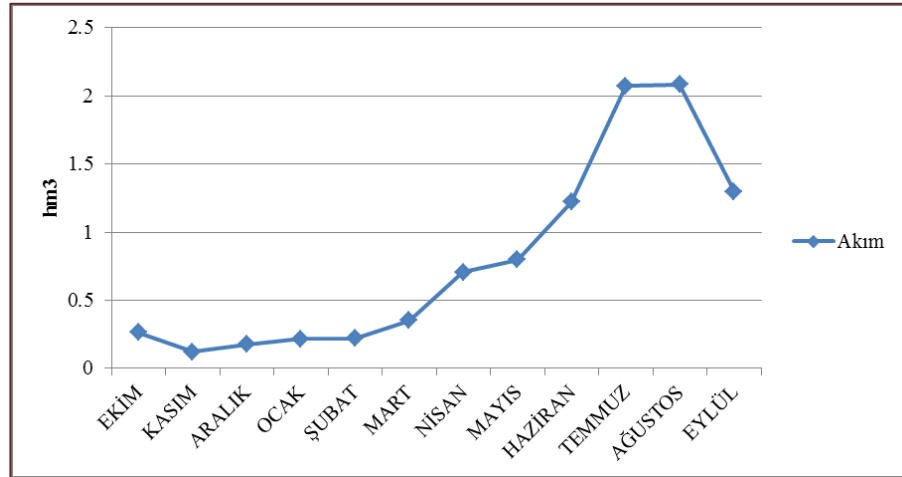
Şekil 3.5 Sarısu Deresi'nde Dodurga Barajı çıkışında bulunan Dodurga Barajı limnigrafından elde edilen aylık ortalama akım değerlerinin grafiksel gösterimi (1983-2005 yılları arası).

Sarısu Deresi üzerinde DSİ tarafından yerleştirilen bir diğer limnigraf Yeni Dodurga ilçesindedir. Yeni Dodurga limnigrafı 1983-2005 yılları arasındaki akım verilerinin ortalama değerleri grafiklendirildiğinde (Şekil 3.6) en yüksek değerın Mart ayında olduğu görülmektedir. Bu da Temmuz ayında sulama amaçlı barajdan bırakılan suyun Mart ayında Yeni Dodurga'da ölçüldüğü şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 3.6 Sarısu Deresi'nde Yeni Dodurga limnigrafından elde edilen aylık ortalama akım değerlerinin grafiksel gösterimi (1983-2005 yılları arası).

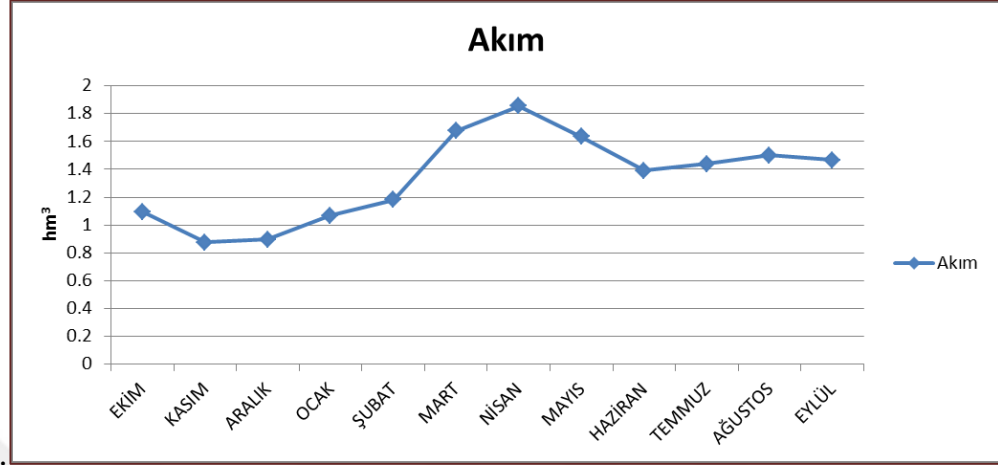
Sarısu Deresi üzerinde DSI tarafından Kandilli sınırları içerisinde de bir limnigraf yerleştirilmiştir. Kandilli limnigrafı tarafından 1983-2005 yılları arasında ölçülen akım değerlerinin ortalamalarının grafiğine göre (Şekil 3.7) en yüksek akım değerlerinin Temmuz ve Ağustos aylarında ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 3.7 Sarısu Deresi'nde Kandilli limnigrafından elde edilen ortalama akım değerlerinin grafiksel gösterimi (1984-2009 yılları arası).

Çalışma alanı içerisinde kalan Sarısu Deresi üzerindeki bir diğer limnigraf ise İnönü İlçe merkezindedir. İnönü limnigrafı 1983-2005 yılları arası ortalama akım değerleri

grafiklendirildiğinde ise (Şekil 3.8) en yüksek akım değerinin Nisan ayında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8 Sarısu Deresi’nde İnönü limnigrafından elde edilen ortalama akım değerlerinin grafiksel gösterimi (1983-2004 yılları arası)

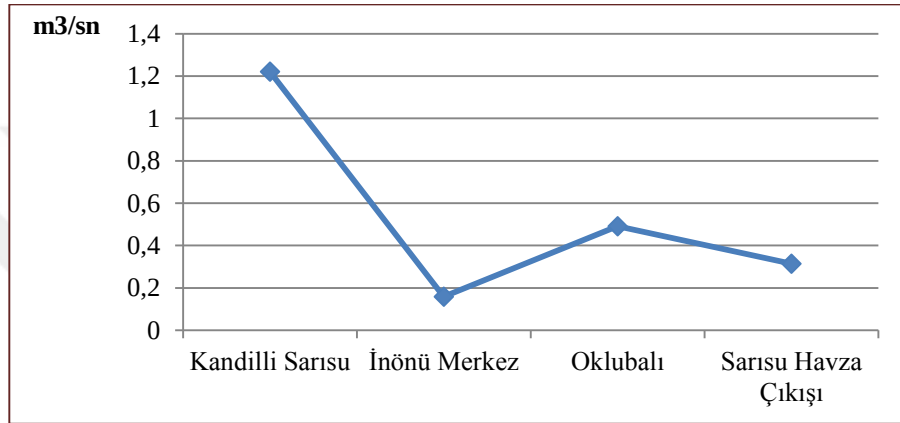
Limnigrafardan elde edilen aylık ortalama akım değerleri Dodurga Barajı çıkışı ve Kandilli limnigrafında Ağustos ayında yüksektir. İnönü limnigrafında ise akım değerinin Nisan ayında yüksek olduğu görülmektedir. Bu yüksekliğin nedeni, Sarısu Deresi’nde Temmuz ayında sulama amaçlı su bırakılması olarak açıklanabilir.

Çalışma alanındaki Sarısu Deresi’nde 2013 yılı Ağustos ayında yapılan debi ölçümleri sonucu elde edilen değerler çizelge 3.4’te verilmiştir. Sarısu Deresi’nde 4 noktada muline ile debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu 4 noktadan birincisi Sarısu Deresi’nin ovaya giriş noktası olup Sarısu Kandilli olarak isimlendirilmiştir. 2. ve 3. noktalar ovanın içerisinden iki nokta olup 4. debi ölçüm noktası ise Sarısu Deresi’nin ovayı terkettiği nokta olacak şekilde seçilerek Sarısu Çıkışı olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 3.4 Sarısu Deresi’nde Ağustos 2013’te ölçülmüş olan debi değerleri

		X	Y	Debi (m³/s)
1	Kandilli Sarısu	246555	4412835	1.222
2	İnönü Merkez	255385	4414243	0.159
3	Oklubalı	266863	4411853	0.491
4	Sarısu Ova Çıkışı	273062	4409145	0.314

Çalışma alanında 2013 yılı Ağustos ayında Sarısu Deresi'nin 4 farklı noktasında ölçülen debi değerleri grafiğe aktarılmıştır (Şekil 3.9). Debi ölçümleri sonrasında debi miktarının ovanın giriş noktası olan Kandilli'de yüksek olduğu görülmüştür. Diğer 3 noktadaki ölçümlere bakıldığında İnönü merkezde diğer noktalara göre daha düşük bir debi değeri mevcuttur. Bunun nedeni ise İnönü merkezde sulama amaçlı oldukça fazla su kullanımıdır. Kandilli ve İnönü arasında Sarısu Deresi boyunca, pompajla dereden oldukça fazla su çekimi mevcuttur (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 Çalışma alanında 2013 yılı Ağustos ayında 4 farklı noktada yapılan debi ölçümlerinin grafiksel gösterimi (örnek noktaları soldan sağa menbada manşaba doğrudur)

3.2 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

3.2.1 Geçirimli Birimler

Genel olarak eski-yeni alüvyonlar İnönü ovasının merkezinde ovayı batıdan doğuya kat eden koridor şeklinde kaplamaktadır. Ovada çamur ara katlı moloz akmaları ile temsil edilen eski alüvyonlar ovanın kuzey kesiminde 5,2 km²'lik küçük bir alanda yer almaktadır. Ovanın genel olarak sığ akifer formasyonunu oluşturan ve yaklaşık 5-20 m arasında değişen kalınlıklar sergileyen alüvyonlar ise 98,8 km²'lik bir alanda yüzeylemektedir. Ovada açılan daha çok sığ kuyular alüvyon akiferden beslenmektedir. Alüvyon içinde 4-5 m kalınlıkta, orta-az tutturulmuş çakıllı ve kumlu seviyelerin daha

ince taneli seviyelerine oranla daha çok geçirimli ve bu seviyelerden daha fazla su almak mümkün olabilecektir.

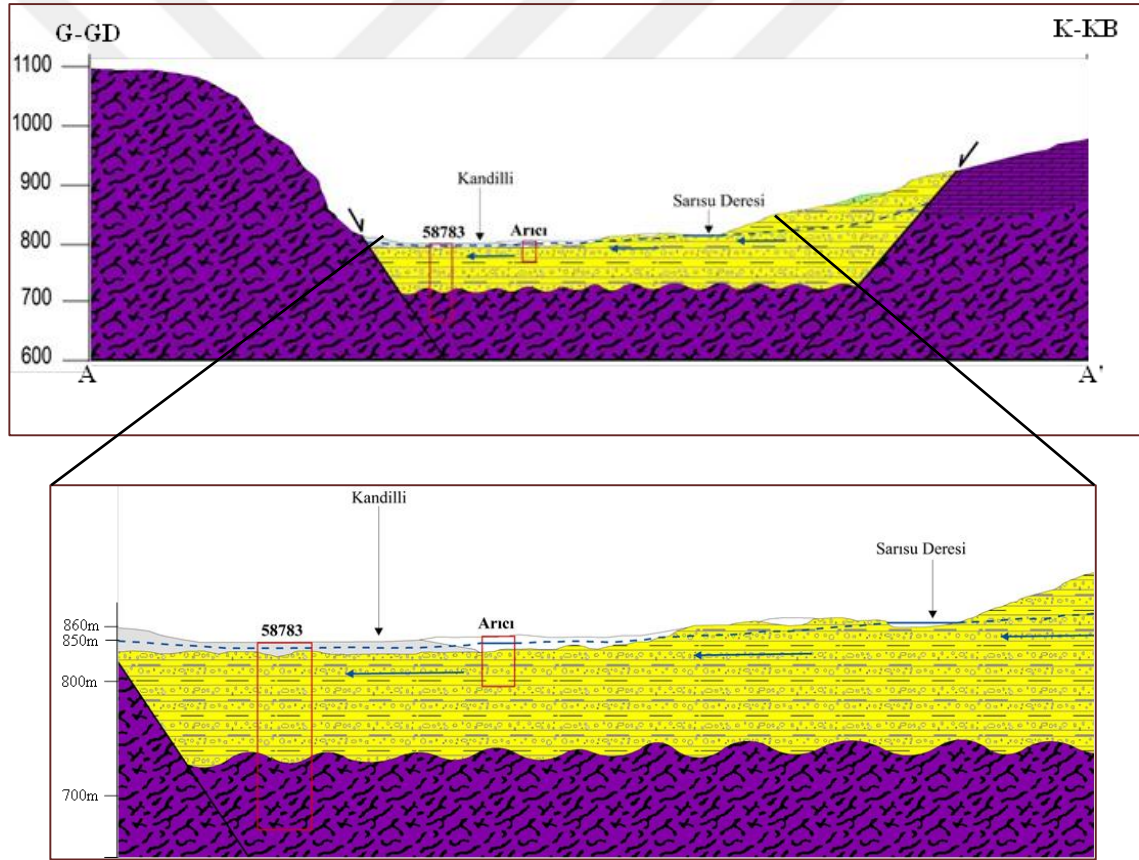


Şekil 3.10 Sarısu Deresi üzerindeki pompajlardan görüntüler

Alüvyonlar genel olarak ince kum, killi kum, kumlu çakıl ve yer yer siltli kil seviyeleri içermektedir. Yanal olarak birbirleriyle geçiş gösteren bu birimlerin kalınlıkları ovada homojenlik sunmamaktadır. Genel stratigrafik istifte Porsuk formasyonu üzerinde uyumsuz olarak gözlenen alüvyonlarda en kalın kil seviyeleri özellikle Oklubalı Köyü civarında DSİ açmış olduğu sondaj loglarından tespit edilmiştir. DSİ tarafından açılan sondaj kuyularına ait loglar incelendiğinde ovayı batıdan doğuya koridor şeklinde kat eden alüvyonlar tüm kuyularda ilk 1-1.5 m'deki nebati toprağın altında 0.5 ile 1 m arasında değişen killi kum seviyeleri ile başlamaktadır. Killi kum seviyelerinin hemen altında alüvyonlar çakıl, kum (bazen killi) seviyelerine geçmekte ve bu seviyelerden su alınmaktadır.

DSİ tarafından bölgede açılan kuyuların logları incelendiğinde ovanın batı kesiminde 5590, 41001 ve 41002 no'lu kuyularda 150 m'den daha fazla kalınlıkta Porsuk Formasyonu'na ait birimler kesilmiştir. Ovanın batı kesimindeki bu kalın istifin özelliklerine bakıldığında, ovanın batısından doğusuna doğru 58783 no'lu kuyuda 17

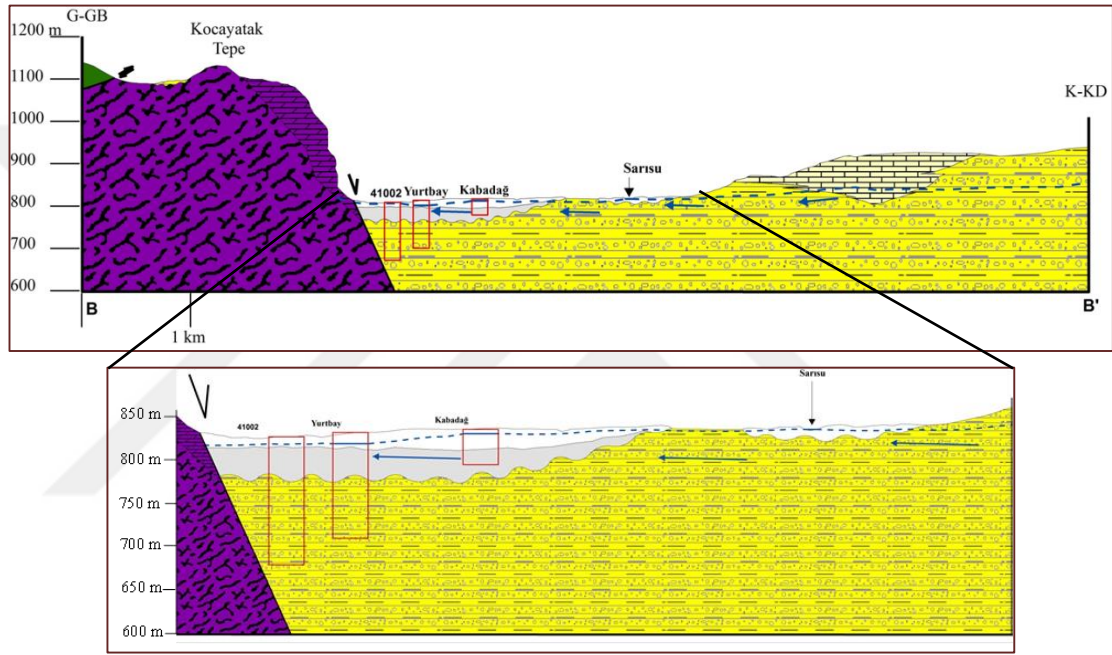
m'lik alüvyon seviyesinden sonra 97. metreye kadar yer yer killi çakıllı seviyeler içeren çamurtaşı-kiltaşı ardalanması yer almaktadır. Aynı kuyuda 97 ile 111. metreden sonra 172. metreye kadar şistler ile devam etmektedir (Şekil 3.11). Yine ovanın batısında Kandilli'de açılmış olan kuyu (Arıcı) ise şahıs kuyusu olup 20 m derinliktedir. Ovanın batı kesiminde yer alan bu kuyulardan Mayıs (2012) ayı su seviyesi ölçümleri ve jeolojik-hidrojeolojik verilerden faydalanılarak hazırlanan su tablası haritası ve enine hidrojeolojik kesitte (Şekil 3.11) yeraltı suyu akım yönünün Sarısu Deresi'ne doğru olduğu görülmektedir. Mayıs 2012'de Sarısu Deresi'nin akifer sistemi beslediği görülmektedir. Derenin kuzeybatısında yer altı su seviyesi ile ilgili herhangi bir veri bulunmamaktadır.



Şekil 3.11 Kandilli'den geçen A-A' hidrojeolojik enine kesitleri

Sığ akifer sistem sadece alüvyondan ibaret değildir. Alüvyonun üzerine oturduğu Porsuk Formasyonu'nun çakıltası ve kumtaşı seviyeleri, ovanın batı-orta kesiminde 5590, 41001 ve 41002 no'lu sondaj kuyularında da kesildiği gibi alüvyonla birlikte sığ

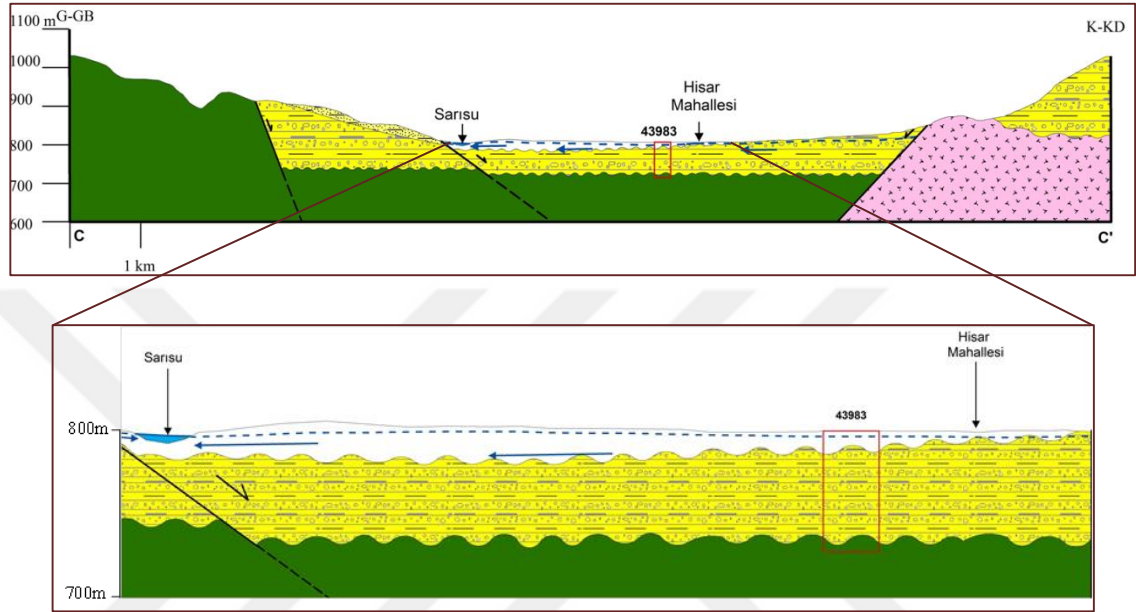
akifer sistemi oluşturmaktadır (Şekil 3.12). Porsuk Formasyonunun çakıltası ve kumtaşı birimlerinin altında geçirimsiz killi-siltli birimler yer almaktadır. Bunlar sığ akiferin geçirimsiz tabanını oluşturmaktadır. Bu durum ovanın her noktasında aynı değildir. Alüvyonun yanal olarak dokanak halinde bulunduğu Miyosen kireçtaşları da aynı sistem içinde yer almaktadır. Sistem, ovanın batı-orta kısmında açılmış Yurtbay (120 m) ve Kabadağ (13 m) kuyularından Mayıs (2012) dönemi yeraltı su seviye ölçümleriyle yeraltı suyu akımının G-GB'ya doğru olduğu görülmektedir (Şekil 3.12).



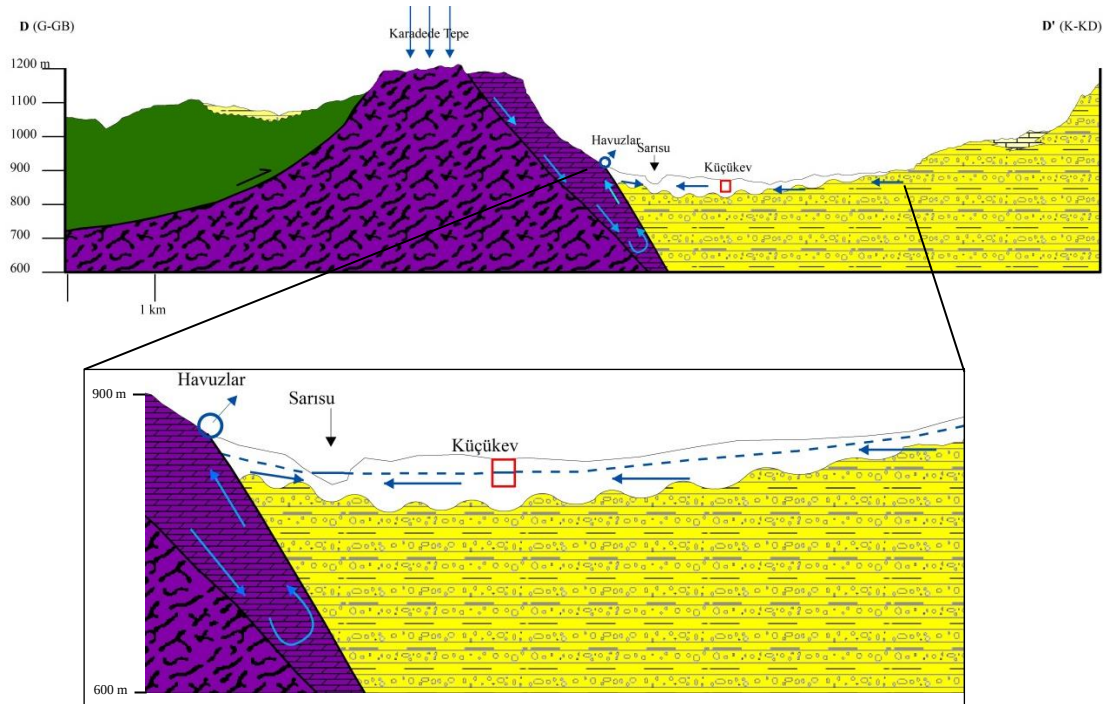
Şekil 3.12 Yurtbay'dan geçen B-B' hidrojeolojik enine kesiti

Ovanın doğusunda açılan 43983 numaralı DSİ kuyusunda alüvyon ve Porsuk Formasyonu tamamen geçilmiş ve temel birime kadar inilmiştir. 1964 yılında araştırma amaçlı açılmış olan bu kuyunun derinliği 94 m olup, kesilen alüvyon ve Porsuk Formasyonu'nun toplam kalınlığı 79 m'dir. Açılan kuyunun logları incelendiğinde alüvyonlardan ve Porsuk Formasyonu'nun konglomeratik seviyelerinden su alındığı görülmektedir. Bölgenin yüzey-yas ilişkisi ve yas akım yönü şekil 3.13'te verilmiştir. Ovanın orta kesiminde İnönü yerleşim merkezinde çalışma alanındaki tek sıcak su kaynağı olan havuzlar kaynağı yer almaktadır. Havuzlar kaynağı bir fay kaynağı olup, mermerlerden beslenmekte ve mermerlerle Porsuk Formasyonu dokanağındaki faydan

çıkılmaktadır. Kaynak noktasında tez kapsamında Ağustos (2013)'ta yapılan ölçümlerde sıcaklığı 24,5°C, debisi ise 120 l/s olarak ölçülmüştür. Ovanın batı kesiminde olduğu gibi bu alanda da sıg akifer niteliği taşıyan alüvyonlarda hidrojeolojik kesit hazırlanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.13 Çalışma alanından alınan C-C' hidrojeolojik enine kesitleri



Şekil 3.14 Çalışma alanından alınan D-D' hidrojeolojik enine kesitleri

Tüm bu jeolojik ve hidrojeolojik veriler değerlendirildiğinde ovadaki akifer sistemini alüvyonlar ve Porsuk formasyonunun geçirimli seviyeleri oluşturmaktadır. Alüvyon kalınlığı ovanın batısında (Hisar Mahallesi dolayında) azalmaktadır. Alüvyon kalınlığı 39472 no'lu kuyuda 7 m, en kalın olduğu ovanın doğusunda ise 43987 no'lu DSİ kuyusunda 38 m olarak kesilmiştir. Porsuk formasyonu ise en kalın ovanın ortasında açılan 5589 no'lu kuyuda 232 m, en ince ise ovanın doğusunda 43987 no'lu kuyuda 12 m olarak kesilmiştir.

3.2.2 Yarı Geçirimli Birimler

Ova içerisinde Zincirlikuyu, Turgutlar ve Satılmışoğlu yerleşim yerleri arasında 23 km²'lik bir alanda yayılım sunan ve taban seviyelerinde kısmen iri çakıllarla başlayıp üst seviyelere doğru yer yer çapraz tabakalı çakıl, kil, kum ve çamur ardalanmalı olarak gözlenen Akçakaya formasyonu DSİ logları ve birimlerin litolojik özellikleri göz önünde bulundurularak yarı geçirimli olarak değerlendirilmiştir (EK 2-3).

Porsuk formasyonu tabandan tavana doğru konglomera ve kumtaşı ile başlayıp, marn-kil, kireçtaşları ile son bulmaktadır. Formasyonun alüvyon tabanında kesilen bölümü tamamen çakıltası ve kumtaşından oluşmaktadır (DSİ kuyusu: 43986). Alüvyon tabanındaki çakıltası ve kumtaşları alüvyonla birlikte sıkı akifer sistemi temsil etmektedir. Ancak, Porsuk Formasyonunun, 40,3 km²'lik alanda tamamen marn-kil ve killi-kireçtaşlarından oluştuğu görülmüştür. Bu nedenle formasyonun alüvyon tabanında yer almayan marn-kil seviyeleri geçirimsiz, kireçtaşları ise bol kırıklı/çatlaklı olmasından dolayı kısmen geçirimli olduğundan, bunlar yarı geçirimli olarak tanımlanmıştır. Porsuk formasyonunun çakıltası-kumtaşı seviyelerinden yeraltı suyu alınabildiği görülmüştür. Dolayısıyla Porsuk Formasyonu, alüvyon altında kumtaşı-çakıltası olan kısımlarında serbest akifer olarak nitelendirilebilmektedir. Fakat formasyonun kil-marn olan kısımlarında ise formasyon basınçlı akifer özelliği kazanmaktadır.

Ova içerisinde yarı geçirimli olarak değerlendirilen ofiyolitik melanj çalışma alanının güney sınırı boyunca 23,4 km²'lik bir alanda yüzeylemektedir (EK 2-3). Ofiyolitler

içerisinde, yeraltı suyu küçük debili kaynaklarla boşalım şeklindedir. Ofiyolitik melanj içinde yer alan kireçtaşı blokları, üzerlerinde açılan kuyulara kısmen yeraltı suyu vermektedir. Ancak, formasyon ölçeğinde bakıldığında bu kireçtaşlarının diğer formasyonlarla etkileşim halinde olmadıkları, sürekliliğinin bulunmadığı anlaşılmaktadır.

3.2.3 Geçirimsiz Birimler

İnceleme alanı kuzeyinde 18,4 km²'lik alanda, metadetritikler ve bunların içerisinde ileri derecede rekristalize blok kireçtaşlarıyla temsil edilen Karkın formasyonu geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir (EK 2-3). Formasyon içerisinde bloklar şeklinde gözlenen rekristalize kireçtaşları her ne kadar yarı geçirimli olarak değerlendirilebilse de, kırıntılı çökellerin metamorfizması ve ayrışması sonucu oluşan killi seviyeler birimi geçirimsiz kılmaktadır. Formasyonun alanda herhangi bir şekilde su verimi bulunmamaktadır.

Çalışma alanının en yaşlı birimlerinden biri olan glokofan şistler de ovanın diğer geçirimsiz birimini oluşturmaktadır. 14,4 km²'lik bir alanda yüzeylenen birimde ileri derecede yapraklanma gelişmiş olup, bu yapraklanmalar mika ve serizit minerali pulcuklarıyla daha belirgin hale gelmiştir. Birimde kaynak boşalım ve yeraltı suyu çeken kuyu bulunmaması birimin geçirimsiz olarak değerlendirilmesine yol açmıştır.

Kandilli'nin kuzeydoğusunda 152 m derinliğinde açılan 5590 no'lu kuyuda Porsuk formasyonu litolojik özelliklerine bakıldığında birim 10. metreden itibaren 50. metreye kadar az miktarda kum içeren yer yer siltli grimsi-yeşil renkli kil seviyesi içermektedir. Kuyuda 114. metreye kadar değişken olmakla birlikte hakim litolojiyi mavimsi gri renkli bol siltli killi kum ve kil çimentolu kumtaşı seviyeleri oluşturmaktadır. Kuyuda 114 ile 150. m'ler arasında ince taneli konglomera yer almakta olup, 150. metreden sonra şistler gözlenmektedir. Birim içerisinde yer yer gözlenen bu kil seviyeleri Porsuk formasyonu içerisinde yersel basınçlı akifer oluşumunu sağlamaktadır (Ek 2a, 2b).

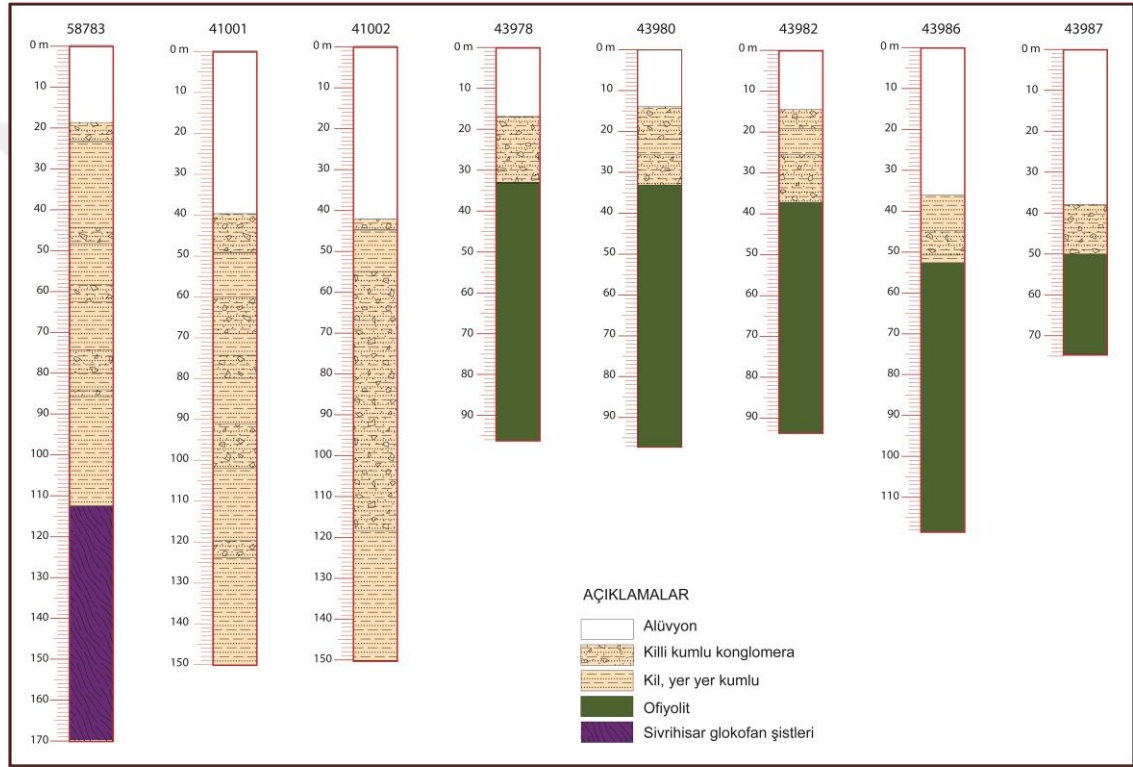
İnönü-Oklubalı yerleşim yerleri arasında kalınlıkları maksimum seviyeye ulaşan Porsuk formasyonu, bu alanda açılan 41001 ve 41002 no'lu kuyularda alüvyon altında 35-42. metrelerde koyu gri renkli killere başlayıp, yine yer yer kumlu çakıllı killere devam etmekte ve 150. metrede gri-boz renkli killere son bulmaktadır. 150 m kalınlıkta kat edilen birimin taban seviyesine bu kuyuda ulaşamamıştır. Porsuk formasyonu bu bölgede alüvyonun geçirimsiz tabanını oluşturmaktadır.

Ovanın batısından doğusuna doğru gidildikçe Porsuk Formasyonu'nun ortalama kalınlığı azalarak 20-30 m'ye düşmektedir. Çukurhisar'a doğru açılan 43978, 43980, 43982 no'lu kuyularda 17-21. metrelerde 3-5 m kalınlıkta kil seviyesi ile başlayan birim yer yer karbonat çimentolu kum-çakıl seviyeleri içerse de genel olarak killi birimlerle temsil edilmektedir. Bu nedenle ovanın bu bölümündeki alüvyonun geçirimsizliğinin diğer bölümlere göre azaldığı söylenebilir.

Kil, marn, killi kumtaşı ve ince taneli konglomera-çakıltası gibi birbirleriyle yanaldüşey geçişlerinin gözlemlendiği Porsuk Formasyonu'nda geçirimsizliğin kısmen yüksek olduğu kumlu ve çakıllı seviyeler su veren seviyeleri oluşturmaktadır. Bu seviyeler geçirimsiz birimler arasında kaldığı yerlerde yer yer basınçlı akifer özelliği sunmaktadırlar.

DSİ tarafından açılan sondaj kuyularının logları incelendiğinde ovanın batısında yer alan Kandilli'deki 58783 no'lu kuyuda, ovada çökelen Neojen birimlerin geçirimsiz şistler üzerinde yer aldığı görülmektedir. Aynı şekilde ovanın orta ve doğu kesimlerine doğru Çukurhisar-Satılmışoğlu yerleşim yerleri arasında açılan 43978, 43980, 43982, 43986 ve 43987 no'lu kuyularda ise Porsuk formasyonunun ofiyolitler üzerinde yer aldığı görülmüştür (Şekil 3.15). Sonuç olarak ovanın batı kesiminde Porsuk formasyonu altında geçirimsiz temeli şistler oluştururken, ovanın doğusunda ise ofiyolitler oluşturmaktadır. Çalışma alanında açılan kuyulara ait loglar incelendiğinde Porsuk Formasyonu'nun çakıltası ve kumtaşı seviyelerinin akifer sistemin içinde yer aldığı görülmektedir. Bu alanlarda Porsuk Formasyonu'nun kumtaşı seviyeleri geçirimsiz temeli oluşturmaktadır.

İnönü Ovası'nda akiferi oluşturan alüvyonların iletkenlik katsayıları DSİ (1975) tarafından Turgutlar'da açılan 5586 no'lu kuyudan hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama göre alüvyonların ortalama iletkenlik katsayısı $300 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$, kireçtaşlarının iletkenlik katsayısı $60 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$ ve Porsuk Formasyonu'na ait konglomeraların da iletkenlik katsayısının $5-70 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$ arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 3.2). İnceleme alanında DSİ tarafından hesaplanan bu değerler bölgedeki birimlerin geçirimsizliğine göre yaptığımız gruplandırmaya uymaktadır.



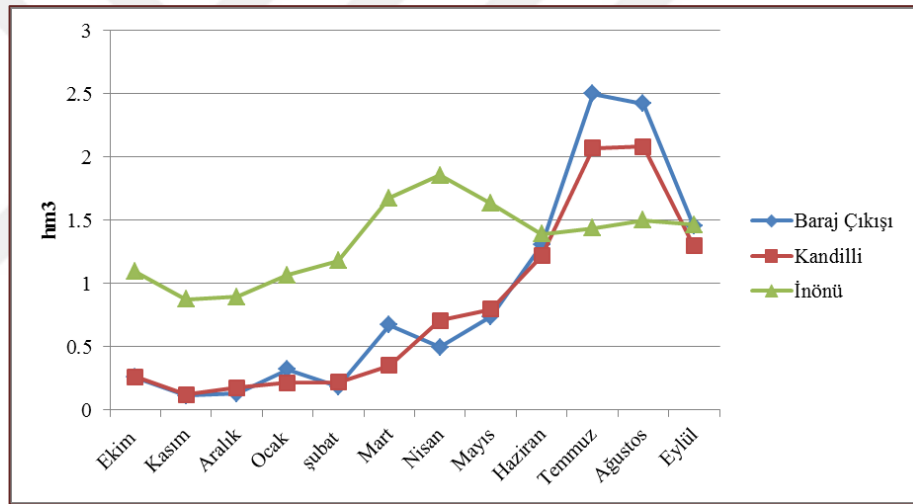
Şekil 3.15 İnönü ovasında batıdan doğuya doğru Kandilli-Oklubalı-Çukurhisar ve Satılmışoğlu yerleşim yerleri arasında açılan DSİ sondaj kuyu logları (Anonim, 1975)

3.3 Yeraltı Suyu Seviye Değişimi ve Yüzey-Yeraltı Suyu İlişkisi

Yağışlı ve kurak dönem için hazırlanan eş su seviye haritalarına ve bölgedeki hidrojeolojik çalışmalara göre ovanın batısında yüzeysel suların yer altı sularını besler nitelikte oldukları gözlenirken, ovanın orta kısmında yüzey suyu ve yeraltı suyu arasında herhangi bir ilişki olmadığı görülmektedir. Ovanın doğusuna doğru ise ovadaki

akiferin akarsuyu beslediği ortaya çıkmaktadır (EK 2-3). Eş su seviye haritalarında gözlenen bu değişimin sebebinin, ovanın yaklaşık 10 km güneybatısında yer alan Dodurga Barajı'ndan dönemsel olarak ovaya bırakılan sulardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Dodurga Barajı'ndan mevsimsel bırakılan su nedeniyle ovanın batı kısmında akarsu akiferi beslemektedir (EK 2-3).

Sarısu Deresi üzerinde, daha önce şekil 3.5-3.7'de verilen Dodurga Baraj Çıkışı, İnönü merkez ve Kandilli'de bulunan DSİ'ye ait limnigrafların aylık ölçümleri dikkate alındığında, Dodurga Barajı çıkışında ve ovanın giriş noktasında bulunan Kandilli'deki limnigrafa ait debi değerlerinin Temmuz ve Ağustos ayında yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Çalışma alanında bulunan 3 adet limnigrafa ait akım değerleri grafiği

Bölgedeki limnigraflara ait akım değerlerini gösteren grafik incelendiğinde İnönü merkezde diğer iki noktada ölçülen debi değerlerinden düşük değerlere sahip olduğu ve maksimum debi değerinin Nisan ayında ölçüldüğü görülmektedir. Bu artışların nedeni Dodurga Barajı'ndan sulama amaçlı su bırakılması ve İnönü merkezde bulunan 120 l/s debili Havuzlar sıcak su kaynağının Sarısu Deresi'ne boşalımıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

3.4 Hidrometeoroloji

3.4.1 Yağış

Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelerde, çalışma alanı ve çevresinde bulunan 4 adet meteoroloji istasyonuna ait veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Bu 4 adet istasyon ve konumları Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



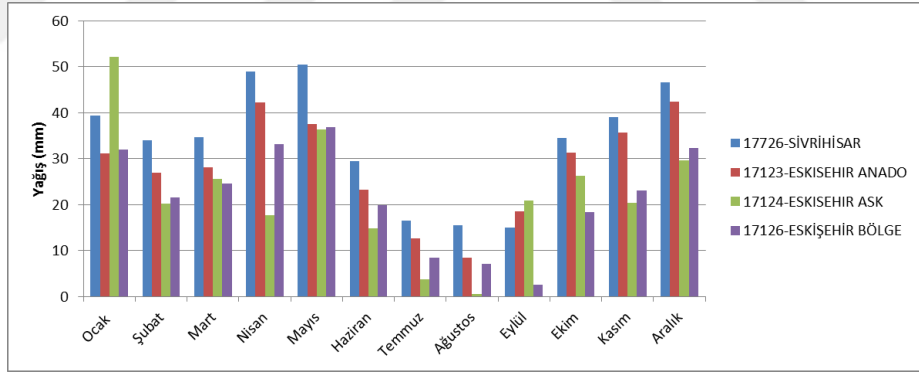
Şekil 3.17 Çalışma alanı çevresinde bulunan meteoroloji istasyonları

İlgili meteoroloji gözlem istasyonlarından (MGİ) alınan yağış verileri çizelge 3.5'te verilmiştir. Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonu olan Eskişehir Anadolu Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nda 1975-2010 yılları arasında ölçülen aylık ortalama yağışlardan elde edilen yıllık toplam yağış miktarı 338.2 mm'dir. İstasyonlara ait en uzun ortak periyot 1990-2010 yılları arası dönemi kapsamaktadır. Yapılan değerlendirmede, istasyonların ortak dönem verilerinin yetersiz olması nedeniyle uzun yıllar ortalamasına ait veriler kullanılmıştır.

Çizelge 3.5 Çalışma alanı ve çevresinde bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen ortalama aylık yağış verileri

		Bozüyük (1975-2010)	Eskişehir Anadolu (1990-2010)	Eskişehir Askeriye (1978-1981)	Eskişehir Bölge (1975-2010)
	Yükseklik (m)	754	801	786	802
Yağış (mm/ay)	Ocak	54,2	31,2	52,2	31,9
	Şubat	46,1	26,9	20,2	21,6
	Mart	48	28,1	25,6	24,5
	Nisan	46,3	42,2	17,6	33,2
	Mayıs	49,4	37,5	36,4	36,8
	Haziran	34	23,3	14,8	19,9
	Temmuz	18,7	12,7	3,7	8,4
	Ağustos	10,3	8,5	0,5	7,1
	Eylül	20	18,5	20,8	2,5
	Ekim	45	31,3	26,3	18,4
	Kasım	47,1	35,6	20,3	23
	Aralık	61,2	42,4	29,6	32,3
	Toplam	480,3	338,2	268	259,6

Çalışma alanında yağışlar genellikle kış ve bahar aylarında artmaktadır. 4 MGİ verileri içerisinde en düşük yağış değerleri Ağustos ve Eylül aylarında gözlenmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Çalışma alanı çevresinde bulunan en yakın 4 Meteoroloji Gözlem İstasyonu kayıtlarına göre uzun yıllar ortalaması aylık yağışların dağılımı

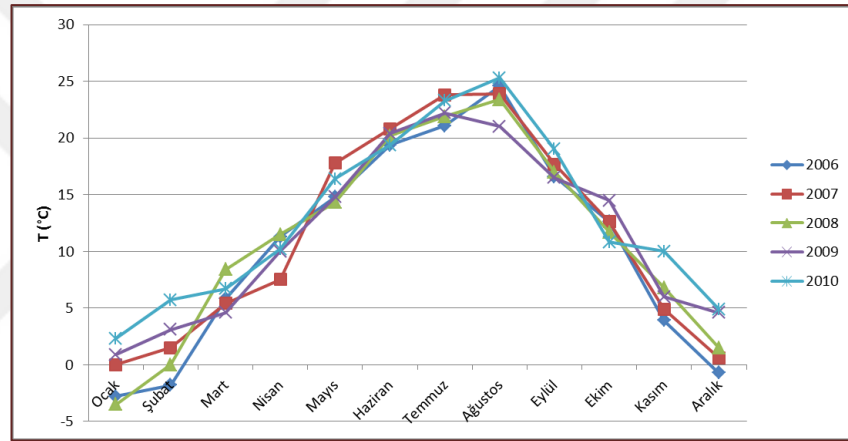
3.4.2 Sıcaklık

Çalışma alanına en yakın Meteoroloji Gözlem İstasyonu olan ve uzun süreli sıcaklık ölçümü yapılan Eskişehir Anadolu MGİ’nde kaydedilen son 5 yıla ait sıcaklık verileri çizelge 3.6’da gösterilmiştir. Sıcaklık en yüksek yaz (Ağustos) aylarında 25.3 °C’ye ulaşırken, en düşük kış aylarında (Ocak) -3.5 °C’ye düşmektedir (Şekil 3.19). Uzun

yıllar ortalaması ise (1990-2010 yılları arası) en yüksek 22°C ile Temmuz’da ölçülürken en düşük -0.2 °C ile Ocak ayında ölçülmüştür.

