KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MENEKŞE KARST PLATOSU YERALTISUYU BESLENİM KARAKTERİSTİĞİNİN DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ YÖNTEMLERİYLE ARAŞTIRILMASI

AHMET ŞENER

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MENEKŞE KARST PLATOSU YERALTISUYU BESLENİM KARAKTERİSTİĞİNİN DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ YÖNTEMLERİYLE ARAŞTIRILMASI

AHMET ŞENER

Dr.Öğr.Üyesi Ertan PEKŞEN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof.Dr. İrfan YOLCUBAL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Prof.Dr. Levent GÜLEN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 12.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, destekleyen, bilgi ve birikimini benimle paylaşan, elektrik ve elektromanyetik yöntemler hususunda gerek uygulamaya yönelik gerekse teorik konularda kendimi geliştirmeme önemli katkılar sağlayan değerli danışman hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Ertan PEKŞEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Jeofizik verilerin yorumlanması aşamasında ihtiyaç duyduğum jeolojik ve hidrojeolojik bilgileri ve altyapıyı edinmemi sağlayan, iki yıllık süreç boyunca hidrojeoloji alanında kendimi geliştirmeme çok büyük katkılar sağlamış olan değerli hocam Sayın Prof.Dr. İrfan YOLCUBAL'a teşekkürü borç bilirim.

Çoklu elektrot rezistivite ölçümlerinin ters çözümü aşamasında lisanslı RES2DINV yazılımını kullanmamıza izin veren Süleyman Demirel Üniversitesi Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi'nden Prof.Dr. Ümit Yalçın KALYONCUOĞLU'na teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarına yönelik hazırlıklarda ve verilerin değerlendirilmesi aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve birikimi ile beni yönlendirip destek olan değerli hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Metin AŞÇI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında desteklerini esirgemeyen Arş.Gör Doğukan DURDAĞ'a, yüksek lisans öğrencisi Cüneyt ŞAŞ'a, lisans öğrencisi Pınar TUNA'ya ve katkıda bulunan tüm Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümü lisans öğrencilerine teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi desteğini hep yanımda hissettiğim aileme ve tez yazım sürecinde benden sıkılmayıp destek olan eşim Merve MERGEN ŞENER'e de çok teşekkür ederim.

