

**SİVAS İLİ KATI ATIK DEPOLAMA
ALANINDA SIZINTI SUYUNUN
YERALTINDAKİ YAYILIMININ
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**
Sevda ÖZEL
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2010

**SİVAS İLİ KATI ATIK
DEPOLAMA ALANINDA
SIZINTI SUYUNUN
YERALTINDAKİ YAYILIMININ
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

**Sevda ÖZEL
DOKTORA TEZİ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2010**

Danışman: Prof. Dr. Ali YILMAZ-CÜ Çevre Mühendisliği Bölümü

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından M-352 nolu Doktora Tez Projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarih ve 7 sayılı toplantısında kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Klavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
RESİMLER DİZİNİ	xiii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KULLANILAN YÖNTEMLER	6
2.1. Jeofizik Yöntemler	6
2.1.1. Doğru akım öz direnç yöntemi	6
2.1.2. Elektromanyetik iletkenlik yöntemi	10
2.2. Jeokimya Yöntemleri	12
2.3.1. Su kirliliği çalışmaları	12
2.3.2. Toprak kirliliği çalışmaları	15
3. İNCELEME ALANININ KONUMU ÇEVRE JEOLJİSİ VE ÇEVRE JEOTEKNİĞİ ÇALIŞMALARI	30
3.1. Çalışma Bölgesi	30
3.1.1. Sivas il merkezi genel özellikleri	32
3.1.2. Katı atık yönetimi	34
3.2. Çalışma Bölgesinin Çevre Jeolojisi	39
3.2.1. Selimiye formasyonu	41
3.2.2. Hafik formasyonu	42
3.2.3. Kuvaterner yaşlı oluşuklar	43
3.3. Çalışma Bölgesinin Çevre Jeotekniği	47
4. JEOKİMYA ÇALIŞMALARI	48
4.1. Arazi Deneyleri	49
4.2. Laboratuvar Deneyleri	55
4.2.1. Su analizleri	55
4.2.2. Toprak analizleri	65
5. DEPONİ ALANINDA YAPILAN JEOFİZİK ÇALIŞMALAR	79
5.1. Doğru Akım Öz direnç (DAÖ) Çalışmaları	81
5.1.1. DAÖ ölçüleri	84
5.1.2. Verilerin iki-boyutlu ters çözümü ve yorumu	112
5.1.3. Verilerin üç-boyutlu ters çözümü ve yorumu	113
5.2. Elektromanyetik Çalışmalar	119
6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	132
7. KAYNAKLAR	136
8. EKLER	145

ÖZET

Sivas ili deponi alanı, Sivas-I38a₃ ve a₄ paftalarının ara kesitinde Seyfebeli güneyinde, Haçın deresi drenaj alanının kuzeybatı kesiminde yer almaktadır.

Düzensiz çöp alanlarının sızıntı suları dolayısıyla üzerinde yer aldığı kayatürlerinde ve su kaynaklarında ciddi çevresel sorunlar yarattığı bilinmektedir. Sunulan çalışmanın amacı Sivas ili deponi alanının 15 yıllık faaliyeti sonucunda oluşan çevresel sorunlarını belirlemektir. Bu nedenle jeofiziğin DAÖ (Doğru Akım Özdirenç-Direct Current Resistivity) ve Eİ (Elektromanyetik İletkenlik-Electromagnetic Conductivity) yöntemlerini kullanarak kirliliğin boyutları belirlenmiştir. Böyle bir çalışma, ÇED işletme sürecinin izlenip, ortaya çıkan kirliliği, zamanında denetleme açısından da gereklidir.

Gerçekleştirilen çalışmada, sızıntı suyuna ilişkin kirlilik değişkenlerinin (pH, EC, BOI, KOI, ağır metal, vd.) analizleri gözetildiğinde, kirleticilerin Kızırmak'a ulaştığı söylenebilir. Toprak analizlerinde sırasıyla Sr, Ni ve Ba (244-1669, 286.8-574.6 ve 217-556 mg/L) Zr, Zn, Co, Cu, Ce, Rb, Pb, La, Al, Ga, Y, U, Fe, W, Ca ve As elementleri belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmede, bu alanda kirlilik kaynağının kayatürü değil, çöpe ait sızıntı suyu olduğu belirlenmiştir. Ancak, Sr, Br, Nb, Zr, I, Ba, La, Hf, Ta, Hg, Tl, Bi, Th, Mn, Ti, Ta, Ge, Se, Ca, Cl ve Al elementlerinin varlığı çoğunlukla bölgedeki kayatürleriyle ilgilidir. Sr miktarının çok yüksek bulunmasının nedeni ise bölgede egemen olan Oligosen-Miyosen yaşlı Hafik formasyonu'nun büyük bir bölümünü oluşturan jipslerin varlığıdır.

DAÖ ölçümleriyle yatay ve dikey yönde kirlenmenin boyutları ortaya konulmuştur. 2-Boyutlu (2B) ve 3-boyutlu (3B) özdirenç modellerinden kirliliğin yeraltı su kaynaklarını da etkileyebileceği anlaşılmıştır. Özdirenç modellerinden kirliliğin yataydaki yayılımının Haçın deresinden doğuya doğru yaklaşık 5-15 m ve batıya doğru yaklaşık 5 m, derine doğru az 4 m devam ettiği belirlenmiştir. Özdirenç modellerinde 20-30 Ohm-m'den düşük özdirençli yerler sızıntı sularıyla kirlenmiş alanlar ve daha yüksek özdirençli yerler ise kirlenmenin olmadığı ya da daha az olduğu alanlardır. Özdirençin tersi olan iletkenlik ise özdirençin düşük olduğu yerlerde 18-25 mS/m'den yüksektir. Ancak sızıntı suyunun ilk deşarj edildiği alanda iletkenliği ortalama 50 mS/m'dir. Özdirenç modellerinde ve

görünür iletkenlik haritalarında sızıntının yönü ise güneydoğu yönlü olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, deponi alanı sızıntı sularının, üzerinde aktıkları kaya birimlerini, yeraltısularını ve hemen güneydoğuda akmakta olan Kızılırmak'ı, ciddi biçimde tehdit ettiği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: 2B-3B modelleme, ters çözüm, görünür öz direnç, görünür iletkenlik, su-toprak kimyası, atık-deponi alanı, sızıntı suyu, kirlilik.

ABSTRACT

Sivas city disposal area is situated to the northwest of Hacin Creek drainage area, to the south of Seyfebeli, in the intersection of Sivas-I38a₃ and a₄ sheets.

It is known that the leachates of unregular waste landfill areas create serious environmental problems mainly in the water resources and the rock units, which represents the basement. The aim of the presented study is to determine the dimensions of the contaminations, due to the activity of Sivas City disposal areas for 15 years. For this reason, the dimensions of contaminations have been determined by using the direct current resistivity and electromagnetic conductivity methods of the geophysical. This kind of a study is also required for the following the EIA (Environmental Impact Assessment) management and it is necessary to control the contamination on the time.

In the presented study, it is seen that the pollutions reached in Kızılırmak in consideration of the analyses of the leachate samples of the water pollution parameters (pH, EC, BOD, COD, heavy metal, etc.). In the soil analysis, following elements such as Sr, Ni ve Ba (244-1669, 286.8-574.6 ve 217-556 mg/L), Zr, Zn, Co, Cu, Ce, Rb, Pb, La, Al, Ga, Y, U, Fe, W, Ca and as were determined respectively. The results show that the pollution source is not based on the rock units, it depends on the leachate of the waste. However, existence of Sr, Br, Nb, Zr, I, Ba, La, Hf, Ta, Hg, Tl, Bi, Th, Mn, Ti, Ta, Ge, Se, Ca, Cl and Al elements mostly deals with the rock units in the area. The reason of the high Sr rate is related to the existence of gypsum, which constitutes a great part of the Oligocene-Miocene Hafik Formation that is dominant in the region.

The dimensions of the contaminations have been determined by soundings of the direct current resistivity, horizontally and vertically. It was understood from 2D and 3D resistivity models that the pollution can also effect the water resources. It was determined that the horizontal spreading of pollution from Haçin creek continues eastward 5-15 m and westward approximately 5 m and 4 m deepward in the resistivity models. In these models, the area with low resistivity 20-30 Ohm-m represents the high contaminated parts, but the area with high resistivity represents clean or less contaminated parts. The conductivity is opposite the resistivity that it is higher than 18-25 mS/m in the area with low resistivity. But,

the mean conductivity is 50 mS/m in the area, where the leachate is discharged at first. The direction of leachate is the southeastward in the resistivity models and the apparent conductivity plots.

As a result, it has been suggested that the leachates of the disposal areas threaten seriously underground water resources and Kızılırmak river which flows along southeast of the area and also the rock units on which the leachate flow.

Key words: 2D-3D modeling, inversion, apparent resistivity, apparent conductivity, water-soil chemistry, waste-disposal site, leachate, contamination.

TEŞEKKÜR

Daniőman Hocam Sayın Prof. Dr. Ali YILMAZ'a, ikinci daniőman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA'ya, çok değerli yardımları için Sayın Doç. Dr. M. Emin CANDANSAYAR ve Sayın Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU'na, tez izleme komitemde de yer alan çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Coőkun SARI ve Sayın Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ'ye ve hiç bir zaman yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ ile arkadaşlarım Arő. Gör. Ü. Aslı ATAY ve Arő. Gör. Fuat ÖZYONAR'a, çok değerli Arkadaşlarım ve Aileme, ayrıca tez projemde staj yapan Öğrencilerime emekleri, destekleri, anlayıőı ve sabrı için çok teşekkür ediyorum.

Sevda ÖZEL
Temmuz 2010

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	İnceleme alanı bulduru haritası..... 1
Şekil 2.1.	Arazide ölçü alma sistemi..... 6
Şekil 2.2.	a) ARES cihazı, b) Çoklu-elektrot ve kablo bağlama..... 8
Şekil 2.3.	Wenner-Schlumberger ölçü alma sistemi..... 8
Şekil 2.4.	Çok elektrotlu sistemle ölçü alma düzeni..... 9
Şekil 2.5.	CMD4 cihazını oluşturan elemanlar..... 11
Şekil 2.6.	Sürekli ölçü alma düzeni..... 12
Şekil 2.7.	Topoğrafik harita üzerinde su ve toprak örneği alınan yerlerin görünümü. 13
Şekil 3.1.	İnceleme alanının topoğrafya ve bulduru haritası..... 31
Şekil 3.2.	İç Anadolu Bölgesi'nin 2008 ve 2009 yılları için yıllık ortalama yağış miktarı grafiği..... 33
Şekil 3.3.	Sivas ili ve yakın dolay için yeni inşa edilmekte olan katı atık depolama alanı..... 35
Şekil 3.4.	Deponi alanı (DA) mühendislik jeolojisi haritası..... 40
Şekil 3.5.	Deponi alanı ve dolayının ayrıntılı konuya özel mühendislik jeolojisi haritası..... 44
Şekil 3.6.	Birimlerin ayrıntılı dikme kesiti..... 45
Şekil 3.7.	Deponi alanı ve dolayının ayrıntılı hidrografi haritası..... 46
Şekil 4.1.	ÇS ve KS için yıllık pH grafiği..... 51
Şekil 4.2.	ÇS ve KS için yıllık EC grafiği..... 51
Şekil 4.3.	ÇS ve KS için yıllık çözünmüş oksijen miktarı grafiği..... 52
Şekil 4.4.	ÇS ve KS için yıllık a) Sıcaklık ve b) Tuzluluk grafiği..... 53
Şekil 4.5.	ÇS ve KS için yıllık ORP grafiği..... 54
Şekil 4.6.	ÇS ve KS için yıllık basınç grafiği..... 55
Şekil 4.7.	(a) ÇS için ve (b) KS için yıllık ağır metal derişimleri grafiği..... 58
Şekil 4.8.	(a) ÇS ve (b) KS için yıllık BOI ve KOI derişimlerini gösteren grafikleri. 61
Şekil 4.9.	ÇS-KS için yıllık BOI ₅ /KOI oranları grafiği..... 61
Şekil 4.10.	ÇS ve KS için yıllık Toplam alkalinite derişimleri grafiği..... 62
Şekil 4.11.	ÇS ve KS için yıllık Toplam Cl derişimleri grafiği..... 62
Şekil 4.12.	ÇS ve KS için yıllık Toplam N derişimleri grafiği..... 63
Şekil 4.13.	Su örneklerinin aynı aylar için laboratuvar analizi sonuçları grafikleri..... 64
Şekil 4.14.	Toprak örneklerinde en yüksek oranda bulunan üç elementin örnek yerlerine göre derişimlerini gösteren histogramı..... 69
Şekil 4.15.	Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçlarının Histogramı-1 değerlendirmesi..... 71
Şekil 4.16.	Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçlarının devamı olan Histogramı-2 değerlendirmesi..... 72
Şekil 4.17.	Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçlarının Spider diyagramı değerlendirmesi..... 74
Şekil 4.18.	ÇS-KS su örneklerinin ağır metal derişimlerinin histogramı..... 75
Şekil 4.19.	Toprak analizlerinin sadece Fe, Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Hg ve Cr elementleri için olan derişimlerinin histogramı..... 76
Şekil 4.20.	Çizelge 4.17'deki ağır metal derişimleri için hazırlanan Spider diyagramı..... 77
Şekil 5.1.	Çalışma alanının uydu görüntüsü..... 82

Şekil 5.2.	Deponi alanı ve DAÖ ölçüm yerleri.....	84
Şekil 5.3.	A bölgesi K20B yönlü daas1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	85
Şekil 5.4.	A bölgesi için K70D yönlü daas2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	86
Şekil 5.5.	B bölgesi için K65B yönlü dabs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	88
Şekil 5.6.	B bölgesi için K26D yönlü dabs2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	88
Şekil 5.7.	C bölgesi için K53B yönlü dacs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	89
Şekil 5.8.	C bölgesi için K23B yönlü dacs2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	90
Şekil 5.9.	F bölgesi için K15B yönlü dafs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	92
Şekil 5.10.	F bölgesi için K15B yönlü dafs2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	92
Şekil 5.11.	F bölgesi için K55D yönlü dafs3 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	93
Şekil 5.12.	F bölgesi için K55D yönlü dafs4 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	93
Şekil 5.13.	F bölgesi için K55D yönlü dafs5 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	94
Şekil 5.14.	G bölgesi için K15B yönlü dags1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	95
Şekil 5.15.	G bölgesi için K15B yönlü dags2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	96
Şekil 5.16.	den (dags2) profili Wenner-Schlumberger ölçüsünün EA=5 m (G alanı) için; (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) görünür özdirenç yapı kesiti.....	96
Şekil 5.17.	G bölgesi için K120D yönlü dags3 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	97
Şekil 5.18.	G bölgesi için K120D yönlü dags4 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	98
Şekil 5.19.	G bölgesi için K120D yönlü dags5 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b)	98

	hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	
Şekil 5.20.	G bölgesi için K120D yönlü dags7 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	99
Şekil 5.21.	H bölgesi için K15B yönlü dahs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	100
Şekil 5.22.	H bölgesi için K15B yönlü dahs2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	101
Şekil 5.23.	H bölgesi için K15B yönlü dahs3 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	101
Şekil 5.24.	H bölgesi için K15B yönlü dahs4 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	102
Şekil 5.25.	X bölgesi için K-G yönlü daxs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	103
Şekil 5.26.	Y bölgesi için K45B yönlü days1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	104
Şekil 5.27.	E bölgesi için K55D yönlü daes1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	105
Şekil 5.28.	E bölgesi için K15B yönlü daes2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	106
Şekil 5.29.	E bölgesi için K15B yönlü daes3 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	106
Şekil 5.30.	D bölgesi için K15B yönlü dads1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	108
Şekil 5.31.	D bölgesi için K15B yönlü dads2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	108
Şekil 5.32.	D bölgesi için K55D yönlü dads3 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	109
Şekil 5.33.	D bölgesi için K55D yönlü dads4 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	109
Şekil 5.34.	W bölgesi için K15B yönlü daws1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	111
Şekil 5.35.	W bölgesi için K15B yönlü daws2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.....	111
Şekil 5.36.	2B özdirenç modellerinin profil yerlerinin topoğrafik haritadaki konumları.....	113

Şekil 5.37.	H-G bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlikleri için x-y kesitleri.....	114
Şekil 5.38.	H-G bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.....	114
Şekil 5.39.	G bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlikleri için x-y kesitleri.....	115
Şekil 5.40.	G bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.....	115
Şekil 5.41.	F bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlikleri için x-y kesitleri.....	116
Şekil 5.42.	F bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.....	116
Şekil 5.43.	D bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlikleri için x-y kesitleri.....	117
Şekil 5.44.	D bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.....	117
Şekil 5.45.	E bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlikleri için x-y kesitleri.....	118
Şekil 5.46.	E alanı için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.....	118
Şekil 5.47.	D, E, F, G ve H bölgelerinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modellerinin topoğrafik harita üzerindeki görünümü.....	119
Şekil 5.48.	Deponi alanı ile elektromanyetik iletkenlik ölçüm yerlerinin plan görünümü.....	120
Şekil 5.49.	A1 profilinin a) görünür elektriksel iletkenlik grafiği ve b) faz grafiği.....	122
Şekil 5.50.	Şekil 5.3'den düzenlenerek alınan A bölgesindeki K20B yönlü daas1 profilinin 2B öz direnç modeli.....	122
Şekil 5.51.	B1 profilinin a) görünür elektriksel iletkenlik grafiği ve b) faz grafiği.....	124
Şekil 5.52.	Şekil 5.5'den düzenlenerek alınan B bölgesi için K65B yönlü dabs1 profilinin 2B öz direnç modeli.....	124
Şekil 5.53.	F bölgesinin elektromanyetik iletkenlik ölçüm sonuçları.....	125
Şekil 5.54.	F ₃₄₅ bölgesi için Şekil 5.42'deki 3B öz direnç modeli.....	126
Şekil 5.55.	G bölgesinde elektromanyetik iletkenlik ölçümlerden elde edilen haritalar.....	127
Şekil 5.56.	H-G ₁₂ bölgesinin Şekil 5.38'deki 3B öz direnç modeli.....	127
Şekil 5.57.	D bölgesinde elektromanyetik iletkenlik ölçümlerden elde edilen haritalar.....	128
Şekil 5.58.	D ₃₄ bölgesinin Şekil 5.44'deki 3B öz direnç modeli.....	129
Şekil 5.59.	E bölgesinde elektromanyetik iletkenlik ölçümlerden elde edilen haritalar.....	130
Şekil 5.60.	E bölgesinin Şekil 5.46'daki 3B öz direnç modeli.....	130
Şekil 6.1.	Jeofizik sonuçlardan elde edilen yatay kirlilik haritası.....	135
Şekil 6.2.	Jeofizik sonuçlardan elde edilen düşey kirlilik haritası.....	135

ÇİZELGELER DİZİNİ

		<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1.	El tipi GPS ölçümlerine göre toprak örneği yerlerinin konumları.....	16
Çizelge 2.2.	Arazide ölçülen değişkenler ve kullanılan cihaz.....	16
Çizelge 2.3.	İletkenlik ile toplam çözünmüş tuz derişimi/toplam çözünmüş katı madde arasındaki ilişki.....	18
Çizelge 2.4.	Laboratuvarda kullanılan yöntemler ve cihazlar.....	21
Çizelge 3.1.	Sivas için 1975-2008 yılları arasındaki döneme ait ortalama meteorolojik sonuçlar.....	32
Çizelge 3.2.	TUİK'nun 2004-2006 yılları için hesapladığı yaz ve kış mevsimine göre toplanan ortalama katı atık miktarları.....	39
Çizelge 4.1.	CX-701 cihazı ile arazide ölçülen aylık su değerleri.....	50
Çizelge 4.2.	ÇS-KS su örneklerinin aylık ağır metal analizlerinin laboratuvar sonuçları.....	56
Çizelge 4.3.	ÇS-KS su örneklerinin aylık BOI, KOI, toplam Alkalinite, toplam Cl ve toplam N miktarlarının laboratuvar sonuçları ve BOI/KOI oranları.....	60
Çizelge 4.4.	KÖ örneklerin mevsimlik arazi ölçüm sonuçları.....	63
Çizelge 4.5.	KÖ örneklerin mevsimlik su analizleri laboratuvar sonuçları.....	63
Çizelge 4.6.	KÖ örneklerin mevsimlik ağır metal analizleri laboratuvar sonuçları..	63
Çizelge 4.7.	Su örneklerinin aynı aylar için laboratuvar analizi sonuçları.....	64
Çizelge 4.8.	ÇS, KS ve KÖ su örneklerinin aynı aylar için arazi deneyleri sonuçları.....	65
Çizelge 4.9.	Sızıntı suyu kirlenici özellikleri.....	66
Çizelge 4.10.	ÇS ve KS su örneklerindeki son 6 aylık Mg ve Ca derişimleri.....	66
Çizelge 4.11.	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (1995)'den düzenlenerek, atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları (ilgili bölümlerden alıntılar yapıp düzenlenerek).....	66
Çizelge 4.12.	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (1995)'den düzenlenerek, katı atık değerlendirme ve uzaklaştırma tesislerinin alıcı ortama deşarj standartları.....	66
Çizelge 4.13.	Bu tez çalışması ve Atmaca (2004)'nın çalışmasının aynı aylar için olan BOI, KOI, alkalinite, klorür, pH ve EC sonuçları.....	67
Çizelge 4.14.	Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçları.....	69
Çizelge 4.15.	Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçları Spider diyagramı için hazırlanan derişim değerleri.....	72
Çizelge 4.16.	ÇS-KS su örneklerinin ağır metal derişimleri.....	74
Çizelge 4.17.	Toprak analizlerinin Fe, Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Hg ve Cr elementi içerikleri.....	75
Çizelge 4.18.	Bazı ağır metallerin Spider diyagramı için hazırlanan derişimleri.....	76
Çizelge 5.1.	DAÖ ölçüleri için profil başlangıç koordinatları.....	83

RESİMLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Resim 2.1. CX-701 su ölçüm cihazı ve güç kaynağı.....	14
Resim 2.2. CX-701 su ölçüm cihazının problemleri.....	14
Resim 2.3. Mevsimsel zorluklarda örnek alma.....	28
Resim 2.4. Ölçüm cihazı ve arazi ölçümünde beher kabının kullanımı.....	28
Resim 2.5. Laboratuvar için su örneği alma ve arazi ölçümünden görünüm..	29
Resim 2.6. (a) Toprak örnek yeri, (b) Örnek alma ve GPS ölçümü.....	29
Resim 5.1. Düzensiz deponi alanının G'inde yapımı süren havuz inşaatları alanı.....	80
Resim 5.2. Düzensiz deponi alanında devam eden yangından bir görüntü....	80
Resim 5.3. Havuzların (a) kuzeyinden ve (b) batısından geçen drenaj kanalı.	81
Resim 5.4. Drenaj kanalının (a) Haçın deresine karıştığı yer ve (b) dere boyunca akışı.....	81
Resim 5.5. Sızıntı suyunun Kızılırmak'la karıştığı yer.....	81
Resim 5.6. A bölgesi ölçüm yeri.....	85
Resim 5.7. B ve C bölgeleri ölçüm yerleri.....	86
Resim 5.8. F bölgesi ölçüm yeri.....	91
Resim 5.9. G bölgesi ölçüm yeri.....	95
Resim 5.10. G bölgesi ölçüm yeri (diğer profiller için).....	97
Resim 5.11. H bölgesi ölçüm yeri.....	99
Resim 5.12. X ve Y bölgeleri ölçüm yerleri.....	103
Resim 5.13. E bölgesi ölçüm yeri.....	104
Resim 5.14. D bölgesi ölçüm yeri.....	107
Resim 5.15. W bölgesi ölçüm yeri.....	110
Resim 5.16. A1 profili ölçüm yeri.....	121
Resim 5.17. B1 profili ölçüm yeri.....	123
Resim 5.18. D bölgesi ölçüm yeri.....	125
Resim 5.19. G bölgesi ölçüm yeri.....	126
Resim 5.20. D bölgesi ölçüm yeri.....	128
Resim 5.21. E bölgesi ölçüm yeri.....	129

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Elektriksel kısaltmalar ve değişken sembolleri

DAÖ	Doğru Akım Özdirenç (Duration Current Resistivity)
DA (DC)	Doğru Akım (Duration Current)
DES (VES)	Düşey Elektrik Sondaj (Vertical Electrical Sounding)
ρ_a	Görünür özdirenç, Ohm.m
ΔV	Gerilim farkı, mV
I	Akım, mA
k	Geometrik katsayı
A, B	Akım elektrotları
M, N	Potansiyel elektrotları
a	Potansiyel elektrotlar arası uzaklık
na	Akım elektrotu ile potansiyel elektrot arasındaki uzaklık
n	Ölçülen düzey

Elektromanyetik ile ilgili kısaltmalar ve değişken sembolleri

Eİ	Elektromanyetik iletkenlik (Electromagnetic Conductivity)
EM	Elektromanyetik (Electromagnetic)

Jeolojik kısaltmalar ve değişken sembolleri

Ts	Selimiye formasyonu
Th	Hafik formasyonu
Qa	Kuvaterner

Su kimyası ile ilgili kısaltmalar ve değişken sembolleri

KOI	Kimyasal Oksijen İçeriği
BOI	Biyolojik Oksijen İçeriği
EC	Elektriksel iletkenlik (Electrical Conductivity)
ÇS	Çöp Sızıntı Suyu
KS	Kızılırmak-Haçin deresi kavşağının Sonrası suyu
KÖ	Kızılırmak-Haçin deresi kavşağının Öncesi suyu
ÇO	Çözünmüş Oksijen (Dissolved Oxygen)
T	Sıcaklık
P	Basınç
pH	Çözeltide bulunan H ⁺ iyonu derişimi
ORP	Oxidation Reduction Potential veya Redox potansiyeli
TDS	Toplam çözünmüş katılar (Total Dissolved Solids)

Diğer kısaltmalar

DA	Deponi Alanı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
DMİ	Devlet Meteoroloji İstasyonu
KAKY	Katı Atıkların Kontrolü Yönetimi
TS	Türk Standartları
SB	Sivas Belediyesi
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirme
TKKY	Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
BAY	Bütünsel Atık Yönetimi

Atmaca (2006)'nın mühendislik ve çevre jeolojisi konularında, Elik ve Akçay (2000)'in Sivas'ın ağır metal kirlilik haritasını hazırladıkları çalışmaları bu teze konu olan inceleme alanını kapsamaktadır. Dolayısıyla, inceleme alanına yönelik çalışmalar, jeofizik yöntemlerin katkısını sınyabileceğimiz bir altyapı oluşturmuştur. Buna göre katı atık deponi alanı yer seçimi, yönetimi ile deponi alanı ve çevre sorunlarının araştırılmaları genelinde temel oluşturan jeofizik ve hidrojeofizik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Çevre jeofiziği çalışmaları, özellikle 80'li yılların ilk yarısında tüm dünyada çevre sorunlarının bilincine varılması ile birlikte, 80'li yılların ikinci yarısından itibaren bu konuda ilk önemli çalışmalar elektrik yöntemler kullanılarak yapılmıştır (Mazac vd., 1987; Parra, 1988; Parra ve Owen, 1988; Darilek vd., 1989). 90'lı yılların başlarında çevre jeofiziği çalışmaları, önemli ölçüde artmıştır. Bu yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere koşut olarak yeni yöntem ve teknikler ile veri toplama ve değerlendirme yazılımları gelişmiş ve çevre jeofiziğinin inceleme alanı genişlemiştir. Elektrik yöntemlerle ilgili olarak temel kuramsal bilgiler ve çevre jeofiziği konusundaki uygulama örnekleri için Telford vd. (1990)'nin, Reynolds (1997)'in ve Vereckeen vd. (2006)'nin kitapları önemlidir.

Çevre jeofiziği çalışmalarında kullanılan jeofizik yöntemlerde ilk sırayı doğru akım öz direnç (DAÖ) (Direct Current Resistivity) yöntemi, ikinci sırayı ise elektromanyetik yöntemler (VLF, RMT gibi) almaktadır. DAÖ yönteminin baraj ve katı atık deponi alanlarında, sızıntı izleme tekniklerini içeren çalışmalar vardır (Mazac vd. 1990; Frangos 1994). Özellikle açık katı atık alanlarındaki sızıntı suyu yerlerini belirlemede Laine (1991), Frohlich vd. (1994), Frangos (1997), Reynolds (1997), Petrovsky vd. (2001), Charlesworth ve Lees (2001), Frohlich vd. (2008)'in çalışmaları bulunmaktadır. Aaltonen (1998), Aaltonen ve Olofsson (2001) ve Olofsson vd. (2006) deponi alanlarındaki sızıntıları izleme sistemleri geliştirmiştir.

DAÖ yöntemi eski dolgu alanlarının ve kirliliğın olası sızıntı yollarının belirlenmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Dahlin, 1996). Yukarıdaki çalışmaların çoğunda DAÖ verilerinin 2B ters çözümü yapılarak sızıntı suyu kirliliği irdelenmiştir.

Whiteley ve Jewell (1992) ile Meju (2000), elektriksel özdirencin sızıntı suyunun yüksek ölçüde iletken olması ile ilişkili olduğunu ileri sürmektedirler.

Hidrojeofizik konusunda, hidrojeofiziğin içeriği, gelişimi, hidrojeofizik yöntem ve yaklaşımlar, Vereecken vd. (2004), Rubin ve Hubbard (2005) ile Vereecken vd. (2006)'in çalışmalarında ayrıntıları ile anlatılmaktadır. Ayrıca bu konudaki araştırmalarda özellikle özdirenç yöntemleri tercih edilmektedir. Bunun nedeni, ortama giren bir kirletici, iyon miktarını arttırdığı ve elektrik akımı iyonlarla taşındığı için özdirencin ortama bir kirleticinin girmesinden önceki duruma göre azalmasıdır (Kelly, 1977; Frohlich ve Kelly, 1985; Mazac vd., 1990; Frohlich, 1994). Frohlich ve Kelly (1985), Frohlich ve Parke (1989), Park (1998), Binley ve Beven (2003), Binley vd. (2002), Rubin ve Hubbard (2005) vadoz zondaki hidrojeofizik özellikler, kirlilik ya da su akışını görüntülemeye yönelik modeller ortaya koymuşlardır. Binley ve Kemna (2005), sızıntı yeri ve dağılımını belirlemeye yönelik yapay modeller geliştirmişlerdir. Gömülü atık alanların yatay ve dikey sınırlarının belirlenmesi (Tezkan vd., 1996; Candansayar ve Tezkan, 2006), hidrokarbon kirliliğinin boyutlarının belirlenmesi (Tezkan, 1999; Tezkan vd., 2000; Tezkan, 2006), ağır metal kirliliğinin haritalanması (Sarıbudak, 1999) ve güvenli atık deponi yeri belirlenmesi (Yaramancı, 2000) konularında çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Açık deponi alanlarında ve yakın dolayında Karlık ve Kaya (2001), Kaya vd. (2007) elektrik-elektromanyetik yöntemleri birlikte kullanarak yeraltı suyu kirliliğinin haritalanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Kaya ve Balkaya (2001), Drahor vd. (2004), Drahor vd. (2006)'nin gömülü katı atık deponi alanlarını ve bu alanlardaki sızıntıları belirlemeye yönelik modeller geliştirmiştir.

Bunlara ek olarak hidroloji ve hidrojeolojik açıdan yeraltısularının akış hızının ve yönünün belirlenmesi ve akifer kirliliğinin modellenmesi konularında Palacky vd. (1981), McNeill (1990), Benson vd. (1997) ile Kurttaş (1997), Dirican ve Özaydın (2000), Karaman vd. (2001), Doğdu (2001), Doğdu ve Bayarı (2002a; 2002b), Atilla (2003), Ertekin (2004), Meriç (2004) ve Dişli (2005)'in çalışmaları bulunmaktadır.

Bu tez kapsamında ise Sivas ili katı atık deponi alanının yarattığı çevresel sorunlar, jeoloji, jeofizik, su kimyası ve toprak kimyası verileri birlikte irdelenmiştir. Bu atık alanında daha önce bu kapsamda yapılan başka bir çalışma yoktur. Depolama alanının henüz atık atılmamış güney kesimi jeofizik yöntemlerden Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) (Direct Current Resistivity) ve Elektromanyetik İletkenlik (Eİ) (Electromagnetic Conductivity) yöntemleri ile incelenmiştir.

Atıklar, deponi alanına yaklaşık 15 yıldan beri gelişigüzel boşaltılmaktadır. Bu nedenle sızıntı sularının çevreyi kirletmiş olabileceği gözetilerek kirliliğin boyutları jeofizik yöntemlerle incelenmiştir. Çöp sızıntı ve yüzey sularının özelliklerinin zaman içinde değişimini belirlemek için bir yıl (12 ay) boyunca arazide her ay düzenli olarak çöp sızıntı suyu, Kızılırmak deponi alanı öncesi ve sonrası suyunun pH, iletkenlik, çözülmüş oksijen miktarı, tuzluluk, sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Laboratuvarda ise araziden alınan su örneklerinin kimyasal içerikleri analiz edilmiştir. Kimyasal analizlerde biyolojik oksijen içeriği (BOI), kimyasal oksijen içeriği (KOI), toplam azot (N), toplam klorür (Cl), toplam alkalinite ve ağır metal (bakır, civa, çinko, demir, nikel, kadmiyum, kurşun) analizleri yapılmıştır. Bu çalışmalarla çevre ve canlı yaşamı için zararlı madde derişimleri (konsantrasyonları) belirlenmiştir.

Toprak da yüzey ya da yeraltı suları gibi alıcı ortamlardır. Bu nedenle ağır metallerin toprakta uzun süre kalması, dolayısıyla daha çok birikebileceği düşünülerek, çalışma alanında toprak kirliliği de araştırılmıştır. Bu amaçla, depolama alanının bulunduğu vadi boyunca Kızılırmak'a kadar yaklaşık 50 m'de bir olmak üzere toplam 15 adet toprak örneği alınarak, laboratuvarda ağır metal analizleri yapılmıştır. Toprak örneği yerlerini harita üzerine örnek alınan noktalarda GPS ölçümleri de yapılarak aktarılmıştır.

Loke ve Barker (1996)'ın geliştirdiği ters çözüm tekniği ile çoklu elektrotlu sistemlerde 3B verilerin ters çözümü daha kısa sürede hesaplanmaktadır. Neyamadpour vd. (2009) farklı algoritmalar kullanarak ve Dahlin vd. (2002) geliştirdikleri teknikle 3B ters çözümün çevresel uygulamalarda çok yararlı olduğunu göstermiştir.

Bu tezde sızıntı suyu sınırları ve kirliliğın araştırılması amacıyla yapılan DAÖ çalışmalarının çoğunda, verilerin 2-boyutlu (2B) ters çözümleri sonucu elde edilen 2B modeller üzerinden bazı yorumlar yapılmıştır. Ayrıca birbirine koşut doğrultular boyunca ölçülen 2B sondaj-profil verisinin 3-boyutlu (3B) ters çözümleri yapılarak, 3B özdirenç modelleri de elde edilmiş ve bu modeller ile sızıntı suyunun sınırları belirlenmiştir. 3B modelleme için bu çalışmada Günter (2004)'in geliştirdiği DC3DInvRes programı kullanılmıştır.

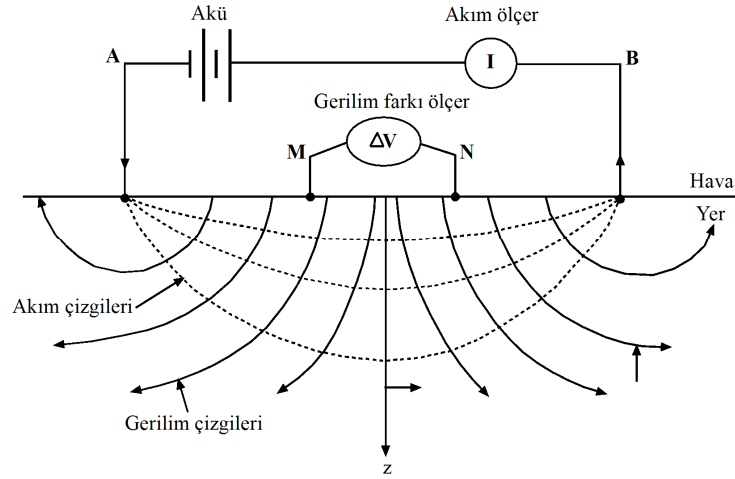
2. KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu bölümde sunulan çalışmada uygulanan DAÖ yöntemi, elektromanyetik iletkenlik yöntemi ile jeokimya yöntemleri genel olarak tanıtılacaktır.

2.1. Jeofizik Yöntemler

2.1.1. Doğru akım öz direnç yöntemi

Şekil 2.1’de A ve B akım elektrotları, M ve N gerilim (potansiyel) elektrotlarını temsil etmektedir. Akım çizgileri noktalı çizgi ve buna dik çizilen düz çizgiler ise gerilim çizgileridir. A’dan (Source) yere verilen akım, yer içinden geçer ve B’ye (Sink) ulaşır. Akım geçerken, M ve N elektrotlarının arasında oluşan gerilim farkı (voltaj) ölçülür.



Şekil 2.1. Arazide ölçü alma sistemi (Candansayar, 2007).

Ölçülen gerilim farkı kullanılarak görünür öz direnç (GÖ) (ohm-metre) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\rho_a = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \frac{\Delta V}{I} = k \frac{\Delta V}{I}$$

Burada, I akım (Amper), ΔV gerilim farkı (Volt) ve k geometrik faktörü (geometric factor) ifade eder.

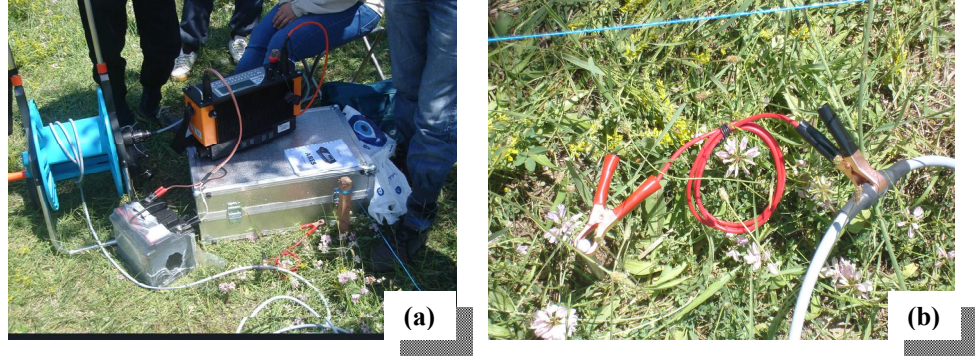
DAÖ yöntemi, uygulamalı jeofiziğin birçok alanında başarıyla kullanılmaktadır. Çevre jeofiziği kapsamındaki deponi alanı çalışmalarında da en çok tercih edilen jeofizik yöntemdir.

Günümüzde geliştirilen çok kanallı ve çok elektrotlu öz direnç ölçüm sistemleri sayesinde DAÖ ölçüleri çok hızlı alınmaya başlanmıştır. Bu ölçü sistemleri bir doğru boyunca veya karelaaj yapılarak, tüm köşe noktalarına yerleştirilen elektrotlar (örneğin 20, 30, ..., 300, 400 ... adet elektrot) tek bir kablo aracılığı ile alıcı ve verici sisteme bağlanmakta ve otomatik olarak istenilen akım ve gerilim elektrot çifti kullanılarak ölçüler alınabilmektedir. Örneğin önceki dönemlerde tek kanallı çok-elektrotlu ölçü sistemi ile 100 adet ölçü yaklaşık 50 dakikada alınırken, günümüzde geliştirilen çok-kanallı ve çok elektrotlu dizilimler ile aynı sayıda ölçü 3-4 dakikada alınabilmektedir. Bu sistemlerle ölçüler genelde bir doğrultu boyunca dizilen elektrotlar ile sondaj-profil ölçü tekniği ile ölçülmektedir. Ölçülen verilerin 2B ters çözümü yapılarak öz direnç modelleri üzerinden yorum yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında da yine çok-elektrotlu ölçüm sistemi kullanılmıştır. Ölçüler genelde birbirine paralel doğrultular boyunca alınmış ve her sondaj-profil veri setinin 2B ters çözümleri yapılmıştır. Ayrıca, önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada paralel doğrultular boyunca ölçülen veriler birlikte kullanılarak, 3B ters çözümleri yapılmış ve elde edilen 3B öz direnç modelleri yorumlamada kullanılmıştır.

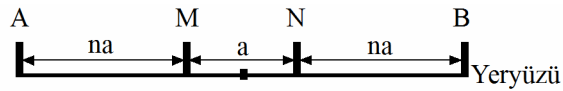
Yeraltı suyunun ve yüzey suyunun (Kızılırmak) büyük öneme sahip olduğu inceleme alanında, su taşıyabilecek birimlerin kalınlık ve yayılımını öğrenmek amacıyla DAÖ ölçüleri alınmıştır. Verilerin ölçülmesinde GF Instrument firmasının ARES marka cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.2).

Ölçü almada serim işlemi tamamlandıktan sonra istenilen elektrot dizilimi (Wenner, Schlumberger, dipol-dipol vb.) için cihaz ayarları yapılır. Veri toplamaya başlamadan önce her elektrotun temas (kontakt dirençleri) durumları ve diğer taramaları otomatik olarak yapılır. Bu kalibrasyon işlemi sorunsuz tamamlanırsa ölçü almaya başlanır. Ölçü alımı başlayınca ölçüler otomatik olarak cihazdaki bilgisayara kaydedilmektedir.



Şekil 2.2. a) ARES cihazı, b) Çoklu-elektrot ve kablo bağlama.

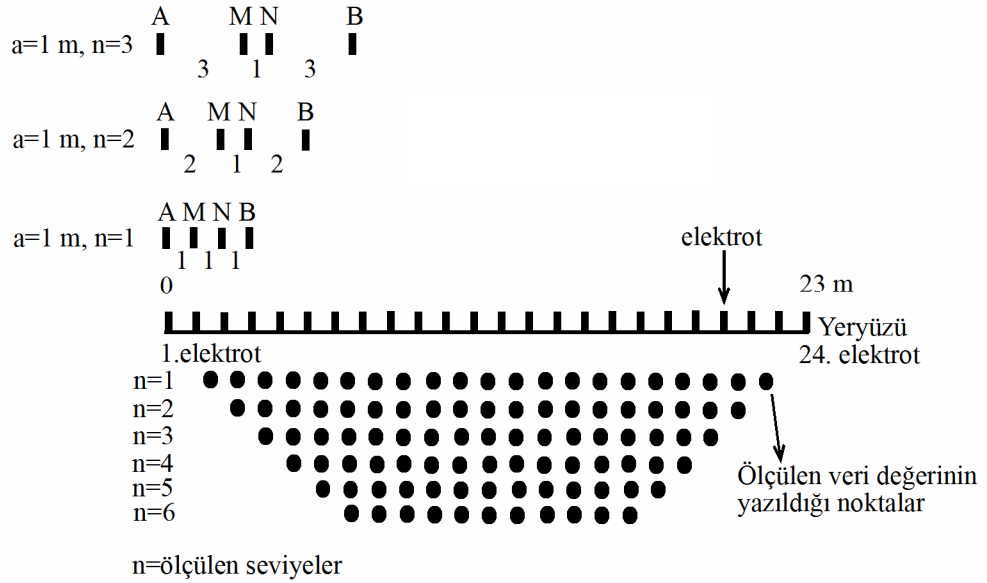
Bu çalışmada çok elektrotlu öz direnç ölçüsü alma, Wenner-Schlumberger (WS) diziliminde denilen Schlumberger (S) dizilimi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.3). Şekil 2.3 incelenirse bu dizilimde, A ve B akım elektrotları, M ve N gerilim elektrotları, a potansiyel elektrotlar arası uzaklık, na-akım elektrotu ile potansiyel elektrot arasındaki uzaklıktır. Burada n, AM veya NB elektrotları arasındaki uzaklığın MN akım elektrotları arasındaki uzaklığa oranını temsil eder.



Şekil 2.3. Wenner-Schlumberger dizilimi.

Çalışmada çoğunlukla 24 elektrot kullanmak yeterli olmuştur (Şekil 2.4). Elektrot aralığı 1 m seçilmiş ve WS dizilimi ile 23 m'lik profiller boyunca $n=6$ düzey için ölçüler alınmıştır. Dolayısıyla her doğrultu boyunca sondaj-profil ölçü tekniği ile 96 adet gerilim farkından ölçülen GÖ değerleri, ters çözümde kullanılmıştır.

Şekil 2.4'te de belirtildiği gibi, WS dizilimi için elektrot aralıkları $a=1$ m olup, 1.-4. elektrotlar yere akım veren akım ve 2.-3. elektrotlar ise potansiyeli ölçen elektrotlardır. Bu ilk ölçümün düzenidir. Ölçülen öz direnç değerleri, farklı derinlik düzeyleri ve farklı elektrot aralıkları ($a, 2a, 3a, \dots, na$) için açılarak, bu düzende n -düzeyde ($n=1,2,3,\dots$) tüm düzeyler için ölçüler alınır.



Şekil 2.4. Çok elektrotlu sistemle ölçü alma düzeni.

Ölçülerin bilgisayar ortamına aktarılması ise ARES cihazının kendi yazılımı ile olmaktadır. Bu yazılım, ölçülen verileri Geotomo programında değerlendirmek amacıyla, cihazdan bilgisayara veri aktarımında (download) ve veri dosyalarını Geotomo programında kullanılacak uygunluğa (formata) taşımada (export) kullanılır. Böylece ölçülen veriler, kaydedilen veri türüne göre bu programdaki RES1DINV, RES2DINV, RES3DINV programlarında istenilen boyutta (1B, 2B ve 3B) değerlendirilebilir ve öz direnç yapma kesitleri (pseudosection) ve öz direnç modelleri elde edilebilir. Yapma-kesitler, ölçülen GÖ değerlerini göstermek ve sayısal yorumlamada kullanılır. Öz direnç modelleri ise gerçek yeraltı yapısını gösterir.

Yere verilen akımın yer içinde ilerlemesi, ortamın iletkenlik özelliklerine bağlı olarak değişir. Topraktaki iletkenlik, gözeneklerdeki elektrolitle sağlanır. Bu iletkenlikte yerin elektriksel öz direnci, genel olarak ortamdaki sıcaklık, basınç, gözeneklilik, geçirgenlik, ortamın suya doygunluğu ve suyun yer içindeki dağılımı gibi özelliklere bağlıdır. İletkenliğin değişmesinde ortamdaki iyonların devingenlik (mobility), derişim (konsantrasyon) ve çözünme dereceleri diğer etkin değişkenlerdir.

Elektrik akımını ileten iyonlar, tuzların çözünmesiyle ortaya çıkarlar. İletkenlik, sızıntı suyu ile kirlenmiş alanlarda olduğu gibi genellikle sıcaklık ile çözülmüş tuz miktarındaki artışa bağlı olarak artar. Buna göre:

- Sıcaklık arttıkça suyun akıcılığı (viskozitesi) azalır, sudaki iyonların hareketliliği artar ve özdirenç azalır. Yeryüzünden itibaren sıcaklığın derinlikle artması özdirenci azaltır. Tuzluluğun derinlikle azalması ise özdirenci artırır.
- Her iyon belli miktarda elektrik yükü taşır. Bir çözeltilerdeki iyon miktarı ve bu iyonların hareket etme hızı arttıkça, taşınan elektrik yükü de o oranda artar. Ortamın iletkenliği, gözeneklerdeki suyun tuzluluğu ile artar. Bu nedenle bir çözeltilerdeki çözülmüş iyonlar arttıkça, iletkenlik artar. Dolayısıyla tuzluluk veya topraktaki iyonların varlığındaki değişimler, ortamın özdirencini arttıran ya da azaltan yönde etki ederler.

Uygulamalı jeofizik yöntemlerden DAÖ yöntemi, düşük maliyet, uygulama ve yorumlama kolaylığı gibi avantajlarının yanı sıra katı atık depolama alanlarından yeraltı suyuna ve toprağa sızıntı suyu girişiminin olduğu iletken bölgeleri belirlemede oldukça duyarlı olan bir yöntemdir. Sızıntı suyunun etkisiyle yeraltısuyu ve topraktaki kirlenme, ortamın iyon derişimini ve iletkenliğini arttırmaktadır. Bu nedenle günümüzdeki kullanım sıklığı oldukça artmıştır. Dolayısıyla, DAÖ ölçümleri, kirlenmiş bölgelerin araştırılmasında en çok tercih edilen yöntem olma özelliği taşımaktadır.

2.1.2. Elektromanyetik iletkenlik yöntemi

Elektromanyetik iletkenlik (Eİ) (Electromagnetic Conductivity) yönteminde doğrudan yerin iletkenliği ölçülmektedir. Bu yöntemde ölçüm, manyetik duyarlılığa bağlı bir şekilde sağlanmaktadır. Buna göre ölçüm, indüklenmiş ikincil manyetik alanın oluşması ile gerçekleşmektedir. Bu alan, yerin iletkenliği ile orantılı olan mS/m olarak kalibre edilmiş sanal kısım (çıkış fazı-out of phase) ile manyetik özelliklere göre belirlenen ve birincil alanın ppt'si olarak gösterilen gerçel kısımdan (giriş fazı-in phase) oluşur.

Yöntemde kullanılan cihazlarla kısa sürede ve kolayca ölçü alınabilmekte ve alınan ölçüler Surfer ve Geosoft programlarında hızla değerlendirilebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı geniş bir kullanım alanı bulunan yöntem, jeolojik ve inşaat mühendisliği alanlarında, tarım ve çevresel izleme, yeraltısuyu koruma, hammadde arama, arkeoloji, metal nesne ve şebeke belirlemede sıklıkla kullanılmaktadır.

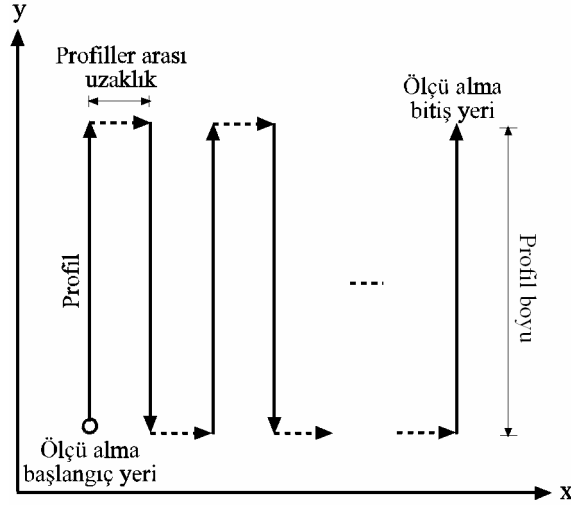
Bu çalışmada elektromanyetik iletkenlik ölçer cihazı olarak kullanılan cihaz, Gf Instrument firması yapımı olan CMD4 cihazıdır. Bu cihaz, genel olarak bir alıcı, bir iletici ve ölçüleri kaydeden bir denetim biriminden oluşur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. CMD4 cihazını oluşturan elemanlar.

CMD4 cihazı ile ölçü alma iki şekilde yapılabilmektedir. Bu ölçümler sürekli ölçü alma veya elle yapılan profil başlangıcına dönerek ölçü alma şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Sunulan çalışmada sürekli ölçü alma tekniği kullanılmıştır (Şekil 2.6). Sürekli ölçümde profil boyunca sabit bir hızla yürüyerek ölçüler alınmaktadır. Profillerin hepsi bitene kadar CMD4 cihazı sürekli olarak ölçü almayı sürdürür. Ancak ölçü almada bir profil bittikten sonra, her defasında, bir sonraki profil başlangıç noktasına dönülmesi gerekmektedir. Bu şekilde tüm profillerde aynı işlemler yapılarak ölçü alma işlemi tamamlanır. Ölçü alma bitince cihazın dur (X) tuşuna basılarak ölçü alma sonlandırılır.



Şekil 2.6. Sürekli ölçü alma düzeni.

Arazide CMD4 ile alınan ölçüler GF Instruments firmasının CMD yazılımı ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Ölçülen görünür elektriksel iletkenlik değerleri Excel 2003 ve Surfer 8 programları kullanılarak değerlendirilmiştir.

2.3. Jeokimya Yöntemleri

Sunulan çalışmada jeokimya yöntemleri, su ve toprak örnekleri üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar analizleri olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

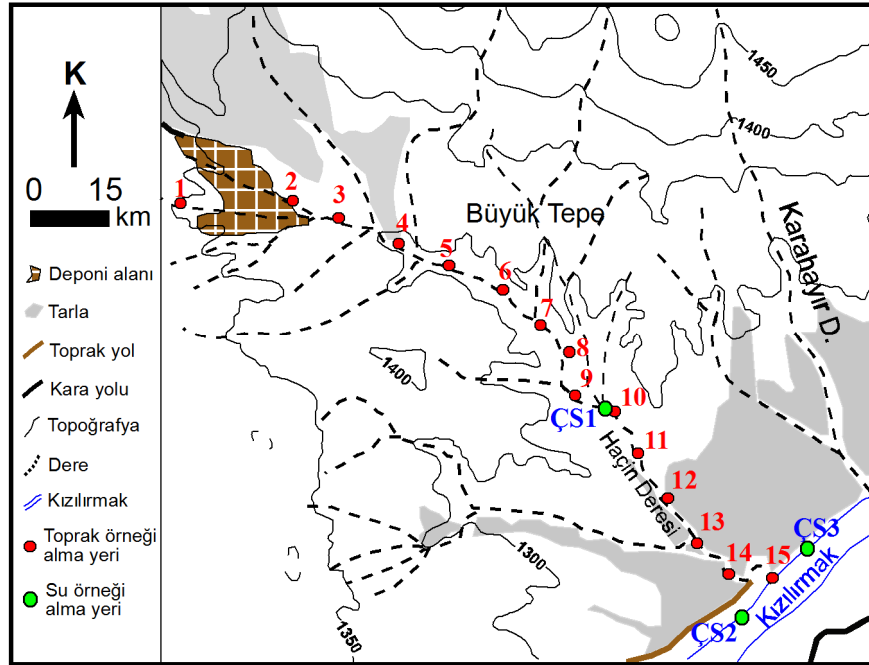
2.3.1. Su kirliliği çalışmaları

Su kirliliği çalışmaları, arazi ölçümleri ve laboratuvar analizlerinden oluşmaktadır. Yüzeysuyu, yeraltısuyu ve atıksu örneklerinde incelenen en önemli değişkenler, sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliktir. Bunlar, her türlü su kimyası ve su kirliliği çalışmalarında ölçülmesi gereken temel değişkenlerdir. Bu çalışmada ise su ölçümleri yapmak için yüzeysuyu ve atıksu örnekleri alınmıştır. Bu amaçla, 3 adet örnek yeri belirlenmiştir (Şekil 2.7). Bu yerlerle ilgili açıklamalar ise sırasıyla aşağıda sunulmuştur:

1. **ÇS:** Çöp sızıntı suyu (ÇS) çıkış noktası su örneği (5 L (veya Litre)).

2. **KS:** ÇS'nun Kızılırmak'a karışmasından sonraki yaklaşık 30 m'ler arasında (bu uzaklıklar mevsimsel sorunlardan dolayı) farklı olup, sızıntı suyunun Kızılırmak'a ulaştığı yerden sonra, yani Kızılırmak sonrası su (KS) noktasının su örneği (5 L).

3. **KÖ:** ÇS'nun Kızılırmak'a karışmadığı sızıntı suyunun Kızılırmak'a ulaştığı yerden önce, yani yaklaşık 30 m gerideki Kızılırmak öncesi su (KÖ) noktasının su örneği (5 L).



Şekil 2.7. Topoğrafik harita üzerinde su ve toprak örneği alınan yerlerin görünümü.

Su örneği almak için belirlenen noktalarda yerinde (in-situ) su ölçümleri, Elmetron firmasının CX-701 marka çok fonksiyonlu arazi-laboratuvar cihazı ile yapılmıştır (Resim 2.1). Cihaz arazi koşullarında, 10 adet 9 volt'luk pille en az 5 saat süre ile kesintisiz çalışabilmekte ve toplam 7 parametre ölçebilmektedir (Resim 2.2). Ancak, cihazın 4 adet probu (pH, EC, ÇO, T) bulunmaktadır ve bir defada 5 parametre ölçebilmektedir. Bu cihazla çalışma alanında ÇS, KS ve KÖ sularının özelliklerini belirlemek için bir yıl boyunca her ay arazide düzenli olarak pH, elektriksel iletkenlik (EC) (Electrical Conductivity), çözünmüş oksijen (ÇO)

(Dissolved Oxygen), ORP (Redox Potansiyeli veya Oxydation Reduction Potential), Sıcaklık (T) ve Basınç (P) ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlere başlamadan önce mutlaka tüm problemler, uygun çözeltilerle kalibre edilmiştir.



Resim 2.1. CX-701 su ölçüm cihazı ve güç kaynağı.



Resim 2.2. CX-701 su ölçüm cihazının problemleri.