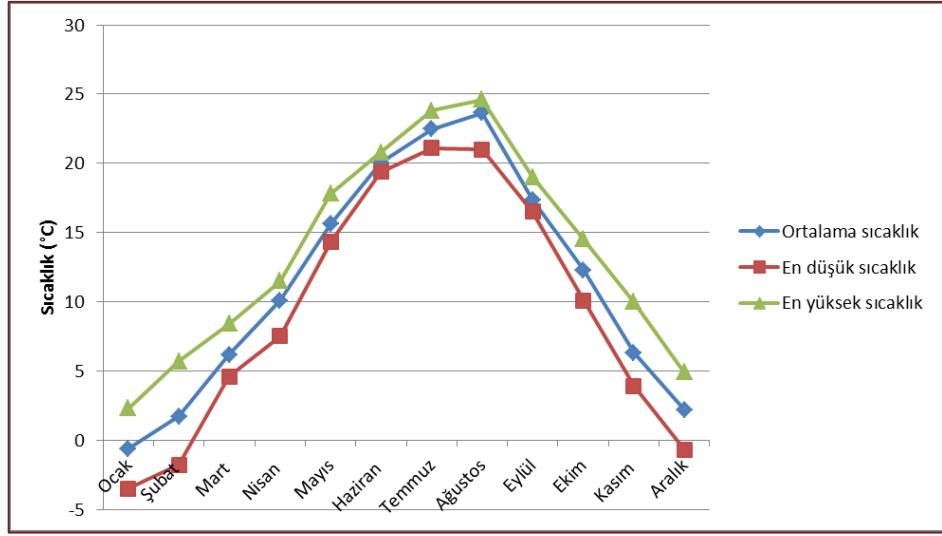
Çizelge 3.6 Çalışma alanı çevresinde bulunan Eskişehir Anadolu Meteoroloji Gözlem İstasyonu’nda son 5 yılda ölçülen sıcaklık (°C) değerleri

YIL/AY	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
2006	-2.8	-1.8	5.8	11.3	14.8	19.4	21.1	24.6	16.6	12.6	3.9	-0.7
2007	0	1.5	5.4	7.5	17.8	20.8	23.8	23.9	17.7	12.6	4.9	0.6
2008	-3.5	0	8.4	11.5	14.3	20.2	21.9	23.4	17	11.7	6.8	1.5
2009	0.9	3.1	4.6	10	14.8	20.4	22.2	21	16.5	14.5	6	4.6
2010	2.3	5.7	6.7	10.2	16.4	19.4	23.3	25.3	19	10.8	10	4.9



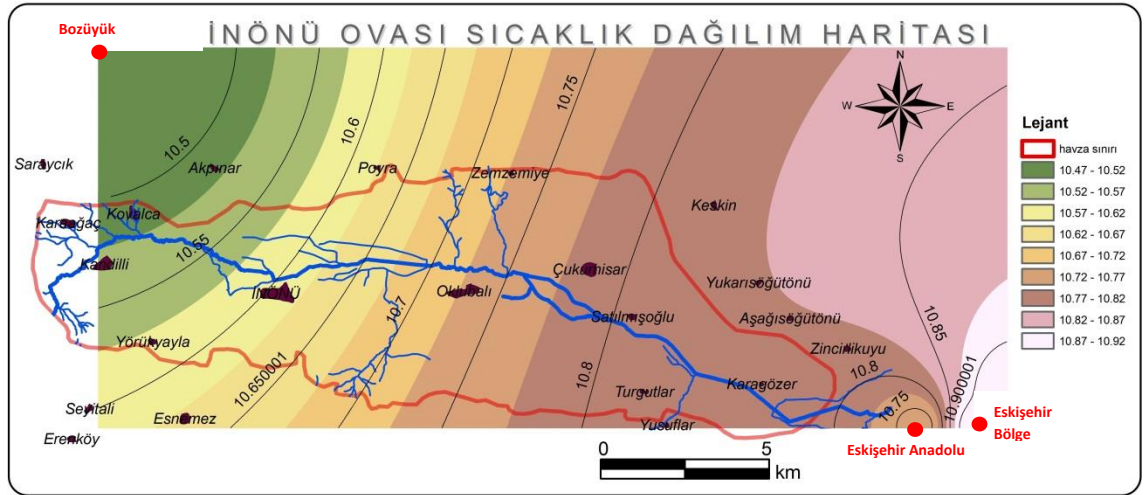
Şekil 3.19 Eskişehir Anadolu Meteoroloji İstasyonu’nda ölçülen 2006-2010 yılları arası aylık ortalama sıcaklık grafiği

Çalışma alanına en yakın istasyon olan Eskişehir Anadolu İstasyonu’nda ölçülen 2006-2010 yılları arası en düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklık verileri kullanılarak oluşturulan grafik şekil 3.20’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde en düşük sıcaklık Ocak ayında -4°C civarında iken, en yüksek ortalama sıcaklık değeri Ağustos ayında 24.8°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.20 DMİ Eskişehir Anadolu İstasyonu'na ait son 5 yılın en düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklık değerleri

Çalışma alanı çevresinde bulunan 4 adet meteoroloji istasyonunda ölçülen sıcaklık değerlerinin Arc MAP programı kullanılarak çizilen sıcaklık dağılım haritası şekil 3.21'de verilmiştir. Sıcaklık, yağışın tersine ovanın batısında, yüksek kotlarda düşük iken, doğusundaki düşük kotlarda biraz daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.21 İnönü Ovası sıcaklık (°C) dağılım haritası

Çalışma alanında potansiyel buharlaşma değerinin hesaplanması amacı ile kullanılan ortalama sıcaklık değerlerinin, çalışma alanını temsil ettiği varsayılmıştır.

3.4.3 Buharlaşma

Çalışma alanı içerisinde buharlaşma ölçümü yapan herhangi bir istasyon bulunmaması nedeni ile çalışma alanına en yakın istasyon olan Eskişehir Anadolu MGİ tarafından ölçülen buharlaşma değerleri analiz edilmiştir. Eskişehir Anadolu İstasyonu'nda 2010 yılında ölçülen ortalama buharlaşma değerleri çizelge 3.7'de verilmiştir. Yılın sadece 8 ayında buharlaşma değeri ölçülmüştür.

Çizelge 3.7 Eskişehir Anadolu İstasyonu'nda ölçülmüş olan 1990-2010 yılları arası ortalama yüzey buharlaşma değerleri (DMİ)

	Ortalama yüzey buharlaşması (mm)
Ocak	-
Şubat	-
Mart	-
Nisan	62.0
Mayıs	188.5
Haziran	233.2
Temmuz	300.7
Ağustos	290.4
Eylül	217.1
Ekim	109.7
Kasım	5.3
Aralık	-

3.4.4 Buharlaşma ve Terleme

Yeraltı suyu potansiyelinin hesaplanmasına yönelik olarak yapılan bütçe hesaplamalarında önemli bileşenlerden bir tanesi de buharlaşma-terleme'dir. Buharlaşma-terlemenin hesaplanması için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın olanları ise Thornthwaite ve Penman eşitlikleridir. Bir alana ait yağış ve sıcaklık verilerinden yararlanılarak Thornthwaite ve Penman eşitlikleri kullanılarak, gerçek buharlaşma-terleme miktarı hesaplanabilmektedir.

Çalışma alanı için Thornthwaite ve Penman yöntemlerinden yararlanılarak buharlaşma-terleme ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Thornthwaite Yöntemi;

Çalışma alanına ait yıllık potansiyel buharlaşma-terleme (ETp) değeri, sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak hesaplanan Thornthwaite eşitliği ile hesaplanmıştır.

Çalışma alanına en yakın istasyon olan Eskişehir Anadolu istasyonu 2010 yılı verilerinden yararlanılarak Thornthwaite yöntemi kullanılarak bilanço hesabı yapılmış ve bu istasyona ait yağış-buharlaşma grafiği elde edilmiştir. Grafiğin oluşturulmasında kullanılan veriler çizelge 3.8’de verilmiştir. Çizelge oluşturulurken 2009 yılından gelen faydalı su yedeği, ortalama 100 mm olarak alınmıştır. Potansiyel buharlaşma-terleme formülünde kullanılan a değeri;

$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492$ formülü ile hesaplanmıştır. $a = 1,22$ ’dir.

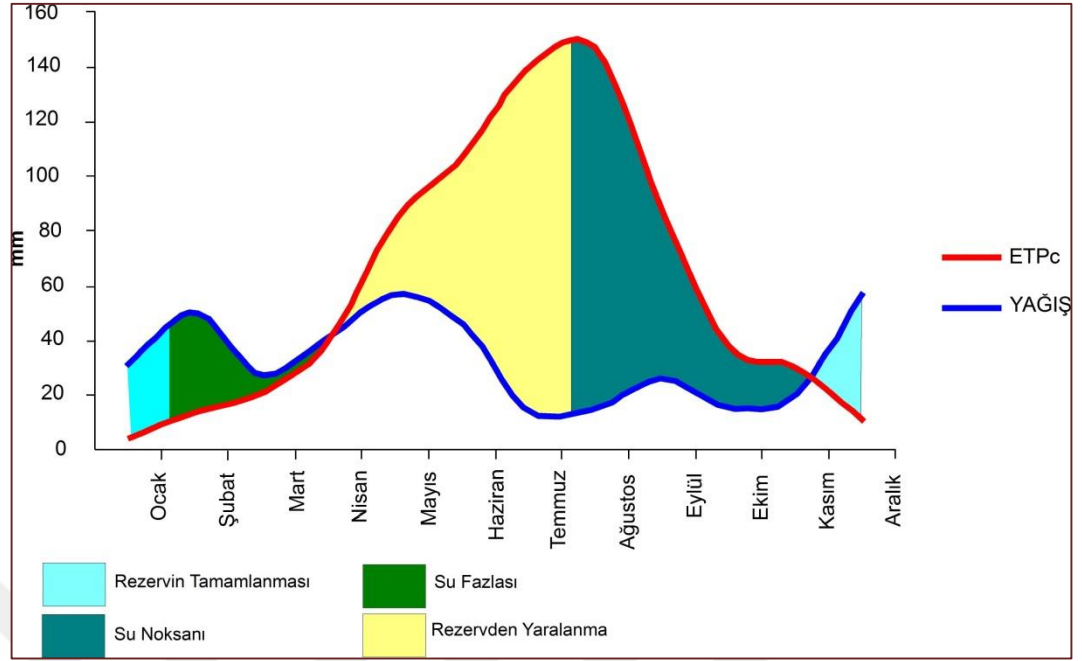
Formüldeki I değeri ise, yıllık toplam sıcaklık indisi olup sıcaklık indisleri;

$i = (t/5)^{1,514}$ formülü ile hesaplanmıştır.

$$I = \sum i$$

Aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarları ise; $Etp = 16(10t/I)^a$ formülü ile hesaplanmıştır.

Thornthwaite göre yapılan çizelgede (Çizelge 3.8) eksik su toplamı 352,46 mm olarak hesaplanmıştır. Fazla su miktarı ise 71,95 mm olarak hesaplanmıştır. Yıllık düzeltilmiş buharlaşma-terleme miktarının toplamı ise 723,89 mm olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.12’deki veriler grafiklendirilerek yağış ve düzeltilmiş potansiyel buharlaşma terlemenin aylık değişim grafiği elde edilmiştir (Şekil 3.22). Hesaplanan Etp-yağış grafiğinde, yağış değerleri Şubat, Mart ve Nisan aylarında buharlaşma-terlemeden daha yüksektir. Bu dönemde yeraltı suyunun yağışlardan beslenebileceğini göstermektedir.



Şekil 3.22 Yağış ve düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terlemenin yıllık değişim grafiği

Sıcaklık değerlerine bağlı olarak hesaplanan potansiyel buharlaşma-terleme miktarı, alandaki suyun varlığına bağlıdır. Bu nedenle gerçek buharlaşma-terleme miktarı hesaplanırken suyun kaynağı olan yağış değeri göz önünde bulundurulmaktadır.

Penman Yöntemi;

Penman Yöntemi'nde kullanılan eşitlik 1948 yılında önerilmiş olup, buharlaşmada etkili olan bütün meteorolojik faktörleri (yağış, sıcaklık, nisbi nem, rüzgar hızı vb...) göz önünde bulundurur ve kuvvetli bir teorik yapıya sahiptir. Bu nedenle pratik uygulamalarda diğer yöntemlere göre tercih edilmektedir. Penman eşitliği aşağıda verilmiştir;

$$ETp = \frac{\left(\frac{\Delta}{\gamma} \times H + Ea\right)}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1\right)}$$

Çizelge 3.8 Eskişehir Anadolu Meteoroloji İstasyonundan alınan 2010 yılına ait veriler kullanılarak Thornthwaite Yöntemi'ne göre hazırlanan nem bilançosu

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
SICAKLIK (°C)	2.3	5.7	6.7	10.2	16.4	19.4	23.3	25.3	19	10.8	10	4.9	
SICAKLIK İNDİSİ (i)	0.3	1.21	1.55	2.94	6.03	7.78	10.27	11.64	7.54	3.2	2.85	0.96	56.27
POT. BUH. TER. (E_{tp})	4.67	16.28	20.33	36.25	69.64	87.74	112.87	126.4	85.26	39.21	35.27	13.22	647.14
ENLEM DÜZ. KAT.	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84	
DÜZELTİLMİŞ BUH. TER. (ETP_c)	4.06	13.84	20.94	39.88	84.26	107.04	139.96	146.62	87.82	38.03	30.33	11.1	723.89
YAĞIŞ (mm)	31.5	50.3	27.7	41.2	45.7	46.6	14.3	1.5	26.2	15.9	20.1	57.1	378.1
REZERV SU	100	100	100	100	61.44	1	0	0	0	0	0	46	
GERÇEK BUH. TER. (E_{tr})	4.06	13.84	20.94	39.88	84.26	107.04	15.3	1.5	26.2	15.9	20.1	11.1	360.12
FAZLA SU	27.44	36.46	6.76	1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	71.95
EKSİK SU	-	-	-	-	-	-	124.66	145.12	61.62	22.13	10.23	-	352.46

ET_p : Buharlaşma miktarı veya potansiyel buharlaşma-terleme (mm/su/gün)

$\frac{\Delta}{\gamma}$: Sıcaklığın buhar basıncı ile psikometrik sabitler arasındaki bağıntı

H : Buharlaşma yüzeyinde kullanılan güneş enerjisi (mm/su/gün) ($H = R_C - R_B$)

R_C : Buharlaşma yüzeyine gelen güneş enerjisi (mm/su/gün)

R_B : Buharlaşma yüzeyinden yansıyan ve çeşitli şekillerde kaybolan güneş enerjisi (mm/su/gün)

$$R_C = (1-r) R_A (0.18 + 0.55n/N)$$

R_A : Aylık ortalama atmosfer üstü güneş radyasyonu (mm/su/gün)

r : Buharlaşma yüzeyi yansıtma katsayısı (Albedo değeri)

n : Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)

N : Astronomik ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)

R_B : $T_a^4 (0.56 - 0.09 \sqrt{e_d}) (0.10 + 0.9 n/N)$

T_a^4 : Boltzman sabiti ve mutlak sıcaklık bileşimi (aylık ortalama sıcaklık ile bulunur)

e_d : Çiğlenme noktasında havanın doymuş buhar basıncı

$$e_d = e_a - R_H$$

e_a : Aylık ortalama sıcaklığın eşiti olan havanın doymuş su buharı basıncı (mm/Hg)

R_H : Havanın aylık ortalama nisbi nemi ($0.56 - 0.09 \sqrt{e_d}$)

E_a : Havanın su buharlaştırma gücü

$$E_a = 0.27 U_2 (e_a - e_d)$$

U_2 : Yüzeyden 23 m yükseklikteki rüzgarın aylık ortalama hızı (m/sn)

Çalışma alanında Penman yöntemi kullanılarak, elde edilen değerler çizelge 3.9’da verilmiştir. çizelge 3.10’da ise Penman yöntemi ile hesaplanan değerler kullanılarak hazırlanan meteorolojik su bilançosu verilmiştir.

Penman Yöntemi ile çalışma alanındaki yıllık gerçek buharlaşma-terleme değeri 397.60 mm olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.9 Penman yöntemi ile hazırlanmış buharlaşma-terleme değerleri

POTANSİYEL BUHARLAŞMA												
Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
SICAKLIK	2,3	5,7	6,7	10,2	16,4	19,4	23,3	25,3	19	10,8	10	4,9
RA(mm.su/gün)	7.1	9.1	11.6	14.2	15.9	16.7	16.3	15.1	12.9	10.4	8	6.6
n(saat/gün)	2.43	3.51	5.20	6.28	8.42	10.14	11.13	10.44	8.42	6.11	4.2	2.16
N(saat/gün)	9.7	10.6	11.8	13.3	14.3	14.98	12.65	14.7	12.4	11.21	10	9.27
Rc: Ra(1-r) 0.18 + 0.55 n/N (mmsu/gün)	1.65	2.47	3.67	4.68	6	6.91	8.11	6.46	5.35	3.74	2.46	1.52
B (Ta ⁴)	11	11.4	11.92	12.9	13.89	14.78	15.25	15.22	14.2	13.22	12.21	11.45
Rh	0.79	0.75	0.67	0.65	0.63	0.59	0.55	0.55	0.61	0.69	0.76	0.79
Ea (mmHg)	4.5	4.29	6.45	8.96	12.7	16.57	19.82	19.7	14.35	10.38	6.82	5.14
RB: B(0.56-0.92√Ea)	1.41	1.82	2.2	2.28	2.58	2.79	3.48	2.92	2.88	2.49	2.05	1.34
U ₁ (m/sn)	3	3.2	3.5	3.2	3.1	3.3	3.7	3.4	2.8	2.4	2.6	3.1
U ₂ (m/sn)	1.7	1.9	2.2	1.9	1.8	2	2.4	2.1	1.5	1.1	1.3	1.8
Ea (0.27.U ₂)(ea-ed)	0.44	0.55	1.26	1.6	2.26	3.67	5.7	4.96	2.24	0.93	0.57	0.52
ed	3.55	3.21	4.32	5.82	8	9.77	10.90	10.83	8.75	7.16	5.18	4.06
0.56-0.092√ed	0.39	0.4	0.37	0.34	0.3	0.27	0.26	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38
n/N	0.25	0.33	0.44	0.47	0.58	0.67	0.87	0.71	0.67	0.54	0.42	0.23
0.1-0.9n/N	0.33	0.4	0.5	0.52	0.62	0.7	0.88	0.74	0.7	0.59	0.48	0.31
H(R _c -R _B)	0.24	0.65	1.47	2.4	3.42	4.12	4.63	3.54	2.47	1.25	0.41	0.18
0.27.U ₂	0.46	0.51	0.59	0.51	0.48	0.54	0.64	0.56	0.4	0.29	0.35	0.48
ea-ed	0.95	1.08	2.13	3.14	4.7	6.8	8.92	8.87	5.6	3.22	1.64	1.08
Δ/γ	0.7	0.78	0.92	1.25	1.7	2.17	2.49	2.47	1.88	1.42	0.98	0.81
1+ Δ/γ	1.7	1.78	1.92	2.25	2.7	3.17	3.49	3.47	2.88	2.42	1.98	1.81
(Δ/γ)H+Ea	0.6	1.05	2.61	4.6	8.07	12.61	17.22	13.7	6.88	2.7	0.97	0.66
E(mm.su/gün) [(Δ/γ)H+Ea]/[1+ Δ/γ]	0.35	0.59	1.36	2.04	2.98	3.97	4.93	3.94	2.38	1.11	0.49	0.36
Ep(mm.su/ay)	10.5	17.7	40.8	61.2	89.4	119.1	147.9	118.2	71.4	33.3	14.7	10.8
Ep (mm.su/yıl)	735											

Çizelge 3.10 Penman yöntemi ile hazırlanmış meteorolojik su bilançosu (Eskişehir Anadolu MGI verileri)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Sıcaklık	2,3	5,7	6,7	10,2	16,4	19,4	23,3	25,3	19	10,8	10	4,9	
Pot, Buharlaşma (Ep)(mm)	10.50	17.70	40.80	61.20	89.40	119.10	147.90	118.20	71.40	33.30	14.70	10.80	735.00
Yağış (P)(mm)	31.50	50.30	27.70	41.20	45.7	46.60	14.30	1.5	26.20	15.90	20.10	57.10	378.10
Rezerv Su	100	100	86.90	66.90	23.20	0	0	0	0	0	5.40	51.70	434.10
Gerçek Buharlaşma (mm)	10.50	17.70	40.80	61.20	89.40	69.80	14.30	1.5	26.20	15.90	14.70	10.80	372.80
Eksik su	0	0	0	0	0	49.3	133.60	116.70	45.20	17.40	0	0	362.20
Fazla su	21	14.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.90

Thornthwaite ve Penman yöntemleri ile gerçek buharlaşma-terleme değerleri hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında, Bölüm 8'deki net beslenme parametresi hesaplamalarında Thornthwaite Yöntemi ile bulunan yağış ve gerçek buharlaşma-terleme değerleri kullanılmıştır.

3.5 Yeraltı Suyu Bütçesi

Bir yeraltı suyu sisteminde akifere giren ve çıkan su miktarı doğru bir şekilde saptanabilirse, yeraltı suyu potansiyeli de hesaplanabilecektir. Beslenmenin saptanması için ilk önce yapılması gereken en uygun yaklaşımı seçmektir. Bu konuda bütçe yaklaşımı, izotop hidrolojisi, su tablası değişimi gibi değişik yaklaşımlar bulunmaktadır. Çalışma alanında önceden yapılmış çalışmalar ve tez kapsamında elde edilebilen veriler değerlendirildiğinde İnönü Ovası beslenme miktarının hesaplanması için en uygun yaklaşımının bütçe yaklaşımı olacağına karar verilmiştir. Bütçe yaklaşımın temeli kütlenin korunumu ilkesine dayanmaktadır. Korunum ilkesi basit bir ifadeyle;

Akifere Giren Su= Akiferden Çıkan Su $\pm$ Depolamadaki Değişim şeklindedir.

İnönü Ovası sığ akiferi yeraltı suyu bütçesinin hesaplanabilmesi için ilgili bileşenler tek tek incelenerek değerler elde edilmiştir.

İnönü Ovası'nda sığ akifere su girişi;

-Ovaya düşen yağıştan süzülme,

-Ovada yayılan geçirimsiz birimler üzerinde gelişen yüzeysel akışın ovadaki yüksek geçirimli birimlerden süzülmesi,

-Ovada yayılan geçirimli, yarı-geçirimli birimlerden süzülme ve

-Sarısu Deresi'nden akifere süzülme ile sağlanmaktadır.

İnönü Ovası sığ akiferinden çıkan su miktarını ise;

- akiferin doygunluk seviyesine ulaşmadan, buharlaşma-terleme (ET) sonucu yeraltı suyundan oluşan kayıplar,

- ovadaki kuyulardan çekim ve kaynaklardan boşalım ile ve

- ovayı baştan sona kateden Sarısu Deresi ile gerçekleşmektedir.

İnönü Ovası sığ akiferinin yeraltı suyu bütçesi bu bileşenlerin hesaplanması ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda belirlenen depolamadaki değişim ise akiferdeki yeraltı suyu rezervindeki değişime karşılık gelmektedir.

***Beslenim;**

Ovaya giren su miktarını hesaplarken; $Be = A \times EY \times SO$ yani Beslenme= Alan $\times$ Etkin Yağış $\times$ Süzülme Oranı eşitliği kullanılmıştır.

Çalışma alanının drenajını tamamen Sarısu Deresi sağlanmaktadır. Sarısu Deresi, aktığı hat boyunca alüvyon birim üzerinde yer almaktadır. Ovada akifer sistem alüvyonlardan ve ovanın batısında yer alan kireçtaşı ve mermerlerden süzülme ile beslenmektedir. Bu nedenle yeraltı suyu bütçesi hazırlanırken alüvyonlarla beraber yüksek kotlarda yüzeylenen mermerler üzerine düşen yağış miktarı ayrıca hesaplanmış ve ova bütçesine dahil edilmiştir. Bütçe hesaplamalarında, alan hesaplamaları Arc-GIS programından yararlanılarak yapılmıştır. Su fazlası değeri ise, Penman yöntemi ile hesaplanan 71.30 mm olarak kullanılmıştır. Bölgede yer alan formasyonlar üzerinde akım gözlem istasyonu bulunmadığından, bütçe hesaplamaları birim bazında ele alınmıştır. hesaplamalar sırasında kullanılan süzülme katsayıları, çalışma alanında ölçüm imkanı bulunamadığından teorik bilgilerden yararlanılarak kabul yapılmıştır (Canik, yayınlanmamış ders notları). Çalışma alanının yüksekliği 850 m ile 1300 m arasında değişmektedir.

Drenaj alanında akiferi besleyen mermerlerin yüzey alanı: $16 \text{ km}^2 = 16 \times 10^6 \text{ m}^2$

Fazla su: $71.3 \text{ mm} = 71.3 \times 10^{-3} \text{ m}$

Süzülme Katsayısı: 0.43

Mermerlerde toplam beslenim: $16 \times 10^6 \times 71.3 \times 10^{-3} \times 0,43 = \underline{\underline{0.49 \times 10^6 \text{ m}^3}}$

Drenaj alanındaki alüvyonların alanı = $104,06 \text{ km}^2 = 104,0635 \times 10^6 \text{ m}^2$

Süzülme katsayısı = 0,40

Fazla su = $71.3 \text{ mm} = 71.3 \times 10^{-3} \text{ m}$

Alüvyonlarda toplam beslenim: $104,06 \times 10^6 \times 71.3 \times 10^{-3} \times 0,40 = \underline{\underline{2.96 \times 10^6 \text{ m}^3}}$

Drenaj alanında akiferi besleyen kireçtaşlarının yüzey alanı = $1.09 \times 10^{-3} \text{ km}^2 = 1.09 \times 10^6 \text{ m}^2$

Süzülme katsayısı = 0,50

Fazla su = $71.3 \text{ mm} = 71.3 \times 10^{-3} \text{ m}$

Kireçtaşlarında toplam beslenim: $= 1.09 \times 10^6 \times 71.3 \times 10^{-3} \times 0,50 = \underline{\underline{0.038 \times 10^6 \text{ m}^3}}$

Çalışma alanındaki Porsuk formasyonu tabandan tavana doğru konglomera ve kumtaşı ile başlayıp, marn-kil ve kireçtaşları ile son bulmaktadır. Bu nedenle Porsuk Formasyonu, konglomera, kireçtaşı ve kumtaşı birimleri ile yarı geçirimli olarak kabul edilirken, formasyon içerisindeki marn-kil birimleri ise geçirimsiz olarak hesaplamalara katılmıştır. Porsuk Formasyonu içerisindeki geçirimsiz marn-kil biriminin toplam alanı 0.0018 km^2 'dir. Konglomera biriminin toplam alanı ise 0.0052 km^2 olarak hesaplanmıştır. Geçirimsiz ve düşük geçirimli seviyelerde süzülme katsayısı 0.01 (%1) kabulü yapılarak Porsuk Formasyonu marn-killerinde toplam beslenim;

Marn-killerde toplam beslenim: $0.0018 \times 10^6 \times 71.3 \times 10^{-3} \times 0,01 = \underline{\underline{1.28 \text{ m}^3}}$ olarak hesaplanmıştır.

Porsuk Formasyonu içerisindeki konglomeratik seviyeler için süzülme katsayısı 0,20 kabulü yapılarak konglomeralarda toplam beslenim;

Konglomeralarda toplam beslenim: $0.0052 \times 10^6 \times 71.3 \times 10^{-3} \times 0,20 = \underline{\underline{74.15 \text{ m}^3}}$ olarak hesaplanmıştır.

Geçirimli birimler için toplam beslenim değeri alüvyonlar, mermerler ve kireçtaşlarından süzülen suların toplamı olarak bulunur. Toplam beslenim;

$$0.49 \times 10^6 + 2.96 \times 10^6 + 0.038 \times 10^6 = \underline{\underline{3.488 \times 10^6 \text{ m}^3}}$$

Yarı geçirimli birimlerin toplam beslenim değeri ise konglomeraların hesaplanan beslenim miktarı olan 74.15 m^3 'tür.

Geçirimsiz (düşük geçirimli) birimlerin toplam beslenme miktarı ise marn-kil seviyelerinin hesaplanan beslenme miktarı olan **1.28 m³** olarak alınmıştır.

Akarsu ile beslenme; Çalışma alanındaki en büyük akarsu olan Sarısu Deresi, bölgeyi batıdan doğuya katetmektedir. Akarsudan akifere katkının belirlenebilmesi için akarsu Ağustos (2013)'ta ölçülmüş olan debi değerleri kullanılmıştır. Çalışma alanında 4 noktada debi ölçümü gerçekleştirilmiş ve çizelge 3.3'te verilmiş olan değerler ölçülmüştür. Bölgedeki ilk debi ölçüm noktası, batıda yer alan Kandilli Köyü (1.222 m³/s)'dür. İkinci nokta ise İnönü İlçesi (0.159 m³/s), üçüncü nokta Oklubalı Köyü (0.491 m³/s) ve son nokta ise ovanın çıkış noktası (0.314 m³/s) olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının batı kısmında akarsuyun debisi fazla iken son ölçüm noktasında bir azalma söz konusudur. Bu aradaki fark kadar miktarın yeraltı suyuna süzülmediği düşünülebilir. Fakat çalışma alanının orta kısımlarında akarsudan oldukça fazla sulama amaçlı pompajla su çekimi mevcuttur. Dolayısıyla bu farkın tamamının yeraltı suyuna süzülmediği beklenemez. Bu miktarın bir kısmı yeraltına süzülürken bir kısmı da pompajla çekilmektedir. Bu nedenle yeraltına akarsudan süzülen miktarı bulabilmek için akarsuyun Kandilli-Inönü arasındaki kısmında fazlaca kullanılan pompajlar neticesinde yapılan çekimler hesaplamalara dahil edilmiştir

Ovanın giriş kısmında ölçülen Sarısu Deresi'nin debisi 105408 m³/gün'dür. Ovanın ikinci noktasında (İnönü'de) ölçülen debi değeri ise 13737.6 m³/gün'dir. Fakat bu noktada ölçülen 13737.6 m³/gün debi değerine Havuzlar Kaynağı'ndan boşalan 10368 m³/gün'lük kaynak debisi de dahildir. Kaynağın debisini çıkardığımızda ikinci noktada akarsuyun debisi 3369.6 m³/gün olarak hesaplanmaktadır. Bu iki nokta arasında Sarısu Deresi'nden sulama amaçlı pompajla çekim söz konusudur. Kandilli köyü muhtarı ile yapılan görüşme sonucunda sözlü olarak her yıl ortalama 35 adet pompa Sarısu Deresi'nden ortalama 0.005 m³/s debi ile yılda 3 ay süreyle su çekmektedir. Ortalama 35 adet pompanın günde 5 saat çekim yaptığı varsayılırsa bu iki nokta arasında günde 3150 m³ çekim gerçekleştirilmektedir. Kandilli ve İnönü arasında Sarısu Deresi'nin debisinde 102038.4 m³/gün (105408-3369.6)'lük bir su kaybı ölçülmüştür. Bu kaybın 3150 m³/gün'lük kısmı pompajla yapılan çekimler sonucu oluşurken 98888.4

m³/gün'lük kısmı yeraltı suyuna karışmaktadır. Akarsudan akifere süzülen su miktarı yıllık olarak 8.89×10^6 m³ olmaktadır.

***Boşalım (Bo);**

Yeraltı su düzeyinden buharlaşma-terleme ile boşalım: Pratikte, yeraltı su düzeyinin topoğrafya yüzeyinden 2m'den derin olduğu yerlerde su düzeyinden herhangi bir buharlaşma-terlemenin olmadığı varsayılır. Gerçekte ise kökleri derinlere inen bitkilerin bulunduğu alanlarda buharlaşma daha derinde de olabilir (Demiroğlu, 2008). Yeraltından buharlaşma hesabında Penman bilançosundaki “eksik su”dan yararlanılır. Çalışma alanında yüzey ve yüzey altı akışın olduğu alüvyonlarda ve su düzeyinin yüksek olduğu 100 km²'lik alanda yeraltından buharlaşma hesabı yapılmıştır. Penman su bilançosundan elde edilen eksik su miktarı 362,2 mm/yıl'dır.

Yeraltından buharlaşma-terlemenin olduğu toplam alan: 100 km²

Eksik su: 362,2 mm/yıl

Buharlaşma-terleme oranı: Statik su seviyesi derinliği ortalama olarak 0,5 m alınarak; $E_p \times (1-S_{\text{Sev}}/2)^2$ (Lohman, 1972) formülü ile hesaplanmış ve 0.4 olarak bulunmuştur.

Yeraltından buharlaşma-terleme ile boşalım: $100 \times 10^6 \times 0.362 \times 0.4 = 14.48 \times 10^6$ m³ olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında bulunan şahıs kuyularından sulama amaçlı oldukça fazla su çekimi olmaktadır. Ovada, örnekleme yapılamayanlar dahil ortalama 30 adet şahıs kuyusunun varlığından bahsedilebilir. Bu 30 adet kuyunun yaklaşık 20 tanesi sulama amaçlı olup günde ortalama 0.003 m³/s verim ile günde 5 saat çalıştırılarak yılda 3 ay süreyle su çekimi yapılmaktadır. Diğer 10 şahıs kuyusu ise evsel kullanım amaçlı olup günde ortalama 0.001 m³/s verim ile günde 5 saat çalıştırılarak yılda 6 ay süreyle çekim yapılmaktadır.

20 adet kuyu günde 5 saat çalışarak saniyede 0,003 m³ su çekiyorsa bir kuyunun günde çektiği su miktarı $0.003 \times 5 \times 3600 = 54 \text{ m}^3$ 'e eşittir ve yılda 3 ay yani 90 gün çalışarak bir kuyu $54 \times 90 = 4860 \text{ m}^3$ su çeker. 20 kuyunun yılda çektiği su miktarı $20 \times 4860 = 97200 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

10 adet kuyu günde 5 saat çalışarak saniyede 0,001 su çekiyorsa bir kuyunun günde çektiği su miktarı $0.001 \times 5 \times 3600 = 18 \text{ m}^3$ 'e eşittir ve yılda 6 ay yani 180 gün çalışarak bir kuyu $18 \times 180 = 3240 \text{ m}^3$ su çeker. 10 kuyunun yılda çektiği su miktarı $10 \times 3240 = 32400 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Bu toplam 30 adet kuyudan yılda yapılan toplam çekilen su miktarı $97200 + 32400 = 129600 \text{ m}^3 \approx 0.13 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Akarsuyla boşalım ise ovanın çıkış noktasında ölçülen akarsuyun debisi $0.314 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak ölçülmüş olup yıllık $9.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'tür.

Ovada ölçümü gerçekleştirilen 6 adet kaynağın toplam debisi (Mayıs 2012) 2.39 l/s olup, yıllık $75371.04 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Bu kaynaklardan sadece havuzlar kaynağı hariç diğerleri alüvyon birim üzerindedir. Dolayısıyla bunlardan akifere geçebilecek su miktarını bulabilmek için bu değeri alüvyonun süzülme katsayısı olan 0.4 ile çarparak $30148.41 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplama yapılmıştır.

Çizelge 3.11 İnönü Ovası sığ akiferinin yeraltı suyu bütçesi (2012 yılı)

Beslenim (m ³)		Boşalım (m ³)	
Yağıştan süzülme (kısmen geçirimli)	74.15	Kaynaklarla boşalım	63.072
Yağıştan süzülme (geçirimli)	3.488×10^6	Kuyularla çekim	0.13×10^6
Yağıştan süzülme (düşük geçirimli)	1.28	Yeraltından buharlaşma	14.48×10^6
Akarsudan beslenim	8.89×10^6	Akarsuyla boşalım	9.9×10^6
Kaynaklarla beslenim (jeotermal)	3.78×10^6		
TOPLAM	16.16×10^6	TOPLAM	24.51×10^6

İnönü Ovası sığ akiferinin bilançosu incelendiğinde, beslenim ve boşalım arasında $7.35 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'lük bir fark olduğu görülmektedir. Bu aradaki farkın, ovada yapılan çalışma esnasında ölçülemeyen parametreler, ölçüm hataları, alt akifer-üst akifer ilişkisi ve çalışma alanındaki litolojik birimlerin süzülme katsayılarının ölçme imkanı bulunamadığından hesaplamalar sırasında yaklaşık olarak alınmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



4. HİDROJEOKİMYA

4.1 Giriş

Mevsimsel değişimler göz önünde bulundurularak çalışma alanından Ağustos 2011, Mayıs 2012 ve Ekim 2012 dönemlerinde alınan su örneklerinden yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular hidrojeokimya başlığı altında irdelenmiştir. Çalışma alanında bulunan kuyu, kaynak ve akarsulardan arazide ve laboratuvarında yapılan ölçüm/analiz sonucunda elde edilen değerler çizelge 4.1-4.3'te verilmiştir.

4.2 Suların Yerinde Ölçülen Parametreleri

Örnekleme noktalarından örnek alımı sırasında portatif multianalyser ile sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı madde (TÇK), çözünmüş oksijen (ÇO), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), redoks potansiyeli (Eh), alkalinite-asidite ve toplam sertlik parametreleri ölçülmüştür.

4.2.1 Sıcaklık

Genel olarak suların sıcaklığı su tablasının derinliğine, coğrafik enleme, yüksekliğe ve varsa etkin volkanizmaya bağlıdır. Suların sıcaklığının mevsimlere göre değişmesi ya da değişmemesi suların kökeni ve geliş yeri hakkında bilgi vermektedir (Erguvanlı ve Yüzer 1984).

Çalışma alanındaki kaynaklarda 3 dönem yapılan örnekleme sonucunda en düşük sıcaklık değeri 12,8°C iken en yüksek sıcaklık değeri de 26°C olarak ölçülmüştür. Çalışma alanında 26°C olarak ölçülen en yüksek sıcaklık değeri İnönü merkezde yer alan Havuzlar sıcak su kaynağından alınmıştır.

Bölgedeki kuyulardan 3 dönem halinde yapılan ölçüm değerlerine bakıldığında yeraltı suyu sıcaklığının 12,7-21,2°C arasında değiştiği gözlenmektedir. Sarısu Deresi'nden alınan örneklerin sıcaklığı ise 11,2-20,2 °C arasında değişmektedir.

Çizelge 4.1 Ağustos 2011 örnekleme dönemine ait suların fizikokimyasal özellikleri

	KOORDİNAT		Debi l/s	T °C	pH	EC µS/cm	TDS mg/l	eH mV	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	mg/l					
	x	y													SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺²	Na ⁺
K a y n a k l a r																				
İST1	257148	4414242	0.8	14	8.3	619.08	419.06	-70.3	0.57	11.586		0.134	29.718		32.254	229.36	23.6	18.298	40.65	16.135
İST	255385	4414243	0.076	19.5	7.84	1108.8	808.8	-49.2	0.479	8.975		0.458	4.766		70.58	583.16	44.28	76.83	0.143	16.79
İST2	257923	4414189	0.625	18	7.95	672	588	-49.2	0.534	13.517		0.143	20.586		28.745	247.66	56.74	7.99	3.964	17.673
İST3	259601	4413975	0.09	19.5	8.32	772.38	658.06	-74.4	1.417	16.581		0.717	16.241		64.108	268.766	56.59	22.891	0.006	23.27
İST4	260309	4414324	0.11	18.5	8.02	987	776	-51.6	0.814	16.671		0.093	0.757	0.758	71.353	377.712	75.64	21.493	1.221	29.85
SAT11	273109	4410103	0.09	20.5	8.74	429.66	299.66	-101.5	0.341	2.728	1		3.786		3.696	300.25	4.517	50.33	0.313	1.182
SAT12	272564	4409726	0.13	17	8.81	420	300	-108.1	0.183	2.551			3.806		9.932	264.374	4.899	43.7	0.343	1.294
SAT13	271858	4409225	0.25	17.3	8.95	493	357.08	-113.3	0.129	3.256			4.172	1.061	3.998	337.696	4.78	35.6	0.318	1.226
SAT14	272650	4409895	0.33	19.3	8.95	293.58	199.12	-111.1	0.141	2.447			3.838		3.337	280.6	4.359	45.54	0.291	1.137
J e o t e r m a l K a y n a k																				
HAVUZLAR	253337	4411014		26	7.5	427	355	-33.9	0.389	3.57	0.453		5.132		4.942	256	52.06	27.017	0.733	3.529
K u y u l a r																				
KANDİLLİ	246820	4412042		20	7.7	470.4	389.6	-40.9	0.033	2.7			3.297		5.76	194.13	52.616	9.104	0.794	2.832
ARICI	247494	4413124		13.5	7.9	714	513	-52.4	0.216	9.027		0.097	3.463	0.686	28.404	284.32	23.457	43.09	4.696	11.23
KESON	247800	4413148		14.5	7.6	688.38	458.63	-37.4	0.033	9.821		0.098	14.915	0.712	22.232	404.552	23.283	62.3	3.609	9.649
DSİ KUYU	250049	4413168		14	7.6	768.6	557.46	-37.9	0.105	12.93	0.153	0.1	4.775	0.713	15.378	439.2	74.38	53.35	1.652	9.094
KABADAĞ	255717	4412393		14	8	407.4	227.4	-59.2	0.33	11.177		0.265	1.113	0.693	10.902	417.484	82.15	18.945	1.368	13.252
YURT BAY	255717	4412393		16.5	7.5	653.54	403.55	-33.4	0.458	14.944		0.172	28.33		24.709	306.782	78.91	13.085	1.18	10.283
ÇEVİK	263606	4411104		15	7.58	675.78	856.75	-34.1	0.045	36.296	0.108	0.121	92.908		18.659	628.416	87.533	95.811	0.075	5.634
ÇİMSA	267854	4412061		14	7.8	1003.8	586.74	-45	0.623	36.309		0.155	2.537		98.994	348.92	63.58	39.95	2.263	41.73
AÜ	271934	4410578		16	8.67	940.8	888	-91.1	1.13	39.816		0.397	63.868	0.69	99.259	305	68.52	22.204	0.319	61.93
ÖZER	272107	4410575		17	8.4	828.66	598.66	-75.1	2.48	32.317		0.932	92.445		57.775	286.5	66.28	17.586	0.718	48
KAZANKAYA	272151	4409727		18	8.39	1260	1000	-65.1	0.689	50.258		0.52	6.75		68.372	300.55	47.81	20.512	0.794	53.57
SEBAHATTİN	272751	4409651		19.5	7.52	1982	1582	-27.2	0.563	205		0.7	296.185		175	455	125.44	95	2.4	55

Not: Çizelgede kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı yukarıdan aşağıya olanın batısından doğusuna doğrudur.

Çizelge 4.2 Mayıs 2012 örnekleme dönemine ait suların fizikokimyasal özellikleri

	KOORDİNAT		Debi l/s	T °C	pH	EC µS/cm	TDS mg/l	eH mV	F	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺²	Na ⁺	
	x	y																			
mg/l																					
K a y n a k l a r																					
İST1	257148	4414242	1.33	12.8	8.21	630.42	440.42	-69.1	0.253	9.901		0.124	36.176			35.314	298.9	48.09	31.21	11.64	9.589
İST	255385	4414243	0.2	13.2	7.99	1113	800	-56.2	0.5	9.18		0.138	16.243	0.782		68.874	640.5	35.1	101.58	0.157	18.878
SAT11	273109	4410103	0.25	16.5	8.79	420	300	-103.8		2.969			3.719			3.742	283.04	4	45.12	0.84	0.329
SAT12	272564	4409726	0.5	15.1	8.95	417	300	-112		2.02			3.586			3.112	285.236	4.323	61.04	0.377	0.931
SAT13	271858	4409225	0.16	15.1	9.07	419.58	290.4	-118.6		2.219			3.635			3.23	274.622	4.4	58.91	0.356	0.932
J e o t e r m a l K a y n a k																					
HAVUZLAR	252337	4411014		24.5	7.88	470.4	343.7	-51.7	0.197	3.04			5.783			5.759	287.92	52.32	17.017	0.791	1.983
K u y u l a r																					
KANDILLİ	246820	4412042		16.8	7.88	485.94	349	-51	0.096	4.282			5.446			6.876	213.65	47.83	11.171	0.678	1.224
ARICI	247494	4413124		16.5	8.41	719.46	517.9	80.9	0.222	10.064		0.118	2.661			33.204	417.24	46.53	58.88	5.08	8.792
KESON	247802	4413148		12.7	7.85	741.42	442	-48.3	0.08	10.43		0.109	23.921	0.72		26.558	422.97	25.25	64.55	3.554	5.859
DSİ KUYU	250049	4413168		14.3	7.82	800.52	505.6	-46.9	0.426	17.931	0.268	0.109	13.432	0.877		34.335	457.5	60.49	58.61	3.577	6.005
KÜÇÜKEV	253813	4412017		14.2	8.01	792.96	609	-58.3	0.356	16.676		0.363	45.579	0.696		50.566	401.38	54.3	62.57	1.618	7.628
KABADAĞ	255717	4412393		12.7	8.22	756.42	476.9	-69.2	0.152	10.345		0.15	12.105	0.807		12.316	418.338	95.5	21.345	2.04	15.012
YURTBAY	262132	4411211		13.8	8.07	846	636	-61.2	0.175	14.99		0.183	29.006			29.255	305.488	62.09	27.365	1.057	5.274
ÇEVİK	263606	4411104		17.2	7.93	1200	866.67	-53.4		32.787		0.57	89.345			20.847	670.268	82.25	94.67	1.142	5.9
ÇİMSA	267854	4412061		13.5	7.95	1100	916.5	-54.4	0.465	32.28		0.405	1.923			99.839	505.08	67.14	65.84	3.139	23.36
KAZANKAYA	272151	4409727		14.5	8.07	894.6	665.6	-61.5	0.433	51.052		0.104	7.273	0.731		71.898	395.646	51	44.93	1.323	39.01
SEBAHATTİN	272751	4409651		12.9	7.87	2079	1578	-48.9	0.983	203.967		1.282	0.663	291.383		171.933	506.3	115.73	88.78	1.093	49
A k a r s u																					
SARISU2	254646	4411419		20.2	8.3	473.76	439.46	-75.9	0.13	4.834		0.219	6.033	0.93		8.432	285.48	65.76	19.601	4.944	3.395
SARISU1	266858	4411850		15.1	8.525	648.48	455.9	-84.6	0.301												
AÜ-SARISU	271949	4410572		16.9	8.43	928.2	620.5	-83.3	0.382	37.812		0.193	29.059			332.09	366.61	135.62	81.3	2.175	33.32

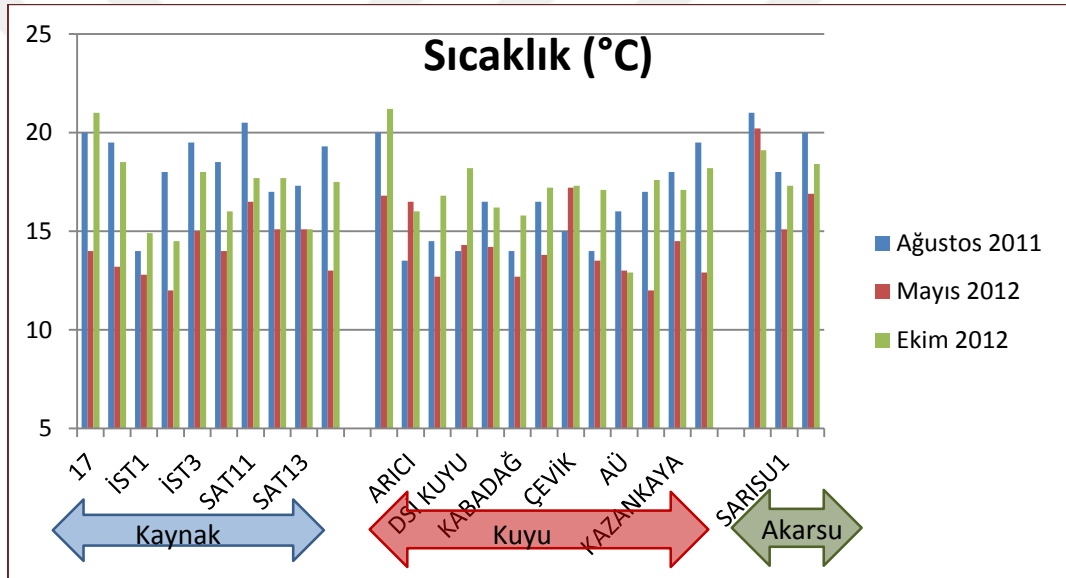
Not: Çizelgede kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı yukarıdan aşağıya olanın batısından doğusuna doğrudur.