Mayıs-2018 Ahmet ŞENER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
GİRİŞ 1
1. İNCELEME ALANININ KONUMU VE COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ 3
1.1. Jeomorfolojik Özellikler 3
2. İNCELEME ALANININ JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ 6
2.1. Yapısal ve Tektonik Özellikler 6
2.2. Stratigrafik Özellikler 7
2.2.1. Sultaniye metamorfikleri (TRs) 7
2.2.2. Keltepe mermeri (TRk) 8
2.2.3. Sarısu volkanikleri (Ts) 8
2.2.4. Alüvyon (Qal) 8
3. İNCELEME ALANININ HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ 14
3.1. Karst Kaynakları, Beslenme Alanları ve Karstik Yapılar 14
4. MALZEME VE YÖNTEM 20
4.1. Kare Dizilim Yöntemi 20
4.1.1. Doğrultu ve eğim etkisi 23
4.1.2. Kare dizilim ölçümlerinin alınması ve değerlendirilmesi 24
4.2. Çoklu Elektrot Rezistivite Yöntemi 30
4.2.1. Çoklu elektrot rezisitivite yöntemi ile tespit edilmesi hedeflenen jeolojik yapıların düz çözüm ile modellenmesi 33
4.2.2. Çoklu elektrot rezistivite ölçümlerinin alınması ve değerlendirilmesi 40
5. BULGULAR 42
5.1. Kare Dizilim Uygulamalarına İlişkin Bulgular 42
5.2. Çoklu Elektrot Rezistivite Uygulamalarına İlişkin Bulgular 45
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 55
KAYNAKLAR 57
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 59
ÖZGEÇMİŞ 60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Menekşe Karst Platosu'nun konumu 3
Şekil 1.2. Menekşe Karst Platosu..... 4
Şekil 1.3. Kirazdere Alt Havzası ve yakın çevresinin topoğrafik yapısı 5
Şekil 2.1. Doğu Marmara Bölgesi'nde yer alan morfotektonik birimler 6
Şekil 2.2. Kirazdere Alt Havzası'nın jeoloji haritası 9
Şekil 2.3. Sultaniye Metamorfikleri'nin (TRs) Kirazdere Alt Havzası içerisindeki görünümü 10
Şekil 2.4. Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi'nin (TRsm) Kirazdere Alt Havzası içerisindeki görünümü ve birim içerisinde gelişmiş karstik yapılar 11
Şekil 2.5. Keltepe Mermerleri'nin (TRk) Kirazdere Alt Havzası içerisindeki görünümü 12
Şekil 2.6. Sarısu Volkanikleri'nin (Ts) Kirazdere Alt Havzası içerisindeki görünümü..... 12
Şekil 2.7. Sarısu Volkanikleri'nin (Ts) Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi'ne ait mermerleri (TRsm) uyumsuzlukla örtüşünü gösteren mostra..... 13
Şekil 3.1. Kirazdere Alt Havzası'nın hidrojeoloji haritası..... 15
Şekil 3.2. Kirazdere Alt Havzası içerisinde yer alan karst kaynakları, beslenme alanları ve karstik yapılar 16
Şekil 3.3. Boya izleme deneylerinin uygulandığı noktalar 17
Şekil 3.4. Menekşe Karst Platosu yakınlarında, Özekdere Mevkisi'nde bulunan bir dolin..... 18
Şekil 3.5. Menekşe Karst Platosu yakınlarında, Özekdere Mevkisi'nde yer alan bir uvala 18
Şekil 3.6. Menekşe Karst Platosu civarında, Papaz Mahallesi yakınlarında bulunan bir mağara 19
Şekil 4.1. Kare dizilim yöntemi ile ölçüm alımını gösteren şematik çizim..... 21
Şekil 4.2. Süreksizlik doğrultusunun kare dizilim ölçümleri üzerindeki etkisi..... 25
Şekil 4.3. Süreksizliğin eğiminin kare dizilim ölçümleri üzerindeki etkisi 26
Şekil 4.4. Kare dizilim ölçümlerinin alındığı noktalar..... 27
Şekil 4.5. Menekşe-1 Subatanı yakınında kare dizilim uygulaması 28
Şekil 4.6. Menekşe-2 Subatanı yakınında kare dizilim uygulaması 29
Şekil 4.7. Klasik elektrot dizilimleri ve çoklu elektrot dizilimi..... 31
Şekil 4.8. Düz çözümle modellenen jeolojik yapılar 34
Şekil 4.9. Düz çözümle modellenen yapılara ilişkin görünür özdirenç kesitleri 35
Şekil 4.10. Düz çözümle modellenen yapılara ilişkin gürültüsüz özdirenç kesitleri 36
Şekil 4.11. Düz çözümle modellenen yapılara ilişkin %5 gürültülü özdirenç kesitleri 37

Şekil 4.12. Düz çözümle modellenen yapılara ilişkin %10 gürültülü özdirenç kesitleri 38
Şekil 4.13. Çoklu elektrot rezistivite ölçümlerinin alındığı profiler 41
Şekil 5.1. Meneşe-1 Subatanı yakınında alınan kare dizilim ölçümlerine ilişkin görünür özdirenç grafikleri 43
Şekil 5.2. Meneşe-2 Subatanı yakınında alınan kare dizilim ölçümlerine ilişkin görünür özdirenç grafikleri 44
Şekil 5.3. P1 profiline ilişkin özdirenç kesitleri 47
Şekil 5.4. P1 profili kavramsal modeli 48
Şekil 5.5. P2 profiline ilişkin özdirenç kesitleri 50
Şekil 5.6. P3 profiline ilişkin özdirenç kesitleri 51
Şekil 5.7. P4 profiline ilişkin özdirenç kesitleri 53
Şekil 5.8. P5 profiline ilişkin özdirenç kesitleri 54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