Cihazın 10 inç'lik düz ekranı, kullanıcı tarafından seçilen fonksiyonların görüntülediği dokunmatik panelde bulunan düğmeler kullanılarak çalıştırılmaktadır. Bu ekranda, seçilen ekranla bağlantılı ölçüm ekranı, çeşitli değişkenler ekranı ve seçenekler (opsiyonlar) ekranı görüntülenir. Cihazın arka tarafında ise pH, EC, ÇO ve T sensörleri ile USB ve güç adaptörü giriş yerleri ve sağ tarafında ise ölçülen verileri bilgisayar ortamına aktarmak için bir bellek (SD kart) yerleştirme yeri bulunur. Cihaz açıldıktan sonra, 3 saniye boyunca bilgi

ekranı görüntülenir ve cihaz, son seçilen ölçüm fonksiyonlarının pencereleriyle birlikte ölçüm ekranını gösterir. Böylece ölçüm için hazırdır ve ölçülen değerlerin sabitlenmesi beklenir.

Su özelliklerinin ölçülmesinde probun suya batırıldıktan sonra ölçülen değerlerin durağan hale gelmesi (sabitlenmesi) için yaklaşık 3-5 dakika beklemek gerekir. Değerler sabitlenince kaydet tuşuna basılır, 10 sn boyunca ölçümler okunur ve ölçümlerin tümü cihazın sol tarafında yer alan SD karta otomatik olarak kaydedilir. Böylece ölçüm tamamlanır.

2.3.2. Toprak kirliliği çalışmaları

Düzensiz katı atık depolama alanlarındaki önemli çevre sorunlarından biri de toprak kirliliğidir. Toprak kirliliği sorununun ortaya çıkmasında en önemli nedenler, katı atıkların uygun alanlarda yasal düzenlemelere uygun şekilde bertaraf edilmemesi, atık suların (özellikle tehlikeli maddeler içeren atık suların) arıtılmadan toprağa verilmesi ve toprak kirliliği konusunda toplumsal bilincin oluşturulmuş olmamasıdır.

Yeryüzünü örten ince bir katman olan toprak, kirletici maddelerin son depolanma yeridir. İnsan etkinlikleri sonucu kirleticiler toprağa bulaşır ve toprakta yaşayan canlılar ile yetişen ve yetiştirilen bitkiler veya bu bitkilerle beslenen canlıları etkilerler. Kirletici derişiminin toprağın özümleme kapasitesini aşan derişimlerin üzerine çıkması sonucunda, toprağın verimliliği azalır. Bu nedenle toprak kalitesinde gerçekleşen derişimler, toprağın verimliliğini etkiler.

Toprak kendi içinde çeşitli katmanlara ayrılmıştır. Teze konu alanda toprak örnekleri alınan bölüm, toprağın organiklerce zengin, bol hava içeren ve O zonu olarak adlandırılan en üst katmandır. Ancak örneklerin alındığı yerlerde bu katman doğal yapısını kaybettiğinden kirleticilerin taşındığı bir katman özelliğindedir.

Toprak örneği almak için önce örnek yerleri belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen örnek yerlerinde toprağın üstteki yaklaşık 5-10 cm'lik bölümü sıyrılıp atıldıktan sonraki alt düzeylerden örnek alınmıştır. Örnekler, depolama alanının yaklaşık 50 m gerisinden başlamak üzere bir örnek, diğer örnekler ise çöp altından

ve çöplük alanından Kızılırmak'a kadar devam eden bölümde ise sızıntı suyu akan Haçin deresi boyunca yaklaşık 50 m'de bir alınmıştır (Şekil 2.7)

Toplam 15 adet toprak örneği alınarak, laboratuvarında ağır metal analizleri yapılmıştır.

Örnek yerlerini harita üzerine aktarmak için örnek noktalarında GPS ölçümleri de yapılmıştır. Ölçülen koordinatlar Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. El tipi GPS ölçümlerine göre toprak örneği yerlerinin konumları.

Örnek no	X	Y	Yükseklik (m)
Örnek 1 (çöplüğün 50 m gerisinden alındı)	K 39 ⁰ 47' 46.4"	D 37 ⁰ 07' 40.4"	1393
Örnek 2 (çöpün altından alınan örnek)	K 39 ⁰ 47' 44.7"	D 37 ⁰ 07' 38.6"	1336
Örnek 3	K 39 ⁰ 47' 45.2"	D 37 ⁰ 07' 40.0"	1332
Örnek 4	K 39 ⁰ 47' 39.8"	D 37 ⁰ 07' 51.7"	1300
Örnek 5	K 39 ⁰ 47' 39.6"	D 37 ⁰ 07' 54.1"	1295
Örnek 6	K 39 ⁰ 47' 39.3"	D 37 ⁰ 07' 56.9"	1293
Örnek 7	K 39 ⁰ 47' 37.6"	D 37 ⁰ 07' 59.8"	1291
Örnek 8	K 39 ⁰ 47' 38.5"	D 37 ⁰ 08' 02.7"	1290
Örnek 9	K 39 ⁰ 47' 33.1"	D 37 ⁰ 08' 04.0"	1288
Örnek 10	K 39 ⁰ 47' 29.7"	D 37 ⁰ 08' 06.9"	1285
Örnek 11	K 39 ⁰ 47' 29.0"	D 37 ⁰ 08' 10.0"	1278
Örnek 12	K 39 ⁰ 47' 26.5"	D 37 ⁰ 08' 12.3"	1275
Örnek 13	K 39 ⁰ 47' 21.7"	D 37 ⁰ 08' 16.0"	1269
Örnek 14	K 39 ⁰ 47' 20.4"	D 37 ⁰ 08' 19.9"	1265
Örnek 15 (son örnek çöp suyunun Kızılırmak'a karışmadan önce yaklaşık 2 m geriden alındı)	K 39 ⁰ 47' 19.7"	D 37 ⁰ 08' 22.1"	1262

Arazi deneyleri

Arazi deneyleri sadece su örneği alınan noktalarda yapılmıştır. Su ölçüm yerlerinde CX-701 çok fonksiyonlu arazi-laboratuvar ölçüm cihazı kullanılarak, bu cihazın pH probu ile pH, EC probu ile EC, ÇO probu ile ÇO-ORP ve Sıcaklık probu ile Sıcaklık-Basınç değişkenlerini ölçülmektedir. (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Arazide ölçülen değişkenler ve kullanılan cihaz.

Ölçülen parametre	Kullanılan cihaz
pH	Elmetron marka multi-fonksiyonel CX-701
EC	
Tuzluluk	
ORP	
ÇO	
T	
P	

Ölçülen değişkenlerle ilgili açıklamalar sırasıyla aşağıda verilmektedir:

pH: pH suyun asitlik veya baziklik durumunu gösteren logaritmik bir ölçüdür. H^+ iyonu etkinliğinin eksi logaritmasına eşit olup, çözültide bulunan H^+ iyonu derişimini ifade eder. Saf su H^+ ve OH^- iyonları açısından dengededir ve pH değeri 7'dir. pH, H^+ iyonlarının elektrik potansiyellerine bağılı olarak veya renk göstergeleri (fenolftalein) ile ölçülür.

pH<7 ise ortam asidiktir.

pH>7 ise ortam baziktir.

pH=7 ise ortam dengededir.

Çevre mühendisliği uygulamalarında sık kullanılan pH değeri, su temininde, koagülasyon, dezenfeksiyon, su yumuşatma ve korozyon denetimi gibi işlemlerde büyük önem taşımaktadır. Biyolojik süreçlerde, ortamda bulunması istenen mikroorganizmaların yaşamasına uygun olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Doğal sularda genellikle pH=4-9 arasında olup, büyük bir kısmı karbonat ve bikarbonatlar nedeniyle hafif bazik niteliktedir. TS-266'ya göre, içme sularında pH 6.5-8.5 önerilen değerdir. Ancak, bu değişken içme suyunun güvenliği hakkında doğrudan bilgi vermez. Düşük pH'lı ve düşük oranlı toplam çözünmüş katı madde (TDS-Total Dissolved Solids) içeren sular, korozif oldukları için borulardaki birtakım zehirli metalleri çözebilirler. Yüksek pH'a sahip sularda ise pH'ı yükselten kimyasalların zararlı olup olmadığı belirlenmelidir.

Elektriksel iletkenlik (EC-Electrical Conductivity): Elektriksel iletkenlik, su örneğinin elektrik akımını iletme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Bu özellik, suda iyonize olmuş maddelerin toplam derişimine ve sıcaklığa bağılıdır. Çözünmüş iyonların mobilitesi, yükü ve derişimi iletkenliği etkileyen faktörlerdir. İletkenlik, aşağıdaki bilgileri vermektedir:

1. Minerilleşmenin bir ölçüsüdür. Dengedeki iyonların toplamı, dolayısıyla suyun bitki ve hayvanlar üzerindeki etkileri ve korozyon hızı bilgisi,
2. Deiyonize ve destile suyun saflığını denetleme bilgisi,
3. Kimyasal analizlerden önce ölçümü, gerekli su örneği miktarı bilgisi,

4. Bazı çöktürme ve nötralizasyon reaksiyonlarında gerekli reaktif miktarı bilgisi.

EC (σ) birimi, direnç (R) biriminin tersidir ve birimi mho veya Seimens ya da S/cm'dir. $1 \text{ S} = 1/\text{ohm} = \text{ohm}^{-1} = 1 \text{ mho}$ olduğundan, öz iletkenlik= mho/cm veya S/cm 'dir. Su analizlerinde ise çoğunlukla $\mu\text{S/cm}$ birimi kullanılır.

İletkenlik, bir sıvıdaki iyonların elektrik akımını iletme miktarını ölçerek sıvı içerisindeki iyon derişimini belirtir. Sıvının iletkenliği ve sıvı içindeki toplam çözünmüş katı madde (TDS) miktarı veya toplam çözünmüş tuz derişimi ile arasında yaklaşık doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki,

$$K = \text{EC (S/m) / Toplam Çözünmüş Tuz (mg/L)}$$

eşitliği ile ifade edilmektedir (Çizelge 2.3). Bu eşitlikte, K katsayı, EC ise elektriksel iletkenlik ifadesidir.

Çizelge 2.3. İletkenlik ile toplam çözünmüş tuz derişimi/toplam çözünmüş katı madde arasındaki ilişki.

Suyun iletkenlik derecesi (S/cm)	İletkenlik-çözünmüş tuz derişimi ilişkisi
EC < 100	Çözünmüş tuz (ppm)=0.62xEC($\mu\text{mho/cm}$)
100 < EC < 1000	Çözünmüş tuz (ppm)=0.68xEC($\mu\text{mho/cm}$)
1000 < EC < 4000	Çözünmüş tuz (ppm)=0.75xEC($\mu\text{mho/cm}$)
4000 < EC < 10000	Çözünmüş tuz (ppm)=0.82xEC($\mu\text{mho/cm}$)
Suyun iletkenlik derecesi (S/cm)	İletkenlik-toplam çözünmüş katı madde ilişkisi
Saf sular da	TDS (ppm, g/ton)=0.50xEC(S/cm)
İletkenliği 1000 S/cm den küçük sular da	TDS (ppm, g/ton)=0.68xEC(S/cm)
İletkenliği 1000-4000 S/cm olan sular da	TDS (ppm, g/ton)=0.75xEC(S/cm)
İletkenliği 4000-10000 S/cm olan sular da	TDS (ppm, g/ton)=0.82xEC(S/cm)

Tuzluluk: Karbonatlar oksitlerine dönüştüğünde, bromür ve iyodürler klorürlerle yer değıştirdiğinde ve organik madde oksitlendiğinde sudaki toplam katı madde miktarı tuzluluk olarak tanımlanır ve “g/kg veya ‰” ile gösterilir. Özellikle endüstriyel atıksu ve deniz suyu analizlerinde önemlidir. Suda çözünen tuz derişimi arttıkça, ölçülen elektriksel iletkenlikte artar. Bir örnekteki toplam çözünmüş tuz miktarı, elektriksel iletkenlik (EC) değerinin mmho/cm cinsinden

ampirik bir değerle çarpılması sonucu bulunabilir. Bu faktör, suyun çözünen bileşenlerine bağlı olarak 0.55-0.9 arasında değişir.

ORP (Oxidation Reduction Potential): Redox potansiyeli olarak da bilinen ORP suyun oksitleme potansiyeli olup, birimi mV'tur. Sudan alınan elektronlarla suyun oksitleme potansiyeli ölçülerek belirlenir. Negatif (-) redox değeri ölçülürse, suyun anaerobik bir ortam olduğunun göstergesidir. Örneğin nitratı parçalayan (yapısından oksijeni alarak) bakteriler bu ortamlarda yaşarlar. Redox potansiyeli azalması, suda oksijen azalmasına bağlı olarak azalır.

Sıcaklık: Yeraltı sularının sıcaklıkları genellikle yüzey sularına göre daha düşük olmaktadır. Çünkü yüzey sularının sıcaklığı, coğrafi konum, yükseklik, mevsim, günün değişik saatleri, akarsu debisi, derinlik ve kirletici kaynaklardan karışan atık özelliklerine bağlı olarak değişir. Sulardaki fiziksel, biyolojik ve kimyasal süreçler sıcaklığın etkisi altındadır. Örneğin su sıcaklığının yükselmesi, oksijenin suda çözünürlüğünü azaltırken, balıkların oksijen gereksinimini yükseltir. Oksijen gereksinimi artınca da kirlilik ortaya çıkar. Sularda yapılan sıcaklık ölçümleri su kimyası ile ilgili bazı hesaplamalarda kullanılır. Suların sıcaklığı, kapsamı geniş olan bir değişkendir ve standart sıcaklık önermek güçtür.

O (özünmüş Oksijen-Dissolved Oxygen): O, su veya atık su içinde çözünmüş halde bulunan oksijen miktarı olup, özellikle organik kirliliğin ve biyolojik canlılığın temel ölçüsüdür. Su içindeki çözünmüş oksijen derişimi mg/L ile veya % ile gösterilir. Atmosferdeki gazlar, suda belirli bir derecede çözünürler. Azot ve oksijenin ikisi de suda çok az çözünür ve su ile kimyasal olarak reaksiyona giremediklerinden, çözünürlükleri doğrudan doğruya kısmi basınçları ile ilgilidir. Suyun deniz düzeyinde ve 1 atm basınç altında, oksijene doygunluk derişimleri 0°C'de 14.6 mg/L, 25°C'de 8.4 mg/L'dir. Sudaki özünmüş oksijen, atmosferden ve suda yaşayan canlıların fotosentez yapmaları ile sağlanır. Biyolojik oksidasyon hızları, sıcaklığın artması ile artar. Sıcaklık artışı ile oksijen tüketimi artacağı için kirli suların oksijen gereksinimi de artar.

Çözünürlükte, sıcaklık önemli bir değişkendir. Bu nedenle çözülmüş oksijen, atık suların verildiği alıcı ortam için çok önemlidir. Özellikle yaz aylarında, sıcaklık arttığı için ÇO derişimleri kritik seviyelere düşer. Sudaki çözülmüş oksijen miktarı yaklaşık 0.5-1 mg/L'nin altına düştüğünde sudaki aerobik yaşam durur, anaerobik çürüme başlar ve ortamda kötü kokulu hidrojen sülfür, metan gibi gazlar oluşur.

Tuzluluk içeren sularda oksijen çözünürlüğü, saf (distile) su ve tatlı sulardan daha azdır. Bu nedenle verilen bir sıcaklık için çözünürlük, tatlı sudan okyanus suyuna gidildikçe azalır. Sıcaklık ve klorür miktarı arttıkça çözülmüş oksijen miktarı azalır. Aynı şekilde kirli sularda da ÇO miktarı azalmaktadır.

Atıksuların arıtılması sırasında ÇO tüketimi, biyolojik değişimlerin aerobik ve anaerobik organizmalar aracılığı ile olup olmadığını belirleyen bir etkidir. Ayrıca, ÇO'in korozyon etkisi de önemli bir sorundur. Bir suyun içerdiği çözülmüş oksijen miktarı basınç ile de bağlantılıdır. Yüksek basınç altında, oldukça yüksek miktarda oksijen çözünür. Basınç azaldıkça, azaltılma oranı kadar gaz çıkışı olur. Henry Kanunu'na göre oksijenin çözünürlüğü doğrudan doğruya kısmi basınçla ilgilidir. Bu kanuna göre, sabit sıcaklıkta sıvı içinde çözünen gaz miktarı doğrudan basınç miktarına bağlıdır. Örneğin, sıcaklık sabit iken, atmosferik basınç altında 100 cm³ suda 1 gr O₂ çözünürse, 2 gr O₂ atmosferik basıncın 2 katı bir basınçta çözünür.

Sudaki mineral miktarı da oksijenin çözünürlüğünü etkiler. Saf su, yüksek mineral içerikli suya göre daha çok oksijen absorblayabilir. Deniz ve kuyu suları, taze yüzey sularına göre daha az ÇO içerirler.

Sularda tuzluluğun artmasıyla çözülmüş oksijen derişimi azalmaktadır. Toplam tuz derişimi 35 g/L üzerinde olan sularda, oksijenin çözünürlüğü ile tuz derişimi arasında doğrusal bir ilişki vardır.

Sularda bulunan ana (majör) iyonlar Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁼'dir. Bu iyonların toplam derişimi suda çözülmüş olarak bulunan toplam maddelerin de % 90'ından fazlasını oluşturmaktadır.

Atmosferik Basınç: Birim yüzey üzerindeki hava sütununun ağırlığıdır. Deniz seviyesinde +15 C⁰'de yaklaşık 76 cmHg veya 29.92 inçHg basıncına eşit

1013.25 mb olarak bulunmuştur. Deniz düzeyi basıncı; en düşük (kötü hava) olarak 876 mb, en yüksek olarak (en sıcak hava) 1960 mb arasında ölçülebilmektedir. Atmosfer basıncı zaman ve yerden yüksekliğe (veya rakıma) göre değişmektedir ve barometre ile ölçülmektedir. Dünya genelinde en çok cıvalı barometreler kullanılmaktadır. Bunlar, basınçla doğru orantılı, rakımla ters orantılı çalışır. Rakım arttıkça basınç azalır. Aynı rakımda barometrik basınç hızla düşüyorsa havanın hızla bozulacağına işaret eder. Yavaş yavaş düşüyor ise zamana bağlı olarak havanın bozulacağını gösterir.

Laboratuvar deneyleri

Teze konu alanda laboratuvar çalışmasında alınan su örnekleri üzerinde su kimyası analizleri, toprak örnekleri üzerinde ise ağır metal analizleri yapılmıştır.

Su ölçüm noktalarında laboratuvar analizleri için ÇS ve KS örnekleri, bir yıl boyunca (12 ay) her ay ve 5'er litre (L) olarak alınmıştır. KÖ su örnekleri ise yine bir yıl boyunca mevsimlik olmak üzere Kasım 2008, Şubat-Mayıs-Ağustos 2009 aylarında alınmıştır. Bu örnekler, ağır metaller ve diğer kirlilik değişkenlerinin derişimlerini analiz etmek için kullanılmıştır.

Su örnekleri üzerinde laboratuvarda KOI, BOI, toplam alkalinite, toplam azot, toplam klorür, ağır metal (Fe, Pb, Ni, Zn, Cd, Hg, Cu ve Cr) analizleri yapılmıştır (Çizelge 2.4). Bu deneylerle ilgili açıklamalar aşağıda sunulmuştur.

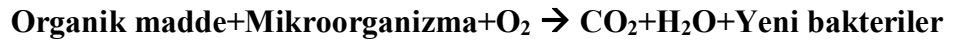
Çizelge 2.4. Laboratuvarda kullanılan yöntemler ve cihazlar.

Yapılan analizlerin adı	Kullanılan cihaz ve yöntemler
KOI	TS 2789 ISO 6060
BOI ₅	Welp marka BOD ₅
Toplam alkalinite	TS 3790 EN ISO 9963-1
Toplam azot	TS 7924
Toplam klorür	TS 4164
Ağır metaller (Cu, Pb, Ni, Zn, Fe, Hg, Cd, Cr)	ICP-AES

KOI (Kimyasal Oksijen İhtiyacı): Su veya atıksuların bünyesindeki organik maddelerin kimyasal olarak oksitlenebilmeleri için gerekli olan oksijen miktarının eşdeğer ölçüsüne KOI denir. Organik maddenin kuvvetli kimyasal oksidasyon maddeleri ile oksidasyonu sırasında harcanan oksijen miktarını ölçmeye yarar.

KOİ, sızıntı suları, evsel ve endüstriyel suların kirlilik derecesini belirlemede kullanılır. BOİ, farklı olarak organik maddenin biyokimyasal reaksiyonlarla değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır.

BOİ₅ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı): Aerobik koşullarda bakterilerin organik maddeleri parçalamak için kullandığı oksijen miktarının bir ölçüsüdür. Parçalanma aşağıdaki biyokimyasal reaksiyona göre gerçekleşir.



Bu reaksiyona göre laboratuvarında BOİ₅ deneyi yapılır. Önce C'lu organik maddelerin parçalanması için yaklaşık 5 gün beklenir. C bittikten sonra ototrof bakterilerin azotlu maddeleri parçalanması için yaklaşık 5 gün daha beklenir ve tüketilen O₂ miktarı ölçülür. Ancak kuramsal olarak parçalanma sonsuzdur.

BOİ ile atıksuların, kullanılmış suların ve kirletilmiş suların içerdiği organik atıkların oksidasyonu için gerekli O₂ gereksinimi belirlenir. Buna C'lu maddelerin oksijen gereksinimi de denir.

Genellikle kirletilmemiş veya az kirletilmiş sularda BOİ, KOİ'nin % 50'si kadardır. BOİ'nin bu değerden düşük olması, ortamda zehirliliğin yüksek olması anlamına gelir. Ancak, BOİ değeri KOİ değerine eşit veya daha yüksek olamaz.

Toplam azot-N (Kjeldahl azotu-N): Sularda azot (N), organik, amonyak, nitrit, nitrat ve azot gazı formlarında bulunur. Protein gibi azotlu maddeler de canlılar için gereklidir. Çoğunlukla amonyak ve nitrat şeklinde bulunan anorganik azot, fotosentez sırasında yeşil bitkiler tarafından kullanılır. Doğal sularda azot sınırlı olduğundan azotlu atıkların doğal sulara eklenmesi, alg büyümesini hızlandırabilir. Ayrıca balıklar üzerinde toksik etki yaptığı için önemli bir kirleticidir. Analitik olarak organik azot ve amonyak birlikte analiz edilerek toplam azot (kjeldahl azotu) olarak adlandırılır.

Azot doğal dolanımı olan, bakteriler tarafından besin kaynağı olarak kullanılan, kimyasal yollarla değişik oksidasyon kademelerinde bulunan ve sularda sık görülen bir elementtir. Önemli N bileşikleri aşağıda sunulmuştur.

NH₃-N: Amonyak Azotu

Org-N: Organik Azot

NO₂-N: Nitrit Azotu

NO₃-N: Nitrat Azotu

N bileşikleri, alıcı ortama aşırı miktarlarda verildiklerinde organizmalar tarafından kullanılırlar. Bu durum alıcı ortamda aşırı miktarda alg çoğalması sonucu oksijen azlığına neden olur. Bu olaya ötrofikasyon denir. Biriktirme haznelerinde alg çoğalmasını önlemek için hazneye giren N, P ve C derişimlerini azaltmak ve ışığı denetlemek gerekir. Algleri çeşitli kimyasal maddelerle öldürmek de bir çözüm yoludur. Ancak haznedeki canlı yaşamı göz önünde bulundurulmalıdır.

NH₃'ün NO₂'ye, sonra da NO₃'e dönüşümünün belli aşamaları belli bir zaman geçtikten sonra oluşmaktadır. Bu nedenle suda NO₂ bulunması yeni kirlenme ve sakıncalı bir durum olduğuna, NO₃ bulunması ise eski kirlenme ve olasılıkla daha az sakıncalı bir durum olduğuna işaret edebilir. NO₃-N içme suyunda 10 mg/lt'den az olmalıdır.

Aşağıda önemli N bileşikleri ile ilgili bilgiler verilmektedir:

Amonyak (NH₃), doğal sularda genellikle amonyum (NH₄) halinde bulunur. Buna serbest veya tuz halindeki amonyak denir. Sularda, kimyasal ve fiziksel olaylar veya mikroorganizma faaliyetleri sonucunda oluşur. Kimyasal ve fiziksel yollarla oluşan amonyağın sağlığa zararı yoktur. Mikroorganizma faaliyetleri ile oluşan amonyak, organik madde kaynaklı olduğundan tehlikelidir. 0.5 ppm'den büyük değerlerde amonyak, kirliliğin belirtisidir.

Nitrit (NO₂), içme suyunda bulunması kesinlikle istenmez. Güneş ışığı ve bazı bakterilerin nitratları nitrite dönüştürmesi ile oluşur.

Nitrat (NO₃), azotlu organik bileşiklerin son yükseltgen ürünleridir. Kuyu sularında genelde nitrat daha fazla bulunur. Özellikle bebeklerde, mavi bebek (blue-baby) denilen hastalığa neden olur. Vücudu morarmaya başlayan bebeklerde bu hastalık ölüme sebep olabilir. Nitratlar, suya topraktan geçebilir. Fakat amonyak ve nitritten kaynaklıysa önlem alınmalıdır. Çünkü nitritlerin suda varlığı

kirlenmeyi ifade eder. Nitritler, yüksek miktarda organik madde ile bulunursa, daha büyük bir kirlenme söz konusudur. Amonyak ise bazı bakteri türlerinin çoğalmalarına neden olduğundan suya kötü koku verirler. Bu nedenle sularda istenmeyen bir bileşiktir.

Toplam klorür (Cl⁻): Cl⁻, tüm doğal veya kullanılmış sularda çok yaygın bir şekilde bulunan iyon türüdür. Fakat doğal sularda belli oranlarda bulunsa bile çoğunlukla derişimleri düşüktür. Sulara, yeraltı formasyonlarından çözünme yolu ile ya da tuzlu su-tatlı su girişimleri ile katılabilir. Cl⁻ içeriği normal olarak mineral içeriğinin artması ile artar. En yüksek Cl⁻ derişimi yeraltısuyu, deniz ve okyanus sularında bulunur. Evsel atıksular alıcı ortama karıştıklarında, alıcı suların Cl⁻ içeriğine belli bir miktarda katkıda bulunurlar. Endüstriyel atıksuların çoğu belli miktarlarda Cl⁻ içerir. Yüzeysel suların, endüstriyel atıksulardaki Cl⁻ içerikleri ile kirlenmesi yüzeysel suların denetimi çalışmalarında çok önemlidir. Sulara Cl⁻ veren tuz, daha çok NaCl tuzudur. Bazı koşullarda (iyon değişimi olursa Na, Ca ile yer değiştirebilir) CaCl⁻de bulunabilir.

Belli derişimlerde Cl⁻ insanlar için zararlı değildir. 250 mg/L'den yüksek derişimler suya tuzlu bir tat verir. 2000 mg/L'ye kadar Cl⁻ lü sular evsel kullanım için zararsızdır. Cl⁻, suyun iletkenliğini artırır ve korozyonu kolaylaştırır. Derişimlerin yüksek olduğu sularda Cl⁻, tat, korozif eğilim ya da yumuşatma işleme ters etki ile varlığını gösterir.

Toplam Alkalinite: Belirlenen bir pH değerine kadar suyun kuvvetli asitlerle reaksiyona girmesinin kantitatif kapasitesi olarak tanımlanır. Bir suyun alkalitesi önceden belirlenmiş bir pH değerine kadar örneğın standart asit ile titrasyonunda harcanan asit miktarından belirlenir. Alkalinite de harcanan asitler, P (Fenol alkalinite) ve M (Metil alkalinite) ile ifade edilir.

$P \text{ (Fenol alkalinite)} = \text{Hidroksit (OH)} + 1/2 \text{ Karbonat (CO}_3\text{)}$

$M \text{ (Metil alkalinite)} = \text{Bikarbonat (HCO}_3\text{)} + \text{Hidroksit (OH)} + \text{Karbonat (CO}_3\text{)}$

Suyun içeriğinde bulunan Hidroksit (OH), Karbonat (CO₃) ve Bikarbonatlar (HCO₃) suyun bazikliğini (alkalitesini) oluşturur. Yüzey sularında baziklik, karbonat, bikarbonat ve hidroksit içeriğinin bir fonksiyonu olduğundan bu bileşenlerin derişiminin bir ölçüsü olarak kullanılır.

Ağır Metaller: Doğal yollardan ya da insan faaliyetleriyle sulara karışabilirler. Su ve atıksularda metallerin etkisi yararlıdan aşırı derecede toksik olmaya kadar değişim gösterir. İçme sularında, alıcı ortamlarda ya da atıksularda gerekli bazı metaller olumsuz etki yapabilecek özelliktedir. Bazı metaller ise derişimlerine bağlı olarak gerekli ya da toksik özellikte olabilirler. Toksiklik metalden metale, canlıdan canlıya değiştiği gibi derişimine bağlı olarak da değişir. Toksik metaller canlı bünyesine hava, su veya besinler yoluyla girebilir. Bu metallerin bir kısmı yerkabuğunda eser miktarda bulunmakla birlikte bir kısmının tuzları da suda çok az çözünür.

Çevre kirliliği araştırmalarında derişimleri önemli olan ağır metaller Fe, Pb, Ni, Zn, Cd, Cr, Cu, Hg, Mg, Mn, Ag, As, CN, Na, K, Ca, Co, Sn, Sb, At, Bi, Ce, Au, Y, Li, Pl, Ru, Ta, St olarak sıralanabilir. Bu maddeler su ve toprakta veya bu su ve toprakla yetişen bitkilerde birikmektedir. Ağır metallerin bitkilerde gerekenden fazla derişimlerde bulunması, bu bitkilerle beslenen canlıların ve insanların hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü bakır, demir, mangan, çinko veya nikel gibi maddelere düşük oranda da olsa gereksinim vardır. Bu metaller gerekli miktardan fazla alındığında organizmada bozukluklara sebep olabilmektedir. Bu yüzden ağır metallerle kirlenen su ve toprakların temizlenmesi özellikle ekonomi ve sağlık açısından büyük bir önem taşımaktadır.

En yaygın bulunan, dolayısıyla çevre sorunu yaratan ağır metaller cıva ve kurşundur. Bu çalışmada deponi alanı sızıntı suyu (ÇS), Kızılırmak suyu öncesi (KÖ) ve sonrası (KS) yerlerden alınan su örneklerinde önemli ağır metallerden Fe, Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Hg ve Cr derişimlerini belirlemek için laboratuvarında analizler yapılmıştır.

Fe (Demir), yoğunluğu havalandırılmış sularda çok önemli değildir. Yeraltısularında (özellikle su tutan tabakalarda) ise eriyebilirlik koşulları gerçekleştiğinde yüksek düzeyde Fe içeriğine rastlanabilir. Demir, Fe²⁺ veya Fe³⁺

formlarında da bulunabilir ve karmaşık, organik, mineraller veya hidroksit şeklinde de olabilir. İçme suyunda genelde 0.3 mg/L'nin altında olması istenir.

Pb (Kurşun), sulu ortamlarda iyon veya bileşik şeklinde bulunan ve zehirli bir elementtir. Pb'nun gelişimi, pH, ısı, toplam alkalinite ve suyun özel kanalizasyonlardaki su durgunluk süresi gibi çok sayıda faktörle belirlenir. Yeraltı sularındaki içerikleri, pH seviyesinin çok asitli olduğu maden bölgeleri hariç son derece düşük düzeydedir. Çökellerin olduğu bölgelerde de tutulmaktadır. Pb'un benzinden kaldırılması ile yağıştan kaynaklanan yağmur sularında bulunabilme olasılığı çok azalmıştır. Pb kullanan sanayiler en önemli atık üreticileridir.

Dağıtım ağında Pb erimesi kanalizasyon, kaynak veya ağın bağlantı yerlerinde olabilmektedir. Özellikle bazı plastikler ve kalay kaynakları kurşunun yayılımında etkili olabilmektedir.

Ni (Nikel), suda eriyebilir tuz halindedir (klorür, nitrat, sülfat ve daha az ölçüde karbonat (NiCO_3) ve hidroksitler (Ni(OH)_2). Doğada yeryüzünün kayalık yerlerinde sıklıkla rastlanan bir elementtir ve içeriği genelde 1 $\mu\text{g/L}$ 'den azdır. Bazı bazaltik magmatik damarlara yakın oluşumlarda içerik daha yüksek düzeylerde olabilmektedir. Antropolojik (insan üretimi) kaynaklı nikel ise pek çok sanayi alanında (maden çıkarma, maddelerin geri dönüşümü, cam, seramik, mücevher ve tıbbi protez üretiminde) kullanılmaktadır. Ayrıca içme suyu tesisatının farklı aksesuarlarının bileşiminde bulunmaktadır (boru, ekleme, musluk). Nikel, sindirim ve deri için alerjik olabilmektedir.

Zn (Çinko), doğal suda yoğunluğu genelde düşüktür ve askıdaki maddeler tarafından emilimi sonrasında oldukça azalmaktadır. Buna karşın, Zn tuzlarının erimesi önemli olabilmektedir. İçme suyunda çok daha yüksek düzeyde olma riski vardır. Genelde 0.01 ve 1 mg/L aralığında bulunur. Çünkü galvanizli borularda ve tesisatta bulunan Zn'nun çözülmesi olasıdır. İnsan sağlığı için vazgeçilmez bir element olup, içme suyunda bulunması durumunda insan için zehirleyici bir etkisi yoktur. Rahatsızlık verici etkiler, ağırlıklı olarak organoleptik (koku, lezzet, renk gibi özellikler) ve yüksek düzeydedir.

Cu (Bakır), doğal olarak yerküre kabuğunu oluşturan elementler arasındadır (30-100 mg/kg) ve mineraller halinde bulunur. Suda karşılaşılan temel kimyasal halleri ise bakır klorür (CuCl_2), bakır hidroksit (Cu(OH)_2), bakır sülfat (CuSO_4)

veya bakır karbonat (CuCO_3)'dır. Antropolojik kaynaklı olarak ise pek çok sanayi dalında, elektrik tel üretiminde veya metalik alaşım (pirinç ve bronz) olarak kullanılır. Petrol rafinerisinde merkaptanın yok edilmesinde, ahşabın korunmasında ve tarım amaçlı da kullanılmaktadır.

İçme suyu tesisatında (boru, ekleme, musluk) kullanılan farklı alaşımların bileşeninde pirinç ve bronz da bulunur. Su dağıtımında paslanma durumunun sürekli denetimini sağlar. Paslanma reaksiyonları sırasında, suda Cu^{2+} iyonlarının serbest kalması olası olup, hidroksitler sülfür oluşturduğunda suyun rengi mavimsi, tadı da metalik olur.

Cd (Kadmiyum), suda az çözünür. Az dozda bile zehirleyici bir elementtir. Sanayi kirliliğinin olduğu durumlar hariç, doğal sularda çok az oranlarda bulunmaktadır. İçme sularında ise galvanizli borulara bağlı olarak veya plastik malzemenin çözülmesinden dolayı bulunabilir.

Hg (Cıva), sulardaki varlığı genel olarak $0.1 \mu\text{g/L}$ düzeyindedir ve yüzey sularında 0.1 'den $1 \mu\text{g/L}$ 'a kadar bulunabilir. Hg ve bileşenleri insan için zehirleyicidir. Özellikle Hg'nın bakteriler ile değişikliğe uğramasından kaynaklanan metil-cıva zehirleyicidir. Hg sulak alanlarda organizmalarda ve besin zinciri boyunca birikir.

Cr (Krom), sudaki varlığı sık değildir. Atılmış ve atık kullanılmış sular ile ilişkilidir. Atıksu temizleme-filtreleme istasyonlarında da rastlanır. Krom trivalent veya hegzavalent haliyle bulunabilir. Klorlu suda veya havalandırılmış suda krom hegzavalent ağırlıklı olarak bulunmaktadır. Dağıtım sularındaki içerikler ender olarak $10 \mu\text{g/L}$ 'yi geçmektedir. Doğal sularda pH derecesi düşük olduğunda katyon halinde bulunur. Pratikte Cr suda anormal bir elementtir ve galvonoplastik atıkların varlığında bulunur.

Bu tez kapsamında arazide su ölçümleri yapılırken ve su örnekleri alınırken aşağıdaki durumlara dikkat edilmiştir:

1. Araziye düzenli olarak gitmek ve cihazın batarya şarjını kontrol etmek.
2. Problemleri ölçüm öncesi uygun çözeltilerle kalibre etmek.

3. Ölçüm öncesi ve sonrasında problemleri saf (distile) suyla temizlemek ve teknik bakımını yapmak. Su örneği almadan önce örnek kaplarını saf suyla en az 3 defa yıkamak.

4. Mevsimsel kaynaklı olumsuz koşullarda örnek alma ve su ölçümü için yeni çözüm yolları aramak (Resim 2.3).



Resim 2.3. Mevsimsel zorluklarda örnek alma.

5. Akıntıların hızlı ve sorunlu olduğu durumlarda ve mevsimsel olumsuzluklarda (kar yağışı, sellenme, su üzerinde yüzen katı maddeler gibi), su ölçümlerini bir beher kabı yardımıyla su örneği alarak yapmak (Resim 2.4).



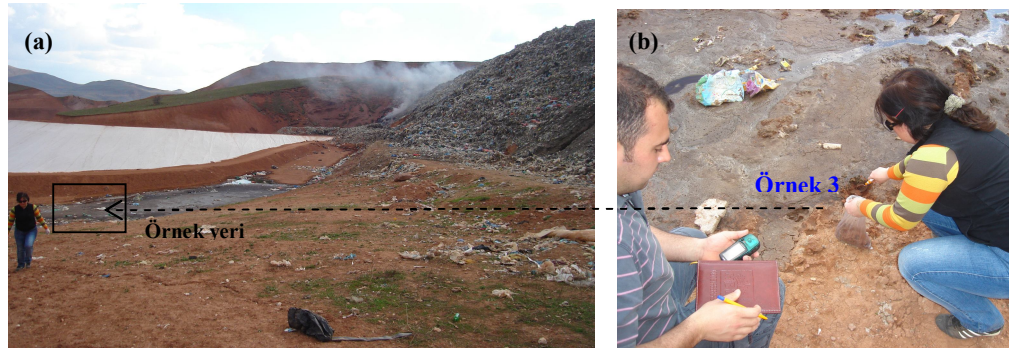
Resim 2.4. Ölçüm cihazı ve arazi ölçümünde beher kabının kullanımı.

6. Su örneklerini en kısa sürede (yaklaşık 2 saat içinde) laboratuvar ortamına ulaştırmak ve deneyleri zamanında yapmak (Resim 2.5).



Resim 2.5. Laboratuvar için su örneği alma ve arazi ölçümünden görünüm.

7. Toprak örnekleri alınırken önce örnek yerleri belirlenmiştir (Resim 2.6a). Daha sonra belirlenen noktalarda üstteki 5-10 cm'lik üst toprak sıyrılıp atıldıktan sonraki bölümden yaklaşık 200 gr toprak örneği alınmıştır ve örnek yerlerinin koordinatları el tipi GPS ile kaydedilmiştir (Resim 2.6b).



Resim 2.6. (a) Toprak örnek yeri, (b) Örnek alma ve GPS ölçümü.

3. İNCELEME ALANININ ÇEVRE JEOLJİSİ VE ÇEVRE JEOTEKNİĞİ ÇALIŞMALARI

3.1. Çalışma Bölgesi

Çalışma alanı, Sivas'ın doğusunda ve Sivas-Erzincan Karayolu'nun yaklaşık 15. km'sinde güneye doğru açılan bir vadi ile Kızılırmak nehri arasında kalan, düzensiz katı atık deponi alanı ve yakın dolaydır (Şekil 3.1).

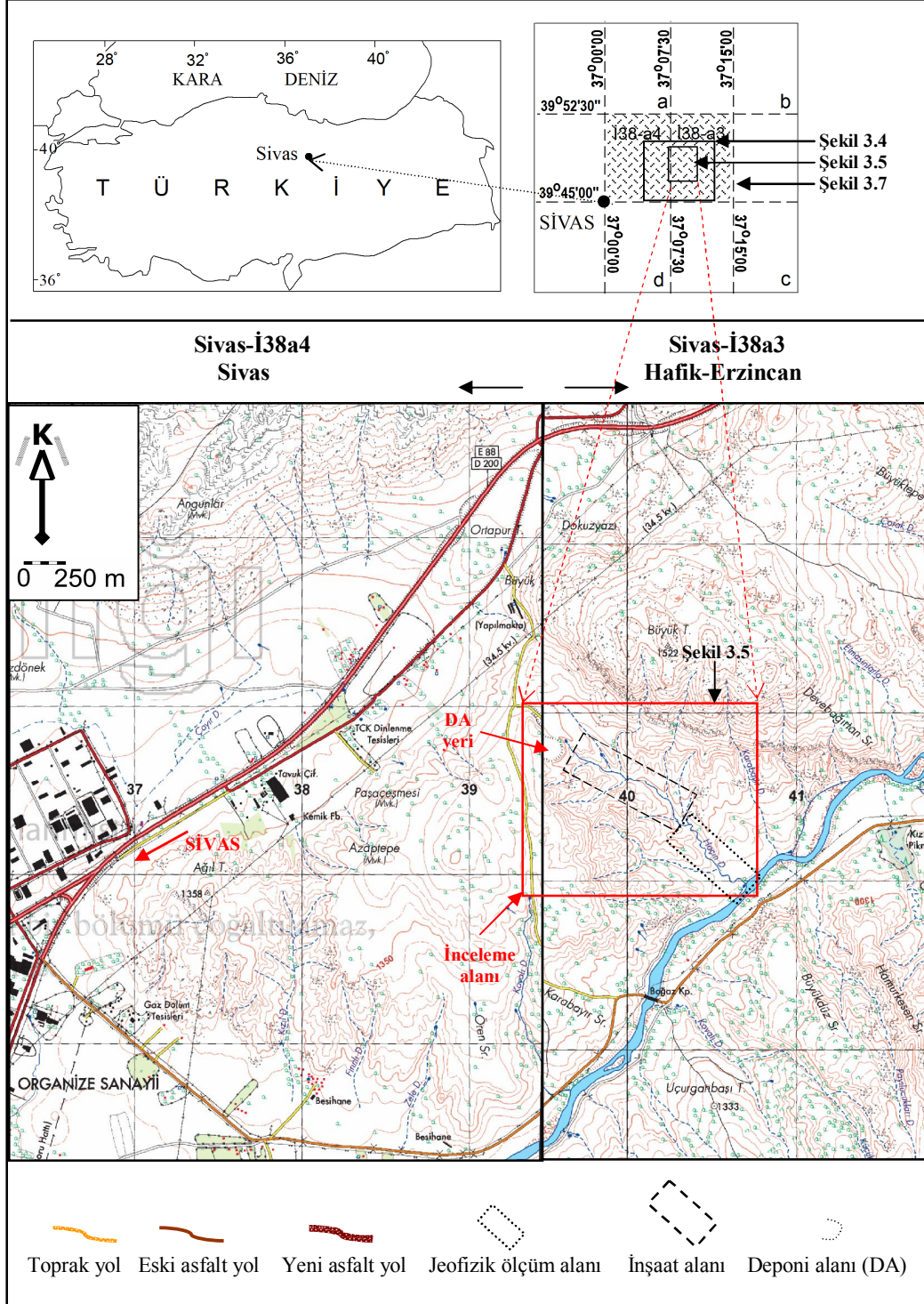
Jeofizik ölçü, toprak ve su örneği almak amacıyla, Sivas-Erzincan Karayolu'ndan çalışma alanına ulaşmak için çalışma süresince, iki farklı güzergah kullanılmıştır. Bunun nedeni yağışlı mevsimlerde değişen hava ve yol durumları ile çalışmanın türü ve özelliğine bağlı olmasındandır. Diğer bir neden de deponi alanı ve yakın dolayındaki deponi alanı tesislerinin ve yol güzergah inşaatlarının devam ediyor olmasıdır.

Birinci güzergah: Sivas-Erzincan karayolunun yaklaşık 12.km'sinden G'ye dönünce devam eden eski asfalt özellikli yoldan Boğazköprü'ye gelince, köprünün hemen solundaki toprak yol ile çalışma alanına ulaşılmaktadır.

Jeofizik ölçüleri ve su örnekleri almada ulaşım kolaylığı açısından en çok bu yol kullanılmıştır.

İkinci güzergah: Sivas-Erzincan karayolunun yaklaşık 15. km'sinden sağa dönünce doğrudan deponi alanına giden eski asfalt yoldan çalışma alanına ulaşılmaktadır.

Deponi alanına yakın yerlerde jeofizik ölçü ve örnek almada ve inceleme konusu alanın resimlerini çekmek için bu yol kimi zaman kullanılmıştır.



Şekil 3.1. İnceleme alanının topoğrafya ve bulduru haritası.

3.1.1. Sivas il merkezi genel özellikleri

Türkiye’de toprak bakımından ikinci büyük il olan Sivas 36° ve 39° doğu boylamları ile 38° ve 41° kuzey enlemleri içerisinde yer almaktadır. İlin büyük bölümü Yukarı Kızılırmak, diğer bölümü Yeşilirmak ile Fırat havzalarında kalmaktadır. Kızılırmak havzası bölümünde Karadeniz iklimi, Fırat Havzası bölümünde Doğu Anadolu iklimi egemendir. Topoğrafik yapısı genelde engebelidir. Başlıca yeryüzü şekilleri, dağlar ve bu dağlar arasında uzanan vadiler, çukurlarda oluşmuş ovalar ve yüksek platolardan oluşur. Sivas’ın deniz düzeyinden yüksekliği ortalama 1000-1500 m arasında değişmektedir. Çoğunlukla karasal iklim etkileri görüldüğünden yazlar sıcak, kurak ve kısa sürelidir. Kış ayları ise soğuk, uzun ve kar yağışlıdır. En yağışlı mevsim ise ilkbahar, en az yağışlı mevsim yazdır. Yıllık ortalama yağış miktarı 420 mm’dir. En soğuk ay ortalaması -4 °C olup, -36.4 °C’ye düştüğü de görülmüştür. Yaz aylarında sıcaklık genellikle 19 °C üzerinde olup, sıcaklığın kimi zaman 38 °C’yi aştığı da görülmüştür. Sivas çevresinde ortalama basınç 653.2 milibar’dır. Çizelge 3.1’de 1975-2008 yıllarına ait ortalama meteorolojik veriler gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Sivas için 1975-2008 yılları arasındaki döneme ait ortalama meteorolojik sonuçlar (DMİ, 2010).

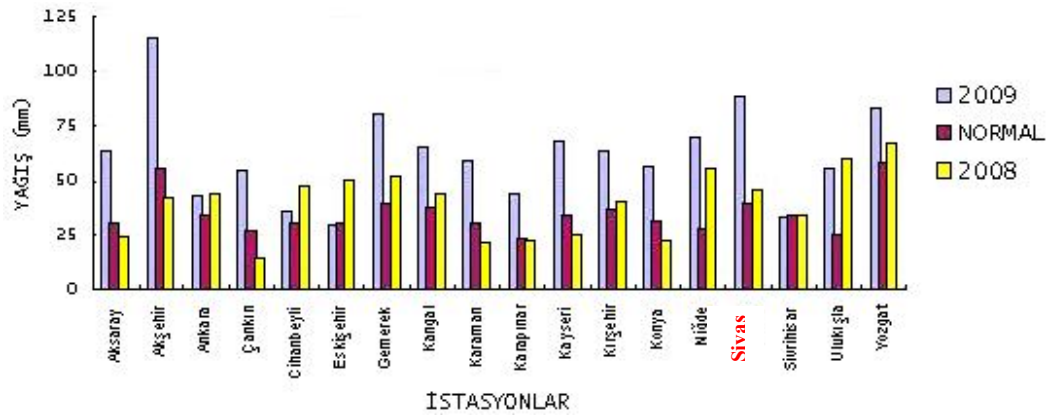
SIVAS	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2008)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3.2	-2.2	2.7	9.2	13.4	17.1	20.3	20.1	16.3	10.7	4.3	-0.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	0.9	2.3	7.9	15.4	19.8	23.8	28.0	28.3	24.7	18.2	10.0	3.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.0	-6.2	-2.0	3.7	7.3	10.0	12.4	12.1	8.6	4.5	-0.4	-4.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	3.4	4.9	6.1	8.0	10.5	11.9	11.5	9.7	6.4	3.8	2.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.5	11.9	13.3	14.4	14.4	8.5	3.4	2.6	4.6	7.8	9.6	12.3
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m ²)	41.1	38.7	47.5	64.6	62.6	31.6	8.9	5.8	17.6	37.5	43.3	44.5
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 - 2008)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.0	17.3	24.9	27.8	32.0	33.8	40.0	38.2	34.2	30.3	22.8	16.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24.8	-29.6	-27.6	-8.7	-2.0	1.0	4.8	4.0	-0.6	-5.8	-21.0	-27.0

En Çok Yağış, 02.05.1991 tarihli ve **55.0 kg/m²**’dir.

En Yüksek Kar, 16.02.1976 tarihli ve **67.0 cm**’dir.

En Yüksek Rüzgar Hızı, 23.03.1975 tarihli ve **99.0 km/sa**’dir.

2008 yılında İç Anadolu Bölgesi'nde, ortalama sıcaklıklar bölgenin tümünde mevsim normalleri dolayında gerçekleşmiştir. Sivas'ta 2009 yılında yağış miktarı, 2008'e göre ortalama %50 artış göstermiştir (Şekil 3.2). 2008 yılında en düşük ortalama sıcaklık, aylık değer olarak 2.2°C ile ve mevsimlik değer olarak ise 8.1°C ile Kangal'da gerçekleşmiştir. Bununla birlikte ortalama sıcaklıklar yaklaşık olarak 12.5°C'den düşüktür (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. İç Anadolu Bölgesi'nin 2008 ve 2009 yılları için yıllık ortalama yağış miktarı grafiği (DMİ, 2010).

Sivas'ın nüfusunun yaklaşık %60'ı köylerde yaşamakta ve geçimini de tarım ve hayvancılıktan sağlamaktadır. Bunların yanı sıra en büyük geçim kaynağı işçilik ve ticarettir. Sivas'ta Demir-Çelik Fabrikası, TÜDEMSAŞ, TCDD Sivas Beton Travers Fabrikası ve Sivas Çimento Fabrikası en eski ve önemli sanayi kuruluşlarıdır. Özellikle Çimento Fabrikası, günümüzde ülke ekonomisine önemli katkısı olan bir fabrika durumundadır.

Yukarıda sunulanlar ışığında, Sivas'ta gittikçe artan bir sanayi ile birlikte kentleşme ve nüfus artışının da olduğu söylenebilir. Bu durum, zamanında gerekli önlemler alınmazsa tüm büyük kentlerde yaşanmakta olan çevre sorunlarının da oluşması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla sanayileşme yolunda ilerleyen Sivashlıların özellikle, yerel yönetimlerinin ve sanayi kesimindeki yöneticilerinin çevreye duyarlı olması gerekmektedir.

3.1.2. Katı atık yönetimi

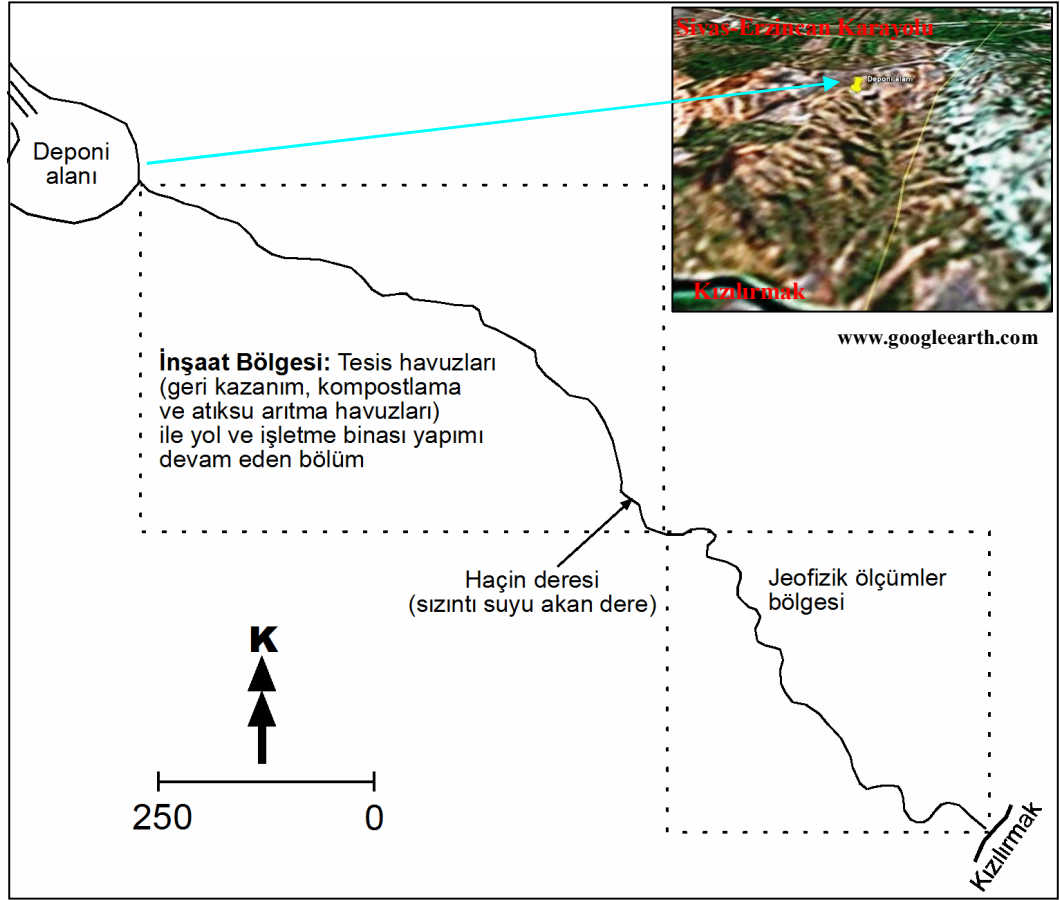
Katı atık yönetmeliğinde, katı atık ve yönetimi ile ilgili tüm ayrıntılar yer almaktadır. Bu ayrıntılar aşağıda özetlenmektedir:

Katı atık tanımı, 14 Mart 1991 tarih ve 20814 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY)’nde, “*Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu (iri katı atık, evsel katı atık)*” kapsamaktadır. Katı atık deponi alanı ise atık uzaklaştırma (bertaraf) amacıyla kullanılan, yeri bazı koşullara bağlı olarak belirlenmiş, işletme binası ve arıtma tesislerinden oluşan çöplerin düzenli toplandığı alanlara denir.

Düzensiz çöp alanları genelde her türlü atığın rastgele atıldığı “vahşi depolama veya çöplük” alanı olarak da adlandırılan denetimsiz depolama yerleridir. Bu alanlar, buldukları yerlerdeki yeraltı suları, yüzey suları, bitki, hayvan ve insan yaşamı için tehdit etmekte ve toprak, gürültü, görüntü ve hava kirliliği yaratmaktadır. Ülkemiz genelinde, bu tür depolama alanları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Düzenli deponi alanları ise günümüzde kabul gören, çevreye ve canlı yaşama zarar vermeyecek koşullarda yapılmış denetlenen deponi alanlarıdır. Bu alanlarda özel işletme binası, çeşitli teknolojilerle katı, sıvı, gaz atıkların uzaklaştırıldığı yakma, kompostlaştırma, gaz toplama ve atıksu arıtma tesisleri ile ekonomik değeri olan atıklar için geri dönüşüm (aynı ürün eldesi) ve geri kazanıma (yeni ürün eldesi) yönelik tesisler bulunmaktadır.

Sivas ilinde günümüzde kullanılmakta olan katı atık depolama alanı düzensiz depolama yapılan bir alandır. Sivas Belediyesi, düzenli katı atık alanına geçmek amacıyla 2007 yılında evsel nitelikli katı atık düzenli depolama tesisi, geri dönüşüm tesisi, kompost tesisi ve tıbbi atık düzenli depolama tesisi inşaatlarını başlatmıştır (Şekil 3.3). Bu tesislerin inşaatı tamamlandığı zaman Sivas, yakın dolayındaki ilçeleri (İmranlı, Hafik, Ulaş, Zara, Yıldızeli) ile birlikte, düzenli bir katı atık depolama alanına sahip olacaktır.



Şekil 3.3. Sivas ili ve yakın dolayı için yeni inşa edilmekte olan katı atık depolama alanı.