Çizelge 4.3 Ekim 2012 örnekleme dönemine ait suların fizikokimyasal özellikleri

	KOORDİNAT		Debi	T	pH	EC	TDS	eH	F	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺
	x	y	l/s	°C		µS/cm	mg/l	mV												
K a y n a k l a r																				
İST1	257148	4414242	1	14.9	8.17	628	438.9	-30.6	0.51	9.852		0.13	36.03		37.406	393.78	77.26	30.08	15.26	16.09
İST	255385	4414243	0.25	18.5	8.22	1005	704.3	-29.7	4.441	11.119	0.791		12.111		63.907	823.256	60.92	109.99	1.36	26.02
SAT11	273109	4410103	1.15	17.7	9.27	437	305.4	-60.7	0.13	2.766			4.55		3.364	339.892	7.204	52.09	1.23	5.76
SAT12	272564	4409726	0.75	17.7	7.87	410	291.7	-54.4	0.369	3.281			4.47		3.368	363.56	11.24	61.06	2.29	9.75
SAT13	271858	4409225	0.33	15.1	7.64	424	292.4	-61.4		4.573			4.62		3.453	548.404	85.76	49.39	1.24	5.31
J e o t e r m a l K a y n a k																				
HAVUZLAR	252337	4411014		27.2	7.96	433	303.7	-24.1	0.682	2.845			5.125	0.718	5.152	404.32	71.15	2.845	1.81	11.02
K u y u l a r																				
KANDİLLİ	246820	4412042		21.2	8.1	455	318.9	-28.8	0.81	4.142			5.16		5.449	401.898	85.51	13.56	2.3	10.41
ARICI	247494	4413124		16	8.59	673	467.9	-39.8	0.44	10.552		0.102	3.172		45.252	399.668	71.12	54.1	5.23	28.44
KESON	247802	4413148		16.8	8.3	708	498.2	-30.1	0.32	10.288		0.1	24.14		31.067	424.792	88.18	51.85	4.46	16.23
DSİ KUYU	250049	4413168		18.2	8.32	712	497.6	-37	0.48	13.113	0.348	0.098	3.529	0.792	33.739	517.28	89.45	53.71	3.78	10.88
KÜÇÜKEV	253813	4412017		16.2	8.4	629	439.9	-35.8	0.46	9.429		0.131	10.132		24.766	464.82	82.63	40.85	3.65	11.74
KABADAĞ	255717	4412393		15.8	7.91	658	478.9	-27.4	0.564	11.253		0.15	3.18		19.36	434.328	84.75	31.69	2.6	13.89
YURT BAY	262132	4411211		17.2	7.75	736	513.3	-19.1		15.68					30.125	345.016	100.01	19.44	1.91	15
ÇEVİK	263606	4411104		17.3	7.47	1129	796.9	-12.5	3.515	35.895	0.852		107.983		17.925	794.708	135.23	108.12	2.29	17.03
ÇİMSA	267854	4412061		17.1	8.36	980	692.3	-35	1.842	38.417	0.886	13.526	0.844		107.309	512.928	81.91	53.86	2.89	45.32
ÖZER	272345	4409641		17.6	7.97	766	537.4	-24.7	2.54	42.762	1.31	0.24	106.93		55.49	573.888	106.81	43.7	5.92	58.58
KAZANKAYA	272151	4409727		17.1	7.39	790	565.5	-22.5	0.875	46.592		0.085	6.948		62.252	462.868	83.41	45.85	2.85	76.36
SEBAHATTİN	272751	4409651		18.2	7.2	1578	1119.5	-6.6	4.117	121.527	6.564	0.73	230.416		187.285	783.24	193.63	90.06	4.16	104.18
A k a r s u																				
KANDİLLİ SARISU	246555	4412835		16.6	9.61	566	393.5	-64.6	0.48	6.329	0.09		2.061	0.71	10.904	473.808	73.17	52	5.39	11.01
SARISU2	254646	4411419		19.1	8.21	446	311.9	-30.6	0.31	2.994	0.168		4.61		5.178	336.72	70.29	18.95	1.92	8.1
SARISU1	266858	4411850		17.3	8.76	654	462.9	-48.4	0.425	55.542	0.284	0.116	10.893	0.85	27.854	397.72	78.7	40.07	4.76	19.48
AÜ-SARISU	271949	4410572		18.4	7.85	1003	698.8		0.83	39.64					312.56	260.47	122.19	51.24	3.84	49.08
SSK	272345	4409641		11.2	7.28	683	478	-19.5	0.484	24.66	0.163	0.117	11.18	0.82	32.211	221.536	67.23	13.925	2.05	7.63

Not: Çizelgede kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı yukarıdan aşağıya ovanın batısından doğusuna doğrudur.

Çalışma alanında 3 dönemde ölçülmüş olan sıcaklık değerlerinin grafiksel dağılımı şekil 4.1’de verilmiştir. Grafikte, sıcak su kaynağı olan Havuzlar noktasındaki yüksek sıcaklık değeri dışında diğer noktalarda birbirine yakın sıcaklık değerleri dikkati çekmektedir. Sulardaki en düşük sıcaklık değerleri Mayıs ayında yapılan ölçümlerde gözlenmektedir. Diğer 2 örnekleme döneminde ise birbirine çok yakın değerler izlenmektedir. Ağustos 2011 örnekleme döneminde en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri sırasıyla 13,5°C-26°C’dir. Mayıs 2012 örnekleme döneminde ise en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri sırasıyla 12°C - 24,5°C’dir. Ekim 2012 örnekleme döneminde ölçülmüş olan en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri ise sırasıyla 12,9°C - 27,2°C olarak belirlenmiştir.

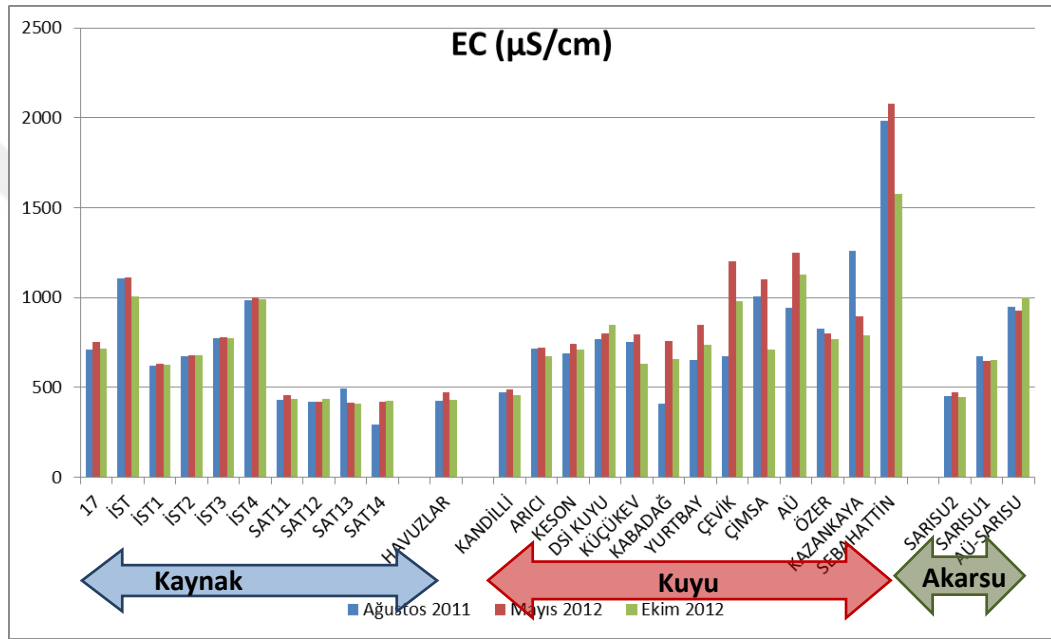


Şekil 4.1 Çalışma alanında 3 dönem boyunca ölçülmüş olan sıcaklık değerleri (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa olanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

4.2.2 Elektriksel iletkenlik

TS 266 (2005)’ya göre sulama suları için sınır değeri 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, içme suları için 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iken, EPA’ya göre bu değeri 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak kabul edilmektedir.

EC değışim grafiği şekil 4.2’de verilen inceleme alanı su örneklerinin Ağustos 2011 örneklemelerinde elektriksel iletkenlik değeri 293,58-1982 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değışim gösterirken, Mayıs 2012’de yapılan örneklemelerde ise 417-2079 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değışmektedir. Ekim 2012’de yapılan örneklemelerde elektriksel iletkenlik 410-1578 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değışim göstermektedir. Her 3 dönemde de ölçülen elektriksel iletkenlik değeri en düşük Satılmış’ta bulunan kaynaklarda ölçülürken en yüksek elektriksel iletkenlik değeri ise Sebahattin kuyusunda ölçülmüştür.



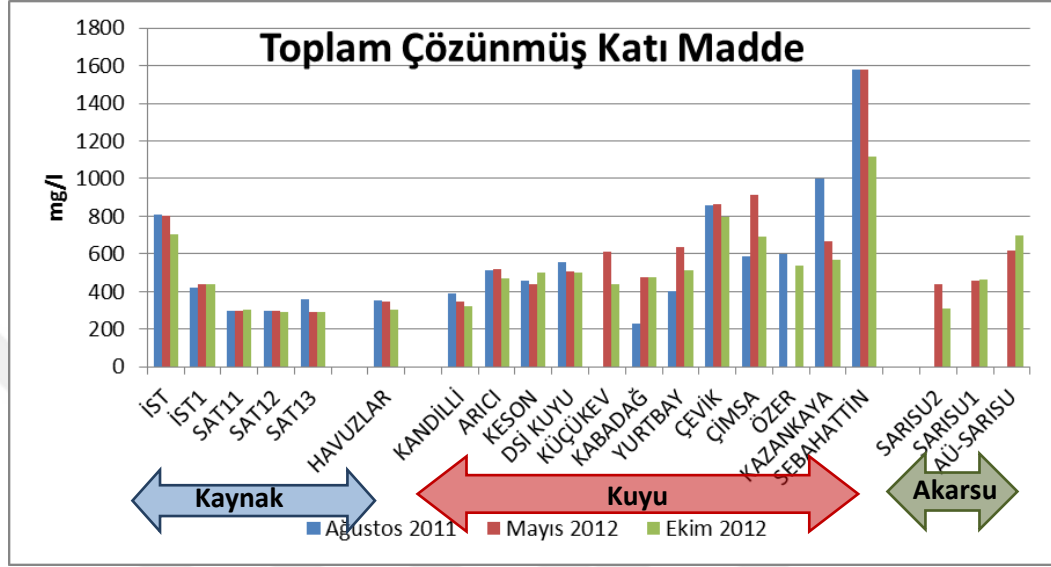
Şekil 4.2 EC değeriğlerinin 3 örneklemeye dönemi boyunca değışimi (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa olanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

Çalışma alanında 3 dönem boyunca yapılan örneklemeler sonucunda elde edilen EC ölçüm sonuçlarına göre kaynaklarda çalışma alanında batıdan doğuya gidildikçe EC değeriğnde bir azalma söz konusu ilken kuyu ve akarsu örneklerinde batıdan doğuya doğru bir artış gözlenmektedir. EC değeriğndeki bu artış ise kirlenmenin bir belirtisi olarak yorumlanabilmektedir.

4.2.3 Toplam çözünmüş katı madde

Çalışma alanında bulunan noktalardan Ağustos 2011’de yapılan örneklemelerde en düşük ve en yüksek toplam çözünmüş katı madde miktarları sırasıyla 300-1000 mg/l

iken Mayıs 2012 örneklemelerinde en düşük ve en yüksek TÇM değerleri sırasıyla 290,4-1578 mg/l olarak ölçülmüştür. Ekim 2012 örneklemelerinde en düşük ve en yüksek TÇM değerleri ise sırasıyla 291,7-1119,5 mg/l olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3).



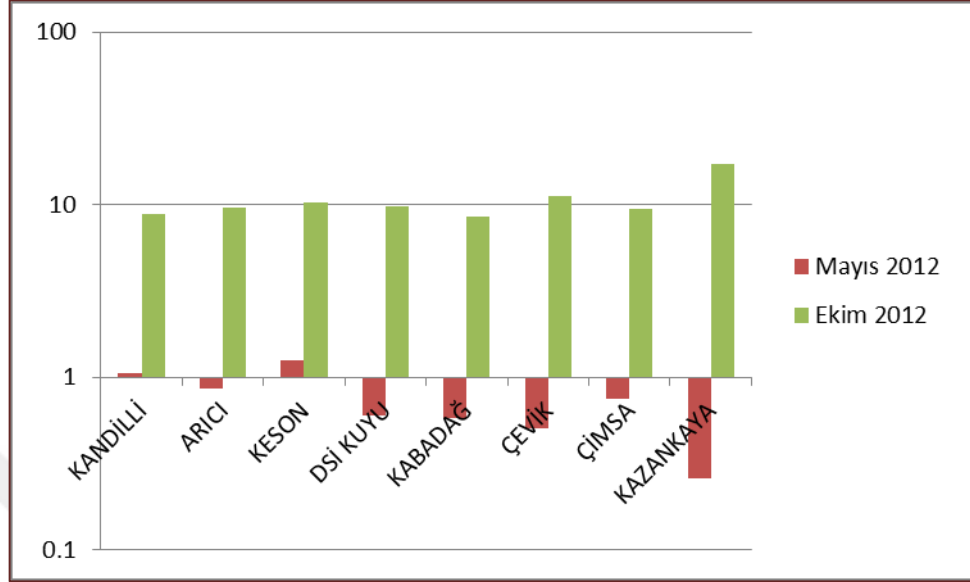
Şekil 4.3 Örneklerin TÇM grafiği (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa ovanın batısından doğusuna/menbadab mansaba doğrudur)

Çalışma alanı sularında ölçülen TÇM parametresine ait grafiğe göre, her 3 örnekleme döneminde de ovanın batısından doğusuna doğru özellikle yeraltı suyu örneklerinde TÇM miktarında bir artış gözlenmektedir. Bu artışın nedeni olarak ise çalışma alanındaki yeraltı sularının katettikleri yol boyunca bünyelerine katmış oldukları maddeler olarak açıklanabilir.

4.2.4 Çözünmüş oksijen

Çalışma alanında ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin Mayıs (2012) ayında düşük iken Ekim (2012) ayında yüksektir (Şekil 4.4). Çalışma alanında yeraltı sularında Mayıs ve Ekim aylarında ölçülen çözünmüş oksijen parametresine ait grafiğe göre Ekim ayında ovanın batısından doğusuna doğru çözünmüş oksijen miktarlarında bir artış söz

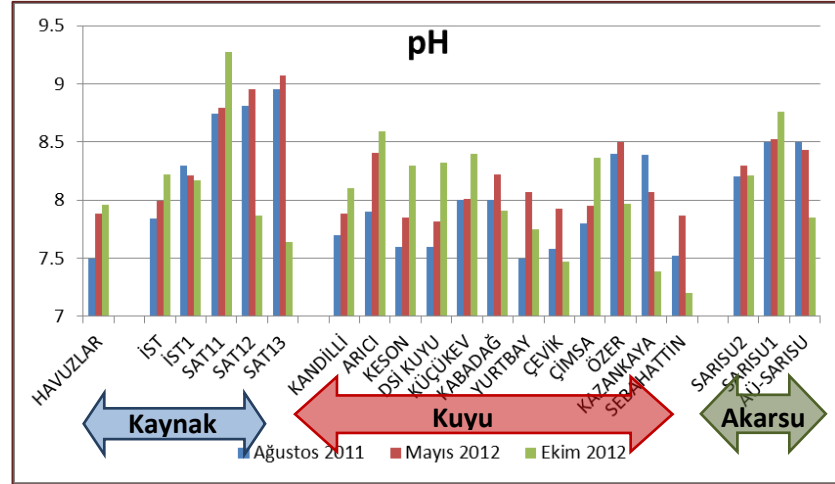
konusu iken Mayıs örneklerinde çözülmüş oksijen miktarı azalmaktadır. Ekim yağışlı dönem olduğu için yağışlarla sulardaki oksijen miktarında artış meydana gelmektedir.



Şekil 4.4 Çalışma alanındaki kuyularda ölçülen çözülmüş oksijen değerleri grafiği (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa ovanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

4.2.5 Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)

İnceleme alanında her 3 dönemde ölçülen pH değerleri birbirine yakın değerler göstermekte olup sadece Satılmış'ta bulunan 3 adet kaynakta (SAT11-SAT12-SAT13) yüksek pH (yaklaşık 9) değerleri göze çarpmaktadır (Şekil 4.5). Bu pH değerleri ile çalışma alanı suları, yeraltı sularında aranan pH değeri olan 6,5-8,5 arasındadır. Dolayısıyla çalışma alanındaki yeraltı sularının kullanımı pH açısından uygundur.



Şekil 4.5 pH değerleri değişim grafiği (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa ovanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

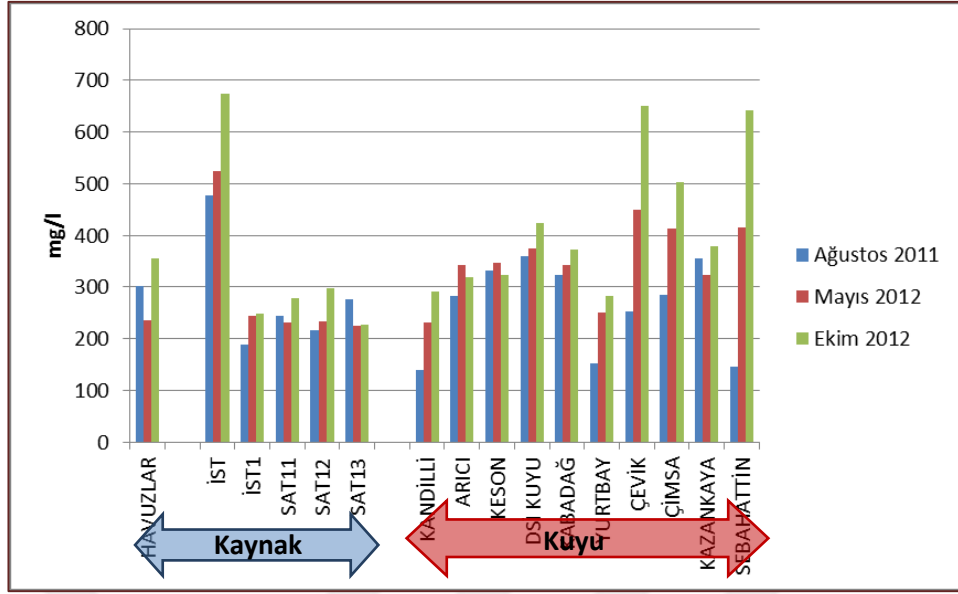
Şekil 4.5'teki pH grafiği incelendiğinde kaynaklarda pH değerlerinde ovanın batısından doğusuna doğru bir artış söz konusudur. Kuyu örneklerinde ise her 3 dönemde de bir dalgalanma söz konusu iken değerler, 7-8.5 arasında değişmektedir.

4.2.6 Redoks potansiyeli (Eh)

Örnek noktalarından alınan sularda 3 dönem yapılan ölçümler sonucunda ölçülen redoks potansiyeli değerlerinin tamamı negatif olup değerleri (-6,6)- (-118,6) volt arasında değişmektedir.

4.2.7 Alkalinite ve asidite

Çalışma alanındaki yeraltı sularının da karbondioksit içeriğinden dolayı, suyun atmosferle temas etmesi durumunda gazın atmosfere kaçma eğilimi olabileceğinden suların alkalinitesindeki değişim farklılığını en aza indirebilmek için arazide ölçüm yapılmış ve grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.6). Grafik incelendiğinde en yüksek alkalinite değerlerinin Ekim döneminde ölçüldüğü gözlenmektedir. En yüksek alkalinite değerleri ise Ekim ayında yapılan örneklemede İST kaynağı ile Çevik ve Sebahattin kuyularında ölçülmüştür.



Şekil 4.6 İnceleme alanı sularının alkalinite değişim grafiği (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa ovanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

Çalışma alanı sularında, her 3 örnekleme döneminde de ovanın batısından doğusuna doğru kaynakların alkalinite değerlerinde bir azalış gözlenirken kuyu örneklerinde bir dalgalanma olsa da çok az bir artış söz konusudur.

4.3 Yeraltı Sularının Sınıflaması ve Kimyasal Özellikleri

Çalışma alanındaki yeraltı sularının sınıflamalarının yapılarak özelliklerinin ortaya konulması amacı ile kimyasal özellikleri anyon, katyon ve element bazında ele alınarak incelenmiştir. Buna göre bölgedeki kuyu, kaynak ve akarsu örneklerinin analiz sonuçları ve sınıflamaları oluşturulmuştur.

4.3.1 Suların anyon ve katyon değerleri

Çalışma alanı sularının anyon ve katyon içerikleri Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mikroanaliz ve ICP analiz Laboratuvarı'nda, ICP-OES cihazı ile yapılmıştır. Numuneler %10 veya % 25 oranında seyreltilerek okumalar gerçekleştirilmiştir.

suların tiplerinin ve fasiyeslerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (AIH) Sınıflaması'na göre, oranı %20'den fazla olan iyonlar, en büyük orana sahip olandan en küçük orana sahip olana doğru sıralanarak sınıflamaya katılır. Sıralamada önce katyonlar sonra anyonlar gelir. Ana katyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ ve K^+ , ana anyonlar ise HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , ve CO_3^{2-} dir.

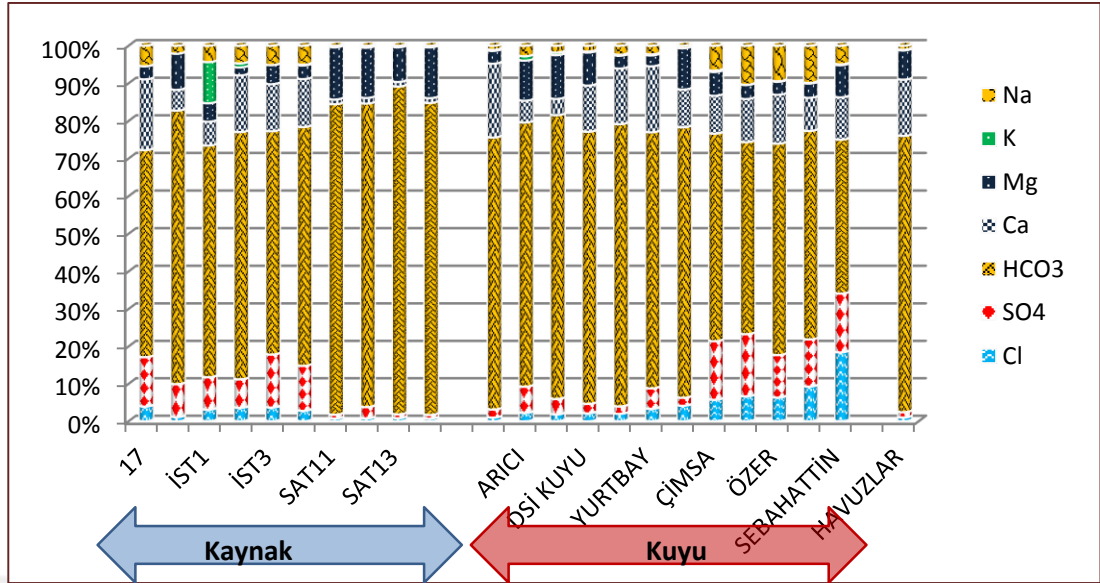
İnceleme kapsamındaki suların hidrokimyasal fasiyes tiplerine bakıldığında suların bütün örnekleme dönemleri boyunca Ca-HCO_3 ve Mg-HCO_3 fasiyes özellikleri sergiledikleri görülmektedir (Çizelge 4.4). Çalışma alanının batı kısmında yer alan kaynaklarda su tipleri Mg-HCO_3 iken ovanın orta ve doğu kısımlarında sülfatlı sular göze çarpmaktadır. Kuyu örneklerinde ise yine ovanın batısında su tipleri Mg-HCO_3 iken orta kısımda Ca ve sülfatlı su tipindeki örnekler göze çarpmaktadır.

Örnekleme noktaları için egemen iyon bolluk dizilimleri

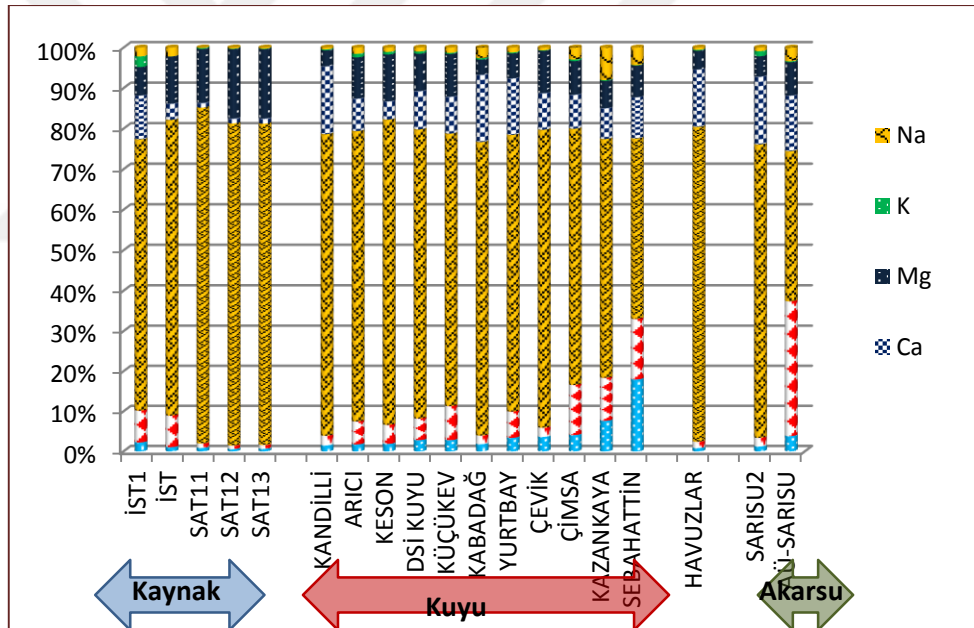
Suların anyon ve katyon içerikleri $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) / \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ şeklinde gelişmiştir (Şekil 4.7-4.9). Bütün örnekleme dönemleri boyunca iyon dizilimi genelde aynı kalmıştır. Her ne kadar bazı örneklerin iyon dizilimlerinde dönemsel değişiklikler bulunsun da su tiplerinde bir değişiklik gözlenmemiştir.

Çizelge 4.4 Çalışma alanı sularının anyon katyon değerlerine göre su tipleri

	Kaynaklar	Su Tipi	Kuyular		Su Tipi
1	SAT11	Mg-HCO_3	11	KANDİLLİ	Mg-HCO_3
2	SAT12	Mg-HCO_3	12	ARICI	Mg-HCO_3
3	SAT13	Mg-HCO_3	13	KESON	Mg-HCO_3
4	SAT14	Mg-HCO_3	14	DSİ KUYU	Ca-Mg-HCO_3
5	İST	Mg-Ca-SO_4	15	ÇİMSA	Mg-Ca-Na-SO_4
6	İST1	Mg-HCO_3	16	ANA. ÜN.	Ca-Na-Mg-SO_4
7	İST2	Ca-Na-Mg-SO_4	17	ÇEVİK	Mg-Ca-SO_4
8	İST3	$\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4$	18	YURT BAY	Ca-HCO_3
10	HAVUZLAR	Ca-Mg-HCO_3	19	ÖZER	Ca-HCO_3
			20	KABADAĞ	Ca-Mg-HCO_3
			21	KAZANKAYA	Ca-Na-Mg-HCO_3



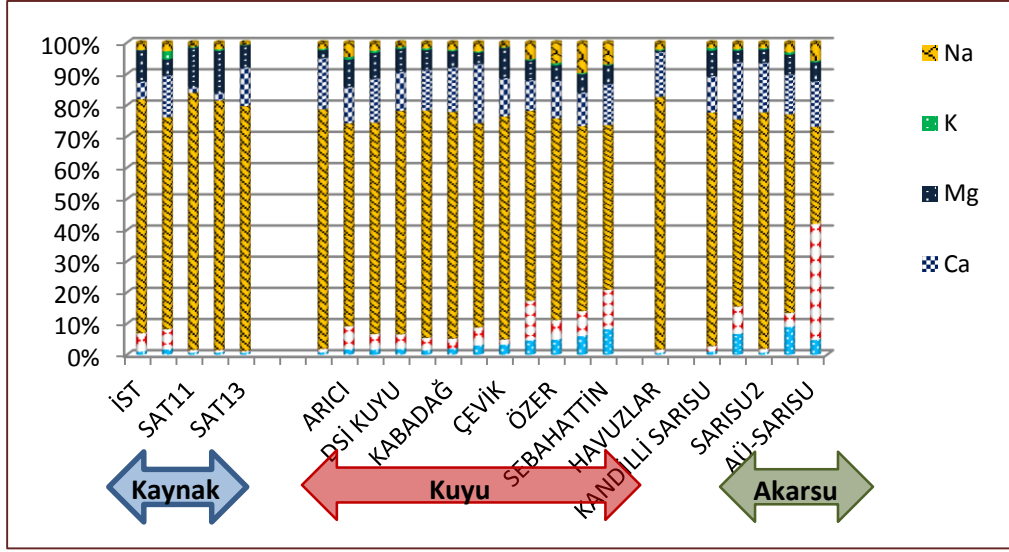
Şekil 4.7 Yeraltı sularının Ağustos 2011 örnekleme dönemi iyon dağılımı



Şekil 4.8 Yeraltı sularının Mayıs 2012 örnekleme dönemi iyon dağılımı

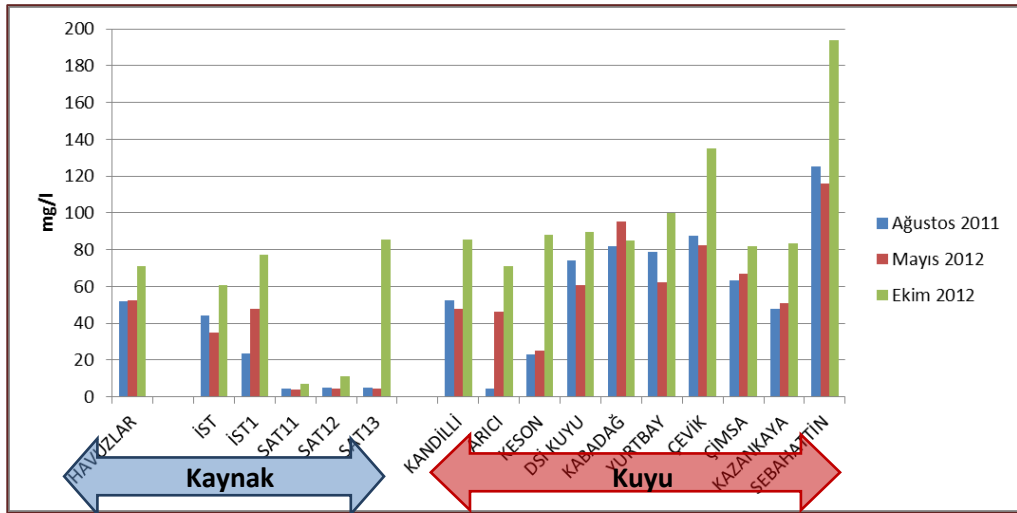
4.3.1.1 Kalsiyum

Çalışma alanında bulunan kaynak, kuyu ve akarsu noktalarında örnekleme sırasında ölçülen kalsiyum değerleri ile çizilen grafik incelendiğinde en yüksek kalsiyum değerlerinin Ekim ayında alınan örneklerde olduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Diğer 2 dönemdeki kalsiyum değerleri ise birbirine yakın değerler göstermektedir.



Şekil 4.9 Yeraltı sularının Ekim 2012 örnekleme dönemi iyon dağılımı

3 dönem yapılan örneklemlerde en yüksek kalsiyum değeri Ekim ayında Sebahattin kuyusunda (193,63 mg/l) ölçülmüş olup, en düşük kalsiyum değeri ise Ağustos ayında yapılan örneklemede Arıcı kuyusunda (4,39 mg/l) tespit edilmiştir.

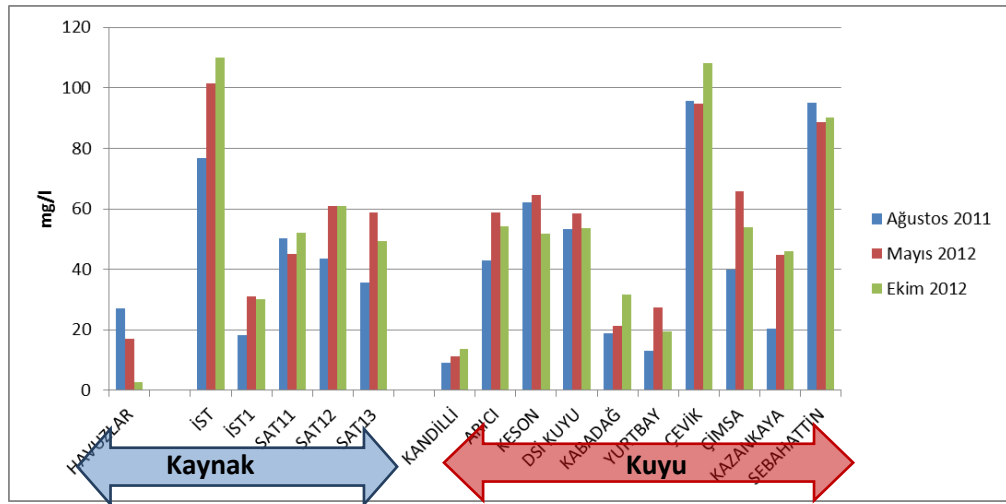


Şekil 4.10 Yeraltı sularının Kalsiyum değerleri dağılım grafiği (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa ovanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

4.3.1.2 Magnezyum

Çalışma alanı sularından ölçülen magnezyum değerleri grafiklendirilerek şekil 4.11’de verilmiştir. Örnek noktalarından 3 dönem boyunca alınan örneklerin yapılan analizleri sonucunda en yüksek magnezyum değerleri Ekim ayında yapılan örneklemelerde İST kaynağında (109,99 mg/l) ve Çevik kuyusunda (108,12 mg/l) ölçülmüştür. En düşük magnezyum değerleri ise, ekim ayında yapılan örneklemede Havuzlar jeotermal kaynağında (2,845 mg/l) ve Ağustos ayı örneklemesinde Kandilli içme suyu kuyusunda (9,104 mg/l) ölçülmüştür. Çalışma alanının genel litolojik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda Sebahattin ve Çevik kuyuları hariç Mg kaynağının ofiyolitler ve ofiyolitlerin hidrotermal alterasyonu ile oluşan manyezit cevherleşmelerinin olabileceği düşünülmektedir.

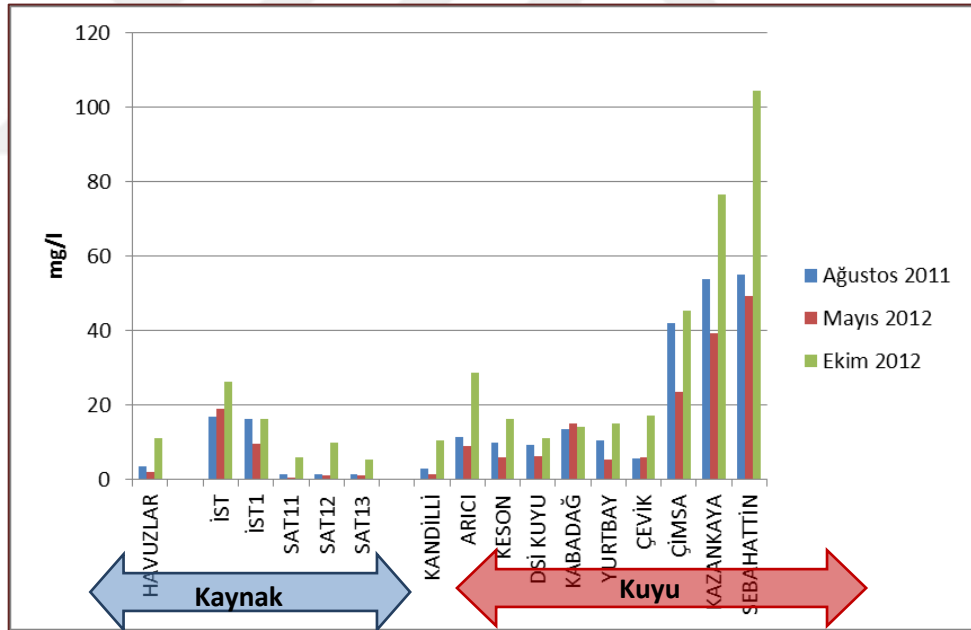
Sebahattin ve Çevik kuyuları ise sıg kuyular olup konumları itibari ile çiftlik içerisinde açılmış ve yakın çevresi hayvansal atık sahası olduğundan her dönemde yüksek Mg değeri sunmaktadır.



Şekil 4.11 Yeraltı sularında ölçülen magnezyum değerlerini grafik gösterimi (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa olanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

4.3.1.3 Sodyum (Na^+)

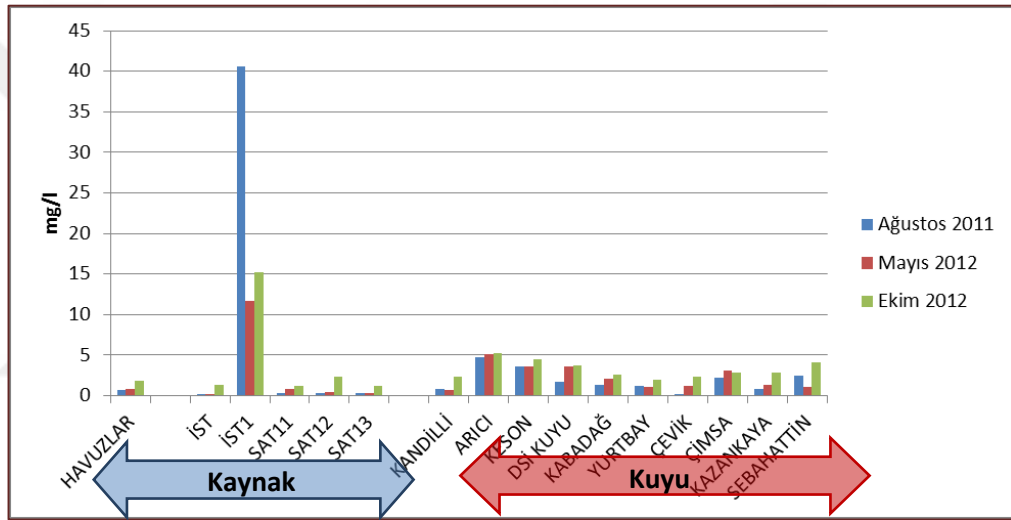
Çalışma alanında belirlenen örnek noktalarından 3 farklı dönemde alınan örneklerin analizleri sonucu elde edilen sodyum değerleri grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.12). Çalışma alanında özellikle glokofan şistlerin su-kaya etkileşim sürecinde zenginleştiği düşünülen sodyumun en yüksek değerlerinin Ekim ayında yapılan örneklemede olduğu göze çarpmaktadır. En düşük sodyum değerleri ise Mayıs ayında alınan örneklerin analizleri sonucu elde edilmiştir. 3 dönem göz önüne alındığında en düşük sodyum değeri Mayıs ayında Satılmış'ta bulunan SAT11 kaynağında (0,329 mg/l) iken en yüksek sodyum değeri Ekim ayında Sebahattin kuyusunda (104,18 mg/l) ölçülmüştür. Sebahattin kuyusunda ölçülen bu yüksek sodyum konsantrasyonu herhangi bir su-kayaç etkileşim süreciyle değil doğrudan kuyunun bulunduğu çiftlik içi lokasyonu ile ilişkilidir.



Şekil 4.12 Yeraltı sularında ölçülen sodyum değerlerinin grafik gösterimi (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa ovanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

4.3.1.4 Potasyum

Çalışma alanı yeraltı sularından alınan örneklerin potasyum sonuçlarının grafiği şekil 4.13'te verilmiştir. Grafiğe bakıldığı zaman her 3 örnekleme döneminde de potasyum miktarı birbirine yakın iken en yüksek potasyum değeri Ağustos ayında İST1 kaynağında (40,65 mg/l) ölçülmüştür. En düşük potasyum ise Ağustos ayında Çevik kuyusunda (0,075 mg/l) ölçülmüştür. Bölgedeki kaya grupları irdelendiğinde sularda gözlenen potasyumun bölgede geniş yayılımlar sunan tüf-tüfitlerin su-kaya etkileşim süreci sonunda zenginleştiği düşünülmektedir.

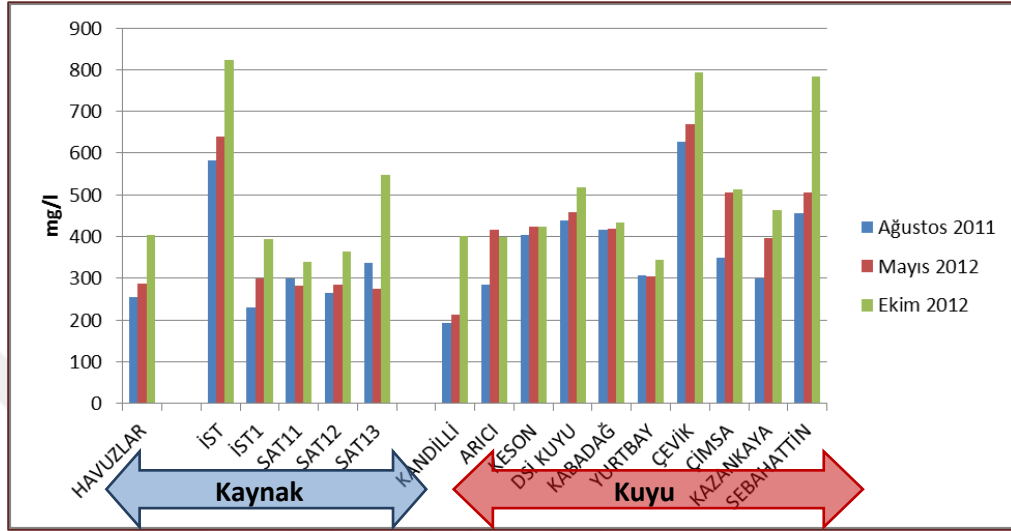


Şekil 4.13 Yeraltı sularında ölçülen potasyum değerlerinin grafiksel gösterimi (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa ovanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

4.3.1.5 Bikarbonat (HCO_3^-)

Çalışma alanı yeraltı sularından toplanan örneklerin bikarbonat analizleri sonucunda elde edilen değerler her 3 dönem için grafiğe aktarılmış ve şekil 4.14'teki grafik elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde oldukça dalgalı bir değişim göze çarpmaktadır. Ekim ayında alınan örneklerin bikarbonat değerleri diğer aylara göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. En yüksek bikarbonat değeri Ekim ayında İST kaynağından alınan örnekte görülürken (823,256 mg/l), en düşük bikarbonat değeri Ağustos ayında Kandilli

içme suyu kuyusunda (194,13 mg/l) ölçülmüştür. Şekil 4.14'teki HCO_3 grafiğine göre çalışma alanında doğudan batıya doğru bir artış veya azalıştan söz edilememektedir.

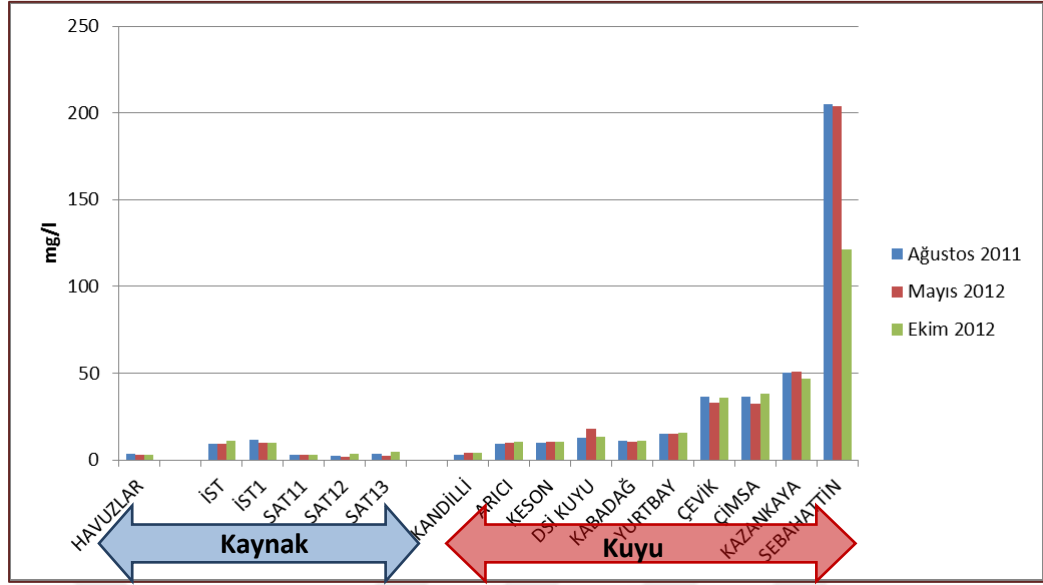


Şekil 4.14 Yeraltı sularında ölçülen bikarbonat değerlerinin grafik gösterimi (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa olanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

4.3.1.6 Klorür (Cl^-)

Çalışma alanı yeraltı sularından toplanan örneklerin klorür değerleri grafiklendirildiğinde (Şekil 4.15) her 3 dönemdeki klorür değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Sadece Sebahattin kuyusunda oldukça yüksek bir değerde olduğu göze çarpmaktadır. En yüksek klorür değeri Ağustos ayında Sebahattin kuyusundan alınan örnekte 205 mg/l iken en düşük klorür değeri Mayıs ayında SAT12 kaynağında 2,02 mg/l olarak ölçülmüştür.

Çalışma alanındaki kuyu örneklerinin batıdan doğuya yerleşimlerinde klorür konsantrasyonunda bir artış gözlenmektedir. Sebahattin kuyu örneğinde ise en yüksek noktaya ulaşmaktadır. Sebahattin kuyusundaki bu yükseklik daha önceki bölümlerde de açıklandığı üzere kuyunun lokasyonundan kaynaklı kirleticiler nedeniyledir.



Şekil 4.15 Yeraltı sularında ölçülen klorür değerlerinin grafik gösterimi (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa ovanın batısından doğusuna/menbadan mansaba doğrudur)

4.3.1.7 Sülfat (SO_4^{2-})

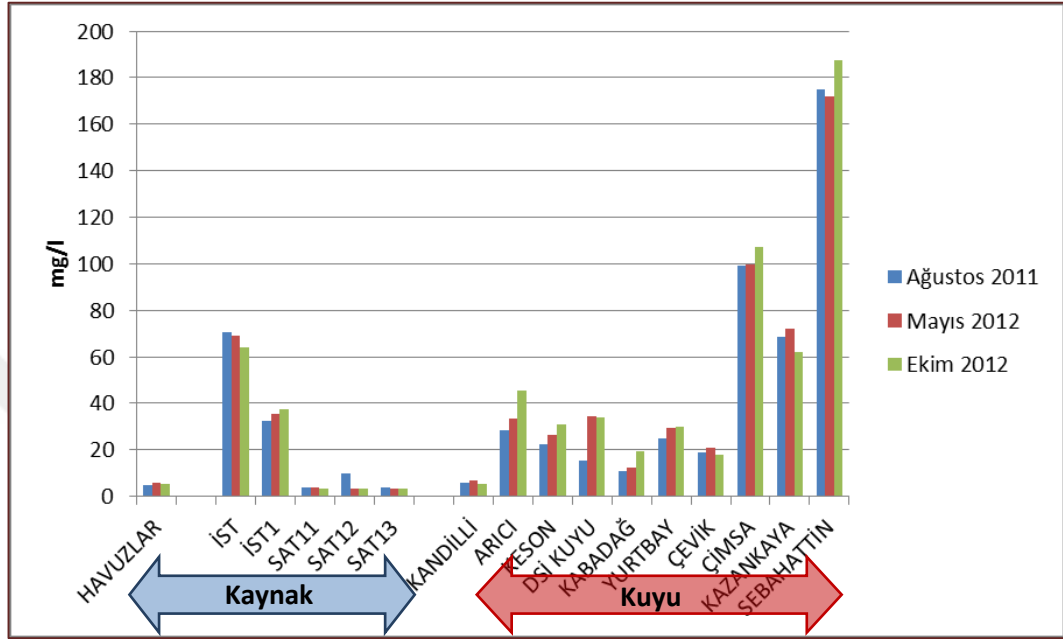
Sülfat parametresi için Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY), Türk Standartları (TS), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği (EU) tarafından sınır değerler belirtilmiştir (Çizelge 4.5). Bu sınır değerler ile sularda sülfat değerinin olması gereken maksimum değerler verilmiştir

Çizelge 4.5 Sülfat için sınır değerler

	SKKY (2004c)				TS 266 (TSE, 2005)		WHO (1993)	EU (1998)
	I	II	III	IV	GL	MAC	MAC	MAC
SO_4^{2-} (mg/l)	200	200	400	>400	25	250	250	250

Çalışma alanından alınan örneklerin sülfat sonuçlarının grafiği çizildiğinde (Şekil 4.16) yeraltı sularının her 3 dönemde elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu göze çarpmaktadır. 3 dönem değerleri incelendiğinde en yüksek sülfat değeri Ekim ayında Sebahattin kuyusundan (187,215 mg/l) alınan örnekte ölçülürken en düşük sülfat değeri Mayıs ayında Satılmış'ta bulunan SAT13 kaynağında (3,23 mg/l) ölçülmüştür.