λ	:	Anizotropi katsayısı
I	:	Akım (mA)
ΔV	:	Potansiyel fark (mV)
ρ	:	Özdirenç (Ωm)
ρ_a	:	Görünür özdirenç (Ωm)
$\rho_{a\alpha}$	:	Kare dizilim α yönüne ilişkin görünür özdirenç (Ωm)
$\rho_{a\beta}$	:	Kare dizilim β yönüne ilişkin görünür özdirenç (Ωm)
ρ_{as}	:	Schlumberger dizilimine ilişkin görünür özdirenç (Ωm)
$\rho_{aw\alpha}$	:	Wenner-Alfa dizilimine ilişkin görünür özdirenç (Ωm)
$\rho_{aw\beta}$	:	Wenner-Beta dizilimine ilişkin görünür özdirenç (Ωm)
$\rho_{aw\gamma}$	:	Wenner-Gama dizilimine ilişkin görünür özdirenç (Ωm)
ρ_m	:	Ortalama özdirenç (Ωm)
a	:	Elektrotlar arası mesafe (m)
r	:	Elektrotların ölçüm merkezine uzaklığı (m)
K	:	Geometrik faktör
K_s	:	Schlumberger dizilimine ilişkin geometrik faktör
$K_{w\alpha}$	:	Wenner-Alfa dizilimine ilişkin geometrik faktör
$K_{w\beta}$	:	Wenner-Beta dizilimine ilişkin geometrik faktör
$K_{w\gamma}$	:	Wenner-Gama dizilimine ilişkin geometrik faktör
N	:	Etkin düşey anizotropi
Q	:	Karst kaynağının debisi (L/s)
Qal	:	Alüvyon
TRk	:	Keltepe Mermeri
TRs	:	Sultaniye Metamorfikleri
TRsm	:	Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi
Ts	:	Sarısu Volkanikleri
V	:	Gerilim

Kısaltmalar

BAP	:	Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
KAF	:	Kuzey Anadolu Fayı

MENEKŞE KARST PLATOSU YERALTISUYU BESLENİM KARAKTERİSTİĞİNİN DOĞRU AKIM ÖZDİRENÇ YÖNTEMLERİYLE ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Karst akiferleri ile beslenme alanları arasındaki ilişkinin karakterizsyonuna yönelik hidrojeolojik çalışmalar, klasik hidrojeolojik yöntemler ile karst hidrojeolojisine özgü metotların bir arada kullanılmasını gerektirmektedir. Mağara sistemlerinin araştırılması, kaynak hidrograf analizleri ve boya izleme deneyleri gibi çeşitli metotların uygulandığı bu tür çalışmalarda, hidrojeolojik metotların yetersiz kaldığı koşullarda, jeofizik yöntemler aracılığıyla gömülü karstik yapılar, kırık-çatlak sistemleri ve uzanımları belirlenerek, beslenme alanları ile akifer arasındaki ilişki daha iyi karakterize edilebilir.

Bu kapsamda, hidrodinamik özellikleri detaylı olarak ortaya konulmuş olan Yuvacık Baraj Havzası Karst Akiferi'nin iki temel beslenme bölgesinden biri olan Menekşe Karst Platosu'nda, kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite yöntemleri uygulanmıştır. Kare dizilim yöntemi ile plato içerisindeki baskın süreksizlik zonları, çoklu elektrot rezistivite uygulamaları ile ise, karstik boşluklar, farklı hidrodinamik karaktersitiklere sahip karstik zonlar ve toprak örtüsünün kalınlığı ile dağılımı belirlenmeye çalışılmıştır.