Katı atık yönetmeliğinin ilk maddesine göre düzenli deponi alanlarında amaç, “her türlü atık ve artığın çevreye zarar vermeyecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresini belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren kirleticilerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve geliştirilmesi”dir. Bu yönetmeliğin esasları 2.Madde’ye göre temel esasları ise, “meskun bölgelerde evlerden atılan evsel katı atıkların, park, bahçe ve yeşil alanlardan atılan bitki atıklarının, iri katı atıkların, zararlı atık olmamakla birlikte evsel katı atık özelliklerine sahip sanayi ve ticarethane katı atıklarının, evsel atık su arıtma tesisinden elde edilen (atılan) arıtma çamurlarının, zararlı

atık sınıfına girmeyen sanayi arıtma tesisi çamurlarının, hafriyat toprağı ve inşaat molozunun toplanması, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi, bertaraf edilmesi ve zararsız hale getirilmesine” ilişkindir (KAKY, 1991).

Özetle katı atık yönetmeliğinde “katı atık üretim aşamasında uyulacak esaslar belirlenerek, katı atıkların en aza indirilmesinde, uluslararası uygulamalara uyum sağlayabilmek amacıyla ambalaj atıklarının geri dönüşüm ve uzaklaştırılmasına” ilişkin esaslar bildirilmiştir.

Ancak, 1991’deki katı atık yönetmeliğı, daha sonraki yıllarda (1995, 1998, 2003) yeni düzenlemelerle günümüz koşullarındaki çevre sorunlarına daha iyi yanıt verir bir duruma getirilmiştir. Böylece yönetmelikte belirtilen kurum ve kuruluşların da katı atıklardan geri kazanılmış gereç üretimine, atıkların insan sağlığına ve çevreye zarar vermeden uzaklaştırılmasına özendirilmesi sağlanarak, çevrenin korunmasına katkılar önemli derecede arttırılabilir. Gelişen çevre bilinci ile atıkların geri kazanılması ve uzaklaştırılması canlı yaşama ve çevreye en az zarar verecek şekilde gerçekleştirilebilir.

Atıkların uzaklaştırılmasına ilişkin tehlikeler, kötü yönetimler, gelişen sanayi, nüfus artışı, plansız ve hızlı kentleşme nedeniyle çevre sorunlarının arttığı ülkelerde, oluşan çevre sorunlarını çözmek için çözüm yolları ve teknikleri bulma arayışına yönlendirdi. Ancak, bu arayışlar ekonomik açıdan çok pahalı olduğundan kaynak yaratma çabaları, uluslararası boyuta taşınmıştır. Uluslararası boyutta oluşturulan fonlar (AB) ve yapılan anlaşmalarla (KYOTO Protokolü) günümüzde çevre sorunları çözülmekte ve yeni sorunların ortaya çıkmaması için çalışmalar sürdürülmektedir. Sivas Belediyesi de düzenli depolama alanı geçiş için AB fonundan yararlanan belediyelerdendir.

Dünya genelinde çevre sorunlarının ciddi boyutlarda her kesimden insan ve canlı yaamında hissedilmeye başlamasıyla, günümüzde artık atıkların yönetiminde Bütünsel Atık Yönetimi (BAY) olarak adlandırılan kavram önemlidir. Bu kavram, en iyi kaynağında azaltma, yeniden dönüşüm ve kazanım, kompostlaştırma ve yakmayı içeren bir dizi süreci tanımlamaktadır. Temelde hedef, deponi alanlarında, yakma tesislerinde ve diğer atık yönetim tesislerinde zararsız hale getirilmesi gereken kentsel ve diğer atıkların miktarını olabildiğince azaltmaktır.

BAY sayesinde kentsel atıkların en az % 50, belki de % 70'e varan oranlarda azaltılabileceği öngörülmektedir. Bu yöntemi tümüyle doğru bir şekilde içine alan seçenekler arasında, araziye düzenli depolama yapma, göllerde biriktirme, arazi uygulaması ve sondaj kuyuları açma gibi seçenekler vardır. Arazide tehlikeli atıkları uzaklaştırma işlemi sırasında hava kirliliğine, toprak kirliliğine, yüzey ve yeraltı suyu kirliliğine neden olacak uygulamaların depolama alanında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tehlikeli atıkların yönetiminde çeşitli uzaklaştırma yöntemleri Yılmaz (2008)'in çalışmalarından daha ayrıntılı olarak izlenebilir:

1. Atıkların araziye belli bir amaçla konulması, arazi uygulaması olarak kabul edilen bir uzaklaştırma yöntemidir. Bu yöntem biyolojik olarak uzun süre korunma sağlayabilir. Bu nedenle bazı sanayi atıklarının (petrol gibi organik atıkların) uzaklaştırılması için uygun bir yöntemdir.

2. Göllerde biriktirme yöntemi ile tehlikeli atıklar derin çukurlar ve çanak biçimindeki göllerde (lagünler) kolaylıkla tutulabilir. Tehlikeli sıvı atıklar, doğal topoğrafik çöküntülere ve insanların açtığı çukurlara bırakılmamalıdır. Göllerin yüzeyinde özellikle sızıntıdan dolayı tehlikeli atık birikimi meydana geldiği için toprak ve su kirlenmesi oluşmaktadır. Göllerin yüzeyindeki birikmeler, suyun buharlaşmasından dolayı hava kirliliği sorunu da yaratmaktadır. Bu sorunlar nedeniyle tehlikeli atıkların uzaklaştırılması için bu tür depolama ya da yok etme sistemlerinin kullanılması pek tercih edilmemektedir.

3. Derin kuyu ile uzaklaştırma yönteminde, sondajla açılan kuyuların içerisine atık bırakılmaktadır. Ancak kuyu gereksinimi karşılamalı ve akiferde tümüyle serbest olarak bulunan tatlı suyu kirletecek bir tehlikesi olmamalıdır. Atıkların yüzeyden birkaç bin metre derinde olan geçirimli katmanlara enjekte edilmesi ve bu katmanların da şeyl ve tuz çökelleri gibi dayanımlı ve geçirimsiz olan katmanların altında bulunması gerekir. Ancak, tehlikeli atıkları yok etmek amacıyla gereksinim duyulan kuyuların yerleri, dikkatli incelemelerle belirlenmeli ve bu doğrultuda yok etme işlemine başlanılmalıdır.

4. Arazide uzaklaştırma yöntemleri ise sık kullanılan seçenekler arasında en önemli olanı ve daha iyisinin olmadığı bir yöntemdir. Tehlikeli atıklara, engebesiz ve geniş koruma alanlarının içerisinde tesis tasarımı yapılır. Ancak sonraki aşamada genelde arazide uzaklaştırma seçeneklerinin gelecekte çevresel aksamaya neden olacak atıkları içermeyeceğinin garantisi bulunmamaktadır.

Düzenli deponi alanlarının yer seçiminde kireçtaşları ya da son derece kırıklı kayaların yer aldığı taş ocakları, kumtaşı ve çakıltaşının yaygın olduğu maden ocakları, deponi alanı olarak uygun alanlar değildir. Çünkü bunlar suyun iyi süzülebildiği akiferlerdir. Bataklık bölgelerde suyun akaçlaması iyi yapılırsa veya kuru kalması sağlanabilirse kil ocakları bir ölçüde uygun deponi alanları haline getirilebilir. Düz ve yüksek arazilerde, deponi alanının altına ya da herhangi bir akiferin üzerine serilen kil gibi geçirimsiz bir örtü malzemesi ile uygun deponi alanı elde edilebilir. Yüzey sularıyla oluşan taşkın ovaları, yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu ve geçirimli zeminler uygun deponi alanları değildir. Engelibeli topoğrafyada yüzey sularının en az olduğu çukurların üst kesimleri en uygun deponi alanlarıdır (KAKY, 1995).

Düzenli bir deponi alanı için yer belirlendiğinde işletmeye başlamadan önce, özel olarak tasarlanmış kuyulardan belirli aralıklarla alınan su ve gaz örneklerinin incelenmesi ile yeraltı suyunun hareketi ile ilgili değişimler düzenli olarak izlenmelidir. Sızıntı suyu ve gaz hareketinin izlenmesi, herhangi bir kirlilik kalmayana kadar sürdürülür. Bu denetim, saha tümüyle dolduktan sonra da önemlidir.

Deponi alanları dolduktan sonra küçük çöküntülerde yüzey suyu toplanabilir, süzülebilir ve sızıntı suyu oluşabilir. Bu nedenle terk edilmiş bir deponi alanının özel olarak bakımı yapılmalı ve çeşitli yöntemlerle izlenmelidir. Böylece sürdürülebilirlik çerçevesinde kirliliğin denetimini sağlamak mümkündür.

Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) tarafından nüfusa bağlı olarak yaz ve kış mevsimine göre toplanan ortalama katı atık miktarı ilişkisi hesaplanmaktadır. Bu nedenle nüfus ile toplanan katı atık miktarında mevsimlik kişi başı ve yıllık katı atık miktarları arasındaki ilişkileri izlemek düzenli bir deponi alanının

hazırlanması ve yönetimi açısından önemlidir. Örneğin Sivas'ta 2004 yılı sayım verilerine göre toplam nüfus 755091'dir. 2006 yılı için Sivas'ın genel nüfusu 638464 kişi'dir. Çizelge 3.2 incelenirse, 2006 sonuçlarında nüfusta görülen azalmaya karşılık, 2004 yılı sonuçları ile karşılaştırıldığında Sivas için nüfus ve toplanan katı atık miktarı arasında doğru bir orantı vardır (TUİK, 2009).

Çizelge 3.2. TUİK'nun 2004-2006 yılları için hesapladığı yaz ve kış mevsimine göre toplanan ortalama katı atık miktarları (TUİK, 2009).

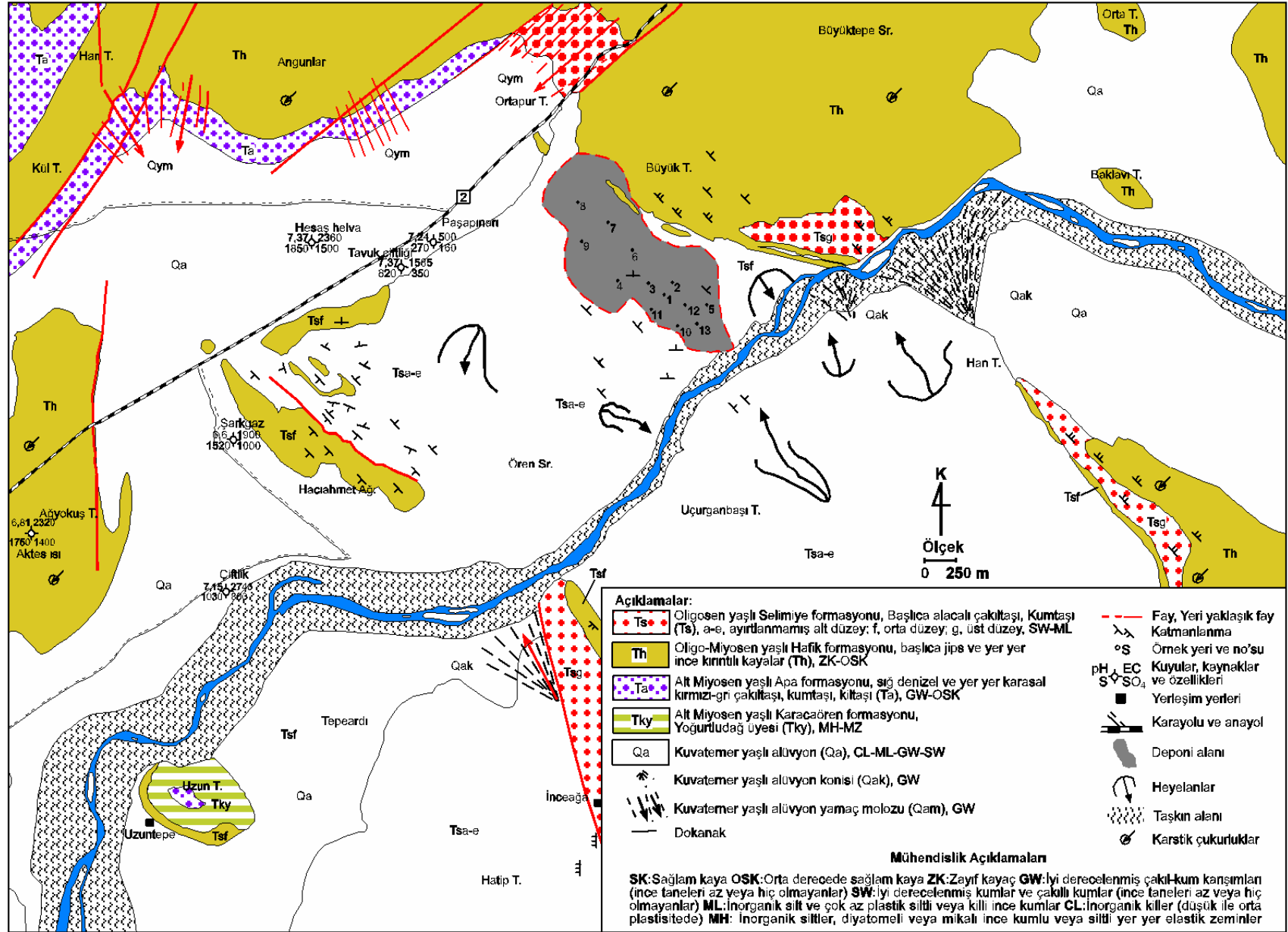
Toplanan katı atık							
Toplam		Yaz			Kış		
Miktar (ton/yıl)	Kişi başı (kg/kişi-gün)	Yaz mevsimi (ton/yaz)	Miktar (ton/gün)	Kişi başı (kg/kişi-gün için)	Kış mevsimi (ton/kış)	Miktar (ton/gün)	Kişi başı (kg/kişi-gün)
2004 yılı sonuçları (nüfus: 755091 kişi için)							
317527	1,83	94900	778	1,64	222627	912	1,93
2006 yılı sonuçları (nüfus: 638464 kişi için)							
264031	1,54	77 286	633	1,35	186746	769	1,64

3.2. Çalışma Bölgesinin Çevre Jeolojisi

Deponi alanı, Sivas-Erzincan yolunun 15.km'sinde Seyfebeli güneyinde ve ağırlıklı olarak Oligosen-Miyosen yaşlı karasal kırıntılı kayalarla, Kuvaterner yaşlı alüvyon ve topraktan oluşan ince bir örtünün üzerinde yer almaktadır (Şekil 3.4). İnceleme alanında ve yakın dolayında Kuvaterner yaşlı toprak örtü ve alüvyonlar, ova konumunda olan düzlüklerde ve akarsu vadilerinde daha kalın bir düzey halinde görülmektedir.

Alüvyonlar genel olarak tutturulmamış ya da gevşek tutturulmuş ve taşınma evresi geçirmiş çakıl, kum ve çamur boyutundaki kırıntılı kayalarla temsil edilmektedir. Topraklar ise ince taneli ve yerli yerinde oluşmuş daha çok ince taneli zeminleri temsil etmektedir.

Ayrıca traverten ve yamaç molozu ya da alüvyon konileri deponi alanı dolayında yer yer izlenmektedir. Özellikle Kuvaterner yaşlı alüvyon ve Oligosen-Miyosen yaşlı Selimiye formasyonu üzerinde yerli yerinde oluşmuş toprak, deponi alanının zemini durumundadır.



Şekil 3.4. Deponi alanı (DA) mühendislik jeolojisi haritası (Atmaca, 2004; Yılmaz ve Atmaca, 2006) (Yer bulduru için Şekil 3.1'e bakınız).

Kızılırmak vadisi boyunca ve Kızılırmak'a ulaşan vadilerde ya da yamaçlarda yer alan alüvyon ve toprak, yüzey sularının üzerinden aktığı düzeyleri oluşturmaktadırlar. Bu oluşukların, özellikle dolaylarındaki jipsli akiferlerden süzülen sulara yatak işlevini gören kesimleri, doğal olarak kirlenmiş, dolayısıyla içme ya da tarım amaçlı kullanımı sınırlı olan yeraltı sularının sınırlı olarak bulunduğu akiferlerdir (Şekil 3.5). Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kırıntılı kayalar ve gösel karbonatlar ile Kuvaterner yaşlı alüvyon ve topraktan oluşan örtü, sıra ile daha eski tüm birimlerin üzerinde açılı uyumsuzlukla yer almaktadır. Sunulan stratigrafik istiften de anlaşıldığı gibi kayatürlerinin büyük bir bölümü akifer ya da en azından sınırlı bir akifer niteliğindedir. Bu durum, deponi alanları yer seçimini belirlemeyi güçleştirmekte olup, kayatürü toplulukları yeraltı ve yüzey sularıyla olan ilişkilerini ayrıntılı bir biçimde ortaya koymayı gerektirir.

İnceleme alanının yapısal unsurları ise, faylar, kıvrımlar ve kırıklarla temsil edilmektedir. Deponi alanı, katmanların dikleştiği antiklinalin batı kanadı üzerinde yer almaktadır. Genel olarak inceleme alanının kuzeyinde Şekil 3.4'de görüldüğü gibi kuzeydoğu-güney batı gidişli bindirme bileşenin de yer aldığı sol yönlü doğrultu atımlı faylar izlenmektedir. Bu faylar, Yukarı Kızılırmak Fay zonu'nun (Yılmaz, 1994) bileşenleri olup, sınırlı olarak aktif olabilirler. Ancak bu fayların deponi alanını etkilemesi beklenmemektedir.

İnceleme alanında yer alan kırıntılı birimlerin katmanlanmasına bakıldığında yaklaşık KB-GD gidişli bir kıvrım dikkati çeker. Bu kıvrımın ana ekseninde katmanların eğimi 10-15 derece, kanatlara doğru 35-45 derece dolayındadır.

3.2.1. Selimiye formasyonu

Sivas havzasında Oligosen yaşlı kırıntılı karasal oluşuklar, Selimiye formasyonu olarak adlandırılmıştır (Kurtman, 1973). Genel olarak morumsu, kırmızı yer yer alacalı gri renkte olan çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan birim, kalın, orta-kalın ve orta-ince katmanlıdır. Kırıntılı düzeylerde derecelenme ve çapraz katmanlanma gibi sedimenter yapılar izlenmektedir.

İnceleme alanında yüzeylenen en alt düzeyi temsil eden Selimiye formasyonu, inceleme alanı dışında ve özellikle Sivas Havzası'nın güney

kenarında Küçüktuzhisar Jipsleri'nin üzerine uyumlu ve geçişli olarak gelmektedir. Bölgesel jeoelektrik haritaları projesi (Duvarcı, 1994) kapsamında yapılan öz direnç incelemeleri ve yapılan enine kesitlerde ortaya konulan birimlerin kalınlıkları incelendiğinde, deponi alanının altında ve yaklaşık 500 m derinlikte Küçüktuzhisar jipslerinin yer aldığı kabul edilebilir. Öte yandan bu birim, deponi alanı olarak kullanılan yerin temelini oluşturmaktadır.

3.2.2. Hafik formasyonu

Sivas havzasında oldukça geniş yayılım sunan ve ağırlıklı olarak masif jipslerden oluşan Oligo-Miyosen yaşlı birim Hafik formasyonu olarak adlandırılmıştır (Yılmaz, 1984; Aktimur vd., 1988). Masif jipslere yer yer kırıntılı katmanlı jips ardalanmasından oluşan düzeyler de eşlik etmektedir. Sivas havzasında oldukça geniş bir yayılım sunan ve masif jipslerden oluşan Oligo-Miyosen yaşlı Hafik formasyonu da bölgedeki en önemli akifer durumundadır (Şekil 3.6). Dolin, ovala ve polye türü karstik yapıların yaygın olarak geliştiği bu birim, KB-GD ve KD-GB doğrultulu fayların ve kırık zonlarının denetiminde deformasyona uğramıştır. Karstik yapıların da kırık zonlarına bağlı olarak geliştiği kabul edilmektedir (Kaçaroglu vd., 1997). Karstik su kaynaklarının yöredeki egemen kırık zonlarının kesişim yerlerinde yer aldığı ve jipsli formasyonların yeraltı ya da yerüstü suları ile temasa geçtiğinde bu formasyonların içerdiği anyon ve kationların çözünerek su kalitesi yönüyle sorunlara neden oldukları sonucuna varılmıştır (Değirmenci, 1995; Değirmenci vd., 1995).

Hafik formasyonu'nun bileşiminde evaporit grubu minerallerden jipsin ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yanı sıra anhidrit (CaSO_4) ve kayatuzu (NaCl) da bulunur. Bu mineraller, iyonik bir kafes yapısına sahip olup su ile temas etmeleri sırasında kolaylıkla çözünürler. Su, ortamı terk ettiğinde, evaporit grubu mineraller tekrar kristalleşebilir, ya da iyonlar yer değiştirerek yeni mineraller oluşur veya mineraller birbirine dönüşebilirler. Dolayısıyla bu minerallerin oluşturduğu kayatürlerinin egemen olduğu ortamdaki havzalarda su kalitesi kolaylıkla bozulmaktadır. Evaporit grubu minerallerin çözüldüğü yüzey ve yeraltısuları doğal olarak kirlenmektedir.

Sivas dolayındaki yüzey ve yeraltısularının büyük bir bölümü, bölgede çok geniş bir yayılım gösteren Hafik formasyonu jipslerinin etkisi sonucunda toplam çözünmüş iyon miktarı çok yüksek, tuzlu ve acı sulardır. Çöp deponi alanının yaklaşık 5 km kadar doğusunda yer alan Göydün ve Seyfe kaynakları (Şekil 3.7) özellikle kurak dönemde, Kızılırmak suyunu sulamada dahi kullanılmayacak derecede kalitesiz duruma getiren önemli iki karst kaynağıdır (Değirmenci vd., 1996; Kaçaroğlu vd., 1997).

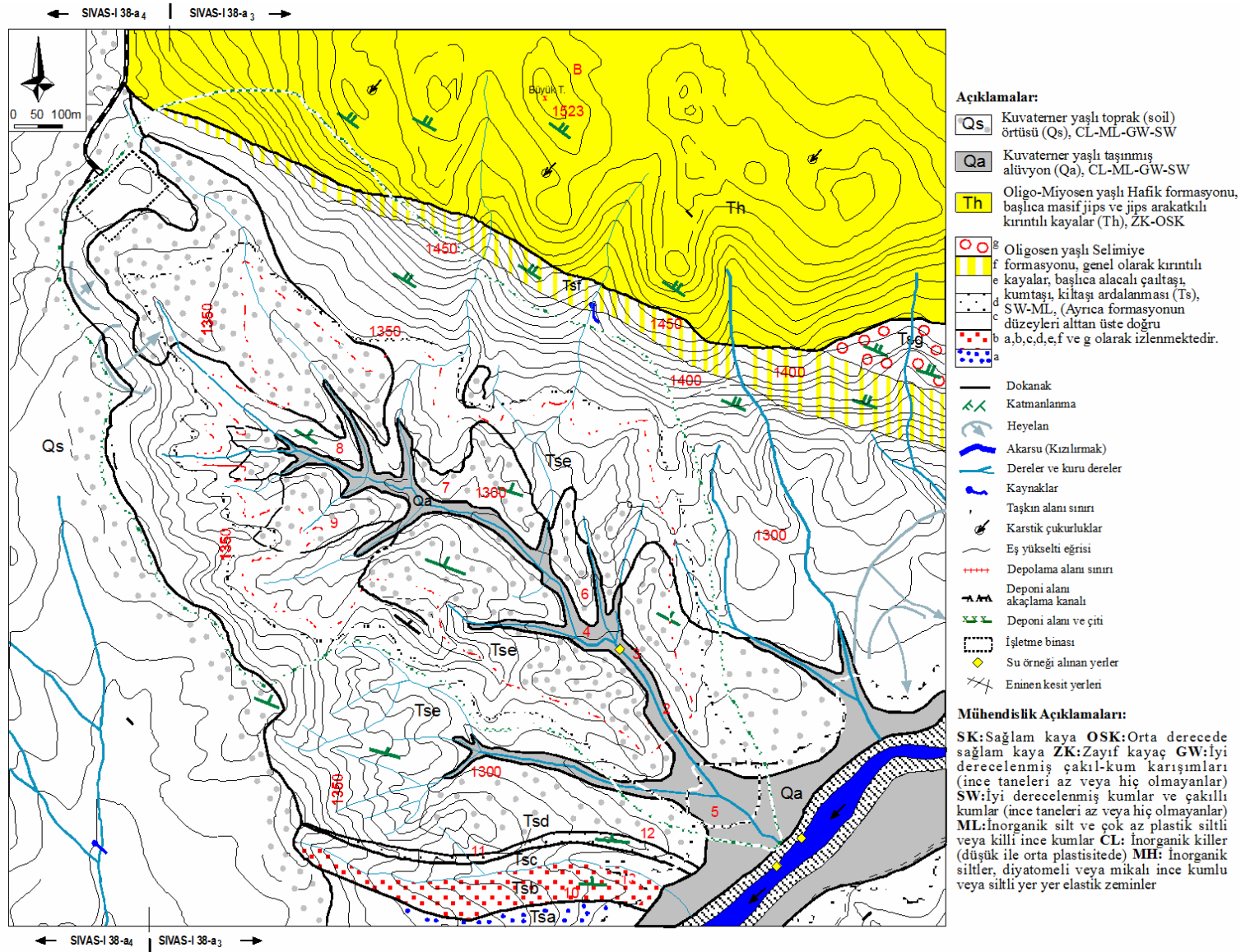
3.2.3. Kuvaterner yaşlı oluşuklar

İnceleme alanında ve yakın dolayında Kuvaterner yaşlı topraklar ve alüvyonlar ova konumunda olan düzlüklerde ve akarsu vadilerinde geniş bir alanda görülmektedir.

Alüvyonlar genel olarak tutturulmamış ya da gevşek tutturulmuş ve taşınma evresi geçirmiş çakıl, kum ve çamur depolarıyla temsil edilmektedir. Topraklar ise ince taneli ve yerli yerinde oluşmuş ince taneli zeminleri temsil etmektedir. Ayrıca traverten ve yamaç molozu ya da alüvyon konileri yer yer izlenmektedir (Şekil 3.4). Özellikle alüvyon ve Selimiye formasyonu üzerinde yerli yerinde oluşmuş toprak, deponi malzemesinin zemini durumundadır.

Kızılırmak vadisi boyunca ve Kızılırmak'a ulaşan vadilerde ya da yamaçlarda yer alan alüvyon ve toprak, yüzey sularının üzerinden aktığı düzeyleri oluşturmaktadırlar. Bu oluşukların, özellikle dolaylarındaki jipsli akiferlerden süzülen sulara yatak işlevini gören kesimleri, doğal olarak kirlenmiş, dolayısıyla içme ya da tarım amaçlı kullanımı sınırlı olan yeraltısularının sınırlı olarak bulunduğu akiferlerdir.

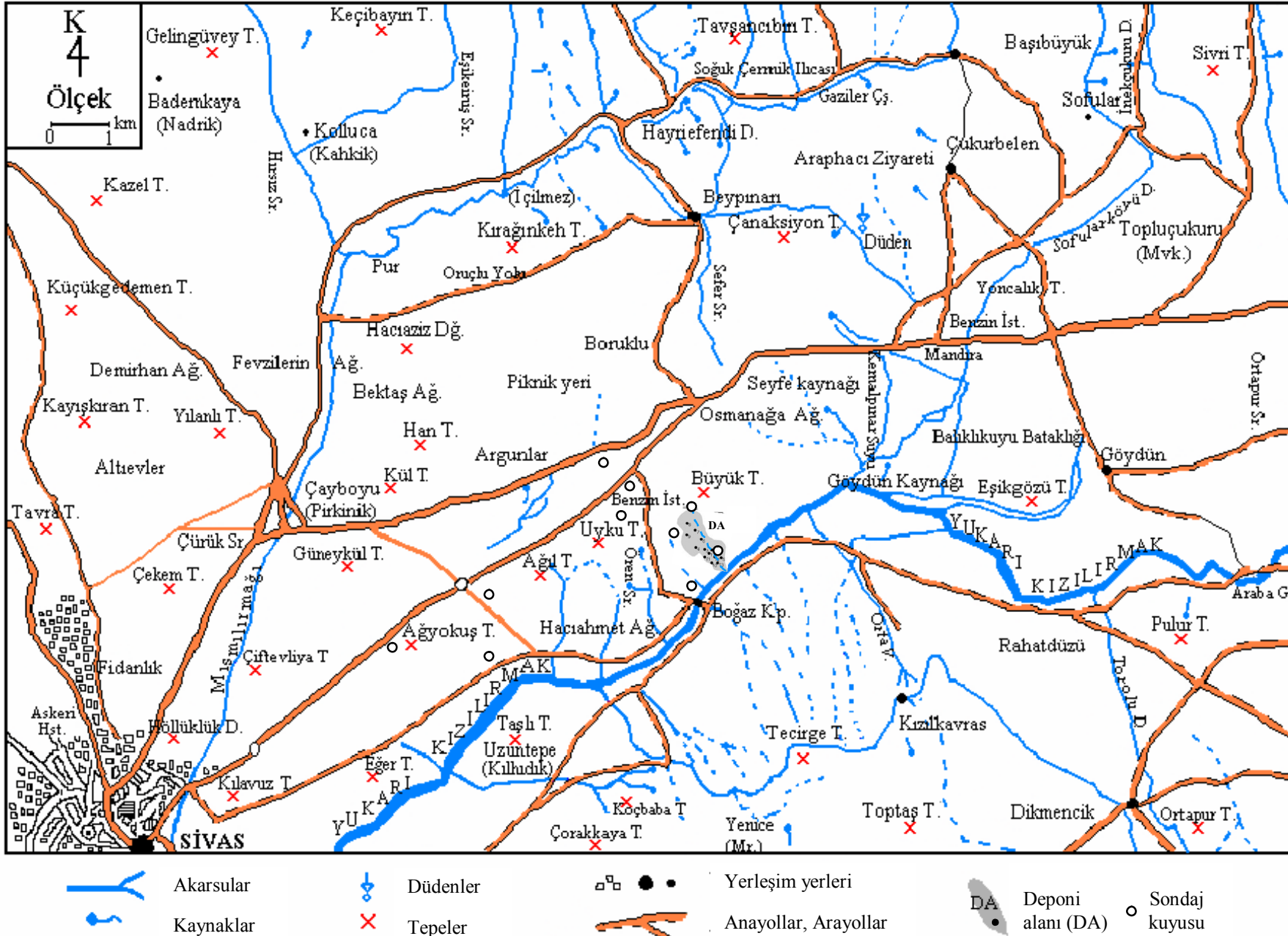
İnceleme alanının tüm birimlerinde bir bölümü çökelme sırasında ve sonrasında olmak üzere, çeşitli boyutlarda kırıklar ve eklemler gelişmiştir. Deponi alanında yer alan Selimiye formasyonu'nun kalın katmanlı olan çakıllı kumtaşlarındaki eklemler ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre tipik bir akiferin özelliklerini taşımaktadır.



Şekil 3.5. Deponi alanı ve dolayının ayrıntılı konuya özel mühendislik jeolojisi haritası (Atmaca, 2004; Yılmaz ve Atmaca, 2004; 2006'dan kısmen değiştirilmiş) (Yer bulduru için Şekil 3.1'e bakınız).

Jolojik yaş	Formasyon	Kayatürü	Kayatürü özellikleri	Jeo - Mühendislik Özellikleri
Kuvaterner			Qa, alüvyon, gevşek çimentolu ve taşınmış Qs, toprak, yerliyerinde	CL
Üst Oligosen — Alt Miyosen	Selimiye	Hafik	Th, Masif jips, yer yer jips ve kırıntılı ar dalanması	ZS - OSK
		Tsg	Tsg, Çakıltaşı, çakıllı kumtaşı	SW - ML
		Tsf	Tsf, Jips, çakıltaşı, kumtaşı ar dalanması, katmanlı ve milonitik	
		Tse	Tse, Çakıllı kumtaşı, kumtaşı, kıltaşı ar dalanması	
		Tsd	Tsd, Çakıllı kumtaşı, katmanlı eklemler	
		Tsc	Tsc, Silttaşı, çamurtaşı, kıltaşı	
		Tsb	Tsb, Çakıllı kumtaşı, katmanlı eklemler	
		Tsa	Tsa, Çakıllı kumtaşı ve kireçtaşı	

Şekil 3.6. Birimlerin ayrıntılı dikme kesiti (Atmaca, 2004; Yılmaz ve Atmaca, 2006).



Şekil 3.7. Deponi alanı ve dolayının ayrıntılı hidrografi haritası (Yılmaz ve Atmaca, 2004) (Yer bulduru için Şekil 3.1'e bakınız).

3.3. Çalışma Bölgesinin Çevre Jeotekniği

Mühendislik jeolojisi açısından çalışma alanının kuzeyinde Oligosen yaşlı Selimiye formasyonu (Ts)-SW-ML ile ve Oligo-Miyosen yaşlı Hafik formasyonu (Th)-ZK-OSK ile güneyinde ise Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qa) ile toprak örtüsü ise CL-ML-GW-SW olarak sınıflandırılmıştır (Atmaca, 2004; Yılmaz ve Atmaca, 2004; 2006). Deponi alanı kayatürlerinin stratigrafik ve yapısal özellikleri ile bu birimlerin jeo-mühendislik ve hidrojeolojik özellikleri arasında bazı temel ilişkiler bulunmaktadır (Yılmaz ve Atmaca, 2004).

Deponi alanı olarak kullanılacak sahalarda zemin geçirimsizliğinin en az 1×10^{-8} m/sn olması önerilmektedir (KAKY, 1995). Atmaca (2004)'nın çalışmasında, çöp deponi alanının geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı 1.2×10^{-6} ile 3.11×10^{-6} m/sn arasında değişmektedir. Bu nedenle, deponi alanının geçirimsizlik katsayısı en azından 1×10^{-8} m/sn olan bir kil tabakası veya sentetik membran ile kaplandıktan sonra çöp depolama alanı olarak kullanılabilmesini önermiştir. Ayrıca, deponi alanı ve yakın dolayının zemin özellikleri ise Oligosen yaşlı çakıllı kumtaşlarının akifer niteliğinde olduğunu, Kuvaterner yaşlı alüvyonal zeminin suyu az içeren ve az ileten bir konumda olduğunu, toprak zeminin ise yüzey sularının üzerinden aktığı bir yapıda olduğunu göstermektedir.

Deponi alanında zemin özelliklerini belirlemek amacıyla açılan 20 m derinlikli 8 adet sondaj kuyusunda yaklaşık 3 ve 9 m derinlikler arasında alınan toprak örnekleri üzerinde yapılan deneylerde ise sırasıyla en çok CH, CL, SC zemin türüne sahip birimler gözlenmiştir (SBÇED Raporu, 2005). Sondaj loglarına göre, genel olarak 5-6 m derinlikten sonra katı veya az çakıllı olmak üzere kırmızı renkli ve az kumlu kil olduğu, yeraltı suyu seviyesinin ise yaklaşık 3-4 m derinde olduğu söylenebilir. Ayrıca yaklaşık 5 m'den sonra gri-kahverenkli kil yer almaktadır. Deponi alanının B-GB'sındaki kuyularda ise yeraltı suyu düzeyi daha derinde ve yaklaşık 8 m'den daha derindir. Birim olarak ise üstte bitkisel toprak ve kırmızı renkli kil, yaklaşık 10 m'den sonra gri-kahverenkli kil yer almaktadır.

Bu verilere göre, yeraltı su tablasının özellikle yüzeye 4 m dolayında yakın olduğu yerlerde, deponi alanı sızıntı suları nedeniyle ciddi kirlilik tehdidi altındadır.

4. JEOKİMYA ÇALIŞMALARI

Düzensiz katı atık depolama alanlarındaki en büyük sorunlardan biri atıkların depolanması sırasında ortaya çıkan sızıntı suyu sorunudur. Sızıntı suları, organik ve inorganik kirleticileri içeren özellikteki sulardır. Bu nedenle diğer gereçlerle etkileşim olasılığı bulunduğu anda, doğurabilecekleri zararlar bakımından çok büyük bir öneme sahiptirler. Ancak düzenli ve düzensiz katı atık depolama alanlarında sızıntı suları farklı şekillerde oluşmaktadır.

Düzensiz depolama alanlarında, sızıntı nedeniyle çevrenin kirlenmesi, deponi alanı yüzeyine düşen yağışların, yüzey suları ve yeraltı sularıyla temas etmesi sonucunda ya da yağışların depolama alanını ve depolama alanı birimlerini oluşturan kayalarla teması sonucu oluşur. Düzenli depolama alanlarında ise su girişi engellenmiş olduğundan, katı atığın su içeriği, atık kütlelerinin sıkıştırılmasıyla sızıntı suyuna dönüşmektedir. Katı atık depolama tesislerinde oluşan sızıntı sularının özelliği ve miktarı, çürümenin gerçekleştiği evrede, mevsimlere ve değişik depolama tesislerine göre önemli farklılıklar gösterir. Birçok kimyasal ve biyolojik reaksiyonun gerçekleştiği deponi ortamında, çöplerin içerisinden yağıştan ileri gelen sular ve ayrışma ürünü olan suların süzülmesi sonucu, katı atıkların organik ve inorganik bileşimleri çözünerek sızıntı suyuna karışır. Çözünmüş ve asılı biçimde yoğun fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirleticilerle yüklü olan sızıntı suları, bulunduğu yerlerde ve yakın çevrede yüzey ve yeraltı sularının yanı sıra toprağı da kirletirler. Bu durum, canlı yaşamını da çeşitli biçimlerde etkilemektedir.

Sızıntı suyunun yüksek organik içeriği, karıştığı alıcı su ortamlarında hızlı bir şekilde anoksik koşullar oluşturabilir. Çok büyük seyrermelerde bile sızıntı suları, yüzeysel sulardaki canlılar için zehirlilik etkisi gösterebilir. Dolayısıyla bu suların, yasaların belirlediği standartlara göre atıksu arıtma tesisi havuzlarında çeşitli atıksu arıtma işlemlerinden geçirilerek, deşarj derişimlerine düşürüldükten sonra alıcı ortama verilmesi gerekir.

Toprak ise kirli hava, düzensiz depolama alanı kaynaklı çöp suları ve yüzey sularının geçtikleri yerlerden taşımış olduğu gereçlerle kirlenebileceğı gibi, tarımsal uygulamalar ve endüstriyel faaliyetlerle de bölgesel ve yerel ölçekte

kirlenebilir. Bu durumda toprağın doğal yapısının bozulması ile toprağa bağlı canlı (bitki, insan ve hayvan) yaşamı ciddi zararlar görebilir.

Sunulan tez kapsamında, su ve toprak kimyası ile ilgili arazi (su) ve laboratuvar (su+toprak) analizlerinden oluşan çalışmaların sonuçları ile ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır.

4.1. Arazi Deneyleri

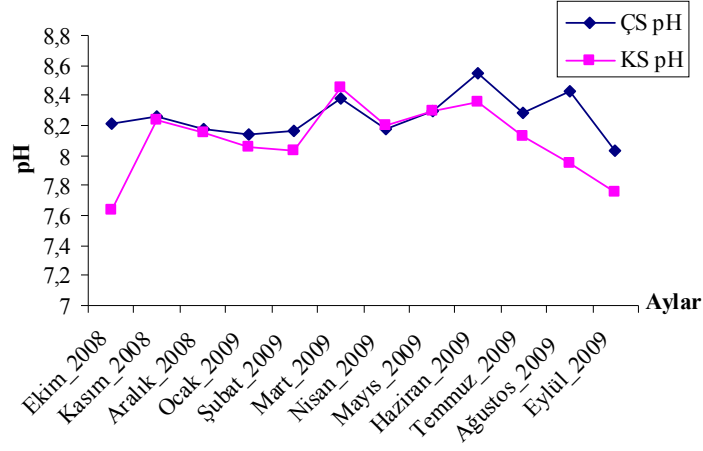
Arazi deneyleri sadece yerinde (in-situ) su ölçümlerinden oluşmaktadır. Su örnekleri (ÇS, KS ve KÖ) alınan yerlerde aynı zamanda Elmetron marka CX-701 çok fonksiyonlu arazi-laboratuvar ölçüm cihazı ile pH, EC, tuzluluk, ORP, ÇO, sıcaklık ve atmosferik basınç ölçümleri yapılmıştır. ÇS ve KS su örneklerinin aylara göre yıllık arazi ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1 incelenirse, sızıntı suyu pH aralığı ortalama 8.03-8.55 aralığında değişmektedir. ÇS’nun yıllık değerleri incelendiğinde en düşük pH değeri 8.03 ile Eylül-2009’da ve en yüksek değeri ise 8.55 ile Haziran-2009’da görülmektedir. Benzer durum için KS’nun pH değerleri incelendiğinde, en düşük pH değeri 7.63 ile Ekim-2008’de ve en yüksek 8.45 ile Mart-2009’da görülmektedir. Diğer taraftan ÇS’nun en yüksek pH değerleri, Mart 2009’da 8.38 ve Mayıs-Ağustos 2009 arasındaki dönemde ise 8.29-8.55 aralığında yer almaktadır. KS’nun en yüksek pH değerleri ise Kasım 2008’de 8.23 ve Mart-Haziran 2009 arasındaki dönemde 8.20-8.45 aralığında bulunmaktadır.

Sızıntı suyu pH değerleri 8.3-8.5 aralığında olursa, alıcı ortam standartları için uygundur. Bu çalışmanın ÇS değerleri incelenirse, sızıntı suyu çoğunlukla alıcı ortam standartlarına uygun pH’a sahip değildir. Buna karşılık KS’nda en yüksek pH değerleri, Mart 2009’da 8.45, Mayıs 2009’da 8.30 ve Haziran 2009’da 8.35’tir. Bu aylar dışında pH değerleri, genel olarak düşüktür ve 7.63 ile 8.23 arasında değişmektedir (Şekil 4.1). Dolayısıyla KS’ndaki yüksek değerler, yağışlarla süzülüp gelen veya eriyen karlarla gelen suların geçtikleri yerlerde bünyesine kattığı iyon içeriği ile ilişkili olarak bu aylarda yüksek olabilir. ÇS-KS pH değerleri karşılaştırıldığında diğer bir sonuç ise ÇS bünyesindeki çözünmüş iyon derişiminin, yüzey suyu olan KS pH değerlerine göre daha bazik olmasıdır. ÇS’nu ortalama pH değeri 8.26, KS ise 8.10’dur.

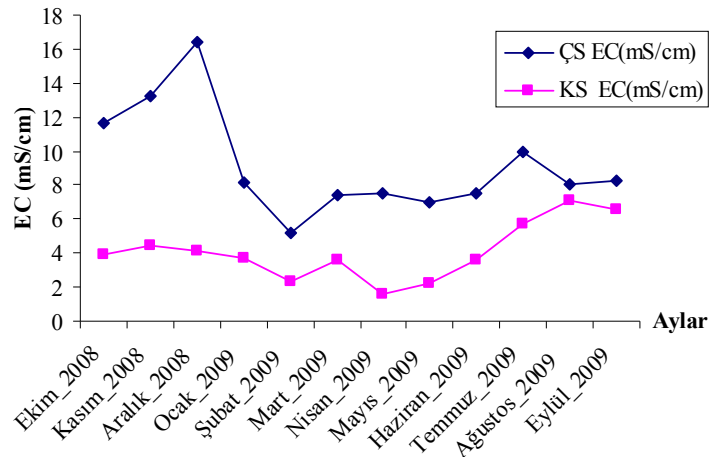
Çizelge 4.1. CX-701 cihazı ile arazide ölçülen aylık su değerleri.

Aylar	pH		EC (mS/cm)		Tuzluluk (‰)		ÇO (%)		Sıcaklık (°C)		ORP (mV)		Basınç (atm)	
	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS
Ekim 2008	8,21	7,63	11,65	3,92	7,8	2,6	-	-	18,48	18	-	-	867	868
Kasım 2008	8,26	8,23	13,26	4,40	8,9	2,95	1,4	2,4	18	18	-	-	867	867
Aralık 2008	8,18	8,15	16,43	4,14	11,0	2,8	27,5	-	-0,34	-0,4	-	-	875	876
Ocak 2009	8,14	8,06	8,16	3,73	5,5	2,5	57,5	57,0	2	2	-	-	871	871
Şubat 2009	8,16	8,03	5,22	2,28	3,5	1,52	86,0	94,8	2,45	2,66	-64	-74,9	868	869
Mart 2009	8,38	8,45	7,36	3,55	4,9	2,37	47,0	60,5	8	8,2	-74,5	-79,1	866	867
Nisan 2009	8,18	8,20	7,47	1,62	5,0	1,08	45,0	65,3	14,56	14,33	-72,5	-75,0	868	868
Mayıs 2009	8,30	8,30	6,95	2,25	4,6	1,5	66,5	66,8	17,6	14,79	-72,6	-72,6	867	868
Haziran 2009	8,55	8,35	7,57	3,61	5,07	2,42	93,8	74,4	19,14	18,4	-68,0	-56,1	872	873
Temmuz 2009	8,29	8,13	10,00	5,70	6,7	3,82	36,3	78,5	19,6	18,3	-78,2	-55,6	871	872
Ağustos 2009	8,43	7,95	8,05	7,09	5,4	4,75	75,5	75,1	17	17	-78,8	-54,5	873	874
Eylül 2009	8,03	7,75	8,30	6,57	5,56	4,4	46,5	54,0	17,02	19	-64,9	-49,0	877	876



Şekil 4.1. ÇS ve KS için yıllık pH grafiği.

EC değerleri, sızıntı suyunda ergimiş halde bulunan toplam tuz miktarının göstergesidir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2 incelenirse, ÇS’nda bu değer Aralık ayında 16.43 mS/cm ile en yüksek değere, Şubat ayında 5.22 mS/cm ile en düşük değere ulaşmaktadır. Ancak genelde kurak dönemde artan EC değerlerine karşılık, yağışlı dönemdeki EC değerleri düşüktür. Buna paralel olarak, KS’nun EC değerlerinin de kurak dönemde yükseldiği ve Ağustos 2009’da 7.09 mS/cm ile en yüksek değerde olduğu ve yağışlı dönemde ise düştüğü ve Nisan 2009’da 1.62 mS/cm ile en düşük değerde olduğu görülmektedir.



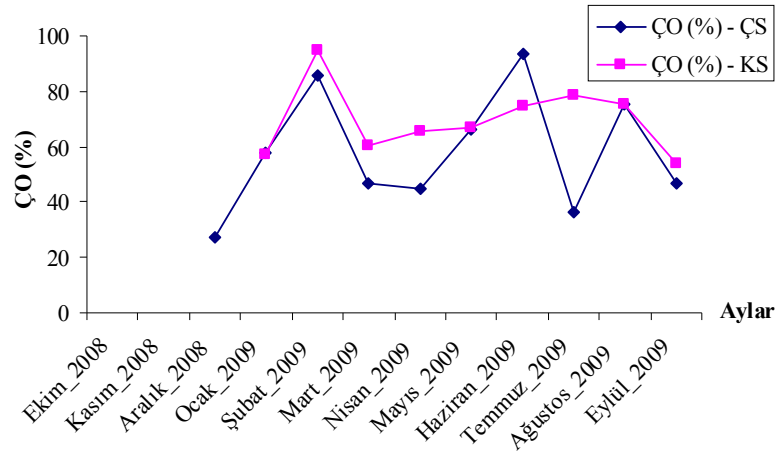
Şekil 4.2. ÇS ve KS için yıllık EC grafiği.

Elektriksel iletkenlik (EC) değerlerindeki artış, genel olarak yağış açısından kurak geçen aylarda organik madde miktarının artması ile ilişkili olabilmektedir.

Diğer bir neden ise yaz aylarında, sıcaklık artışına bağlı olarak gerçekleşen buharlaşmanın artması olabilir.

ÇO'nin doğal veya atık sulardaki derişimi, fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal faaliyetlere bağlıdır. Aeorobik ortamda yaşayan organizmaların çoğalmalarında ve bunların enerji üreten metabolik faaliyetlerinde ÇO'e gerek duyulur. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3 incelenirse, ÇO miktarının % olarak ÇS'nda Şubat ve KS'nda Temmuz ayında en yüksek değere ulaştığı görülür. ÇS ve KS eğrileri, Haziran ve Temmuz ayları dışında genel olarak birbirine koşuttur. Ayrıca, ÇS'nun kurak dönem değerleri oldukça değişken bir yapı göstermektedir. Ekim ve Kasım aylarında ÇO değeri ölçülememiştir.

Temiz su yaklaşık olarak %60-80 arasında oksijen içerir. Kirlenmiş sular (atık su) ise genellikle oksijenle daha az doygun hale gelmektedir. ÇS değerleri gözetildiğinde, ÇO miktarının Mayıs ayında %66.5 ve Ağustos ayında %75.5 olup, diğer aylarda %60-80 arandaki değerlerden ya daha düşük ya da yüksek olduğu görülebilir (Şekil 4.3). Buna karşılık, KS için aynı durum incelenirse, ÇO değerleri Mart-Ağustos ayları arasında %60-80 arandında, bu aylar dışında ise düşük ya da yüksek değerlerde görülmektedir. Dolayısıyla ÇO değerleri açısından KS çoğunlukla temiz su olma koşullarını sağlamaktadır.

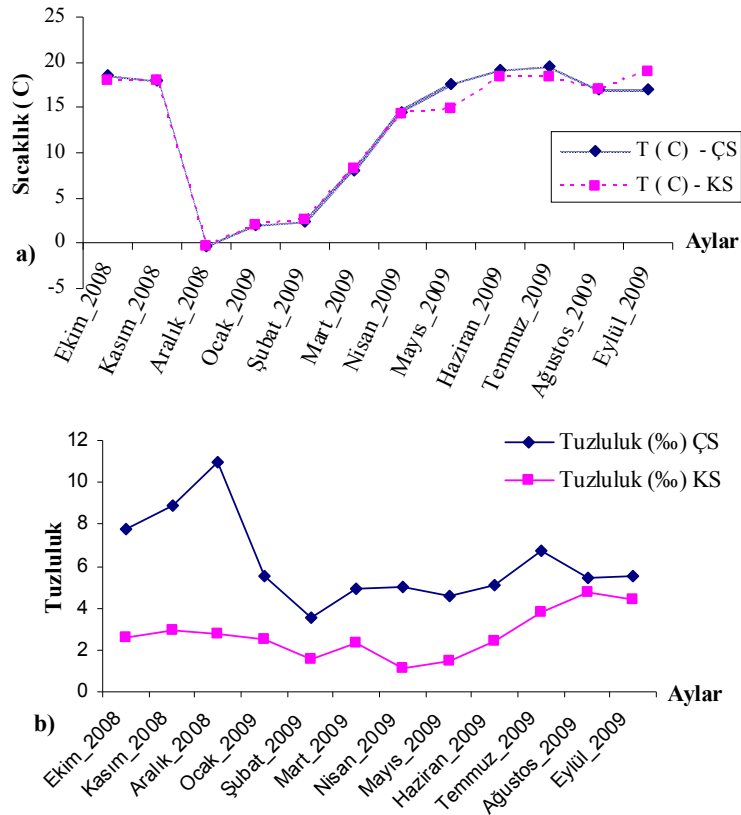


Şekil 4.3. ÇS ve KS için yıllık çözünmüş oksijen miktarı grafiği.

ÇO'in sudaki derişimi, sıcaklık ve tuzluluğun fonksiyonudur. Bu değişkenler ile arasında ters orantı vardır. Buna göre, ÇO değerlerinin artmasına

karşılık, sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin düşmesi gerekir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 incelenirse, sonuçların genel olarak uyumlu olduğu görülür.

Bilindiği üzere su 0° C’de donar. Aralık ayında yapılan sıcaklık ölçümlerinde sıfırın altında değer ölçülmüştür. 2008 yılı itibariyle Aralık ayı en soğuk geçen aylardan biri olup, bu ay için ortalama en düşük sıcaklık -4.2° C’dir (DMİ, 2010). Bunun nedeni, sıcaklığı ölçülen suların soğuk havanın etkisiyle buzlu su halinde olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.4a).



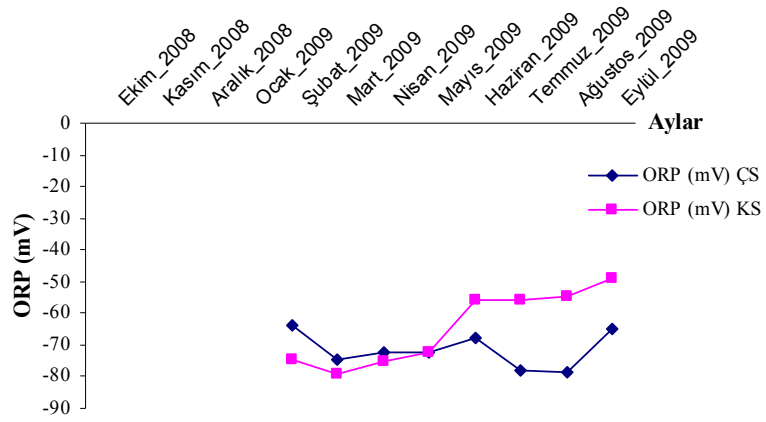
Şekil 4.4. ÇS ve KS için yıllık a) Sıcaklık ve b) Tuzluluk grafiği.

Şekil 4.5’de, ÇS ve KS için ORP değerleri karşılaştırılmıştır. ÇS için ORP değerleri yıllık -64.0 ile -78.8 mV değerleri arasında değişmekte olup, Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksektir. KS için ise ORP değerleri -49.0 ile 79.1 mV değerleri arasında değişmekte ve Mart ayında en yüksektir. ÇS için yıllık ortalama ORP değeri -71.69 mV ve KS için -64.59 mV’tur.

Negatif ORP (-mV) değerleri, sudaki mineral içeriğinin yüksek olduğunun ve organik ayrışma için oksidasyon gücünün azaldığının göstergesidir. Bu nedenle

ve genel olarak pH değerleri de yüksek (Çizelge 4.1) ise ÇS ve KS için suda anaerobik bir ortam olduğu söylenebilir.

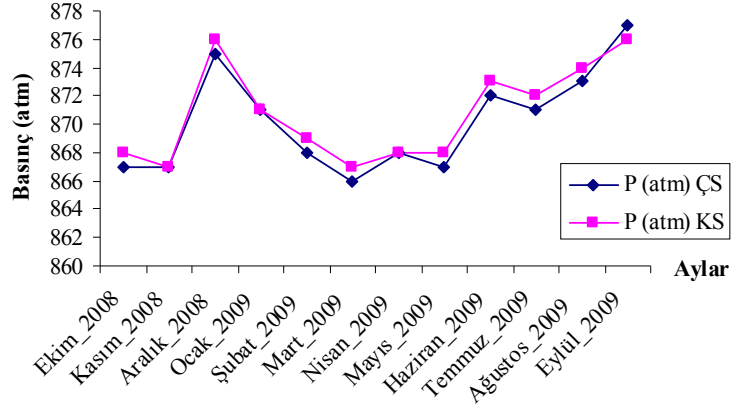
ÇS ve KS için Şubat-Mayıs arasındaki yağışlı dönemde ORP değerlerinde artış gözlenirken, sıcaklıkların en üst değerlere çıktığı Haziran-Eylül arasındaki kurak dönemde ÇS’nda ORP artmakta, KS’nda ise kurak dönemde düşmektedir. ORP değerleri, suda oksijen azalmasına bağlı olarak azalır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.5 denştirilirse, bu durum genel olarak kurak dönemde görülmektedir.



Şekil 4.5. ÇS ve KS için yıllık ORP grafiği.

Şekil 4.6 incelenirse, ÇS ve KS su örneği noktalarında ölçülen basınç değerleri yıl boyunca birbirine koşut bir grafik çizmektedir. ÇS noktasında ölçülen basınç değerleri, kot farkından (yaklaşık 20 m) dolayı KS noktasında ölçülen değerlere göre daha düşüktür. Çünkü yükseklik arttıkça basınç düşer. Yaklaşık 1285 m yükseklikteki ÇS örneği alma noktasında yıllık ortalama basınç değeri 870 atm'dir. KS örneği alınan yerde (yaklaşık 1265 m'de) ise yıllık ortalama basınç değeri 871 atm'dir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.6).

Tuzların çözünürlüğü, genelde (bazı tuzlar hariç) sıcaklıkla artar. Kimi tuzların çözünürlüğü ise belli bir sıcaklığa kadar artar ve bu değerden sonra azalabilir. Oksijen ise suda çok az çözünen bir gaz olup, çözünürlüğü verilen sıcaklıkta atmosfer basıncı ile doğrudan değişir. Ancak su örneği noktalarının birbirlerinden çok uzakta olmaması nedeniyle genel olarak bu sularda çözünürlüğü etkileyen ölçüde bir basınç farkı yoktur.



Şekil 4.6. ÇS ve KS için yıllık basınç grafiği.

Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.6'da, ÇO, tuzluluk, sıcaklık ve basınç arasındaki ilişkiler birlikte irdelenirse ÇO artışının, basınçla doğru, sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiği görülür. ÇO miktarı arttıkça, basınç da artmakta, bunlara karşılık sıcaklık ise düşmektedir. Tuzluluk ise ÇS için sıcaklık arttıkça artmaktadır. Ancak sıcaklık-tuzluluk ilişkisi KS için değişken bir yapı sunar.