Sebahattin kuyusunda nitrat ve nitrit kirliliğinin yanında sülfat kirliliği de söz konusudur. Bu değerler de Sebahattin kuyusunda noktasal olarak evsel bir kirlenmenin söz konusu olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.16 Yeraltı sularında ölçülen sülfat değerlerinin grafiksel gösterimi (Şekilde kaynak, kuyu ve akarsu örnek noktalarının sıralanışı soldan sağa olanın batısından doğusuna/menbada mansaba doğrudur)

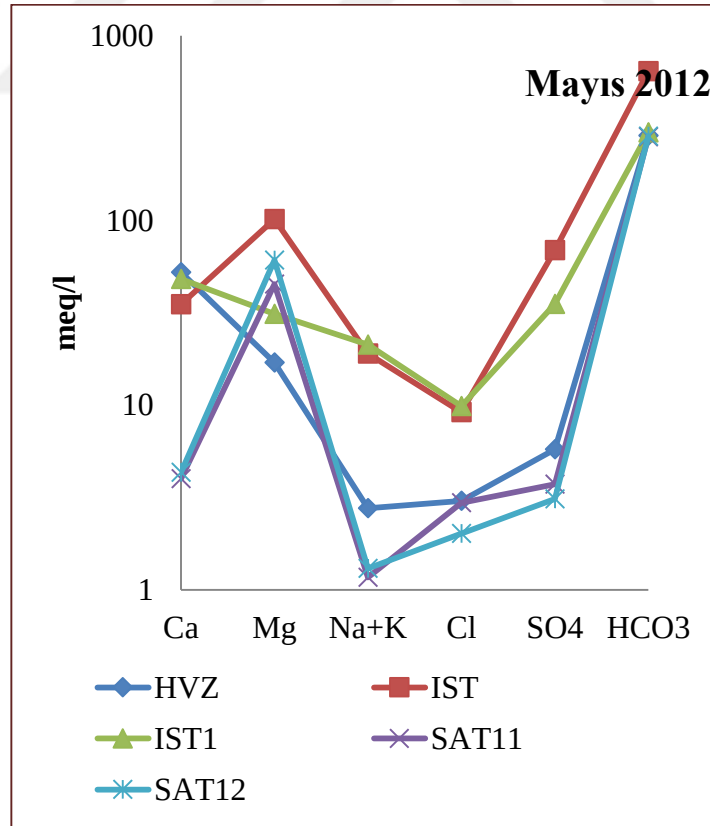
4.4 Suların Kimyasal Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Çalışma alanında belirlenen örnek noktalarından alınan suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisinin ortaya konulması, baskın anyon ve katyonlarının belirlenmesi amacı ile Schoeller Diyagramları çizilirken, suların kimyasal sınıflamasının yapılması ve kimyasal bileşimlerinin şekillenmesinde etken olan litolojinin tanımlanabilmesi amacı ile Piper Diyagramları çizilmiştir. Ayrıca sulama suları uygunluk grafikleri olan Wilcox Diyagramları da yine çalışma alanındaki suların sulama suyu açısından kullanılabilirliklerinin yorumlanması amacı ile çizilmiştir.

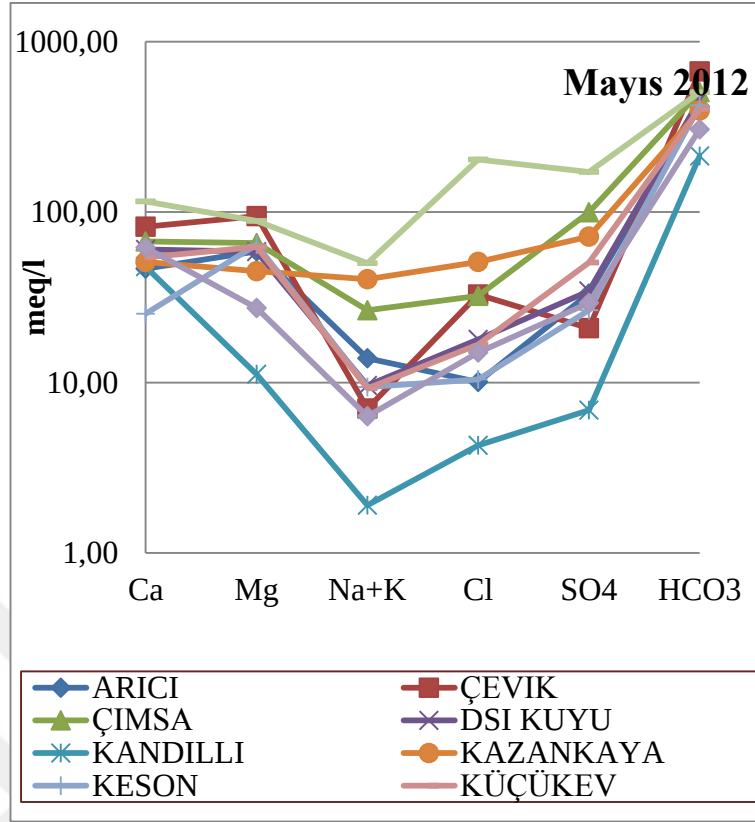
4.4.1 Schoeller Diyagramları

Çalışma alanındaki kaynak, kuyu ve akarsu örneklerinin hidrokimyasal analiz sonuçlarına göre Schoeller Diyagramları çizilmiştir (Şekil 4.17-4.22).

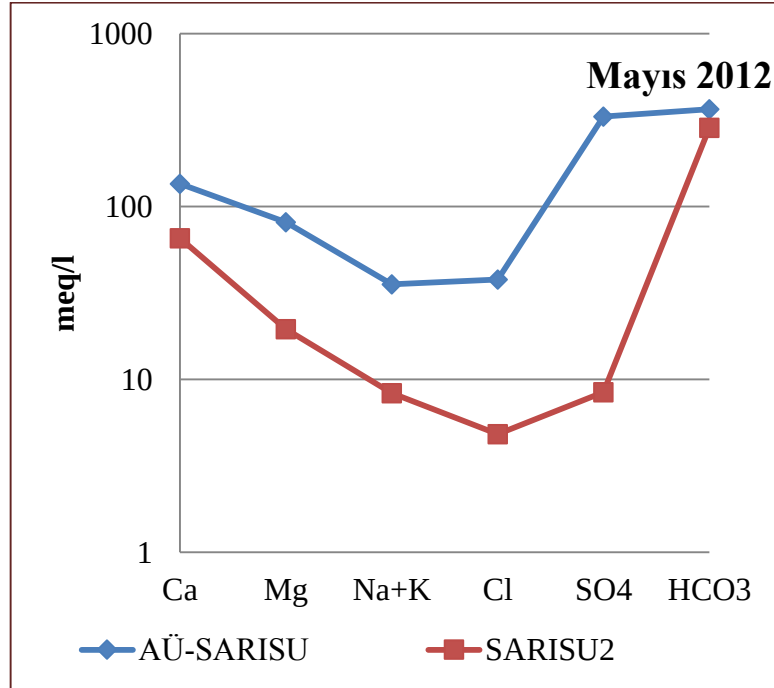
Çalışma alanındaki kaynaklardan Mayıs (2012)'ta alınan suların analiz sonuçlarına göre çizilmiş olan Schoeller Diyagramı'na (Şekil 4.17) göre Havuzlar kaynağı ve SAT11-SAT12 benzer yeraltı dolaşım süresine sahip, SAT11 ve SAT12 Mg-HCO_3 su tipinde iken HVZ kaynağı Ca-Mg-HCO_3 su tipindedir. İST1 ve İST kaynakları benzer özellikte, İST örneği Mg-HCO_3 su tipinde iken İST1 kaynağı $\text{Ca-Mg-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ su tipindedir. İST1 ve İST kaynakları daha HVZ, SAT11 ve SAT12'ye göre daha sık dolaşımli kaynaklardır. Havuzlar kaynağı, mermerleri temsil ederken, SAT11 ve SAT12 kaynakları ofiyolitik melanj birimlerini temsil etmektedir. İST ve İST1 kaynakları karışık bileşimli olup Porsuk Formasyonu'ndan alınmıştır.



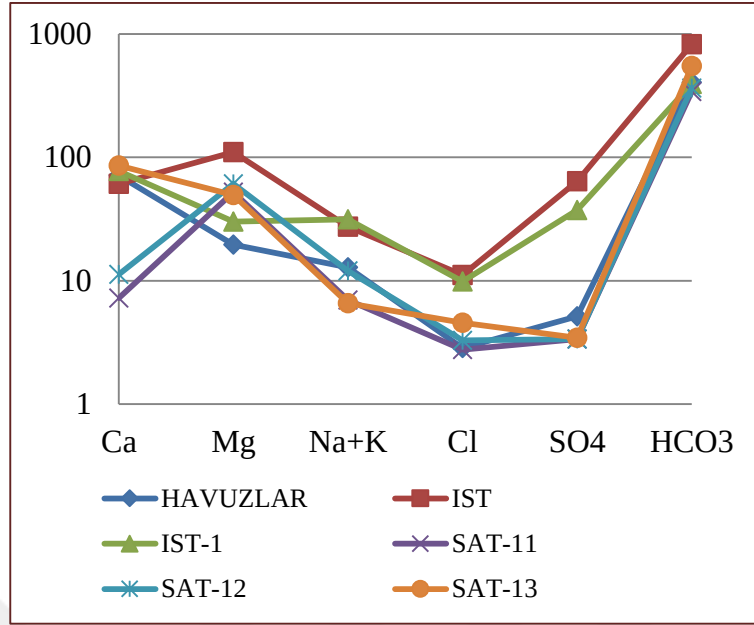
Şekil 4.17 Çalışma alanındaki kaynaklara ait Schoeller Diyagramı (Mayıs 2012)



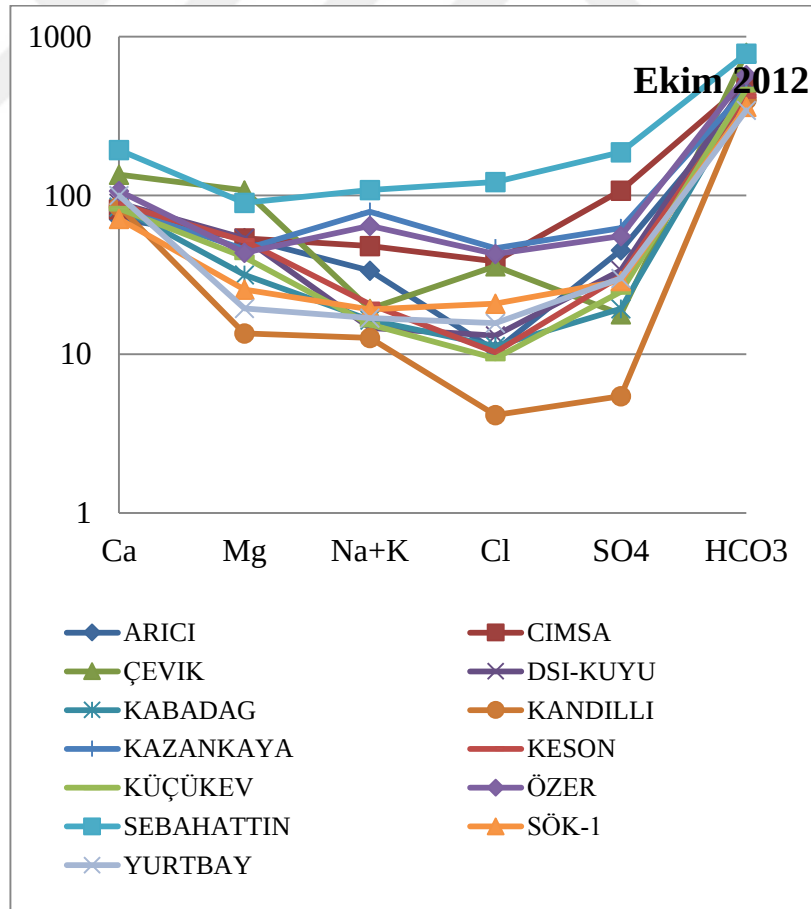
Şekil 4.18 Çalışma alanındaki kuyulara ait Schoeller Diyaqramı (Mayıs 2012)



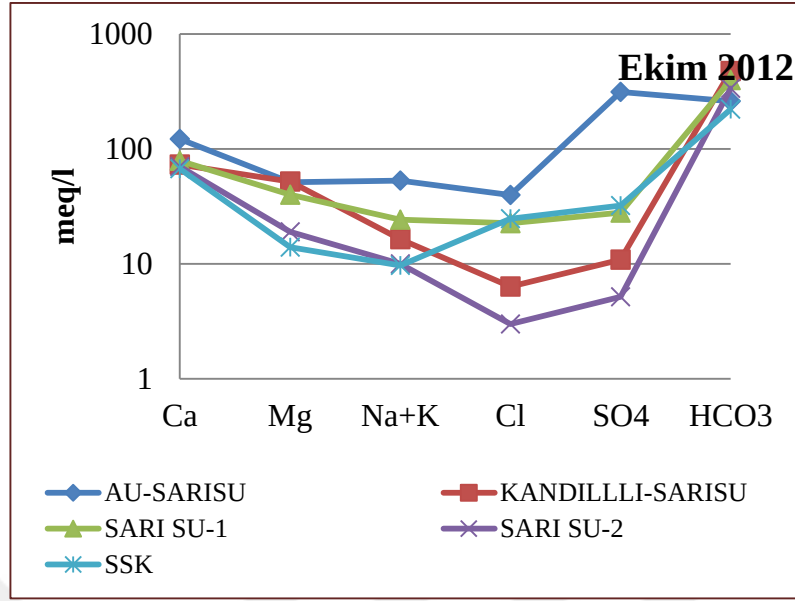
Şekil 4.19 Çalışma alanındaki akarsulara ait Schoeller Diyaqramı (Mayıs 2012)



Şekil 4.20 Çalışma alanında bulunan kaynaklara ait Schoeller Diyagramı (Ekim 2012)



Şekil 4.21 Çalışma alanındaki kuyulara ait Schoeller Diyagramı



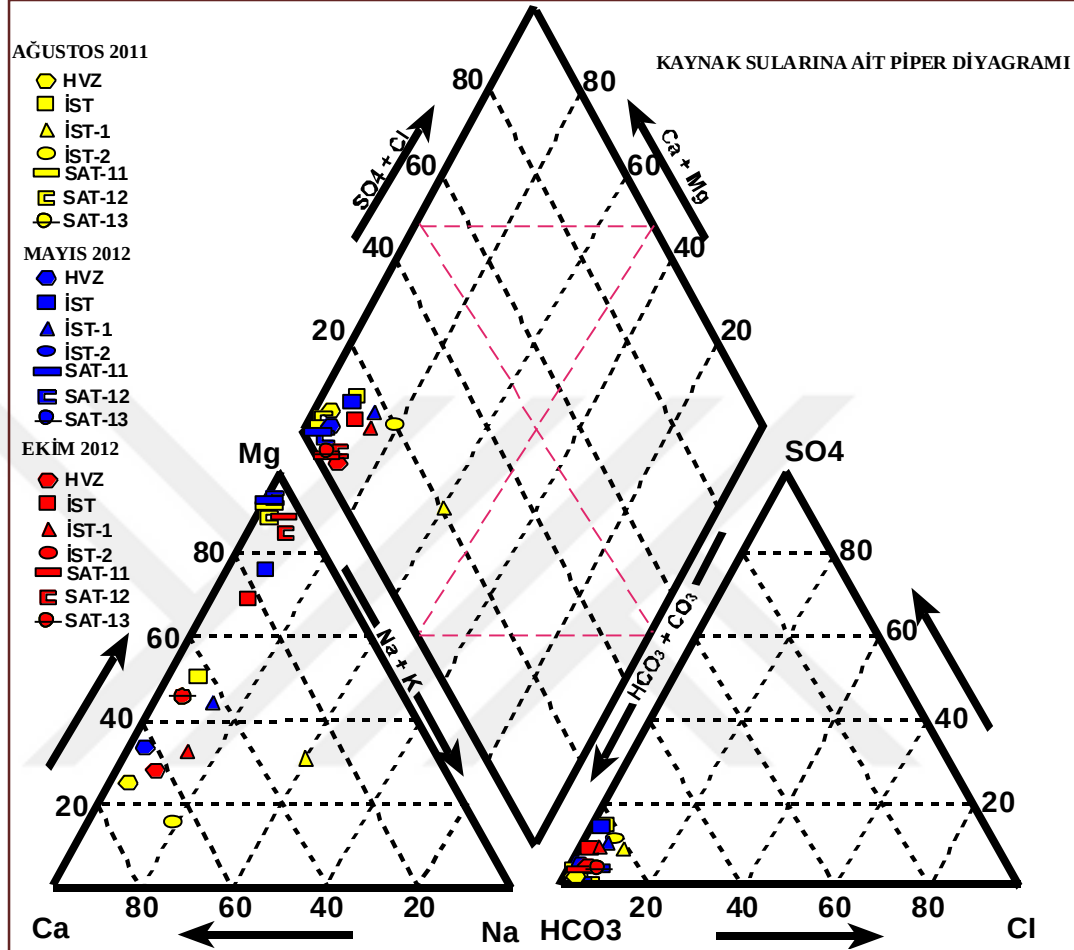
Şekil 4.22 Çalışma alanındaki akarsulara ait Schoeller Diyagramı

4.4.2 Piper Diyagramları

Piper (1944) tarafından geliştirilen üçgen diyagramlardan oluşan bir metottur. Piper diyagramında konsantrasyonlar yüzde olarak temsil edilir. Her analiz sadece bir nokta ile temsil edildiğinden, toplam konsantrasyonları çok farklı olan suların bu diyagram üzerindeki gösterimi aynı olabilir. Sadece bir üçgen diyagram kullanılarak çok sayıda örnek karışıklık olmadan gösterilebilir ve farklı iki kaynaktan karışan suların etkisini göstermek açısından kullanışlıdır (Freeze ve Cherry 1979).

Kaynak, sığ ve derin kuyulardan yapılan örneklemelerin analiz sonuçlarının dağılımını gösteren Piper Diyagramında örneklerin tamamı 5. bölgede yer almaktadır (Şekil 4.23-4.25). Piper Diyagramı'na yerleştirilen örneklerin egemen iyon bolluk dizilimleri $Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) / HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$ olup, sular karbonat alkalinitesi karbonat olmayan alkaliniteden fazla karbonat sertliği yüksek $CaHCO_3$ tipli sular sınıfına düşmektedir. Bu suların $Ca-HCO_3$ fasiyesi göstermeleri suların karbonat kökenli bir akiferden beslendiklerini göstermektedir. Sadece Sebahattin örneğinde diğerlerinden farklı bir kimyasal bileşim görülmüştür. Bunun nedeni de kuyunun lokasyonundan kaynaklanabileceği olabilir. Sebahattin adlı şahıs kuyusu evin bahçesinde olup evsel

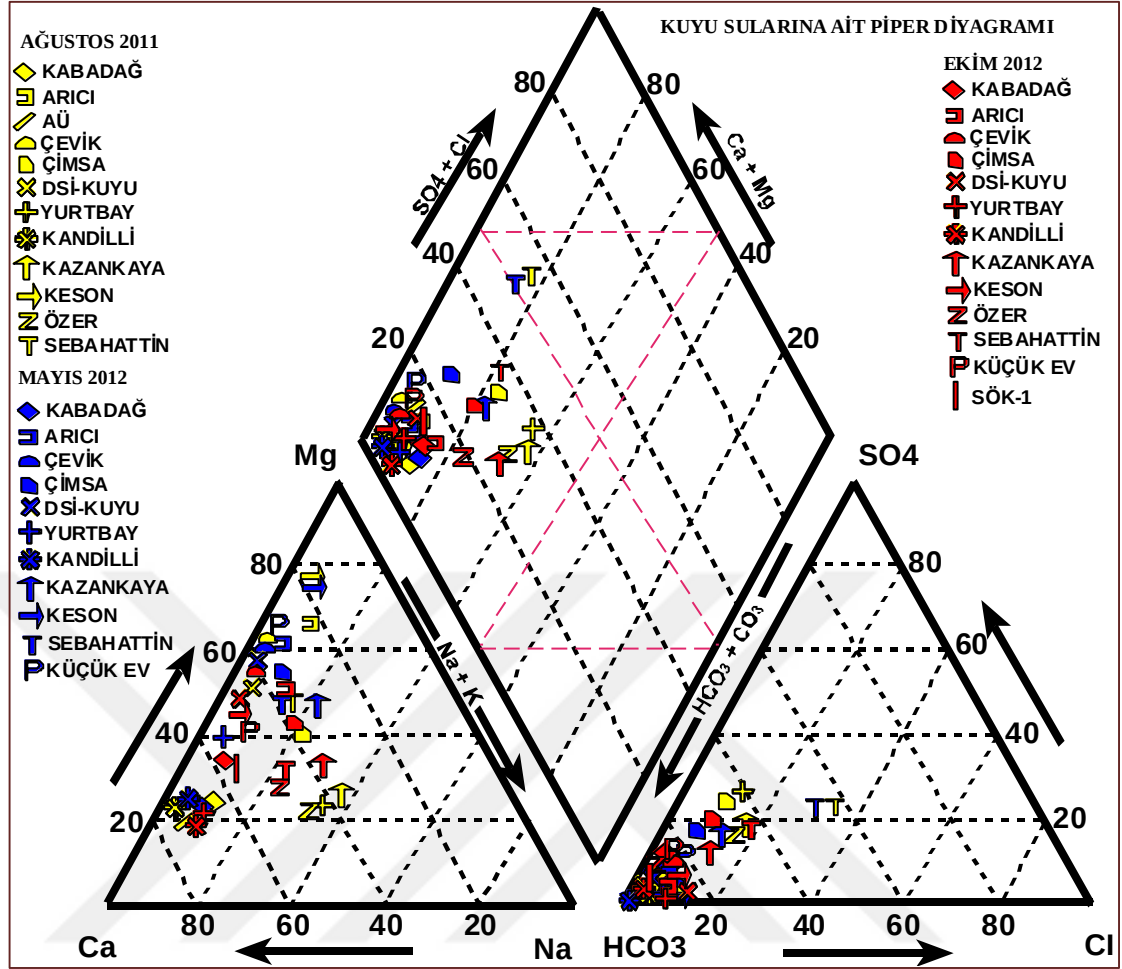
kirliliğe maruz kalabileceği düşünülmektedir. Yine bu kuyunun nitrat ve fosfat parametresinin de oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.23 Çalışma alanındaki kaynak sularına ait Piper Diyagramı

Katyonlar bakımından Ca^{+2} 'lu, Mg^{+2} 'lu ve karışık bileşimli, anyonlar bakımından HCO_3 'lü sulardır. Eşkenar dörtgen üzerinde Ca-Mg- HCO_3 'lü sular bölgesine düşmektedir. Sadece bir örnekte Na+K oranı kısmen daha yüksektir.

Çalışma alanında bulunan kuyulardan alınan sular Piper Diyagramı üzerine yerleştirildiğinde suların katyonlar bakımından Ca^{+2} 'lu, Mg^{+2} 'lu ve karışık bileşimli, anyonlar bakımından HCO_3 'lü sular olduğu görülmektedir. Eşkenar dörtgen üzerinde Ca-Mg- HCO_3 'lü sular bölgesine düşmektedir.

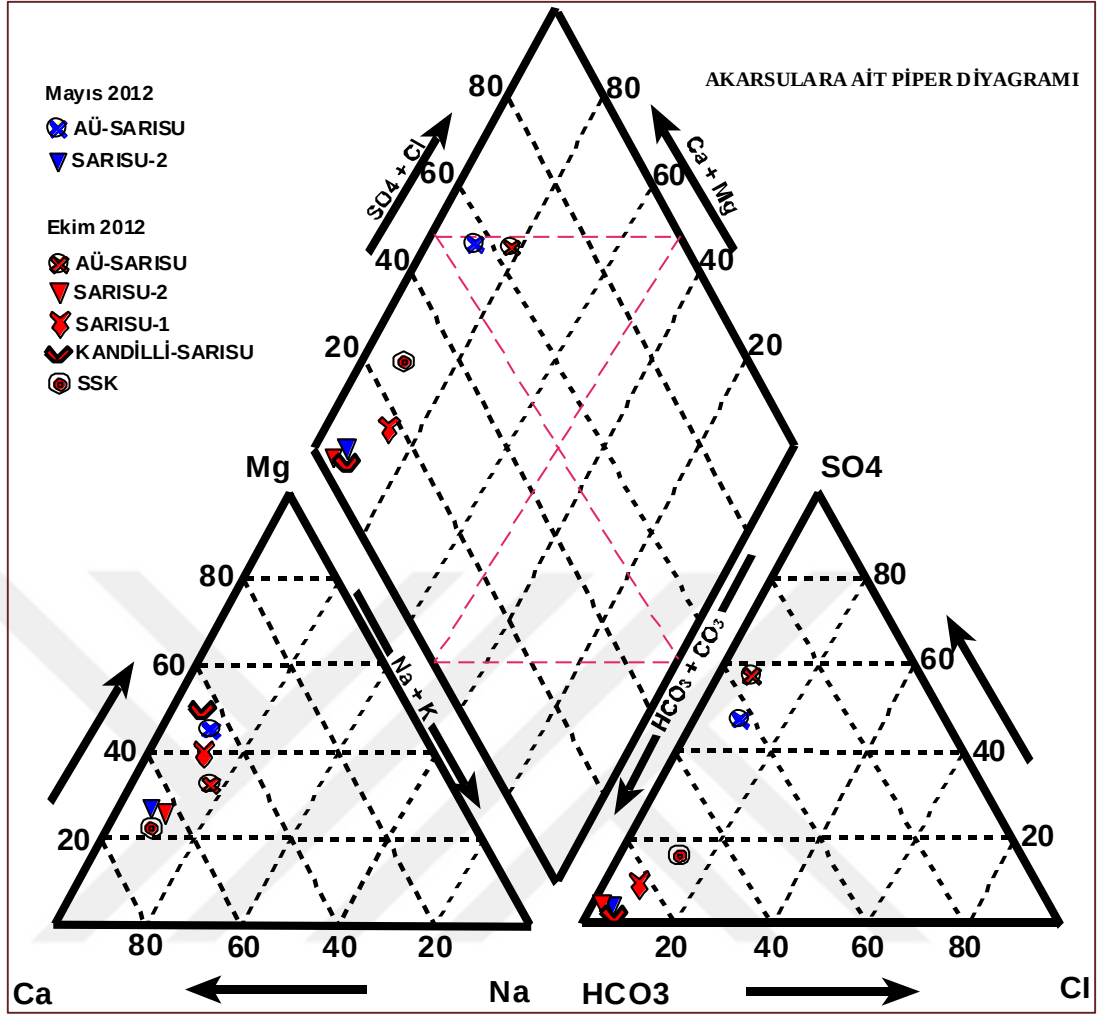


Şekil 4.24 Çalışma alanındaki kuyu sularına ait Piper Diyagramı

Çalışma alanında Sarısu Deresi'nden alınan sular Ca^{+2} 'lu ve Mg^{+2} 'lu ve HCO_3 'lü sulardır. Sadece örneklerden iki tanesinin SO_4 içeriği fazladır.

4.4.3 Wilcox Diyagramı

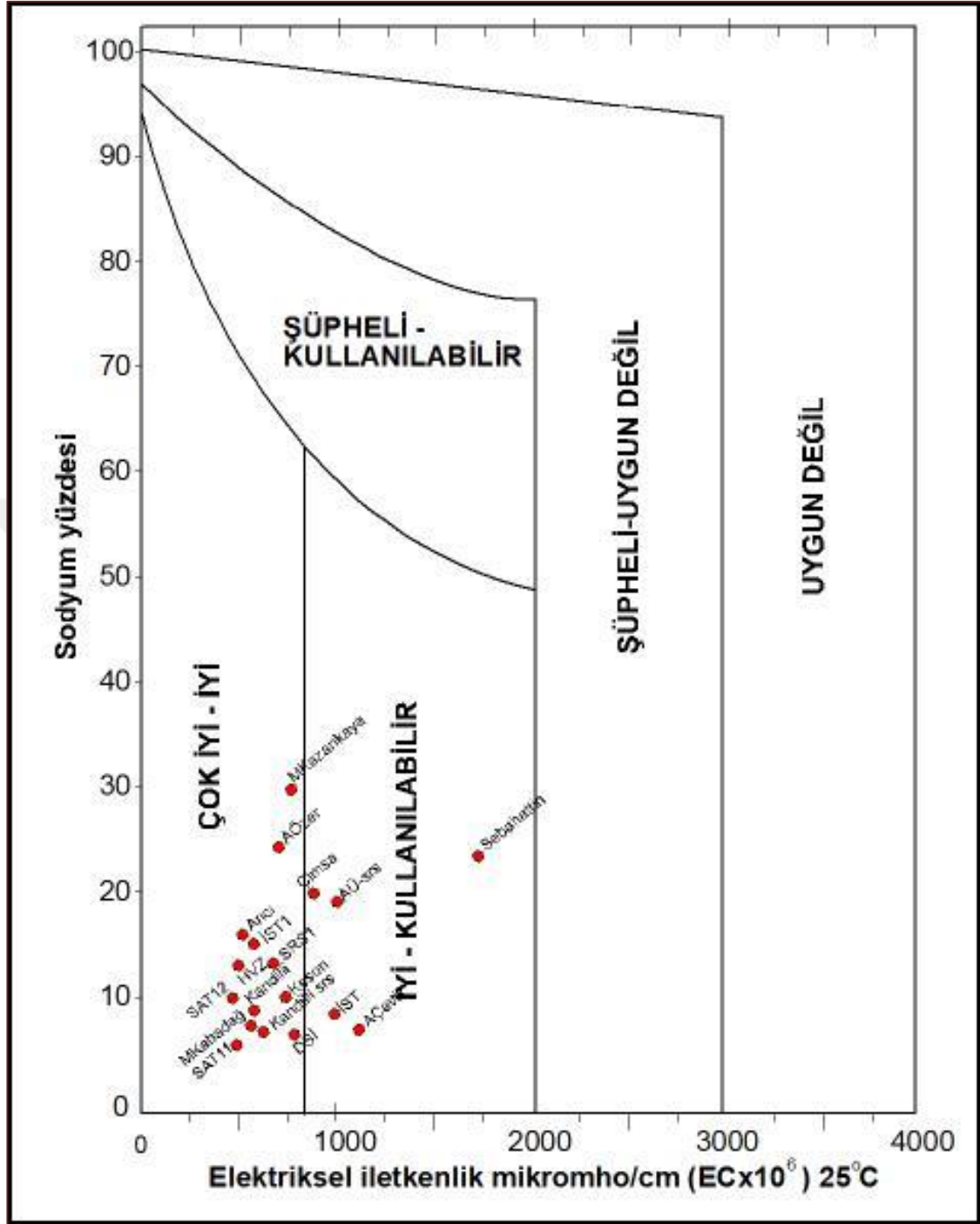
Çalışma alanından 2012 yılı Ekim ayında alınan suların %Na değerleri hesaplanmış ve çizelge 4.6'da verilmiştir. Elde edilen sodyum yüzdesi değerleri ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre örneklerin suların çoğunluğu çok iyi-iyi sulama suyu sınıflamasında iken sadece Sebahattin örneği şüpheli-uygun değil sınıfında yer almaktadır (Şekil 4.26).



Şekil 4.25 Çalışma alanındaki akarsulara ait Piper Diyagramı

Çizelge 4.6 Ekim 2012’de alınan örneklerin EC ve hesaplanan %Na değerleri

Örnek Adı	%Na	EC (µS/cm)	Örnek Adı	%Na	EC (µS/cm)
ARICI	14.53	673	KESON	8.58	708
AÜ-SARISU	17.7	1003	KÜÇÜKEV	7.42	629
ÇEVİK	4.82	1129	ÖZER	23.1	766
ÇİMSA	19.24	980	SARISU1	11.76	654
DSİ KUYU	5.98	712	SARISU2	7.3	446
HAVUZLAR	12.16	433	SAT11	5.65	437
İST1	14.62	628	SAT12	7.86	410
İST	8.71	1005	SAT13	3.03	424
KANDİLLİ	8.64	455	SEBAHATTİN	21.24	1578
KANDİLLİ SARISU	7.16	566	SÖK1	12.11	639
KABADAĞ	8.88	658	SSK	7.83	683
KAZANKAYA	29.8	790	YURT BAY	9.57	736

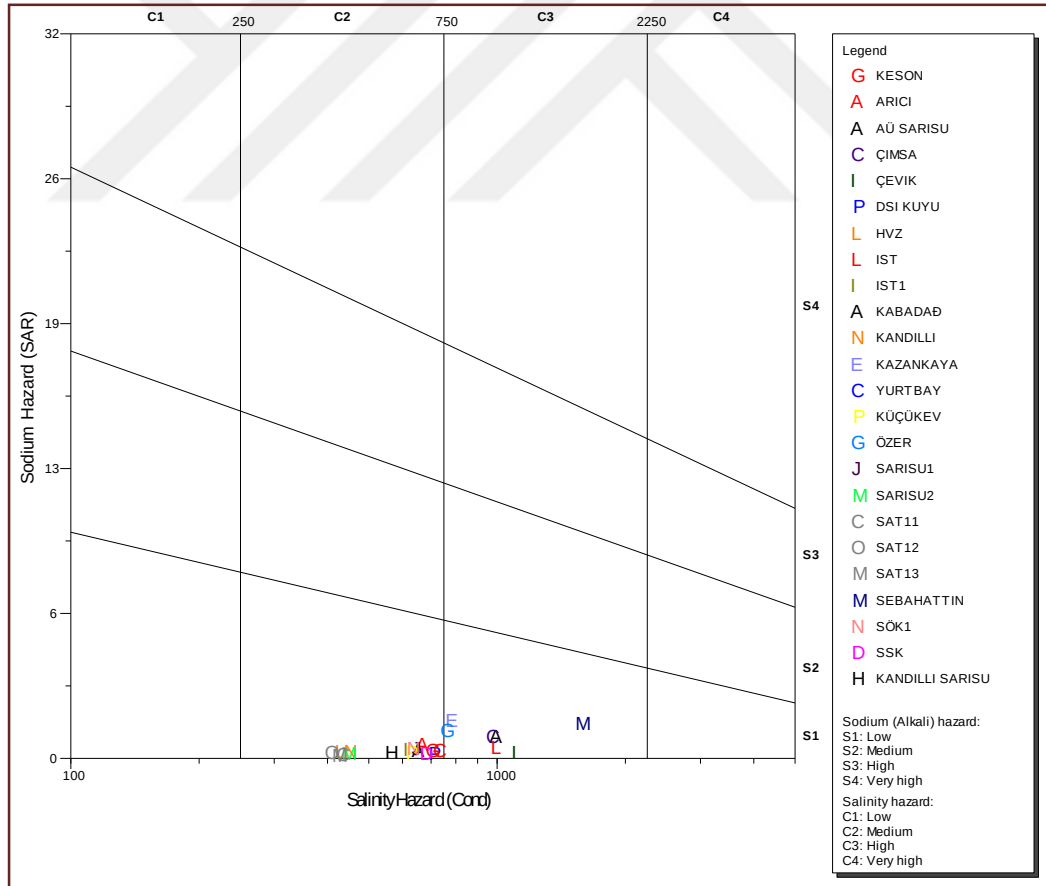


Şekil 4.26 İnceleme alanındaki suların Wilcox Diyagramı (Ekim 2012)

4.4.4 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Dönemsel olarak farklılık göstermeyen örnekler ABD Tuzluluk Sınıflaması diyagramında C2-S1 ve C3-S1 bölgesinde yer almaktadır (Şekil 4.27.). Buna göre C2-S1 bölgesindeki sular, orta tuzlulukta ve az sodyumlu sular olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sular orta derecede tuza ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılabilirken, sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygundur.

C3-S1 bölgesindeki sular (Sebahattin, Çevik, İST, Kazankaya, Özer ve AÜ Sarısı) ise fazla tuzlu ve az sodyumlu sular olarak sınıflandırılmaktadır. Bu suların kullanıldığı alanlarda drenaj yapılması gerekmektedir. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her tür tarım için uygundur.



Şekil 4.27 İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı (Ekim 2012)

4.5 Jeokimya Çalışmaları ve Su-Kayaç Etkileşimi

Ovada, su-kayaç etkileşim süreçlerini açıklayabilmek amacıyla çalışma alanından alınan taze, kısmen altere ve yoğun altere kayaç numunelerinin kimyasal analizleri yapılmış ve ateşte kayıp miktarları ortaya konulmuştur.

İnceleme alanında yüzeyleyen birimlerin jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Doğal suların iyon içeriğinin %90’ dan fazlasını oluşturan iyonlar ana iyonlar olarak adlandırılmaktadır. Bu ana iyonlar Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , HCO_3^- ve SO_4^{-2} ’ dir. Çalışma alanındaki kayaçların bu ana iyonların konsantrasyonları üzerindeki etkileri incelenecek olursa;

Sodyum (Na^+):

Doğada en yaygın olarak bulunan alkali metal olan sodyumun meydana getirdiği bileşikler suda kolaylıkla çözünabilmektedir. Bundan dolayı kaynak ve yeraltı sularının hemen hepsinde belirli miktarlarda sodyum içermeleri beklenmektedir.

Yeraltı sularındaki Na^+ içerikleri için litolojik kaynakları magmatik kayaçlar, sodyumlu killer, feldispatlar ve evaporitler oluşturmaktadır (Goldschmidt 1958). İnceleme alanında en yüksek Na^+ içeriği bazaltlarda ve şistlerde gözlenmiştir.

Çizelge 4.7 Çalışma alanından alınan kayaç örneklerinin ana element oksit ve iz element analiz sonuçları

Element Dimension	Na2O %	MgO %	Al2O3 %	SiO2 %	P2O5 %	SO3 %	Cl %	K2O %	CaO %	TiO2 %	V2O5 %	Cr2O3 %	MnO %	Fe2O3 %	LOI	TOTAL
Bazalt	3.576	2.61	15.83	59.38	0.483	0.2144	0.024	4.103	5.76	0.897	0.025	0.016	0.113	5.972	0.95	99.96
CUKG	0.079	0.02	0.07	0.27	0.015	0.0930	0.010	0.007	61.74	0.010	0.002	0.002	0.115	0.406	35.78	98.62
IK1	0.079	0.02	0.08	0.32	0.004	0.0698	0.012	0.007	59.24	0.011	0.002	0.001	0.027	0.061	39.14	99.08
IM2	0.088	0.02	0.10	0.43	0.004	0.0548	0.010	0.007	63.80	0.009	0.002	0.003	0.005	0.030	35.13	99.70
IN1	0.088	0.02	0.17	0.49	0.004	0.0607	0.012	0.007	63.92	0.012	0.002	0.002	0.006	0.045	34.11	98.95
ISM1	0.207	9.43	7.94	35.74	0.203	0.1706	0.006	0.920	15.69	2.325	0.051	0.076	0.137	10.642	15.74	99.28
ISM2	0.086	18.88	7.55	47.71	0.094	0.1885	0.000	0.351	6.05	1.040	0.035	0.165	0.229	11.021	6.54	99.94
KUMBET1	0.072	1.95	6.61	30.00	0.089	0.1575	0.015	0.976	30.05	0.466	0.013	0.027	0.072	3.640	24.78	98.91
OKL1	0.081	0.05	0.35	1.43	0.018	0.1270	0.015	0.008	59.50	0.022	0.002	0.004	0.004	0.283	37.54	99.43
OKL2	0.074	0.20	1.31	4.84	0.037	0.0978	0.011	0.219	55.56	0.093	0.002	0.008	0.016	0.883	36.4	99.75
OKL3	0.087	0.03	0.09	0.31	0.004	0.0925	0.013	0.007	64.37	0.002	0.002	0.003	0.005	0.081	32.89	97.98
SAT2	0.081	0.04	0.16	0.60	0.004	0.0684	0.012	0.007	62.54	0.011	0.002	0.005	0.004	0.068	36.24	99.83
SAT3	0.068	3.26	0.02	78.75	0.333	0.3211	0.000	0.166	2.21	0.031	0.002	0.185	0.066	4.025	9.56	98.99
SAT4	0.057	33.49	0.01	39.60	0.002	0.2676	0.035	0.106	1.24	0.002	0.001	0.185	0.077	8.319	15.94	99.33
SAT5	0.059	32.33	0.01	33.84	0.002	0.2017	0.011	0.095	0.30	0.002	0.001	0.347	0.107	7.938	23.85	99.09
SAT6	0.035	40.45	0.00	1.57	0.001	0.1108	0.011	0.005	0.97	0.000	0.003	0.001	0.011	0.136	54.16	97.47
SAT7	0.056	33.90	0.01	37.27	0.002	0.2024	0.014	0.093	0.81	0.002	0.001	0.295	0.107	8.095	19.12	99.98
SATKct	0.083	0.03	0.17	0.48	0.004	0.1123	0.016	0.007	54.86	0.011	0.002	0.002	0.002	0.033	43.56	99.36
YUS1	0.088	16.18	0.73	5.19	0.004	0.1424	0.019	0.142	30.46	0.041	0.010	0.002	0.011	0.399	45.11	98.51
YUS2	0.063	13.41	4.19	26.27	0.004	0.1577	0.006	0.466	19.43	0.265	0.013	0.068	0.091	3.406	31.84	99.68
Zem mermer	0.083	0.02	0.10	0.30	0.004	0.0579	0.010	0.007	59.94	0.007	0.002	0.002	0.015	0.030	38.04	98.61

Element Dimension	Na %	Mg %	Al %	Si %	P %	S %	Cl %	K %	Ca %	Ti %	V %	Cr %	Mn %	Fe %
Bazalt	2.653	1.57	8.38	27.71	0.211	0.0858	0.024	3.404	4.12	0.538	0.014	0.011	0.088	4.181
CUKG	0.058	0.01	0.04	0.13	0.007	0.0372	0.009	0.006	44.10	0.006	0.001	0.001	0.089	0.284
IK1	0.058	0.01	0.04	0.15	0.002	0.0279	0.012	0.006	42.32	0.007	0.001	0.001	0.021	0.043
IM2	0.065	0.01	0.05	0.20	0.002	0.0219	0.010	0.006	45.57	0.005	0.001	0.002	0.004	0.021
IN1	0.066	0.01	0.09	0.23	0.002	0.0243	0.011	0.006	45.66	0.007	0.001	0.002	0.005	0.031
ISM1	0.154	5.66	4.20	16.68	0.089	0.0682	0.006	0.764	11.21	1.395	0.029	0.052	0.106	7.449
ISM2	0.064	11.33	4.00	22.27	0.041	0.0754	0.000	0.291	4.32	0.624	0.020	0.113	0.178	7.715
KUMBET1	0.053	1.17	3.50	14.00	0.039	0.0630	0.014	0.810	21.46	0.280	0.008	0.019	0.056	2.548
OKL1	0.060	0.03	0.19	0.67	0.008	0.0508	0.015	0.006	42.50	0.013	0.001	0.003	0.003	0.198
OKL2	0.055	0.12	0.70	2.26	0.016	0.0391	0.011	0.181	39.68	0.056	0.001	0.006	0.012	0.618
OKL3	0.065	0.02	0.05	0.15	0.002	0.0370	0.012	0.006	45.98	0.001	0.001	0.002	0.003	0.057
SAT2	0.060	0.02	0.08	0.28	0.002	0.0274	0.012	0.006	44.67	0.007	0.001	0.003	0.003	0.048
SAT3	0.050	1.96	0.01	36.75	0.145	0.1284	0.000	0.138	1.58	0.018	0.001	0.127	0.051	2.818
SAT4	0.042	20.09	0.01	18.48	0.001	0.1070	0.034	0.088	0.89	0.001	0.001	0.126	0.060	5.824
SAT5	0.044	19.40	0.01	15.79	0.001	0.0807	0.010	0.079	0.21	0.001	0.001	0.237	0.083	5.556
SAT6	0.026	24.27	0.00	0.73	0.000	0.0443	0.010	0.004	0.70	0.000	0.002	0.001	0.008	0.095
SAT7	0.042	20.34	0.01	17.39	0.001	0.0810	0.014	0.077	0.58	0.001	0.001	0.202	0.083	5.667
SATKct	0.062	0.02	0.09	0.22	0.002	0.0449	0.015	0.006	39.19	0.006	0.001	0.001	0.002	0.023
YUS1	0.050	9.71	0.39	2.42	0.002	0.0569	0.019	0.118	21.76	0.025	0.006	0.001	0.008	0.279
YUS2	0.046	8.05	2.22	12.26	0.002	0.0631	0.006	0.387	13.88	0.159	0.007	0.046	0.071	2.384
Zem mermer	0.061	0.01	0.05	0.14	0.002	0.0232	0.010	0.006	42.81	0.004	0.001	0.001	0.012	0.021

Çizelge 4.7 Çalışma alanından alınan kayaç örneklerinin ana element oksit ve iz element analiz sonuçları (devam)

Element	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	W	Hg	Tl
Dimension	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
Bazalt	52.8	55.8	20.7	60.4	17.3	1.4	1.7	<0.8	1.4	143.6	677.4	24.8	442.8	29.3	198.1	<2.8	<1.6
CUKG	13.7	29	27.7	<1.0	<1.1	<0.8	44.9	<0.5	1.9	0.6	72.5	<0.7	<5.1	<3.6	10.1	<1.5	<1.5
IK1	7	<3.8	1.5	9.6	1.3	<0.8	1.5	<0.5	1.7	0.8	40.9	<0.7	<5.3	<3.9	3.7	<1.4	<1.3
IM2	<3.9	<4.4	<2.0	<1.0	1.7	1.1	<0.6	<0.5	0.7	1.5	154.5	<0.7	<6.3	<4.2	<4.6	<1.4	<1.2
IN1	<4.0	<4.5	<2.1	1.6	<1.1	<0.8	0.8	<0.5	<0.4	0.6	124.7	<0.7	7	<4.6	7.8	<1.5	<1.2
ISM1	70.1	129.4	35.2	60.8	15.4	1	<0.7	<0.5	<0.4	19.8	409	17.6	164.7	38.2	14.8	<2.0	<1.8
ISM2	64	942.4	59.3	84.5	14.3	1.1	<0.6	<0.4	<0.4	7.5	81.6	15.6	133.6	31.2	<1.1	<1.4	<1.5
KUMBET1	30.1	121.5	9.1	35.7	11.2	<0.8	4.5	<0.5	1	62	245.9	20.4	145.8	15.4	<4.8	<1.5	0.9
OKL1	<7.3	23.1	<1.5	1.8	3.3	<0.8	10.9	<0.5	5.7	4.5	242.9	<0.8	9.4	5.4	<3.8	<1.3	1.7
OKL2	<12	62.8	3.3	8.7	2.8	1.3	11	<0.5	2.2	30	129.6	2.2	21.8	<3.9	<4.2	<1.5	1.1
OKL3	4.3	<4.1	<1.5	3.9	1.6	<0.9	6.4	<0.5	4.7	1	91	<0.7	<5.4	<4.1	18.8	<1.6	1.8
SAT2	11.2	9.4	<1.7	4.1	<1.1	<0.9	1.2	0.6	1.4	1.8	96.5	<0.7	13.5	6.6	14.7	1.2	2.1
SAT3	98	955.5	6.4	25.3	2	<2.3	86.9	<0.9	1.7	3.5	8	<0.6	9.8	<2.9	509.9	<3.5	1.1
SAT4	119	2361	2.7	28.1	<0.8	0.5	1.4	<0.3	1.9	<0.4	14.4	<0.6	6.3	<3.0	<1.5	<1.0	<0.9
SAT5	122	1931	5.6	33	1.8	<0.6	<0.4	<0.3	0.7	<0.3	<0.4	<0.6	<3.9	<2.7	<1.3	<1.0	<0.8
SAT6	10.7	50.1	2	<0.4	0.5	<0.3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	12.1	1.7	<2.0	<1.6	7.9	<0.6	<0.4
SAT7	125	2068	13.5	36.8	2	<0.7	<0.4	<0.4	<0.3	<0.4	4.2	<0.6	<3.8	3.9	<1.4	<1.2	<0.8
SATKct	4.7	<3.5	<1.4	0.8	<1.0	<0.8	4.9	<0.5	5.3	0.8	139.9	<0.7	<5.3	<3.7	10	<1.3	0.9
YUS1	19	12.5	0.7	4.7	2.2	<0.6	3.8	<0.4	2.9	16.9	821.1	<0.7	14.9	<2.9	6	<1.1	<1.0
YUS2	30.1	242	11.7	20	4.9	<0.7	2.4	<0.4	1.2	24.4	591.3	40.9	47.5	6.8	<5.6	<1.2	<1.3
Zem mermer	<3.8	<4.0	<1.6	<0.9	1.7	<0.8	<0.6	<0.5	<0.5	0.7	117.7	3.4	6.3	<3.8	6.5	<1.4	<1.2

Element	Mo	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	Pb	Bi	Th	U
Dimension	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
Bazalt	6.8	<0.9	<0.9	<1.0	<1.0	<1.3	<2.5	4.6	131.2	65.3	114.7	9.9	5.6	23.2	<1.0	19.1	7.2
CUKG	4.7	1	<0.9	<1.0	<1.0	<1.3	6.2	<3.7	156.2	<7.5	<10	<5.9	<6.4	1.1	<1.2	1.6	<1.1
IK1	6.4	<1.0	<1.0	<1.1	<1.0	1.4	7.1	<3.8	14.6	<7.5	<10	<4.9	<4.0	0.5	<1.1	0.8	<9.5
IM2	3.9	1.3	<1.1	<1.1	<1.2	<1.4	<2.3	<3.8	11.7	<7.7	<11	<4.8	<3.8	3	0.6	2.4	<1.2
IN1	6.4	1.8	<1.3	<1.3	<1.2	<1.4	<2.3	<3.7	9.6	11.8	<10	<4.6	4.7	1.7	<1.0	3.3	<1.3
ISM1	4.7	<1.0	<1.0	1.7	<1.0	0.8	<2.2	<3.8	124.4	33.9	61.1	<6.1	<7.4	2.5	<1.2	<1.4	<9.6
ISM2	3.8	1.1	<1.0	2.7	<1.0	<1.3	<2.2	5.9	61	28.5	49.9	<7.3	<12	1.6	<1.0	<1.4	9.5
KUMBET1	<3.6	<1.0	<1.0	2.4	<1.0	<1.4	11.6	<4.0	490.2	20.5	38.6	<4.3	<5.1	16.4	<1.1	10.1	<1.1
OKL1	5.5	<1.0	<1.0	<1.1	1.8	<1.3	10.4	6.1	70.1	8.7	<10	<4.7	<4.2	3.2	<1.1	1.9	15.2
OKL2	<3.7	<1.0	<1.0	<1.1	4.8	0.6	7.1	26.1	55.2	<7.6	18.4	<4.4	<4.6	5.3	1.1	2.3	<9.9
OKL3	7.6	<1.0	<0.9	0.9	<1.1	<1.3	15.1	4.4	28.1	12.4	<10	<4.5	<4.1	2.8	0.4	1.7	<9.6
SAT2	<3.9	1.7	<1.2	0.9	<1.2	1.8	4	<3.9	34.2	10.3	16.1	5.2	<3.9	2.8	<1.1	1.8	27.4
SAT3	<2.9	0.8	1.4	<0.9	<1.0	<1.2	3.8	3.6	32.8	<7.5	14.2	<3.7	<8.2	2.4	<1.1	<0.8	<6.8
SAT4	8.1	1.7	<0.8	1	<0.9	<1.2	<2.1	6	<5.1	<7.3	<10	<4.4	<12	<1.1	<0.7	<1.1	<6.6
SAT5	4.9	0.9	<0.8	<0.8	<0.9	<1.2	<2.1	<3.6	5.6	14.5	<10	<4.3	<11	<1.1	<0.6	<1.0	<7.5
SAT6	<1.4	<0.6	<0.6	<0.7	<0.8	1.5	<1.9	5.8	<4.9	<7.1	<9.7	<1.8	<2.2	<0.6	<0.4	<0.5	<3.5
SAT7	1.8	<0.8	<0.8	<0.9	<0.9	<1.2	3.5	<3.6	11.8	15	<10	<4.9	<12	<1.1	<0.8	<1.1	<7.0
SATKct	2.4	<1.0	0.5	<1.1	<1.0	<1.3	12.7	<3.7	70.6	8.5	17.8	<4.1	<3.4	2.1	<1.0	1.5	<9.9
YUS1	<2.7	<0.8	<0.8	<0.9	<0.9	<1.2	18.2	16.2	76.3	<7.7	<10	3	<3.2	4.1	<0.8	<1.0	<7.7
YUS2	<2.8	2	<0.9	1.5	<1.0	<1.3	26.4	<3.7	72	35.7	23.9	<4.1	<5.8	26.3	<1.0	3.1	<8.1
Zem mermer	<3.7	<1.0	<0.9	<1.0	<1.1	<1.3	1.6	3.7	<5.4	<7.4	<10	<4.5	<3.7	2.2	<1.0	<1.0	<1.1

Çalışma alanında özellikle İnönü merkezi kuzeyinde yer alan kaynakların Na^{+} 'ca zengin olması, temele ait şistlerin hidrotermal alterasyonu ile topraklaşması süreciyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Potasyum (K^{+}) :

Yerkabuğunun %2,5'ini oluşturan potasyumun litolojik kaynakları feldispatlar, kil mineralleri, mikalar ve feldispatoidlerdir (Rankama ve Sahama 1960). Litolojik kaynakların yanı sıra biyolojik, endüstriyel ve potasyumca zengin ziraat alanları da sudaki potasyum konsantrasyonunun artmasına neden olabilmektedir (Hem 1985).