Kare dizilim uygulamaları, plato içerisinde kuzeydoğu-güneybatı ve güneydoğu-kuzeybatı yönelimli baskın süreksizlik zonlarının olduğunu göstermiştir. Çoklu elektrot rezistivite uygulamaları ise gerek iyi karstlaşmış, kanal akımlarının hüküm sürdüğü; gerekse karstlaşmanın iyi gelişmediği, difüzif karakterli yeraltısuyu dolaşımının baskın olduğu zonları ortaya koymuştur. Ayrıca, toprak örtü kalınlığının plato içerisinde büyük değişkenlik göstermekle birlikte, kimi yerlerde (noktasal beslenimin gözlendiği subatanların yakınında) beklenenin aksine 10-15 metre kalınlığa kadar ulaştığı saptanmıştır.

Menekşe karst platosunda yürütülen bu çalışma, kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite uygulamalarının bir arada kullanımının, karst akiferlerinde yürütülen hidrojeolojik çalışmalarda, beslenme alanları ile akifer arasındaki ilişkinin karakterizasyonu hususunda destekleyici bir metot teşkil edebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Beslenme Alanı, Çoklu Elektrot, Kare Dizilim, Karst Akiferi, Yuvacık Barajı

INVESTIGATION OF GROUNDWATER RECHARGE CHARACTERISTICS OF MENEKŞE KARST PLATEAU WITH DIRECT CURRENT RESISTIVITY METHODS

ABSTRACT

Groundwater studies conducted in karst areas to characterize the relation between recharge areas and karst aquifers require application of classical hydrogeological methods like analysis of spring hydrographs together with the methods unique to karst hydrogeology such as exploration of cave systems and application of dye tracing tests. When it comes to inadequacy of hydrogeological methods in some situations, relation between recharge areas and karst aquifer can better be characterized with geophysical methods determining embedded karst features, fracture systems and their orientation.

In this context, square array and multi-electrode resistivity methods were applied in Menekşe Karst Plateau, an important recharge area of the karst aquifer in the Watershed of Yuvacık Dam. Square array measurements were taken to find out if any dominant orientation of fissure or fracture zone existed in plateau and multi electrode resistivity measurements were taken to reveal caves, karst zones with different hydrodynamic characteristics and distribution of the soil zone thickness.

Square array data indicated the existence of discontinuities oriented through northeast-southwest and northwest-southeast direction. Multi electrode resistivity methods revealed well karstified zones dominated by conduit flow as well as poorly karstified zones dominated by groundwater flow with diffusive characteristics. Also, considerably varying soil zone thickness, contrary to expectations, was determined to reach 10 to 15 m depth in some places (near swallow holes with point infiltration).

This case study conducted in Menekşe karst plateau showed that combined application of square array and multi-electrode resistivity methods could constitute a supportive method for characterization of relation between recharge areas and karst aquifer in hydrogeological studies conducted in karst areas.

Keywords: Recharge Area, Multi Electrode, Square Array, Karst Aquifer, Yuvacık Dam

GİRİŞ

Küresel ısınma ve nüfus artışı gibi etmenlere bağlı olarak su kaynakları üzerindeki baskının hızla arttığı son yıllarda, dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi Türkiye'de de su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimine ilişkin çalışmalar hız kazanmıştır. Ülkemizin su azlığı çeken ülkeler sınıfında yer alması (URL-1) bu tür çalışmaların önemini daha da arttırmaktadır.

Türkiye'de gözlenen iki temel akifer sisteminden biri, önemli yeraltısuyu potansiyeli barındıran ve oldukça verimli akifer sistemlerini teşkil eden karst akiferleridir. Ülke yüzölçümünün önemli bir bölümünün (yaklaşık üçte birinin) karstik arazilerle kaplı olduğu da göz önüne alındığında (Nazik ve Poyraz, 2017), ülkemizde bulunan karst akiferlerinin korunmasına ve sürdürülebilir yönetimine ilişkin çalışmaların gelecekte yaşanabilecek potansiyel su sıkıntılarının önüne geçmek açısından son derece önemli olduğu görülmektedir.