4.2. Laboratuvar deneyleri

Laboratuvar deneyleri su ve toprak kimyası analizlerinden oluşmaktadır. Ancak toprak kirliliği çalışmasında sadece ağır metal analizleri yapılmıştır.

4.2.1. Su analizleri

Laboratuvar çalışmasında ÇS, KS ve KÖ sulardan örnekler için yapılan analizler, KOI, BOI, toplam alkalinite, toplam azot, toplam klorür, ağır metal (Fe, Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Hg ve Cr) analizleridir (Çizelge 4.2, 4.3, 4.4).

ÇS ve KS su örnekleri, Ekim 2008-Eylül 2009 arasındaki ayları kapsamaktadır. KÖ su örnekleri ise Kasım 2008 ve Şubat-Haziran-Eylül 2009 aylarını kapsamaktadır (Çizelge 4.5, 4.6, 4.7).

ÇS ve KS su örneklerinin laboratuvar sonuçlarından hazırlanan yıllık sonuç grafikleri Çizelge 4.3, 4.4'de ve Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da sunulmuştur. KÖ su örneklerinin mevsimlik sonuçları ise Çizelge 3.7, 3.8 ve 3.9'da yer almaktadır.

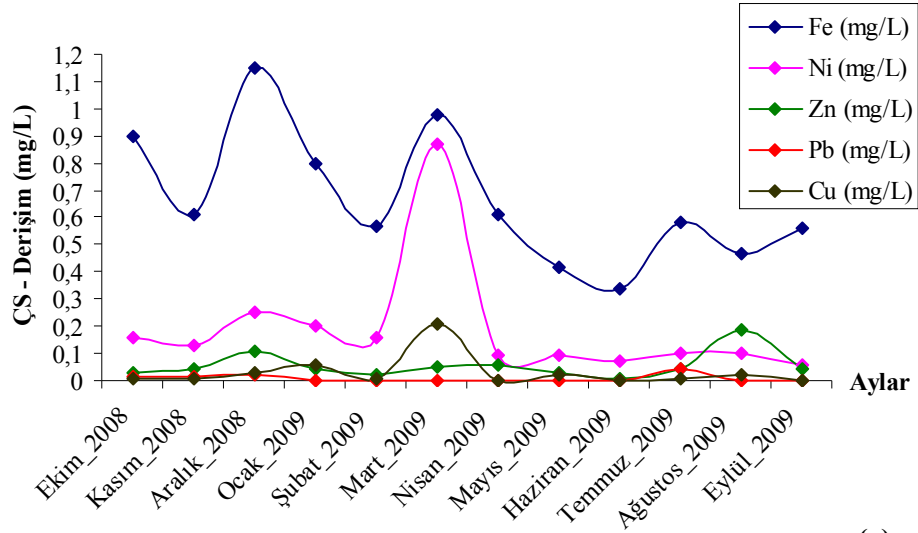
Çizelge 4.2 incelenirse, bir yıl boyunca alınan tüm su örneklerinde yapılan Cd ve Hg analizleri sonucunda bu iki ağır metalin saptanabilir düzeyde bulunmadığı görülür.

Ayrıca son altı ayda, varlığı yine atık sularla ilişkili olan Cr analizleri yapılmıştır. Ancak, ÇS'nda bir miktar (0.03-0.04 mg/L) Cr bulunmasına karşılık, KS su örneklerinde belirlenebilir düzeyde Cr derişimlerine rastlanmamıştır. ÇS ve KS'nda derişimleri (0-0.04 mg/L aralığında) yok denecek kadar az olan diğer bir element ise Pb elementidir.

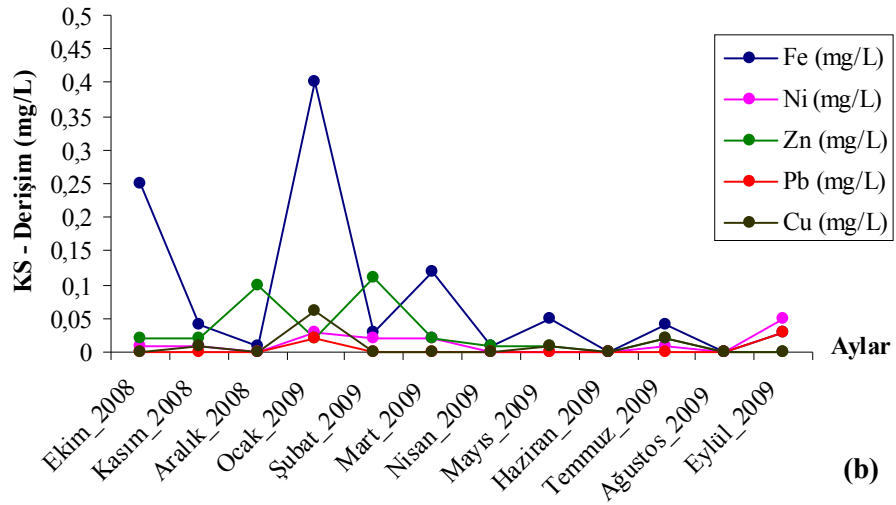
Çizelge 4.2. ÇS-KS su örneklerinin aylık ağır metal analizlerinin laboratuvar sonuçları.

Aylar	Fe (mg/L)		Ni (mg/L)		Zn (mg/L)		Pb (mg/L)		Cu (mg/L)		Hg-Cd (mg/L)		Cr (mg/L)	
	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS
Ekim 2008	0,9	0,25	0,16	0,01	0,03	0,02	0,015	0	0,01	0	-	-		
Kasım 2008	0,61	0,04	0,13	0,01	0,04	0,02	0,015	0	0,01	0,01	-	-		
Aralık 2008	1,15	0,01	0,25	0	0,11	0,1	0,02	0	0,03	0	-	-		
Ocak 2009	0,8	0,4	0,2	0,03	0,04	0,02	0	0,02	0,06	0,06	-	-		
Şubat 2009	0,57	0,03	0,155	0,02	0,02	0,11	0	0	0,01	0	-	-		
Mart 2009	0,98	0,12	0,87	0,02	0,05	0,02	0	0	0,21	0	-	-		
Nisan 2009	0,61	0,01	0,09	0	0,06	0,01	0	0	0	0	-	-	0,03	-
Mayıs 2009	0,42	0,05	0,09	0	0,03	0,01	0	0	0,02	0,01	-	-	0,03	-
Haziran 2009	0,34	0	0,07	0	0,01	0	0	0	0	0	-	-	0,03	-
Temmuz 2009	0,58	0,04	0,1	0,01	0,04	0,02	0,04	0	0,01	0,02	-	-	0,04	-
Ağustos 2009	0,47	0	0,1	0	0,19	0	0	0	0,02	0	-	-	0,04	-
Eylül 2009	0,56	0,03	0,06	0,05	0,04	0	0	0,03	0	0	-	-	0,04	-

Yukarıda sunulan verilere göre ÇS ve KS'nda, ağır metaller açısından en çok Fe, Ni, Zn ve Cu elementleri bulunmaktadır (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.7a). Özellikle Fe, derişimi en yüksek olan ağır metal olup, Fe derişimi ÇS için 0.34-1.15 mg/L değişmektedir ve KS için 0.87 mg/L'den azdır. Diğer ağır metallerin derişimleri genel olarak düşük olmakla birlikte çoğunlukla alıcı ortam standartlarına uygundur. Buna karşılık, bu ağır metal türlerine KS'nda da rastlanmaktadır (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.7b). Ancak derişimleri ÇS'na göre oldukça düşüktür.



(a)



(b)

Şekil 4.7. (a) ÇS için ve (b) KS için yıllık ağır metal derişimleri grafiği.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.8 incelenirse, ÇS ve KS su örneklerinin kirlilik değişkenlerinin riskli derişimlere ulaştığı görülür.

Genellikle temiz veya az kirli sularda BOI, KOI'nin %50'si kadardır. BOI'nin bu değerden düşük olması, ortamda zehirliliğin yüksek olması anlamına gelir. ÇS'nun BOI₅ değerleri 79-675 mg/L ve KOI değerleri ise 381.6-2537.6 mg/L arasında değişmektedir. ÇS'nda genelde en yüksek BOI ve KOI değerleri, Ekim 2008 ile Ocak 2009 arasındaki aylara aittir (Çizelge 4.3 ve Şekil 3.8a). Dolayısıyla genel olarak ÇS'nda BOI değerleri, KOI değerlerinin %50'sinden oldukça düşüktür ve BOI (>100 mg/L) ile KOI (>160 mg/L) değerleri deşarj standartlarının üzerindedir. Bu sonuçlara göre ÇS yüksek oranda zehirlidir.

KS'nun ise BOI₅ değerleri 0-83 mg/L arasında ve KOI değerleri 8.8-195.2 mg/L arasında değişmektedir ve en yüksek BOI ve KOI değerleri Ocak-Şubat-Mart aylarına aittir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.8b). Ancak, bu değerler açısından bakıldığında, KS'nda çok az bir kirlenme riski vardır.

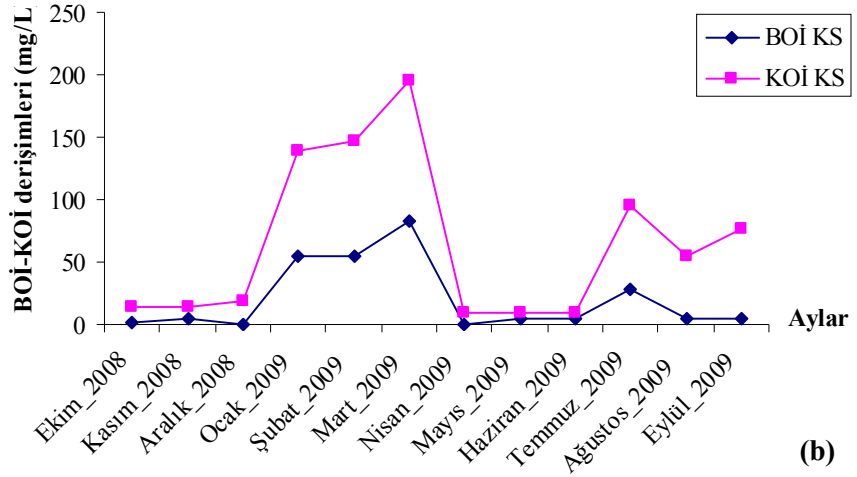
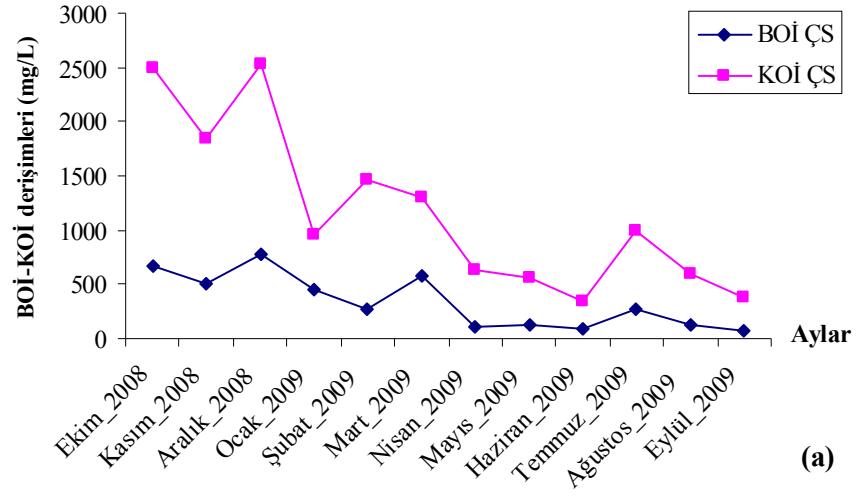
Sızıntı suyundaki BOI/KOI oranları ise biyolojik olarak arıtılabilirliği yansıtır. Yeni sularda bu oran 0.5 dolayındadır ve eski sularda 0.2'lerde olup, daha duraylı hale gelmektedir. Bu oranın yüksek çıkması fazla miktarda organik madde bulunduğunun göstergesi olabilir. Çizelge 4.3 ve Şekil 4.9 incelenirse, bu oran ÇS'nda 0.18-0.46 arasında değişmektedir. Özellikle Şubat ayında BOI/KOI oranının 0.18 değerine düşmüş olması ve ortalama BOI/KOI oranının 0.29 olması sonuçlarına göre, aşağıda sunulan varsayımlar öngörülebilir:

1. ÇS'nda organik madde miktarı fazladır,
2. Organik madde duraylı hale gelmemiştir,
3. ÇS gençtir,
4. ÇS biyolojik olarak arıtılabilir.

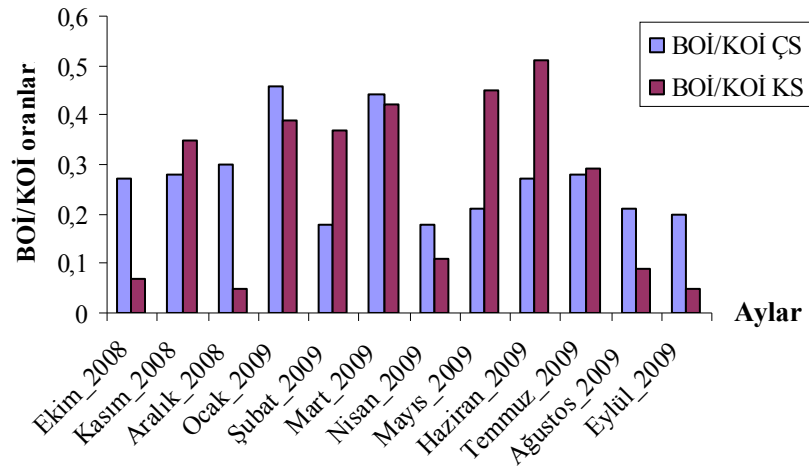
KS'nun BOI/KOI oranları ise 0.05-0.51 arasında değişir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.9). KS'nun Aralık ve Eylül ayında BOI/KOI oranı, 0.05 değerine kadar düşmektedir ve ortalama BOI/KOI oranı 0.26'dır. Bu verilere göre, Kızılırmak sonrasında zaman zaman az da olsa organik madde kirliliği riski bulunmaktadır.

Çizelge 4.3. ÇS-KS su örneklerinin aylık BOI, KOI, toplam Alkalinite, toplam Cl ve toplam N miktarlarının laboratuvar sonuçları ve BOI/KOI oranları.

Aylar	BOI (mg/L)		KOI (mg/L)		Toplam Alkalinite (mg/L)		Toplam Cl (mg/L)		Toplam N (mg/L)		BOI/KOI	
	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS
Ekim_2008	675	1	2502,4	14,7	2850	180	3191,3	918,3	536,85	6,61	0,27	0,07
Kasım_2008	510	5	1851,2	14,2	2850	192	2895,5	825,2	441,05	11,6	0,28	0,35
Aralık_2008	770	1	2537,6	19,5	3350	197	3253,16	850,87	622,48	2,33	0,30	0,05
Ocak_2009	445	54	965,1	139,2	1050	284	1281,6	631,7	622,48	2,33	0,46	0,39
Şubat_2009	265	55	1472	147,2	1100	310	1058,9	361,5	111,4	23,9	0,18	0,37
Mart_2009	580	83	1307	195,2	1650	443	1127,59	369,25	217,2	50,86	0,44	0,42
Nisan_2009	115	1	631	9,3	1300	182	1040,24	123,08	189,7	0	0,18	0,11
Mayıs_2009	120	4	563,2	8,8	1300	174	893,34	178,67	192,5	0,96	0,21	0,45
Haziran_2009	90	5	334,6	9,8	1200	200	1006,96	468,83	221,6	5,02	0,27	0,51
Temmuz_2009	275	28	998,4	96	1650	341	1163,9	468,8	220	4,9	0,28	0,29
Ağustos_2009	125	5	601,9	54,7	1300	168	1081,9	952,9	183	6,5	0,21	0,09
Eylül_2009	79	4	381,6	76,3	1500	518	1216,64	871	420	16,9	0,20	0,05

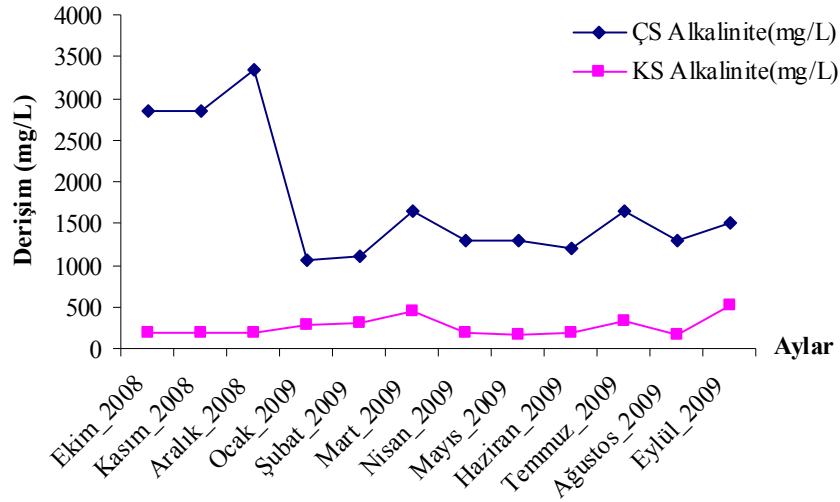


Şekil 4.8. (a) ÇS ve (b) KS için yıllık BOI ve KOI derişimlerini gösteren grafikleri.

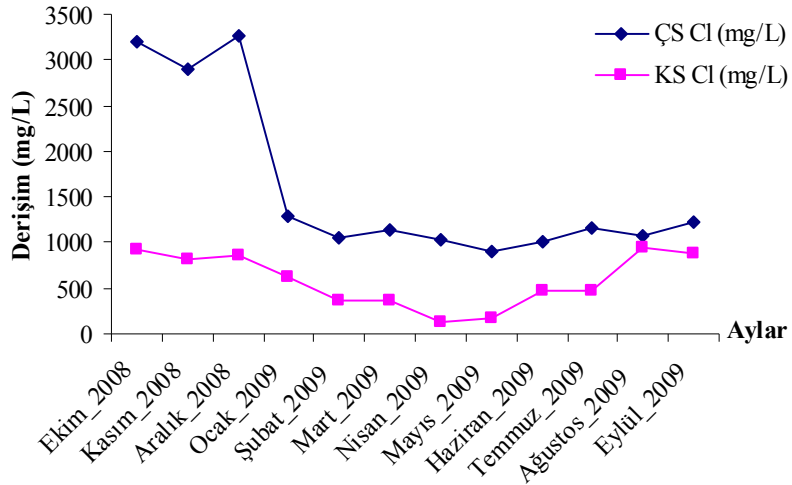


Şekil 4.9. ÇS-KS için yıllık BOI₅/KOI oranları grafiği.

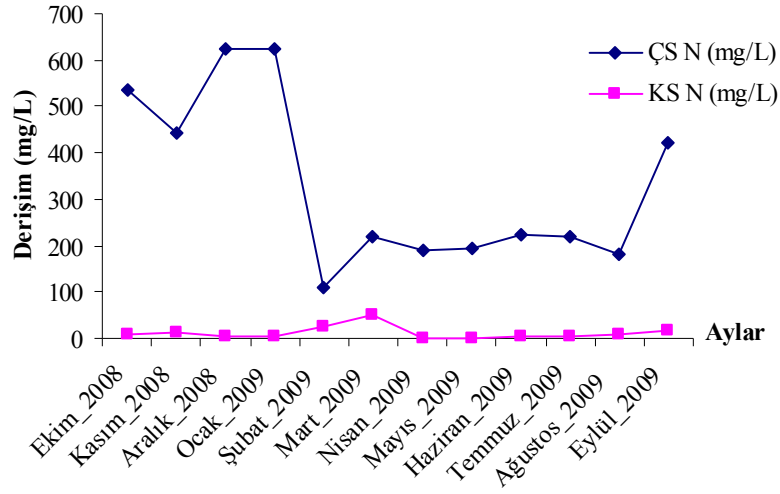
ÇS için Çizelge 4.3 ile Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12 birlikte incelenirse, Aralık ayında toplam bazikliğinin 3350 mg/L ile, toplam klorür 3253.32 mg/L ile ve toplam azot 622.48 mg/L ile en yüksek değerlerde bulunduğu görülür. Toplam alkalinite, Ocak ayında 1050 mg/L ile, toplam klorür Mayıs ayında 893.34 mg/L ile ve toplam azot Ağustos ayında 183 mg/L ile en düşük değerdedir. Ayrıca, ÇS ve KS için genel olarak toplam baziklik, toplam klorür ve toplam azot eğrilerinde, derişim miktarlarının yaklaşık olarak aynı yönde değiştiiği görülür. Bu durum, özellikle Mart ve Ağustos ayları arasındaki dönemde gözlenmektedir.



Şekil 4.10. ÇS ve KS için yıllık Toplam alkalinite derişimleri grafiği.



Şekil 4.11. ÇS ve KS için yıllık Toplam Cl derişimleri grafiği.



Şekil 4.12. ÇS ve KS için yıllık Toplam N derişimleri grafiği.

KÖ mevsimlik su örneklerinden elde edilen arazi ve laboratuvar sonuçlarını gösteren Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6 birlikte incelenirse, önemli derecede çevresel sorun yaratabilecek kirlilik riski bulunmamaktadır.

Çizelge 4.4. KÖ örneklerin mevsimlik arazi ölçüm sonuçları.

Aylar	pH	EC (mS/cm)	ÇO	T (°C)	P (atm)	ORP (mV)
Ekim-2008	7,52	3,88	-	-	-	-
Şubat-2009	8,32	1,89	66,8	7,4	867	-71,3
Mayıs-2009	8,24	9,95	68	15,12	868	-69,2
Ağustos-2009	7,92	7,1	47,9	22,9	870	-50,2
Eylül-2009	8,14	5,79	59,7	17,12	876	-70,8

Çizelge 4.5. KÖ örneklerin mevsimlik su analizleri laboratuvar sonuçları.

Aylar	BOI (mg/L)	KOI (mg/L)	Toplam Alkalinite (mg/L)	Toplam Cl (mg/L)	Toplam N (mg/L)
Ekim-2008	0	0	180	918,3	6,61
Şubat-2009	0	9,2	179	266,6	21,2
Mayıs-2009	0	0	153	0	0
Ağustos-2009	5	18,24	174	987,6	4,6

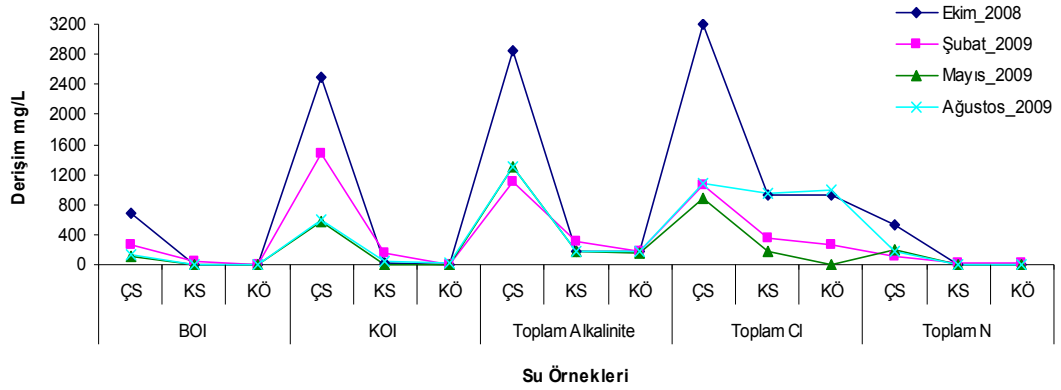
Çizelge 4.6. KÖ örneklerin mevsimlik ağır metal analizleri laboratuvar sonuçları.

Aylar	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)
Ekim-2008	0,21	0,01	0,21
Şubat-2009	0,03	0,02	0,11
Mayıs-2009	0,02	0	0,01
Ağustos-2009	0	0	0

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.13 ile Çizelge 4.8’de KÖ ile ÇS ve KS su örneği sonuçlarının aynı aylar için bir karşılaştırması yapılmıştır. Çizelge 4.7 ve Şekil 4.13’de görüldüğü üzere, ÇS’nda çok yüksek derişimlerde ve deşarj standartları üzerinde olan kirlilik değişkenleri, KS ve KÖ’nde önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca KÖ için BOI ve KOI sonuçları çoğunlukla ölçülebilir düzeyde değildir. Dolayısıyla bu değişkenler çevre için sorun oluşturmamakla birlikte, ağustos ayında biraz artmıştır. KÖ’nde toplam alkalinite, Cl ve N sonuçları ÇS sonuçlarından düşük olup, bu değişkenlerin KS ve KÖ sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın değerlerde olduğu görülür. Ancak mayıs ayında KÖ toplam Cl ve N ölçülebilir düzeyde değildir.

Çizelge 4.7. Su örneklerinin aynı aylar için laboratuvar analizi sonuçları.

Aylar	BOI (mg/L)			KOI (mg/L)			Toplam Alkalinite (mg/L)			Toplam Cl (mg/L)			Toplam N (mg/L)		
	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ
Ekim_2008	675	1	0	2502,4	14,7	0	2850	180	180	3191,3	918,3	918,3	536,85	6,61	6,61
Şubat_2009	265	55	0	1472	147,2	9,2	1100	310	179	1058,9	361,5	266,6	111,4	23,9	21,2
Mayıs_2009	120	4	0	563,2	8,8	0	1300	174	153	893,34	178,67	0	192,5	0,96	0
Ağustos_2009	125	5	5	601,9	54,7	18,24	1300	168	174	1081,9	952,9	987,6	183	6,5	4,6



Şekil 4.13. Su örneklerinin aynı aylar için laboratuvar analizi sonuçları grafikleri.

Çizelge 4.8 incelenirse, KS-KÖ için EC değerleri, ÇS sonuçlarına göre düşük olup, kurak dönemde su örneklerinin EC değerleri artmaktadır. Diğer kirlilik değişkenlerindeki artmalar ve azalmalar ise birbirine paralellik göstermektedir. Negatif ORP değerleri ise KÖ’nde de mineral içeriğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.8. ÇS, KS ve KÖ su örneklerinin aynı aylar için arazi deneyleri sonuçları.

Aylar	pH			EC (mS/cm)			ÇO (%)			Sıcaklık (°C)			ORP (mV)			Basınç (atm)		
	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ	ÇS	KS	KÖ
Ekim2008	8,21	7,63	7,52	11,65	3,92	3,88				18,48	18					867	868	
Şubat2009	8,16	8,03	8,32	5,22	2,28	1,89	86,0	94,8	66,8	2,45	2,66	7,4	-64	-74,9	-71,3	868	869	867
Mayıs2009	8,30	8,30	8,24	6,95	2,25	9,95	66,5	66,8	68	17,6	14,79	15,12	-72,6	-72,6	-69,2	867	868	868
Ağustos2009	8,43	7,95	7,92	8,05	7,09	7,1	75,5	75,1	47,9	17	17	22,9	-78,8	-54,5	-50,2	873	874	870
Eylül2009	8,03	7,75	8,14	8,30	6,57	5,79	46,5	54,0	59,7	17,02	19	17,12	-64,9	-49,0	-70,8	877	876	876

Sızıntı suyu değişken bir bileşime sahip olmasına karşın, endüstriyel atık sulara göre daha geniş bir kirletici yüküne sahiptir. Çizelge 4.9’da bu suların farklı değiklenler için olan kirletici değerler görölmektedir.

Çizelge 4.9. Sızıntı suyu kirletici özellikleri (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 1995).

Değiklenler	Tipik değer	Genel
KOİ, mg/L	18000	3000-45000
BOİ ₅ , mg/L	10000	2000-30000
TOK, mg/L	6000	1500-20000
AKM, mg/L	500	200-1000
Organik Azot, mg/L	200	10-600
Amonyak Azotu, mg/L	200	10-800
Nitrat, mg/L	25	5-40
Toplam Fosfor, mg/L	30	1-70
Orto Fosfat Fosforu, mg/L	20	1-50
Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	3000	1000-10000
pH	6.0	5.3-8.5
Toplam Sertlik, mg CaCO ₃ /L	3500	300-10000
Kalsiyum, mg/L	1000	200-3000
Magnezyum, mg/L	250	50-1500
Potasyum, mg/L	300	200-2000
Sodyum, mg/L	500	200-2000
Klorür, mg/L	500	100-3000
Sülfat, mg/L	300	100-1500
Toplam Demir, mg/L	60	50-600
ZSF (96 saat), %v/v Zehirlilik Seyreltme Faktörü	5	100-0.062

Ayrıca içme suyunda TS-266’ya göre kalsiyum (Ca) miktarı en fazla 200 mg/L ve magnezyum (Mg) miktarı ise en fazla 50 mg/L olması gerekirken, son 7 aylık sonuçlara göre ÇS analizlerinden elde edilen Mg değerleri ve KS analizleri için Ca değerleri oldukça yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. ÇS ve KS su örneklerindeki son 7 aylık Mg ve Ca derişimleri.

AYLAR	Mg mg/L CaCO ₃		Ca mg/L CaCO ₃	
	ÇS	KS	ÇS	KS
Mart_2009	184,6	51,5	248,3	211
Nisan_2009	139,1	15,2	86,7	70,6
Mayıs_2009	125,6	15,1	83,1	78,1
Haziran_2009	185,7	23,9	213,3	233
Temmuz_2009	192	47,3	124,1	291
Ağustos_2009	160,5	32	181,5	373
Eylül_2009	165,4	78,5	134,3	212

Sızıntı suları için iki farklı deşarj standardı vardır. Bu sular için Çizelge 4.11 ve 4.12’de “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (1995)”nde öngörülen alıcı ortam standartları verilmektedir.

Çizelge 4.11’deki standartlar, ÇS sonuçları ile karşılaştırıldığında genel standartları sağladığı görülür. Çizelge 3.12’deki standartlar ise ÇS sonuçları ile karşılaştırıldığında BOI ve KOI dışında diğer standartları sağladığı görülür.

Çizelge 4.11. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (1995)’den düzenlenerek, atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartları (ilgili bölümlerden alıntılar yapıp düzenlenerek).

Değişkenler	Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde	Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde
Sıcaklık (°C)	40	40
pH	6.5-10.0	6.0-10.0
Askıda katı madde (mg/L)	500	350
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	4000	600
Toplam azot (N) (mg/L)	- ^(a)	40
Toplam kurşun (Pb) (mg/L)	3	3
Toplam kadmiyum (Cd) (mg/L)	2	2
Toplam krom (Cr) (mg/L)	5	5
Toplam civa (Hg) (mg/L)	0.2	0.2
Toplam bakır (Cu) (mg/L)	2	2
Toplam nikel (Ni) (mg/L)	5	5
Toplam çinko (Zn) (mg/L)	10	10
Toplam kalay (Sn) (mg/L)	5	5
Toplam gümüş (Ag) (mg/L)	5	5
Cl ⁻ (Klorür) (mg/L)	10000	-
Yüzey aktif maddeler	Biyolojik olarak parçalanması TSE standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

Çizelge 4.12. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (1995)’den düzenlenerek, katı atık değerlendirme ve uzaklaştırma (bertaraf) tesislerinin alıcı ortama deşarj standartları.

Değişkenler	Birim	Kompozit numune 2 Saatlik	Kompozit numune 24 Saatlik
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	(mg/L)	100	50
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	160	100
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	200	100
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Krom (Cr ⁺⁶)	(mg/L)	0.5	0.5
Kurşun (Pb)	(mg/L)	2	1
Kadmiyum (Cd)	(mg/L)	0.1	-
Demir (Fe)	(mg/L)	10	-
Bakır (Cu)	(mg/L)	3	-
Çinko (Zn)	(mg/L)	5	-
pH	-	6-9	6-9

Yukarıda anlatılan ÇS ve KÖ su örneği kirlilik değişkenlerinin, aynı aylar için olan BOI, KOI, alkalinite, klorür, pH ve EC değişkenleri sonuçları, Çizege 4.13'te Atmaca (2004)'nin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre bu değişkenlerin yaklaşık 5 yıl sonraki değerlerinde büyük oranda azalmalar olduğu görülmektedir. ÇS ve KÖ için toplam alkalinite ve ÇS için toplam klorür miktarı çok fazla değişmemiştir. Sadece KÖ'nde toplam klorür miktarı 2.7 kat azalmıştır. pH ve EC değerleri ise biraz artmıştır.

Çizege 4.13. Bu tez çalışması ve Atmaca (2004)'nin çalışmasının aynı aylar için olan BOI, KOI, alkalinite, klorür, pH ve EC sonuçları.

Aylar	BOI (mg/L)		KOI (mg/L)		Toplam Alkalinite (mg/L)		Toplam Cl (mg/L)		pH		EC (mS/cm)	
	ÇS	KÖ	ÇS	KÖ	ÇS	KÖ	ÇS	KÖ	ÇS	KÖ	ÇS	KÖ
Atmaca (2004)												
Ekim_2008	1900	40	3822	93.1	2430	160	2249	1699	8.55	7.92	11.79	6.75
Şubat_2009	955	8	2692	30	1575	165	1684	1540	8.07	7.28	8.69	2.8
Mayıs_2009	900	30	5500	70	1440	230	411	205	8.53	7.06	3.97	1.8
Ağustos_2009	700	14	1650	35	1210	136.5	1480	2446	8.52	7.40	4.10	9.18
Ortalama	1114	23	3416	57	1664	173	1456	1472.5	8.42	7.41	7.14	5.13
Bu çalışma												
Ekim_2008	675	0	2502.4	0	2850	180	3191.3	918.3	8.21	7.52	11.65	3.88
Şubat_2009	265	0	1472	9.2	1100	179	1058.9	266.6	8.16	8.32	5.22	1.89
Mayıs_2009	120	0	563.2	0	1300	153	893.34	0	8.30	8.24	6.95	9.95
Ağustos_2009	125	5	601.9	18.2	1300	174	1081.9	987.6	8.43	7.92	8.05	7.1
Ortalama	296.2	1.25	1284.8	6.8	1637.5	171.5	1556.3	543.1	8.27	8.0	7.97	5.71

Dolayısıyla bu değişkenlerde, önemli miktardaki azalma oranlarına karşın, sızıntı suyundaki kirlenici madde derişimleri deşarj standartlarının hala üzerinde olduğu için bölgede çevre sorunları devam etmektedir.

4.2.2. Toprak analizleri

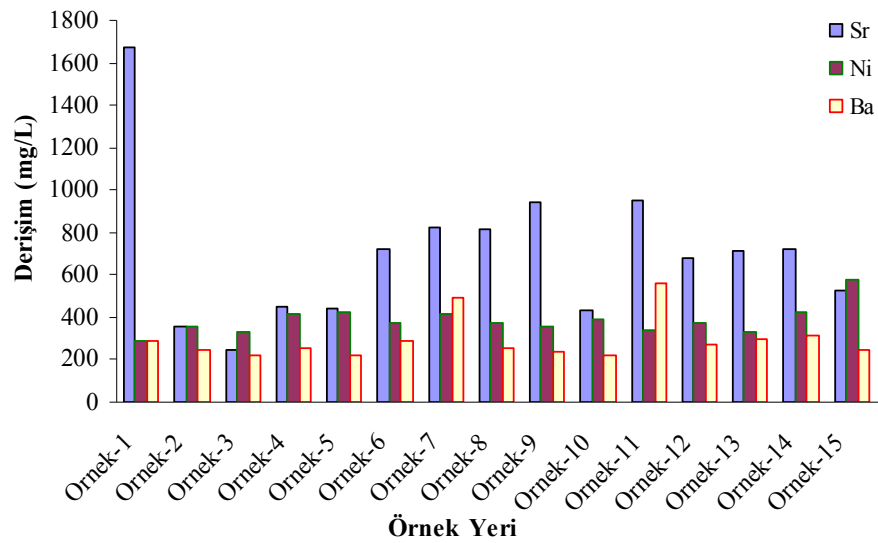
Bu çalışma ile topraktaki ağır metal çeşitleri ve derişimleri belirlenerek, su örneklerindeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca yönetmelikte verilen sınır değerlerini aşp aşmadığı denetlenmiştir.

Toprak analizleri sonucunda elde edilen ağır metallerin derişimlerine ilişkin veriler Çizelge 4.14, 4.15 ve Şekil 4.14, 4.15, 4.16, 4.17'de sunulmuştur. Çizelge 4.14 ile Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 incelenirse, toprak örneklerinde en yüksek derişimli ağır metaller sırasıyla Sr, Ni, Ba (244-1669, 286.8-574.6, 217-556 mg/L veya ppm)'dur. Diğer en çok bulunan elementler sırasıyla Zr, Zn, Co, Cu, Ce, Rb, Pb, La, Al, Ga, Y, U, Fe, W, Ca ve As sayılabilir ve toplam derişimlerinin

ortalaması 9.4-78.7 mg/L aralığında değişir. Geriye kalan elementlerin ise toplam derişimlerinin ortalaması 0 ile 6.63 mg/L aralığında değişir.

Çizelge 4.15 ve Şekil 4.16'da ise toprak örneğine göre yapılan değerlendirmelerde, bu alandaki kirliliğin kayatürlerinden, yani topraktan ileri gelmediği, esas kirliliğin çöpten kaynaklandığı ve Kızıllırmak'a hangi elementlerin karıştığı belirlenebilmektedir. Böylece bu kirliliğin, su analiz sonuçları da gözetilirse, hem toprak hem de akarsular açısından zararlı olduğu söylenebilir. Ancak, Sr, Br, Nb, Zr, I, Ba, La, Hf, Ta, Hg, Tl, Bi, Th, Mn, Ti, Ta, Ge, Se, Ca, Cl ve Al elementleri için spider diyagramı çerçevesinde incelenirse, bu elementlerin çoğunlukla bölgedeki kayatürlerinden kaynaklandığı görülür. Topraktaki çöp kaynaklı kirliliğe ise çoğunlukla Co, Ni, Zn, Cu, Ga, As, Rb, Y, Mo, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ce, W, Pb, U, Fe, K, Cr, Mg, V ve P elementleri neden olur (EK 1).

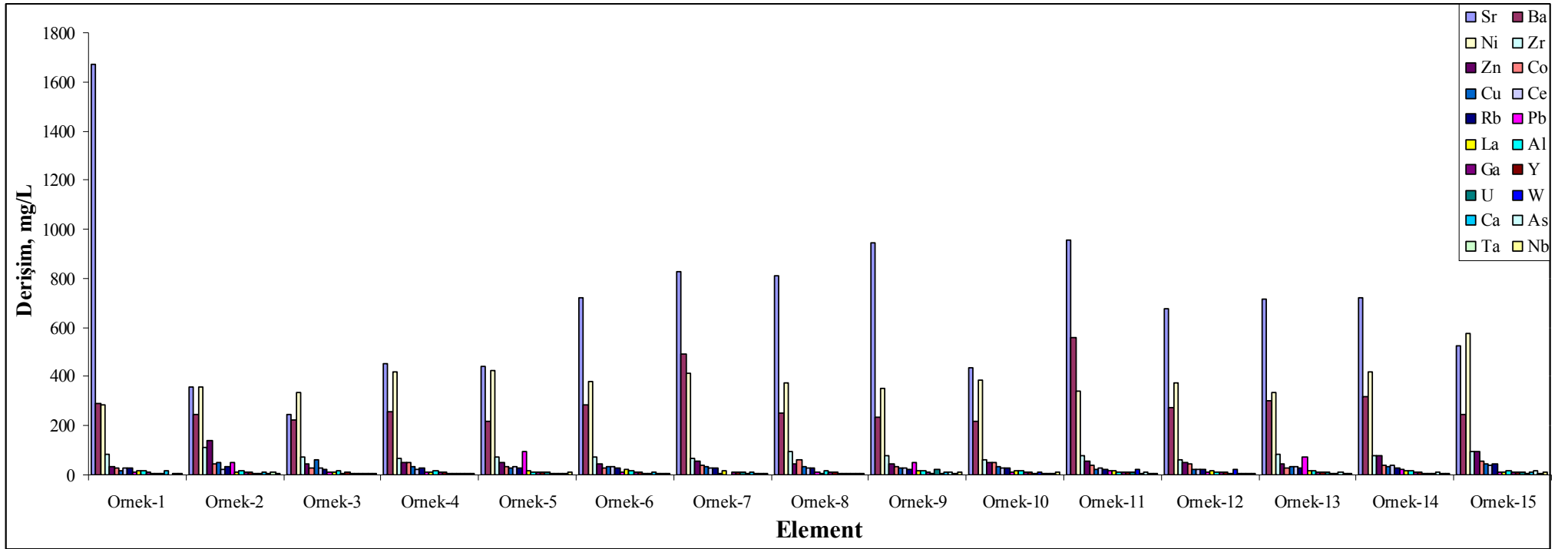
Sr elementinin çok yüksek bir derişim göstermesinin nedeni jeolojik yaş olarak bölgede egemen olan Oligosen-Miyosen yaşlı Hafik Formasyonu'nda yer alan jipslerden kaynaklanır. ÇS ve KS su örneklerinde analizleri yapılan ağır metaller sınırlıdır. Ancak su örneklerinde analizi yapılan diğer kirlilik değişkenleri dikkate alınır, aynı kirleticilerin Kızıllırmak'a ulaşmış olma olasılığı da bulunmaktadır (Çizelge 4.16, 4.17, 4.18 ve Şekil 4.16, 4.17, 4.18).



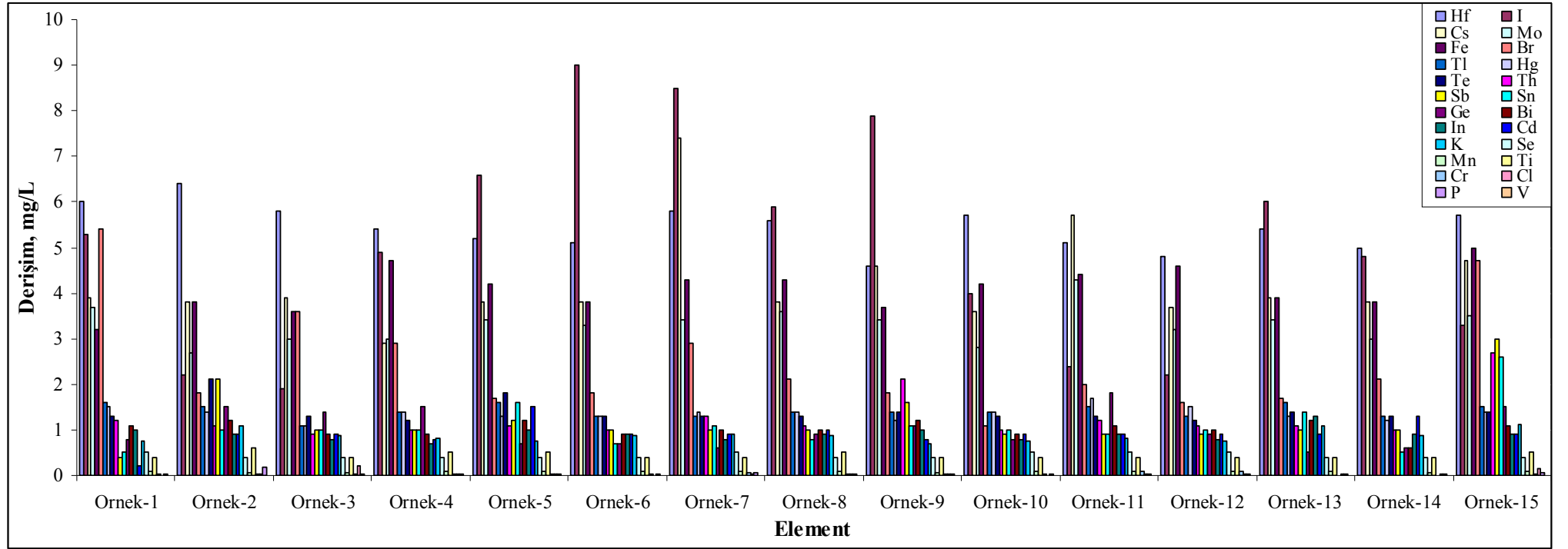
Şekil 4.14. Toprak örneklerinde en yüksek oranda bulunan üç elementin örnek yerlerine göre derişimlerini gösteren histogramı (Örneklerin topoğrafik haritadaki konumları ise Şekil 2.7'de sunulmuştur).

Çizelge 4.14. Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçları.

Element	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U	Fe	Cr	Mn	Ti	Ca	K	V	Cl	P	Al	
Birim	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ornek-1	26,2	286,8	17,8	32	9,3	0,8	2,3	0,5	5,4	26,7	1669	6,8	81,4	7,6	3,7	0,2	1	0,5	0,4	1,3	5,3	3,9	292	18	26	6	8	7,6	1,5	1,6	9,1	1,1	1,2	2,9	3,2	0,03	0,1	0,4	19	0,8	0,01	0,01	0,02	18,8	
Ornek-2	43,2	358	52,1	141	10,8	1,5	6,8	0,4	1,8	32,9	359	11,1	112	8	2,7	0,9	0,9	1	2,1	2,1	2,2	3,8	244	14	25	6,4	8,4	7,3	1,4	1,5	50,1	1,2	1,1	8,1	3,8	0,03	0,07	0,6	10,5	1,1	0,01	0,03	0,17	14,5	
Ornek-3	26,6	335	59,7	42,5	7,8	1,4	5,1	0,4	3,6	22,5	244	8,4	70,2	6,6	3	0,9	0,8	1	1	1,3	1,9	3,9	224	13	30	5,8	8,2	7,1	1,1	1,1	12,5	0,9	0,9	7,2	3,6	0,03	0,06	0,4	6,96	0,9	0,01	0,22	0,02	15,3	
Ornek-4	47,9	418,7	34,2	48,2	11,1	1,5	6	0,4	2,9	29,2	452	11,8	66,9	5,4	3	0,8	0,7	1	1	1,2	4,9	2,9	259	14	24	5,4	8,1	7,3	1,4	1,4	10,1	0,9	1	6,9	4,7	0,04	0,09	0,5	7,9	0,8	0,01	0,02	0,03	15,5	
Ornek-5	31,5	426,3	30,3	50,5	10,1	0,7	5,2	0,4	1,7	26,5	441	10,3	74,9	13	3,4	1,5	1	1,6	1,2	1,8	6,6	3,8	219	17	34	5,2	7,8	7,1	1,3	1,6	97,5	1,2	1,1	13,1	4,2	0,045	0,08	0,5	7,52	0,8	0,01	0,04	0,02	13,3	
Ornek-6	30,3	377,6	32,9	43,4	9,9	0,7	4,3	0,4	1,8	27	718	9,7	74,7	3,3	3,3	0,9	0,9	0,7	1	1,3	9	3,8	286	20	34	5,1	7,5	7	1,3	1,3	10,1	0,9	1	8,2	3,8	0,03	0,08	0,4	8,54	0,9	0,01	0,01	0,04	14,3	
Ornek-7	40,5	413,4	35,7	55,3	9,7	0,6	4,6	0,5	2,9	28,9	825	9,5	68,6	5,3	3,4	0,9	0,8	1,1	1	1,3	8,5	7,4	493	19	29	5,8	8,1	7,1	1,4	1,3	7,2	1	1,3	12	4,3	0,05	0,09	0,4	8,68	0,9	0,01	0,03	0,06	1,8	
Ornek-8	62,4	373,5	35,3	44,7	11	0,9	5,8	0,4	2,1	27,8	813	10,3	95,8	8,3	3,6	1	0,9	0,8	1	1,3	5,9	3,8	253	7,9	30	5,6	7,9	6,8	1,4	1,4	10,9	1	1,1	7,8	4,3	0,04	0,09	0,5	7,57	0,9	0,01	0,03	0,03	15,2	
Ornek-9	33	354,2	25,6	42,8	9,5	1,1	12,7	0,4	1,8	22,9	945	6,1	76,8	9,3	3,4	0,8	1	1,1	1,6	1,4	7,9	4,6	234	15	27	4,6	6,9	7,1	1,2	1,4	51,4	1,2	2,1	21	3,7	0,04	0,07	0,4	13,6	0,7	0,01	0,03	0,02	16,8	
Ornek-10	50,4	387,2	33,8	48,2	11	0,8	4,8	0,5	1,1	27	436	9,7	61,6	8,9	2,8	0,9	0,8	1	0,9	1,3	4	3,6	217	16	30	5,7	8	9,3	1,4	1,4	13,2	0,9	1	8,2	4,2	0,045	0,09	0,4	7,53	0,8	0,01	0,01	0,03	14,2	
Ornek-11	38,2	338,7	23,1	55,1	10	1,8	10,1	0,5	2	24,2	954	9,4	79,6	3,9	4,3	0,9	0,9	0,9	0,9	1,3	2,4	5,7	556	14	25	5,1	7,6	23,6	1,7	1,5	18,1	1,1	1,2	8,4	4,4	0,08	0,1	0,4	7,44	0,8	0,01	0,04	0,04	13,2	
Ornek-12	43,7	373,6	20	49,5	8,6	0,9	3,8	0,5	1,6	24,6	677	8,8	59,2	3,2	3,2	0,9	0,8	1	0,9	1,2	2,2	3,7	273	16	21	4,8	7,7	22,4	1,5	1,3	9,5	1	1,1	7,7	4,6	0,1	0,09	0,4	7,92	0,8	0,01	0,02	0,03	12	
Ornek-13	29,4	334,6	31,8	45,4	10,8	0,5	12,1	0,4	1,7	30,5	713	9,2	82,5	3,6	3,4	0,9	1,3	1,4	1	1,4	6	3,9	300	18	32	5,4	7,5	6,8	1,3	1,6	70,4	1,2	1,1	10,2	3,9	0,009	0,08	0,4	7,6	1,1	0,01	0,02	0,03	18,2	
Ornek-14	37,3	421,8	33,4	75,5	10,8	0,6	13,8	0,4	2,1	30	722	9,1	78,9	3,6	3	1,3	0,9	0,5	1	1,3	4,8	3,8	316	19	39	5	7,2	6,7	1,2	1,3	20,1	0,6	1	8,3	3,8	0,009	0,07	0,4	7,81	0,9	0,01	0,02	0,03	16,2	
Ornek-15	54,2	574,6	42,2	97,6	10,2	1,5	17,1	0,4	4,7	42,4	527	12,4	97,5	9,7	3,5	0,9	0,9	2,6	3	1,4	3,3	4,7	246	11	39	5,7	7,7	6,5	1,4	1,5	12,6	1,1	2,7	11	5	0,04	0,08	0,5	9,42	1,1	0,01	0,14	0,05	14,8	



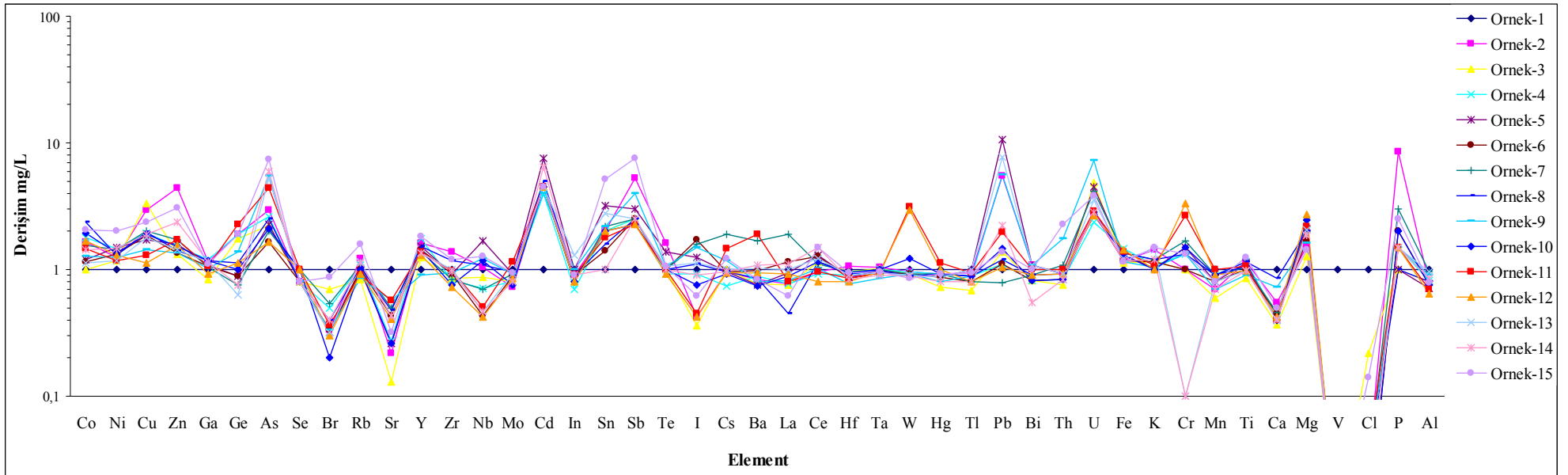
Şekil 4.15. Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçlarının Histogramı-1 değerlendirmesi.



Şekil 4.16. Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçlarının devamı olan Histogramı-2 değerlendirmesi.

Çizelge 4.15. Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçları Spider diyagramı için hazırlanan derişim değerleri.

Element Birim	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U	Fe	Cr	Mn	Ti	Ca	K	V	Cl	P	Al			
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
Örnek-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Örnek-2	1,7	1,3	2,9	4,4	1,2	1,9	2,96	0,8	0,3	1,2	0,2	1,6	1,4	1,05	0,7	4,5	0,9	2	5,25	1,6	0,42	1	0,8	0,8	1	1,07	1,05	1	0,9	0,9	5,5	1,1	0,9	2,8	1,2	1	0,7	1,2	0,6	1,44	0,01	0,03	8,5	0,77			
Örnek-3	1	1,2	3,4	1,3	0,8	1,8	2,22	0,8	0,7	0,8	0,1	1,2	0,9	0,87	0,8	4,5	0,8	2	2,5	1	0,36	1	0,8	0,8	1,2	0,97	1,03	0,9	0,7	0,7	1,4	0,8	0,8	4,8	1,1	1	0,6	0,9	0,4	1,16	0,01	0,22	1	0,81			
Örnek-4	1,8	1,5	1,9	1,5	1,2	1,9	2,61	0,8	0,5	1,1	0,3	1,7	0,8	0,71	0,8	4	0,7	2	2,5	0,9	0,92	0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	1,01	1	0,9	0,9	1,1	0,8	0,8	2,4	1,5	1,3	0,9	1,2	0,4	1,08	0,01	0,02	1,5	0,82			
Örnek-5	1,2	1,5	1,7	1,6	1,1	0,9	2,26	0,8	0,3	1	0,3	1,5	0,9	1,67	0,9	7,5	1	3,2	3	1,4	1,25	1	0,8	1	1,3	0,87	0,98	0,9	0,9	1	11	1,1	0,9	4,5	1,3	1,5	0,8	1,1	0,4	1,03	0,01	0,04	1	0,71			
Örnek-6	1,2	1,3	1,9	1,4	1,1	0,9	1,65	0,8	0,3	1	0,4	1,4	0,9	0,43	0,9	4,5	0,9	1,4	2,5	1	1,7	1	1	1,1	1,3	0,85	0,94	0,9	0,9	0,8	1,1	0,8	0,8	2,8	1,2	1	0,8	1	0,5	1,16	0,01	0,01	2	0,76			
Örnek-7	1,6	1,4	2	1,7	1	0,8	2	1	0,5	1,1	0,5	1,4	0,8	0,7	0,9	4,5	0,8	2,2	2,5	1	1,6	1,9	1,7	1,9	1,1	0,97	1,01	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	1,1	4,1	1,3	1,7	0,9	1,1	0,5	1,2	0,01	0,03	3	0,96			
Örnek-8	2,4	1,3	2	1,4	1,2	1,1	2,52	0,8	0,4	1	0,5	1,5	1,2	1,09	1	5	0,9	1,6	2,5	1	1,11	1	0,9	0,5	1,2	0,93	0,99	0,9	0,9	0,9	1,2	0,9	0,9	2,7	1,3	1,3	0,9	1,2	0,9	1,19	0,01	0,03	1	0,81			
Örnek-9	1,3	1,2	1,4	1,3	1	1,4	5,52	0,8	0,3	0,9	0,6	0,9	0,9	1,22	0,9	4	1	2,2	4	1,1	1,5	1,2	0,8	0,8	1	0,77	0,86	0,9	0,8	0,9	5,7	1,1	1,8	7,2	1,2	1,3	0,7	0,9	0,7	1,04	0,01	0,03	1,5	0,9			
Örnek-10	1,9	1,4	1,9	1,5	1,2	1	2,09	1	0,2	1	0,3	1,4	0,8	1,17	0,8	4,5	0,8	2	2,25	1	0,75	0,9	0,7	0,9	1,1	0,95	1	1,2	0,9	0,9	1,5	0,8	0,8	2,8	1,3	1,5	0,9	1,1	0,4	1,01	0,01	0,01	2	0,75			
Örnek-11	1,5	1,2	1,3	1,7	1,1	2,3	4,4	1	0,4	0,9	0,6	1,4	1	0,51	1,2	4,5	0,9	1,8	2,25	1	0,45	1,5	1,9	0,8	1	0,85	0,95	3,1	1,1	0,9	2	1	1	2,9	1,4	2,7	1	1,1	0,4	1,08	0,01	0,04	1,5	0,7			
Örnek-12	1,7	1,3	1,1	1,6	0,9	1,1	1,65	1	0,3	0,9	0,4	1,3	0,7	0,42	0,9	4,5	0,8	2	2,25	0,9	0,42	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,96	3	1	0,8	1	0,9	0,9	2,7	1,4	3,3	0,9	1	0,4	1	0,01	0,02	1,5	0,64			
Örnek-13	1,1	1,2	1,8	1,4	1,2	0,6	5,26	0,8	0,3	1,1	0,4	1,4	1	0,47	0,9	4,5	1,3	2,8	2,5	1,1	1,13	1	1	1	1,2	0,9	0,94	0,9	0,9	1	7,7	1,1	0,9	3,5	1,2	0,2	0,8	1	0,4	1,44	0,01	0,02	1,5	0,97			
Örnek-14	1,4	1,5	1,9	2,4	1,2	0,8	6	0,8	0,4	1,1	0,4	1,3	1	0,47	0,8	6,4	0,9	1	2,5	1	0,9	1	1,1	1,1	1,5	0,83	0,9	0,9	0,8	0,8	2,2	0,6	0,8	2,9	1,2	0,2	0,7	1	0,4	1,19	0,01	0,02	1,5	0,86			
Örnek-15	2,1	2	2,4	3,1	1,1	1,9	7,43	0,8	0,9	1,6	0,3	1,8	1,2	1,28	1	4,5	0,9	5,2	7,5	1,1	0,62	1,2	0,8	0,6	1,5	0,95	0,96	0,9	0,9	0,9	1,4	1	2,3	3,8	1,2	1,3	0,8	1,2	0,5	1,48	0,01	0,14	2,5	0,79			

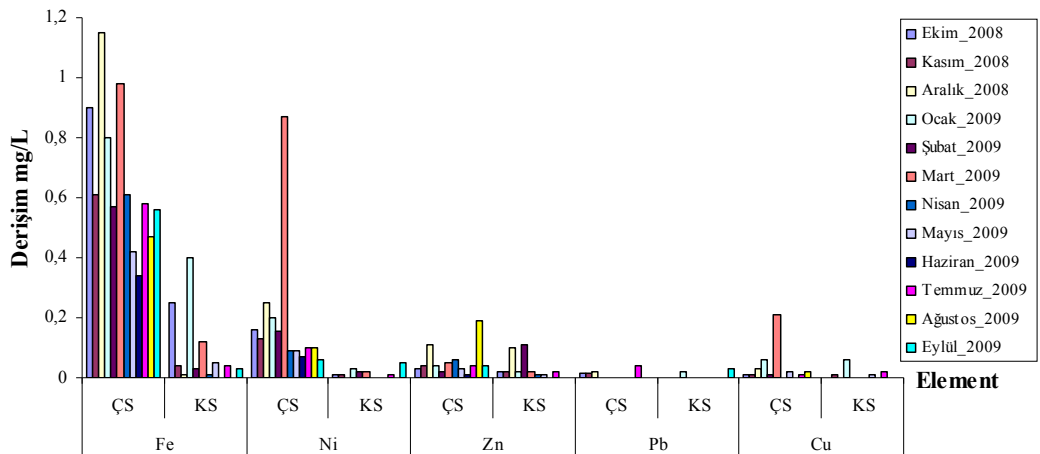


Şekil 4.17. Toprak örneklerinin ağır metal analizleri sonuçlarının Spider diyagramındaki dağılımı.