Çalışma alanı içerisinde yeraltı suları ve kaya grupları içerisindeki K^{+} dağılımı Na^{+} ile benzer davranışlar sunmaktadır. Çalışma alanı içerisinde özellikle IST (İnönü kuzeyi-İstasyon mevki) kod'lu kaynak sularının K^{+} 'ca kısmen zenginlik sergilemesi, toprak oluşumunda etkin rol oynayan şistlerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Kalsiyum (Ca^{+2}) :

Magmatik kayalarda bulunan özellikle piroksen, amfibol, Ca^{+2} 'ca zengin plajiyoklaz ve feldispatların yanı sıra sedimanter kayalardan da karbonatların esas bileşen olarak Ca^{+2} içeriği litolojik kaynak sağlayabilmektedir. Litolojik kaynağın yanı sıra yeraltı sularındaki kalsiyum bileşeni evsel ve endüstriyel atıklardan da kaynaklanabilmektedir (McNeely vd. 1979).

Çalışma alanında Satılmış köyü içerisinde yer alan kuyu ve kaynaklar hariç genel olarak tüm bölgede yüksek konsantrasyonlarda gözlenen Ca^{+2} , bölgenin hemen hemen tamamında gözlenen sedimanter kireçtaşlarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Magnezyum (Mg^{+2}) :

Suların sertliğini belirleyen bir başka iyon olan magnezyum olivin, piroksen, amfibol gibi mafik minarelerin ve dolomitin bünyesinde bulunmaktadır. Sudaki çözünürlüğü çok yüksek olan magnezyumun suyun içme, kullanma veya sulama suyu olarak kullanımını sınırlandırmaktadır (McNeely vd. 1979).

İnceleme alanında Satılmış köyü civarındaki kaynak ve kuyularda göze çarpan Mg^{+2} içeriği, bölgede özellikle Satılmış köyü güneyinde var olan manyezit ocakları ve ofiyolitik kayaçlarla ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

5. İZOTOP HİDROLOJİSİ

Hidrojeoloji çalışmaları kapsamında farklı kökenli suların belirlenmesi; var olan su kaynaklarının en ekonomik biçimde kullanılması, doğal koşullarla veya insan kullanımı etkisi ile özelliklerini kaybetmiş veya kaybetme potansiyeli bulunan suların kullanımı açısından önemlidir.

Yeraltı sularının kökenlerinin belirlenmesi amacıyla iki önemli duraylı izotop, Oksijen-18 (^{18}O) ve Döteryum (D) kullanılmaktadır. İzotoplar aşağıdaki amaçlar için kullanılmaktadır;

*Bölgedeki yeraltı suyunun kökeni ile ilişkili olabilecek yeraltı suyu tipine işaret edecek veriler saptamak,

*Farklı bölgelerin kökene bağlı olarak su karışımlarını saptamak, izleyici testlerinde suyun akım hızı ve yönü hakkında bilgi sağlamak,

*Suyun yeraltında oluşum zamanına ait veriler sağlamak (Moser ve Rauert 1980).

Çalışma alanından yeraltı ve yüzey sularından yapılan izotop analizleri sonucunda farklı kökenli suların belirlenmesine çalışılmıştır. Çalışma alanında farklı bir sistem olup olmadığının açıklanmasına çalışılmıştır.

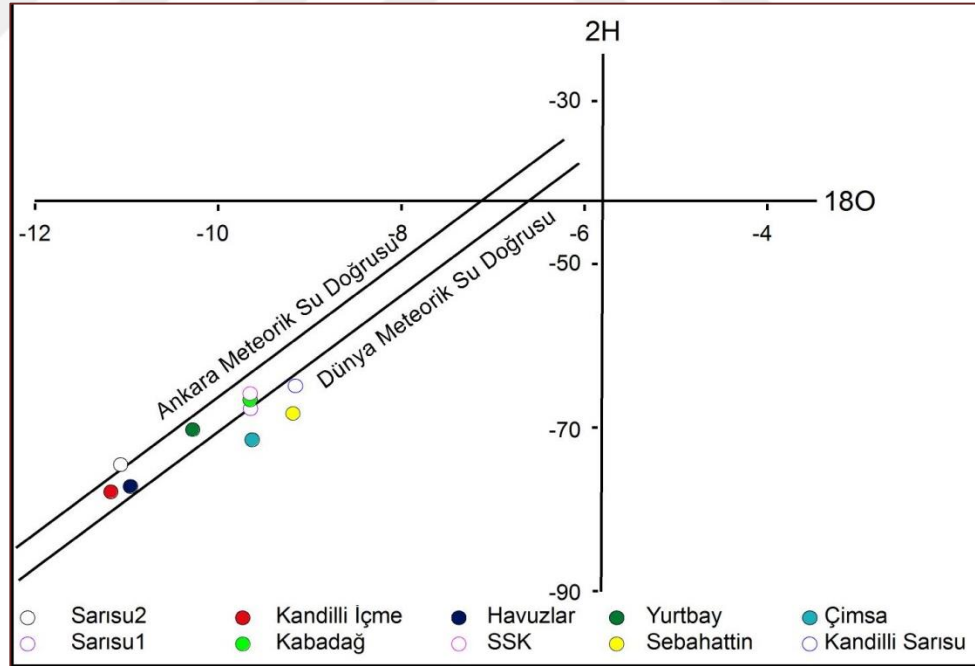
5.1 Oksijen 18 ($\delta^{18}\text{O}$) - Döteryum ($\delta^2\text{H}$)

Çalışma alanında farklı derinliklerde açılmış 5 adet yeraltı suyu, 1 adet kaynak ve 4 adet akarsu örneğinin izotop analiz sonuçları çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ‰ -9,15 (Kandilli Sarısu) - ‰-11,17 (Kandilli İçme) arasında; $\delta^2\text{H}$ değerleri ise ‰-65,16 (Kandilli Sarısu) - ‰-77,89 (Kandilli İçme) arasında değişmektedir. Bu değerler Dünya Meteorik Su Doğrusu ($\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$) ile Ankara

meteorik doğrusu ($\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 14,5$) (Çelik vd., 2013) arasında kalmaktadır (Şekil 5.1).

Çizelge 5.1 Çalışma alanına ait suların $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ ve ‰ (döteryum fazlası) ve trityum değerleri

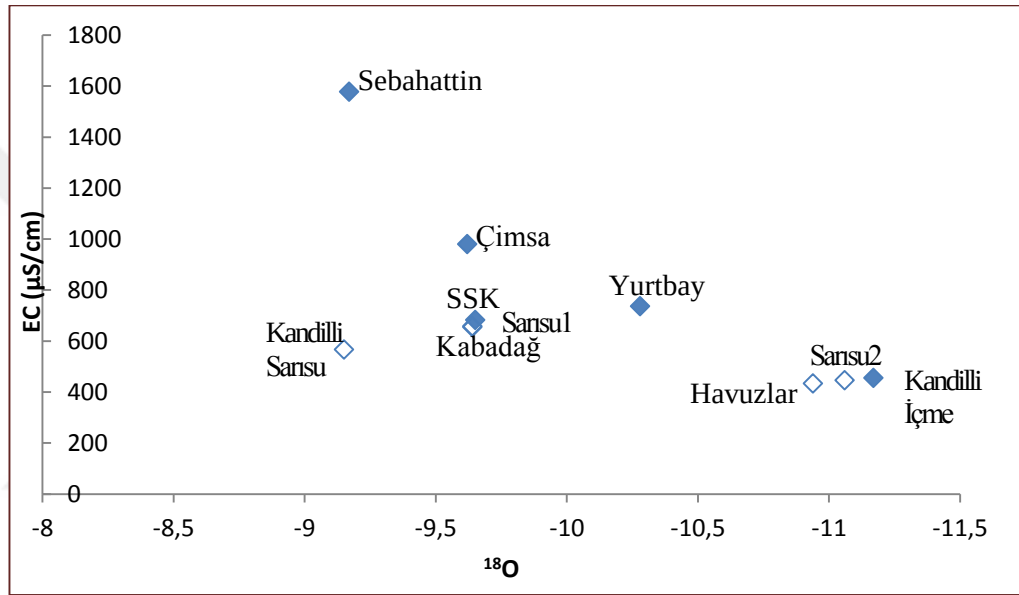
Örnek No	X	Y	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	‰	Trityum (TU)
Çimsa	267854	4412061	-71.44	-9.62	5.52	4,44
Havuzlar	253337	4411014	-77.19	-10.94	10.33	1,89
Kandilli İçme	246820	4412042	-77.89	-11.17	11.47	2,90
Kandilli Sarısu	246555	4412835	-65.16	-9.15	8.04	6,11
Kabadağ	255717	4412393	-67.86	-9.64	9.26	1,90
Sebahattin	272751	4409651	-68.49	-9.17	4.87	5,98
Sarısu1	266858	4411850	-68.77	-9.64	8.35	4,30
Sarısu2	254646	4411419	-74.61	-11.06	13.87	1,93
SSK	272345	4409641	-67.51	-9.65	9.69	3,89
Yurtbay	262132	4411211	-70.42	-10.28	11.82	2,49
Yağmur suyu			-31.25	-5.13	9.83	
Deniz suyu			10.78	1.39	-0.34	



Şekil 5.1 Çalışma alanı yeraltı ve yüzey sularının standartlara göre bağlı konumu

5.1.1 $\delta^{18}\text{O}$ -EC ilişkisi

Çalışma alanından alınan 10 adet örneğin EC ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri incelendiğinde düşük EC değerlerine karşılık düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerleri göze çarpmaktadır. Sebahattin kuyusuna ait su örneğinin diğer sulara göre daha yüksek EC değeri ve daha yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.2). Havuzlar örneği sıcak su örneği olup düşük EC ve düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerine sahiptir.



Şekil 5.2 Çalışma alanı su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ -EC grafiği

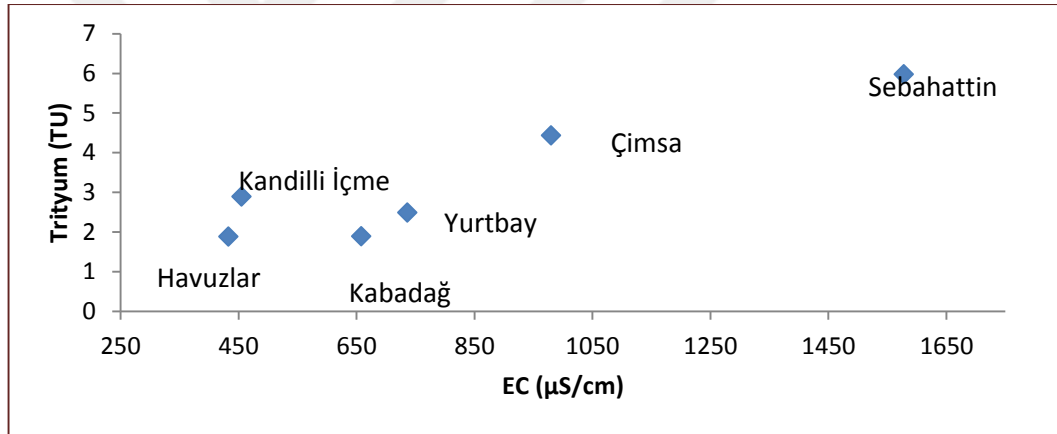
5.2 Trityum-EC İlişkisi

Trityum değerleri ile EC değerlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu, yeraltı suyunun akiferden geçiş ve akiferde kalış süreleri ile ilgili yorum yapılabilir. Çalışma alanında ölçülen trityum değerleri, 1,89 ile 6,11 arasında değişmektedir (Çizelge 5.2). Düşük trityum ve yüksek EC'li sular derin dolaşım, yüksek trityum ve düşük EC'li sular sık dolaşım suları temsil etmektedir. Çalışma alanından alınan örneklerin EC ve trityum değerleri grafiği şekil 5.3'te verilmiştir.

Sebahattin ve Çimsa görel olarak atmosferik sulardan etkilenen kuyulardır (Sebahattin kuyu sularının yüzeysel kirlenmelere sahip olması bunun işaretidir).

Çizelge 5.2 Çalışma alanı yeraltı sularının trityum ve EC değerleri

Örnek No	X	Y	Trityum (TU)	EC (µS/cm)
Çimsa	267854	4412061	4,44	980
Havuzlar	253337	4411014	1,89	433
Kandilli İçme	246820	4412042	2,90	455
Kandilli Sarısu	246555	4412835	6,11	566
Kabadağ	255717	4412393	1,90	658
Sebahattin	272751	4409651	5,98	1578
Yurtbay	262132	4411211	2,49	736



Şekil 5.3 Çalışma alanı sularının EC-Trityum grafiği

Havuzlar sıcak su olmasına rağmen EC değerleri düşüktür. Farklı litolojilerle yeraltı suyunun temas etmediğini gösterebilir. Genellikle mermerlerle ilişkili olan Havuzlar kaynağı sularının konsantrasyonu düşüktür. Trityum değerinin diğer noktalara göre düşük olması, bunun daha derin dolaşımına işaret eder.

6. KİRLİLİK ÇALIŞMALARI

Tez sahasında yüzey ve yeraltı sularında yapılan araştırmada, ağır metal, pestisit ve antibiyotik analizleri yapılarak su kalitesi belirlenmiştir.

6.1 Yüzey ve Yeraltı Sularında Kirlilik Parametreleri

Çalışma alanında belirlenen örnek noktalarında nitrit, nitrat, fosfat, sülfat ve amonyak gibi suların kalitesini belirleyen parametrelerin analizleri Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü ÇANARGE Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

6.1.1 Nitrit (NO₂)

Çalışma alanındaki örnek noktalarından Ekim 2012'de alınan suların nitrit analizlerinin sonuçları ve ulusal ve uluslararası standart değerler çizelge 6.1'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre çalışma alanında en yüksek nitrit değeri Sebahattin kuyusunda ölçülmüştür. Sebahattin kuyusu hem tarla içinde olması, hem de hayvan barınaklarının hemen yanında açılması nedeniyle bu kadar yüksek bir nitrit içeriğine sahip olduğu düşünülmektedir.

Analiz sonuçlarına göre çalışma alanı sularında bir nitrit kirliliğinden bahsedilebilir. Bu nitrit kirliliğinin kaynağının da tarımsal faaliyetler olduğu düşünülmektedir.

Uzun dönemlerde azot döngüsü dikkate alındığında nitritin nitrata dönüşmesi söz konusu olabilirdi. Ancak nitritin yüksek olduğu kuyularda sürekli olarak bir nitrit kaynağının bulunması (hayvan atıkları gibi) bu döngüyü etkilemektedir.

Çizelge 6.1 Çalışma alanındaki sulara ölçülen nitrit değerleri ve ulusal ve uluslararası limitlerle karşılaştırılması (Ekim, 2012)

Örnek Adı	NO ₂ (mg/l)	TS 266 (2005) (mg/l)	Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006) (mg/l)	Avrupa Birliği (EU, 1998) (mg/l)
ÇEVİK	0.852	0,5	0,2	0,5
ÇİMSA	0.886			
DSİ KUYU	0.348			
İST	0.791			
KANDİLLİ SARISU	0.090			
ÖZER	1.310			
SARISU1	0.284			
SARISU2	0.168			
SEBAHATTİN	6.564			
SSK	0.163			

6.1.2 Nitrat (NO₃)

Çalışma alanındaki örnek noktalarından Ekim 2012’de alınan suların nitrat analizlerinin sonuçları ve ulusal ve uluslararası limit değerler çizelge 6.2’de verilmiştir. Analiz sonuçlarından sadece 3 adet kuyu örneğinin (Özer, Sebahattin ve Çevik) limit değerlerini aştığı görülmektedir. Bu 3 kuyunun da bahçe içerisinde açılmış ve hayvancılık yapılan alanlarda bulunan kuyular olduğu göz önünde bulundurulursa yüksek nitrat değerlerinin bu faktörler olduğu düşünülebilir.

6.1.3 Fosfat (PO₄)

Çalışma alanında Ekim 2012’de alınan suların analizleri sonucunda ölçülen fosfat değerleri ve SKKY limit değerleri çizelge 6.3’te verilmiştir. Analizi yapılan suların fosfat değerlerine göre, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nde verilen su kalite sınıflarından III. su kalite sınıfına düştüğü görülmektedir.

Çalışma alanındaki örnekleme noktalarından toplanan suların fosfat değerleri Mayıs ayında Sebahattin kuyusunda çok yüksektir (291,393 mg/l). Sebahattin kuyusunda gözlenen yüksek konsantrasyonlardaki fosfat, büyükbaş hayvancılık yapılan alandaki hayvan dışkılarından kaynaklandığı düşünülebilir. Diğer örneklerin hiçbirinde sınır değerleri aşan bir fosfat miktarı bulunmamaktadır.

Çizelge 6.2 Çalışma alanındaki sulara ölçülen nitrat değerleri ve ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması (Ekim, 2012)

Örnek Adı	NO ₃ (mg/l)	TS 266 (2005) (mg/l)	Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006) (mg/l)	ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA, 2002) (mg/l)	Avrupa Birliği (EU, 1998) (mg/l)
ARICI	3.172	50	50	45	50
ÇEVİK	107.983				
ÇİMSA	0.844				
DSİ KUYU	3.529				
HAVUZLAR	5.125				
İST1	36.030				
İST	12.111				
KANDİLLİ	5.160				
KANDİLLİ SARISU	2.061				
KABADAĞ	3.180				
KAZANKAYA	6.948				
KESON	24.140				
KÜÇÜKEV	10.132				
ÖZER	106.930				
SARISU1	10.893				
SARISU2	4.610				
SAT11	4.550				
SAT12	4.470				
SAT13	4.620				
SEBAHATTİN	230.416				
SSK	11.180				
YURTBAY	29.060				

Çizelge 6.3 Çalışma alanı sularının fosfat değerleri

		SKKY (2004)			
	PO ₄ (mg/l)	I	II	III	IV
DSİ KUYU	0.792	0,06	0,48	1,95	>1,95
HAVUZLAR	0.718				
KANDİLLİ SARISU	0.710				
SARISU1	0.850				
SÖK1	1.180				
SSK	0.820				

6.2 Yüzey ve Yeraltı Sularında Ağır Metal Kirliliği

Çalışma alanından alınan suların ağır metal analizleri Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği ICP ve Mikroanaliz Laboratuvarı'nda ICP-OES kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ise çeşitli yönetmeliklerle belirlenen limit değerleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Sonuçların karşılaştırıldığı yönetmelikler ise SKKY ile Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SÜY) ve TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Kriterleri'dir. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SÜY)'nde "İç Sulara ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler ve Alıcı Ortama ait Kabul Edilebilir Değerler Listesi, Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler" tablosunu kaynak göstermekte olup alıcı ortamın tolere edebileceği maksimum değerleri ifade etmektedir. Türk Standartları (TS) 266 ise "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Kriterlerini"ne ait sınır değerleri ifade etmektedir.

Çalışma alanında belirlenen kaynak, kuyu ve akarsulardan alınan su örneklerinde ağır metal ve toksik element kirliliği araştırılmıştır. Çalışma alanı içerisinde yer alan 20 adet örnek noktasında [11 adet kuyu (Arıcı, Çevik, Çimsa, DSİ, Kandilli İçme, Kazankaya, Keson, Küçük ev, Kabadağ, Sebahattin ve Yurtbay), 6 adet kaynak (Havuzlar, İst, İst1, Sat11, Sat12 ve Sat 13) ve 3 adet akarsu (AÜ-Sarısı, Sarısı1 ve Sarısı2) örneği] Fe, Cu, Ni, Zn, Li, B analizleri yapılmıştır (Çizelge 6.4).

6.3 Çalışma Alanında Pestisit Kirliliği

Tüm dünyada ve ülkemizde olduğu gibi İnönü Ovası'ndaki tarımsal faaliyetler sırasında bitkileri korumak amacı ile pestisitler kullanılmaktadır. Çalışma alanı içerisinde belirlenen 3 adet kuyu (Çevik, Kabadağ ve Sebahattin) ve 3 adet akarsu (SSK, Kandilli-Sarısı ve İnönü-Sarısı) olmak üzere 6 noktadan alınan su örnekleri üzerinde pestisit analizleri yapılmıştır. Bu analizler Devlet Su İşleri Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Başkanlığı Su Kimyası Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Çalışma alanındaki yeraltı sularında yapılan ağır metal ve toksik element analiz sonuçları (Ekim, 2012)

KUYU ADI		Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)	Li (mg/l)	B (mg/l)
ARICI		A.E.	0,024	0,096	0,010	0,073	0,014
AÜ-SARISU		A.E.	0,024	0,073	A.E.	A.E.	A.E.
ÇEVİK		A.E.	0,025	0,167	0,013	A.E.	2,040
ÇİMSA		A.E.	0,022	0,137	A.E.	0,045	A.E.
DSİ kuyu		A.E.	0,022	0,184	A.E.	0,086	A.E.
HAVUZLAR		A.E.	0,018	0,077	A.E.	A.E.	A.E.
İST		A.E.	0,022	0,087	A.E.	0,025	A.E.
İST1		A.E.	0,022	0,156	A.E.	A.E.	A.E.
KANDİLLİ-İÇME		A.E.	0,018	0,040	A.E.	A.E.	A.E.
KAZANKAYA		A.E.	0,021	0,158	0,050	A.E.	A.E.
KESON KUYU		A.E.	0,023	0,168	A.E.	0,080	A.E.
KÜÇÜK EV		A.E.	0,026	0,155	0,027	0,062	A.E.
KABADAĞ		0,058	0,025	0,109	A.E.	0,055	A.E.
SARISU1		A.E.	0,023	0,085	A.E.	0,047	A.E.
SARISU2		A.E.	0,023	0,067	A.E.	A.E.	A.E.
SAT11		A.E.	0,015	A.E.	A.E.	A.E.	A.E.
SAT12		A.E.	0,022	0,056	A.E.	A.E.	A.E.
SAT13		A.E.	0,022	0,055	A.E.	A.E.	A.E.
SEBAHATTİN		A.E.	0,021	0,084	0,134	0,050	0,058
YURTBAY		A.E.	0,017	0,163	A.E.	A.E.	A.E.
SKKY, 2004	I	0,3	0,02	0,02	0,2	-	1
	II	1	0,05	0,05	0,5	-	1
	III	5	0,2	0,2	2	-	1
	IV	>5	>0,2	>0,2	>2	-	>1
SKKY, Tek. Usül. Teb., 1991		5	0,2	0,2	2	-	2
SÜY,2005	Tolere Değer	0,7	0,01	0,3	0,003	-	3
TS 266,2005	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	0,05	0,1	0,02	-	-	0,001
	Sınıf 2 ve Tip 2	0,2	2	0,02	-	-	0,001

A.E.:Analiz Edilemedi

Pestisit analizleri gerçekleştirilen örneklerin hepsinde pestisit varlığı saptanmıştır. Analiz sonuçlarına göre Çevik kuyusunda Malathion organoklorlu pestisit türüne rastlanırken Sebahattin, SSK, Kandilli-Sarısı, İnönü-Sarısı ve Kabadağ örnek noktalarından alınan sularda Malathion ile birlikte AzinphosMethyl ve Chlorpyrifos pestisit türlerine rastlanılmıştır. Sebahattin kuyusunda toplam pestisit konsantrasyonu 0.827 µg/l iken Malathion 0.140 µg/l, Azinphos Methyl 0.687 µg/l olarak ölçülmüştür. SSK akarsu örneğinde Chlorpyrifos 0.028 µg/l, Malathion 0.090 µg/l iken toplam pestisit konsantrasyonu 0.118 µg/l olarak tespit edilmiştir. Kandilli-Sarısı akarsu

örneğinde sadece Malathion türü pestisit konsantrasyonu 0.090 µg/l olarak ölçülmüştür. İnönü-Sarısı akarsu örneği ve Kabadağ kuyu suyunda Malathion ve Azinphos Methyl türü toplam pestisit konsantrasyonları sırası ile 0.230 µg/l ve 0.752 µg/l'dir.

6 adet örnek noktasından alınan suların toplam pestisit analiz sonuçları, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ve TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları ile karşılaştırıldığında SKKY'ne göre örneklerin tamamı I. Sınıf su kalite sınıfında yer alırken TS 266 standardına göre sadece Kabadağ ve Sebahattin kuyu örnekleri sınır değerlerin üzerindedir.

Çizelge 6.5 Çalışma alanında ölçülen pestisit değerleri

Kuyu Adı	Pestisit Adı	Kons. (µg/l)	Toplam pestisit kons. (µg/l)	SKKY (Toplam pestisit)				TS 266 (Toplam pestisit)	
				Sınıf I	Sınıf II	Sınıf III	Sınıf IV	Sınıf I	Sınıf II
SEBAHATTİN	Malathion	0.140	0.827	<1	1-10	10-100	>100	<0,500	<0,500
	AzinphosMethyl	0.687							
SSK	Chlorpyrifos	0.028	0.118	<1	1-10	10-100	>100	<0,500	<0,500
	Malathion	0.090							
KANDİLLİ-SARISU	Malathion	0.090	0.090	<1	1-10	10-100	>100	<0,500	<0,500
İNÖNÜ-SARISU	Malathion	0.190	0.230	<1	1-10	10-100	>100	<0,500	<0,500
	AzinphosMethyl	0.040							
KABADAĞ	Malathion	0.130	0.752	<1	1-10	10-100	>100	<0,500	<0,500
	AzinphosMethyl	0.622							
ÇEVİK	Malathion	0.380	0.380	<1	1-10	10-100	>100	<0,500	<0,500

6.4 Çalışma Alanında Antibiyotik Kirliliği

Çalışma kapsamında seçilen alanda yeraltı sularının yakınlarında tarım arazileri ve büyükbaş hayvan besiciliği yapılan yerler bulunmaktadır. Bu maksatla alanda özellikle antibiyotiklerden kaynaklanan bir yeraltı suyu kirliliği olup olmadığının belirlenmesi için 5 noktada ölçümler yapılmıştır. Çalışma alanında tarım arazileri ve büyükbaş hayvan besiciliği yapılan alanlar olduğundan ve bu faaliyetler için Tetrasiklin grubu antibiyotikler tercih edildiğinden su noktalarında bu grupta yeralan ve yoğun bir şekilde kullanılan oksitetrasiklin için analiz çalışmaları yapılmıştır. 5 noktada (DSİ Kuyu,

Havuzlar, Kandilli Sarısu, Kazankaya ve Sebahattin) kuyu ve akarsu örneklerinde antibiyotik analizi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.6’da analizi yapılan 5 noktadaki sonuçlar yer almaktadır.

Çizelge 6.6 Çalışma alanındaki numune noktalarına ait analiz sonuçları

Seçilen Noktaları	Numune	Oksitetrasiklin (mg/l)	Sonucu
DSİ Kuyu		4.96	
Havuzlar		Tespit edilmedi	
Kandilli Sarısu		Tespit edilmedi	
Kazankaya		2.0817	
Sebahattin		Tespit edilmedi	

Örnekleme noktalarında kirlilik olmamasına karşın özellikle DSİ Kuyu ve Kazankaya numune noktalarında yer altı suyuna bir karışım söz konusudur. Standartlarda deşarj limitleri olmamasına rağmen ilerleyen yıllarda bu bölgedeki tarımsal ve hayvansal faaliyetlerin artması ve kullanılacak antibiyotik, hormon ve diğer tedavi edici ilaçlar yer altı suları için tehlike oluşturabilir. Özellikle bölgede veterinerlik ve tarımsal amaçlı antibiyotik kullanımları denetim altında olmalı ve yer altı sularının bulunduğu alandan bu tür kirletici kaynaklarının güvenli yerlere uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için yasal zorunluluklar ve yönetmelikler ivedilikle oluşturularak su kaynakları (yeraltı su havzası) korunmalıdır.

7. AKİFER KİRLENME POTANSİYELİ VE HASSASİYET BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Akifer kirlenme potansiyeli ile, akiferlerin doğal veya antropojenik kaynaklarla devamlı veya anlık kirlenmeden etkilenme derecesi tanımlanabilmektedir. Akiferler, her türlü kirleticiden doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz etkilenebilmektedir. Önemli olan bu kirlenmenin boyutu ve çevre ve insan sağlığı üzerine etkileridir.

Doğal kirlenebilirlik su-kayaç ilişkisi içerisindeki dolaşım döngüsü sırasında yeraltı sularının kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinin farklılaşması esasına dayanır ve önlenmesi genellikle mümkün değildir. İnsan aktiviteleri kaynaklı kirlenebilirlik ise bilinçli veya bilinçsiz olarak ortaya çıkabilmekte, gerekli önlemler sonucu ortadan kalkabilmektedir (Şimşek vd. 2007).

Günümüzde gelişen teknoloji, artan dünya nüfusu sınırlı kaynaklar olan içme, kullanma ve sulama sularını tehdit etmekte, buna paralel olarak su kaynaklarının korunmasına ve kontrolüne yönelik akifer kirlenebilirliğini haritalayan yöntem ve teknikler çeşitlenerek artmaktadır. Akifer sistemin hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak bir çok parametreyi ele alan yöntem ve teknikler genellikle coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilmektedir. Yenilenebilir kaynaklar olan yeraltı suyu kaynaklarının korunması, izlenmesi ve yönetimi yaşam için oldukça önemlidir.

Akifer kirlenebilirliğini ortaya koyan kirlenebilirlik haritaları CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamında her parametreye ait veri tabanı üzerinde jeostatistiksel işlemler yapılabilmesi ve her mercideki karar verici için anlaşılması kolay pratik veriler olarak uygulamada yer bulmaktadır (Şimşek vd. 2007).

7.1 Kirlenebilirlik Belirleme Yöntemleri

Kirlenebilirliğin belirlenebilmesi öncelikle yeraltı suyunun özgül duyarlılığının, yani yeraltı suyunun kirlenmeye karşı hassasiyetinin belirlenmesi gerekmektedir.

7.1.1 Özgöl duyarlılığın belirlenmesi

Yeraltı sularının özgöl (doğal) duyarlılığı, sistemin genel kirletici yükü ile karşılaştığı varsayımına dayanır. Yeraltı sularının kirlenmeye karşı duyarlılıkları farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu konudaki en önemli parametreler ise, kirleticilerin özellikleri ile ilgili olarak akiferin, doygun olmayan zonun ve toprağın doğal olarak arındırma kapasitesidir (Demirkıran 2002).

Özgöl duyarlılığın belirlenmesinde sistemin değerlendirilmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu bağlamda seçilen metoda karar verilmesinde tek amaçlı veya çok amaçlı değerlendirmeler yapılarak yeraltı suyunun hassasiyetinin belirlenmesi sağlanabilmektedir.

7.1.1.1 Tek Amaçlı Değerlendirmeler

Tek amaçlı değerlendirmeler, bir veya birbirine benzer özellikler gösteren bir grup kirleticinin değerlendirilmesine yönelik belirli amaçla yapılan duyarlılık haritalarıdır. Tek amaçlı değerlendirmeler noktasal kirletici kaynağına bağlı yerel ölçekte yapılır. Böyle durumlarda kirletici yeraltı suyu sistemine tek noktadan ve toprak tabakasının hemen altından giriş yapar (Demirkıran 2002).

7.1.1.2 Çok Amaçlı Değerlendirmeler

Bu tür çalışmalar birden fazla kirleticinin değerlendirilmesini ve farklı ölçeklerde haritalanmasını kapsar. Bir maden sahasının, bir tarımsal alanın değerlendirilmesi çok amaçlı değerlendirme grubundadır.

Tek amaçlı değerlendirmelerin çoğunda toprak örtü dikkate alınmazken çok amaçlı değerlendirmelerde beslenme, kirletici hareketi ve yeraltı suyuna ulaşma zamanı gibi parametrelerin belirlenmesinde toprak örtü önemlidir (Demirkıran 2002).

Çok amaçlı değerlendirmeler yapılırken tek bir harita elde edilerek hassasiyet belirlenmesi oldukça güçtür bu nedenle birden fazla harita çalışması yapılarak sonuca ulaşılmaya çalışılır.

7.2 Yeraltı Suyunun Kirleticilere Karşı Hassasiyetinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntem ve Teknikler

Hassasiyet belirleme çalışmalarının ana kavramı “yer altı suyu kirliliğine karşı bazı alanların diğer alanlara göre daha fazla hassas olduğu” düşüncesidir (Vrba ve Zaporozec 1994). Buna rağmen hidrojeolojik şartların bir fonksiyonu olarak yer altı suyu hassasiyet derecesinin haritalanması, doğal çevre tarafından sağlanan efektif korumanın bir yerden diğerine göre oldukça fazla değiştiğini göstermektedir (Vrba ve Zaporozec 1994). Yeraltı suyu kirlilik seviyesi, kirlilik kaynağının ve akifer arasında bulunan bölgede oluşan doğal giderim süreçleri tarafından belirlenir. Toprakta, doymuş ve doymamış zonda oluşan çeşitli doğal, fiziksel prosesler ve kimyasal reaksiyonlar kirleticinin fiziksel durumunu ve kimyasal formunu değiştirmesine neden olabilirler. Bu değişimler, kirlilik derecesini azaltabilir veya kirliliğin yapısını değiştirebilir. Özellikle toprakta ve doymamış zonda, bazı mekanizmalar, kirletici konsantrasyonunu doymuş zona göre daha fazla etkileyebilir. Kimyasal prosesler, çok kompleks olabilir ve değişen giderim derecelerini sağlayan proseslerle birlikte çalışılmalıdır. Toprakta oluşan kimyasal reaksiyonlar, her kirleticinin jeokimyasal özelliklerine bağlı olduğu kadar alanın spesifik toprağına ve akifer karakteristiklerine de bağlıdır.

Kirliliğe karşı hassas alanlar, 3 gruba ayrılabilir; doğal olarak hassas alanlar, kuyu-koruma zonları ve potansiyel olarak problemlı alanlar.

Doğal olarak hassas alanlar, toprak, toprak altı ve ana kayanın koruma için yeterli olmadığı ve yeraltı suyuna kirleticinin hızlı bir şekilde ulaşma potansiyelinin olduğu daha hassas alanlardır.

Birçok hassas zonun her potansiyel kirlenme kaynağının lokasyonunu gösteren veya kirleticili arazi kullanım aktivitelerini gösteren haritalarla birlikte tabaka haritaları, potansiyel problem alanlarının haritasını gösteren haritalar o bölge için risk haritasını oluşturur.

Akifer hassasiyet kavramı, esas olarak gerçek hassasiyet ve spesifik hassasiyet olmak üzere 2 kısımda incelenir. Gerçek hassasiyet, kirleticilerin doğasından bağımsız olarak bir alanın doğal jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik karakteristiklerini de içine alan, insan aktiviteleri sonucu oluşan kirleticilere karşı yeraltı suyunun hassasiyetini ifade eder. Buna karşılık spesifik hassasiyet ise, kirleticili özelliklerinin miktarı ve onların gerçek hassasiyetin çeşitli bileşenleri ile olan ilişkilerini de içine alarak kirleticili gruplarına veya bir kısım kirleticiliye karşı yeraltı suyunun hassasiyetini ifade eder.

Yeraltı suyunun kirlenmeye karşı hassasiyetinin belirlenmesi için yeraltı suyunun korunması ile ilişkili olarak 3 yaklaşım düşünülebilir;

- 1- Hassasiyet değerlendirmesi, doymuş zondaki taşınım proseslerinin miktarını göz önüne almadan sadece toprak ve doymamış zonu düşünür. Bu durumda, doymuş zondaki kirleticili konsantrasyonlarına ulaşımın güç olmasından dolayı değerlendirme olasırlığı sınırlanmaktadır. Bu yaklaşım üzerine birçok metod geliştirilmiştir.
- 2- Doymuş zon içindeki yeraltı suyu akışı ve kirleticili taşınım proseslerinin olduğu yeraltı suyu sağlama sistemleri için koruma zonlarının açıklanması üzerine oluşturulmuş dağılım ve taşınımını içeren bir yaklaşımdır.
- 3- Akifer ortamı kadar iyi olan toprak ve doymamış zonu hedefleyen bir yaklaşımdır (Gogu ve Dassargues 2000).

Bu farklı yaklaşımlar üzerine odaklanarak birçok yeraltı suyu hassasiyet değerlendirme metodları geliştirilmiştir. Bu metodlar, yüzey altında oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslere benzeyen karmaşık sayısal modellerden hassasiyeti etkileyen

ağırlıklandırma faktörlerini kullanan modeller ve istatistiksel modellere kadar değişmektedir.

Yeraltı Suyu Hassasiyet Değerlendirme için Amerika Teknik Komitesinin (Anonymous 1993) hassasiyetinin esas içeriğinden ve Uluslararası Hidrologlar Birliğinin görüşlerinden yola çıkarak bu metodların bazı genel karakteristiklerinin Gogu ve Dassargues (2000) tarafından yapılan çalışmada şu şekilde olabileceği ortaya konulmaktadır:

- ❖ Yeraltı suyu hassasiyeti görecelidir, ölçülemez, boyutsuz özelliktedir.
- ❖ Gerçek hassasiyet değerlendirme için kullanılan temel özellikler beslenme değeri, zemin özellikleri ve doymuş ve doymamış zonun karakteristikleridir. İkincil önemli özellikler ise topoğrafya, yeraltı suyu/yüzey suyu ilişkisi ve akiferin temelini oluşturan birimin yapısıdır.
- ❖ Özgül hassasiyet genellikle özgül kirliliği açıklayan yeraltı suyu sistemi için tehlikeli olarak nitelendirilir. Özgül değerlendirmedeki en önemli parametreler; kirleticinin doymamış zondaki taşınma zamanı ve akifer ortamda kalma süresidir.
- ❖ Yeraltı suyu hassasiyetinin değerlendirilmesi alansal olarak özgüdür.

Yeraltı suyu hassasiyet tahminleri tam olarak değil göreceli olarak yapılmaktadır. Birçok durumda hassasiyet haritaları kirlenme riskinin hızlı bir değerlendirmesini yapmak için oluşturulmaktadır. Aynı zamanda çevresel karar verme prosesinde anlamlı bir araç olarak kullanılmaktadır. Yeraltı suyu hassasiyet haritalarını saptamak için uygulanan metodlar alan hassasiyeti üzerinde doğru bir görüş elde etmeye yararlar ve sonraki bir çok durumda bir alan özgül incelemesi önemlidir. Bu tür metodlar daha hassas alanların belirlenmesi ile detay çalışılması gereken alanların sayısını azaltmaktadır. Ayrıca hassasiyet değerlendirmesi yeraltı suyu koruma işi üzerindeki esas kararlar için yararlı bir yönetim kavramıdır (Gogu ve Dassargues 2000).

Yeraltı suyu gerçek hassasiyet değerlendirme çalışmaları için kullanılan bazı önemli metodlar izelge 7.1’de verilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği gibi herbir metod farklı parametreleri kullanarak akiferlerin hassasiyetlerini belirlemeye çalışmışlardır. Metodlar 2 ana kategoride gruplanabilir: hidrojeolojik kompleks ve düzenleme metodları ve parametrik sistem metodlarıdır.

7.2.1 Hidrojeolojik kompleks ve düzenleme metodları

Bu tür bir metod kalitatif değerlendirmeyi ifade eder. İlk olarak, bir hassasiyet skalasındaki her sınıfa bağlı olarak hidrojeolojik, hidrografik ve morfolojik şartlar kararlaştırılmalıdır (Gogu ve Dassargues 2000). Daha sonra bütün alan analiz edilir ve belirlenen kriterlere bölünür (Albinet ve Margat 1970). Genel olarak bir harita örtü prosedürü kullanılır. Farklı hidrografik ve morfolojik yapıya sahip geniş alanlar için en uygun olmasına rağmen bu metodlar ve tematik haritalar orta büyüklükten genişe kadar değişen ölçeklerde oluşturulmaktadır.

7.2.2 Parametrik Sistem Metodları

Bunlar yeraltı suyu hassasiyet değerlendirmesi için Matriks Sistemleri (MS), Ağırlıklandırma Sistemleri Metodları (RS) ve Nokta Sayma Sistem Modelleri (PCSM)’dir. Bütün parametrik sistem metodları için prosedür aynıdır. Sistem tanımlaması yeraltı suyu hassasiyet değerlendirmesi için parametre seçimine bağlıdır. Her parametre farklı hiyerarşik aralıklara bölünen doğal bir derece ile tanımlanır. Bütün aralıklar kirliliğe karşı hassasiyetin rölatif derecelerini yansıtan değerleri gösterir (Gogu ve Dassargues, 2000). Matriks Sistem Metodları (MS) dikkatle seçilen parametrelerin kısıtlanmış sayıları üzerine odaklanmıştır.

Ağırlıklandırma Sistemi (RS) metodları, hassasiyeti belirleyecek ve önemli olabilecek herhangi bir parametre için sabit bir derece değeri sağlar. Bu derece uygun ve öznel olup, her parametrenin değişimine bağlı olarak bölünebilmektedir. Herhangi bir nokta veya alan için gerekli değerlendirmeyi bu ağırlıklandırma noktalarının toplamı

vermektedir. Son sayısal değer, bağıl bir hassasiyet derecesini belirleyen aralıklara bölünür (GOD, AVI, ISIS metodlarında olduğu gibi). Nokta Sayma Sistem Modelleri veya Parametre Ağırlıklandırma ve Sınıflama Metodları (PCSM) bir derece parametre sistemidir. Ek olarak, parametreler arasındaki ilişkiyi doğru olarak yansıtmak için her parametreye bir etki olarak bir çarpan belirlenmiştir. Her aralık için sınıflama parametreleri, etki faktörü ile karşılaştırmalı olarak çarpılır ve sonuçlar son sonucu oluşturmak için eklenir. Bu değer, diğer alanlarla karşılaştırılan bir alanın hassasiyet derecesinin nispeten ölçümünü vermekte ve daha yüksek bir değer daha çok hassas bir alanı ifade etmektedir. Seçilen sınıflandırma faktörleri ve sınıflama parametreleri ile bu metodların en zor yönlerinden bir tanesi, son sayısal sonuca göre hassasiyetin (yüksek, orta, düşük gibi) farklı sınıflarının ayrılmasıdır (Gogu ve Dassargues 2000).

Bu çalışma kapsamında, İnönü Ovası yeraltı sularının kirleticilere karşı hassasiyetinin belirlenmesi için yukarıdaki metodlar içerisinde uygulama kolaylığı ve parametrelerinin elde edilme rahatlığı göz önünde bulundurularak DRASTIC yöntemi tercih edilmiştir.