Karst akiferleri kendilerine özgü hidrodinamik özellikleri sebebiyle oldukça hızlı bir şekilde kirlenmeye maruz kalabilmektedir. Bu durum bir karst akiferi ile beslenme alanı arasındaki ilişkinin detaylı ve titiz bir biçimde karakterize edilmesi ve kirlenme hassasiyeti yüksek bölgelerin dağılımının iyi belirlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Karstik alanlarda bu amaçla yürütülen hidrojeolojik çalışmalarda gerek klasik gerekse karst akiferlerine özgü birçok hidrojeolojik yöntem bir arada kullanılmaktadır. Mağara sistemlerinin araştırılması, kaynak hidrograf analizleri ve boya izleme deneyleri gibi çeşitli metotların uygulandığı bu tür çalışmalarda, hidrojeolojik metotların yetersiz kaldığı koşullarda, jeofizik yöntemler aracılığıyla gömülü karstik yapılar, kırık-çatlak sistemleri ve uzanımları belirlenerek, beslenme alanları ile akifer arasındaki ilişki daha iyi karakterize edilebilir.

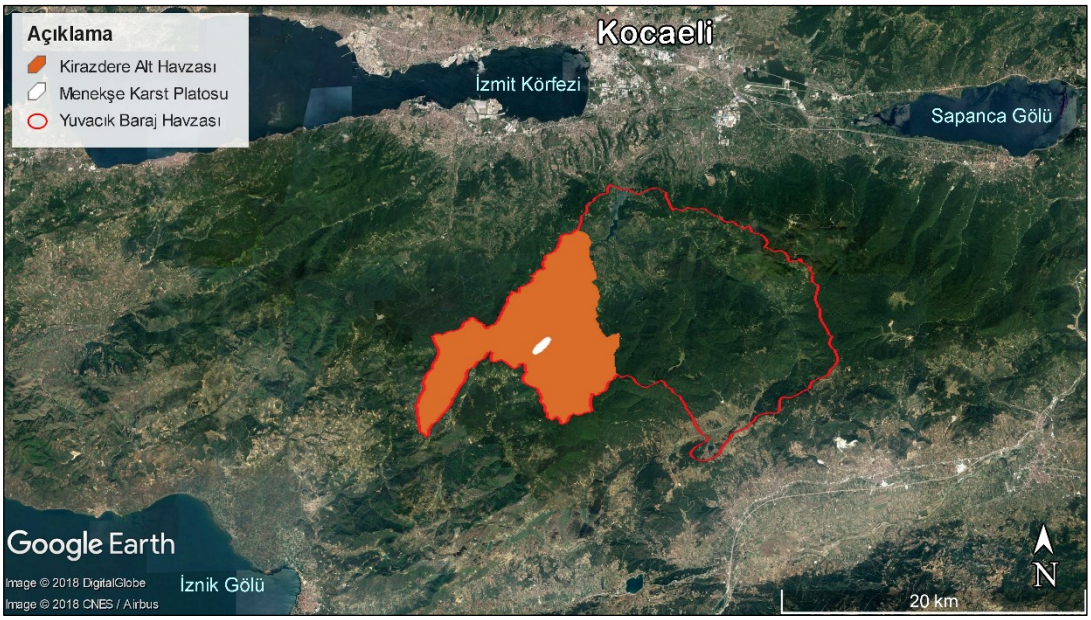
Karst hidrojeolojisine yönelik çalışmalarda, gerek karstik boşlukların ve mağara sistemlerinin gerekse kırık-çatlak yapılarının ve süreksizlik zonlarının belirlenmesi hususunda en yaygın olarak kullanılan yöntemler elektrik özdirenç yöntemleridir. Literatürde bu amaçla yapılmış birçok jeofizik çalışma bulunmaktadır. Karstik