Su analizlerinde ağır metaller açısından sadece Fe, Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Hg ve Cr için analizler yapılmıştır (Çizelgesi 4.16 ve Şekil 4.18). Hg ve Cd belirlenebilir düzeyde değildir. Cr ise son 6 aylık örnekler için analiz edilmiştir. Bu nedenle Çizelge 4.16’da Cd, Hg ve Cr yer almamaktadır. Çizelge 4.16’daki sonuçlar, toprak sonuçları ile karşılaştırma yapmak amacıyla tekrar değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.16. ÇS-KS su örneklerinin ağır metal derişimleri.

Aylar	Fe (mg/L)		Ni (mg/L)		Zn (mg/L)		Pb (mg/L)		Cu (mg/L)	
	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS	ÇS	KS
Ekim_2008	0,9	0,25	0,16	0,01	0,03	0,02	0,015	0	0,01	0
Kasım_2008	0,61	0,04	0,13	0,01	0,04	0,02	0,015	0	0,01	0,01
Aralık_2008	1,15	0,01	0,25	0	0,11	0,1	0,02	0	0,03	0
Ocak_2009	0,8	0,4	0,2	0,03	0,04	0,02	0	0,02	0,06	0,06
Şubat_2009	0,57	0,03	0,155	0,02	0,02	0,11	0	0	0,01	0
Mart_2009	0,98	0,12	0,87	0,02	0,05	0,02	0	0	0,21	0
Nisan_2009	0,61	0,01	0,09	0	0,06	0,01	0	0	0	0
Mayıs_2009	0,42	0,05	0,09	0	0,03	0,01	0	0	0,02	0,01
Haziran_2009	0,34	0	0,07	0	0,01	0	0	0	0	0
Temmuz_2009	0,58	0,04	0,1	0,01	0,04	0,02	0,04	0	0,01	0,02
Ağustos_2009	0,47	0	0,1	0	0,19	0	0	0	0,02	0
Eylül_2009	0,56	0,03	0,06	0,05	0,04	0	0	0,03	0	0

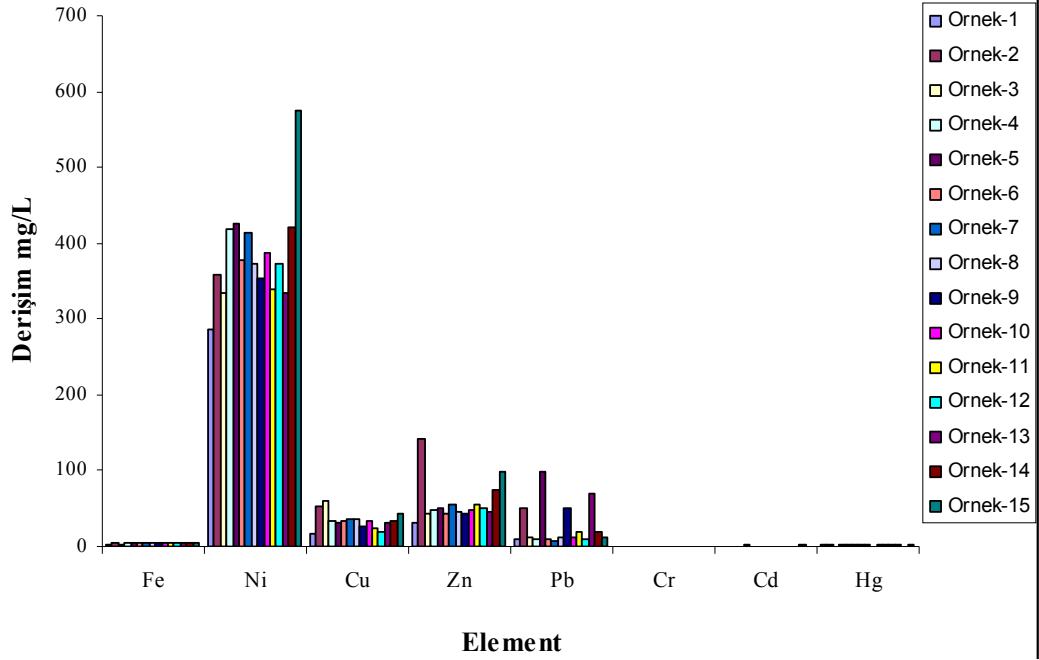


Şekil 4.18. ÇS-KS su örneklerinin aylık ağır metal derişimlerinin histogramı.

Çizelgesi 4.16 ve Şekil 4.18 incelenirse ve toprak örnekleri için yapılan Fe, Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Hg ve Cr analizleri ile karşılaştırılırsa, Çizelgesi 4.17 ve Şekil 4.19’da görüldüğü üzere, aynı elementler için topraktaki derişimlerin daha yüksek olduğu görülür.

Çizelge 4.17. Toprak analizlerinin Fe, Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Hg ve Cr elementi içerikleri.

Element	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Hg
Birim	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ornek-1	3,2	286,8	17,8	32	9,1	0,03	0,2	1,5
Ornek-2	3,8	358	52,1	141	50,1	0,03	0,9	1,4
Ornek-3	3,6	335	59,7	42,5	12,5	0,03	0,9	1,1
Ornek-4	4,7	418,7	34,2	48,2	10,1	0,04	0,8	1,4
Ornek-5	4,2	426,3	30,3	50,5	97,5	0,045	1,5	1,3
Ornek-6	3,8	377,6	32,9	43,4	10,1	0,03	0,9	1,3
Ornek-7	4,3	413,4	35,7	55,3	7,2	0,05	0,9	1,4
Ornek-8	4,3	373,5	35,3	44,7	10,9	0,04	1	1,4
Ornek-9	3,7	354,2	25,6	42,8	51,4	0,04	0,8	1,2
Ornek-10	4,2	387,2	33,8	48,2	13,2	0,045	0,9	1,4
Ornek-11	4,4	338,7	23,1	55,1	18,1	0,08	0,9	1,7
Ornek-12	4,6	373,6	20	49,5	9,5	0,1	0,9	1,5
Ornek-13	3,9	334,6	31,8	45,4	70,4	0,009	0,9	1,3
Ornek-14	3,8	421,8	33,4	75,5	20,1	0,009	1,3	1,2
Ornek-15	5	574,6	42,2	97,6	12,6	0,04	0,9	1,4

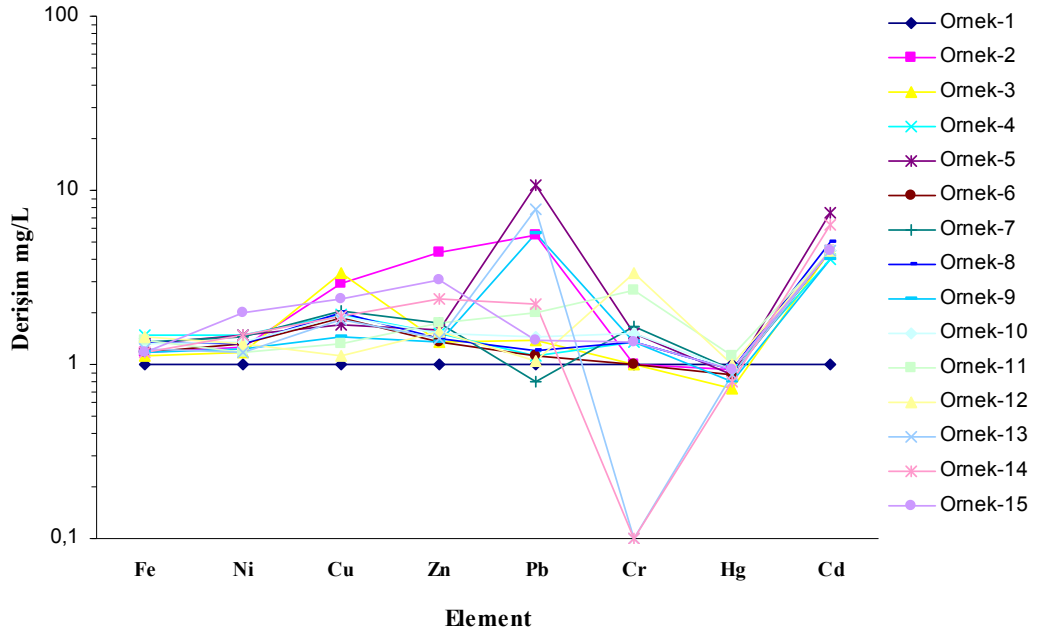


Şekil 4.19. Toprak analizlerinin sadece Fe, Pb, Ni, Zn, Cu, Cd, Hg ve Cr elementi içerikleri histogramı.

Toprak analizlerinin aynı ağır metaller için hazırlanan Spider diyagramı değerlendirmesi ise Çizelge 4.18 ve Şekil 4.20’de sunulmuştur.

Çizelge 4.18. Bazı ağır metallerin Spider diyagramı için hazırlanan derişimleri.

Element	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Hg	Cd	Mg	Mn	Ca
Birim	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ornek-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ornek-2	1,18	1,25	2,93	4,42	5,5	1	0,93	4,5	1,52	0,7	0,55
Ornek-3	1,13	1,17	3,35	1,33	1,37	1	0,73	4,5	1,26	0,6	0,37
Ornek-4	1,47	1,46	1,92	1,51	1,11	1,33	0,93	4	2,33	0,9	0,42
Ornek-5	1,31	1,49	1,7	1,58	10,7	1,5	0,87	7,5	2,11	0,8	0,4
Ornek-6	1,18	1,32	1,85	1,36	1,11	1	0,87	4,5	1,67	0,8	0,45
Ornek-7	1,34	1,44	2,01	1,73	0,79	1,67	0,93	4,5	2,18	0,9	0,46
Ornek-8	1,34	1,3	1,98	1,4	1,19	1,33	0,93	5	2	0,9	0,85
Ornek-9	1,16	1,24	1,44	1,34	5,65	1,33	0,8	4	1,63	0,7	0,72
Ornek-10	1,31	1,35	1,9	1,51	1,45	1,5	0,93	4,5	2,44	0,9	0,4
Ornek-11	1,38	1,18	1,3	1,72	1,99	2,67	1,13	4,5	2,18	1	0,4
Ornek-12	1,44	1,3	1,12	1,55	1,04	3,33	1	4,5	2,74	0,9	0,42
Ornek-13	1,22	1,17	1,79	1,42	7,73	0,1	0,87	4,5	2,07	0,8	0,4
Ornek-14	1,18	1,47	1,88	2,36	2,21	0,1	0,8	6,4	1,85	0,7	0,41
Ornek-15	1,16	2	2,37	3,05	1,38	1,33	0,93	4,5	1,44	0,8	0,5



Şekil 4.20. Çizelge 4.15’deki ağır metal derişimleri için hazırlanan Spider diyagramı.

Yukarıda aynı toprak ve su analiz sonuçları açısından anlatılan karşılaştırmalarda topraktaki ağır metal derişimlerinin oldukça yüksek olmasına karşılık su sonuçlarında bu değerlerin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Ancak su örneklerinde yapılan diğer kirlilik analizleri (BOI, KOI, Cl, N, Alkalinite vd.) gözetilirse su ortamında oldukça riskli boyutlarda kirliliğin olduğu görülür. Bu

durumda toprak sonuçlarındaki ağır metal derişimlerinin yüksek olmasının nedeni, toprağın kirleticileri tutma, süzme gibi özellikleri nedeniyle bu maddeleri zaman içinde biriktirebilmesi ile açıklanabilir.

Ağır metallerin topraktaki derişimlerinin artması sonucunda bitki gelişimi ve kalitesi bozulmakta ve topraktan alınan verim azalmaktadır. Alıcı ortam olarak toprak kirliliğinin önlenmesi için Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (TKKY) (2005)'nin gerekleri yerine getirilmelidir.

Yönetmelikte toprak, minerallerin ve organik artıkların parçalanarak ayrışması sonucu oluşan, yeryüzünü ince bir katman halinde örten, doğal ve canlı bir kaynağı ifade eder.

Toprak kirliliği ise toprağın, insan etkinlikleri sonucu oluşan çeşitli kirletici unsurlar tarafından oluşturulan ve toprakta yetişen ve yetiştirilen bitkilere ya da bu bitkilerle beslenen hayvanlara toksik etkide bulunacak ve zarar verecek düzeyde bulunmasını, toprağa katılan kimyasalların toprağın özümleme kapasitesinin üzerine çıkması ve toprağın verimliliğinin yitirilmesini ifade eder. TKKY, atıkların toprakta denetimli kullanımı, toprak kirliliğinin giderilmesi ile arıtma çamurlarının ve kompostun toprakta kullanımını hususlarını düzenler.

Buna göre toprak kirleticilerin sınır değerleri yönetmelikte belirtilen ve aynı yönetmeliğin EK IA, EK IB, EK II ve EK III'de sunulan sınır değerlerini aşmamalıdır (TKKY, 2005).

5. DEPONİ ALANINDA YAPILAN JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

İnceleme alanında, 2007 yılında başlanan arıtma tesisi havuzlarının inşaatı 2010 yılı itibariyle devam etmektedir (Resim 5.1). Havuzların yapım çalışmaları zaman zaman durdurulduğu için düzenli depolamaya geçiş ya da bu alanın kullanıma açılması uzun bir dönemde gerçekleşmeyebilir. Bu nedenle Kızılırmak'a sızıntı suyu akması ve deponi alanındaki yangınlar her yıl olduğu gibi devam etmektedir (Resim 5.2).

Son yıllarda çöplerin deponi alanının batı bölümüne boşaltılması ya da çöplüğün doğusundan havuzlara doğru giden bir yol yapımının devam ediyor olması nedeniyle yangınlar, deponi alanının batısında olmaktadır. İnşaat alanının batısında yapılmış ve inşaatı devam eden drenaj kanalı boyunca (Resim 5.3) çöp sızıntı suları Haçın deresi ile taşınarak Kızılırmak'a deşarj edilmektedir (Resim 5.4 ve 5.5). Ancak drenaj kanalı ile ilgili düzenlemeler devam ettiğinden kanalın geçtiği yerlerde de sızıntılar olabileceği düşünülmektedir (Resim 5.3a). Çöplük ile havuz inşaat alanı arasında kalan bölümde atıksu birikmiş göletler vardır (Resim 5.3b).

Arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemlerde suyun rengindeki koyuluğun, suyun akıcılığının ya da debisinin de kimi zaman değiştiği gözlenmiştir. Bu durum, düzensiz depolama alanına bırakılan çöplerin içeriği ile ilgili olabileceği gibi, yağışlı dönemlerde yağış sularının süzülüp Haçın deresine karışması sonucunda bu suların çöp suyunu seyreltmesi ile ilgili olabilir.

İnşaatı devam eden drenaj kanalı boyunca Haçın deresi aracılığı ile ve inşaatı devam eden kanal boyunca Kızılırmak'a taşınmaktadır. Sızıntı suları, içinde taşıdığı mineralleri içinden geçtiği formasyona bırakılmaktadır ve yolu dışında da formasyon içinde geçirimli yerlerden sızarak yayılmaktadır. Yüzeyle veya yerin sığ derinliklerinde toprağa karışan mineralli sızıntı suları formasyonun özdirencini düşürmekte ve formasyon içinde düşük özdirençli kanallar oluşturmaktadır. Bu nedenle sızıntı sularının formasyon içinde yayıldığı bölümlerde düşük özdirençli alanlar oluşur. Bu düşük özdirençli alanları bulmak amacıyla çalışma alanında doğru akım görünür özdirenç (DAÖ) ve elektromanyetik iletkenlik yöntemleri uygulanmıştır.



Resim 5.1. Düzensiz deponi alanının G'inde yapımı süren havuz inşaatları alanı.



Resim 5.2. Düzensiz deponi alanında devam eden yangından bir görüntü.



(a)



(b)

Resim 5.3. Havuzların (a) kuzeyinden ve (b) batısından geçen drenaj kanalı.



(a)



(b)

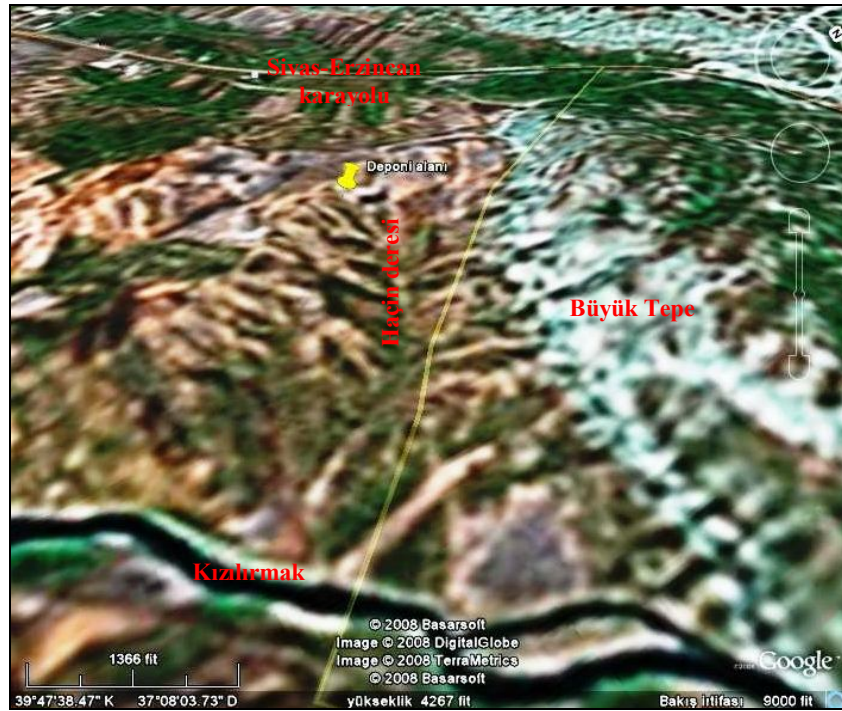
Resim 5.4. Drenaj kanalının (a) Haçin deresine karıştığı yer ve (b) dere boyunca akışı.



Resim 5.5. Sızıntı suyunun Kızılırmak'la karıştığı yer.

5.1. Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) Çalışmaları

Deponi alanındaki jeofizik ölçümler, vadide bulunan ve aynı zamanda sızıntı suyunun akmakta olduğu Haçın Deresi'nin her iki yanında yaklaşık 23'er m genişlikte 11 adet alanın taranmasıyla yapılmıştır (Şekil 5.1). Ölçüler çoğunlukla, deponi alanının güneyindeki inşaatı devam eden havuzlar (geri kazanım, kompostlama ve atıksu arıtma tesisi havuzları) ile yol çalışmaları yapılan inşaat alanının bittiği yerden Kızılırmak'a kadar devam eden yerlerden alınmıştır.



Şekil 5.1. Çalışma alanının uydu görüntüsü (www.googleearth.com).

Jeofizik çalışmaları için öncelikle deponi alanı 11 bölgeye ayrılmış ve bu bölgeler A, B, C, D, E, F, G, H, X, Y ve W olarak adlandırılmıştır. Her alanda ayrı ayrı ölçümler yapılmıştır (Çizelge 5.1 ve Şekil 5.2).

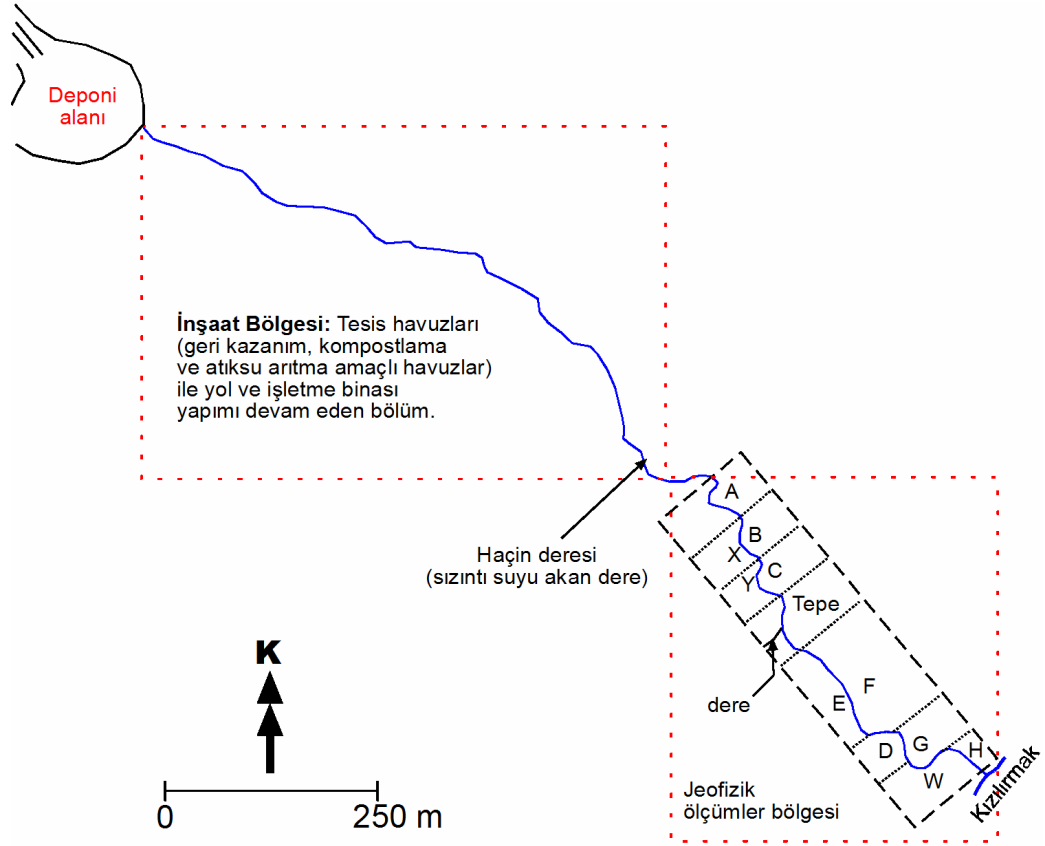
Ölçüm alanlarındaki profil doğrultuları ve profil sayıları, topoğrafik koşullar, tabakalanma durumu ve sızıntı suyu deresinin akış yönü de gözetenilerek her alan için ayrı belirlenmiştir. Ancak A,B,C alanları dışında profillerin doğrultusu, dereyi dik kesecek şekilde olmak üzere K15B'dir. Bu profilleri yaklaşık dik kesecek şekilde profiller de seçilerek sonuçları karşılıklı olarak irdelenmiştir. A, B ve C alanlarında ise profil doğrultuları farklıdır.

Profil sayıları her alanda en az 2 ve en fazla 7 olarak seçilmiştir. Profiller arası açıklık çoğunlukla 5m, bazı yerlerde 10 m'dir. Ayrıca seçilen ölçüm alanları düz olduğundan ölçüler, topoğrafik etki olmadan değerlendirilmiştir.

Arazide alınan ölçüler, 2B ve 3B ters çözüm (inversion) ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.1. DAÖ ölçüleri için profil başlangıç koordinatları.

Sızıntı suyu-Haçin Deresinin DOĞU'su				Sızıntı suyu-Haçin Deresinin BATI'sı			
Profil Adı	Koordinatlar	Doğrultu	Yükseklik (m)	Profil Adı	Koordinatlar	Doğrultu	Yükseklik (m)
daas1	K39 47 29,1 - D37 08 10,5	K20B	1283	daxs1	K39 47 26,6 - D37 08 12,2	K-G	1283
daas2	K39 47 28,8 - D37 08 10,4	K70D	1279	days1	K39 47 24,6 - D37 08 13,6	K45B	1279
dabs1	K39 47 27,5 - D37 08 11,4	K65B	1278	daes1	K39 47 22,6 - D37 08 15,6	K15B	1279
dabs2	K39 47 27,4 - D37 08 11,3	K26D	1277	daes2	K39 47 21,8 - D37 08 16,2	K55D	1277
daes1	K39 47 25,8 - D37 08 12,5	K53B	1278	daes3	K39 47 22,5 - D37 08 15,4	K15B	1279
daes2	K39 47 25,5 - D37 08 12,4	K23B	1275	dads1	K39 47 21,5 - D37 08 17,9	K15B	1277
dafs1	K39 47 21,6 - D37 08 17,5	K15B	1274	dads2	K39 47 21,6 - D37 08 18,1	K15B	1277
dafs2	K39 47 21,6 - D37 08 17,1	K15B	1276	dads3	K39 47 21,4 - D37 08 18,4	K55D	1274
dafs3	K39 47 21,8 - D37 08 16,6	K55D	1275	dads4	K39 47 21,3 - D37 08 18,4	K55D	1273
dafs4	K39 47 21,9 - D37 08 16,5	K55D	1279	daws1	K39 47 20,8 - D37 08 20,2	K15B	1266
dafs5	N39 47 22,1 - D37 08 16,9	K55D	1280	daws2	K39 47 21,0 - D37 08 20,7	K15B	1266
dags1	K39 47 20,6 - D37 08 19,8	K15B	1269	A=a, B=b, C=c, D=d, E=e, F=f, G=g, H=h, W=w jeofizik ölçüm bölge adlarıdır. Her alanda farklı sayıda profil var. Profiller arası uzaklık 5 veya 10 m'dir. Elektrot aralığı 1 m seçilerek, 24 elektrot kullanılmıştır. Dolayısıyla profil boyları ise 23 m'dir.			
dags2	K39 47 20,3 - D37 08 19,5	K15B	1271				
dags3	K39 47 20,3 - D37 08 19,4	K120D	1270				
dags4	K39 47 20,5 - D37 08 19,0	K120D	1270				
dags5	K39 47 20,7 - D37 08 18,8	K120D	1271				
dags6	K39 47 21,1 - D37 08 18,6	K120D	1274				
dags7	K39 47 21,4 - D37 08 18,6	K120D	1274				
dags8	K39 47 21,7 - D37 08 18,6	K120D	1274				
dahs1	K39 47 21,2 - D37 08 21,4	K15B	1264				
dahs2	K39 47 21,2 - D37 08 21,3	K15B	1265				
dahs3	K39 47 21,3 - D37 08 21,0	K15B	1267				
dahs4	K39 47 21,3 - D37 08 20,6	K15B	1265				
dahs6	N39 47 21,2 - D37 08 20,6	K15B	1269				



Şekil 5.2. Deponi alanı ve DAÖ ölçüm yerleri.

5.1.1. DAÖ ölçüleri

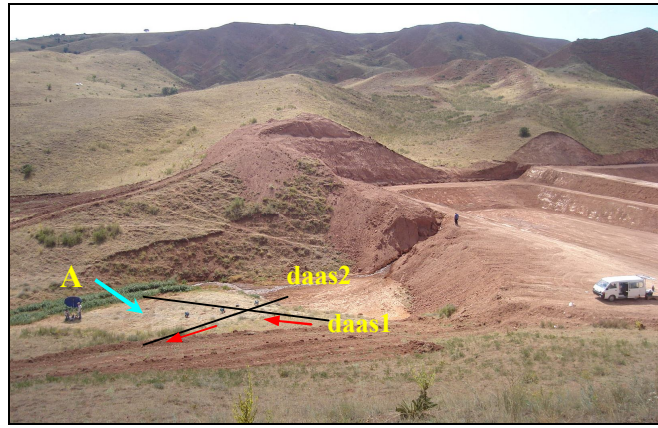
Elektrik özdirenç çalışmaları ile yeraltındaki elektrik özdirenç dağılımlarını belirlemede sondaj-profil ölçüm tekniği kullanılmıştır. Ölçülen veriler, Loke (1994)'un 2B ters çözüm işlemi yapan Res2DInv programı ile değerlendirilmiştir.

Depolama alanı ile Kızılırmak arasında bulunan sızıntı deresi boyunca derenin her iki yanındaki alanlarda alınan DAÖ ölçümlerinin ters çözüm sonuçları ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

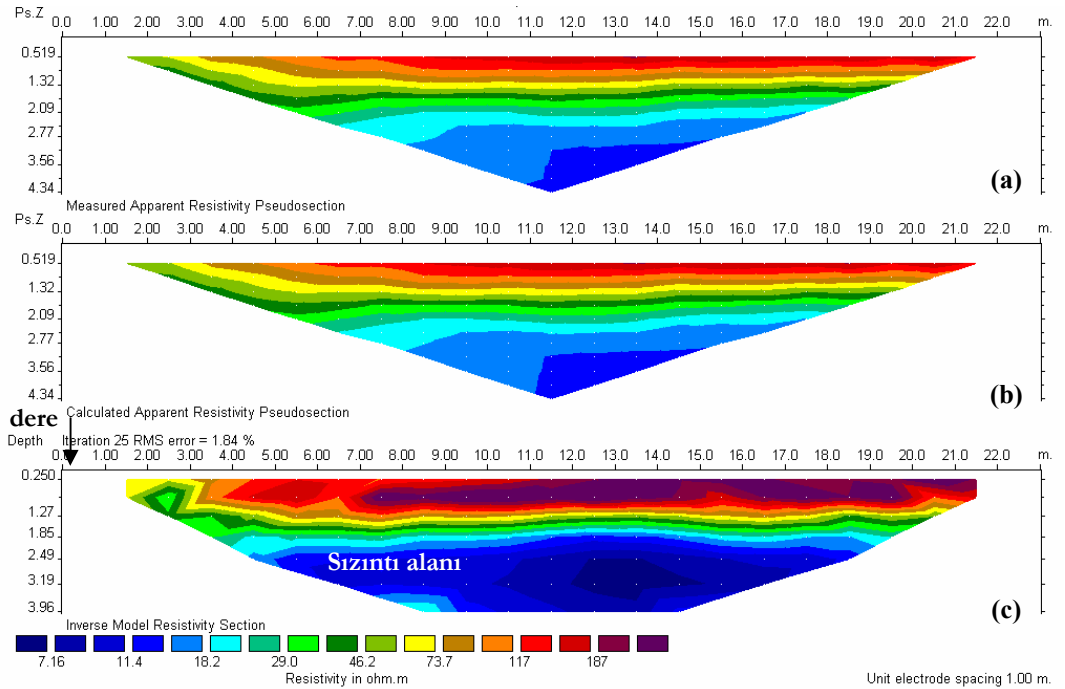
Sızıntı suyu deresinin (Haçin Deresi) doğusundaki DAÖ ölçüm sonuçları:

Arazide toplanan ilk DAÖ ölçüm verileri sızıntı suyunun Haçin deresine karıştığı son havuzun güneyinde yer alan A bölgesidir (Resim 5.6).

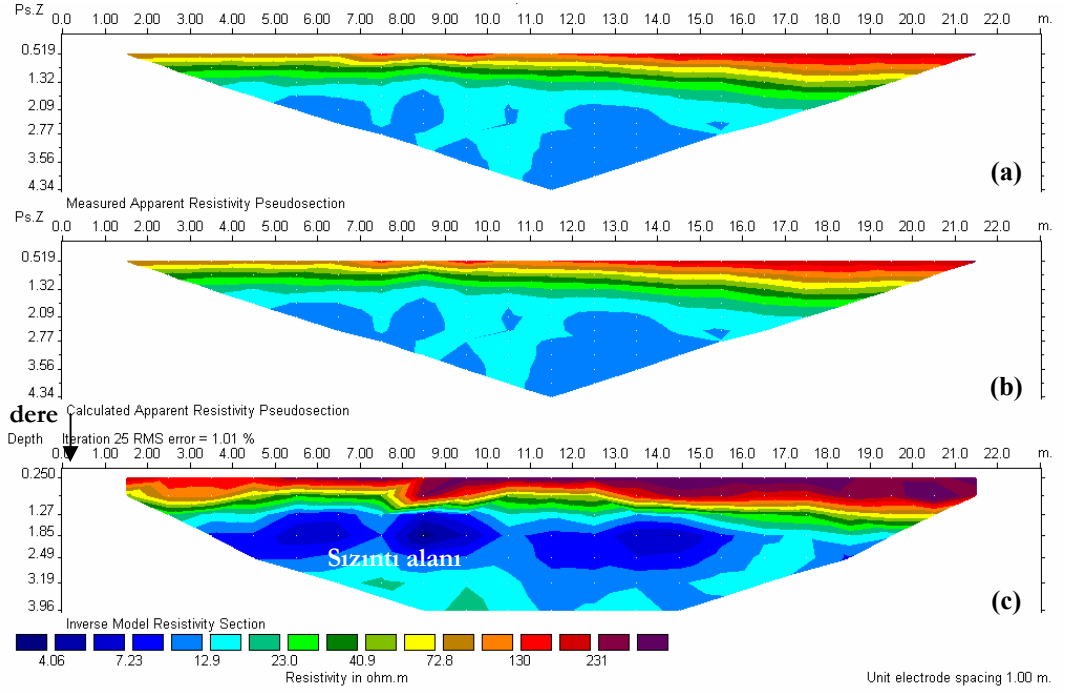
A bölgesi: A bölgesinde alınan ölçüler, daas1 ve daas2 profillerine aittir (Resim 5.6). Yaklaşık K-G ve KB-GD yönlü olan profillerin Res2DInv programından elde edilen ters çözüm sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmektedir. Ters çözüm sırasında 25 yineleme (iteration) yapılmış ve ölçülen veri ile hesaplanan veri arasındaki RMS (Root Mean Squares) hatası daas1 profili için %1.84, daas2 profili için %1.01 için çakışma sağlanmıştır.



Resim 5.6. A bölgesi ölçüm yeri.



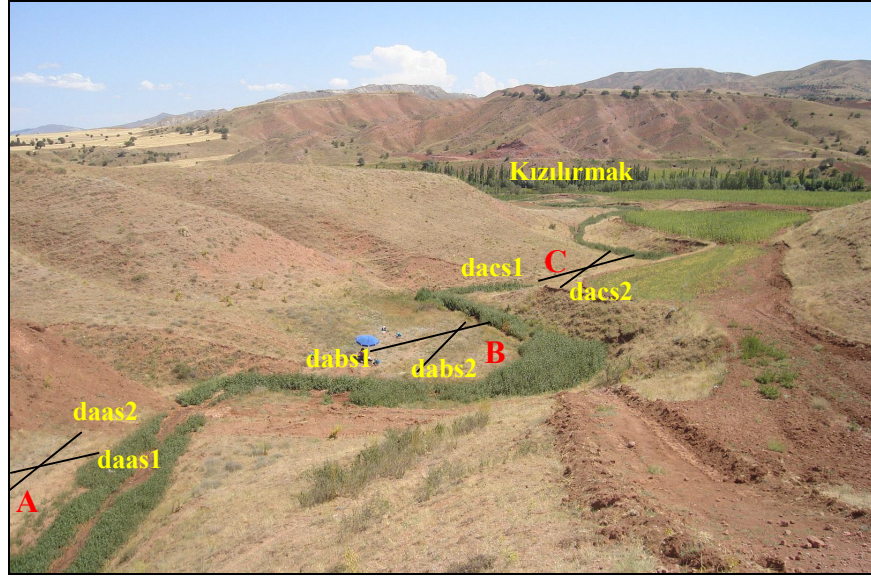
Şekil 5.3. A bölgesinde K20B yönlü **daas1 profili için** Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



Şekil 5.4. A bölgesi için K70D yönlü **daas2 profili için** Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

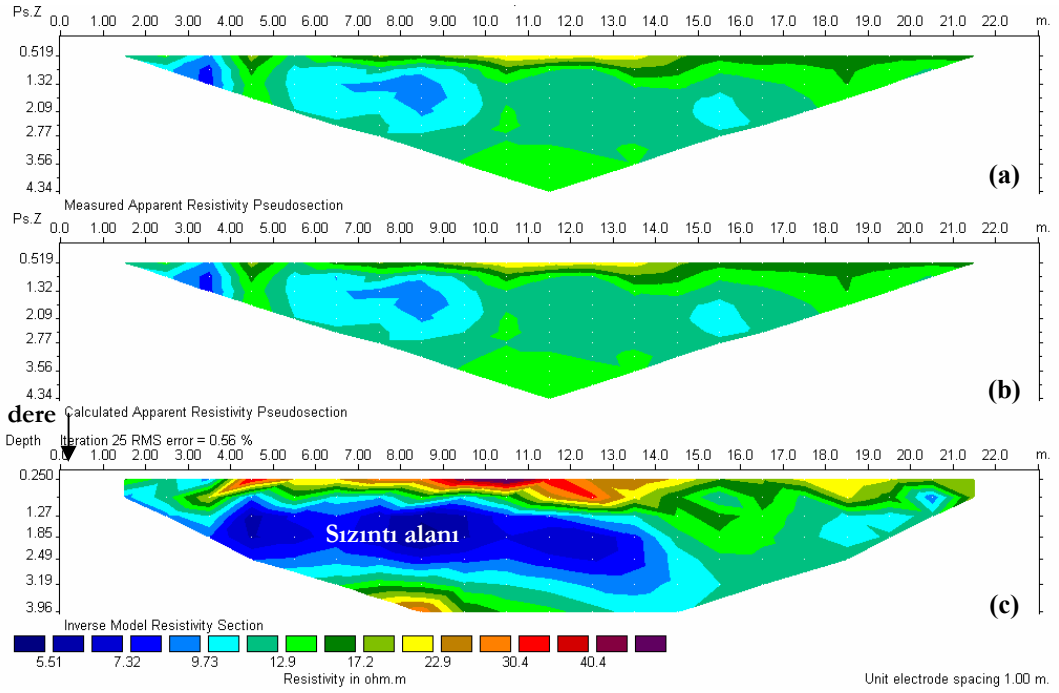
Yukarıda sunulan Şekil 5.3c ve 5.4c incelenirse, sızıntı suyu ile kirlenmiş zonun öz direnci, ortalama 30 Ohm-m'den düşük olup, yüzeyden ve dere kenarından başlayarak doğuya doğru ilerledikçe kalınlaşmaktadır.

B ve C bölgesi: B ve C bölgeleri de yine yaklaşık A bölgesi ile aynı doğrultularda profiller seçilerek incelenmiştir (Resim 5.7). Bu alanlara ait ters çözüm sonuçları ise Şekil 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8'de görülmektedir. Yineleme sayısı ve RMS hatası 2-B'lu öz direnç modeli şekilleri üzerinde görülmektedir

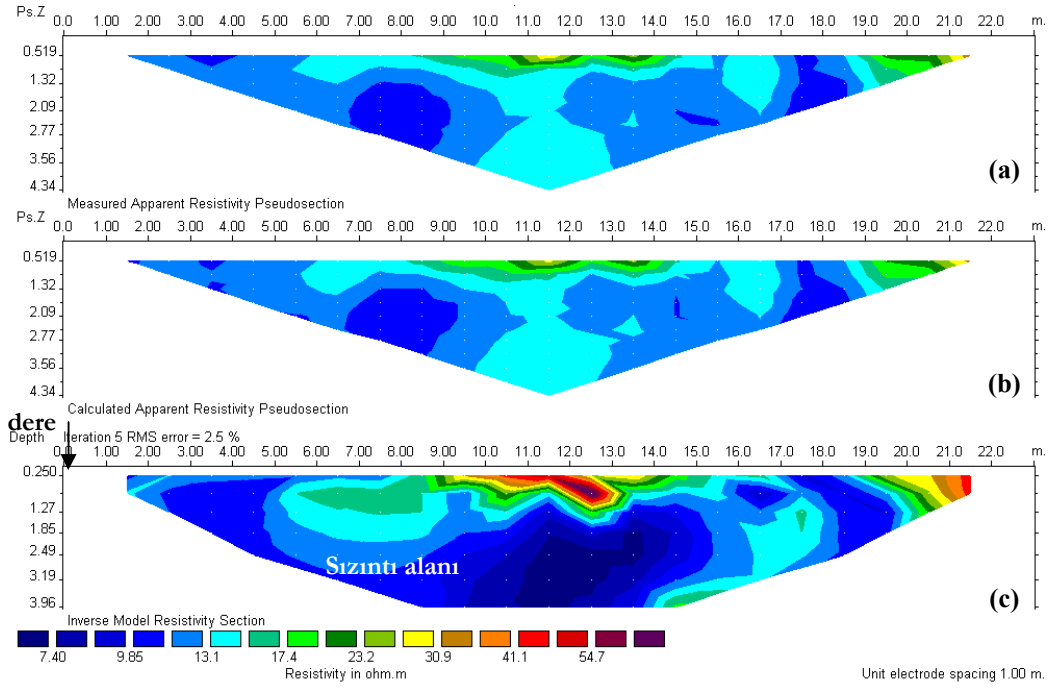


Resim 5.7. B ve C bölgeleri ölçüm yerleri.

Bu bölgelerde kirli zonun özdirenci ortalama 15-18 Ohm-m'lerden düşük olup, yatayda ve dikeyde kirli bölge geniş bir yayılım gösterir. Buna göre Şekil 5.5c incelenirse, K65B yönlü dabs1 profilinin 4 ve 14 m'ler arasındaki bölümünde özdirenci ortalama 15 Ohm-m'den yüksek olan yaklaşık 0.5 m kalınlığındaki bölge, yamaç akması sonucu biriken gereçtir. Aynı bölge, Şekil 5.6c'deki K26D yönlü dabs2 profili boyunca da görülmektedir. Ayrıca bu bölgede kirli zon, 4 m derinliğe kadar ulaşmaktadır. Bunun nedeni bölge özellikle yağışlı dönemlerde su birikmesine uygun çukur bir yapıya sahiptir. Yağış suyunun birikmesi ile sızan suda seyrelme olması beklenir. Seyrelmenin etkisiyle ölçülen özdirenç değerleri de değiştirmektedir. Bu nedenle yağışla gelen suların, sızıntı suyuna karışması ile burada daha fazla su birikecektir. Dolayısıyla burada sızan su ve yağış suyunun etkisiyle özdirenç değerleri daha çok azalmakta ve geçirimli birim varsa, sızıntı suyunun daha derinlere taşınması da olasıdır.

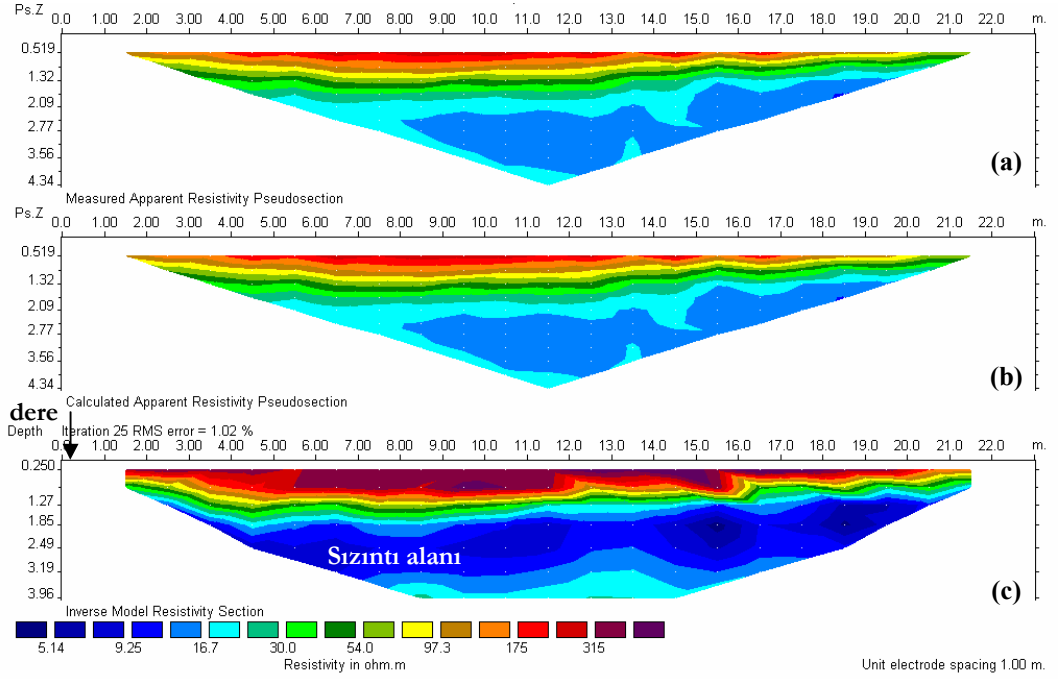


Şekil 5.5. B bölgesi için K65B yönlü dabs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

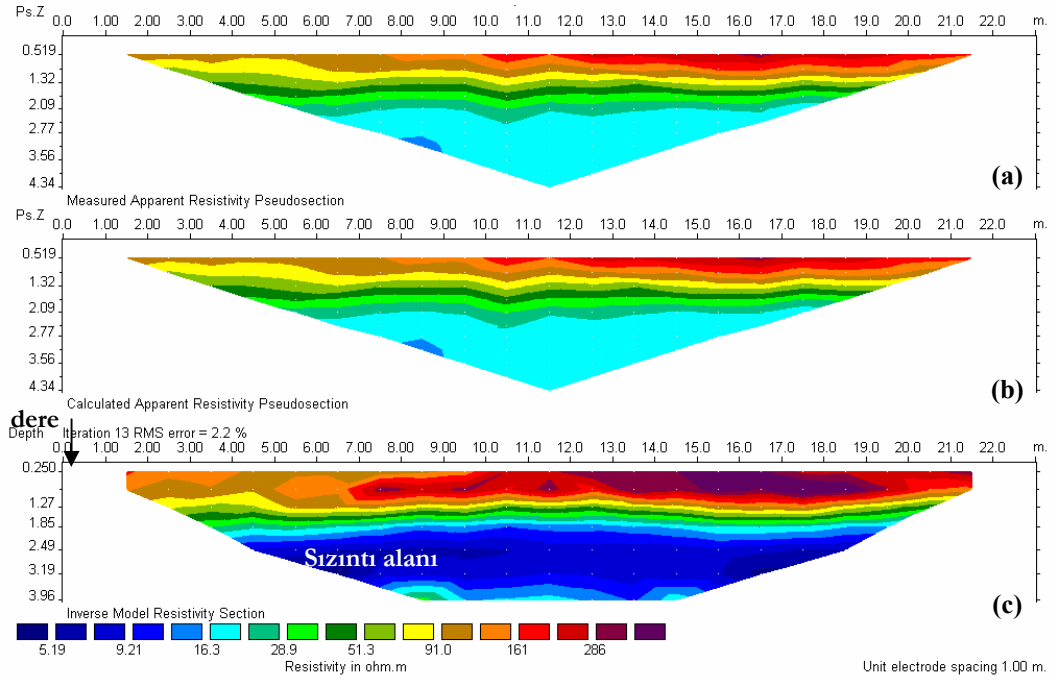


Şekil 5.6. B bölgesi için K26D yönlü dabs2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

K53B yönlü dacs1 profilinin Şekil 5.7c’de ve K23B yönlü dacs2 profilinin ise Şekil 5.8c’deki ters çözüm sonuçları incelenirse, üstte ortalama 1.5 m kalınlığında yüksek öz dirençli (ortalama öz direnci 30 Ohm-m) bir katman bulunmaktadır. Altındaki katman ise ortalama 30 Ohm-m’den daha düşük öz dirence sahip kirli zon olup, 4m’den daha derine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.7. C bölgesi için K53B yönlü dacs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



Şekil 5.8. C bölgesi için K23B yönlü dacs2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.

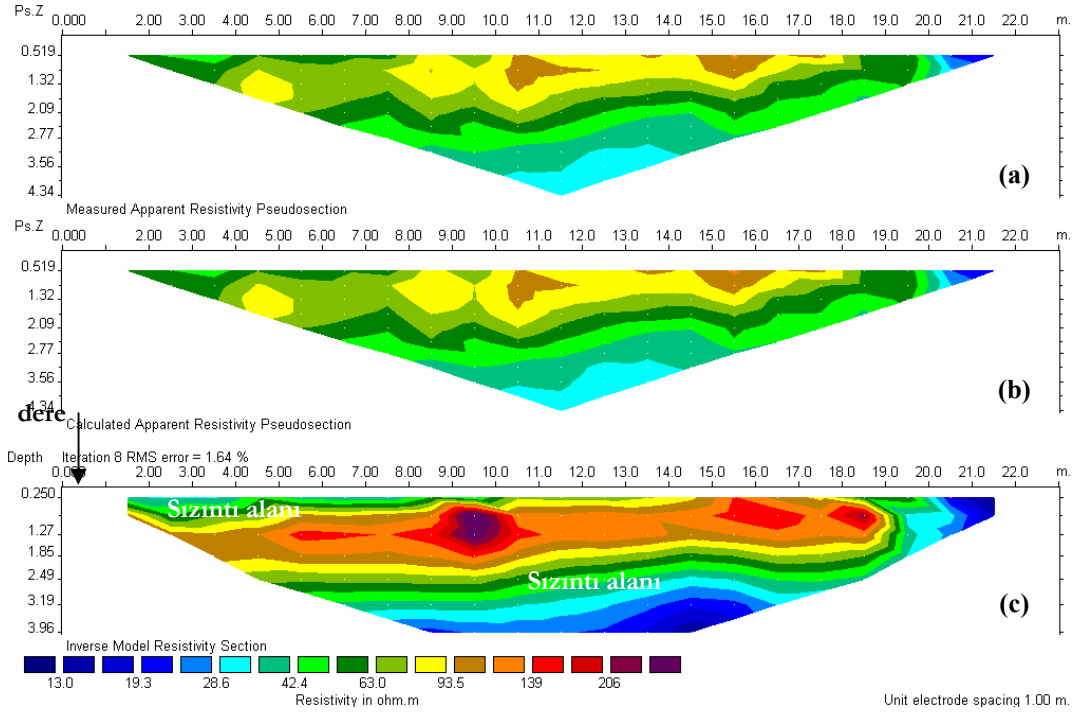
F bölgesi: C bölgesinin devamında, yine derenin doğusunda olan ve güneye doğru devam eden bölgedir (Resim 5.8). Bu alanda 10 m aralıkla toplam 5 profil bulunmaktadır. Bunlar K15B yönlü dafs1 ile dafs2 ve bunları yaklaşık dik kesen K55D yönlü dafs3, dafs4 ve dafs5 profilleridir (Şekil 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13).



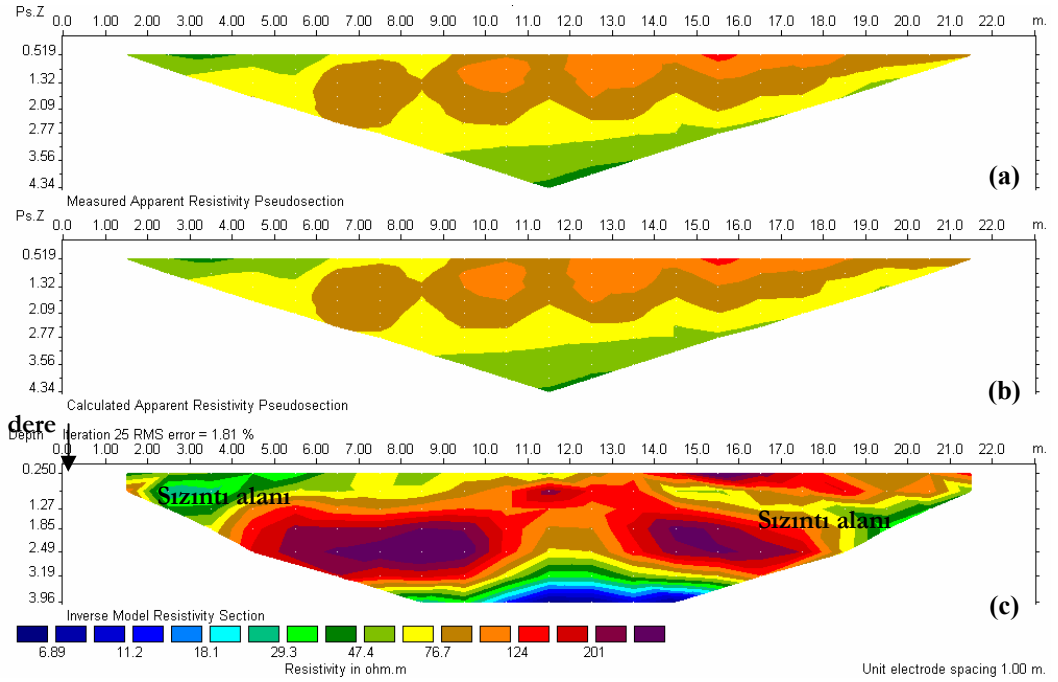
Resim 5.8. F bölgesi ölçüm yeri.

K15B yönlü birbirine koşut dafs1 ve dafs2 profillerinin sırasıyla Şekil 5.9c ve Şekil 5.10c'deki ters çözüm sonuçları birlikte incelenirse, sızıntı profiller boyunca yatayda yaklaşık 0-10 m arasında devam etmektedir. Şekil 5.9c'deki yaklaşık 2-3 m kalınlığında ve özdirenç yaklaşık 30 Ohm-m'den yüksek olan katman, Şekil 5.10c'de daha kalın olup, kalınlığı ortalama 3.5 m'dir.