DRASTIC yöntemi; yargılama yapmaya uygun olması, ayrıntılı çalışmalar yapmaya izin vermesi ve ayrıca yönteme ait verilerin, çalışılan alan için elde edilebilir olması nedeniyle İnönü Ovası'na uygulanmıştır.

Çizelge 7.1 Yeraltı suyunun hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ve parametreler (Açıklama: HM; hidrojeolojik metod, MS; matriks sistem metodu, OS; oranlama sistemi metodu, NSSM; nokta sayma sistem modeli)

METOD	TİPİ	TEMEL PARAMETRELER		TOPRAK KARAKTERİSTİKLERİ				Serbest akifer	Net beslenme	Doymama şon karakteri	Su derinliği	Hidrojeolojik yapı	Akiferin Hidrolik iletkenliği	Akifer Kalınlığı	Arazi kullanımı tipi*
		Top. yüzey eğim değişimi	Akış ağı yoğunluğu	Kalınlık, tekstür ve mineraloji	Bağıl nem	Perm.	Fiziksel ve kimyasal özellikler								
Albinet ve Margat, 1970	HM							•		•	•	•	•		
Gossens ve Van Damme, 1987	MS			•		•					•	•			
Carter ve Palmer, 1987	MS			•		•						•			
GOD, Foster 1987	OS									•	•	•			
DRASTIC, Aller vd., 1987	NSSM	•		•					•	•	•	•	•		
SEEPAGE	OS	•		•	•	•	•			•	•	•			
SINTACS, Civita, 1994	NSSM	•	•	•				•	•	•	•	•	•		•
AVI, Van Stempvoort vd., 1993	OS			•		•				•	•				
ISIS, Civita ve De Regibus, 1995	OS	•		•			•		•	•	•	•		•	•
EPIK, Doerfliger ve Zwahlen, 1997	NSSM	•		•				•	•	•		•			•

8. İNÖNÜ OVASI (ESKİŞEHİR) YERALTI SULARININ KİRLENME HASSASİYETİNİN AHS - DRASTIC YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1 Giriş

Günümüzde artan nüfusa bağlı olarak su ihtiyacının giderek artması ve su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle mevcut kaynakların korunması ve geliştirilmesi konusunda bilim insanlarının çalışmaları artmıştır. Bilinçsiz tarımsal aktiviteler, ihtiyaçtan fazla yeraltı suyunun çekimi, evsel ve endüstriyel atıklar ve bunların depolanmalarından kaynaklanan kirleticiler, yeraltı suyunun kirlenmesine neden olabilmektedir. Bu kadar fazla kirlilik oluşturabilecek unsur varlığında bilim insanlarının bu konudaki çözümü ise kirliliğin önlenmesi şeklinde olmaktadır. Kirliliğin önlenmesi için öncelikle yeraltı suyunun içinde bulunduğu akiferin yüzeysel beslenme bölgelerinin belirlenmesi ve özellikle bu bölgelerin kirletici kaynaklarından korunması hedeflenmelidir. Yeraltı sularının kirlenmesi özellikle kirleticilerin beslenme bölgelerinden yeraltı suyuna karışmakta ve yeraltı suyu kirliliğine neden olmaktadır.

Akifer kirlenebilirliği ve kirlenme hassasiyeti üzerine son yıllarda önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında daha çok kirlenebilirlik haritaları, arazi kullanımı ve diğer antropojenik faaliyetlerden türeyen kirleticilerin depolanmasına yönelik yer seçimi çalışmalarına yer verilmiştir.

Çalışmaya konu olan İnönü İlçesi oldukça fazla tarımsal ve endüstriyel faaliyetleri olan ve artan nüfusu ile giderek artan su ihtiyacı ile göze çarpmaktadır. Bu nedenle mevcut su kaynaklarının korunması oldukça önem taşımaktadır. Bu kapsamda İnönü Ovası'nda yeraltı suyu taşıyan akifer sistem/sistemlerin, kirletici ve kirletici kaynaklarından korunması için önlemler alınmalıdır.

Çalışma alanında kirlenmeyi engelleyen önlemler alınsa bile yerleşim ve tarımsal alanların varlığı nedeniyle kirleticilerin olası etkilerinin belirlenmesi de büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, İnönü Ovası yeraltı sularının kirlenme potansiyelinin DRASTIC yöntemi ile belirlenmesi ve arazi kullanım haritası ile karşılaştırılarak

yorumlanması, çalışmanın amacını oluşturmaktadır. DRASTIC yöntem kapsamında yararlanılan 7 adet hidrojeolojik parametrenin ağırlık ve oran katsayılarının belirlenmesinde ise Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır.

8.2 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilen karar verme sürecinde kullanılan karar bileşenlerini birleştiren bir yöntemdir. AHS, ikili karşılaştırma matrislerinin (PCMs) bir serisinin yapılandırılmasına dayanmaktadır ki, her kriter bir diğeri ile karşılaştırmaya imkan sağlamaktadır.

AHS, başarılı bir karar, hedef ve amaçlara ulaşılabilmesi için alternatif seçenekler arasından en uygun olanı seçme sürecine dayanır. Bilginin toplanması ve analizinin yapılması hem fazla zaman hem de yoğun çaba gerektiren işlemlerdir. Bu nedenle, karar verme sürecinin etkin kullanımı önem taşımaktadır. Bu konuda en yaygın olarak kullanılan karar verme mekanizması Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi, Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir. AHS karar verme sürecinde hem nitel hem de nicel faktörleri birleştirme olanağı veren bir yöntem olup, anlaşılması kolay bir yöntem olması nedeniyle de nedeni çözümlenememiş sorunlar için uygulanan modern bir karar destek yöntemi olarak kabul görmüştür. Saaty (1980), Wind ve Saaty (1980), Hastings (1996)'nın öncelikle finans, pazarlama, kamu politikaları ve ekonomi alanlarında çalışmalar yaparken son zamanlarda tıp, eğitim ve spor alanlarında da AHS uygulamaları bulunmaktadır. Ele alınan parametrelerin birbirleri ile karşılaştırmalı yargılar matrisinin kurulmasına dayalı bir yöntem olup matrisin kurulması ile, karmaşık problemlere ait ana hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki bağlantı ortaya konmaktadır (Barış 2008).

AHS'nin en önemli özelliği, karar vericinin hem objektif hem de subjektif görüşlerini karar sürecine ekleyebilmesidir (Kuruüzüm ve Atsan 2001).

AHS'nin teorik alt yapısı üç aksiyoma dayanır. Birincisi, iki taraflı olma/tersi olma aksiyomudur. Örneğin “a” elemanı “b” elemanının 3 katı büyüklüğünde ise “b”, “a”nın 3’de 1’i büyüklüğündedir.

İkincisi bağımsız olma aksiyomudur. Hiyerarşide belirli kademeye ait elemanlara ilişkin yargıların veya önceliklerin başka kademedeki elemanlardan bağımsız olmasını ifade etmektedir.

Üçüncüsü ise homojenlik aksiyomudur. Karşılaştırılan elemanların birbirinden çok farklı olmaması gerektiğini, aksi halde yargılarda hataların olabileceği anlamını taşır (Kuruüzüm ve Atsan 2001).

AHS'nin ilk adımı, bir karar problemini kavranması ve değerlendirilmesi kolay, hiyerarşik bir düzen içinde alt problemlere ayıran karar hiyerarşisinin kurulmasına dayanmaktadır. Karar hiyerarşisinin en üstünde ana hedef yer almaktadır. Bir alt kademedeki kararı etkileyecek kriterler bulunmaktadır. Bu kriterlerin ana hedefi etkileyecek özellikleri varsa hiyerarşiye başka alt kademeler eklenmektedir. Hiyerarşinin en altında karar alternatifleri yer almaktadır (Kuruüzüm ve Atsan 2001).

Karşılaştırmalı yargılar veya ikili karşılaştırmalar AHS'nin ikinci temel adımıdır. İkili karşılaştırma iki kriterin birbirleri ile karşılaştırılması anlamına gelmekte olup, karar vericinin bilgi, deneyim, düşünce ve ön sezilerine dayalı yargısını ifade etmektedir. İkili karşılaştırmalar ile hiyerarşideki elemanların bir üst kademedeki elemana göre bağlı önemlerinin belirlenmesi sağlanmaktadır (Wind ve Saaty 1980).

İkili karşılaştırma yargıları oluşturulurken “a” kriterinin “b” kriterinden ne kadar önemli olduğu karar vericinin yargısı ile oluşturulmaktadır. Bu amaçla Saaty (1980)'nin çizelge 8.1’de verilen ve 1-9 puan aralığını içeren ölçekten faydalanılmaktadır. Hiyerarşinin belirlenen düzeyi n sayıda eleman içeriyorsa toplam $n(n-1)/2$ adet ikili karşılaştırma yapılmalıdır. Bu karşılaştırmalar matrisler şeklinde düzenlenmektedir.

Çizelge 8.1 AHS Değerlendirme Ölçeği (Saaty 1980)

Sayısal Değer	Tanım
1	Öğeler eşit önemde (veya aralarında kayıtsız kalınıyor)
3	1. öğe 2.'ye göre biraz daha önemli (veya biraz daha tercih ediliyor)
5	1. öğe 2.'ye göre fazla önemli (veya fazla tercih ediliyor)
7	1. öğe 2.'ye göre çok fazla önemli (veya çok fazla tercih ediliyor)
9	1. öğe 2.'ye göre aşırı derecede önemli (veya aşırı derecede tercih ediliyor)
2,4,6,8	Ara değerler

Elemanların (parametrelerin) ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra karşılaştırılan her elemanın önceliğinin hesaplanmasına geçilmektedir. “Sentezleme” olarak adlandırılan ve AHS’nin üçüncü aşaması olan kademe, en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanması ve normalize edilmesini içermektedir. Her sütunun elemanları o sütunun toplamına bölünerek, elde edilen değerlerin satır toplamı alınıp ve bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünerek uygulanan normalizasyon yöntemi en yaygın kullanılan yöntemdir (Saaty 1980). Böylece her kriter için bir öncelik vektörü bulunmaktadır (Barış 2008).

İkili karşılaştırma süreci sırasında karar verici tarafından formüle edilen yargıların tutarlılığı son kararın kalitesi açısından önemlidir. AHS yöntemi içerisinde mükemmel bir tutarlılık öngörüsünden bahsedilemez. Bu anlamda, tutarsızlığa da izin vermekte ancak, her yargılamada tutarsızlığın ölçümünü sağlamaktadır. İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty’nin önerdiği bir tutarsızlık oranı bulunmaktadır (Saaty 1980). Saaty’nin önermiş olduğu tutarsızlık oranında en üst limit 0,1 olarak belirlenmiştir (Saaty 1980).

AHS yönteminde elde edilen tutarsızlık oranı 0,1’in altında ise kabul edilen yargıların yeterli bir tutarlılık gösterdiği ve değerlendirmenin sürdürülebileceği sonucu çıkartılmaktadır. Ancak bu tutarsızlık oranı 0,1’in üzerinde ise kabul edilen yargıların tutarsız olduğu kabul edilip yargı kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan karşılaştırma ve kabullerin yeniden değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır (Barış 2008).

Tüm bu aşamaların bilgisayar ortamında kolaylıkla yapılabilmesi için çeşitli paket programlar geliştirilmiştir. Çalışmada ağırlık ve oranlar hesaplanmasında bu programlardan bir tanesi olan Klaus D. Goepel tarafından 2013 yılında geliştirilmiş ve Microsoft Excel tabanlı AHPcalc Version 19.02.13 kullanılmıştır.

8.3 AHS-DRASTIC Model ve Parametreleri

DRASTIC metodu alanların kirlenebilirlik potansiyelini, o bölgeye ait hidrojeolojik faktörler de dahil edilerek yorumlanması temeline dayanan Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) adına Aller ve diğerleri tarafından 1987 yılında geliştirilmiş yeraltı suyu kalite indeksini bulmayı sağlamaktadır.

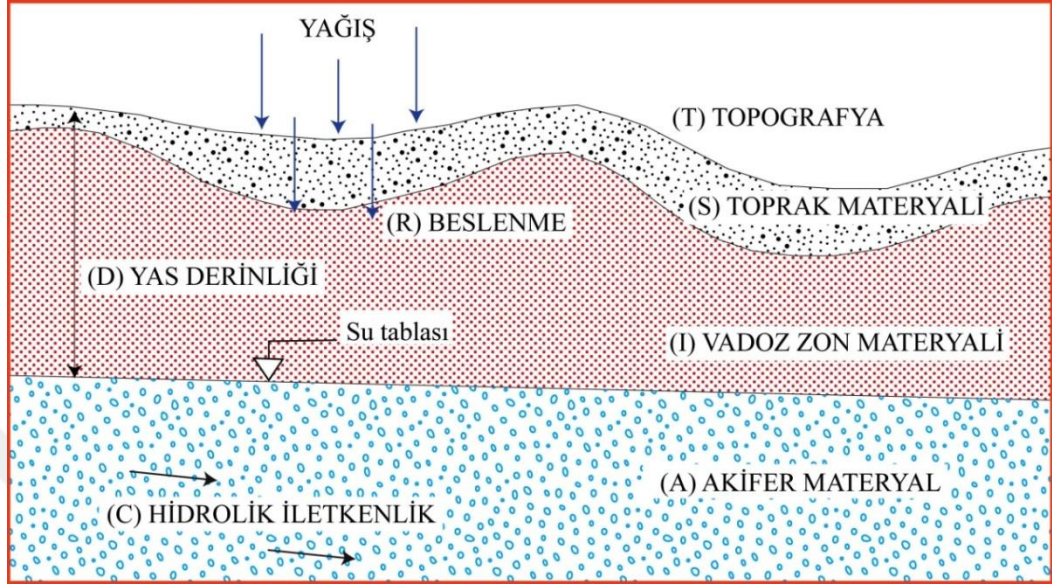
DRASTIC yöntemi, yeraltı suyunun kirleticilere karşı hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler içerisinde, parametrik sistem metodlarına dahil olan PSCM (nokta sayım modelleri) yaklaşımları içindedir. Herhangi bir faaliyet esnasında akiferin kirlenme potansiyeline karşı bağlı duyarlılığını ortaya koymaktadır.

DRASTIC model dört ana temel üzerine kuruludur. Bunlar sırası ile i) Kirletici toprak üzerinde tanımlanmıştır, ii) Kirletici yeraltı suyuna yağmur aracılığı ile ulaşır, iii) Kirletici suyun hareketi ile ilerler, iv) Çalışma alanı 0.4 km²'den büyüktür (Aller vd. 1987).

DRASTIC kısaltması, haritalanabilir yedi adet hidrojeolojik parametrenin kısaltılmış şeklidir. Bu parametreler sırasıyla; yeraltı suyuna uzaklık (**Depth of groundwater-D**), beslenme (**Recharge-R**), akifer ortam (**Aquifer media-A**), toprak bünyesi (**Soil media-S**), eğim (**Topography-T**), vadoz zon (**Impact of vadose zone- I**), ve akiferin hidrolik iletkenliği (**Hydraulic Conductivity-C**) şeklindedir (Şekil 8.1) (Çizelge 9.2).

DRASTIC ağırlık, puanlandırma ve sıralama olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır (Aller vd. 1987). Her bir parametrenin öncelikle bir göreceli ağırlığı vardır. Bu göreceli ağırlık değerleri 1 ile 5 arasında değişmektedir. Bu değerler içerisinde 5 değeri en

önemli, 1 ise en önemsiz parametre olduğunu ifade etmektedir (Çizelge 8.2). DRASTIC indeksi aşağıda verilmiş olan bağıntı ile hesaplanır.



Şekil 8.1 DRASTIC Model Parametreleri

$$\text{DRASTIC İndeks} = DriDwi + RriRwi + AriAwi + SriSwi + TriTwi + IriIwi + CriCwi \dots \dots \dots (1)$$

Burada; r_i : her parametrenin oran katsayısını, w_i ise ağırlık katsayısını ifade etmektedir. DRASTIC modelde her parametre için 1’den 10’a kadar sayılar atanmış olup, en önemli parametre 10 ile ifade edilmektedir.

Çizelge 8.2 DRASTIC Yöntem parametrelerinin ağırlıkları (Aller vd. 1987)

Simge	Parametre	Ağırlık
D	Yeraltı Suyu Derinliği	5
R	Beslenim	4
A	Akifer Ortam	3
S	Toprak Bünyesi	2
T	Eğim	1
I	Vadoz Zon	5
C	Akiferin Hidrolik İletkenliği	3

Aller vd. (1987) farklı alanlarda hidrojeolojik çalışmalar yaparak DRASTIC yönteme ait 7 adet parametrenin alt sınıflarını ve bu sınıflara ait oranları belirlemişlerdir (Çizelge 8.3).

İnönü Ovası'nda yapılmış olan bu çalışmada DRASTIC ağırlık ve oran sayıları AHS yardımıyla hesaplanmış olup, her parametre için ağırlık ve oran değerleri bulunmuş ve çizelgeler halinde verilmiştir. AHS-DRASTIC model oluşturulurken öncelikle verilerin toplanması, verilerin analizi ve uygulama şeklinde bir yol izlenmiştir. Verilerin toplanmasında her bir parametre için yararlanılan veriler çizelge 8.4'te verilmiştir.

Elde edilen noktasal veriler Arc GIS programı kullanılarak alansal verilere dönüştürülmüştür. Çalışma süresince yararlanılan verilerin kaynağı ve özellikleri çizelge 8.5'te gösterilmiştir.

8.3.1 Yeraltı suyu derinliği (D)

Yeraltı suyu derinliği, yüzeyden yeraltı su tablasına (yeraltı suyunun bulunduğu noktaya) kadar olan mesafeyi tanımlamaktadır.

Yeraltı suyunun yüzeye yakın olması, kirleticilerin akifere ulaşma süresini kısaltacağından daha büyük kirlilik riskini ifade etmektedir. Yüzey ile yeraltı suyunun bulunduğu nokta arasındaki uzaklık ne kadar büyük ise yeraltı suyunun kirlenme ihtimali de o kadar azalır. Bu bağlamda, yeraltı suyu derinliği parametresi akifer kirlenebilirliği açısından oldukça önemli bir parametre olarak göze çarpmaktadır.

Aller vd. (1987) tarafından YAS derinliğine göre sınıf değerleri çizelge 8.6'da verildiği gibi belirlenmiştir. Aller vd. (1987) yaptıkları çalışmada YAS derinliği için 7 adet sınıf aralığı belirlemiş ve bu 7 sınıf aralığına göre sınıf değerleri vermişlerdir.

Çalışma alanında belirlenen 12 adet kuyudan yeraltı suyu derinliği ölçümü yapılmıştır. Ölçümler yeraltı suyunun yüksek olduğu Mayıs ayında ve düşük olduğu Ekim ayında olmak üzere 2 periyotta gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 8.3 DRASTIC yönteme ait parametre ve alt sınıflandırmaları (Aller vd. 1987)

Parametre	Sınıflandırma	Oran	Tipik	Ağırlık
Yeraltı Suyu Derinliği (D)	0-1.5	10		5
	1.5-4.5	9		
	4.5-9	7		
	9-15	5		
	15-22.5	3		
	22.5-30	2		
	>30	1		
Net Beslenim (R)	>254	9		4
	178-254	8		
	102-178	6		
	51-102	3		
	0-51	1		
Akifer Ortam (A)	Karstik kireçtaşı	9-10	10	3
	Bazalt	2-10	9	
	Kum ve çakıl	4-9	8	
	Masif kireçtaşı	4-9	6	
	Masif kumtaşı	4-9	6	
	Tabakalı kumtaşı, kireçtaşı ve şeyl	5-9	6	
	Buzul	4-6	5	
	Bozunmuş metamorfik/magmatik	3-5	4	
	Metamorfik/magmatik	2-5	3	
	Masif şeyl	1-3	2	
Toprak Ortamı (S)	İnce veya yok	10		2
	Çakıl	10		
	Kum	9		
	Turba	8		
	Büzülmüş veya birleşmiş kil	7		
	Kumlu verimli toprak	6		
	Verimli toprak	5		
	Siltli verimli toprak	4		
	Killi verimli toprak	3		
	Gübre	2		
	Büzülmemiş veya birleşmemiş kil	1		
Topografya (%) (T)	0-2	10		1
	2-6	9		
	6-12	5		
	12-18	3		
	>18	1		

Çizelge 8.3 (devam) DRASTIC yönteme ait parametre ve alt sınıflandırmaları (Aller vd. 1987)

Parametre	Sınıflandırma	Oran	Tipik Oran	Ağırlık
Vadoz Zon Etkisi (I)	Karstik kireçtaşı	8-10	10	5
	Bazalt	2-10	9	
	Kum ve çakıl	6-9	8	
	Metamorfik/magmatik	2-8	4	
	Önemli miktarda silt ve killi kum ve çakıl	4-8	6	
	Tabakalı kumtaşı, kireçtaşı, şeyl	4-8	6	
	Kumtaşı	4-8	6	
	Kireçtaşı	2-7	6	
	Şeyl	2-5	3	
	Silt/kil	2-6	3	
	Geçirimsiz tabaka	1	1	
Hidrolik İletkenlik (m/gün) (C)	>82	10		3
	41-82	8		
	29-41	6		
	12-29	4		
	4-12	2		
	0-4	1		

Çizelge 8.4 DRASTIC Modele ait parametreler için İnönü Ovası'na ait veritabanı oluşturmada kullanılan veriler

DRASTIC YÖNTEM VERİ TABANI	PARAMETRE	KULLANILAN VERİLER
	Yeraltı Suyu Derinliği (D)	Yeraltı Suyu Seviye ölçümü
	Beslenim (R)	Toprak Haritası, İklim Verileri, Su Analizleri
	Akifer Ortam (A)	Jeoloji Haritası, Arazi Kullanım Haritası, Kuyu Logları
	Toprak Bünyesi (S)	Kuyu Logları, Arazi Kullanım Haritası
	Topoğrafya (T)	Sayısal Arazi Modeli
	Vadoz Zon Etkisi (I)	Jeoloji Haritası, Kuyu Logları
	Hidrolik İletkenlik (C)	Jeoloji Haritası, Kuyu Logları, Arazi Kullanım Haritası

Çizelge 8.5 İnönü Ovası için DRASTIC parametrelerine ait veri kaynakları ve özellikleri

PARAMETRELER	VERİ TİPİ	KAYNAK
Yeraltı Suyuna Uzaklık	Kuyu yeri/derinliği	Arazi Ölçümleri
Beslenim	Yağış- Buharlaşma- Cl miktarı	DMİ, Su Analizleri,
Akifer Ortam	Çalışma alanı jeolojisi	MTA, Arazi çalışmaları
Toprak Bünyesi	Toprak haritası, toprak özellikleri	GTHB
Topoğrafya	Eğim	SRTM
Vadoz Zon	Jeoloji, Kuyu logları	MTA, DSİ, Arazi çalışmaları
Hidrolik İletkenlik	Kuyu logları, hidrojeolojik rapor	DSİ

DMİ: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

DSİ: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

MTA: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

GTHB: Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

Çizelge 8.6 YAS derinliğine göre sınıf değerleri (Dr) (Aller vd. 1987)

YAS Derinliği (m)	Sınıf değerleri (Dr)
0-1.52	10
1.52-4.57	9
4.57-9.14	7
9.14-15.20	5
15.20-22.9	3
22.9-30.48	2
>30.48	1

Belirlenen kuyularda yapılan ölçümler sonucu yeraltı suyu derinliğinin 0.1 ile 80.80 m arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Bu değerler yağışlı dönemde 0.2-74.6 m arasında değişirken kurak dönemde 0.18-80.80 m arasında değişmektedir (Çizelge 8.7). Yeraltı suyu derinliği parametresi için yapılan ağırlıklandırma ve oranlama esnasında yağışlı dönem yeraltı suyu derinliği değerleri kullanılmıştır. Bunun nedeni ise hem yeraltı suyuna ulaşabilecek kirleticinin alacağı mesafe daha az hem de yağış fazla olduğu için yüzeyde oluşacak süzülmenin fazla olmasıdır. Bu sebeplere bağlı olarak yeraltı suyu kirlenme riski daha fazla olacaktır.

Çizelge 8.7 Çalışma alanında bulunan kuyuların yeraltı suyu derinlik değerleri (Mayıs, 2012)

Kuyu Adı	Yeraltı Suyu Derinliği (m)
SEBAHATTİN	1.1
YURTBAY	32.75
ARICI	4.5
DSİ SONDAJ	1.5
KESON KUYU	4.4
KANDİLLİ İÇME SUYU	74.6
SÖK1	0.8
KÜÇÜK EV	1.3
KAZANKAYA	1
ÖZER	4.5
ÇEVİK	14.3
KABADAĞ	1.1

Çalışma alanı için yeraltı suyu derinliği parametresine ait tematik haritanın oluşturulabilmesi için öncelikle kuyularda yapılan yeraltı suyu derinlik ölçümleri kullanılmıştır. Ayrıca daha hassas bir sonuç elde edilebilmesi amacıyla çalışma alanı eş

su seviye eğrilerinden yararlanılmıştır. Eş su seviye eğrilerinden yararlanılarak çalışma alanının yeraltı suyu derinlik haritasının oluşturulması için ovanın haritası üzerinde 32 adet referans noktası belirlenmiş ve bu referans noktalarındaki kotlardan eş su seviye eğri değerleri çıkarılarak noktaların yeraltı suyu derinlik değerleri elde edilmiştir (Çizelge 8.8). Daha sonra bu noktaların yeraltı suyu derinlik değerleri ArcGIS veri tabanına eklenmiştir.

Çalışma alanından elde edilen veriler kullanılarak yönteme ait sınır değerler herbir aralığa düşecek nokta sayıları dikkate alınarak, 0-1.4, 1.41-4, 4.1-10, 10.1-15, 15.1-35, ve >35 m olmak üzere 6 alt sınıfa ayrılarak AHS ile yeraltı suyu derinlikleri için göreceli öncelik değerleri belirlenmiştir (Çizelge 8.9). Yeraltı suyu derinlik parametresine ait ağırlık ve oranlar ile oluşturulan tematik harita ise şekil 8.2’de görülmektedir.

Çizelge 8.8 Çalışma alanında yeraltı suyu derinliği parametresi için referans noktaların koordinat ve derinlik değerleri

Nokta	x	y	YAS Derinliği (m)	Nokta	x	y	YAS Derinliği (m)
1	30.035	39.837	18	17	30.139	39.814	8
2	30.042	39.829	11	18	30.184	39.844	30
3	30.037	39.827	35	19	30.177	39.83	8
4	30.042	39.838	21	20	30.185	39.816	21
5	30.044	39.828	15	21	30.21	39.842	18
6	30.054	39.84	15	22	30.196	39.834	1
7	30.058	39.833	9	23	30.214	39.815	30
8	30.051	39.822	33	24	30.227	39.84	25
9	30.066	39.842	20	25	30.217	39.831	4
10	30.074	39.831	7	26	30.221	39.816	6
11	30.072	39.817	26	27	30.238	39.816	28
12	30.119	39.823	2	28	30.228	39.835	10
13	30.119	39.823	1	29	30.229	39.827	28
14	30.116	39.815	3	30	30.353	39.807	9
15	30.139	39.835	3	31	30.338	39.805	1
16	30.139	39.824	2	32	30.073	39.83	1.5

Çizelge 8.9 Yeraltı Suyu Derinliği (D) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

Derinlik (m)	0-1.4	1.41-4	4.1-10	10.1-15	15.1-35	>35	Görelî öncelik değeri
0-1.4	1	1	2	3	4	8	0,309
1.41-4	1	1	2	3	4	6	0.296
4.1-10	1/2	1/2	1	2	3	5	0.181
10.1-15	1/3	1/3	1/2	1	2	3	0.108
15.1-35	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2	0.068
>35	1/8	1/6	1/5	1/3	1/2	1	0.038

Yeraltı suyu tematik katmanına (Şekil 8.2) göre ovanın büyük bölümünde yeraltı suyu derinliği 0-10 m arasında olup sadece Kandilli ve Oklubalı civarında 35m'den fazla yeraltı suyu derinliği görülmüştür. Ovanın yeraltı suyu derinliğinin düşük olması kirleticilerin katedeceği yolun az olması nedeniyle kirleticilerin yeraltı suyuna daha kısa sürede ulaşmasına neden olmaktadır.

Çalışma alanına ait yeraltı suyu derinliği (D) tematik haritasında kirlenme potansiyeli açısından en hassas bölgeleri en yüksek ağırlık katsayısına sahip olan bölgeler oluşturmaktadır. Haritadaki en hassas olmayan bölgeler ise, çalışma alanının orta kısmında Oklubalı çevresi ile ovanın batısında Kandilli civarında gözlenmektedir.

8.3.2 Beslenme (R)

Yeraltı suyunun birincil kaynağı tipik olarak yeraltına doğru ve su tablasına süzülen yağıştır. Net beslenme yüzeye nüfus ederek su tablasına ulaşan birim alandaki suyun miktarı olarak tanımlanır. Bu beslenme suyu, bir kirleticinin yatay olarak su tablasına ve dikey olarak akifer içerisine taşınımını sağlar. Ayrıca vadoz ve doymuş zondaki kirleticinin dağılım ve seyreltmesi için mümkün olan suyun miktarı beslenme parametresi ile kontrol edilir. Beslenme suyu, katı ve sıvı kirleticilerin su tablasına ulaşmasında ve taşınımında birincil rol oynamaktadır. Büyük beslenme miktarı, daha büyük bir yeraltı suyu kirliliği potansiyelini ifade etmektedir. Bu genel durum beslenme miktarının kirleticinin seyrelmesine yetecek miktarda olduğu duruma kadar doğrudur (Aller vd. 1987).

Aller ve diğ. (1987) tarafından, YAS beslenme miktarı bilgilerinin bazı ovalar ve özel çalışma alanları için hazırlanmış raporlardan elde edilebileceğini; beslenme miktarı

olmayan alanlar için konunun uzmanı olan kişiler tarafından tahmin yapılması gerektiği ifade edilmektedir.

YAS beslenme parametresi diğer DRASTIC Modeli parametrelerine göre daha az hassas olduğundan ve hesaplanması zor olduğundan sınıflandırma aralıkları geniş tutulmuştur. YAS beslenme miktarı aralıklarına göre sınıf değerleri çizelge 8.10'da verilmiştir.

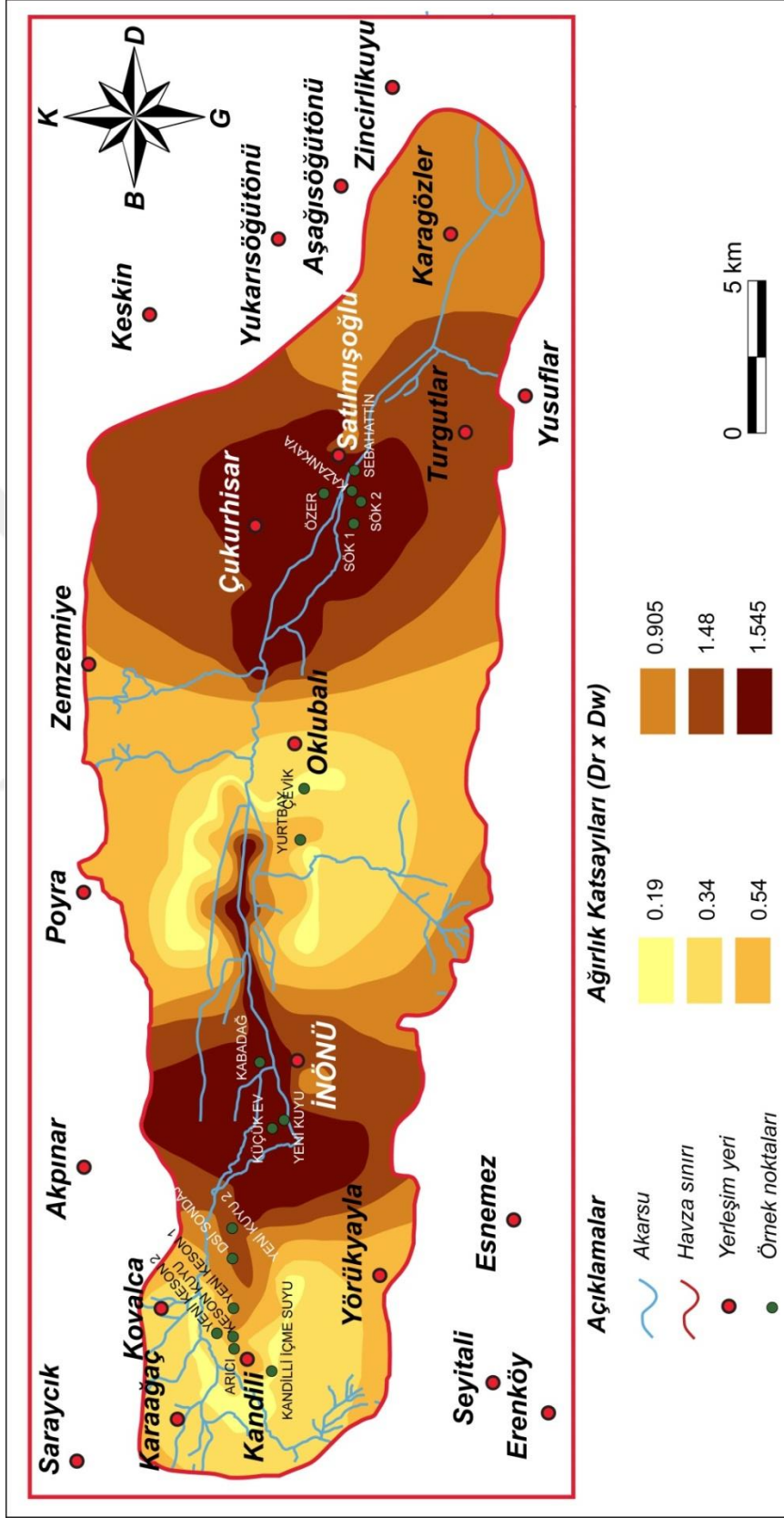
Çizelge 8.10 YAS Beslenme Miktarı Sınıf Değerleri (Rr) (Aller vd. 1987)

YAS Beslenme Değeri (mm)	Sınıf Değerleri (Rr)
0-50.8	1
50.8-101.6	3
101.6-177.8	6
177.8-254	8
>254	9

Yağıştan olan YAS beslenme miktarı çok sayıda yöntem kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu yöntemlerden en yaygın olanları; Klasik Yöntem, Hidrolojik Model Yaklaşımı Yöntemi (Yüce, 1998) ve SCS-CN (Soil Conservation Service - Curve Number) yöntemidir (Tülücü 2002; Apaydın 2007).

Klasik yöntem, çalışma alanındaki jeolojik formasyonlar için belirlenen teorik sızma katsayıları kabulüne dayanmaktadır. Klasik yöntem, çalışma alanındaki jeolojik formasyon tipine göre yağıştan yüzde olarak sızma miktarı kabulüne dayanan kaba bir yöntemdir. Yöntem, çalışma alanı toprak özellikleri, toprak su tutma kapasitesi, buharlaşma-terleme, arazi kullanım durumu, topoğrafya vb. faktörleri göz önünde bulundurmamaktadır (Atlı 2010).

Hidrolojik model yaklaşımı yöntemi, çalışma alanını temsil edecek sayıda gözlem verisi bulunan kuyular var olduğunda doğru sonuçlar verecektir (Atlı 2010). Çalışma alanı İnönü Ovası'ndaki YAS kuyularında geçmiş yıllara ait yeterli sayıda ve çalışma alanını temsil edecek şekilde dağılım gösteren YAS seviye gözlemi mevcut değildir. Bu eksiklikler nedeniyle, bu araştırmada hidrolojik model yaklaşımının kullanılması benimsenmemiştir.



Şekil 8.2 İnönü Ovası yeraltı suyu derinliği tematik katmanı haritası (Ekim, 2012) (? işareti ile gösterilen alanlar data eksikliği nedeniyle güvenilirliliği daha az bölgeleri ifade etmektedir.)

SCS-CN yöntemi, ABD Toprak Koruma Servisi (U.S. Soil Conservation Service, SCS) tarafından yağış-yüzeysel akış-kayıp ilişkisini analiz etmek üzere 1972 yılında geliştirilmiştir. SCS-CN yönteminin küçük ölçekli ovalarda akım ölçümleri ile test edildiği, yöntemin geçerliliğinin çok sayıda çalışma ile ortaya konduğu bildirilmiştir (Tülücü 1996).

Tez kapsamında çalışma alanındaki beslenme miktarının belirlenmesinde klasik ve hidrolojik model yaklaşımı yöntemlerinin yukarıda bahsedilen sakıncaları nedeniyle SCS-CN yöntemi kullanılmıştır.

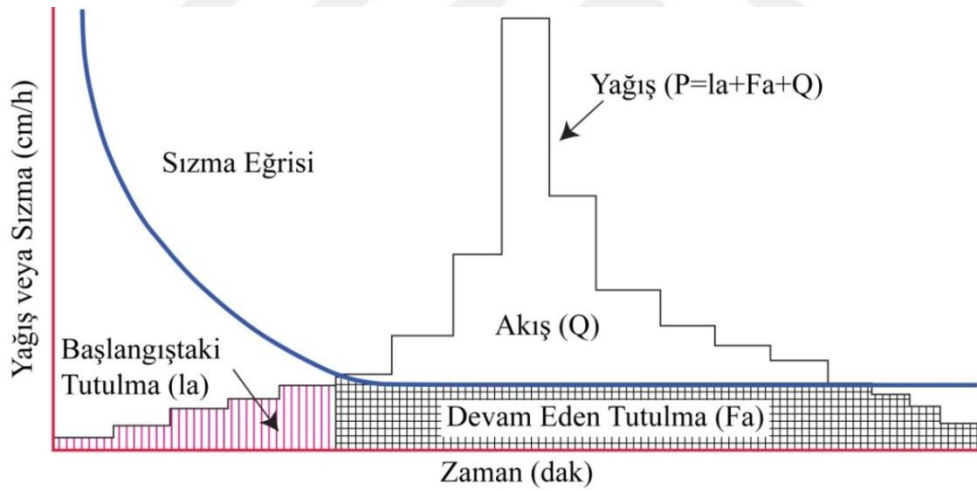
SCS-CN Yöntemi (Soil Conservation Service-Curve Number): SCS-CN yöntemi yağıştan yüzey akışa geçen su miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Yağış başladığı zaman yüzeysel akış oluşana kadar toprak ve bitkiler tarafından bir miktar su tutulur. Toprağın fazla kuru olması, yüzeysel akış oluşmadan önce toprak tarafından tutulmanın daha fazla olmasına sebep olur. Bu nedenle toprağın yağış başladığındaki nem içeriği, sızma ve yüzeysel akış ilişkisinde son derece önemlidir. Yağışın devam etmesiyle birlikte toprağın nem içeriği artar ve infiltrasyon hızı azalır; en sonunda sabit bir değere ulaşır. Bu değer, toprağın sabit infiltrasyon hızı ya da infiltrasyon kapasitesi olarak bilinir (SCS 1972; SCS 1987; Apaydın 2004; Atlı 2010) .

CN değeri; hidrolojik toprak grubu, arazi örtüsü ve arazinin kullanımı (teraslama vb.), hidrolojik koşullar ve toprağın önceki nem koşullarına bağlı bir değerdir ve 0 ile 100 arasında değişebilir. Ancak, çoğunlukla 55-95 arasında değişmektedir (Hawkins 1998; Apaydın 2007).

SCS-CN yöntemine göre, yağış sonrası doğrudan yüzeysel akışa geçen su miktarı (Q), yağış miktarından (P) düşüktür veya hiç kayıp (tutulma+sızma) yoksa yağışa eşittir. Benzer şekilde, akış başladıktan sonra toprakta tutulan su miktarı (Fa), potansiyel en fazla tutulmadan (S) küçüktür veya ona eşittir (Şekil 8.3).

Çalışma alanı; üst toprak özellikleri (0-30 cm), arazinin şuanlık kullanım durumu ve arazi işleme durumu göz önünde bulundurularak 4 farklı bölgeye ayrılmıştır. Her bölge için toprak bünyesi, arazi kullanımı, arazi işleme durumu ve sızma için hidrolojik koşullar (Anonim 1975 verilerinden yararlanılarak) göz önünde bulundurularak USDA (1972) tarafından belirtilen hidrolojik toprak grubundan (Çizelge 8.11) hangisine dahil olduğu belirlenmiş ve eğri numaraları (CN) atanmıştır.

USDA tarafından 1972 yılında yayınlanmış olan raporda toprak tipleri A, B, C ve D olmak üzere 4 farklı gruba ayrılmıştır. Grup A tipi toprak grupları, en düşük yüzey akış potansiyeline sahip toprakları içermektedir. Grup B tipi toprak grupları, oldukça düşük yüzey akış potansiyeline sahip toprakları içermektedir. Grup C tipi toprak grupları, oldukça yüksek yüzey akış potansiyeline sahip toprakları ifade ederken Grup D tipi toprak grubu ise en fazla yüzey akış potansiyeline sahip toprakları içermektedir.



Şekil 8.3 Sızma-Tutulma ve Yağış Fazlasının Zamanla Değişimi (Chow vd. 1988; Apaydın 2007)

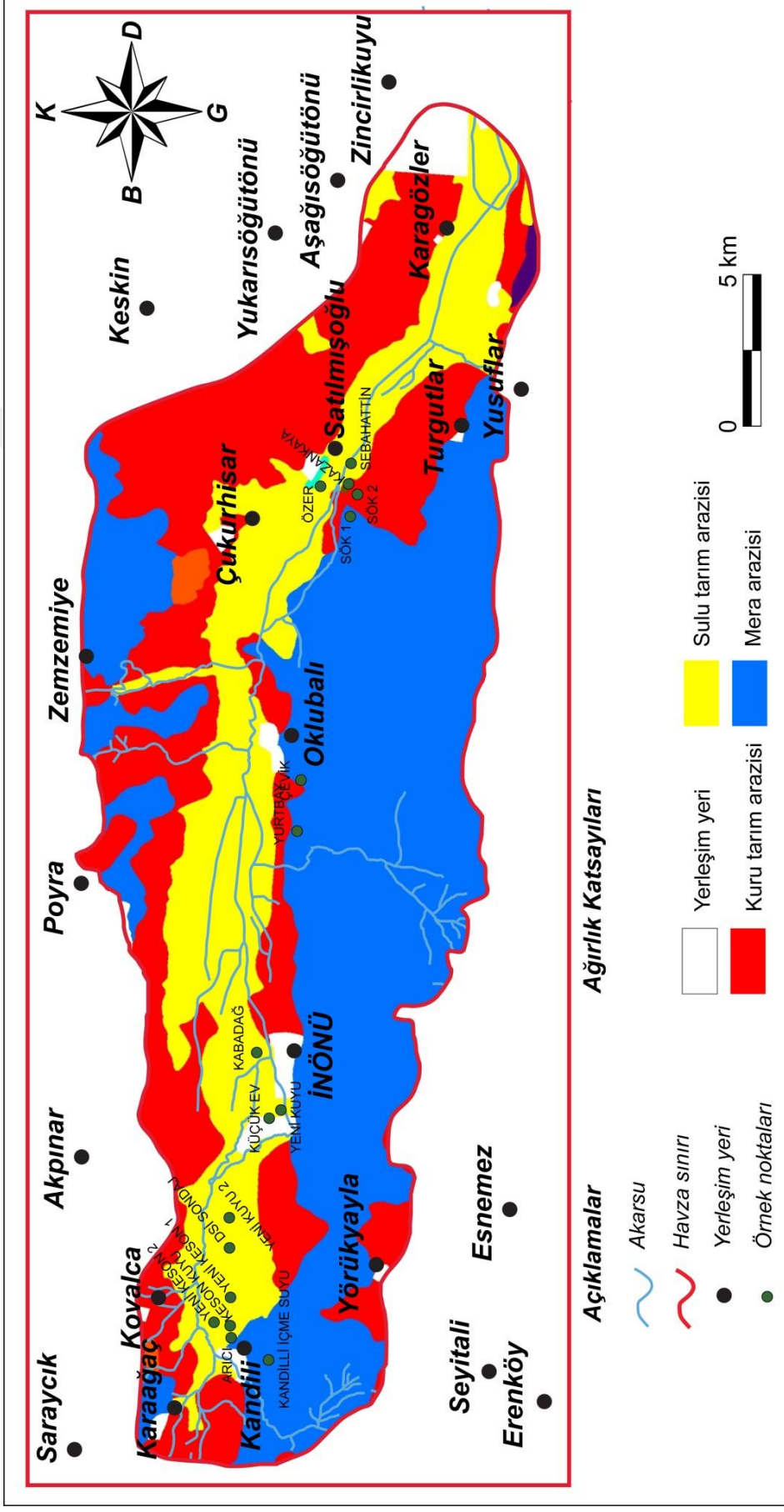
Çizelge 8.11 Hidrolojik toprak gruplarının tarifi (USDA 1972)

Grup A	<i>En düşük yüzey akış potansiyeli:</i> Derin kum, derin lős, topaklanmış silt
Grup B	<i>Oldukça düşük yüzey akış potansiyeli:</i> Sığ lős, kumlu toprak
Grup C	<i>Oldukça yüksek yüzey akış potansiyeli:</i> Killi nem, sığ kumlu toprak, organik maddesi az toprak ve genelde kili bol toprak
Grup D	<i>En fazla yüzey akış potansiyeli:</i> Islanınca önemli ölçüde şişen topraklar, ağır plastik kil ve bazı tuzlu topraklar

Şekil 8.4'te verilen Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı verilerinden yararlanılarak çizilen çalışma alanının şuan ki arazi kullanım haritasına göre çalışma alanında sulu tarım, kuru tarım ve mera olmak üzere 3 farklı arazi kullanımı mevcuttur. Çalışma alanında beslenme miktarının SCS-CN yöntemi ile hesaplanabilmesi amacıyla yukarıda anlatılan 3 farklı arazi kullanım şekline yerleşim merkezleri de eklenerek 4 farklı grup belirlenmiştir.

Çizelge 8. 12'de ise ABD Toprak Koruma Servisi (SCS) tarafından geliştirilen ve Özer (1990) tarafından Türkiye topraklarına göre revize edilen hidrolojik toprak grupları ve arazi örtüsü sembolleri verilmiştir. Çalışma alanı için hidrolojik toprak gruplarının belirlenmesinde Özer (1990) tarafından hidrolojik zemin grupları ve bitki örtüsüne göre önerilen akış eğri numaraları çizelge 8.12'de verilmiştir.

Çalışma alanı için çizelge 8.13'ten yararlanılarak çalışma alanındaki her bir arazi kullanım tipine göre akış eğri numaraları atanmıştır (Çizelge 8.14). Çizelge 8.14'te verilen sulu tarım, kuru tarım, mera ve yerleşim merkezi arazi kullanım tiplerinin bulunduğu hidrolojik toprak grupları, çalışma alanının jeolojik özellikleri, toprak tiplerinin dağılımı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Buna göre sulu tarım yapılan alanların A Grubu hidrolojik toprak grubunda olduğu görülmüştür. Kuru tarım alanlarının ise A ve B Grubu hidrolojik toprak gruplarına sahip olduğu belirlenmiştir. Mera ve yerleşim merkezlerinin bulunduğu bölgelerdeki toprak grupları ise C ve D olarak belirlenmiştir. Hidrolojik toprak grupları belirlendikten sonra atanan eğri numaralarının aritmetik ortalamaları alınarak tek bir eğri numarası değeri elde edilmiştir. Elde edilen eğri numarası (CN) değerleri $S = 1000/CN - 10$ formülünde yerine konularak potansiyel maksimum tutulma değeri bulunmuştur. Bulunan bu S değeri, $Q = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S)$ formülünde yerine konularak yüzeysel akış değeri hesaplanmıştır (Çizelge 8.15). Formülde kullanılan yağış değeri, alansal olarak hesaplanarak her bir alan için bir P değeri elde edilmiştir. Daha sonra $P = Q + Et_g + I$ formülü yardımı ile beslenme değerine eşit olacak olan infiltrasyon (I) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 8.15).