boşlukların ve mağara sistemlerinin uzanımlarının belirlenmesine yönelik çalışmalarda çoğunlukla Wenner ve Schlumberger dizilimleri ile alınan rezizsitivite ölçümlerinden faydalanılırken (Rădulescu ve diğ., 2007; Satitpittakul ve diğ., 2013; Andrej ve Uroš, 2012; Abu-Shariah, 2009; Putiška ve diğ., 2012), kırık-çatlak sistemlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda kare dizilim ölçümlerinden yararlanılmaktadır (Boadu ve diğ., 2005; McLean ve Luke, 2006; Taylor ve Fleming, 1988; Whitman ve Yeboah-Forson, 2015; Yeboah-Forson ve Whitman, 2014).

Bu çalışmada, Kocaeli iline içme suyu sağlayan en önemli su havzası olan Yuvacık Baraj Havzası'nda bulunan karst akiferinin önemli beslenme alanlarından biri olan Menekşe Karst Platosu'nda, kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite yöntemleri uygulanarak plato içerisindeki baskın süreksizlik zonları ile karstik boşluklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca farklı hidrodinamik karaktersitiklere sahip karstik zonlar ve toprak örtüsünün kalınlığı ile dağılımı da çoklu elektrot rezistivite yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sayede platodan karst akiferine gerçekleşen yeraltısuyu beslenim karakteristiğinin; jeolojik, hidrojeolojik ve jeomorfolojik bilgiler ışığında ortaya konulması ve elde edilen verilerin su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimine ilişkin olarak gelecekte yapılacak çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmıştır.

1. İNCELEME ALANININ KONUMU VE COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ

Menekşe Karst Platosu Türkiye'nin kuzeybatısında, Doğu Marmara Bölgesi'nde bulunan Kocaeli ilinin güneyinde; Yuvacık Baraj Havzası'nın alt havzalarından biri olan Kirazdere Alt Havzası içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda eliptik bir biçimde uzanan plato yaklaşık olarak 0,6 km^2'lik bir alan kaplamaktadır (Şekil 1.2).



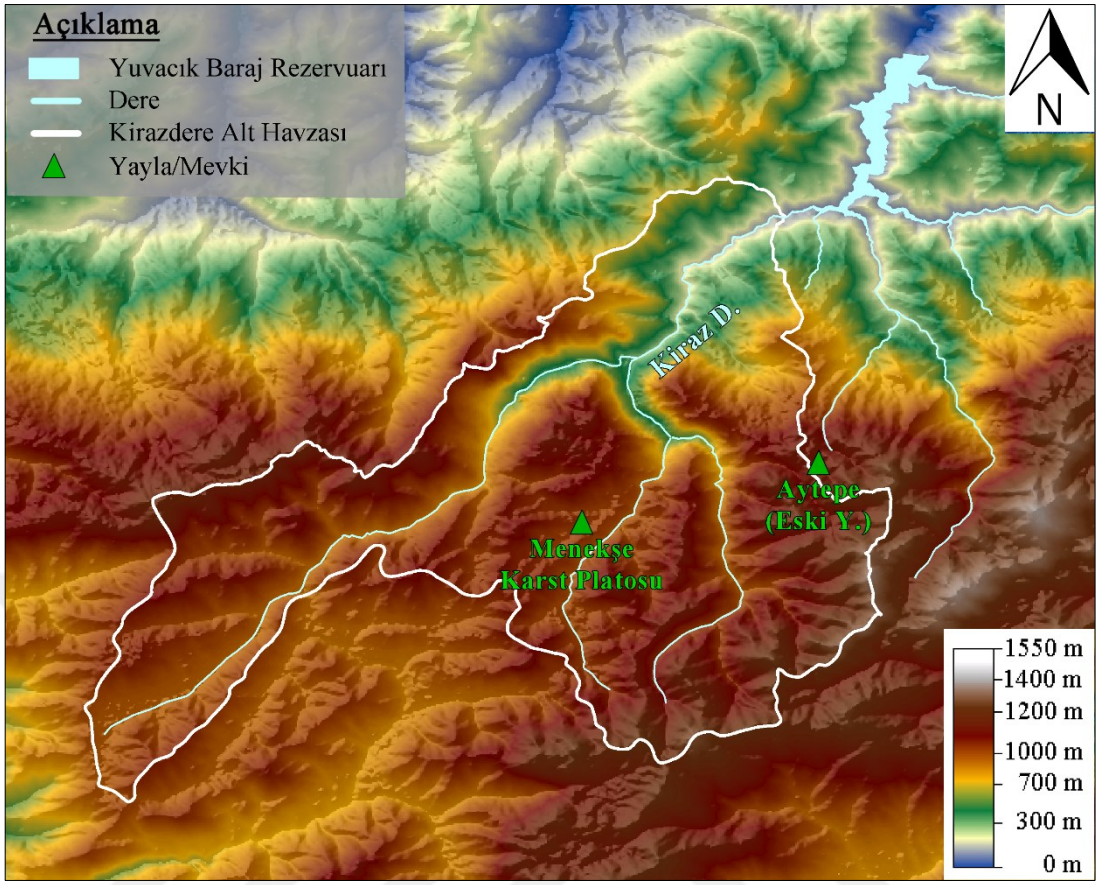
Şekil 1.1. Menekşe Karst Platosu'nun konumu