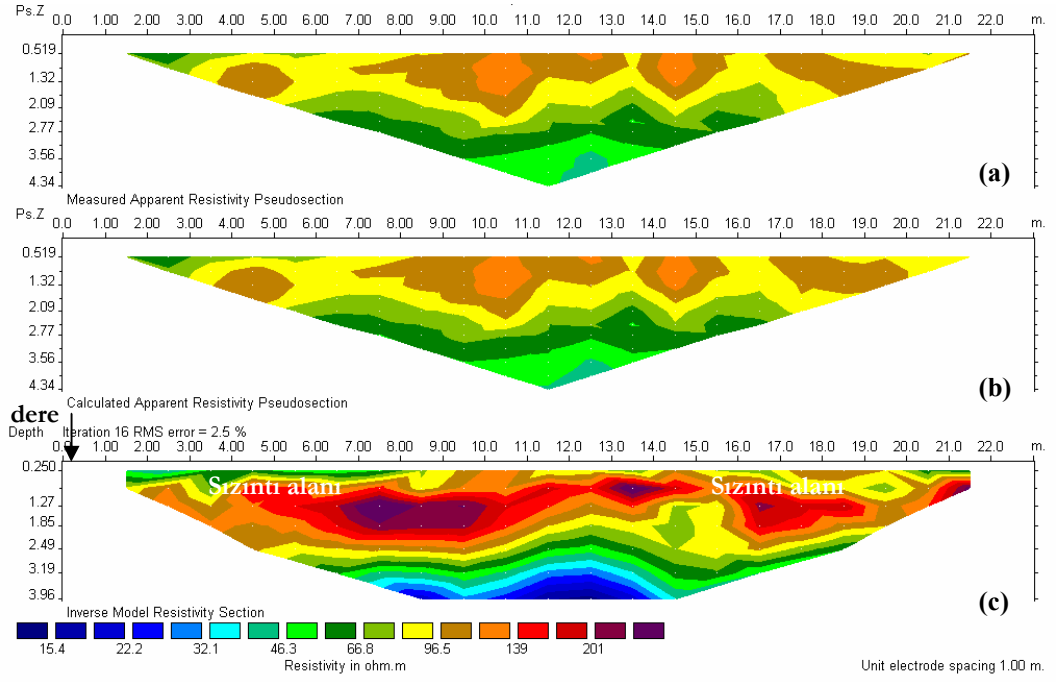
Yukarıda anlatılan iki profili, sırasıyla K55D yönlü dafs3, dafs4 ve dafs5 profilleri kesmektedir (Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13). Birbirine paralel bu profillerin bulunduğu yerlerde düşey yönde sızıntılar olmasına karşın, kirlenmenin yatay yöndeki değişimi profiller boyunca ilk 1.0 m'de devam etmektedir (Şekil 5.11c, 5.12c ve 5.13c). Burada özdirençleri ortalama 30-40 Ohm-m düşük olan bölgeler arasındaki ortalama 30-40 Ohm-m'den yüksek özdirençli katmanın kalınlığı yaklaşık 2.0 m'dir. Yüksek özdirençli katman içine olan sızıntılar, 5 m dolayında ve 10-17 m arasında daha yoğun olarak gözlenmektedir. Özellikle dafs5 profili boyunca ve olasılıkla burada daha geçirimli bir ortam olmasından dolayı daha geniş bir sızıntı bölgesi vardır.



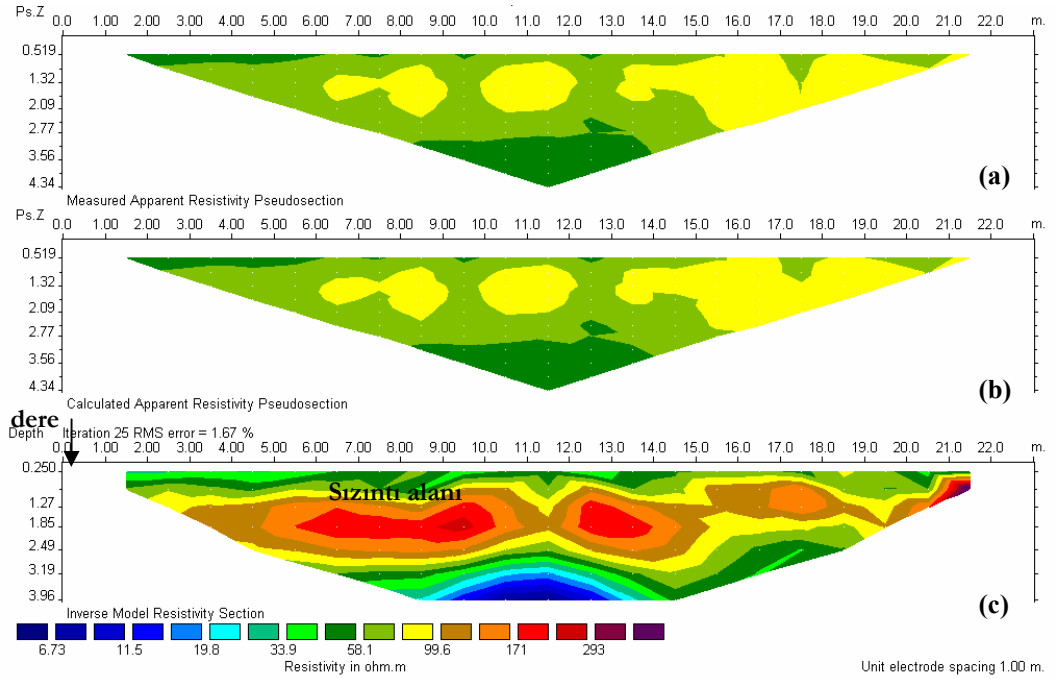
Şekil 5.9. F bölgesi için K15B yönlü dafs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



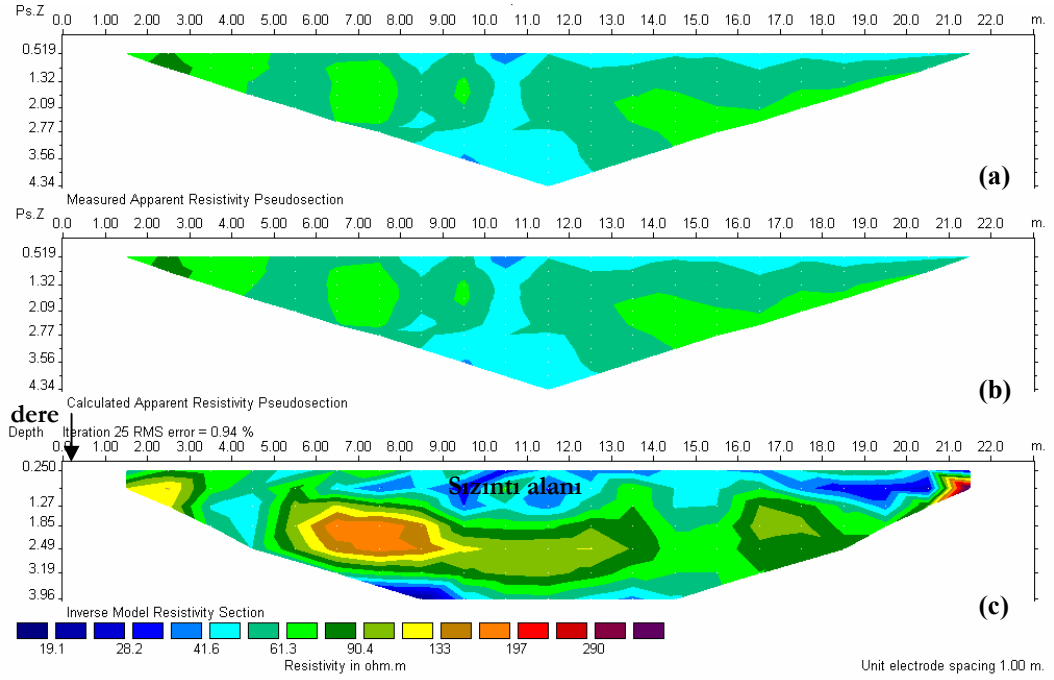
Şekil 5.10. F bölgesi için K15B yönlü dafs2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



Şekil 5.11. F bölgesi için K55D yönlü **dafs3** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



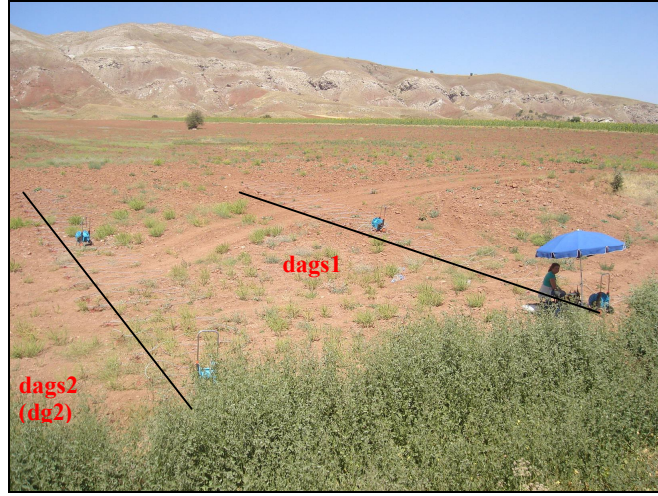
Şekil 5.12. F bölgesi için K55D yönlü **dafs4** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



Şekil 5.13. F bölgesi için K55D yönlü **dafs5** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.

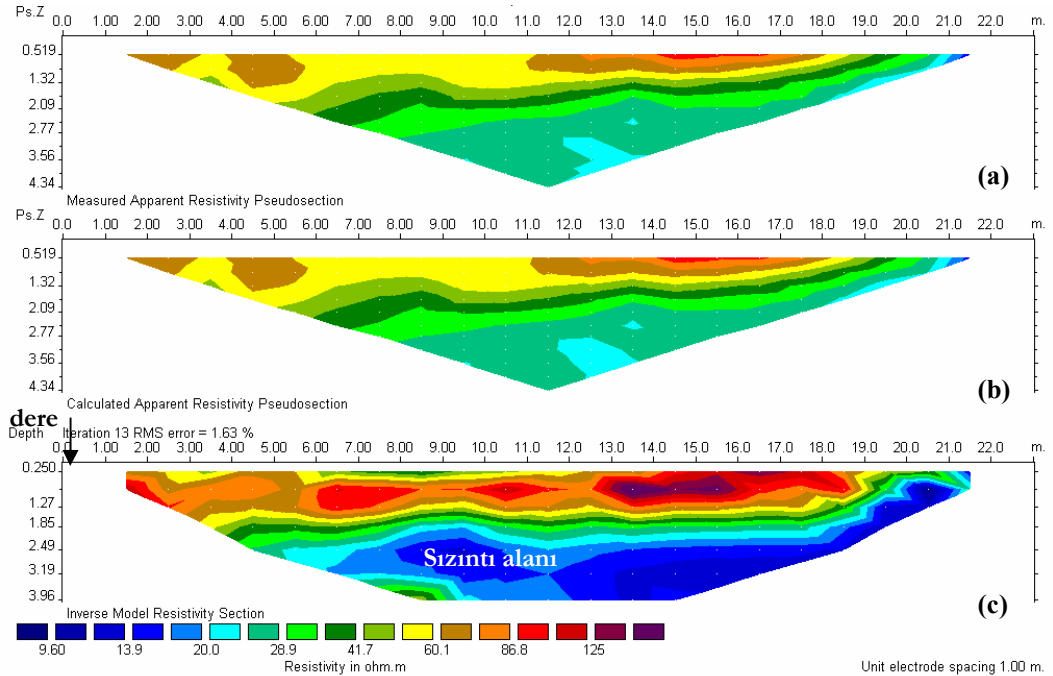
G bölgesi: F bölgesinin güneyinde yer alır. G alanında 10 m aralıklı dereyi dik kesen dags1 ve dags2 profilleri K15B yönlüdür (Resim 5.9 ile Şekil 5.14 ve 5.15). Bu profilleri ve yine dereyi dik kesen 5 m aralıklı K120D yönlü profiller ise sırasıyla dags3, dags4, dags5 ve dags6'dır (Resim 5.10 ile Şekil 5.17, 5.18, 5.19 ve 5.20).

Ayrıca bu bölgede, daha derin yerleri görmek amacıyla elektrot aralığı 5 m seçilerek, dags2 profili üzerinde aynı dizilim türü ile **dg2 (dags2)** profili adıyla tekrar bir ölçü alınmıştır (Şekil 5.16). Daha sonra bu profillerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 5.15c ve 5.16c). Ancak elde edilen sonuçlarda, derinlik arttıkça çözümlemenin birbiriyle uyumlu olmadığı belirlenmiştir.

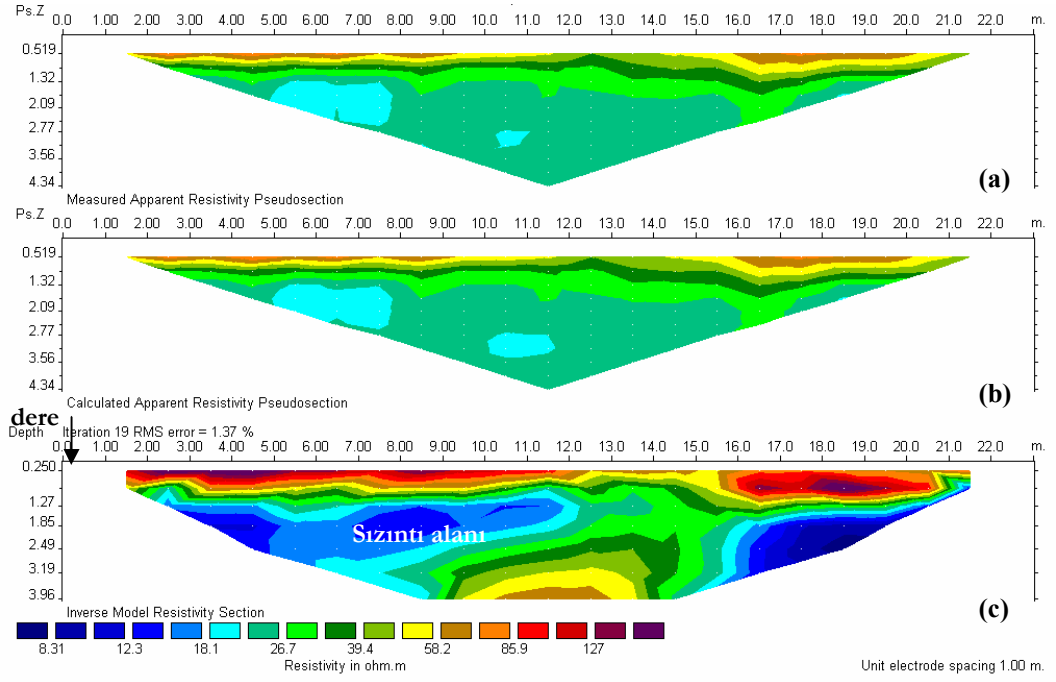


Resim 5.9. G bölgesi ölçüm yeri.

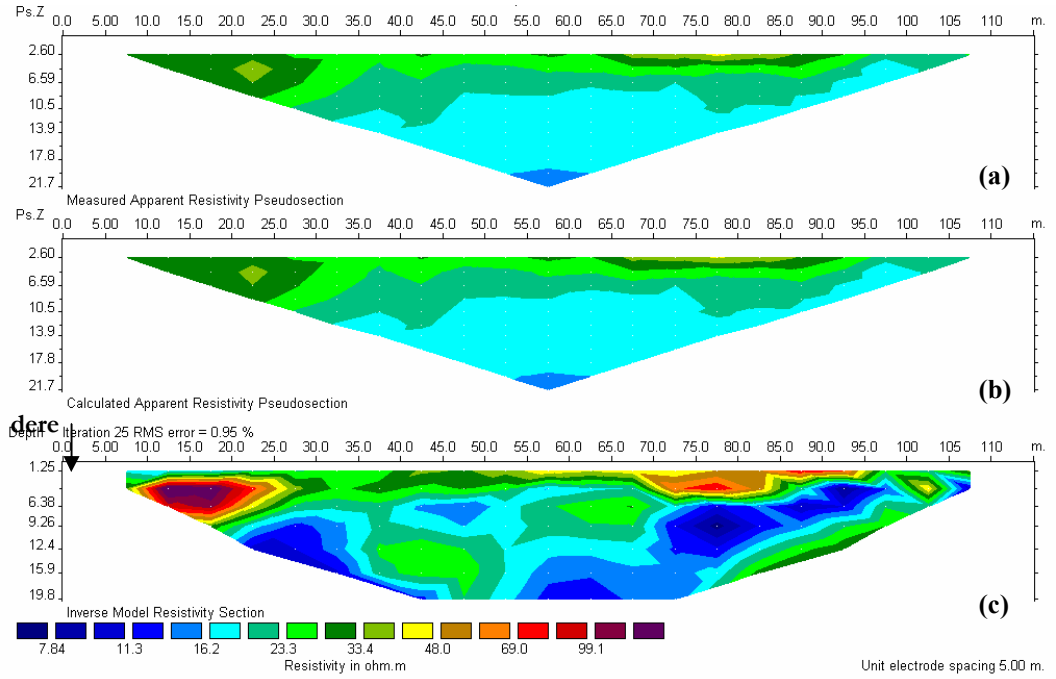
Şekil 5.14c ve 5.15c’de K15B yönlü profillerin ters çözüm sonuçları incelenirse, ortalama 30 Ohm-m’den daha düşük öz dirençli alanlar, sızıntının olduğu bölgelere karşılık gelmektedir.



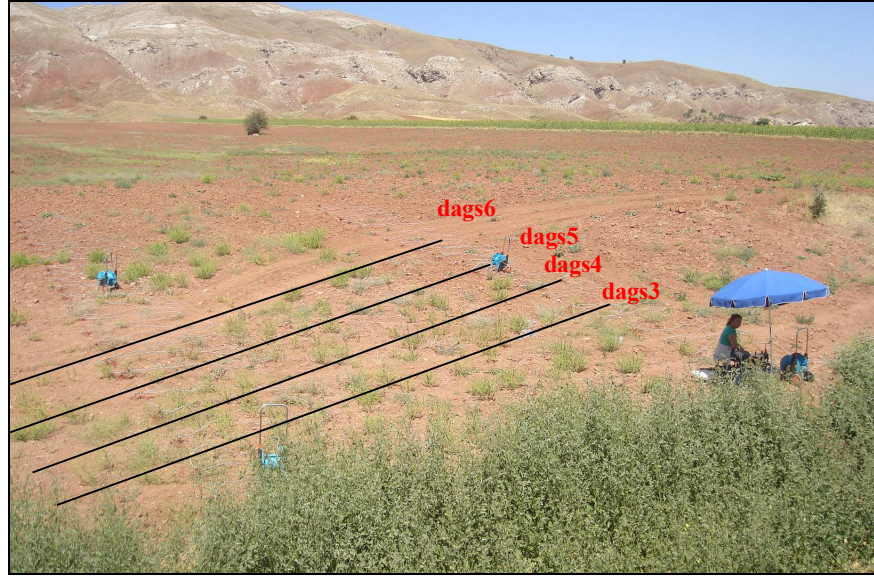
Şekil 5.14. G bölgesi için K15B yönlü **dags1** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



Şekil 5.15. G bölgesi için K15B yönlü **dags2** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

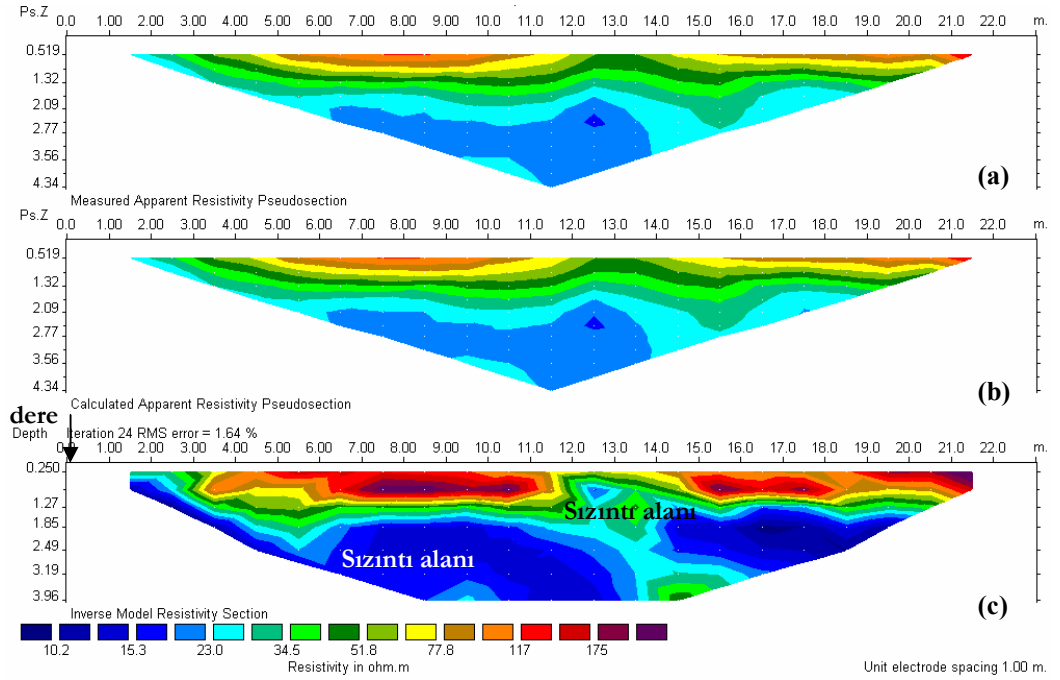


Şekil 5.16. dg2 (**dags2**) profili Wenner-Schlumberger ölçüsünün EA=5 m (G alanı) için; (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

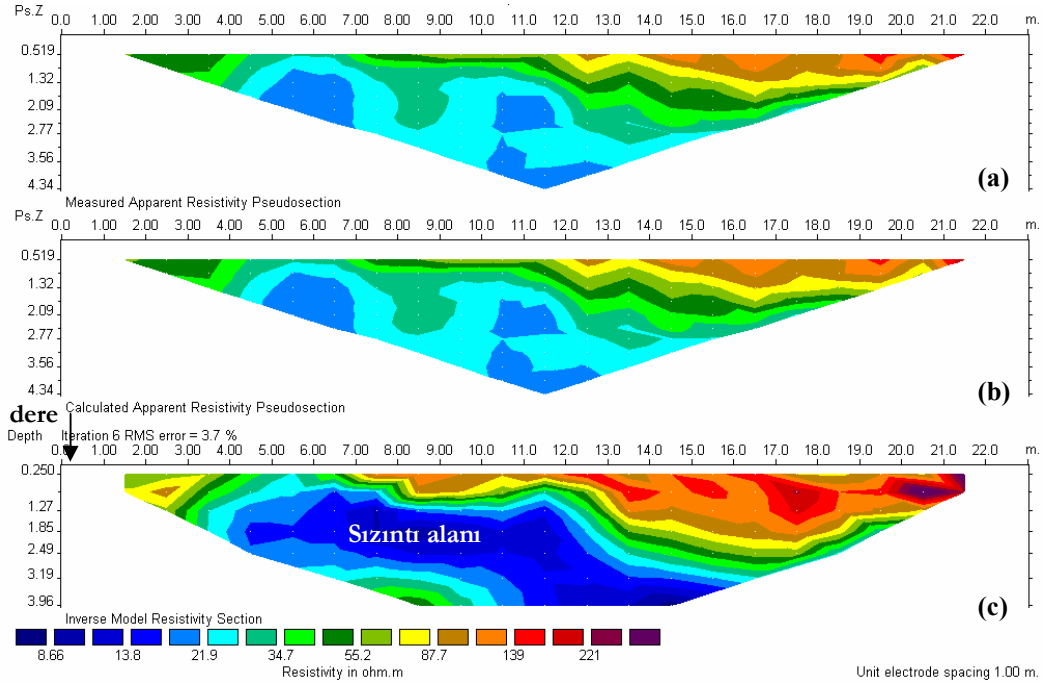


Resim 5.10. G bölgesi ölçüm yeri (diğer profiller için).

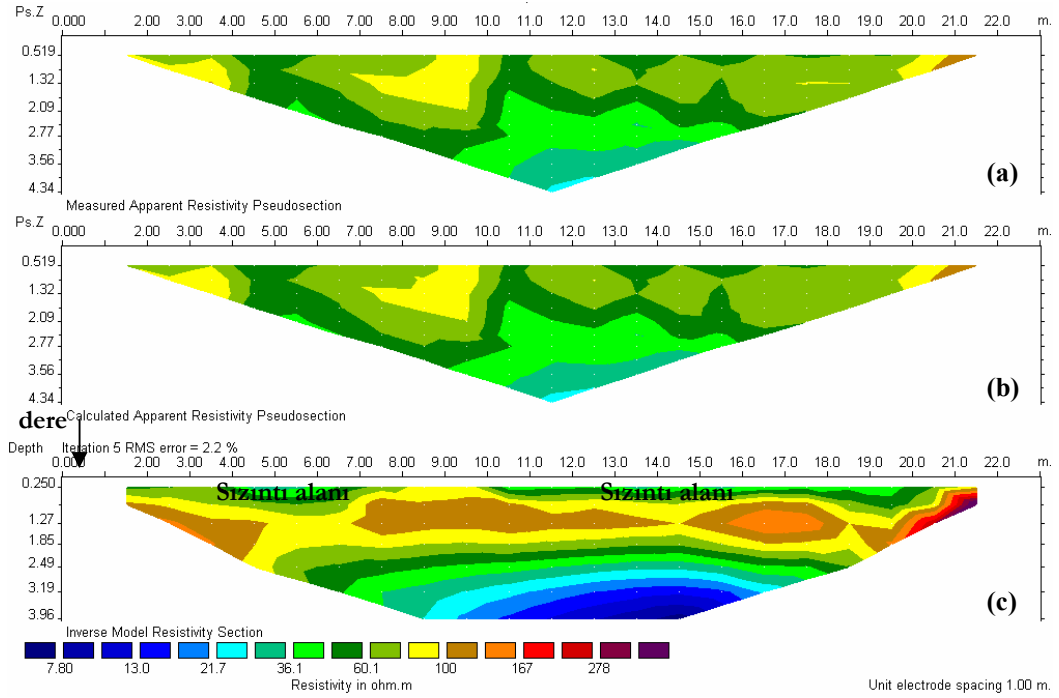
Şekil 5.17c, 5.18c, 5.19c ve 5.20c'daki ters çözüm sonuçları incelenirse, sızıntı alanlarında öz direnç yaklaşık 35 Ohm-m'den düşüktür ve sızıntılar en çok ilk 5 m'ye kadar ve 12-17 m'ler dolayında olmaktadır.



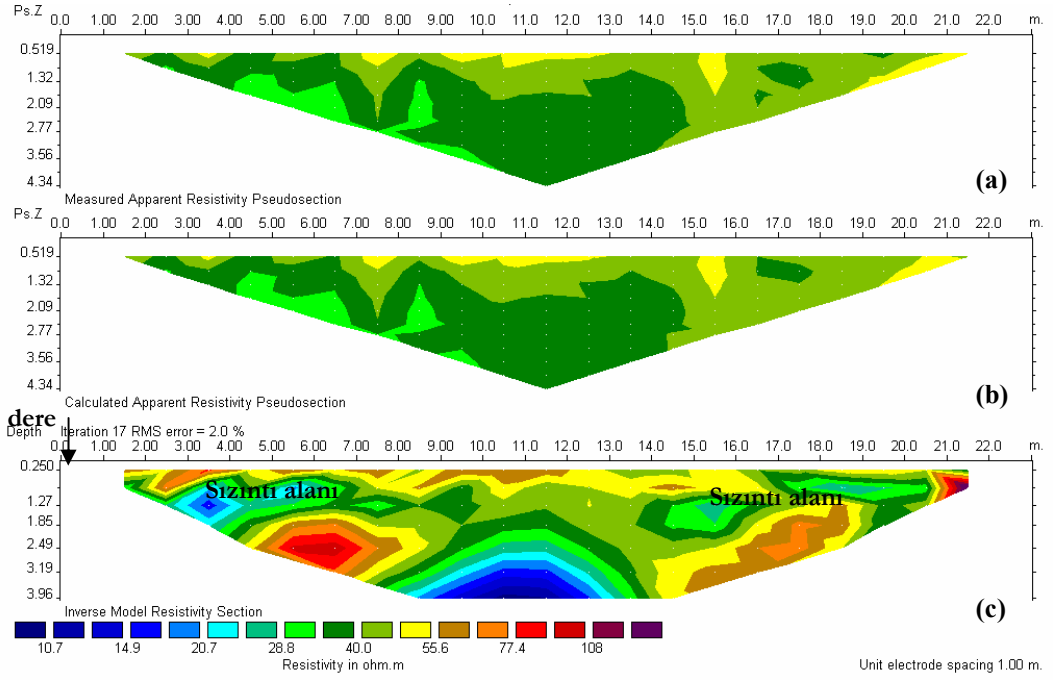
Şekil 5.17. G bölgesi için K120D yönlü **dags3** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



Şekil 5.18. G bölgesi için K120D yönlü dags4 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.

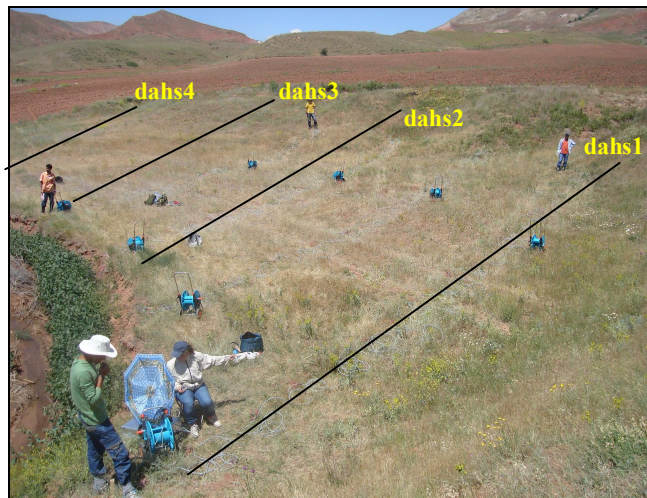


Şekil 5.19. G bölgesi için K120D yönlü dags5 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.



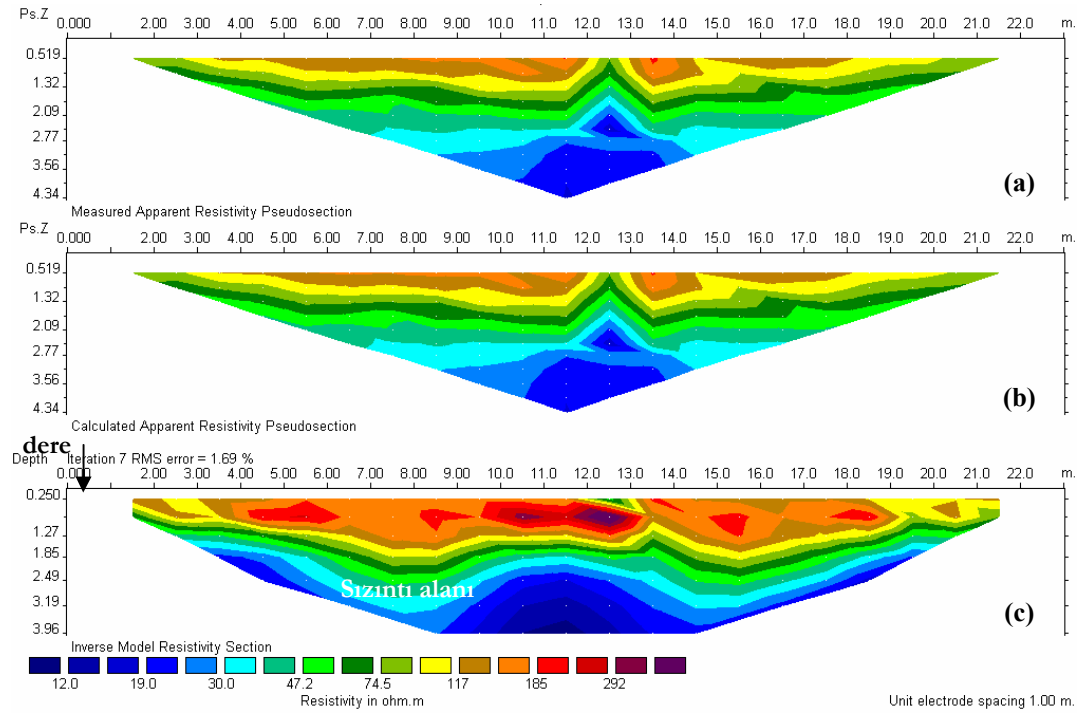
Şekil 5.20. G bölgesi için K120D yönlü **dags6** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.

H bölgesi: G bölgesi ile Kızılırmak arasında kalan yerdir (Resim 5.11). Bu alanda 10 m aralıkla seçilen **dahs1**, **dahs2**, **dahs3** ve **dahs4** profillerinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.21, 5.22, 5.23 ve 5.24’de sunulmaktadır.

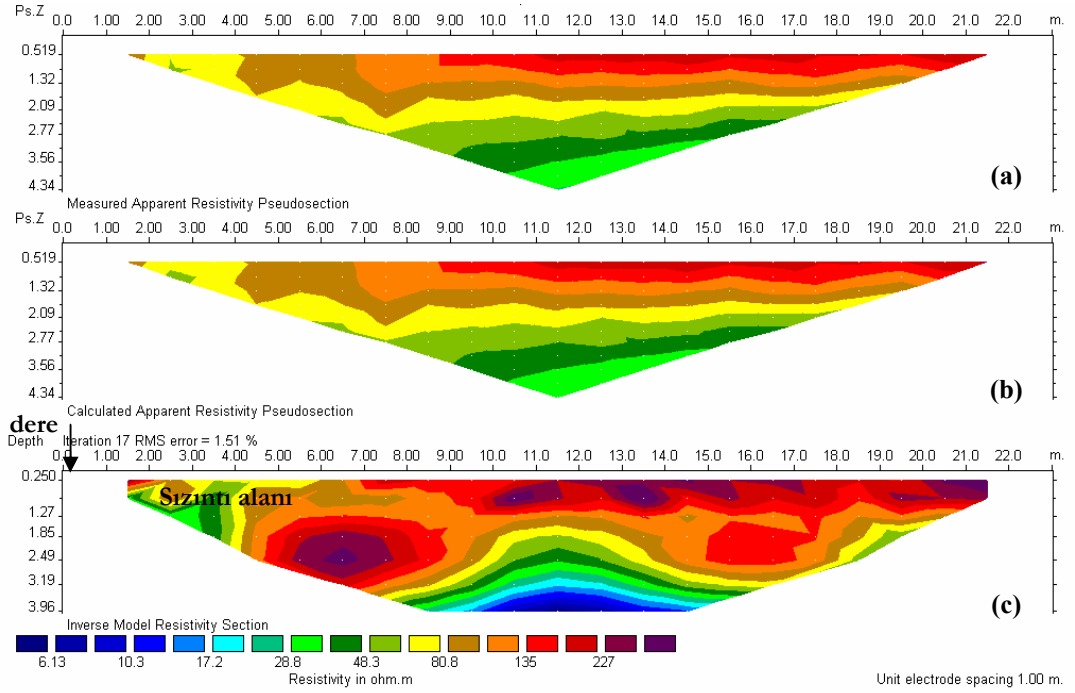


Resim 5.11. H bölgesi ölçüm yeri.

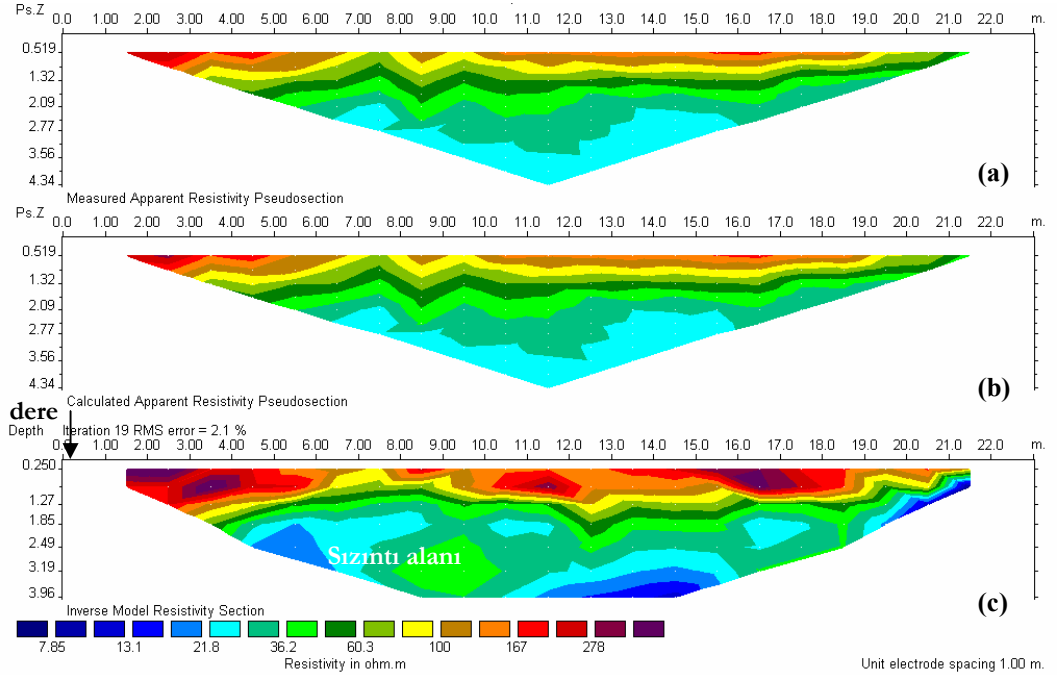
Şekil 5.21c, 5.22c, 5.23 ve 5.23c'deki ters çözüm sonuçları incelenirse, üstte yer alan yaklaşık 2 m kalınlığındaki yüksek özdirençli (ortalama 45 Ohm-m) katmanın altında özdirenci ortalama 45 Ohm-m'den daha düşük özdirençli kirli zon yer almaktadır. Ayrıca yatayda yaklaşık 4, 7 ve 12 m'ler altında sızıntı yerleri görülmektedir (Şekil 5.22c, 5.23 ve 5.23c). dahs2 profilinde üstteki yüksek özdirençli katman diğer profillere göre daha kalın olup, kalınlığı ortalama 2.5-3.5 m arasında değişmektedir.



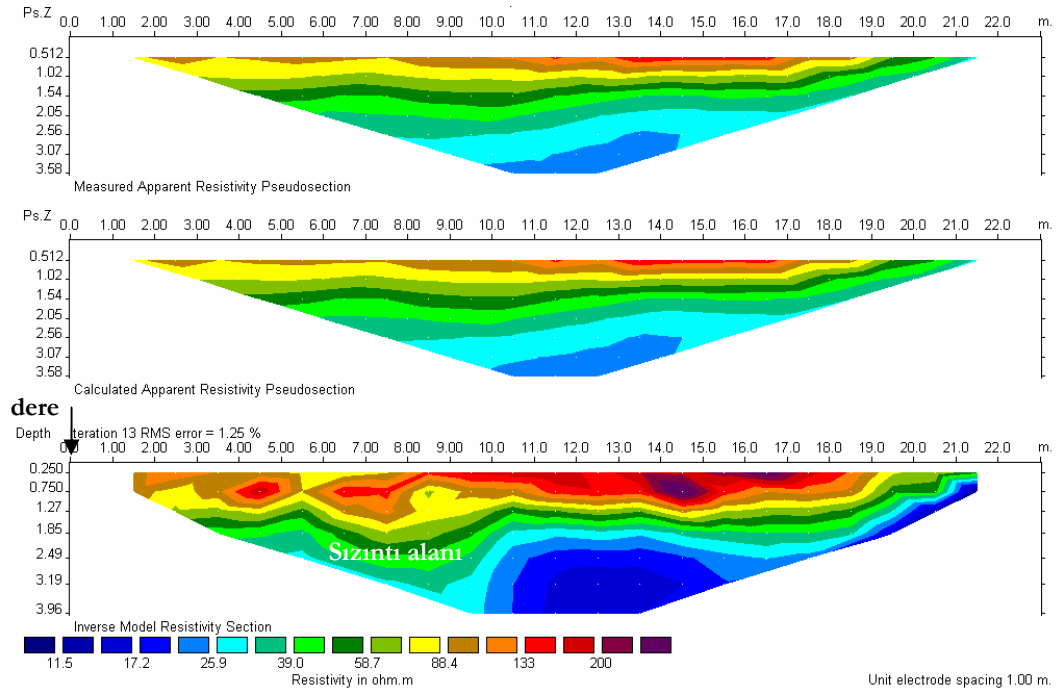
Şekil 5.21. H bölgesi için K15B yönlü dahs1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.



Şekil 5.22. H bölgesi için K15B yönlü **dahs2** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.



Şekil 5.23. H bölgesi için K15B yönlü **dahs3** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.

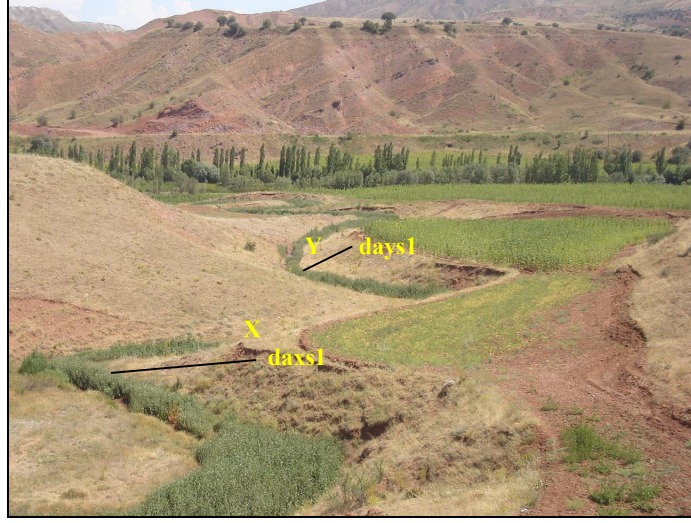


Şekil 5.24. H bölgesi için K15B yönlü **dahs4 profili için** Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

Haçin Deresi'nin batısındaki sızıntı suyu DAÖ ölçüm sonuçları:

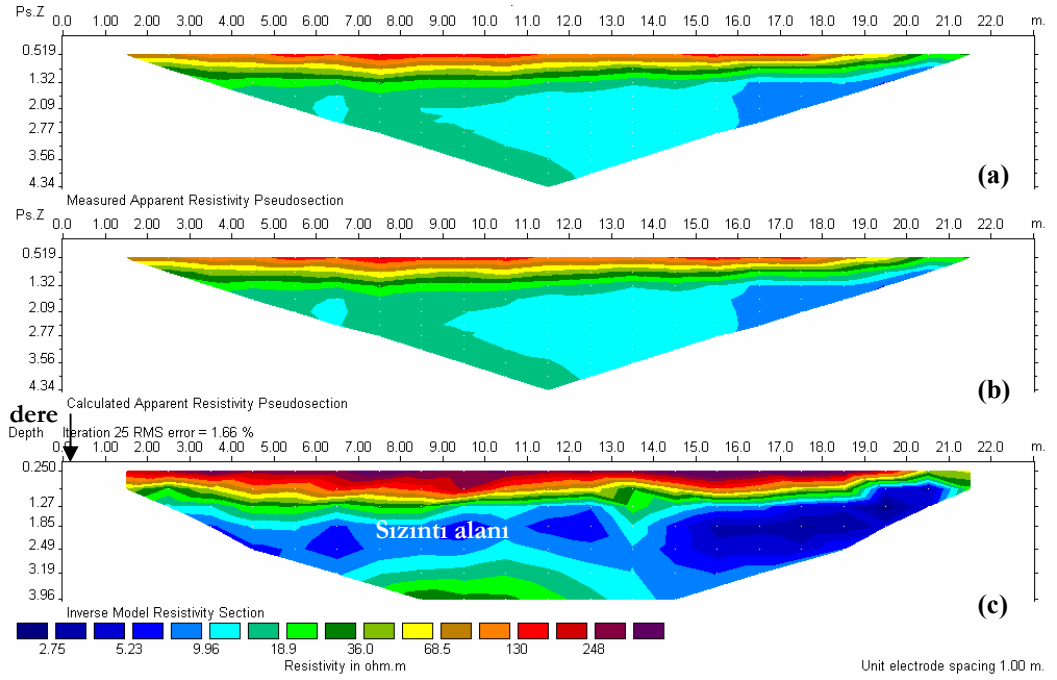
Ölçü almaya yine çalışma bölgesinin kuzeyinden başlanılarak, güneyde yer alan Kızılırmak kenarında sonlandırılmıştır. Haçin deresinin batı kesimindeki ölçüler X, Y, E, D ve W alanlarında alınmıştır.

X ve Y bölgesi: İlk ölçüler X ve Y bölgelerine aittir (Resim 5.12). Bu yerlerden elde edilen sonuçlara ait ölçülen ve hesaplanan görünür öz direnç yapma kesitleri ile 2B öz direnç modelleri Şekil 5.25 ve 5.26'da görülmektedir.

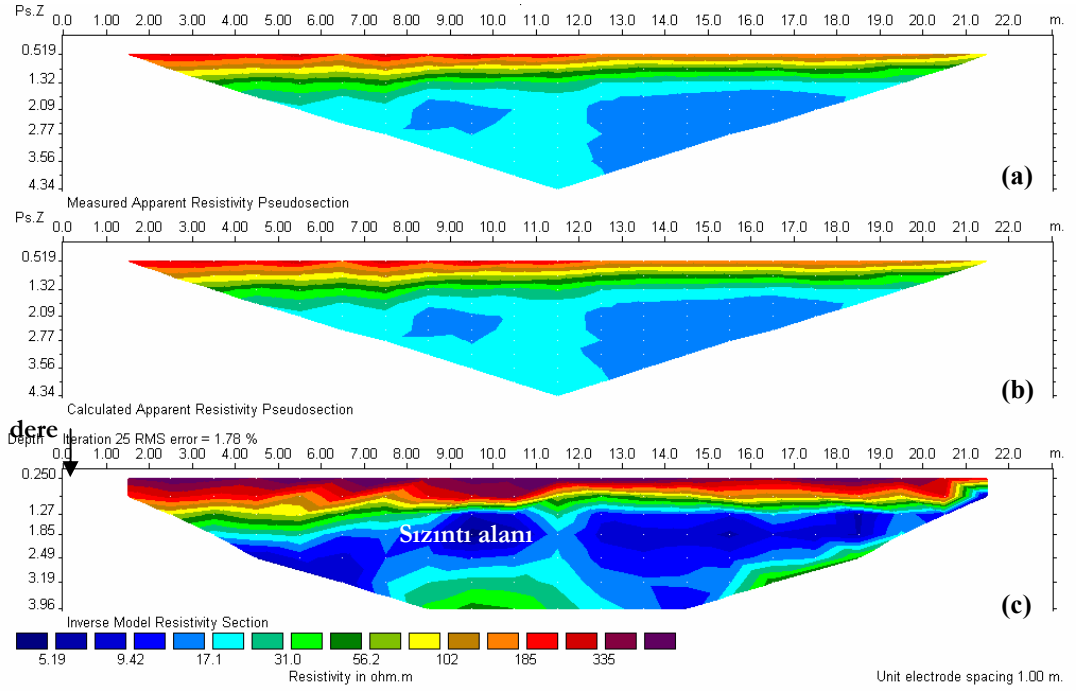


Resim 5.12. X ve Y bölgeleri ölçüm yerleri.

Şekil 5.25c ve 5.26c'deki ters çözüm sonuçları incelenirse, her iki alanda da üstte kalınlığı yaklaşık 1 m olan yüksek özdirençli (ortalama 25 Ohm-m) katmanın altında, özdirençli ortalama 25 Ohm-m'den düşük olan ve sızıntı suyu ile kirlenmiş katman bulunmaktadır.

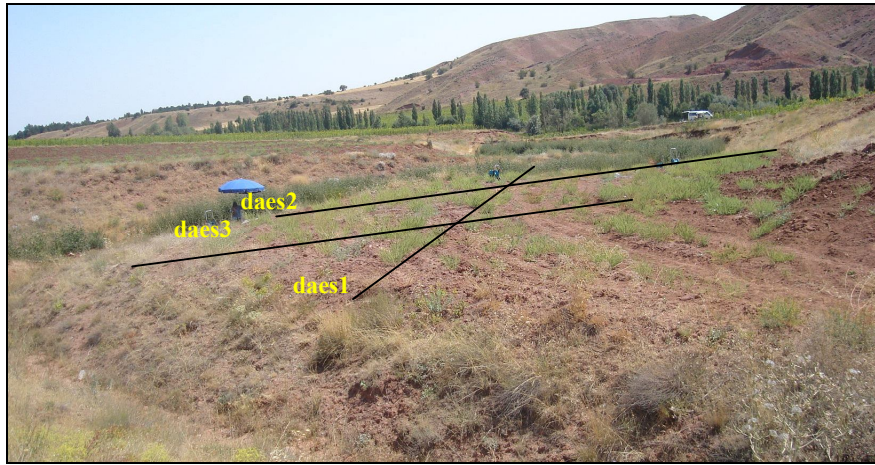


Şekil 5.25. X bölgesi için K-G yönlü **daxs1** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.



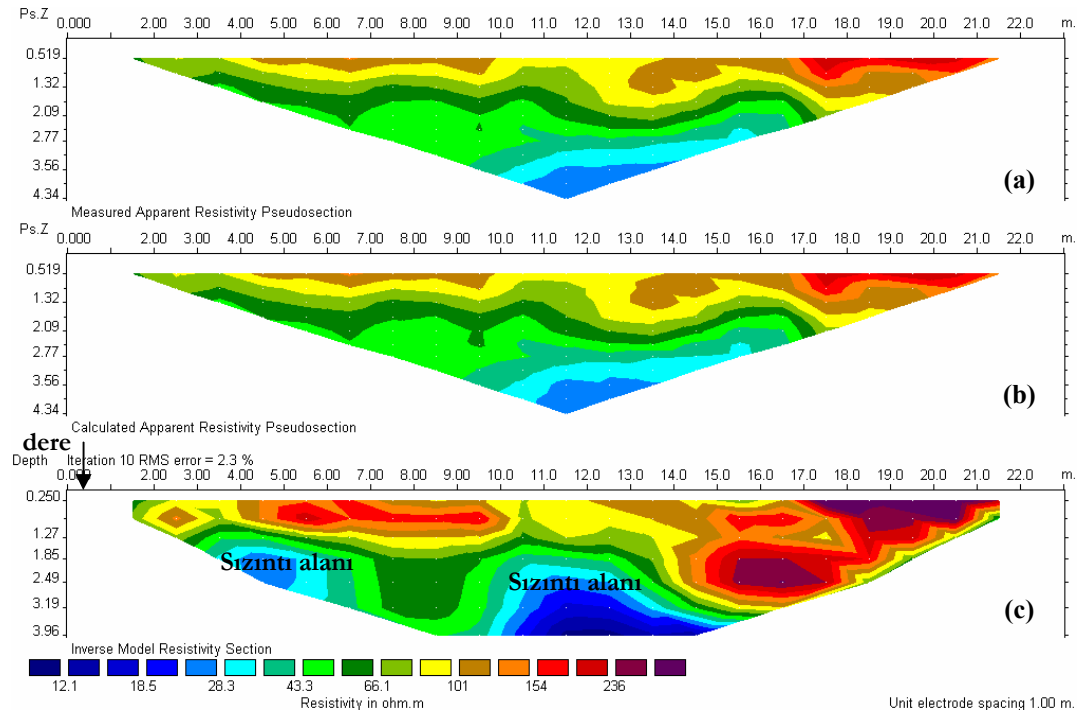
Şekil 5.26. Y bölgesi için K45B yönlü **days1** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

E bölgesi: Burada K55D yönlü daes1 ile K15B yönlü daes2 ve daes3 profillerinde ölçü alınmıştır (Resim 5.13). Bu profillerin ters çözüm sonuçları ise Şekil 5.27, 5.28 ve 5.29 görülmektedir.

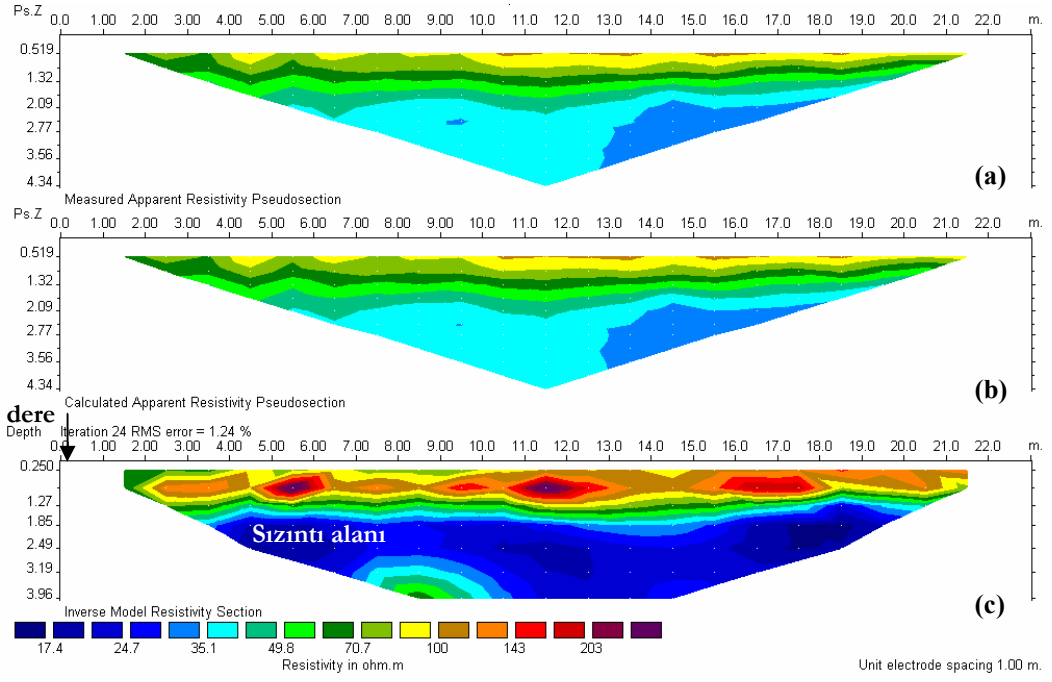


Resim 5.13. E bölgesi ölçüm yeri.

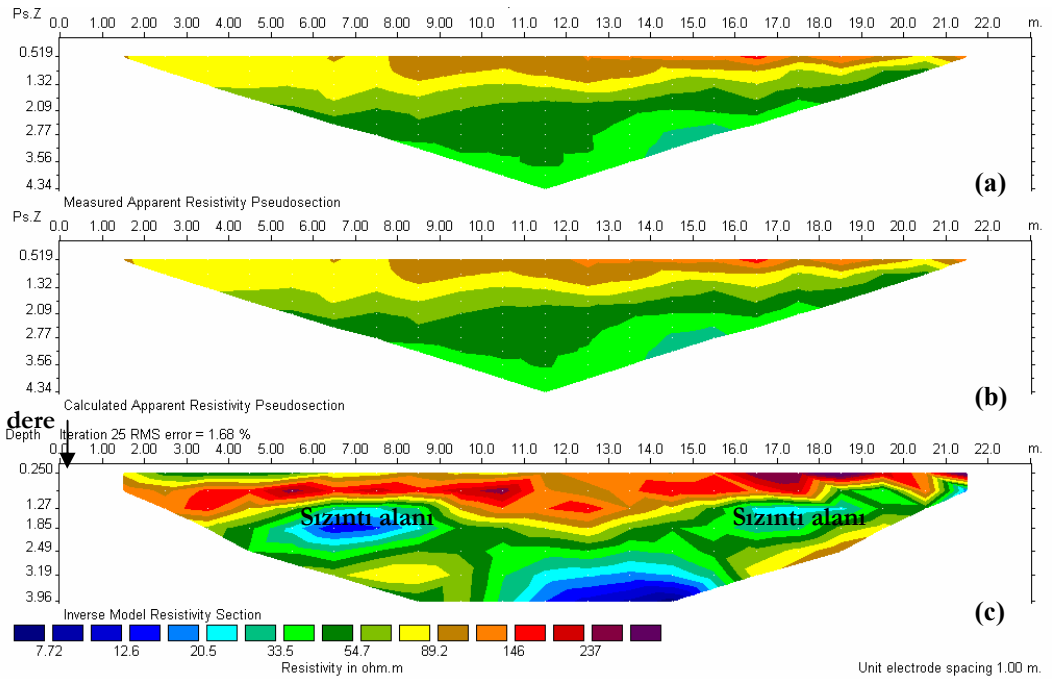
Şekil 5.27c incelenirse, daes1 profilinde yaklaşık 40 Ohm-m'den düşük öz dirençli kirlili bir katmanın üzerinde kalınlığı yaklaşık 2-3 m arasında değişen yüksek öz dirençli (yaklaşık 40 Ohm-m) bir düzey bulunmaktadır. Bu profili dik kesen daes2 ve daes3 profilleri için sırasıyla Şekil 5.28c ve 4.29c incelenirse, üstte ortalama 1.2 m kalınlıklı yüksek öz dirençli (yaklaşık 40 Ohm-m) katman altındaki kirlenmiş bölgenin öz direnci yaklaşık 40 Ohm-m'den düşüktür.