Şekil 8.4 İnönü Ovası mevcut arazi kullanım haritası (Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Ankara Genel Müdürlüğü'nden elde edilen toprak haritasından düzenlenmiştir)

Çizelge 8.12 ABD Toprak Koruma Servisi (SCS) tarafından geliştirilen ve Özer (1990) tarafından Türkiye topraklarına göre revize edilen hidrolojik toprak grupları ve arazi örtüsü sembolleri (Tülücü 2002)

ÖZER (1990)			SCS(1972)
Hidrolojik Toprak Grubu	Büyük Toprak Grubu Sembolü	Bazı Arazi Tipleri Sembolü	Hidrolojik Toprak Grubu
A Minimum İnfiltrasyon Derecesi 7.5-10 mm/sa	L		A Minimum İnfiltrasyon Derecesi >7.6 mm/h
	A		
	E, T		
	O		
		KK, SK-IY	
B Minimum İnfiltrasyon Derecesi 3-7.5 mm/sa	P, G		B Minimum İnfiltrasyon Derecesi 3.8-7.6 mm/h
	C, D, M, N		
	E, T		
	B, F, R, Y		
	U		
	L		
	X		
	K		
	A		
C Minimum İnfiltrasyon Derecesi 0.8-3 mm/sa	P, G		C Minimum İnfiltrasyon Derecesi 1.3-3.8 mm/h
	C, D, M, N		
	B, F, R, Y		
	U		
	R		
	L, E, T		
	Y		
	X		
	K		
	Ç		
	A		
D Minimum İnfiltrasyon Derecesi 0-0.8 mm/sa	P, G		D Minimum İnfiltrasyon Derecesi 0-1.3 mm/h
	C, D, M, N		
	B, F		
	R, U		
	V		
	Z		
	A		
	H		
	S		
	X		
	Ç		
	L	SB-CK	

Net beslenme miktarları hesaplandıktan sonra çalışma alanı için belirlenmiş olan 4 farklı gruba ait net beslenme miktarları belirlenmiştir. Net beslenme için alt sınıf aralıkları, Özer (1990) tarafından belirlenen toprak gruplarına ait maksimum ve minimum CN değerleri için beslenimler hesaplanarak bulunmuştur.

Çizelge 8.13 Hidrolojik Zemin Grupları ve Bitki Örtüsüne göre Akış Eğri Numaraları (Özer 1990; Tülücü 2002; Apaydın 2007)

Arazi Kullanımı	Arazi İşleme Durumu ve Uygulama	Sızma için Hidrolojik Koşul	Hidrolojik Toprak Grubu			
			A	B	C	D
Nadas	SR	-	77	85	91	94
Dizi Nebati (Pancar vb.)	SR	Zayıf	72	81	88	91
	SR	İyi	67	78	85	89
	C	İyi	70	79	84	86
	C	Zayıf	65	75	82	86
	CT	İyi	66	74	80	82
	CT	Zayıf	62	71	78	81
Ufak taneli (Buğday vb.)	SR	Zayıf	65	76	84	86
	SR	İyi	63	75	83	87
	C	Zayıf	63	74	82	85
	C	İyi	61	73	81	84
	CT	Zayıf	61	72	79	82
	CT	İyi	59	70	78	81
Sık Ekilmiş Bakliyat veya Ot Rotasyonu	SR	Zayıf	66	77	85	89
	SR	İyi	58	72	81	85
	C	Zayıf	64	75	83	85
	C	İyi	55	69	78	83
	CT	Zayıf	63	73	80	83
	CT	İyi	51	67	76	80
Çayırılık veya Meydan	-	Zayıf	68	79	86	89
	-	Uygun	49	69	79	84
	-	İyi	39	91	74	80
	C	Zayıf	74	67	81	88
	C	Uygun	25	59	75	83
	C	İyi	6	35	70	79
Devamlı Çayır	-		30	58	71	78
Orman Çiftlik Ağaçları	-	Zayıf	45	66	77	83
	-	Uygun	36	60	73	79
	-	İyi	25	55	70	77
Çiftlik, Bina gibi			59	74	82	86
Yollar (tozlu)			72	82	87	89
Yollar (sert zemin)			74	84	90	92
SR: Muntazam sıralı						
T: Teraslanmış						
C: Eşyükselti eğrilerine paralel						
CT: Eşyükselti eğrilerine paralel ve teraslanmış						

Çizelge 8.14 Çalışma alanı arazi kullanım durumuna göre hidrolojik toprak grupları ve eğri numaraları

Arazi kullanım durumu	Süzülme için hidrolik Şartlar (Anonim 1975)	Hidrolojik toprak Grubu	Eğri Numarası
Sulu tarım	iyi	Grup A	51
Kuru tarım	iyi	Grup A-B	59-70
Mera	iyi	Grup C-D	74-80
Yerleşim merkezi	Orta-iyi	Grup C-D	90-92

Çizelge 8.15 Çalışma alanı net beslenme miktarları

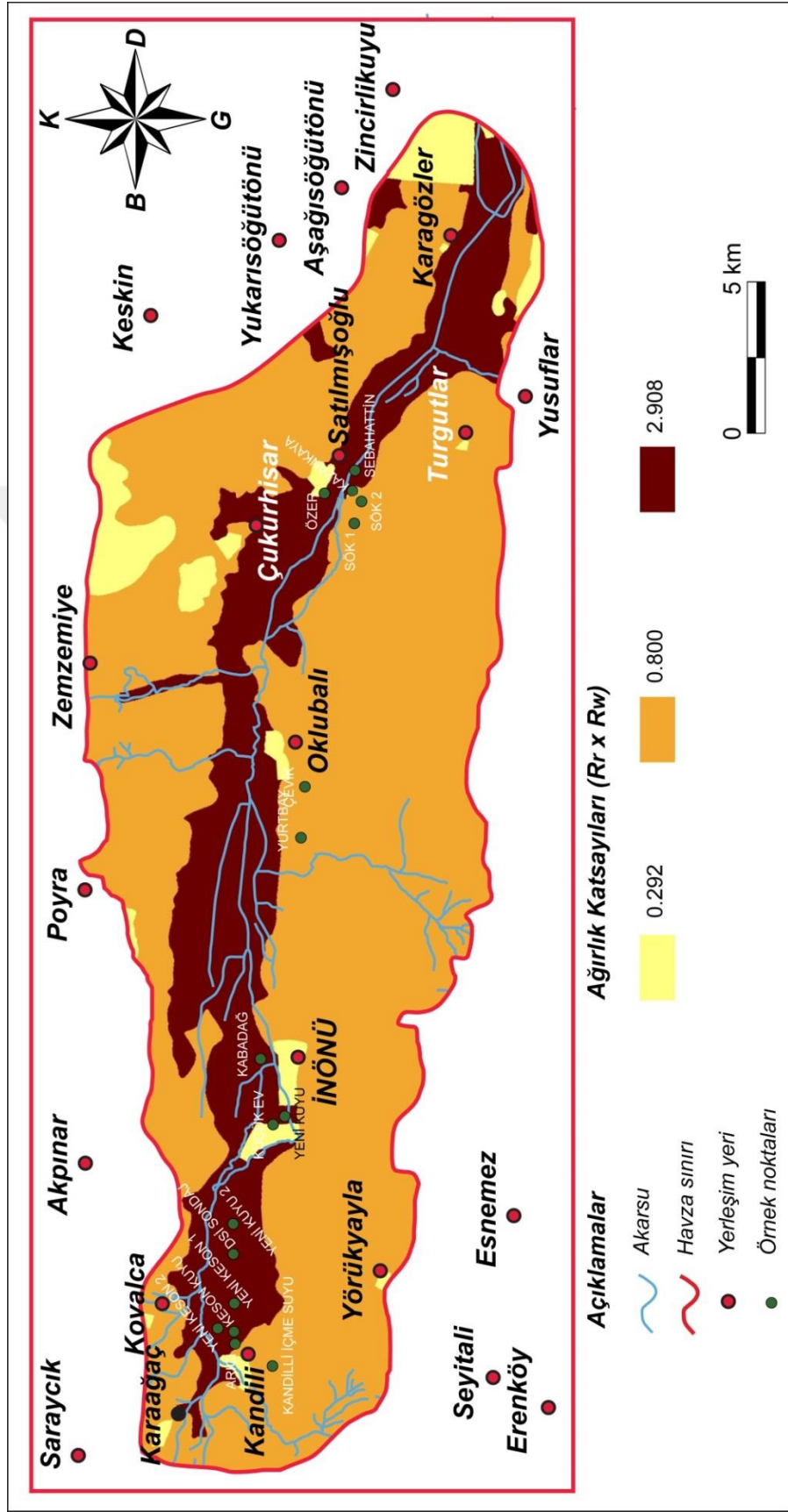
Arazi kullanım durumu	Eğri Numarası	$S = 25.4 * (1000 / CN - 10)$ (mm)	P (mm)	$Q = \frac{(P - 0.2xS)^2}{P + 0.8xS}$	Etg	I
Sulu tarım	67	149.17	480.4	338.49	128	17.91
Kuru tarım	$(55+69)/2 = 62$	155.67	498.36	350.45	140	7.91
Mera	$(74+80)/2 = 77$	75.87	495.06	414.37	66	10.69
Yerl. merkezi	$(90+92)/2 = 91$	25.12	447.6	418.8	26	2.8

Buna göre 0-10, 10-20 ve >20 alt sınıf değerleri belirlenmiştir. AHS yöntemi ile karşılaştırmaları yapılarak göreceli öncelik değerleri belirlenmiştir (Çizelge 8.16). Belirlenen değerler ArcGIS programına aktararak beslenme parametresine ait tematik harita elde edilmiştir (Şekil 8.5)

Beslenme parametresine ait ağırlıklandırmalar sonucu elde edilen tematik harita şekil 8.5'te verilmiştir. Çalışma alanına ait net beslenme tematik haritasına göre çalışma alanındaki kirlenme potansiyeline karşı en hassas bölgeleri en yüksek katsayıya sahip bölgeler oluşturmaktadır. Haritada en açık renkle ifade edilen alanlar kirlenme potansiyeline karşı en az hassas olan bölgelerdir. Buna göre çalışma alanının en hassas bölgeleri sıkı akifer sisteminin bulunduğu kısımlar olarak şekillenmiştir.

Çizelge 8. 16 Beslenme (R) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

Beslenme (mm)	>15	5-15	5-0	Göreceli öncelik değeri
>15	1	4	9	0.727
5-15	1/4	1	3	0.200
0-5	1/9	1/3	1	0.073
Tutarsızlık oranı = 0.01				



Şekil 8.5 İnönü Ovası beslenme tematik katmanı haritası

8.3.3 Akifer Ortam (A)

Akifer kirlenebilirliği, yüksek gözeneklilik ile doğru orantılıdır. Yüksek gözenekliliğe sahip daha büyük tane boylu, daha kırıklı bir akifer daha yüksek bir kirlenme potansiyeline işaret eder.

Aller vd. (1987) tarafından, akifer materyali ile ilgili bilgilerin jeolojik ve hidrojeolojik raporlardan, bilimsel tezlerden, kuyu loglarından veya sondajla ilgili çalışmalardan temin edilebileceği bildirilmiştir. Akifer materyali parametresi için yöntemin öngördüğü sınıf aralığı ve ortalama sınıf değerleri çizelge 8.17’de verilmiştir.

Çizelge 8.17 Akifer ortam sınıf değerleri (Ar) (Aller vd. 1987)

Akifer Materyali	Sınıf Aralığı	Ortalama Sınıf Değeri (Ar)
Masif şeyl	1-3	2
Metamorfik/volkanik kayaç	2-5	3
Bozunmuş metamorfik/volkanik kayaç	3-5	4
Buzul kayacı	4-6	5
Tabakalı kumtaşı, kireçtaşı ve şeyl	5-9	6
Masif kumtaşı	4-9	6
Masif kireçtaşı	4-9	8
Kum ve çakıl	4-9	8
Bazalt	2-10	9
Karstik kireçtaşı	9-10	10

Aller vd. (1987) tarafından önerilen akifer materyali ve atanması öngörülen sınıf değerleri, oldukça geniş kapsamlı bir sınıflama olup genel jeolojiye hitap etmektedir. Fakat çalışma alanı jeolojik yapısı ve formasyonların geçirgenliği göz önünde bulundurularak Aller vd. (1987)’nin çalışmaları baz alınarak çalışma alanına özgü akifer materyalinin yeniden sınıflandırması daha doğru bir yaklaşım olacağından çalışma alanı için alt sınıflar modifiye edilerek kullanılmıştır.

Akifer materyali parametresine ait tematik haritanın çizilebilmesi için gerekli sınıflama ve ağırlıklandırmaların yapılmasında, çalışma alanında DSİ tarafından açılmış olan kuyuların log bilgilerinden yararlanılmıştır.

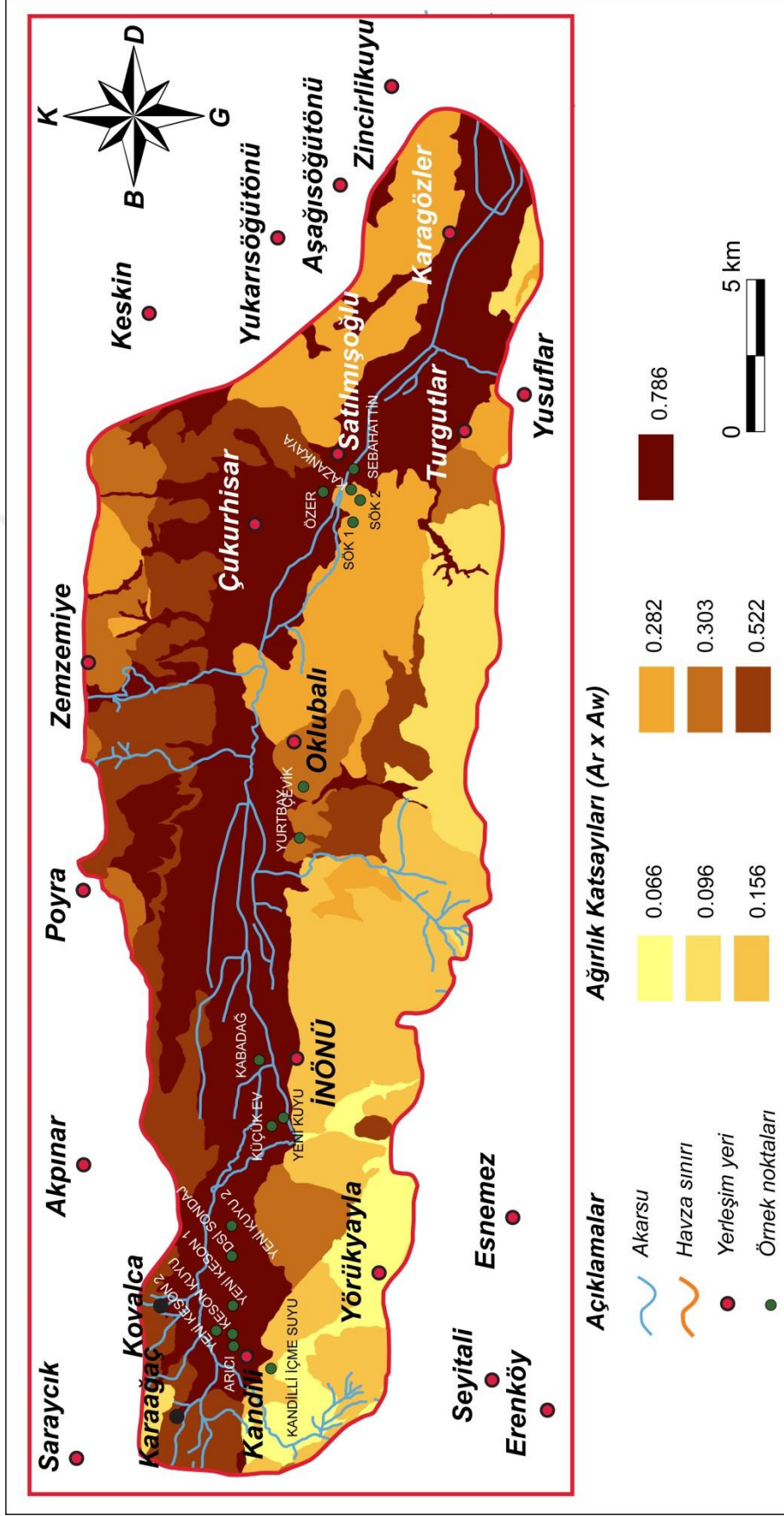
Akifer ortama ait görelî öncelikler çalışma alanındaki jeolojik birimlerin geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olarak sınıflanmasından sonra yapılmıştır. Jeolojik birimler özelliklerine göre sınıflandıktan sonra alüvyon, eski alüvyon, konglomera, kireçtaşı, volkanikler, ofiyolitler, mermerler ve şistler olarak yeniden sınıflandırılmıştır. Akifer ortama ait görelî öncelikler çizelge 8.18’de verilmiştir.

Çizelge 8.18 Akifer ortam (A) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

Akifer Ortam (A)	Alüvyon	E. Alüvyon	Konglomera	Kireçtaşı	Mermerler	Ofiyolitler	Volkanikler	Şistler	Görelî öncelik değeri
Alüvyon	1	1	2	3	3	5	7	9	0,262
E. Alüvyon	1	1	2	3	3	5	7	9	0,262
Konglomera	1/2	1/2	1	2	3	4	5	6	0,174
Kireçtaşı	1/3	1/3	1/2	1	1	2	4	5	0,101
Volkanikler	1/3	1/3	1/3	1	1	2	4	5	0,094
Mermerler	1/5	1/5	1/4	1/2	1/2	1	2	3	0,052
Ofiyolitler	1/7	1/7	1/5	1/4	1/4	1/2	1	2	0,032
Şistler	1/9	1/9	1/6	1/6	1/5	1/3	1/2	1	0,022
Tutarsızlık Oranı = 0.01									

Aller vd. (1987) tarafından yapılan sınıflamalar ve oranlar baz alınarak modifiye edilen alt sınıf ve oranlar ile alt sınıfların ikili karşılaştırılması sonucu elde edilen öncelikli değerlerin ArcGIS programına girilmesi sonucu akifer ortam tematik haritası elde edilmiştir (Şekil 8.6).

Çalışma alanına ait akifer ortam tematik haritasında kirlenme potansiyeline karşı en hassas bölgeleri en yüksek katsayıya sahip bölgeler oluşturmaktadır. Haritaya göre çalışma alanının akifer ortam parametresi için kirlenmeye karşı en hassas alanları, alanın orta kısmında olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 8.6).



Şekil 8.6 İnönü Ovası akifer ortam tematik katmanı haritası

8.3.4 Toprak bünyesi (s)

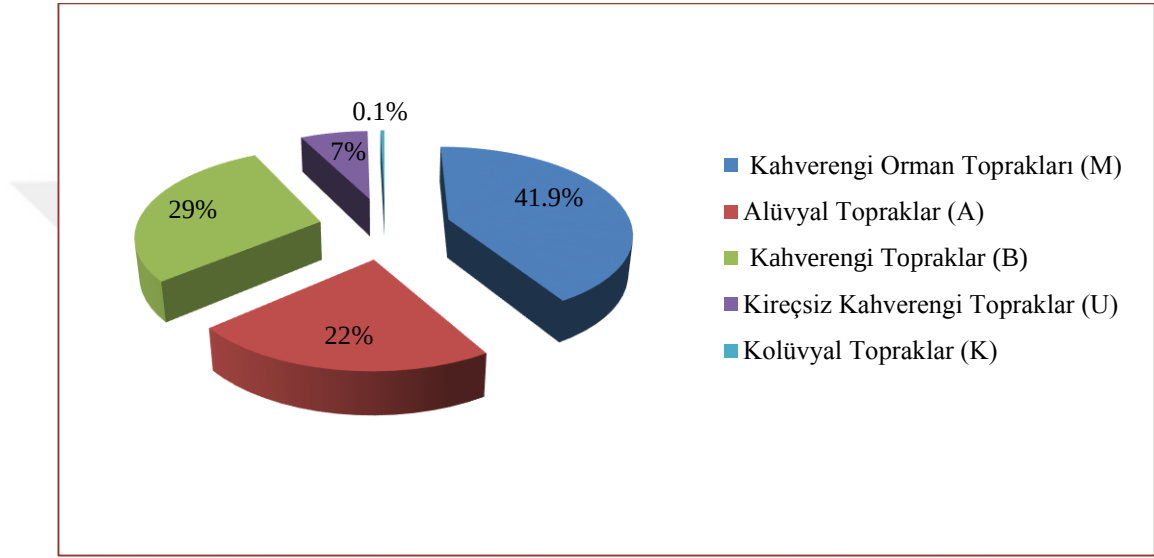
Toprak materyali (Soil Media, S) parametresi ile biyolojik faaliyetin fazla olduğu vadoz zonun üst kısmı ifade edilmektedir. Toprak, yeryüzündeki bir kirleticinin yeraltına süzülecek miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Toprak materyalinin silt ve kil gibi ince bünyeli olması, kısmi toprak geçirgenliğinin düşük olmasına ve kirleticinin taşınımının sınırlandırılmasına sebep olmaktadır. Toprak zonunun ince olduğu yerlerde filtrasyon, biyolojik bozunma, tutulma, buharlaşma oldukça önemlidir. Böyle faaliyetlerin olması gereken yüzeysel arazi uygulamalarında, örneğin pestisit kullanımı olan tarımsal faaliyetlerde kirlenme potansiyeli üzerindeki en önemli etken topraktır (Aller vd. 1987; Babiker vd. 2004, Atlı 2010).

Toprağın organik ve mineralojik madde içeriği, biyolojik ve kimyasal reaksiyonları etkileyerek kirleticili miktarının azalmasını sağlarken filtreleme ile de sızma oranını düşürerek etkinlik göstermektedir. Zemin ile ilgili yorum yapılırken kirliliğe karşı en önemli etken, zeminin yapısı ve her tabakanın kalınlığıdır. Aller vd. (1987) tarafından DRASTIC yönteminde öngörülen toprak materyaline göre atanacak sınıf değerleri çizelge 8.19’da verilmiştir.

Çizelge 8.19 Toprak materyali sınıf değerleri (Aller vd. 1987) (S)

Toprak materyali	Sınıf değerleri (S)
İnce veya yok	10
Çakıl	10
Kum	9
Turba	8
Suyunu kaybetmiş ve topaklanmış kil	7
Kumlu tın	6
Tın	5
Siltli tın	4
Killi tın	3
Turba toprağı	2
Suyunu kaybetmemiş ve topaklanmamış kil	1

Çalışma alanı sayısallaştırılmış 1/25000 ölçekli toprak haritası Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'ndan elde edilmiştir (Şekil 8.8). Sayısal toprak haritasında Büyük toprak Grupları içinde en büyük alanı %41.9 ile Kahverengi Orman Toprakları kaplarken, %29 oranında Kahverengi Topraklar, %22 Alüvyal Topraklar, %7 oranı ile Kireçsiz Kahverengi Topraklar ve %0.1 ile Kolüvyal Topraklar yer almaktadır (Şekil 8.7).



Şekil 8.7 İnönü Ovası Büyük Toprak Gruplarına göre arazi kullanım diyagramı (Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı verilerinden)

AHS yöntemi ile elde edilen toprak bünyesi parametresine ait ağırlık ve oran değerlerinin çarpılarak, ArcGIS programından yardımıyla çizilen çalışma alanına ait toprak bünyesi tematik haritası şekil 8.9'da verilmiştir. Çalışma alanına ait toprak bünyesi tematik haritasında kirlenme potansiyeline karşı en hassas bölgeleri en yüksek katsayıya sahip alanlar oluşturmaktadır.

Çalışma alanında en hassas bölgeleri, haritada en koyu renkli bölgeler olarak görülmektedir. Toprak bünyesi tematik haritasına göre çalışma alanının kirlenme potansiyeline karşı en hassas bölgelerinin alanın orta kısmında olduğu göze çarpmaktadır.

Çizelge 8.20 Toprak bünyesi (S) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

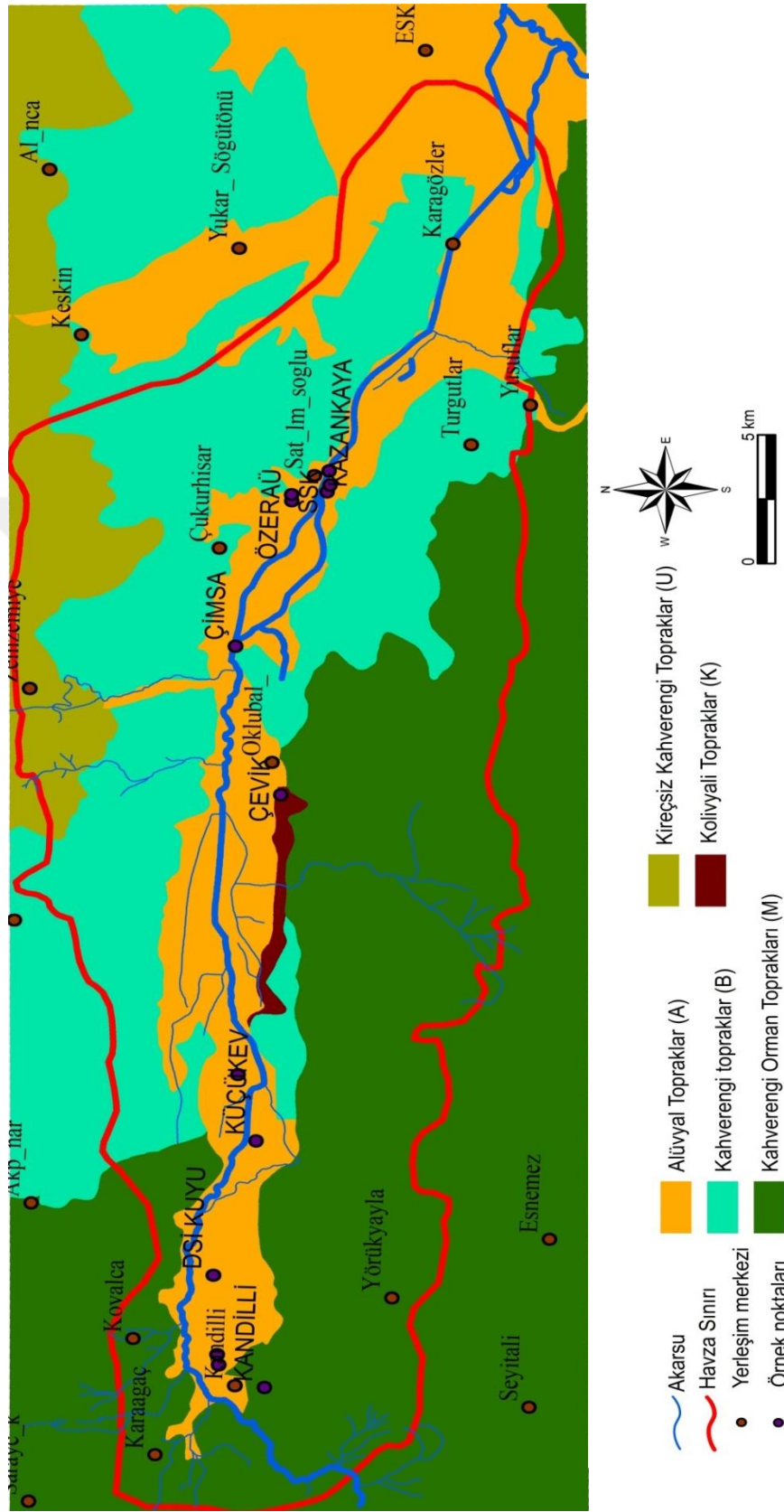
Toprak	M	K	A	U	B	Görelî öncelik
M	1	1/3	1/5	3	1/2	0,092
K	3	1	1/2	6	2	0,257
A	5	2	1	8	4	0,464
U	1/3	1/6	1/8	1	1/4	0,041
B	2	1/2	1/4	4	1	0,146
Tutarsızlık Oranı = 0.01						

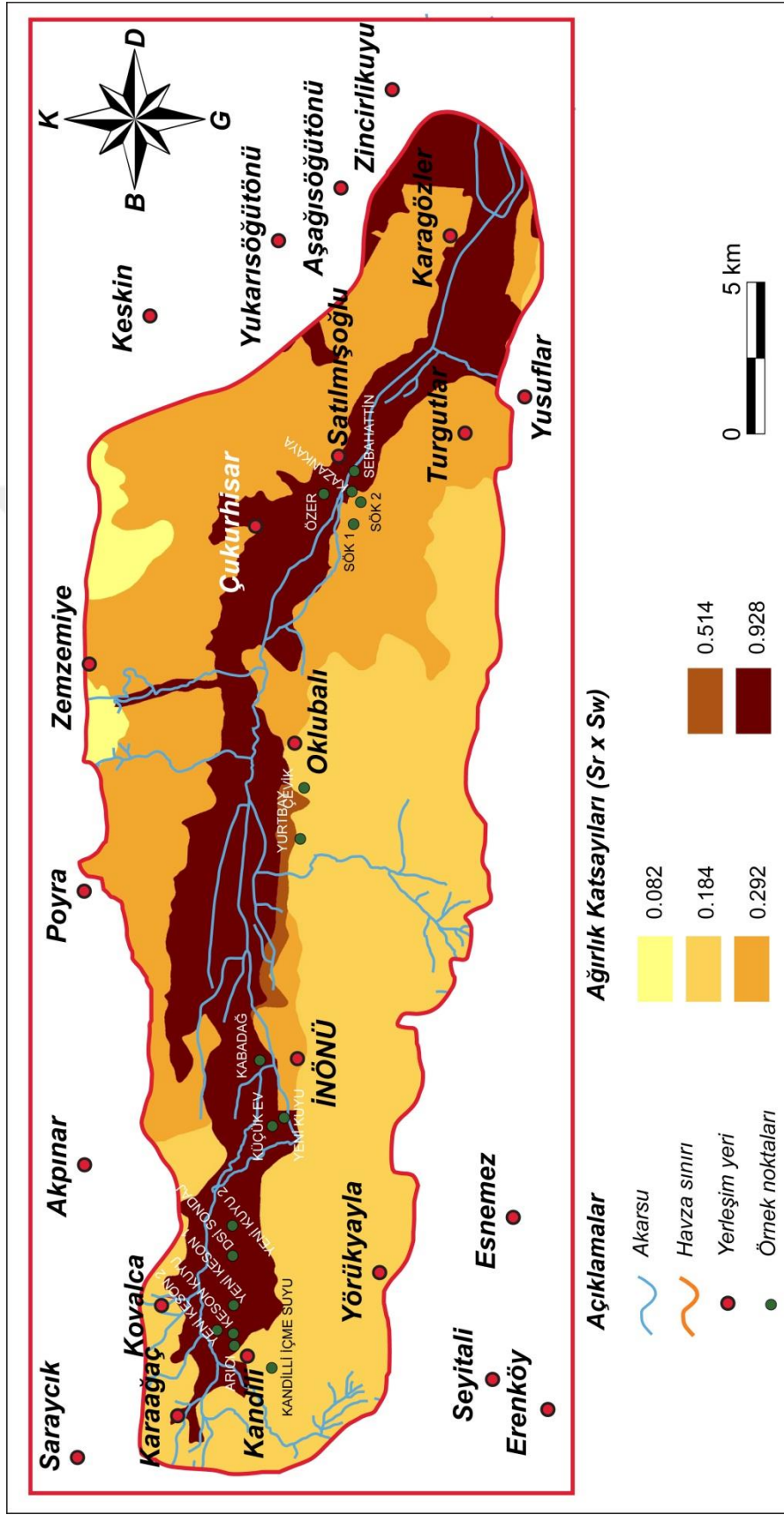
8.3.5 Eğim (T)

Arazi yüzeyinin eğimi topoğrafya olarak ifade edilir. Topoğrafya parametresi kirleticilerin taşınımında rol oynamaktadır. Bir alanda topoğrafik eğimin az veya fazla olması kirleticinin yüzeyden derinlere ulaşmasında etkilidir. Topoğrafik eğimin az olması yüzeysel akışın yavaş olmasına ve suyun yeraltına süzülmesinin fazla olması anlamına gelmektedir. Yüzeysel akışın yavaş olup süzülenin fazla olması demek ise kirleticilerin yeraltı suyuna ulaşma potansiyelinin fazla olması anlamına gelmektedir. Eğimin fazla olduğu durumlarda ise yüzeysel akış oldukça hızlı olup suyun yeraltına süzülmesi az olacaktır. Dolayısıyla kirleticilerin yeraltı suyuna ulaşma ihtimali azalacaktır. Osborn vd. (1998)'e göre topoğrafya, kirleticilerin akışa geçmesini ya da arazi yüzeyinde bir süre kalarak yeraltına sızmasını tayin eden bir parametredir. Eğimin düşük olduğu yerlerde akış da düşük olacağı için yeraltına sızma miktarı fazla olacak; bu sebeple, kirlenme potansiyeli yüksek olacaktır. Bunun tersi olarak eğimin yüksek olduğu yerlerde yüzey sularının akışa geçmesi ile kirleticilerin YAS'a ulaşması daha zor olacaktır. Aller vd. (1987) tarafından eğim parametresine göre belirlenen alt sınıf değerleri çizelge 8.21'de verilmiştir.

Çizelge 8.21 Topoğrafya parametresi sınıf değerleri (Aller vd. 1987)

Eğim T (%)	Sınıf değerleri
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1





Şekil 8.9 İnönü Ovası toprak bünyesi tematik haritası

Aller vd. (1987) tarafından yapılan sınıflamalar dikkate alınarak çalışma alanına ait sınıf değerleri yeniden oluşturularak AHS metodu ile ikili karşılaştırmaları yapılmış ve göreceli öncelik değerleri elde edilmiştir (Çizelge 8.22). Çalışma alanına ait sayısal topoğrafik harita kullanılarak Arc GIS 9.3 programı yardımı ile eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 8.10).

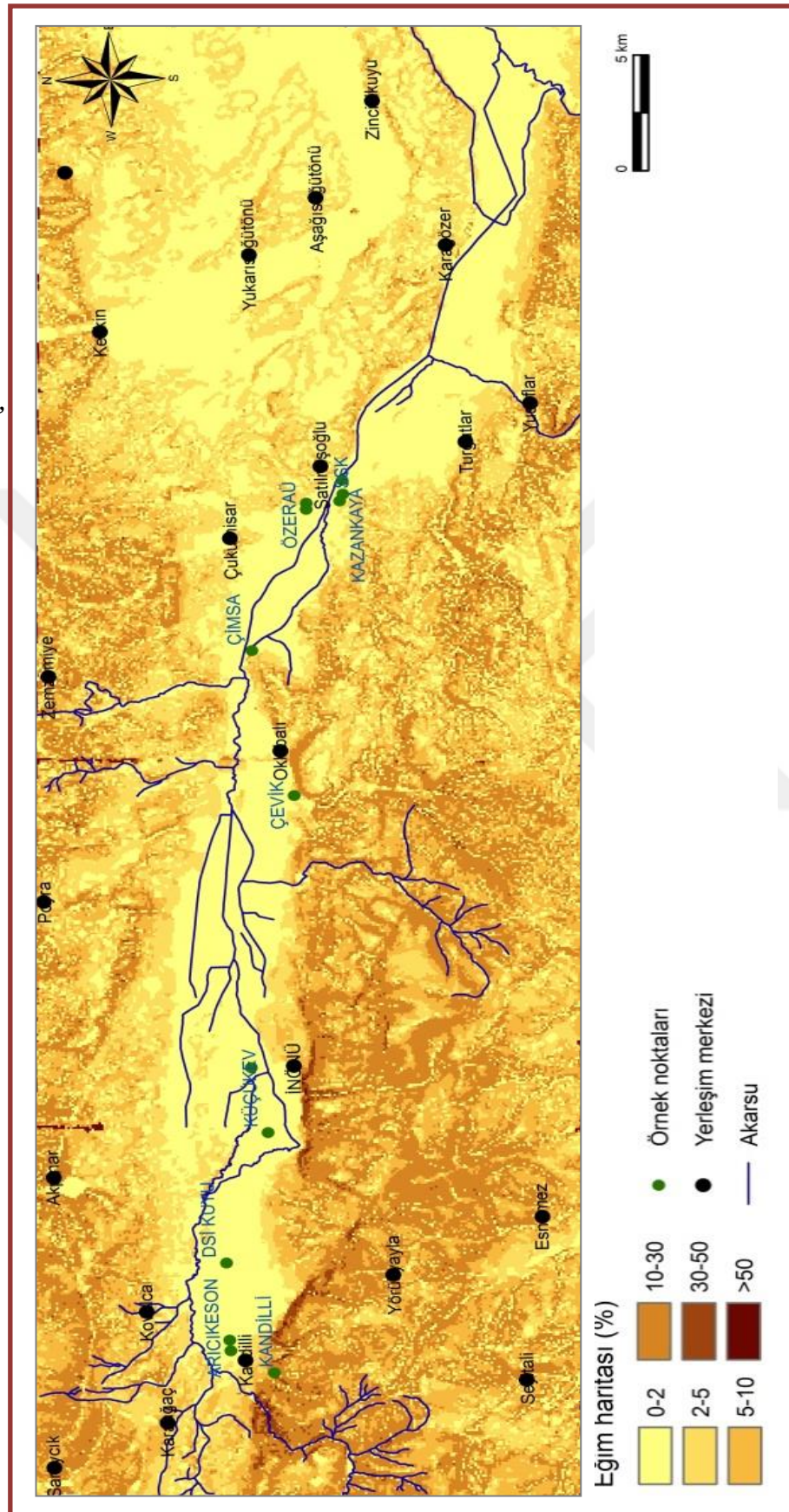
Çizelge 8.22 Topografik eğim (T) alt parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi

Topoğrafya (T) (%)	0-2	2-6	6-12	12-18	>18	Göreceli öncelik değeri
0-2	1	1	3	5	7	0,380
2-6	1	1	2	4	7	0,332
6-12	1/3	1/5	1	3	3	0,164
12-18	1/5	1/4	1/3	1	2	0,076
>18	1/7	1/7	1/3	1/2	1	0,048

AHS ile belirlenen ve Aller vd. (1987) tarafından belirlenmiş olan ağırlıklarla çarpılarak ArcGIS programı yardımıyla elde edilen topoğrafik eğim tematik haritası şekil 8.11’de verilmiştir. Çalışma alanının topoğrafya parametresine ait tematik haritasında kirlenme potansiyeline karşı en hassas bölümleri, en yüksek katsayıya sahip olan bölgeler oluşturmaktadır. Haritada en koyu renkli alanlar kirlenme potansiyeline karşı en hassas bölgeleri ifade etmektedir.

8.3.6 Vadoz zon etkisi (I)

Su tablasının üzerinde suya doymun olmayan, su tablası- yeryüzü arasındaki kısım vadoz zon olarak adlandırılmaktadır. Vadoz zon, YAS tablasının üzerindeki doymun olmayan ya da yarı doymun alan olarak tanımlanmaktadır. Kirleticilerin yeraltında uğradığı biyolojik parçalanma, nötralizasyon, mekanik filtrasyon, buharlaşma, dispersiyon ve kimyasal reaksiyon vb. işlemlerin tümü vadoz zon içerisinde gerçekleşmektedir. Biyolojik parçalanma ve buharlaşma derinliğe bağlı olarak azalmaktadır. Vadoz zon materyali, kirleticinin katedeceği yol uzunluğunu ve güzergahını kontrol ederek etkisinin azaltılması üzerinde önemli rol oynamaktadır (Aller vd. 1987).



Şekil 8.10 İnönü Ovası eğim haritası

Aller vd. (1987) tarafından Drastic Yöntem için öngörülen vadoz zon materyaline göre atanan sınıf değer aralıkları ve ortalama sınıf değerleri çizelge 8.23'te verilmiştir.

Çizelge 8.23 Vadoz Zon Materyali Sınıf Değerleri (I_r) (Aller vd. 1987)

Vadoz zon materyali	Sınıf değer aralığı	Ortalama sınıf değeri
Geçirimsiz tabaka	1	1
Silt/kil	2-6	3
Şist	2-6	3
Kireçtaşı	2-5	3
Kumtaşı	2-7	6
Kireçtaşı-kumtaşı ardalanması	4-8	6
Aralarında kil-silt bulunduran kum ve çakıl	4-8	6
Kum ve çakıl	4-8	8
Bazalt	2-10	9
Karstik kireçtaşı	8-10	10

Çalışma alanında vadoz zon parametresine ait ağırlık ve oranlarının belirlenebilmesi için bölgedeki birimlerin mineralojik, litolojik ve geçirimsizlik özellikleri dikkate alınmıştır. İnceleme alanında bulunan alüvyon birim üzerinde DSİ tarafından açılmış olan 15 adet kuyunun logları değerlendirilerek ve Aller vd. (1987)'in yapmış olduğu sınıflamalar da dikkate alınarak sınıf değerleri belirlenmiştir. Ağırlıklandırmada kuyu logları ile birlikte su tablası derinliği ve toprak kalınlığı parametreleri de birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki 15 adet kuyunun log verileri incelenerek vadoz zonun yer aldığı alüvyonun; kil, silt, killi kum ve kum-çakıl seviyelerinden oluştuğu belirlenmiştir. Bu seviyeler AHS yöntemi ile değerlendirilerek göreceli öncelik değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 8.24).

Çizelge 8.24 Vadoz zon alt parametrelerinin ikili karşılaştırma matrisi

Vadoz Zon Etkisi (I)	Alüvyon	Killi kong.	Kçt-mermer	Volcano-klastik	Ofiyolit	Şist	Göreceli öncelik değeri
Alüvyon	1	2	3	5	7	9	0.418
Killi kong.	1/2	1	1	3	5	7	0.230
Kçt-merm	1/3	1	1	2	3	4	0.168
Volkanoklastik	1/5	1/3	1/2	1	2	4	0.096
Ofiyolit	1/7	1/5	1/3	1/2	1	2	0.054
Şist	1/9	1/7	1/4	1/4	1/2	1	0.034
Tutarsızlık oranı = 0.01							

Çalışma alanına ait vadoz zon alt sınıflarının AHS yöntemi ile ikili karşılaştırmalarının yapılmasından Aller vd. (1987) tarafından belirlenen ağırlıklar göz önünde bulundurularak atanan ağırlık değerleri ile çarpılması sonucu elde edilen veriler kullanılarak ArcGIS programı yardımıyla çalışma alanı vadoz zon tematik haritası çizilmiştir (Şekil 8.12). Çalışma alanına ait vadoz zon etkisi parametresi için çizilen tematik haritada kirlenme potansiyeline karşı en hassas bölgeleri en yüksek katsayıya sahip bölgeler oluşturmaktadır. Vadoz zon tematik haritasına göre en hasas bölgeler koyu renkle belirtilmiş bölgeler olarak göze çarpmaktadır.

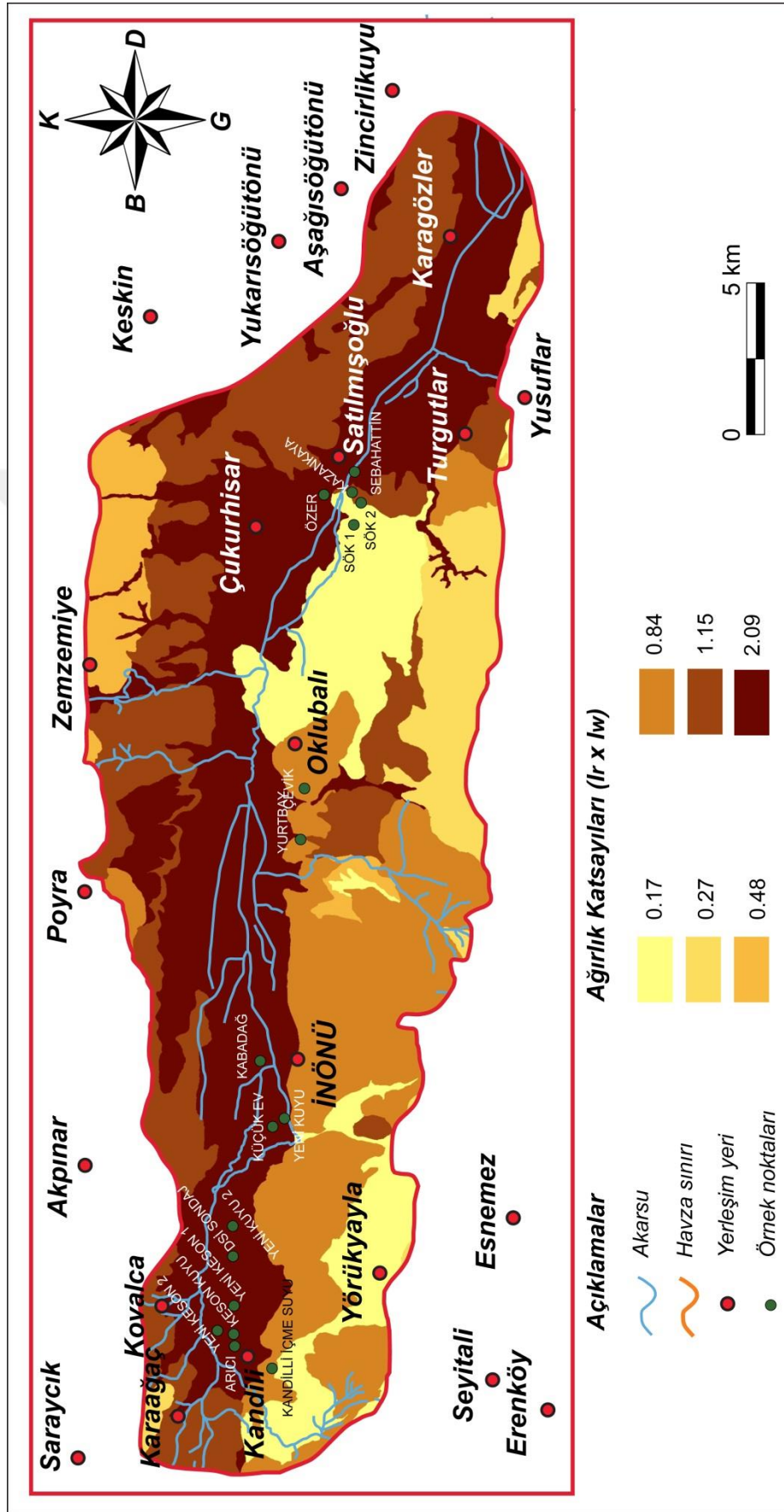
8.3.7 Hidrolik iletkenlik (C)

Yeraltı suyunun hareketini kontrol eden bir diğer parametre de hidrolik iletkenliktir. Hidrolik iletkenlik değerinin yüksek olması yeraltı suyuna kirleticinin daha fazla taşınmasının bir ifadesidir. Bir birimin hidrolik iletkenlik değeri, birim içerisinde açılmış olan kuyulardan yapılan pompaj deneyleri ve akiferin yapısal, hidrojeolojik ve kaya türü özelliklerine göre belirlenmektedir.

Akiferin hidrolik iletkenliği, akiferin suyu iletim kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Akifere giren bir kirleticinin akiferin gözenekliliğine ve hidrolik eğim değerlerine bağlı olarak bir noktadan diğerine geçiş hızı akiferin genellikle hidrolik iletkenliğine bağlı olarak değişim gösterir (Aller vd. 1987). Gözenekliliği fazla olan bir akiferin hidrolik iletkenliği de yüksek olur. Dolayısıyla, böyle alanlarda kirleticilerin akifer içinde dağılımı kolay olacağından YAS kirlenme potansiyeli de yüksek olmaktadır. Aller vd. (1987) tarafından Drastic Model için öngörülen akiferin hidrolik iletkenlik değer aralıklarına göre sınıf değerleri çizelge 8.25'te verilmiştir.