1.1. Jeomorfolojik Özellikler

Menekşe Karst Platosu ortalama yükseltisi yaklaşık 1050 m civarında olan (Şekil 1.3) yüksek bir karst düzlüğüdür. Ortalama yükseltisi yaklaşık 1000 m civarında olan Aytepe (Eski Yayla) Mevkisi (Şekil 1.3) ile birlikte Kirazdere Alt Havzası içerisinde, karst akiferinin beslenme alanlarını teşkil eden iki temel bölgeden biridir. Plato içerisinde ve yakın çevresinde karst akiferinin beslenimi açısından önemli jeomorfolojik yapılar bulunmaktadır. Dolinler, uvalalar, subatanlar ve mağaralar plato içerisinde ve yakın çevresinde gözlenen tipik karst jeomorfolojisine özgü yapılardandır.



Şekil 1.2. Menekşe Karst Platosu



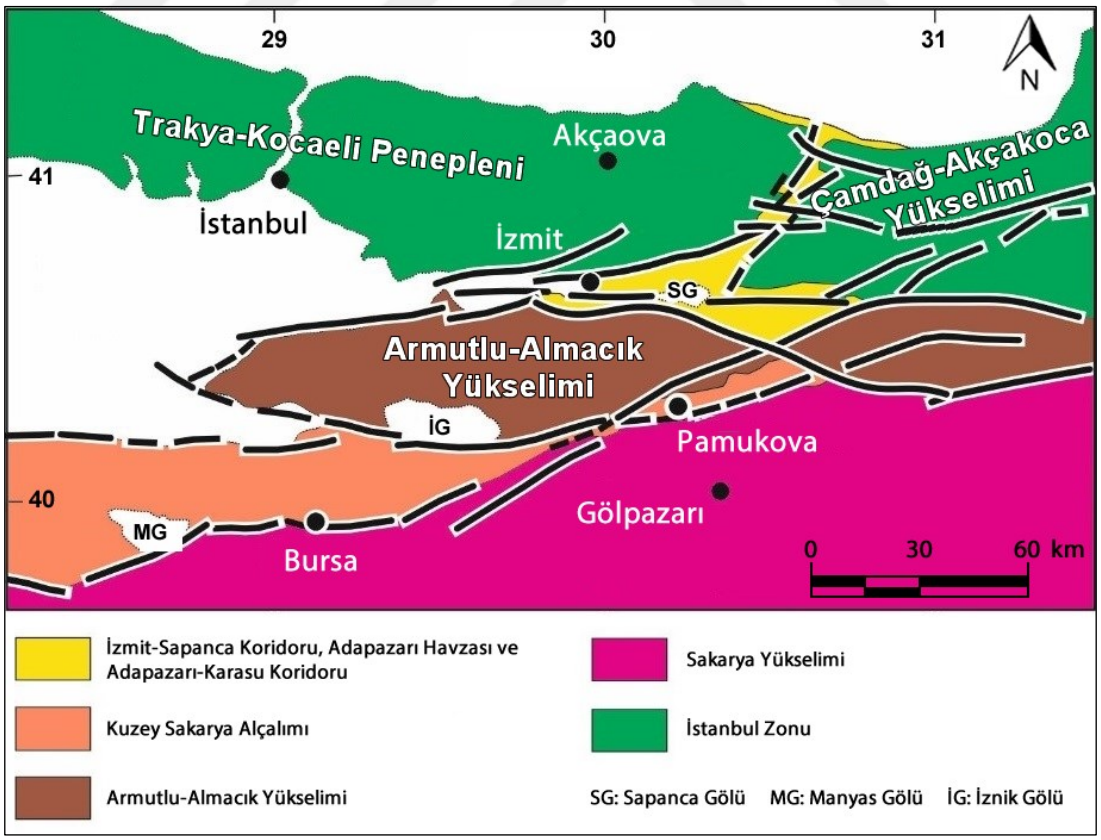
Şekil 1.3. Kirazdere Alt Havzası ve yakın çevresinin topoğrafik yapısı

2. İNCELEME ALANININ JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanının bulunduğu Kirazdere Alt Havzası Türkiye'nin tektonik açıdan en aktif bölgelerinden biri olan Doğu Marmara Bölgesi'nde yer almakta olup, Paleozoyik ila Holosen arasında değişen yaşlara sahip çeşitli kaya topluluklarından oluşmaktadır. Bölgede bulunan yapısal unsurlar ve yüzeyleyen jeolojik birimler havzanın hidrojeolojik özellikleri ve karst akiferinin evrimi açısından önemlidir.

2.1. Yapısal ve Tektonik Özellikler