Şekil 5.27. E bölgesi için K55D yönlü daes1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

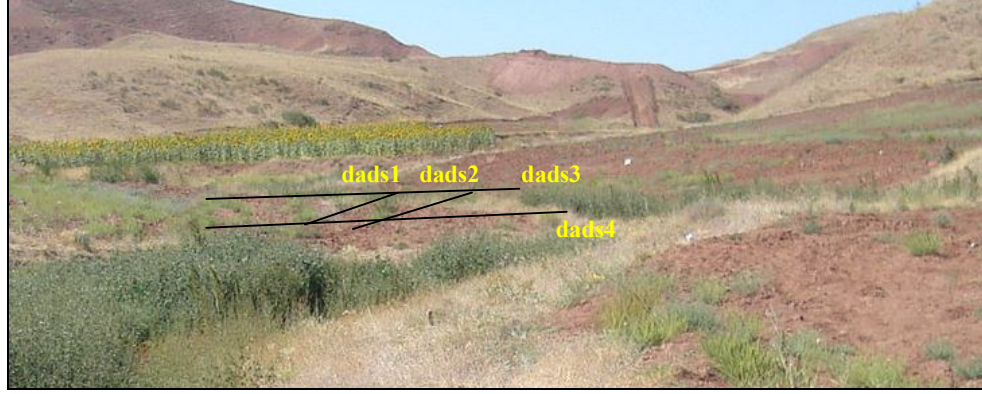


Şekil 5.28. E bölgesi için K15B yönlü daes2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



Şekil 5.29. E bölgesi için K15B yönlü daes3 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

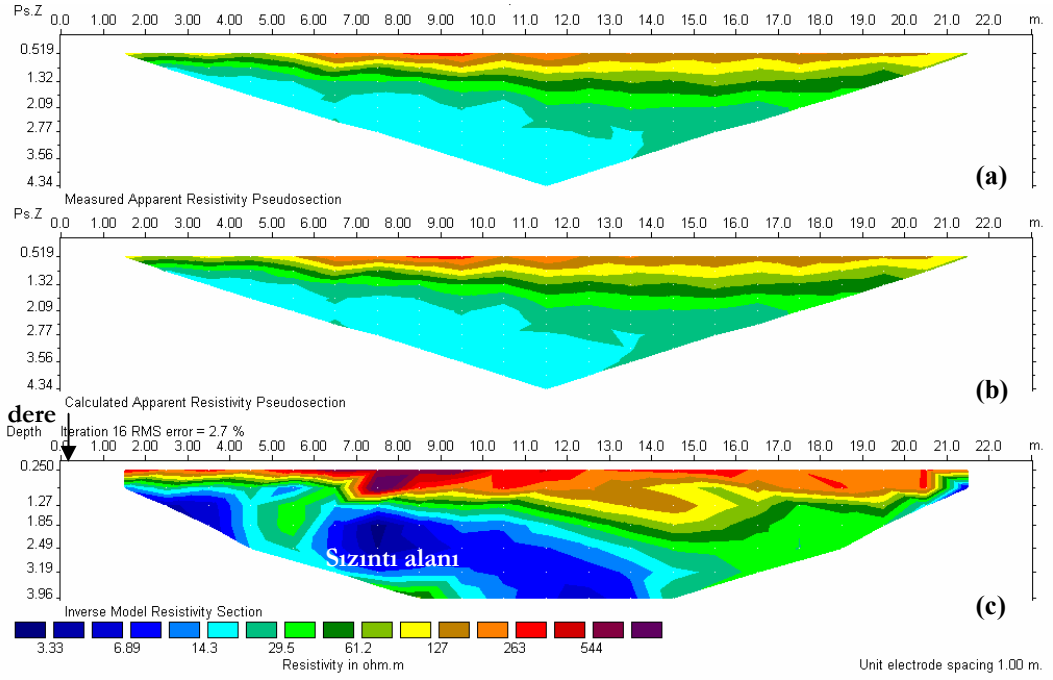
D bölgesi: E bölgesinin güneyinde yer alır (Resim 5.14). Bu alanda K15B yönünde dads1 ve dads2 profilleri ile bunları yaklaşık dik kesen K120D yönlü dads3 ve dads4 profilleri olmak üzere toplam 4 profilde 10 m aralıkla ölçü alınmıştır (Şekil 5.30, 5.31, 5.32 ve 5.33).



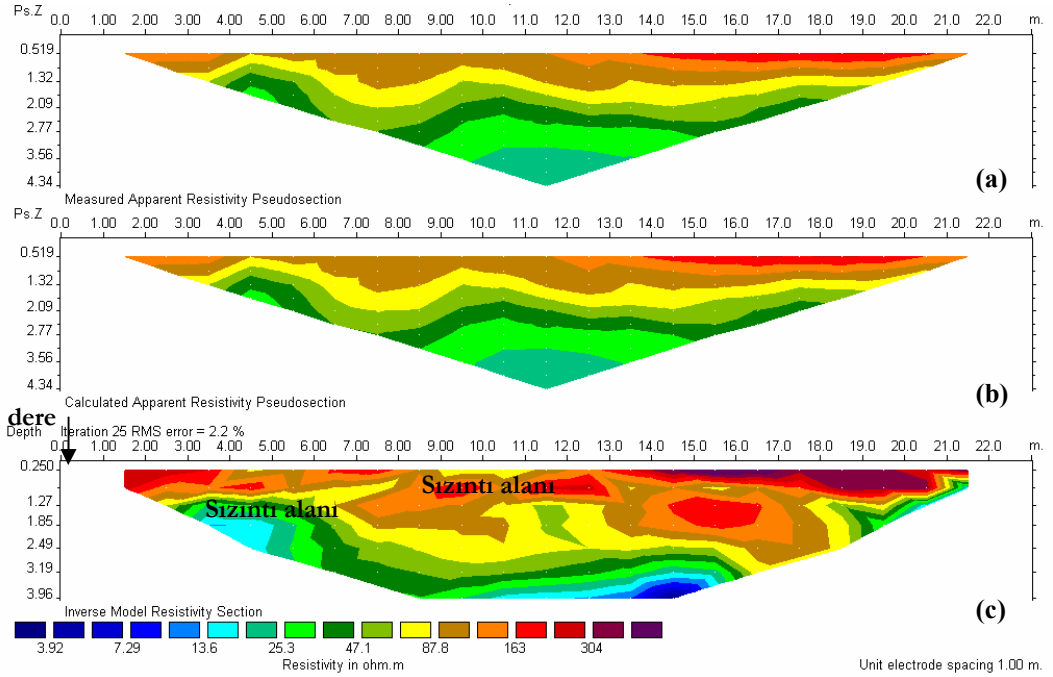
Resim 5.14. D bölgesi ölçüm yeri.

Şekil 5.30c ve 5.31c incelenirse, dads1 ve dads2 profillerinde yaklaşık 30 Ohm-m'den düşük özdirençli yerler sızıntı bölgesini göstermektedir. Üstte yer alan yüksek özdirençli (yaklaşık 30 Ohm-m) katmanın kalınlığı profil boyunca değişkendir. Bunun nedeni kirliliğin yatay ve düşey doğrultuda geniş bir yayılım göstermesi olabilir.

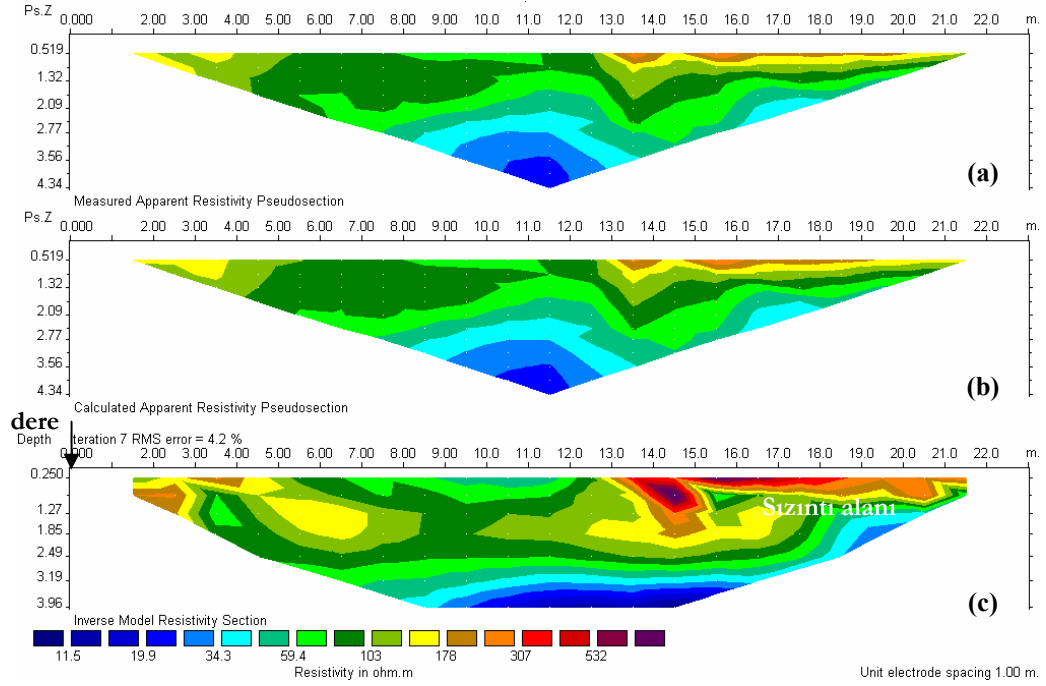
Bu profilleri dik kesen dads3 ve dads4 profilleri için Şekil 5.32c ve 5.33c incelenirse, yaklaşık 45 Ohm-m'den düşük özdirençli yerler sızıntı bölgesini göstermektedir.



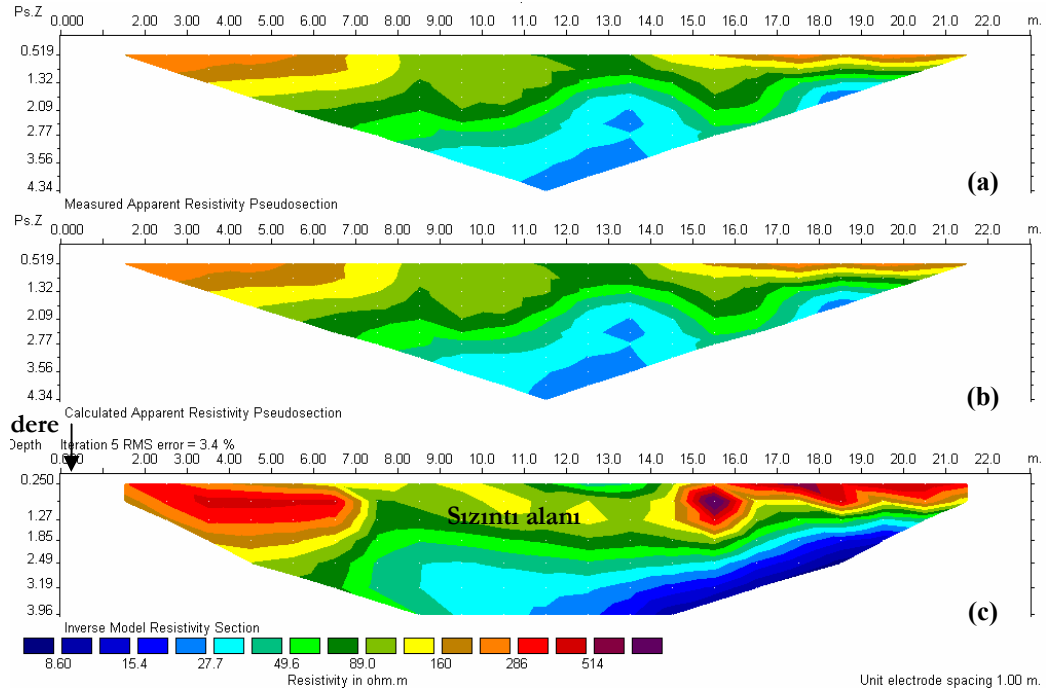
Şekil 5.30. D bölgesi için K15B yönlü dads1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.



Şekil 5.31. D bölgesi için K15B yönlü dads2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.

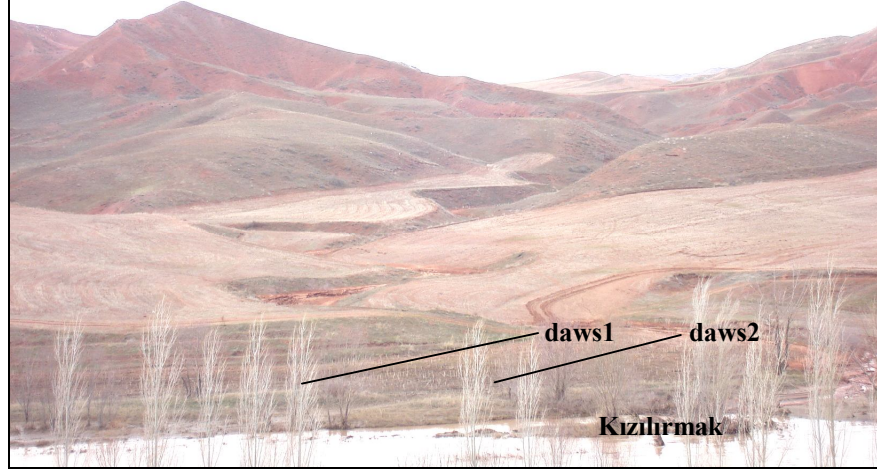


Şekil 5.32. D bölgesi için K55D yönlü **dads3** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.



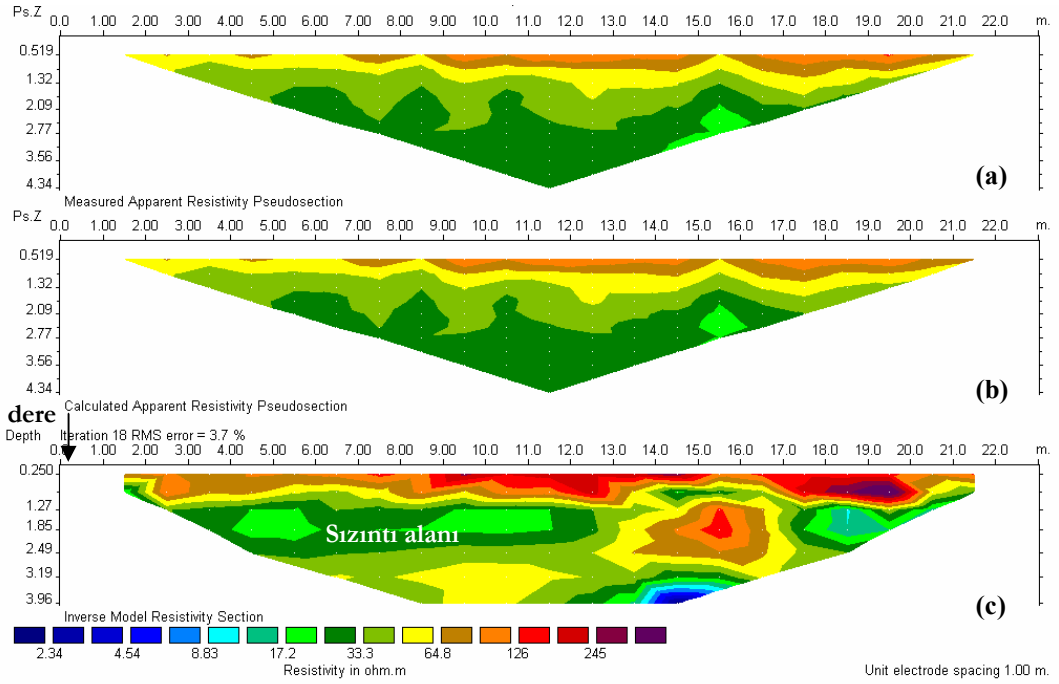
Şekil 5.33. D bölgesi için K55D yönlü **dads4** profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür öz direnç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür öz direnç yapma kesiti ve (c) 2B öz direnç modeli.

W bölgesi: Haçin deresinin batısında Kızılırmak kenarında yer alan son ölçüm alanıdır (Resim 4.15). Bu alanda 10 m aralıkla, K15B yönlü daws1 ve daws2 profillerinde ölçüler alınmıştır (Şekil 5.34 ve 5.35).

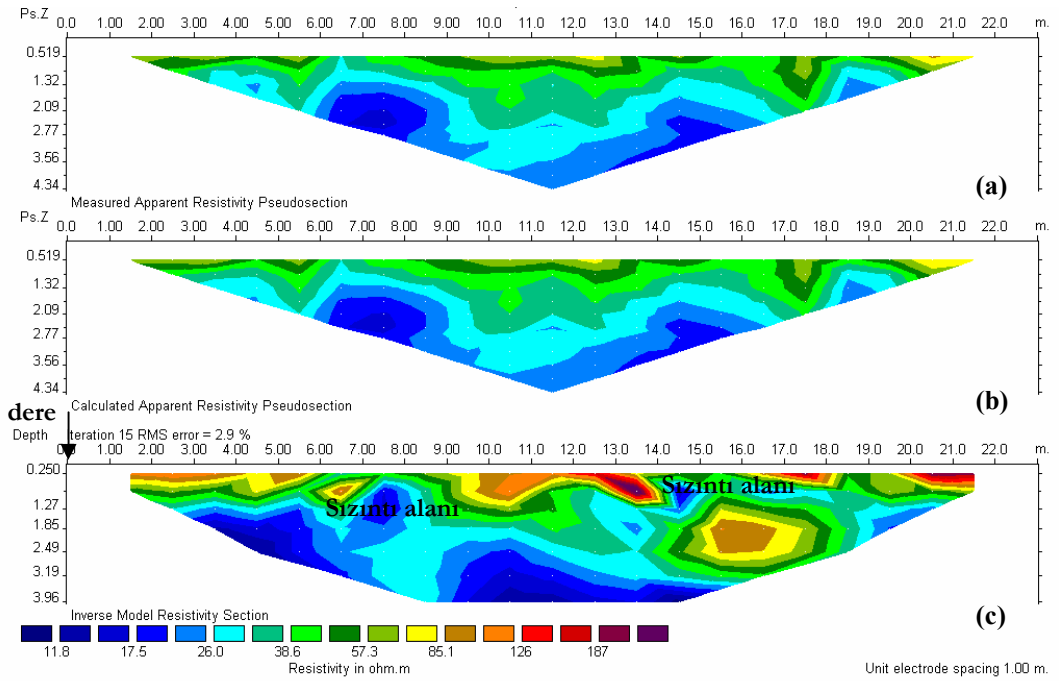


Resim 5.15. W bölgesi ölçüm yeri.

Çalışma alanında, yağışlı dönemlerde yeraltısuyu seviyesi 3-4 m'lere kadar yükselmektedir (Atmaca, 2004). Ayrıca Kızılırmak'a yakın kesimler ise aynı zamanda taşkın alanı olan kesimlerdir. Dolayısıyla topoğrafik açıdan W bölgesi düşük bir kotta olması ve Kızılırmak kenarında olması dikkate alınır, bu alan yağışlı dönemlerde tamamen sızıntı suyunun da karıştığı sulardan etkilenen bir bölgedir. Şekil 5.34c ve 5.35c incelenirse, sızıntı alanı farklı bir yapıda ve dağınık bir yayılım göstermektedir. Bu bölgede özdirenç ortalama 25 Ohm-m'den düşüktür.



Şekil 5.34. W bölgesi için K15B yönlü daws1 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.



Şekil 5.35. W bölgesi için K15B yönlü daws2 profili için Res2DInv programındaki ters çözüm sonuçları: (a) ölçülen görünür özdirenç yapma kesiti, (b) hesaplanan görünür özdirenç yapma kesiti ve (c) 2B özdirenç modeli.

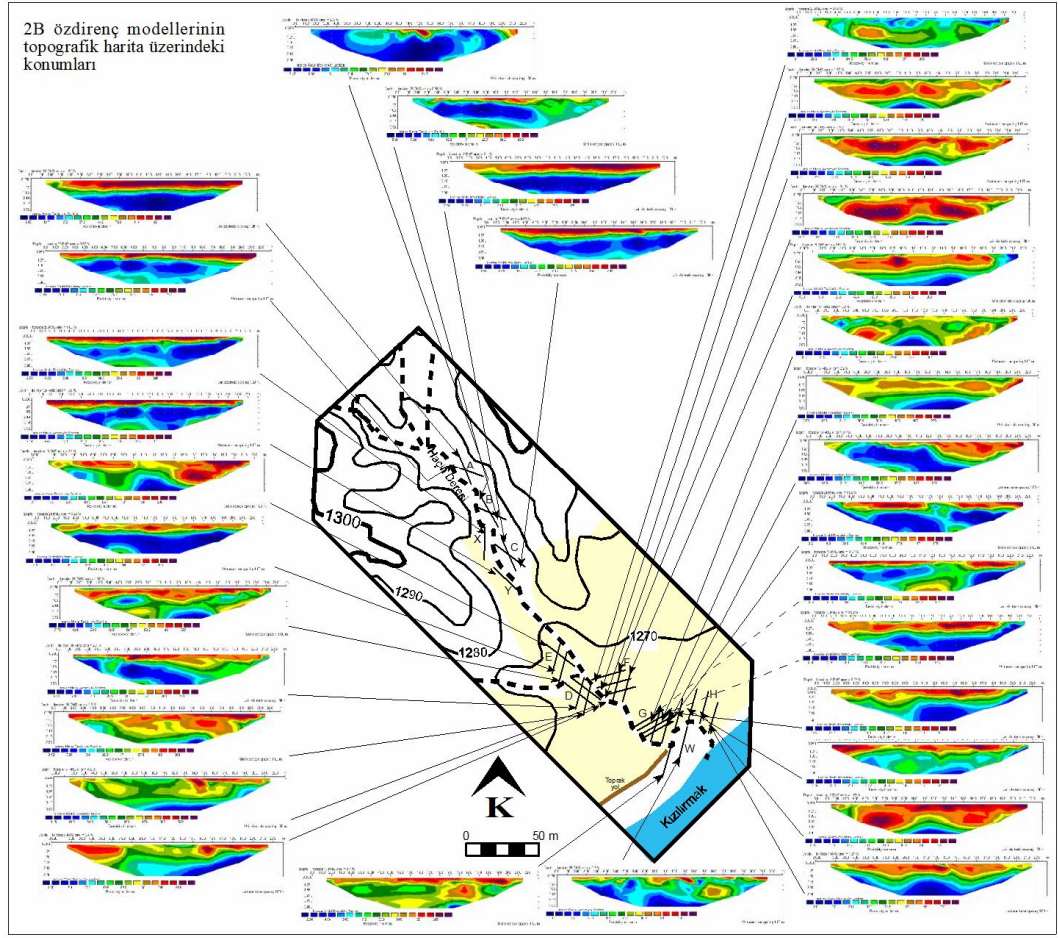
5.1.2. Verilerin iki-boyutlu ters çözümü ve yorumu

2B DAÖ verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan en küçük kareler ters-çözüm yöntemi ile çalışan RES2DINV programı, kullanıcının çok fazla müdahalesine gerek duymadan kısa bir sürede iki-boyutlu görünür özdirenç verilerini değerlendirerek, gerçek yeraltı yapısını başarıyla görüntülemiştir. Dolayısıyla sızıntı suyu sınırları ve kirliliğin araştırılması amacıyla yapılan DAÖ çalışmalarının çoğunda, verilerin 2B ters çözümleri sonucu elde edilen 2B modeller üzerinden yorum yapılmıştır. Buna göre tüm DAÖ ölçülerine ait ters çözüm özdirenç modellerinin tamamı, topoğrafik haritadaki yerleri ile birlikte Şekil 5.36'da gösterilmektedir (EK2'de bu şekil büyük ölçekte verilmektedir).

Şekil 5.36 incelenirse sızıntı, yatayda Haçın deresinin yakın dolayında çoğunlukla 5 ve 15 m'lere kadar bir yayılım gösterirken, derenin düşük kotlu yerlerinde bu yayılım profil boyunca daha uzak mesafelere kadar devam etmektedir. Düşeyde ise sızıntı bölgesi ortalama 1 m derinlikten sonraki katman içindedir ve yaklaşık 1 m ile 4 m derinlikler arasında yer almaktadır. Ancak daha düşük kotta olan yerlerde sızıntı bölgeleri 4 m'den daha derine doğru devam ediyor olabilir. Bunun nedeni, katmanların eğim yönünün doğuya doğru eğimli ve katmanların geçirimli olması ile ilgili olabilir. Jeofizik ölçüm bölgesi içinde ve kuzeyinde Sivas Belediyesi'nin SK-6 nolu sondaj kuyusu bulunmaktadır (SBÇED, 2005). Bu kuyuda kurak dönemde ölçülen yeraltısuyu seviyesi 4 m'de olup, az kumlu kil birim içindedir. Dolayısıyla jeofizik ölçüm bölgesinde sızıntı suyu yeraltısuyuna karışmaktadır ve yeraltısuyu kirlenmektedir.

2B özdirenç modellerinin tümü için yatay yöndeki özdirenç değişimleri incelendiğinde, düşük özdirençli yerlerde genel olarak ortalama 20-30 Ohm-m'den azdır. Düşük özdirençli yerler sızıntı sularıyla kirlenmiş alanları ifade etmektedir. Yüksek özdirençli yerler ise ortalama 20-30 Ohm-m'den yüksektir. Bu alanlar, genel olarak kirlenmenin olmadığı ya da daha az olduğu alanlardır.

Ayrıca bölgenin jeolojisi ve yakın dolayında açılan sondaj logları da gözetilirse, düşük özdirençli kirlenmiş katman üzerinde yer alan yüksek özdirençli katmanlar, kuzey kesimde bitkisel toprak ve yer yer çakıl boyutu değişen az çakıllı, az kumlu killi birimden oluşur. Güneyde, Kızılırmak kenarındaki bölgede ise bitkisel toprak ve yer yer az çakıllı az kumlu olan killi birim vardır.

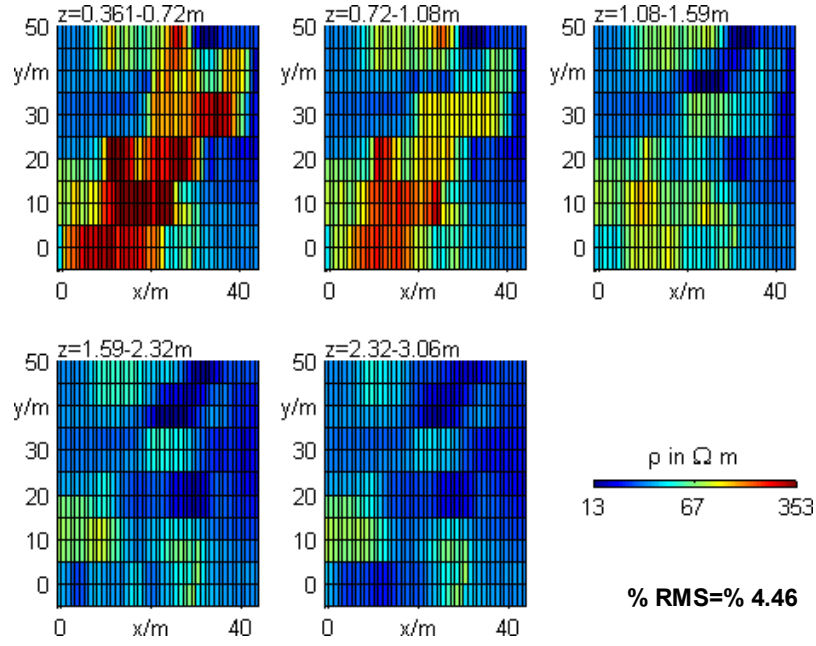


Şekil 5.36. 2B öz direnç modellerinin profil yerlerinin topoğrafik haritadaki konumları.

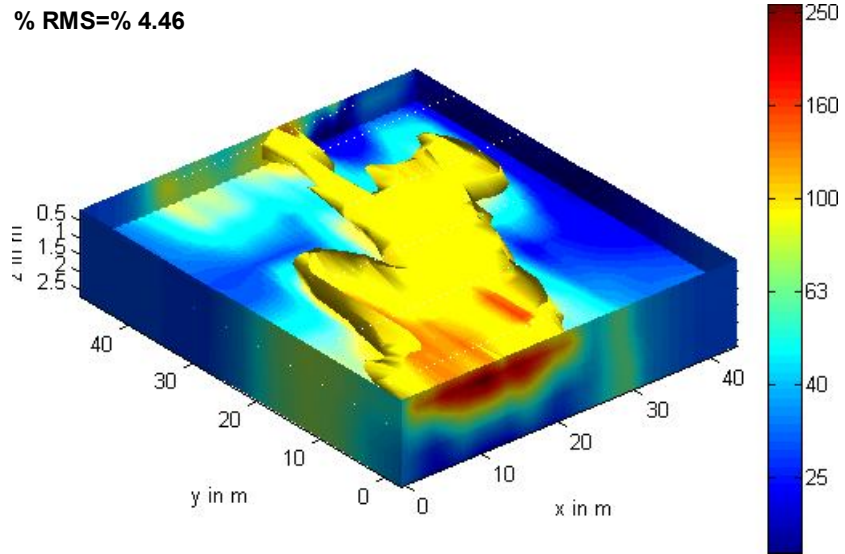
5.1.3. Verilerin üç-boyutlu ters çözümü ve yorumu

Çalışma alanındaki D, E, F, G ve H bölgelerinde birbirine paralel hatlar boyunca ölçülen sondaj-profil ölçüleri birleştirilerek 3B ters çözümleri yapılmıştır. 3B ters çözüm için, Günter (2004)'in DC3DInvRes programları kullanılmıştır. Yapılan ters çözüm işlemi sonucunda elde edilen 3-boyutlu modeller aşağıda görülmektedir.

H₁₂₃₄ – G₁₂ Bölgesi: K15B doğrultusundaki her biri 24 elektroda sahip 6 düzey (n=6) için elektrotlar arası uzaklık 1 m ve profiller arası uzaklık 10 m'dir. 3-boyutlu veriler oluşturularak yapılan ters çözüm sonucunda elde edilen farklı derinlikleri için x-y öz direnç kesitleri Şekil 5.37'te ve 3-boyutlu öz direnç modeli ise Şekil 5.38'te sunulmuştur.

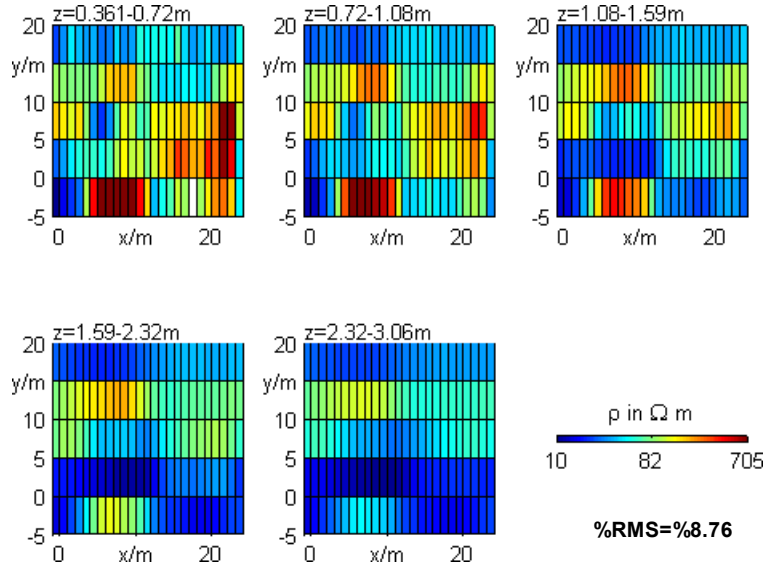


Şekil 5.37. H-G bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlik düzeyleri için x-y kesitleri.

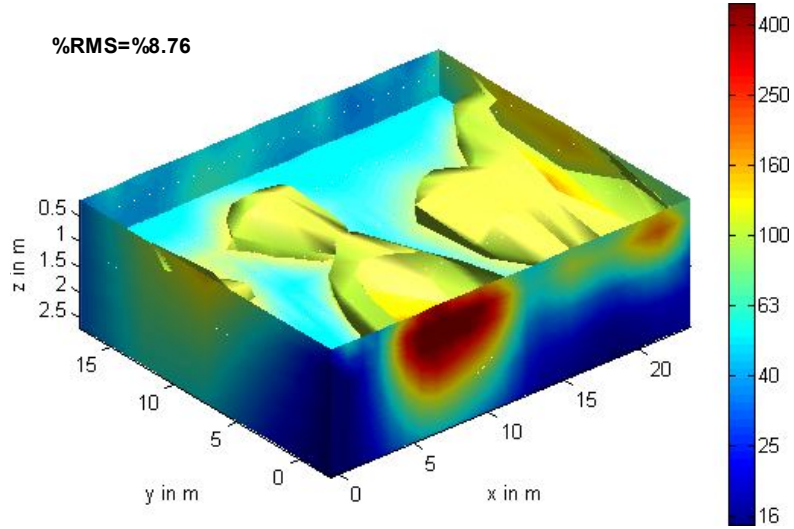


Şekil 5.38. H-G bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.

G₃₄₅₆ bölgesi sonuçları: K120D doğrultusundaki her biri 24 elektroda sahip 6 düzey (n=6) için elektrotlar arası uzaklık 1 m ve profiller arası uzaklık 5m'dir. 3-boyutlu veriler oluşturularak yapılan ters çözümden elde edilen farklı derinlikleri için x-y öz direnç kesitleri, Şekil 5.39'da ve 3-boyutlu öz direnç modeli ise Şekil 5.40'da görülmektedir.

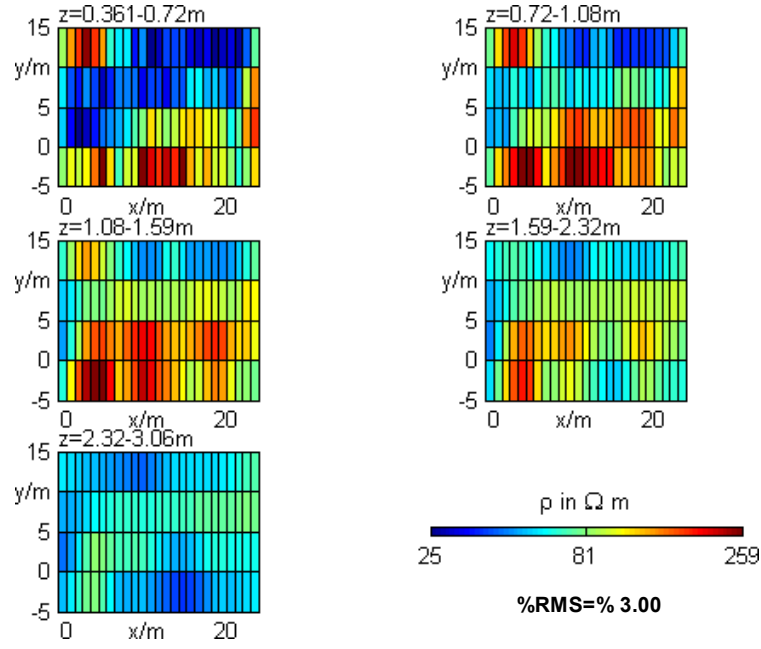


Şekil 4.39. G bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlik düzeyleri için x-y kesitleri.

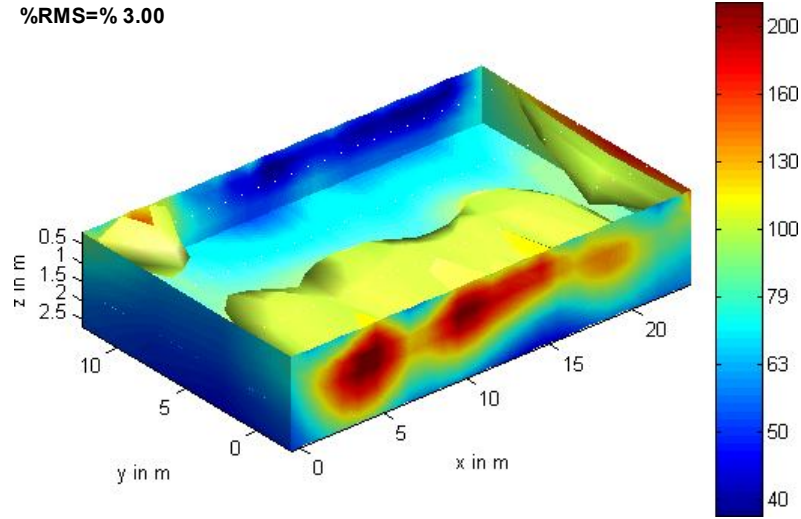


Şekil 5.40. G bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.

F₃₄₅ Bölgesi sonuçları: K120D doğrultusundaki her biri 24 elektroda sahip 6 düzey (n=6) için elektrotlar arası uzaklık 1 m ve profiller arası uzaklık 10 m'dir. 3-boyutlu veriler oluşturularak yapılan ters çözümden elde edilen farklı derinlikleri için x-y öz direnç kesitleri, Şekil 5.41'de ve 3-boyutlu öz direnç modeli ise Şekil 5.42'de sunulmuştur.

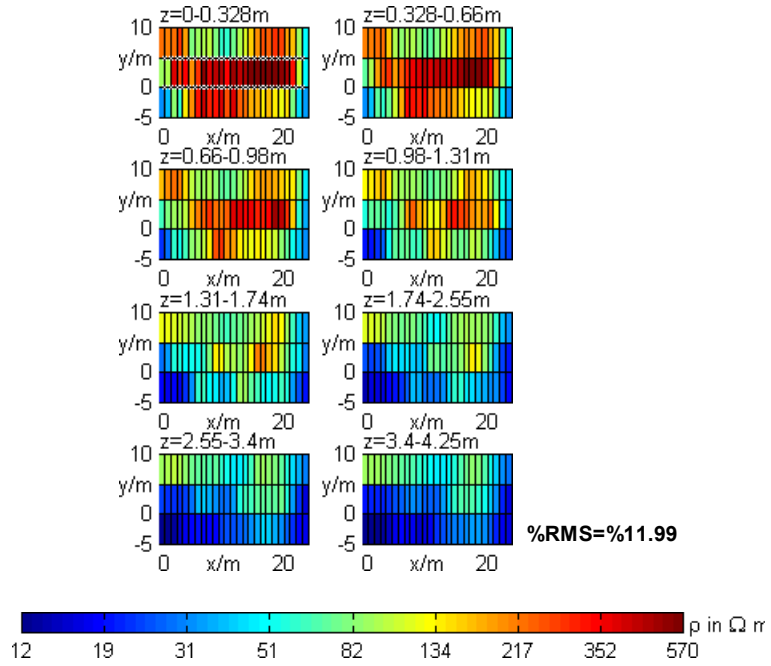


Şekil 5.41. F bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlikler için x-y kesitleri.

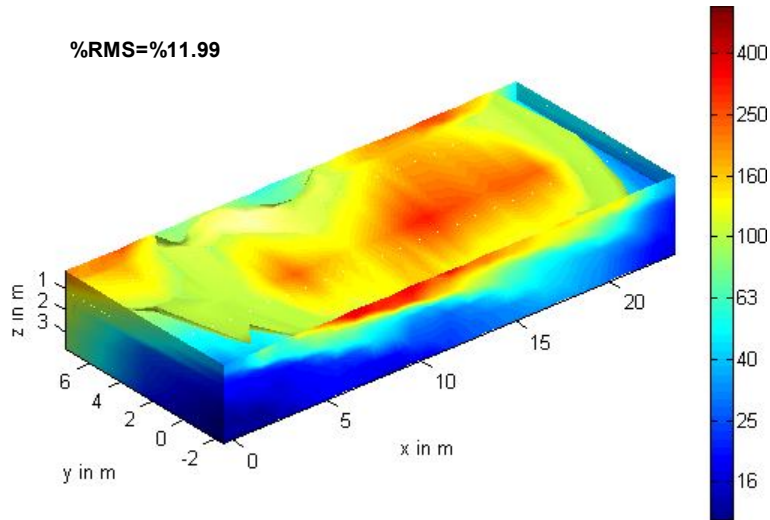


Şekil 5.42. F bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.

D₁₂ Bölgesi sonuçları: K120D doğrultusundaki her biri 24 elektroda sahip 6 düzey (n=6) için elektrotlar arası uzaklık 1 m ve profiller arası uzaklık 10 m'dir. 3-boyutlu veriler oluşturularak yapılan ters çözümden elde edilen farklı derinlikleri için x-y öz direnç kesitleri, Şekil 5.43'te ve 3-boyutlu öz direnç modeli ise Şekil 5.44'de görülmektedir.

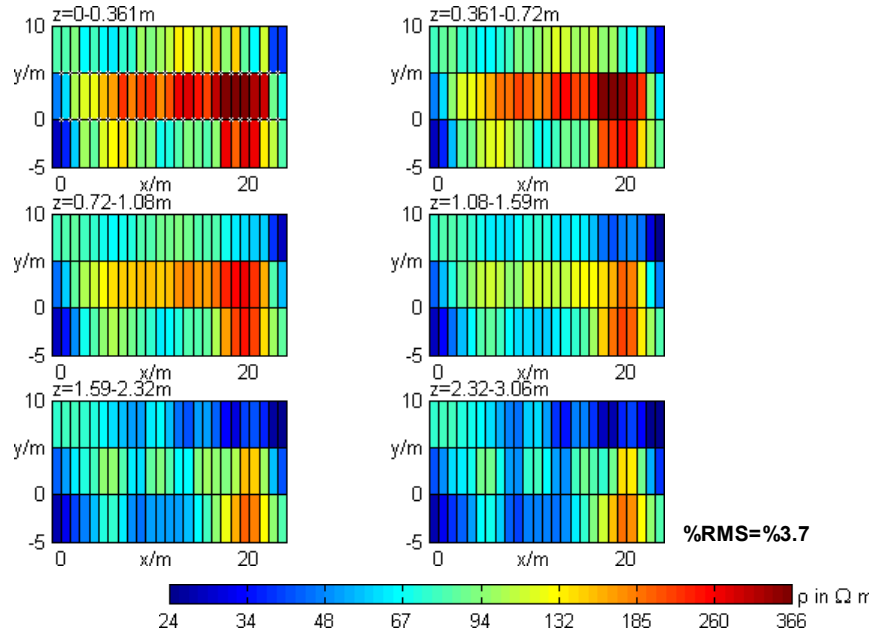


Şekil 5.43. D₁₂ bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlikleri için x-y kesitleri.

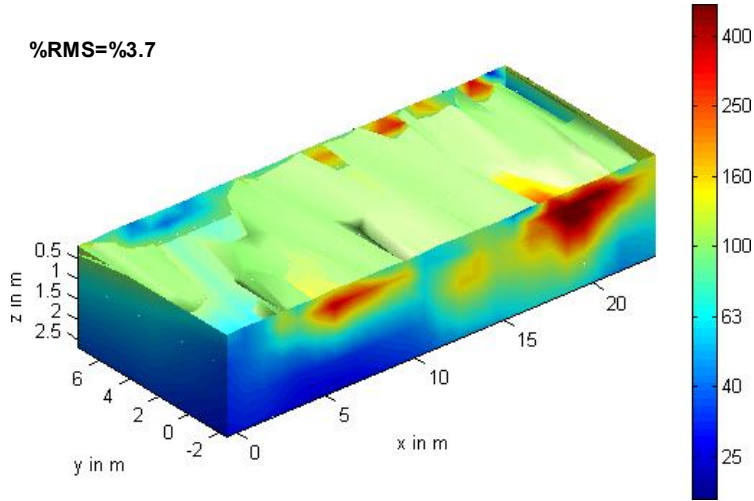


Şekil 5.44. D₁₂ bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.

E₂₃ Bölgesi sonuçları: K15B doğrultusundaki her biri 24 elektroda sahip 6 düzey (n=6) için elektrotlar arası uzaklık 1 m ve profiller arası uzaklık 10 m'dir. 3-boyutlu veriler oluşturularak yapılan ters çözümden elde edilen farklı derinlikleri için x-y öz direnç kesitleri, Şekil 5.45'de ve 3-boyutlu öz direnç modeli ise Şekil 5.46'da sunulmuştur.



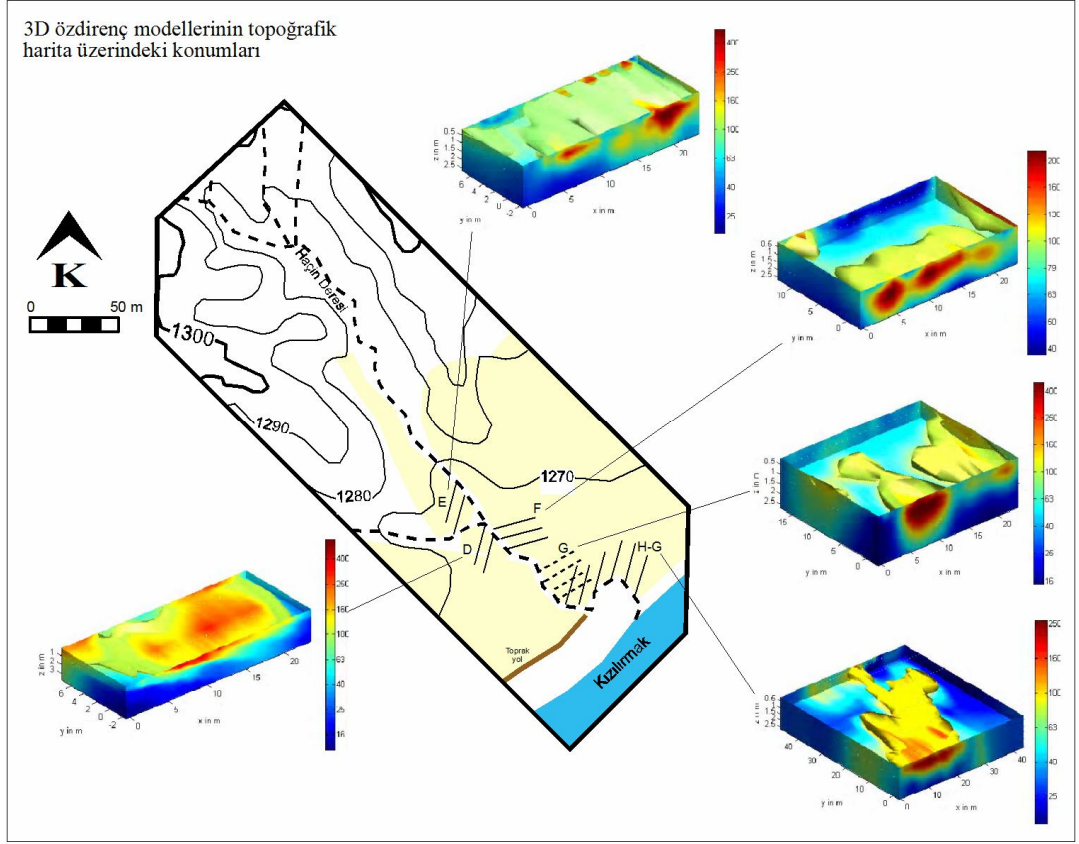
Şekil 5.45. E bölgesinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelinin farklı derinlikleri için x-y kesitleri.



Şekil 5.46. E bölgesi için 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modeli.

Yukarıda anlatılan 2B sondaj-profil verilerinden elde edilen 3-B verilerin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modelleri topoğrafik haritadaki yerleri ile birlikte Şekil 5.47’de ve EK3’de bu şekil büyük ölçekte verilmektedir.

Şekil 5.47 incelenirse, H-G (H₁₂₃₄-G₁₂), G (G₃₄₅₆), F(F₃₄₅), E (E₄₅₆) ve D (D₁₂) bölgelerinin 3B ters çözümü sonucu elde edilen öz direnç modellerinde ortalama 35-40 Ohm-m’den düşük öz dirençli yerler sızıntı bölgeleridir.

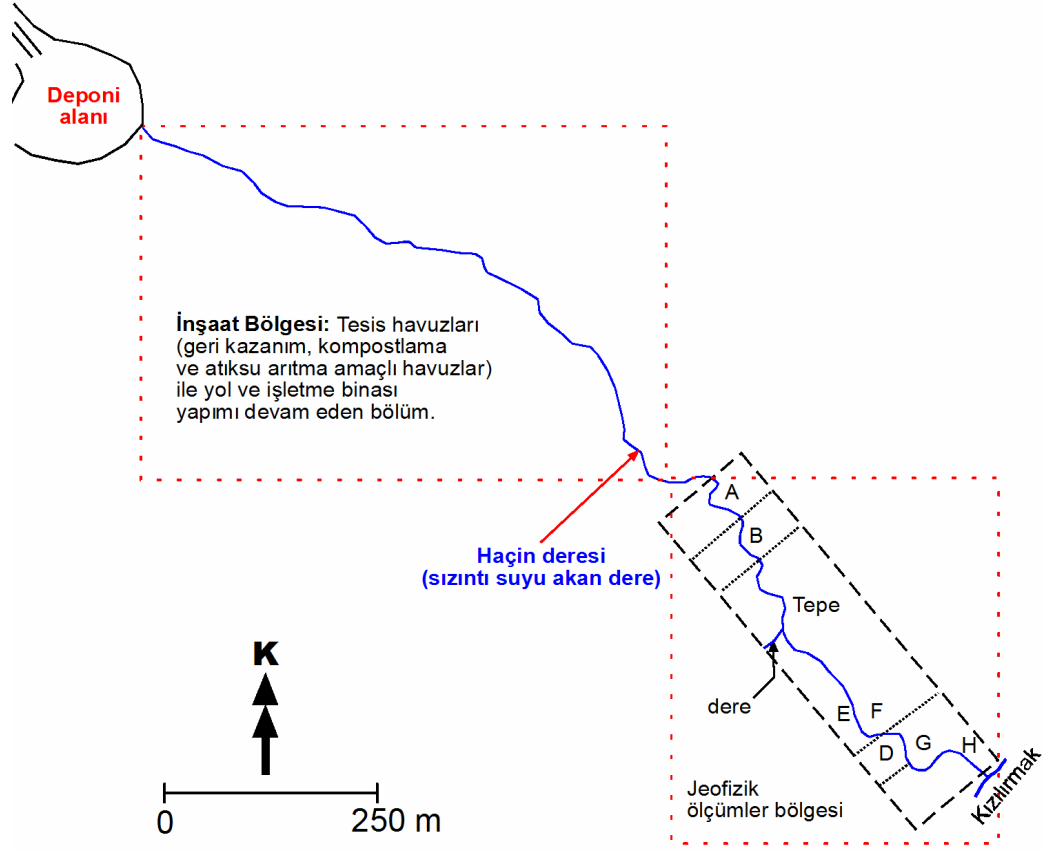


Şekil 5.47. D, E, F, G ve H bölgelerinin 3B ters çözüm sonucu bulunan özdirenç modellerinin topoğrafik harita üzerindeki görünümü.

5.2. Elektromanyetik Çalışmalar

Elektromanyetik iletkenlik ölçüleri, A ve B alanlarında tek bir profil olarak ve D-E-F-G alanlarında ise birbirine koşut ve aynı yönlü profiller boyunca alınmıştır (Şekil 5.48).

Ölçümler, DAÖ verilerinin ters çözüm sonuçları ile karşılaştırma yapmak için profil başlangıç yerleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.48. Deponi alanı ile elektromanyetik iletkenlik ölçüm yerlerinin konumu.

Sızıntı suyunun aktığı Haçin deresinin doğusundaki elektromanyetik ölçüm sonuçları:

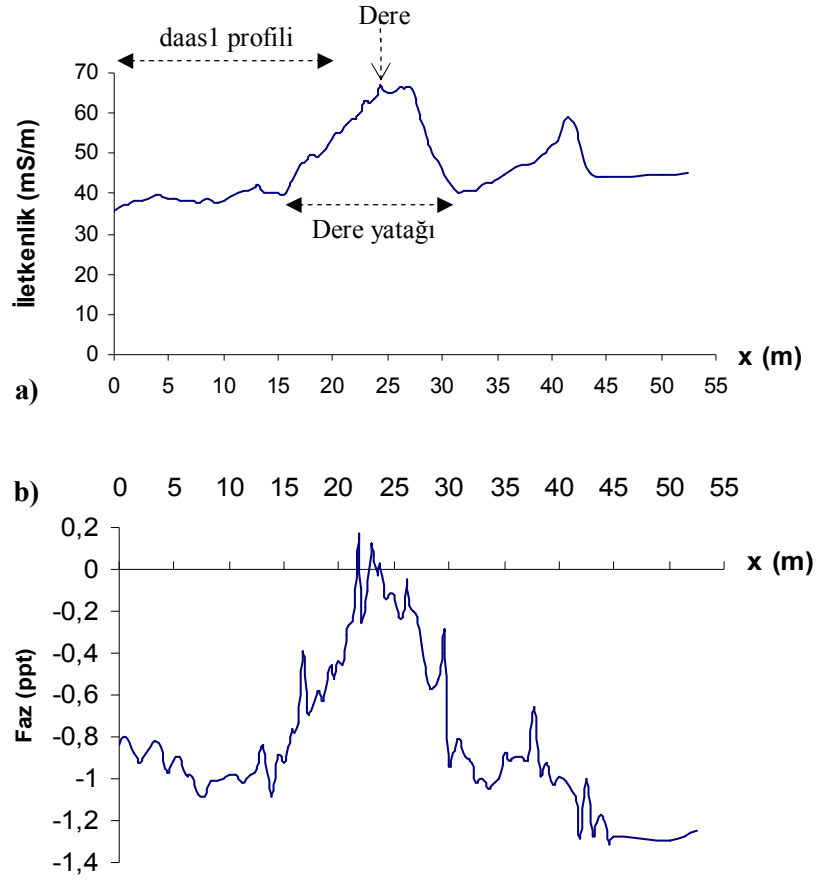
Elektromanyetik (EM) çalışmalar ile ilk 1.5 m derinlikten bilgi alınabilmektedir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen görünür iletkenlik grafikleri aynı yere ait 2B'li özdirenç modelleri ile ve görünür iletkenlik haritaları ise aynı yere ait 3B'li özdirenç modelleri ile ilk 1.5 m derinlik için karşılaştırılmıştır. Buna göre ölçüm bölgelerine ait görünür iletkenlik sonuçları ve bu sonuçlarla karşılaştırılan 2B'li ve 3B'li özdirenç modelleri aşağıda sunulmaktadır.

A bölgesi: İlk elektromanyetik iletkenlik ölçüsü tek bir profil boyunca alınan A1 profilidir (Resim 5.16 ve Şekil 5.49). Burada, A1 profilinin boyu 55 m'dir. Bu profiledeki ölçüler, başlangıç noktaları aynı olan K20B yönlü 23 m'lik daas1 profili (Resim 5.6 ve Şekil 5.3) üzerinde alınmıştır (Şekil 5.50). Grafikler Şekil 5.49'da sunulmuştur.

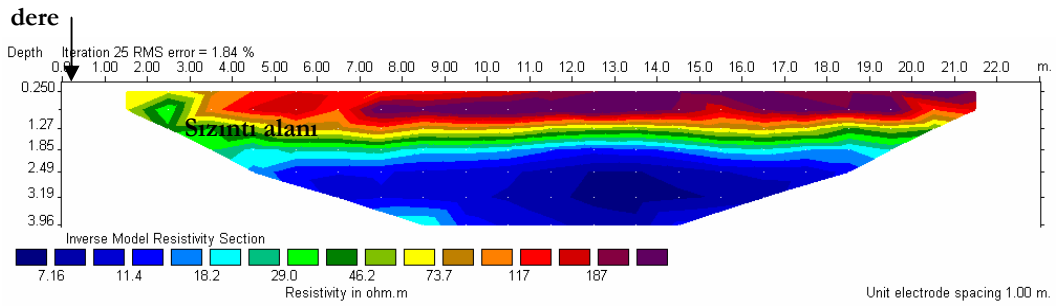


Resim 5.16. A bölgesi ve A1 profili.

Şekil 5.49a incelenirse, A1 profilinde 15-30 m'ler arasında yüksek elektriksel iletkenlik değerlerinin yaklaşık 35-65 mS/m aralığında ve 40-45 m'ler arasında ise yaklaşık 40-60 mS/m aralığında değişmekte olduğu görülmektedir. Bu durum, faz grafiği ile de uyumludur (Şekil 5.49b).



Şekil 5.49. A1 profilinin a) görünür elektriksel iletkenlik grafiği ve b) faz grafiği.



Şekil 5.50. Şekil 5.3'den düzenlenerek alınan A bölgesindeki K20B yönlü daas1 profilinin 2B öz direnç modeli.

Jeofizik yöntemlerin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla Şekil 5.49 ve 5.50 incelenirse, her iki şekilde de ilk 23 m uyumlu değildir. Bunun nedeni EM yöntem yalnızca yüzeye yakın bilgileri içerdiğinden, yöntemin 1.5 m'nin altına inememiş olmasıdır. Dolayısıyla görünür iletkenlik grafiği, 2-B'lu öz direnç modeli ile uyumlu değildir.