Çizelge 8.25 Akiferin Hidrolik İletkenliğine Göre Sınıf Değerleri (C_r) (Aller vd. 1987)

Akiferin	Hidrolik İletkenliği	Sınıf
0.04075-4.075		1
4.075-12.225		2
12.225-28.525		4
28.525-40.75		6
40.75-81.5		8
>81.5		10



Çalışma alanına ait hidrolik iletkenlik değerleri, DSI'ne ait kuyuların düşüm testlerinden yararlanılarak hesaplanmış olarak Anonim (1975) tarafından belirlenen değerler kullanılarak DRASTIC yöntemdeki sınır değerler AHS ile ağırlıklandırılmıştır (Çizelge 8.26). Ovada açılan kuyulardan elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri alüvyonlar için 300 m/gün, kil-silt içeren konglomeratik seviyeler için 5-70 m/gün ve kireçtaşları için ise 60 m/gün olarak hesaplanmıştır (Anonim, 1975) (EK 2-3).

Çizelge 8.26 Hidrolik iletkenlik alt parametrelerinin ikili karşılaştırma matrisi

Hidrolik İletkenlik (C)	100-300	50-100	1-50	0-1	Görelî öncelik değeri
100-300	1	3	5	9	0,590
50-100	1/3	1	2	5	0,232
1-50	1/5	1/2	1	3	0,127
0-1	1/9	1/5	1/3	1	0,051
Tutarsızlık Oranı = 0.01					

Çalışma alanı hidrolik iletkenlik değerleri ile hesaplanan görelî öncelik değerleri ağırlıkların çarpılması sonucu elde edilen değerlerin ArcGIS programına girilmesi sonucu elde edilen hidrolik iletkenlik tematik haritası şekil 8.15'te verilmiştir.

Çalışma alanına ait hidrolik iletkenlik tematik haritasına göre çalışma alanında kirlenme potansiyeline karşı en hassas bölgeler, en yüksek katsayıya sahip bölgeler olup, en koyu renkle göze çarpmaktadır.

Çalışma alanına ait oluşturulan 7 adet tematik harita tek tek incelendiği zaman, alanın kirlenme potansiyeli hakkında bir yorum yapmak güçtür. Bu nedenle 7 adet tematik harita karşılaştırılarak bir nihai kirlenme potansiyeli haritası elde edilmiştir. Kirlenme potansiyeli haritası oluşturulurken, çalışma alanına ait 7 adet DRASTIC parametresinin AHS ile entegrasyonu sonucu elde edilen görelî öncelik değerleri kullanılarak ağırlık değerleri atanmıştır (Çizelge 8.27).

Ağırlık değerleri atanırken görelî öncelik değerleri birbirlerine karşı oranlanmış ve Aller vd. (1987) tarafından belirtilmiş olan ağırlıklandırmalar göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 8.27 AHS-DRASTIC yöntemi ile hesaplanan oran ve göreceli öncelik değerleri

Ağırlık Değeri (ri)	Parametre	Parametre Sınır Değerleri	Göreceli Öncelik Değeri	Ağırlık (wi)	İndex (wi x ri)
5	YERALTI SUYU DERİNLİĞİ (m) (D)	0-1.4	0,309	4	20
		1.41-4	0,296	4	20
		4.1-10	0,181	2	10
		10.1-15	0,108	1	5
		15.1-35	0,068	1	5
		>35	0.038	1	5
4	NET BESLENİM (mm/yıl) (R)	>15	0,727	10	40
		5-15	0.200	3	12
		0-5	0.073	1	4
3	AKİFER ORTAM (A)	Alüvyon	0,262	4	12
		Eski alüvyon	0,262	4	12
		Konglomera	0,174	2	6
		Kireçtaşı	0,101	1	3
		Volkanikler	0,094	1	3
		Ofiyolitler	0,052	1	3
		Mermerler	0,032	1	3
		Şistler	0,022	1	3
2	TOPRAK BÜNYESİ (S)	M (K. Or. Tp.)	0,092	1	2
		A (Alüvyal Tp.)	0,257	4	8
		B (Kahv. Tp.)	0,464	6	12
		U (Kireçsiz Kahv. Tp.)	0,041	1	2
		K (Kolüvyal Tp.)	0,146	2	4
1	TOPOĞRAFYA (%) (T)	0-2	0.380	5	5
		2-6	0,332	5	5
		6-12	0,164	2	2
		12-18	0,076	1	1
		>18	0,048	1	1
5	VADOZ ZON ETKİSİ (I)	Alüvyon	0,418	6	30
		Killi kong.	0,230	3	15
		Kçt-mermer	0,168	2	10
		Volkanoklastik	0,096	1	5
		Ofiyolit	0,054	1	5
		Şist	0,034	1	5
3	HİDROLİK İLETKENLİK (m ³ /gün/m) (C)	100-300	0,590	8	24
		50-100	0,232	3	9
		1-50	0,127	2	6
		0-1	0,051	1	3

8.4 İnönü Ovası AHS-DRASTIC Kirlenme Potansiyeli Haritası

Bu çalışma kapsamında, tez alanının potansiyel kirlenme haritasının oluşturulmasında kullanılan parametrelerin yeniden düzenlenmesi, 0.01 tutarlılıkla ağırlıklandırılması ve elde edilen indeks değerleri ile oluşturulan 7 adet tematik haritanın üst üste çakıştırılarak son bir kirlenme haritasının ortaya çıkarılmasında AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci)’nden yararlanılmıştır.

Çalışma süresinde her bir parametre önem derecesine göre öncelikle kendi içerisinde ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra her bir parametre ayrı ayrı alt kriterlere ayrılarak ikili karşılaştırmaları yapılarak görelî öncelik değeri elde edilmiştir (Çizelge 8.27). Daha sonra bu görelî öncelik değeri kullanılarak ağırlık değeri atanmıştır. Daha sonra çalışma alanı içerisinde 80 adet referans nokta belirlenmiş, bu 80 noktanın 7 tematik haritadaki “wi x ri” değeri toplanarak her nokta için bir indeks değeri belirlenmiştir (Şekil 8.14). Bir sonraki aşamada çalışma alanında bulunan her bir jeolojik birim üzerindeki referans noktaların indeks değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ArcGIS veri tabanına eklenerek ovaya ait kirlenme potansiyeli haritası hazırlanmıştır (Şekil 8.15).

7 adet tematik haritanın karşılaştırılmasıyla elde edilen kirlenebilirlik haritasının (Şekil 8.15) yorumlanmasında öncelikle ağırlıklandırma değeri sınıflanmıştır. Bu sınıflamaya göre 0-30 arasında değere sahip alanlar çok düşük riskli alanları ifade ederken 79.1 ile 136 arasındaki değere sahip alanlar çok yüksek riske sahip alanları ifade etmektedir (Çizelge 8.28).

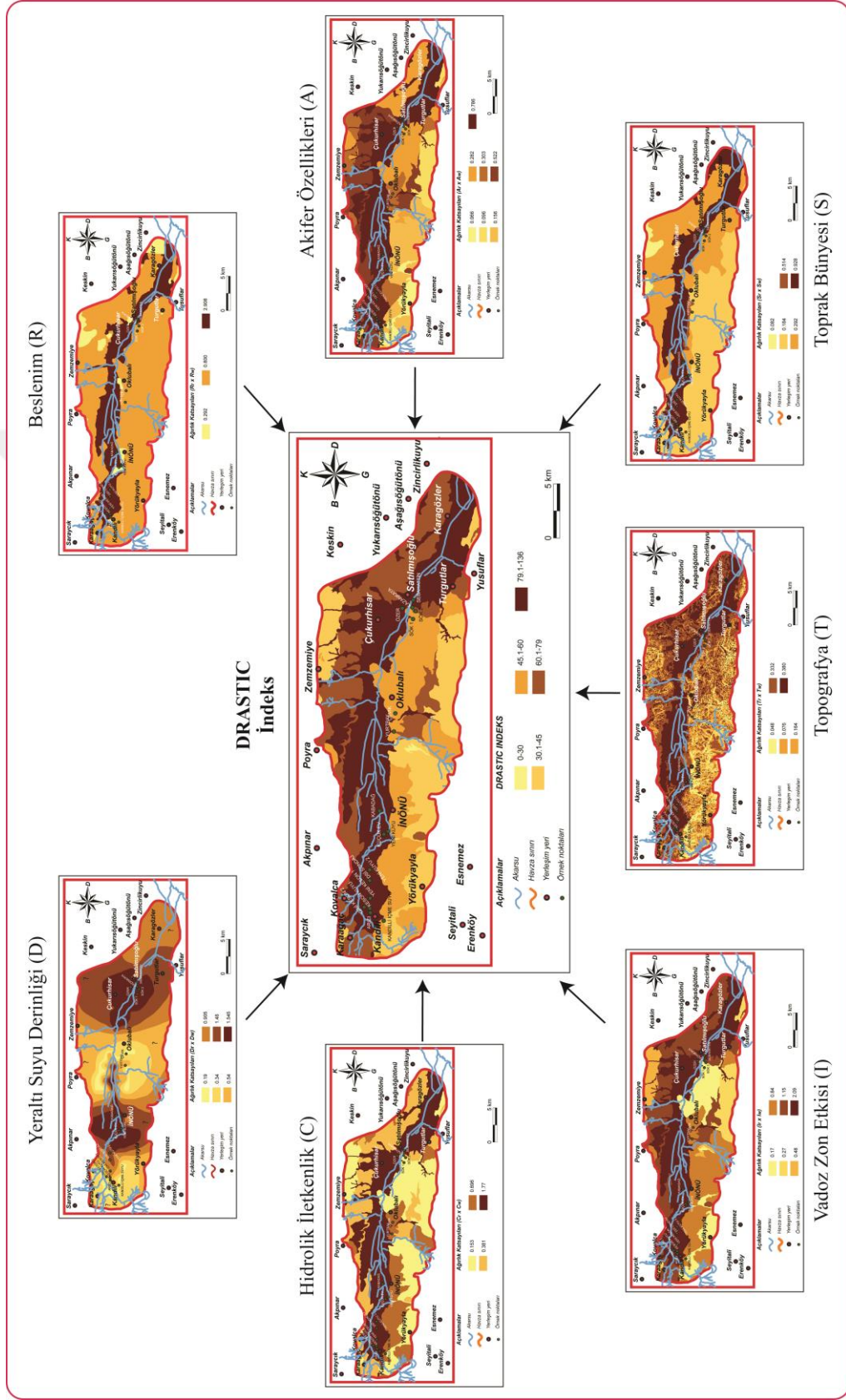
Çizelge 8.28 AHS-DRASTIC potansiyel kirlenebilirlik sınıfları

DRASTIC İndeks Aralıkları	DRASTIC Kirlenme Potansiyeli Sınıfı
0-30	Çok Düşük kirlenme potansiyeli
30.1-45	Düşük kirlenme potansiyeli
45.1-60	Orta kirlenme potansiyeli
60.1-79	Yüksek kirlenme potansiyeli
79.1-136	Çok yüksek kirlenme potansiyeli

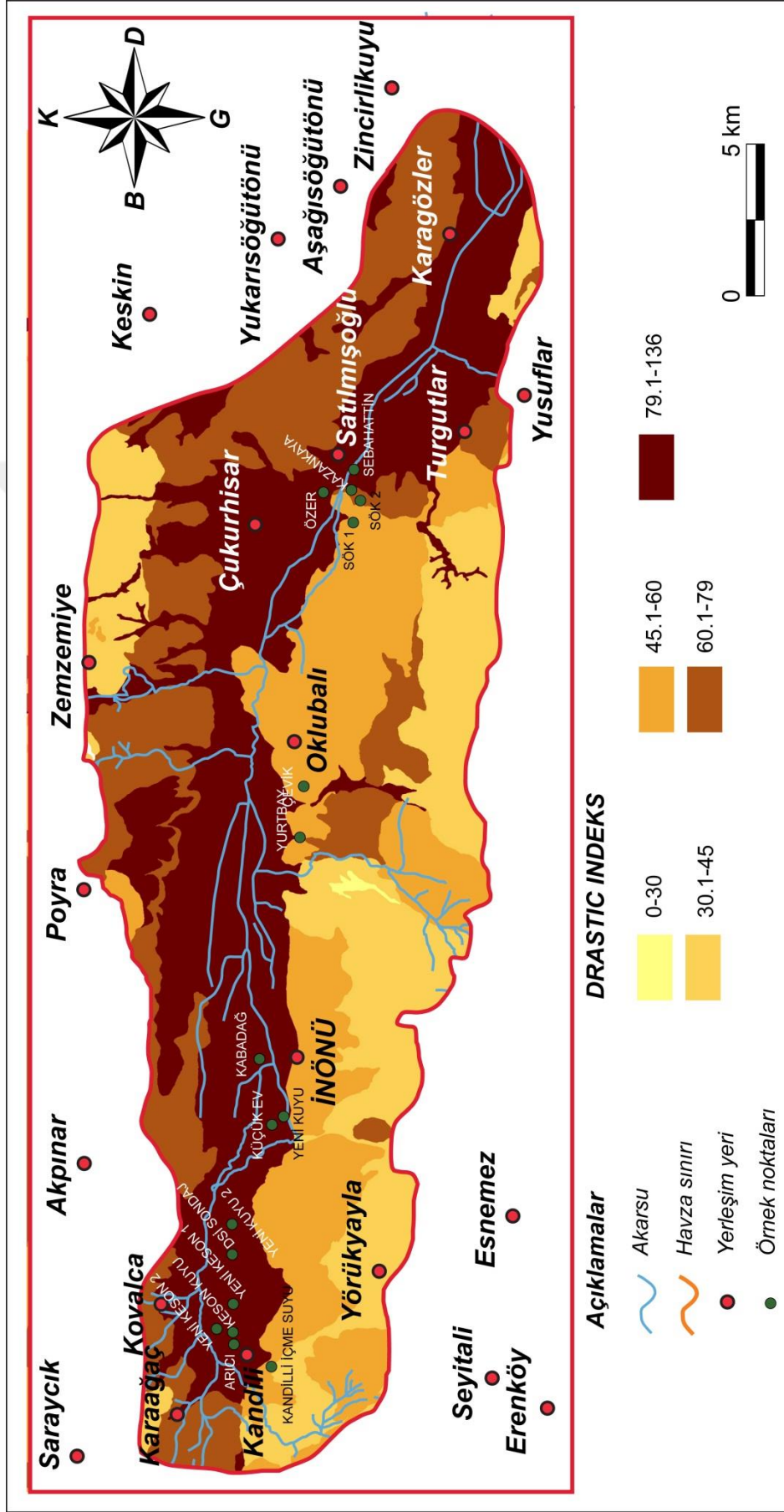
Kirlenme potansiyeli haritasına göre çalışma alanında kirlenme potansiyeli açısından en düşük riske sahip bölgeler, çalışma alanının güney kısmında yer almaktadır. En yüksek riske sahip bölgeler ise yeraltı suyu akiferinin bulunduğu ovanın orta kısımları olarak görülmektedir. Bu nedenle, bu alanların korunması gerekir. Özellikle, içme ve sulama suyu sağlayan ovalarda koruma ve kirlenebilir alanların belirlenmesi, yeraltı suyu kaynakları açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanında DRASTIC indeksi 0-30 arası olan bölgeler (çalışma alanının güneyinde) çok düşük kirlenme potansiyeline sahip bölgelerdir. İndeks değeri 30.1-45 arasında olan bölgeler düşük derecede kirlenme

potansiyeline sahip bölgeleri ifade etmektedir. İndeks değeri 45.1 ile 60 arasında olan bölgeler orta derecede kirlenme potansiyeline sahip bölgeleri ifade etmektedir. İndeks değeri 60.1 ile 79 arasında olan bölgeler ise yüksek kirlenme potansiyelini ifade etmektedir. 79.1-136 arasında indeks değerine sahip bölgeler ise oldukça yüksek kirlenme potansiyeline sahip bölgeleri ifade etmektedir. Yeraltı suyu kirlenme potansiyeli haritasına göre çalışma alanında en fazla riske sahip bölgeler çalışma alanının orta kısımlarında çoğunlukla yer almaktadır. Bu da yeraltı suyu kullanımı açısından bir takım riskler olabileceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle çalışma alanının sığ akifer sisteminin kirleticilerden korunması amacı ile önlemler alınmalıdır.





Şekil 8.14 AHS-DRASTIC Potansiyel Kirlenebilirlik Haritası ve çıkarılan tematik haritalar



Şekil 8.15 İnönü Ovası potansiyel kirlenabilirlik haritası

9. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çalışma alanının temelini İnönü metamorfik kayaçları oluşturmaktadır. Metamorfik kayaçlar alttan üste doğru, glokofanlı yeşil şistler ve mermerler olmak üzere haritalanabilir ölçekte iki alt litoloji birimine ayrılmıştır. Alt Triyas yaşlı bu metamorfik kayalar üzerine uyumsuz olarak Orta Triyas yaşlı Karkın Formasyonu gelmektedir. Bu birimler üzerine ise; yerleşme yaşı Üst Kretase olarak bilinen Üst Triyas yaşlı Peridotit, serpantin, gabro ve listvenit türü kaya gruplarından oluşan ofiyolitler tektonik dokanıklı olarak yerleşmiştir. Temele ait metamorfik kayalar üzerine ilk olarak Miyosen yaşlı ve çalışma alanında özellikle Yusufkar ve Turgutlar yerleşim yerleri arasında gözlenen konglomera-kumtaşı, tuf-tüfit arakatkılı marn ve kireçtaşıdan oluşan Porsuk Formasyonu gelmektedir. Porsuk Formasyonu üzerinde; sarı, boz ve alacalı renklerde iyi tutturulmuş konglomera ve kumtaşları-beyaz, alacalı yer yer marn ve kil arakatkılı piroklastikler ve siyah masif yapıli afanitik dokulu çoğunlukla vesiküler boşluklu bazaltlarla temsil edilen Pliyosen yaşlı Ilıca Formasyonu yer almaktadır. Çalışma alanının genelinde gri-açık ve gri renkli çapraz tabakalı kumlu, killi ve yer yer çamurlu birimlerle temsil edilen ve örtü birimleri olarak gözlenen Pleyistosen yaşlı Akçakaya Formasyonu Ilıca Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. İnceleme alanındaki tüm bu birimler yine Kuvaterner yaşlı eski ve yeni alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedirler.

Bölgede gerçekleştirilen hidrojeolojik çalışmalar önceki çalışmalarla deneştirilerek ova içerisinde yüzeyleyen birimler geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olarak gruplandırılmış ve haritalanmıştır.

Çalışma alanındaki arazi çalışmaları ve yapılan ölçümler değerlendirildiğinde ovanın orta kısmında ve ovayı doğu-batı istikametinde kat eden sığ bir akifer sistemine sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu akifer sistemi, yağışlar, Sarısu Deresi ve kaynaklarla beslenip yine Sarısu Deresi ile drene edilmektedir.

Bölgede gerçekleştirilen jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalardan elde edilen sonuçlarla yapılan buharlaşma hesaplamalarında bölgede uzun yıllar ortalaması 402.9 mm/yıl olan

yağışın %90-%95'inin gerçek buharlaşma-terleme sonucu yeniden atmosfere döndüğü hesaplanmıştır.

Çalışma alanında bulunan örnek noktalarında yerinde ve laboratuvarında yapılan analizler sonucunda kurak ve yağışlı dönem su örneklerinin $Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) / HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$ şeklinde bir su tipi oluşturmaktadır. Bu dizilim karbonatlı kayalardan gelen suların dizilimine benzediğinden akifer kayaların litolojik tanımlamasıyla örtüşmektedir.

$CaHCO_3$ ve $MgHCO_3$ su tipi özellikleri sergileyen çalışma alanındaki suların EC değerleri bir kuyu haricinde 300-1000 $\mu S/cm$ arasında değişmektedir. Ovanın doğusunda yer alan Sebahattin rumuzlu kuyunun EC değeri 2078 $\mu S/cm$ olup bu alanda noktasal bir kirlenmenin varlığına işaret etmektedir.

Çalışma alanındaki suların kimyasal analizleri yapıldıktan sonra Schoeller diyagramı çizilmiş ve suların kökeni belirlenmiştir. Schoeller diyagramına göre, kaynaklardan Havuzlar kaynağı sıcak su kaynağı olması bakımından diğer sulardan farklı olduğu görülmüştür. Yine hidrokimyasal analiz sonuçlarına göre Piper diyagramları çizilmiş ve suların fasiyesleri belirlenmiştir. Piper diyagramlarına göre çalışma alanındaki suların $Ca-HCO_3$ fasiyesi göstermeleri suların karbonat kökenli bir akiferden beslendiklerini göstermektedir.

Suların analiz sonuçları ABD Tuzluluk Sınıflaması diyagramına aktarıldığında bölgedeki suların orta tuzlulukta ve az sodyumlu sular oldukları görülmektedir. Bu sular orta derecede tuza ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılabilirken, sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygun olabilecek nitelik taşımaktadır.

Çalışma alanında tarımsal faaliyetler sonucu herhangi bir kirlenmenin söz konusu olup olmadığını ortaya koymak amacı ile organoklorlu ve organofosforlu pestisit analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarında Çevik kuyusunda Malathion pestisit türüne rastlanırken Sebahattin, SSK, Kandilli-Sarısu, İnönü-Sarısu ve Kabadağ noktalarından

alınan sularda Malathion ile birlikte Azinphos Methyl ve Chlorpyrifos pestisit türlerine rastlanılmıştır. Toplam pestisit analiz sonuçları, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ve TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları ile karşılaştırıldığında SKKY'ne göre örneklerin tamamı I. Sınıf su kalite sınıfında yer alırken TS 266 standardına göre sadece Kabadağ ve Sebahattin kuyu örnekleri sınır değerlerin üstünde bir değerde olduğu için bu sularda pestisit kirliliği bulunmaktadır.

Bölgedeki hayvancılık faaliyetlerinin yeraltı sularına etkilerini araştırmak amacı ile 5 noktadan alınan numunelerde antibiyotik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda tüm örneklerde antibiyotik kirliliği tespit edilmemesine rağmen, özellikle DSİ Kuyu ve Kazankaya noktalarında yer altı suyuna bir antibiyotik karışımı söz konusudur. Standartlarda deşarj limitleri olmamasına rağmen, ilerleyen yıllarda bu bölgedeki tarımsal ve hayvansal faaliyetlerin artması ve kullanılacak antibiyotik, hormon ve diğer tedavi edici ilaçlar yer altı suları için tehlike oluşturabilecektir.

Yapılan tez çalışmasının esas amaçlarından biri olan bölgedeki yer altı sularının kirleticilere karşı hassasiyetinin belirlenmesi sürecinde DRASTIC yöntemi kullanılmıştır. 7 adet DRASTIC parametresinin AHS ile entegrasyonu sonucu oluşturulan haritalar ayrı ayrı incelendiğinde kirlenme potansiyeli hakkında net bir bilgi vermemektedir. Bu nedenle çalışma alanının potansiyel kirlenme haritasının oluşturulmasında 7 adet tematik haritanın üst üste çakıştırılarak son bir kirlenme haritası oluşturulmuştur. Yapılan nihai kirlenebilirlik haritasına göre çalışma alanında kirlenme potansiyeli açısından en düşük riske sahip bölgeler, çalışma alanının güney kısmında yer alırken, en yüksek riske sahip bölgeler ise ovanın orta kısımları olarak görülmüştür.

Tez çalışması kapsamında yapılan tüm çalışmalar bölge ile ilgili olarak yapılmış önceki çalışmalarla deneştirilerek ele alındığında ova genelinde çok aşırı olmasa da bir kirlenmenin varlığı tespit edilmiştir. Ova içerisindeki sığ akiferin, yeraltı suyu derinliğinin az olması, hayvancılık ve tarım faaliyetleri olması nedeniyle kirliliğin akifere daha kolay ulaşması söz konusudur. Ayrıca çalışma alanı için oluşturulan

hassasiyet haritasında, bölgenin en hassas kısımları yine akiferin daha sık olduğu orta kısımlar olarak belirlenmiştir.

Bölgede kirlenici faaliyetlerin bulunması ve ovada kirlenme hassasiyetinin yüksek olması nedeniyle, İnönü Ovası sık akiferinin kirlenmeden daha az etkilenmesi için önlemler alınmalıdır. Bu kapsamda, alanda yapılacak çalışmada yöre halkın konu hakkında bilinçlendirilmesi, tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinin denetlenmesi önem taşımaktadır.



KAYNAKLAR

- Albinet M and Margat J. 1970. Cartographie De La Vulnérabilité À La Pollution Des Nappes D'eau Souterraine Orleans France. Bull BRGM 2ème série 4: 13–22.
- Aller L Bennet T Lehr J H and Petty R. J. 1987. DRASTIC: A Standardised System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrologic Settings. US EPA Report 600/2–87/ 035 Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory Ada OK.
- Anonim 1975. Eskişehir ve İnönü Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu Devlet Su İşleri Ankara.
- Anonim 2011. Eskişehir İl Çevre Durum Raporu. Eskişehir İli Çevre Müdürlüğü.
- Anonymous 1993. Ground Water Vulnerability Assessment Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty Committee on Techniques for Assessing Ground Water Vulnerability Water Science and Technology Boardcommission on Geosciences Environment and Resources National Academy Press Washington D.C.
- Apaydın A. 2004. Çakıloba-Karadoruk Akifer Sisteminin (Beypazarı Batısı- Ankara) Beslenme Koşullarının Araştırılması Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi Ankara.
- Apaydın A. 2007. Yeraltı suyu Besleniminin Eğri Numarası (SCS-CN) Yöntemi ile Hesaplanması: Çakıloba-Karadoruk Akifer Sisteminde (Beypazarı-Ankara) Örnek Uygulama. Yerbilimleri Dergisi Ankara 28(3): 159-172.
- Atlı A. 2010. Yer Altı Suyu (YAS) Kirlenme Potansiyelinin CBS Tabanlı DRASTIC Modeli Kullanılarak Belirlenmesi ve Erzin Ovası Yeraltı Suyu Hassasiyet Haritalarının Geliştirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Babiker I.S. Mohamed M.A.A. Hiyama T. and Kato K. 2004. A GIS based *DRASTIC* Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kakamigahara Heights Gifu Prefecture Central Japan. Science of the Total Environment 345: 127-140.
- Barış N. 2008. Tahtalı Baraj Havzasının Hidrojeolojik İncelenmesi ve Yeraltı Suyu Kirlenebilirliğinin AHS- DRASTIC Yöntemi ile Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi 200 s.
- Bayındır Y. 2006. Harran Ovası Serbest Akiferinin Kirlilik Potansiyelinin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

- Boyacıoğlu H. ve Boyacıoğlu H. 2007. Water pollution sources assessment by multivariate statistical methods in the Tahtali Basin Turkey Environmental Geology; Nov2007 Vol. 54 Issue 2 p 275.
- Büyükdemirci H. 2012. Groundwater Vulnerability Assessment with Drastic Method: A Case-Study On Kırıkkale Plain Turkey Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi 70 s.
- Canik B. Yayınlanmamış Ders Notları.
- Carter A. D. Palmer R. C. and Monkhouse R. A. 1987. Mapping the Vulnerability of Groundwater to Pollution from Agricultural Practice Particularly with Respect to Nitrate. In: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants (ed. by W. van Duijvenbooden & H. G. van Waegeningh) (Proc. TNO/RIVM-Conf. Noordwijk aan Zee March/April 1987) 333-342. Proc. and Inf. no. 38 TNO Com. Hydr. Res.
- Chow W.T. Maidment D.R. and Mays L.W. 1988. Applied Hydrology. New York McGraw-Hill: 572.
- Civita M and De Regibus C. 1995. Sperimentazione Di Alcune Metodologie Per La Valutazione Della Vulnerabilità Degli Acquiferi. Q Geol Appl Pitagora Bologna 3 :63-7.
- Civita M. 1994. Le Carte Della Vulnerabilità Degli Acquiferi All'inquinamento. Teoria And Practica (Aquifer Vulnerability Maps To Pollution). Q Geol Appl Pitagora Bologna. www.springerlink.com/index/UG5LT0MC1859QUGG.pdf.
- Civita M. 2010. The combined approach when assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination J. Water Resource and Protection 2 14-28.
- Çakmak Ö. 2007. Eskişehir İlinde Yeraltı ve Yüzeysel Sularda Nitrat Kirliliğinin Kaynakları Göz Önünde Bulundurularak Değerlendirilmesi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi 190 s.
- Çelik M. Dokuz U. E. Türköz P. E. Güllü Ö. ve Arslan Ş. 2013. Nasrettin Hoca Kaynağının (Sivrihisar Eskişehir) Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelemesi MTA Dergisi sayı: 146:93-104.
- Çeliker M. 2008. Uluova'nın (Elazığ) Hidrojeolojisinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile İncelenmesi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi 103s.
- Demirkıran O. 2002. Ovaçayı Havzası Akiferlerinin Kirliliğe Duyarlık Haritalama Çalışması. Yüksek lisans tezi Hacettepe Üniversitesi Ankara.
- Diamantino C. Henriques M.J. Oliveira Mm and Lobo-Ferreira J. P. 2005. Methodologies for Pollution Risk Assessment of Water Resources Systems in CD-Rom of the Fourth Inter Celtic Colloquium on Hydrology and Management

of Water Resources Universidade Do Minho Guimarães Portugal 11th- 14th July 2005.

- Doerfliger N Zwahlen F. 1997. EPIK: A New Method for Outlining of Protection Areas in Karstic Environment. In: Günay G Jonshon AI (Eds) International Symposium and Field Seminar on Karst Waters and Environmental Impacts. Antalya Turkey. Balkema Rotterdam pp 117–123.
- Erguvanlı K. ve Yüzer E. 1987. Yeraltı suları jeolojisi. (2. baskı). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Matbaası.
- Foster S.S.D. 1987. Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability Pollution Risk and Protection Strategy. In: Duijvenbooden W Van Waegeningh HG Van (Eds) TNO Committee on Hydrological Research the Hague. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants Proceedings and Information. 38: 69–86.
- Gemitzi A. Petalas C. Tsihrintzis V. A. ve Pisinaras V. 2006. Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution: A Combination of GIS Fuzzy Logic and Decision Making Techniques. Environmental Geology Volume 49 Issue 5 653-673.
- Gogu R. C. ve Dassargues A. 2000. Current Trends and Future Challenges in Groundwater Vulnerability Assessment using Overlay and Index Methods. Environmental Geology 39-6.
- Goldschmidt V.M. 1958. Geochemistry. Oxford Univ. Press.
- Goossens M. and Van Damme M. 1987. Vulnerability mapping in Flanders Belgium. In: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants (ed. by W. van Duijvenbooden & H. G. van Waegeningh) (Proc. TNO/RIVM-Conf.
- Hawkins Re H. 1998. Local Sources for Runof Curve Numbers 11th Annual Symposium of the Arizona Hydrol. Society Sept. 23-26 Tuscon (basılmamış).
- Hem J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. United States Geological Survey Water-Supply Paper 2254 3rd edition.
- Noordwijk aan Zee March/April 1987 355-360. Proc. and Inf. no. 38 TNO Com. Hydr. Res.
- Gözler M. Z. Cevher F. ve Küçükayman A. 1985. Eskişehir Civarının Jeolojisi ve Sıcak Su Kaynakları MTA Dergisi 103/104 40-54.
- Gözler M. Z. Cevher F. Ergül E. ve Asutay H. J. 1996. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. MTA Rapor No. 9973 Ankara.
- Gürsoy B. 2009. Hidrojeolojik verilerin CBS ile irdelenmesi:Edremit Ovası Örneği İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi 71 s.

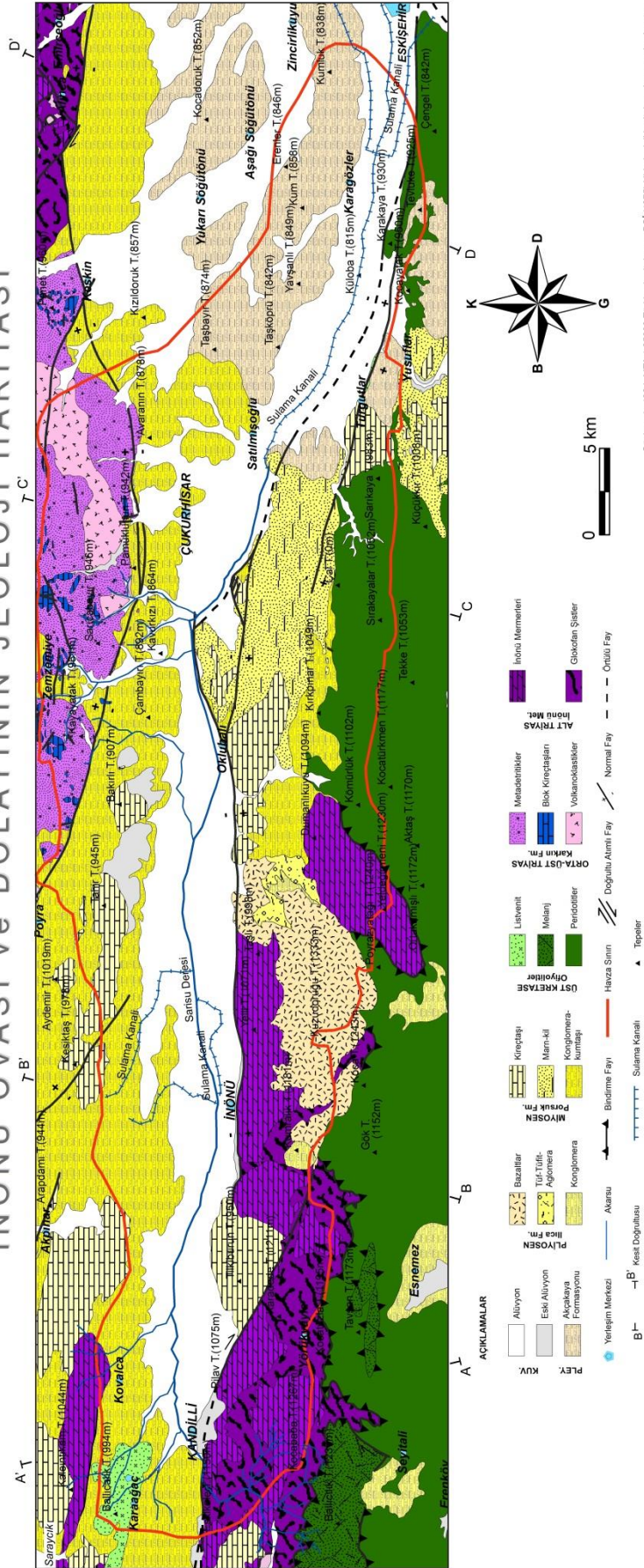
- Hastings S. 1996. A strategy Evalution Model for Management Management Decision Vol. 34 No.1 p25-34.
- İleri B. Gündüz O. Elçi A. Şimşek C. Alpaslan M. N. 2007. Tahtalı Havzası Yeraltı Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Değerlendirilmesi. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji 24-27 Ekim İzmir.
- Kuruüzüm A. ve Atsan N. 2001. Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. Akdeniz İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 1:83-105.
- McNeely R.N. V.P. Neimanis and L. Dwyer. 1979. Thallium. In: Water quality sourcebook. A guide to water quality parameters. Environment Canada Inland Waters Directorate Water Quality Branch Ottawa.
- Moser H. and Rauert W. 1980. Isotopenmethoden in der Hydrologie Berlin-Stuttgart 400p.
- Osborn N.I. And Hardy R.H. 1998. Vulnerability Assessment of Twelve Major Aquifers in Oklahoma. Oklahoma Water Resources Board Technical Report 98-5.
- Özer Z. 1990. Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar Köy Hizmetleri Genel müdürlüğü Havza Islahı ve Göletler Dairesi Başkanlığı Ankara.
- Özkan S. 2006. Bozüyük Ovasının Hidrojeolojik İncelenmesi ve Yeraltı suyu Bilanço Hesabı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Rankama K. ve Sahama Th . G. (1960) Geochemistry. Univ. Press. Chicago.
- Saaty L. T. 1980. The Analytic Hierarchy Process McGraw-Hill Comp. U.S.A.
- Şimşek C. Gündüz O. Elçi A. 2007. Akifer Kirlenebilirlik Haritalarının Çevre Jeolojisindeki Önemi Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu 6-7 Eylül 2007 İstanbul.
- Thapinta A. Hudak P. 2003. Use of Geographic Information Systems for Assessing Groundwater Pollution Potential by Pesticides in Central Thailand. Environmental International 29 87–93.
- Topal M. Uslu G. Topal E.I.A. Öbek E. 2012. Antibiyotiklerin Kaynakları ve Çevresel Etkileri. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 1(2): 137-152.
- Tülücü K. 1996. KT-356 Hidroloji. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitapları No:50 Ç.Ü.Z.F.Ofset Atölyesi Adana.
- Tülücü K. 2002. Uygulamalı Hidroloji. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayın No:A-43 Ç.Ü.Z.F. Ofset Atölyesi Adana.

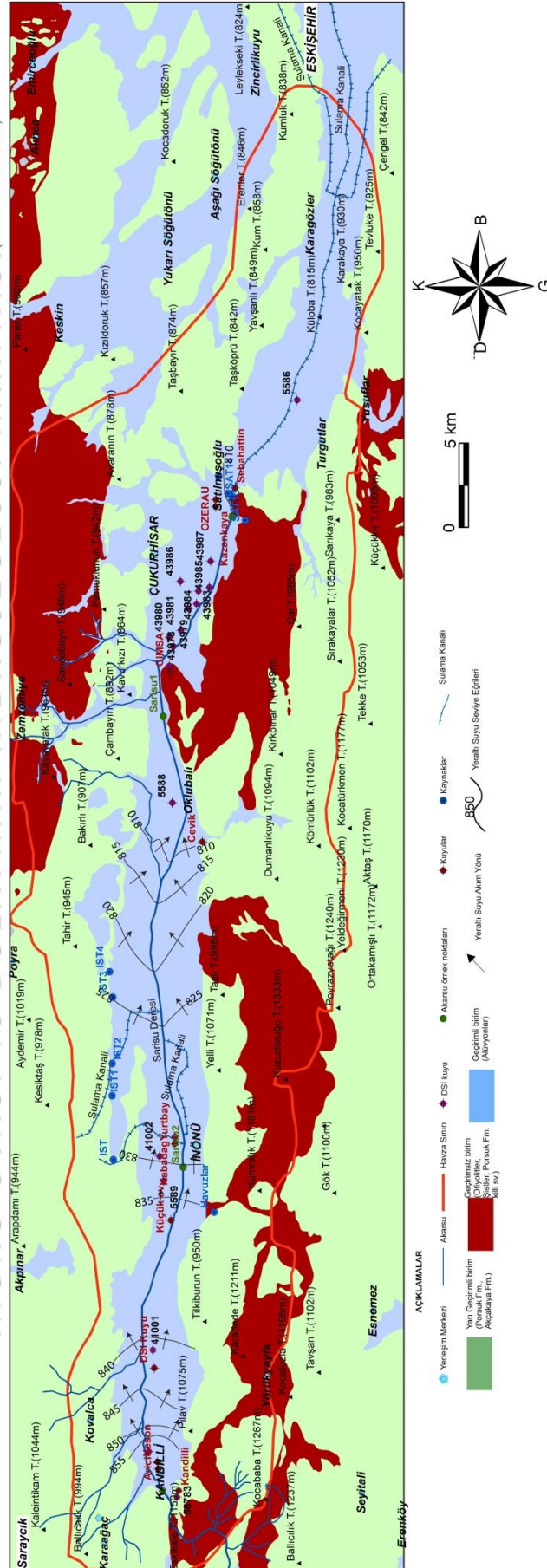
- U.S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service.1987. Summary report 1987. National Resources Inventory. Statistical Bulletin 790. Iowa State University Ames Iowa.
- USDA SCS (Soil Conservation Service). 1972. SCS National Engineering Handbook. Section 4 Hydrology. Washington DC: USDA.
- Van Stempoot D Ewert L Wassenaar L. 1993. Aquifer Vulnerability Index (AVI): A GIS Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping. Can Water Res J 18:25-37.
- Vrba J Zaporozec A. 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Association of Hydrogeologists (International Contributions To Hydrogeology 16). Verlag Heinz Heise Hannover.
- Weingart W. 1954 56/2 56/4 Sivrihisar ve 57/1 57/3 Ankara paftalarının jeoloji haritası hakkında rapor: MTA Rap. 2248 (yayımlanmamış) Ankara.
- Anonymous 1989. Public Health Impact of Pesticides Used in Agriculture Report of WHO/UNEP Working Group WHO Geneva.
- Wilcox B.P. Newman B.D. Brandes D. Davenport D.W. Reid. K. 1997. Runoff from a semiarid ponderosa pine hillslope in New Mexico Water Resources Research 33 2301-2314.
- Wilcox L. V. 1948. The Quality of Water for Irrigation Use U.S. Department of Agriculture Circular No. 962 Washington District of Columbia 40 s.
- Wind Y ve Saaty T. L. (1980) "Marketing Application of the Analytic Hierarchy Process" Management Science 26(7): 641-658.
- Yıldırım M. ve Topkaya B. 2005. Antalya Kentindeki İçme Suyu Kaynaklarının Kirlenme Potansiyelinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Antalya.
- Yüce G. Özçelik Ş. Yasin U. D. 2008. Eskişehir Ovası (Aşağı Porsuk Havzası) Yüzey ve Yeraltı Su Kaynaklarındaki Kirliliğin Nedenleri ve Zamansal Değişimi Konya Kapalı Havzası Yeraltısuyu ve Kuraklık Konferansı Konferans Bildiri Özetleri 11-12 Eylül 2008 Konya.
- Yüce G. 1998. Hatay-Erzin-Yeşilkent Ovasının Hidrojeolojik Etüdü ve Burnaz Kaynağının Kökeninin Araştırılması. Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi Adana.

EKLER

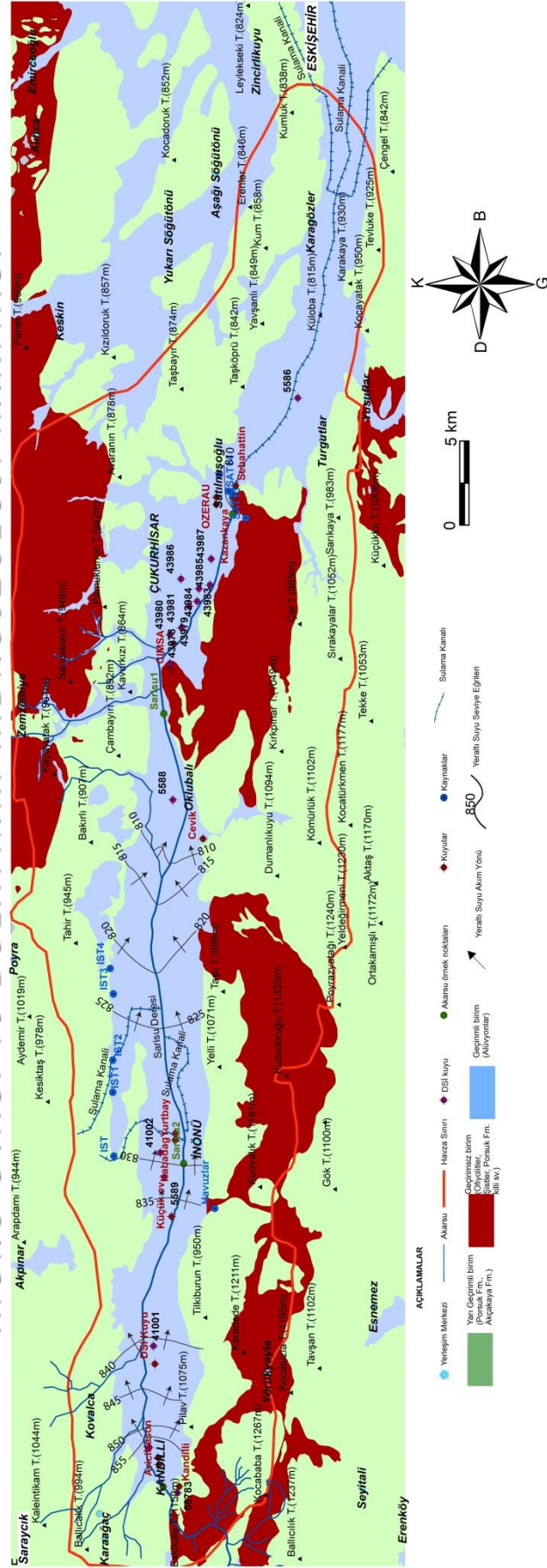
EK 1 İnönü Ovası ve Dolayının Jeoloji Haritası.....	175
EK 2 İnönü Ovası ve Dolayının Hidrojeoloji Haritası (Mayıs Dönemi).....	176
EK 3 İnönü Ovası ve Dolayının Hidrojeoloji Haritası (Ekim Dönemi).....	177

İNÖNÜ OVASI ve DOLAYININ JEOLojİ HARİTASI





İNÖNÜ OVASI ve DOLAYININ HİDROJEOLOJİ HARİTASI (EKİM DÖNEMİ)



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem GÜLLÜ

Doğum Yeri : Aksaray

Doğum Tarihi : 28/071977

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Aksaray Hazım Kulak Anadolu Lisesi (1995)

Lisans : Niğde Üniversitesi Aksaray Müh. Fak. Çevre Mühendisliği Bölümü (1999)

Yüksek Lisans : Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği ABD (Ocak, 2000- Ocak, 2003)

Doktora :Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği ABD (Mayıs, 2007- Eylül, 2014)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü (1999-2007)

Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2007-2014)

Yayınlar (SCI)

Elhatip Hatim, **Güllü Özlem**, 2005. Influences of Waste-Water Discharges on the Water Quality of Mamasın Dam Watershed in Aksaray, Central Anatolian Part of Turkey. Environmental Geology(48), 829-834

Hakemli Dergiler

Mehmet Çelik, U.Erdem Dokuz, P.Elif Türköz, **Özlem Güllü** ve Şebnem ARSLAN (2013). Nasrettin Hoca Kaynağının (Sivrihisar, Eskişehir) Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelemesi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi (146), 93-104.

Ulusal Kongre-Sempozyumlarda Tam Metin-Özet Bildiriler

Kunt Fatma, Kurmaç Yakup, Altaş Levent, **Güllü Özlem**, Işık Mustafa, 2007. Kentsel Atıksuların Aksaray İklim Koşullarında Anaerobik Arıtımı. Mersin Üniversitesi Ulusal Çevre Sempozyumu

Kunt Fatma, Kurmaç Yakup, Altaş Levent, **Güllü Özlem**, Işık Mustafa, 2007. Endüstriyel Atıksulardan Biyokatalitik Olarak Kalsiyum Giderimi. Mersin Üniversitesi Çevre Sempozyumu

Özlem Güllü, Hatim Elhatip, 2008. Mamasun Barajı Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, Su, Enerji, Sağlık Sempozyumu, 20-23 Ekim, Aksaray (Tam metin).

Ünsal Nail, Dokuz Uğur Erdem, **Güllü Özlem**, Çelik Mehmet, 2008. Yeraltı Suları ve Yüzeysel Sular (Düzce Ovası) Arasındaki İlişkinin Hidrokimyasal İncelenmesi. Aksaray Üniversitesi Su, Enerji ve Sağlık Sempozyumu.

Çelik Mehmet, Dokuz Uğur Erdem, **Güllü Özlem**, 2009. Jeotermal Kaynakların (Ayaş-Beypazarı, Ankara) Karbon İzotoplarıyla Değerlendirilmesi. Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli ve Arama Yöntemleri Sempozyumu.

Kavurmacı Murat, **Güllü Özlem**, Kurmaç Yakup, Altaş Levent, Işık Mustafa, Özcan Samet, 2009. Aksaray İli Yeraltı Suyu Verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemi İle Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi.

Özlem Güllü, Mehmet Çelik ve Şebnem Arslan, 2013. İnönü Ovası (Eskişehir) Sularının Kalitesi ve Pestisit Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi, Baki Canik Su Medeniyeti Sempozyumu, 7-9 Ekim, Aksaray.