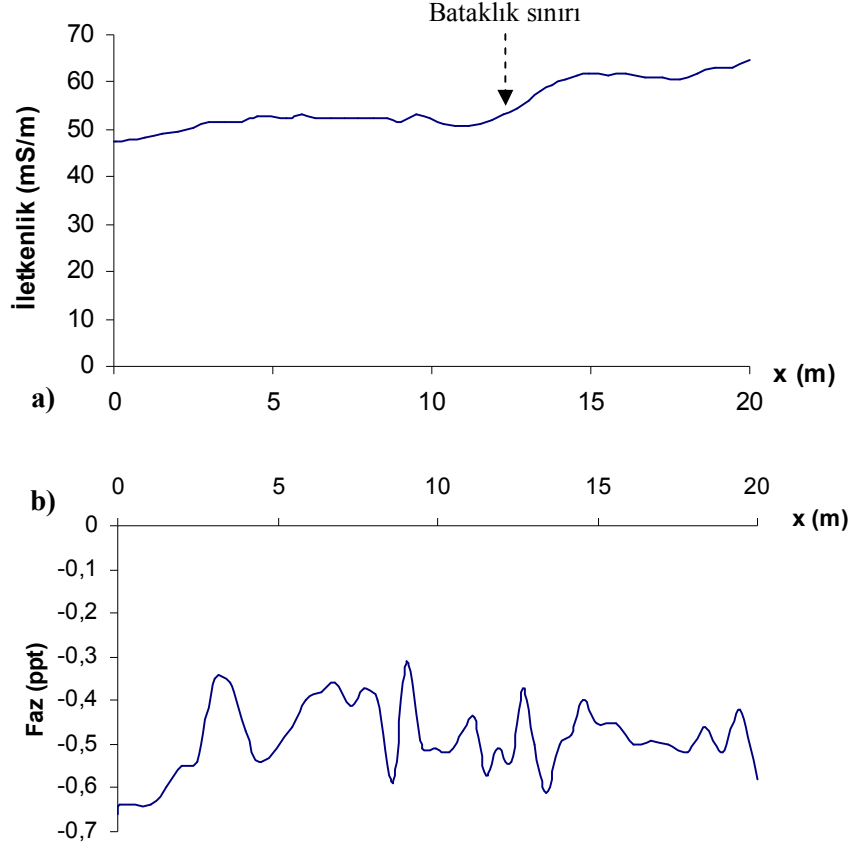
B bölgesi: Elektromanyetik iletkenlik ölçüsü tek bir profil boyunca alınan B1 profilidir (Resim 5.17 ve Şekil 5.51). B1 profilinin boyu 20 m'dir. Bu profildeki ölçüler, başlangıç noktaları aynı olan ve yaklaşık aynı profil uzunluğuna sahip, K65B yönlü 23 m'lik dabs1 profili (Resim 5.7 ve Şekil 5.5) üzerinde alınmıştır (Şekil 5.52). Grafikler Şekil 5.51'de görülmektedir.



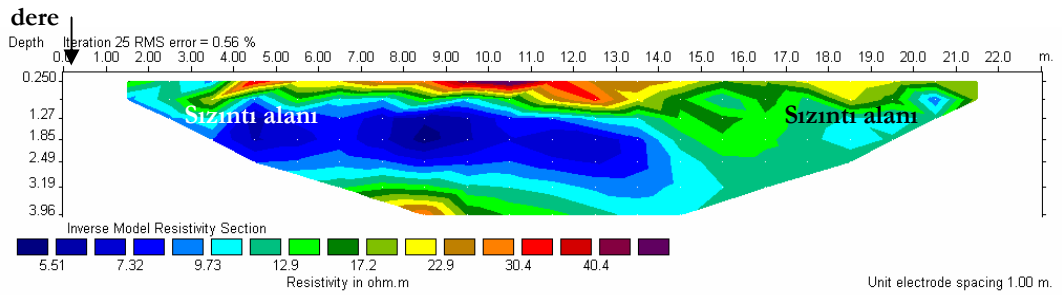
Resim 5.17. B1 profili.

Şekil 5.51a incelenirse, B1 profilinde genelde 10 m'ye kadar az bir artış olmakla birlikte elektriksel iletkenlik 10 m'de 54 mS/m değeri göstermektedir. Ancak elektriksel iletkenlik 10 m'den sonra azalmakta (yaklaşık 50-52 mS/m) ve yaklaşık 12 m'den sonra tekrar ve daha yüksek bir düzeyde olup yaklaşık 52-65 mS/m aralığında değişerek artmaktadır. Bu durum, faz grafiği ile yaklaşık olarak uyumlu olduğu söylenebilir (Şekil 5.51b).

Jeofizik yöntemlerin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla Şekil 5.51 ve 5.52'de ilk 20 m incelenirse, görünür iletkenlik değerleri yaklaşık 0-4, 12-15 ve 17-20 m'ler arasında artmakta olup, diğer m'lerde çok az bir artmakta ya da azalmaktadır. Buna karşılık özdirenç değerleri yaklaşık 0-4 ve 15-20 m'ler arasında yaklaşık 15 Ohm-m'den düşüktür ve diğer m'lerde ise yaklaşık 15 Ohm-m'den yüksektir. Dolayısıyla yöntemin 1.5 m'nin altına inememiş olması nedeniyle görünür iletkenlik grafiği ile 2-B'lu özdirenç modeli arasında profil boyunca ilk 1.5 m derilikte çok az bir uyum vardır.



Şekil 5.51. B1 profilinin a) görünür elektriksel iletkenlik grafiği ve b) faz grafiği.



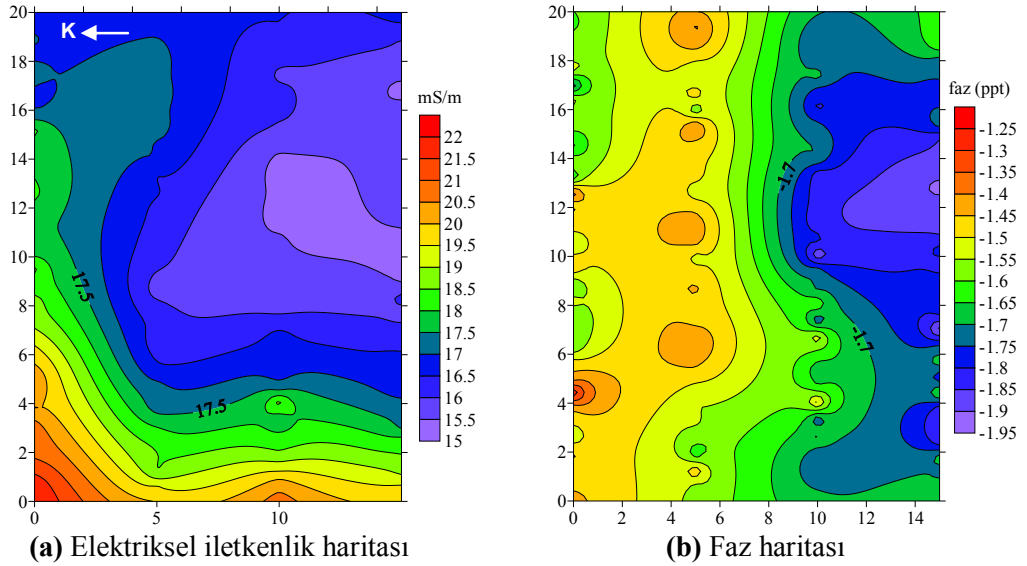
Şekil 5.52. Şekil 5.5’den düzenlenerek alınan B bölgesi için K65B yönlü dabs1 profilinin 2B öz direnç modeli.

F bölgesi: Profil boyları 25 m ve profiller arası uzaklıkları 5 m olan K15B yönlü toplam 4 profilde sürekli ölçü alma tekniği ile elektromanyetik iletkenlik ölçüsü alınmıştır (Resim 5.18). Verilerin, Surfer 8’de yapılan çizimleri sonucunda elde edilen görünür iletkenlik ve faz haritaları Şekil 5.53’de verilmektedir.



Resim 5.18. F bölgesi ölçüm yeri.

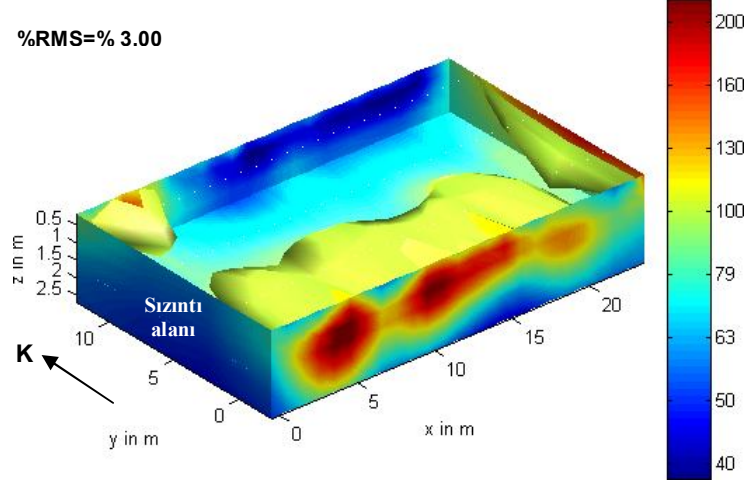
Şekil 5.53a incelenirse, görünür iletkenlik değerleri K ve B yönlerinde 18 mS/m’den yüksek değerler göstermektedir. Bu sonuç, faz grafiği ile yaklaşık uyumludur (Şekil 5.53b).



Şekil 5.53. F bölgesinin elektromanyetik iletkenlik ölçüm sonuçları.

Jeofizik yöntemlerin Şekil 5.53a’daki görünür iletkenlik haritası ve Şekil 5.54’deki 3B öz direnç modeli karşılaştırırsa, iletkenlik değerinin 18 mS/m’den

yüksek olduğu yerlerde öz direnç ortalama 45 Ohm-m'den düşüktür. Dolayısıyla genel olarak ilk 1.5 m derinlik için iki yöntemin sonuçları yaklaşık uyumludur.



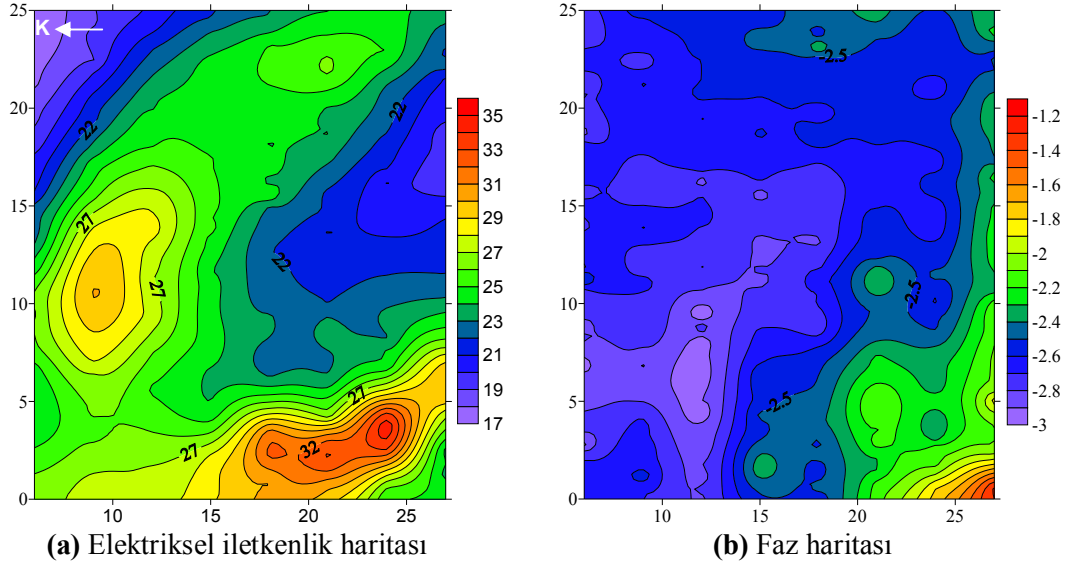
Şekil 5.54. F₃₄₅ bölgesi için Şekil 5.42'deki 3B öz direnç modeli.

G bölgesi: Profil boyları 25 m ve profiller arası uzaklık 3 m olan K15B yönlü toplam 9 profile sürekli ölçü alma tekniği ile elektriksel iletkenlik ölçüsü alınmıştır (Resim 5.19). Verilerin, Surfer 8'de yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen haritaları Şekil 5.55'de verilmektedir.



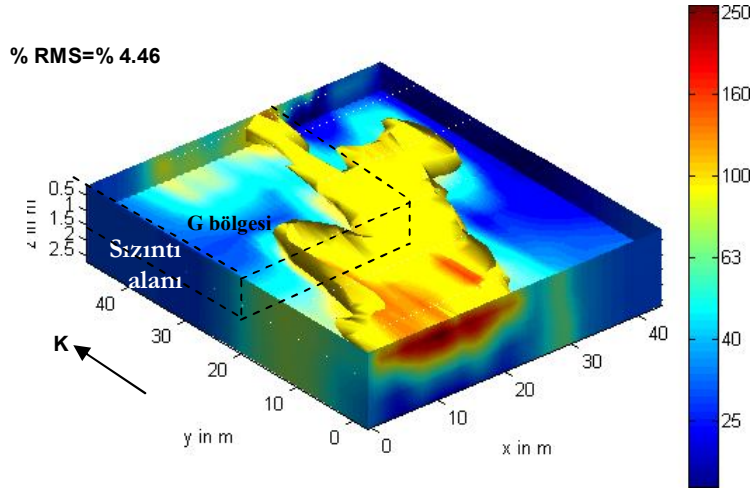
Resim 5.19. G bölgesi ölçüm yeri.

Şekil 5.55a incelenirse, görünür iletkenlik değerleri K ve B yönlerinde ortalama 24 mS/m'den yüksek iletkenlikli değerler göstermektedir. Bu durum, faz haritası ile yaklaşık olarak uyumludur (Şekil 5.55b).



Şekil 5.55. G bölgesinde elektromanyetik iletkenlik ölçümlerden elde edilen haritalar.

Şekil 5.55'deki görünür iletkenlik haritası ve Şekil 5.56'daki 3B öz direnç modeli karşılaştırırsa, iletkenlik değerinin ortalama 24 mS/m'den yüksek olduğu yerlerde öz direnç ortalama 30 Ohm-m'den düşüktür. Dolayısıyla iki yöntemin sonuçları uyumludur.



Şekil 5.56. H-G₁₂ bölgesinin Şekil 5.38'deki 3B öz direnç modeli.

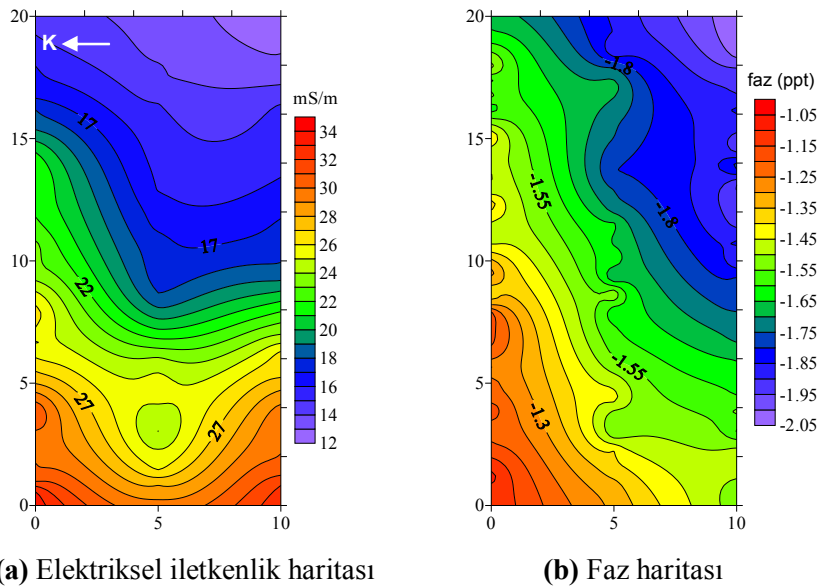
Sızıntı suyunun aktığı Haçın deresinin batısındaki elektromanyetik iletkenlik ölçüm sonuçları:

D bölgesi: Profil boyları 25 m olan K15B yönlü 5 m aralıklı ve toplam 3 profilde sürekli ölçü alma tekniği ile elektriksel iletkenlik ölçüsü alınmıştır (Resim 5.20). Verilerin, Surfer 8’de yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen haritaları Şekil 5.57’de verilmektedir.



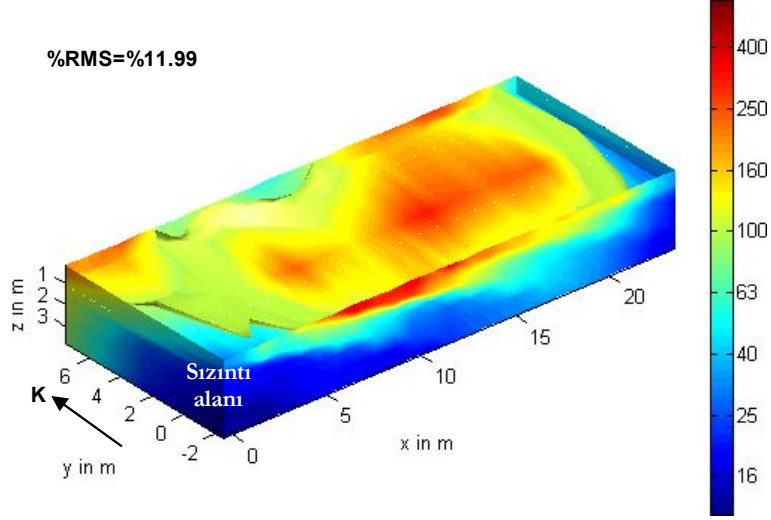
Resim 5.20. D₁₂ bölgesi ölçüm yeri.

Şekil 5.57a incelenirse, elektriksel iletkenlik değerleri batı yönünde ortalama 21 mS/m’den yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu durum, faz haritası ile yaklaşık olarak uyumludur (Şekil 5.57b).



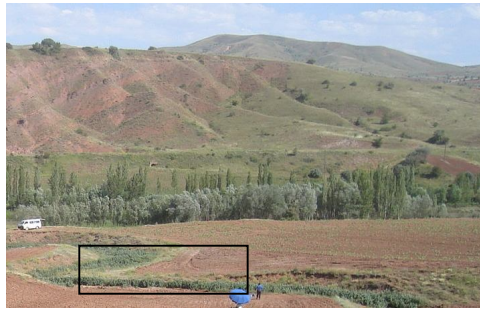
Şekil 5.57. D bölgesinde elektromanyetik iletkenlik ölçümlerinden elde edilen haritalar.

Şekil 5.57'deki görünür iletkenlik haritası ve Şekil 5.58'deki 3B öz direnç modeli karşılaştırırsa, iletkenlik değerinin ortalama 21 mS/m'den yüksek olduğu yerlerde yaklaşık öz direnç 30 Ohm-m'den düşüktür. Dolayısıyla genel olarak ilk 1.5 m derinlik için iki yöntemin sonuçları uyumlu değildir.



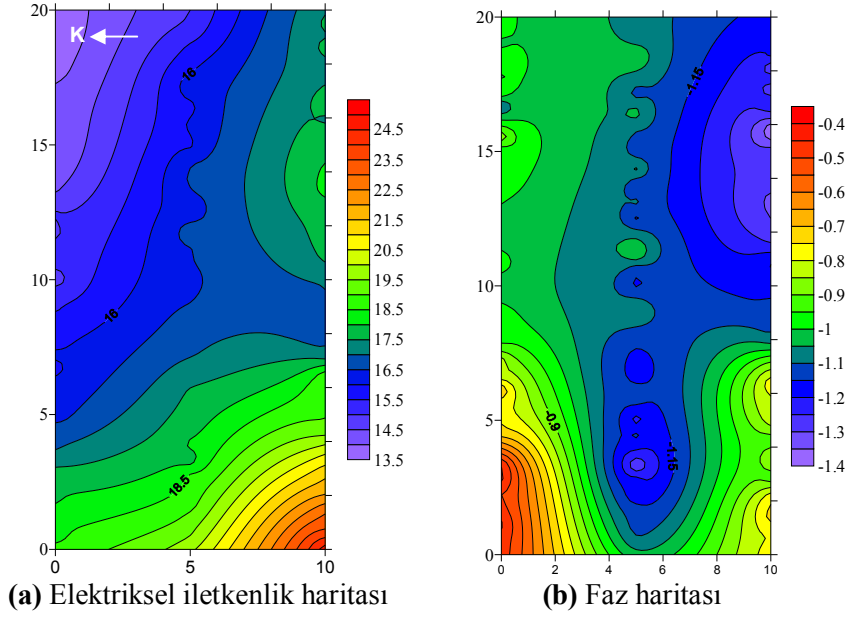
Şekil 5.58. D₁₂ bölgesinin Şekil 5.44'deki 3B öz direnç modeli.

E bölgesi: Profil boyları 25 m olan K15B yönlü ve 5 m aralıklı toplam 3 profile sürekli ölçü alma tekniği ile elektriksel iletkenlik ölçüleri alınmıştır (Resim 5.21). Verilerin, Surfer 8'de yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen haritalar Şekil 5.59'da görülmektedir.



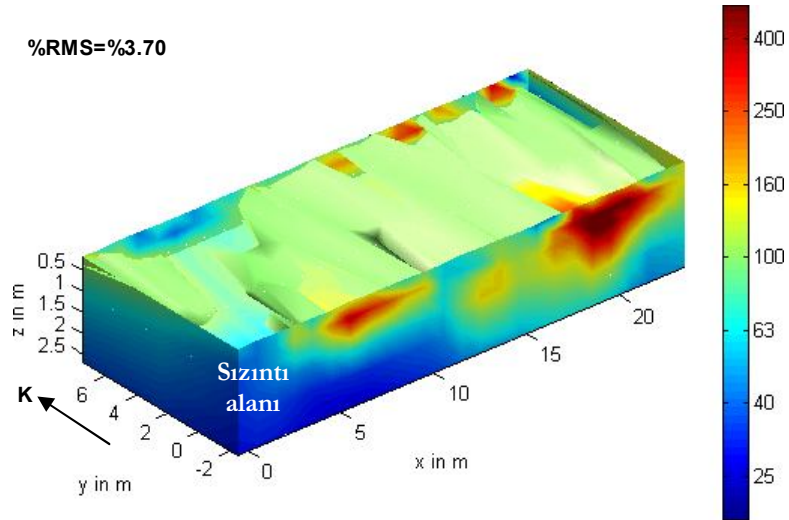
Resim 5.21. E bölgesi ölçüm yeri.

Şekil 5.59a incelenirse, elektriksel iletkenlik batı yönünde yaklaşık 19.5 mS/m'den yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu durum, faz haritası ile yaklaşık olarak uyumludur (Şekil 5.59b).



Şekil 5.59. E bölgesinde elektromanyetik iletkenlik ölçümlerden elde edilen haritalar.

Şekil 5.57'deki görünür iletkenlik ve Şekil 5.58'deki ters çözüm öz direnç sonuçları karşılaştırırsa, iletkenlik değerinin yaklaşık 18.5 mS/m'den yüksek olduğu yerlerde öz direnç ortalama 30 Ohm-m'den düşüktür. Dolayısıyla genel olarak ilk 1.5 m derinlik için iki yöntemin sonuçları yaklaşık uyumludur.



Şekil 5.60. E bölgesinin Şekil 5.46'daki 3B öz direnç modeli.

Bilindiği gibi öz direncin tersi iletkenliktir. Yukarıda görüldüğü üzere iletkenlik değerleri kirli bölge üzerinde yaklaşık 18-25 mS/m'den yüksek

değerlere ulaşırken, özdirenç değerleri ise ortalama 20-30 Ohm-m'den düşüktür. Dolayısıyla özdirençin düşük olduğu yerlerde, iletkenlik değerleri yüksek olur ve bu yerler kirliliğin olduğu alanlardır.

Ancak A ve B bölgelerinde kirli alandaki iletkenlik değerleri daha yüksektir ve bu bölgelerde iletkenlik ortalama 50 mS/m iken, özdirenç yaklaşık 13-30 Ohm-m'den düşüktür. Bunun nedeni bu bölgelerin sızıntı suyunun ilk deşarj edildiği yere yakın olması olabilir.

EM yöntem çalışmaları ile ilk 1.5 m derinlikten bilgi alınabilmektedir. Dolayısıyla EM iletkenlik ölçüsü alınan yerlere ait görünür iletkenlik grafiklerinin, aynı yere ait 2B özdirenç modelleri karşılaştırıldığında, elektromanyetik iletkenlik sonuçlar yalnızca yüzeye yakın bilgileri içerdiğinden, 2B'lu özdirenç modelleri ile uyum olmadıkları görülmüştür. Görünür iletkenlik sonuçları ile 3B'lu özdirenç modelleri ilk 1.5 m derinlik için karşılaştırıldığında ise genel olarak sonuçların uyumlu oldukları görülmüştür.

Diğer bir sonuç ise iletkenlik haritalarında ve 2B özdirenç modellerinde sızmanın (kirlilik) yönünün GD yönünde olduğu görülmüştür.

6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bölgede yapılan jeokimya ve jeofizik çalışmaların sonuçları aşağıda sunulmuştur:

1. Jeokimya sonuçları:

Sızıntı suyu, deponi alanından çıktıktan sonra yağışsız dönemlerde kuru olan Haçin deresi ile hiçbir arıtma olmadan doğrudan Kızılırmak'a taşınır. Dolayısıyla yağışsız dönemde sızıntı suyunda ya da atık suyunda olabilecek seyrelmenin, çoğunlukla Kızılırmak'a ulaştıktan sonra gerçekleştiği söylenebilir.

ÇS pH değerleri, çoğunlukla alıcı ortam standartlarına uygun değildir ve KS daha asidiktir. KS'nda bu değerlerin yüksek olmasının nedeni, yağışlarla süzülüp gelen veya eriyen karlarla gelen suların geçtikleri yerlerde bünyesine kattığı iyon içeriği ile ilişkili olabilir.

ÇS'nda genelde kurak dönemde artan EC değerlerine karşılık, yağışlı dönemdeki EC değerleri düşüktür. Bu sonuç, KS'nda da görülür. ÇO miktarı dolayısıyla ÇS kirlidir ve KS ise çoğunlukla temiz su olma koşulunu sağlar. ÇS-KS için yağışlı dönemde tuzluluk değerlerinde azalma gözlenirken, sıcaklıkların en üst değerlere çıktığı kurak dönemde arttığı görülür. KÖ için olan EC değeri de kurak dönemde artmaktadır. ÇS, KS ve KÖ su örneklerinin ORP değerlerine göre ise bu sular mineralce zengin olup, oksidasyon gücü olarak zayıf sulardır.

ÇS'nda BOI ve KOI değerleri, deşarj standartlarının üzerinde olup, ÇS yüksek oranda zehirlidir. KS'nda ise zehirlilik oranı azdır. BOI/KOI oranlarına göre ise ÇS'nda organik madde miktarı fazla olup, duraylı hale gelmemiştir ve dolayısıyla kirlilik yenidir. KS için ise Kızılırmak zaman zaman az da olsa organik madde ile kirlilenebilir. KÖ için kurak dönemde BOI ve KOI biraz artmasına karşın, Kızılırmak'ı kirletebilecek bir derişimde değildir.

ÇS için alkalinite, klorür ve azot derişim miktarları aylara göre yaklaşık aynı miktarda artış ve azalış gösterir. Diğer değişkenlerde de olduğu gibi derişim miktarlarındaki artma ve azalmalarda, çöp bünyesindeki maddelerin etkisi yanında mevsimsel etkenler de vardır.

ÇS ve KS'nda en çok Fe, Ni, Zn ve Cu ağır metalleri bulunur. KS'nda bu elementlerin oranı azdır ve çoğunlukla alıcı ortam standartlarına uygundur. Toprak örneklerinde en yüksek derişimli ağır metaller Sr (244-1669 mg/L), Ni

(286.8-574.6 mg/L), Ba (217-556 mg/L), Zr, Zn, Co, Cu, Ce, Rb, Pb, La, Al, Ga, Y, U, Fe, W, Ca ve As'dir. Sr'un çok yüksek oranda olmasının nedeni bölgede egemen olan Oligosen-Miyosen yaşlı Hafik formasyonu jipsleridir. Sr, Ni ve Ba hariç, diğer en çok bulunan ağır metallerin toplam derişimlerinin ortalaması 9.4-78.7 mg/L ve geriye kalan elementlerin ise 0 ile 6.63 mg/L arasında değişir.

Toprak örneklerinden bu alandaki kirliliğin bölgede egemen kayatürü kaynaklı olmadığı, esas kirliliğin çöpten kaynaklandığı ve bu elementlerin (Co, Ni, Zn, Cu, Ga, As, Rb, Y, Mo, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ce, W, Pb, U, Fe, K, Cr, Mg, V, P) Kızılırmak'a karıştığı belirlenmiştir (EK1). Su analiz sonuçları da dikkate alınırca bu kirliliğin, hem yöredeki toprak örtü hem de Kızılırmak için zararlı olduğu söylenebilir. Topraktaki ağır metal derişimlerinin suya göre çok yüksek olmasının nedeni ise toprağın tutma, süzme gibi özellikleri nedeniyle yıllarca bu maddeleri biriktirebilmesi ile açıklanabilir. Ancak su örneklerinde yapılan diğer kirlilik analizleri (BOI, KOI, Cl, N, Alkalinite vd.) dikkate alınırca, suda da oldukça riskli boyutlarda kirlilik bulunur.

Ayrıca ÇS ve KÖ su örneklerinin, aynı aylar için olan BOI, KOI, alkalinite, klorür, pH ve EC sonuçları, Atmaca (2004)'nın sonuçları ile denestirildiğinde yaklaşık 5 yıl sonraki değerlerde büyük oranda bir azalma olmasına karşın, ÇS ve KÖ için toplam alkalinite ve ÇS için toplam klorür miktarı çok fazla değişmemiştir. Sadece KÖ'nde toplam klorür miktarı 2.7 kat azalmış olup, pH ve EC biraz artmıştır. Buna karşın, kirletici madde derişimleri deşarj standartlarının hala üzerinde olduğundan bölgede çevre sorunları devam etmektedir.

Bölgede hala toprak ve su kirliliği sorunlarının yanı sıra görüntü, gürültü ve hava kirliliği devam etmekte olan sorunlardandır.

2. Jeofizik Sonuçlar:

Derenin doğu ve batısındaki DAÖ ölçümleriyle mevcut kirlenmenin yatay ve düşeydeki boyutlarını ortaya koymak için yapılan 2B modelleme sonucu elde edilen RMS hataları % 5'ten düşük olup, ters çözümde çakışma sağlanabilmiştir.

2B öz direnç modellerinin tümü için sızıntı alanları yatayda Haçın deresinden doğuya doğru yaklaşık 5-15 m, dereden batıya doğru ise yaklaşık 5 m kadar devam eder. Bunun nedeni, katmanların eğim yönünün doğuya doğru eğimli ve

katmanların geçirimli olması ile ilgili olabilir. Modellerde genel olarak 20-30 Ohm-m'den düşük özdirençli yerler sızıntı sularıyla kirlenmiş alanları ifade eder. Genel olarak kirlenmenin olmadığı ya da daha az olduğu yerlerde özdirenç 20-30 Ohm-m'den yüksektir.

Düşey yönde ise kirliliğin en az 4 m kalınlığında olduğu ve daha derine doğru da devam edebileceği belirlenmiştir. Kirliliğin bölgelerde kirlilik derinliğinin her iki tarafında da derinden uzaklaştıkça genel olarak yüzeyin 1.5-2 m altından başlar. A, B, C bölgelerinde ise yüzeyde ya da yüzeye yakın bir derinlikten (1.00 m'den az) başlar. Buna göre jeofizik ölçüm bölgesi içinde kuzeyinde bulunan SK-6 nolu kuyuda az kumlu kil biriminde kurak dönemde ölçülen yeraltısuyu seviyesinin 4 m'de olduğu (SBÇED, 2005) da gözetildiğinde, jeofizik ölçüm bölgesinde sızıntı suyu yeraltısuyuna karışmaktadır ve yeraltısuyu kirlenmektedir. Ayrıca B bölgesindeki kirliliğin içinde ortalama 16 Ohm-m'den yüksek özdirençli alan, yüzeyde de gözlenen az kumlu killi yamaç akıntısıdır.

Bazı DAÖ ölçüm alanları için yapılan 3B özdirenç modelleri ile sızıntı suyunun sınırları irdelenerek, 2B'ye ilişkin yorumlamanın dezavantajları ortadan kaldırılmıştır.

Özdirençin düşük olduğu yerlerde iletkenlik değerleri yüksek olur ve bu yerler kirliliğin olduğu alanlardır. Buna göre kirliliğin bölgelerde görünür iletkenlik değerleri yaklaşık 18-25 mS/m'den yüksektir ve özdirenç değerleri 20-30 Ohm-m'den düşüktür. Ancak A ve B bölgelerinde kirliliğin alan üzerindeki iletkenlik değerleri daha yüksek olup, ortalama 50 mS/m'dir. Bunun nedeni sızıntı suyunun ilk deşarj edildiği yere olan yakınlığıdır.

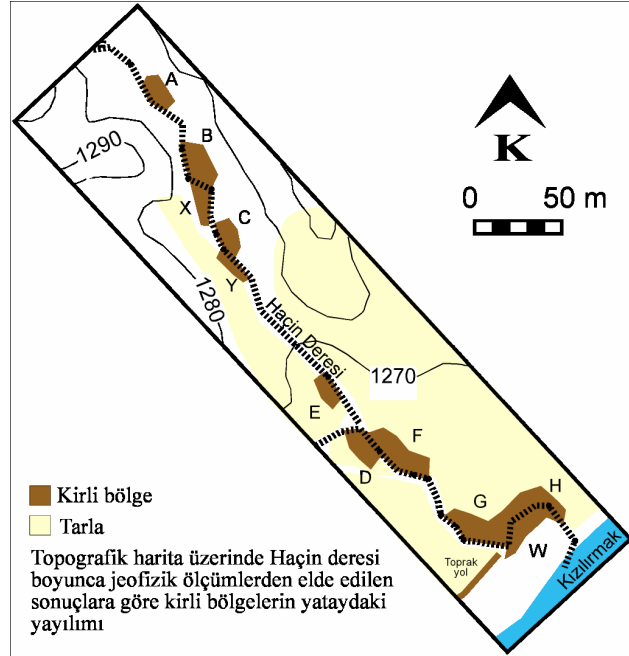
Jeofizik sonuçlara göre kirliliğin yataydaki yayılımı Şekil 6.1'de, düşeydeki yayılımının özellikleri ise Şekil 6.2'de genelleştirilmiş bir görünümde verilmiştir.

Alanın çevre jeolojisi incelendiğinde katmanların eğim yönünün batıdan doğuya doğru olduğu görülür. Çalışma alanının dolayındaki yarmalarda da gözlenen bu durum, jeoloji-jeofizik sonuçları karşılaştırmada dikkate alınmıştır. Buna göre sızmanın (kirlilik) yönünün GD yönünde olduğu görülmüştür.

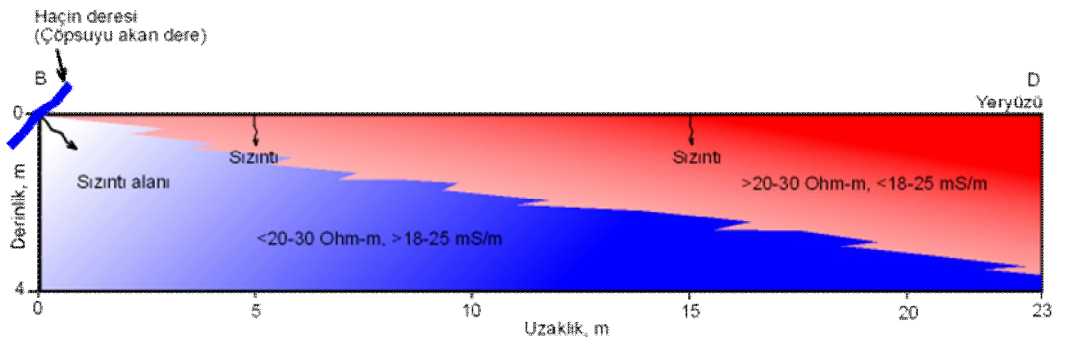
Deponi alanından sızan sular, Haçın deresini izleyerek yüzey suyu ve/veya yüzeyaltı akımı şeklinde Kızılırmak'a ulaşır. Jeofizik sonuçlarda görülen yatay ve düşey yöndeki kirlilik değişimleri, düşük kotlardaki bölgeler dışında çok derin

olmayan bir kirlenmeye işaret ettiğinden, kirlenme çoğunlukla yüzeysel boyutta olup, kurak dönemlerde kirlilik miktarları artmaktadır. Dolayısıyla, deponi alanından kaynaklanabilecek kirleticilerin derişimleri, yasal deşarj standartlarına indirgindikten sonra Kızılırmak'a deşarj edilmelidir.

Ayrıca deponi alanının ÇED raporunda kullanım süresi 27 yıl olarak belirtilmiş ve geriye 12 yılı kalmış olduğundan, düzenli deponi alanına geçmek için yapılan havuz inşaatlarının henüz tamamlanmadığı dikkate alınırsa, bölgede çevre sorunlarının devam edeceği bir gerçektir.



Şekil 6.1. Jeofizik sonuçlardan elde edilen kirlilik haritası.



Şekil 6.2. Jeofizik sonuçlara göre kirliliğin düşeydeki yayılımının genel özellikleri.

7. KAYNAKLAR

- Aaltonen, J., 1998. The use of direct current methods in landfill investigations - a study on glaciated terrains. Licentiate Thesis TRITA-AMI LIC 2025, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Aaltonen, J. and Olofsson, B., 2001. Direct current (DC) resistivity measurements in long-term groundwater monitoring programmes, *Environ. Geol.*, 41, 662-671.
- Aktimur, T., Atalay, Z., Ateş, Ş., Tekirli, M.E. ve Yurdakul, M.E., 1988. Munzur Dağları ile Çavuşdağı Arasının Jeolojisi: MTA Derleme Rap. No. 8320, Ankara, 102s.
- Atilla, A.Ö., 2003. Afyon Ovası soğuk su akifer sisteminde kirlenme modeli, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 28, 49-63, Ankara.
- Atmaca, E., 2004. Sivas İl Merkezinin Katı Atık Yönetiminin İrdelenmesi ve Yeniden Planlanması, Doktora Tezi, CÜ Müh. Fak. Çevre Müh. ABD, Sivas.
- Benson, A.K., Payne, K.L., Stubben, M.A., 1997. Mapping groundwater contamination using the resistivity and VLF geophysical methods-A case study, *Geophysics*, 62, 80-86.
- Binley, A. and Kemna, A., 2005. Electrical Methods, In: *Hydrogeophysics by Rubin and Hubbard (Eds.)*, 129-156, Springer.
- Binley, A., and Beven, K., 2003. Vadose zone flow model uncertainty as conditioned on geophysical data, *Ground Water*, 41(2), 119-127.
- Binley, A., Winship, P., West, J., Pokar, M. and Middleton, R., 2002. Seasonal variation of moisture content in unsaturated sandstone inferred from borehole radar and resistivity profiles, *J. Hydrol.*, 267, 160-172.
- Candansayar, M.E. ve Tezkan, B., 2006. A comparison of different radiomagnetotelluric data inversion methods for buried waste sites, *Journal of Applied Geophysics*, 58, 218-231.
- Candansayar, M.E., 2007. Candansayar, M.E. 2007. Dogru Akim Özdirenç Yöntemi Ders Notları. AÜ Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl., Ankara.

- Cerit, O., Değirmenci, M. ve Kaçaroğlu, F., 1996. Sivas Yakın Doğusu Jips Karst Alanının Tektonik Özellikleri: KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Bildiriler Trabzon, cilt II, s.521-530.
- Charlesworth, S.M. and Lees, J.A., 2001. The application of some mineral magnetic measurements and heavy metal analysis for characterising fine sediments in an urban catchment, Coventry, UK, *Journal of Applied Geophysics*, 48, pp. 113–125.
- Dahlin, T., 1996. 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications, *First Break*, 14, 275-284.
- Dahlin, T., Bernstone. C., Loke, M. H., 2002. A 3-D resistivity investigation of a contaminated site at Lerbacken, Sweden. *Geophysics*, 67, 1692-1700.
- Darilek, G.T., Laine, D.L., and Parra, J.O., 1989. The electrical leak location method for geomembrane liners-development an applications: Geosynthetics'89 Conf. Indust. Fabrics Assoc. Internat. Expanded Abstract, 456-466.
- Değirmenci, M., Kaçaroğlu, F., Cerit, O., 1996. Jipsli Havzalarda Su Sağlamada Karşılaşılan Kalite Problemleri (Sivas Örneği): KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Bildiriler, Trabzon, cilt II, s.504-520.
- Değirmenci, M., 1995. Kızılırmak'ın Sivas Civarındaki Kesiminin Doğal Sular ve Kentsel Atıksularla Kirlenmesi: H.Ü. Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi, *Çevre Bilimleri Dergisi*, 2, s.9-32.
- Değirmenci, M., Kaçaroğlu, F., Cerit, O., 1995. Sivas Yakın Doğusu Jips Kartısı Hidrojeolojisi: Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, *Jeoloji Mühendisliği Sektörünü*, 8, s.77-92.
- Dirican, A., ve Özyayın, V., 2000. Kararlı İzotopların Yeraltısuyu Akış Yolunun Belirlenmesinde Kullanımı ve Örnek Uygulamalar, *Türk J. Engin. Environ. Sci.*, 24, 171-179.
- Dişli, E., 2005. Evrik modelleme tekniğinin yeraltısuyu akım modellerinde kullanılması: Afyon-Şuhut Ovası, Hacettepe Üni. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, *Yerbilimleri*, 26(2), 33-47, Ankara.

- DMİ, 2010. Devlet Meteoroloji İstasyonu, <http://www.dmi.gov.tr>.
- Doğdu, M.F., 2001. Akarçay (Afyon) Havzasında Jeotermal Kökenli Yüzeysuyu ve Yeraltısuyu Kirliliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 143s, Ankara.
- Doğdu, M.F. ve Bayarı, C.S., 2002b. Akarçay (Afyon) Havzasında Jeotermal Kökenli Kirlenme: 2. Yeraltısuyu Kirliliği, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 25, 35-49, Ankara.
- Doğdu, M.F. ve Bayarı, C.S., 2002a. Akarçay Havzasında (Afyon) Jeotermal Kökenli Kirlenme: 1. Akarçay Nehrinde Su ve Sediman Kirliliği, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 25, 21-33, Ankara.
- Drahor, M.G., Göktürkler, G., Berge, M.A. ve Kurtulmuş, T.Ö., 2004. Dört farklı elektrot dizilimine göre bazı üç-boyutlu sığ yeraltı yapılarının görünür özdirenç modellemesi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 30, 115-128, Ankara.
- Drahor, M.G., Berge, M.A. ve Kurtulmuş, T.Ö., 2006. Dolgu alanlarda özdirenç ters-çözüm modellemesi ve eski bir atık dolgu alanına uygulanması, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 27 (3), 195-209, Ankara.
- Duvarcı, E., 1994. Rejyonel Jeoelektrik Haritaları Projesi: Sivas Tersiyer Havzası Özdirenç Etüdü, MTA Derleme Rap. No. 9701, 20s, Ankara.
- Elik, A. ve Akçay, 2000. Sivas kentinde ağır metal kirliliğinin yerel ve zamansal Değişimi, TUBITAK, Tr. J. Engin. Environ. Sci., 24, 15-24.
- Ertekin, C., 2004. İzmir Bornova Yeraltı Suyu Havzasının Kirlenebilirliği, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- Frangos, W., 1994. Electrical detection and monitoring of leaks in lined waste disposal ponds, Proceeding of the Symposium on the Application of

- Geophysics to Engineering and Environmental Problems, SAGEP'94, vol. 62, Englefield, USA: EEGS, 1073-1082.
- Frangos, W., 1997. Electrical detection of leaks in lined waste disposal ponds, *Geophysics*, vol. 62, No: 6, 1737-1744.
- Frohlich, R.K., Kelly, W.E., 1985. The relation between hydraulic transmissivity and transverse resistance in a complicated aquifer of outwash deposits, *Journal of Hydrology*, 79, 215-229.
- Frohlich, R.K., Parke, C.D., 1989. The electrical resistivity of the vadose zone-field study. *Groundwater*, 27(4), 524-530.
- Frohlich, R.K., 1994. The electric-hydraulic relationship: A geophysical model, *Trends in hydrogeology*, 1, 347-358.
- Frohlich, R.K., Urish, D.W., Fuller, J., O'Reilly, M., 1994. Use of geoelectrical methods in groundwater pollution surveys in coastal environment, *J. Appl. Geophys.*, 32, 139-154.
- Frohlich, R.K., Barosh, P.J. and Boving, T., 2008. Investigating changes of electrical characteristics of the saturated zone affected by hazardous organic waste, *Journal of Applied Geophysics*, 64, 25-36.
- Günter, T., 2004. Inversion Methods and Resolution Analysis for the 2D/3D Reconstruction of Resistivity Structures from DC Measurements, <http://www.resistivity.net>.
- İnan, S., Öztürk, A. ve Gürsoy, H., 1993. Ulaş-Sincan (Sivas) Yöresinin Stratigrafisi: *Doğa-Türk Yerbilimleri Dergisi (Tr.J. of Earth Sciences)*, v.2, s.1-15.
- Kaçaroğlu, F., Değirmenci, M. and Cerit, O., 1997. Karstification in Miocene gypsum: an Example from Sivas, Turkey: *Environmental Geology*, v.30(1/2), s.88-97.
- Karaman, A., Carpenter, P.J. and Booth, C.J., 2001. Type curve analysis of water-level changes induced by a longwall mine, *Environmental Geology*, 40, 897-901.
- Karlık, G. ve Kaya, M.A., 2001. Investigation of groundwater contamination using electric and electromagnetic methods at an open waste-disposal site:

- a case study from Isparta, Turkey, *Environmental Geology*, 40(6), 725-731.
- Kaya, M.A., Özürlan, G. and Şengül, E., 2007. Delineation of soil and groundwater contamination using geophysical methods at a waste disposal site in Çanakkale, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, DOI 10.1007/s10661-007-9662-x, Springer Netherlands.
- Kaya, M.A. ve Baklaya, Ç., 2001. Katı atık alanlarındaki gömülü plastik atıkların öz direnç yöntemi ile belirlenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 3, Sayı: 1, 47-58.
- KAKY, 1991. Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Mevzuatı cilt 2, Madde 26.
- KAKY, 1995. Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Mevzuatı cilt 2.
- Kelly, W.E., 1977. Geoelectric sounding for estimating aquifer hydraulic conductivity, *Ground Water*, 15(6), 420-425.
- Kurtman, F., 1973. Sivas- Hafik-Zara ve İmranlı Bölgesinin Jeolojik ve Tektonik Yapısı: MTA Dergi, 80, s.1-33.
- Kurtaş, T., 1997. Gökova (Muğla) karst kaynaklarının çevresel izotop incelemesi, Hacettepe Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Ankara.
- Laine, D.L., 1991. Analysis of pinhole seam leaks located in geomembrane liners using the electrical detection method: case histories: Geosynthetics'91 Conf. Indust. Fabrics Assoc. Internat. Expanded Abstract, 239-253.
- Loke, M.H., 1994. Geotomo Software, Geoelectrical imaging 2D&3D, <http://www.geoelectrical.com>.
- Loke, M.H., Barker, R.D., 1996. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion, *Geophysical prospecting*. 44, 499-523.
- Mazac, O., Kelly, W.E., Landa, I., 1987. Surface geoelectrics for groundwater pollution and protection studies, *J. Hydrol.*, 93: 277-294.
- Mazac, O., Benes, L., Landa, I., and Skuthan, B., 1990. Geoelectrical detection of sealing foil quality in light ash dumps, in Ward, S.H., Ed., *Geotechnical*

- and environmental geophysics: Soc. of Expl. Geophys., Invest. Geophys., No.5, 2, 113-120.
- McNeill, J.D., 1990. Use of electromagnetic methods for groundwater studies. In Ward, S.H., Geotechnical and environmental geophysics, Vol. 1, Soc. of Expl. Geophysics, 191-218.
- Meju, M.A., 2000. Geoelectrical investigation of old/abandoned, covered landfill sites in urban areas: model development with a genetic diagnosis approach, *Journal of Applied Geophysics*, 44, 115-150.
- Meriç, B.T., 2004. Akarçay (Afyon) Havzası yeraltısuyu kaynakları yönetim stratejisi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 29, 39-54, Ankara.
- MTA, 1996. Sivas Kentinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, 169s, Sivas.
- Neyamadpour, A., Taib, S., Wan Abdullah, W.A.T., 2009. An application of three-dimensional electrical resistivity imaging for the detection of an underground waste-water system, *Stud. Geophys. Geod.*, 53, 389-402.
- Olofsson, B., Jernberg, H., Rosenqvist, A., 2006. Tracing leachates at waste sites using geophysical and geochemical modelling *Environ. Geol.*, 49, 720-732, DOI 10.1007/s00254-005-0117-9.
- Özel, S., 2005. Elbistan (Kahramanmaraş)-Hafik (Sivas) Arasındaki Bölgenin Yeraltı Kabuk Yapısının Manyetotellürik ve Gravite Yöntemleri ile İncelenmesi, Yük. Lisans Tezi, CÜ Fen Bil. Enst., Sivas.
- Palacky, G.J., Ritsema, I.L., De Jong, S.J., 1981. Electromagnetic prospecting for groundwater in precambrien terrains in the Republic of Upper Volta, *Geophysical Prospecting*, 29, 932-955.
- Park, S., 1998. Fluid migration in the vadose zone from 3-D inversion of resistivity monitoring data, *Geophysics*, 63, 41-51.
- Parra, J.O., 1988. Electrical response of a leak in geomembrane liner, *Geophysics*, vol. 53, No: 11, 1445-1452.

- Parra, J.O. and Owen, T.E., 1988. Model studies of electrical leak detection surveys in geomembrane-lined impoundments, *Geophysics*, vol. 53, No: 11, 1453-1458.
- Petrovsky, E., Kapicka, A., Jordanova, N., Boruvka, L., 2001. Magntic properties of alluvial soils contaminated with lead, zinc and cadmium, *Journal of Applied Geophysics*, 48, 127-136.
- Poisson, A., Guezou, J.C., Öztürk. A., İnan, S., Temiz, H., Gürsoy, H., Kavak, K.Ş and Özden, S., 1996. Tectonic Setting and Evolution of the Sivas Basin Central Anatolia, Turkey: *International Geology Review*, v. 38, 838-853.
- Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Wiley, New York , USA.
- Rubin, Y. and Hubbard, S.S., 2005. *Hydrogeophysics*, Springer series, Water Science and Tecnology Library, Volume 50, 519p.
- Sarıbudak, M., 1999. Location and Depth Determination of Buried Ferro-Magnetic Bodies in Environmental Site Assessments Using Euler's Homogeneity Equation, HGS Environmental & Engineering Geologists Diner Meeting, Houston Society Bulletin, vol.49, no.3, p.10.
- SBÇED, 2005. Sivas Belediyesi Çevresel Etki Değerlendirme Raporu.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 1995. Çevre Bakanlığı Mevzuatı, cilt 2, s.158-223.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics* (2th ed.), Cambridge University Press.
- Tezkan, B., 2006. <http://www.geophysik.unikoeln.de/geoscience.html>.
- Tezkan, B., Goldman, M., Greinwald, S., Hordt, A., Muller, I., Neubauer, F.M. and Zacher, G., 1996. A joint application of radiomagnetotellurics and transient electromagnetics to the investigation of a waste deposit in Cologne (Germany), *J. Appl. Geophys.*, 34, 199-212.
- Tezkan, B., 1999. A Review of Environmental Applications of Quasi-Stationary Electromagnetic Techniques, *Surveys in Geophysics*, 20, 279-308.

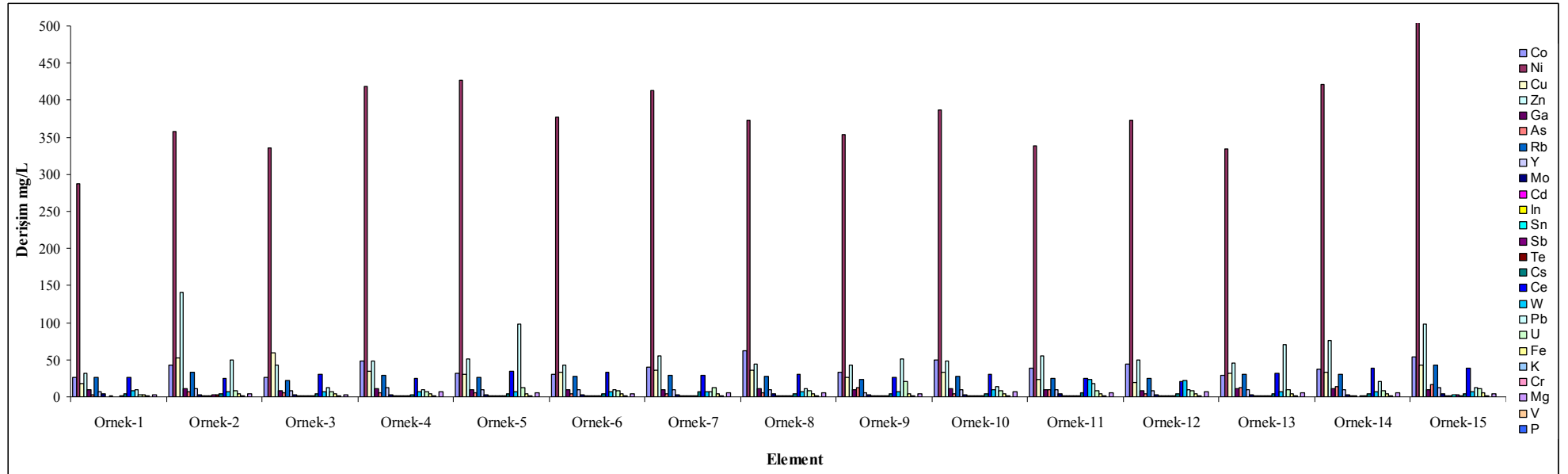
- Tezkan, B., Hordt, A. and Gobashy, M., 2000. Two-dimensional radiomagnetotelluric investigation of industrial and domestic waste sites in Germany, *Journal of Applied Geophysics*, 44, 237-256.
- TKKY, 2005. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği.
- TUIK, 2009. Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr.
- Vereecken, H., Hubbard, S., Binley, A. and Fere, T., 2004. Hydrogeophysics: An introduction from the guest editors, *Vadose Zone Journal*, 3(4), 1060-1062.
- Vereecken, H., Binley, A., Cassiani, G., Revil, A., Titov, K., 2006. *Applied Hydrogeophysics*, Springer Series IV: Earth and Environmental Sciences, Vol. 71, 383pp.
- Whiteley, R.J., and Jewell, C., 1992. Geophysical techniques in contaminated lands assessment: Do they deliver?, *Explor. Geophys.*, 23, 557-565.
- Yaramancı, U., 2000. Improved field techniques and integrated case histories: Geoelectric exploration and monitoring in rock salt for the safety assessment of underground waste disposal sites, *Journal of Applied Geophysics*, 44, 181-196.
- Yılmaz, A., 1984. Tokat (Dumanlıdağı) ile Sivas (Çeltekdağı) Dolaylarının Temel Jeoloji Özellikleri ve Ofiyolitli Karışığın Konumu: *MTA Derg. No. 99/100*, s.1-18.
- Yılmaz, A., 1994. Çarpışma Sonrası Bir Çanak Örneği: Sivas Havzası, Türkiye: Türkiye 10. Petrol Kongresi, Bildiriler (Jeoloji), Ankara, s.21-33.
- Yılmaz, A. ve Atmaca, E., 2004. Sivas Kenti Katı Atık Deponi Alanının Çevre Jeolojisi, *ÇEVRE 2004*, I. Ulusal Çevre Kongresi, 13-15 Ekim 2004, Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas.
- Yılmaz, A. and Yılmaz, H., 2006. Characteristic features and structural evaluation of a post collisional basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, s.164-176.
- Yılmaz, A. and Atmaca, E., 2006. Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: a case study in Sivas, Turkey, *Environmental Geology*, 50, s.677-689.
- Yılmaz, A., 2008. Çevre Jeolojisi, CÜ yayınları, no:107, Sivas.

Yılmaz, H. and Özel, S., 2008. Crustal Structure of the Eastern Part of Central
Anatolia (Turkey), Turkish Journal of Earth Sciences, 18, 169-185.
www.googleearth.com.

8. EKLER

EK1.	Toprak örneklerinde belirlenen çöp kaynaklı ağır metallerin Histogram değerlendirmesi.	146
EK2.	2B özdirenç modellerinin, profil yerlerinin topoğrafik haritadaki konumları.	147
EK3.	D, E, F, G ve H bölgelerinin 3B ters çözüm sonucu bulunan özdirenç modellerinin topoğrafik harita üzerindeki görünümü.	148

EK1. Toprak örneklerinde belirlenen çöp kaynaklı ağır metallerin Histogram değerlendirilmesi.



EK2. 2B özdirenç modellerinin, profil yerlerinin topoğrafik haritadaki konumları.

EK3. D, E, F, G ve H bölgelerinin 3B ters çözüm sonucu bulunan öz direnç modellerinin topoğrafik harita üzerindeki görünümü.