Doğu Marmara Bölgesi karmaşık yapısal özelliklere sahip bir bölge olup, yer yer pasif yer yer ise aktif yapısal unsurlarla birbirlerinden ayrılan çeşitli morfotektonik birimlerden oluşmaktadır (Yiğitbaş ve diğ., 2006). Bölgeyi oluşturan morfotektonik birimler Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Doğu Marmara Bölgesi'nde yer alan morfotektonik birimler (Yiğitbaş ve diğ., 1999; Yiğitbaş ve diğ., 2004)

Kirazdere Alt Havzası Şekil 2.1'de gözlenen morfotektonik birimlerden Armutlu-Almacık Yükselimi üzerinde, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) kuzey ve güney kolları arasında bulunan, tektonik açıdan oldukça aktif bir bölgenin içerisinde yer almaktadır. Bu durum karst akiferinin gelişimi açısından önemli olmuştur. Tektonik aktivite etkisinde gelişim gösteren faylar ve kırık-çatlak sistemleri, mermer birimler içerisinde yeraltısuyu beslenim ve dolaşım mekanizmasını kontrol eden karstik yapıların oldukça iyi gelişim göstermesine sebep olmuştur.

2.2. Stratigrafik Özellikler

Kirazdere Alt Havzası içerisinde Triyas ila Holosen arasında değişen yaşlara sahip çeşitli temel ve örtü birimler yüzeylemektedir. Bunlardan Sultaniye Metamorfikleri (TRs), Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi (TRsm) ve Keltepe Mermeri (TRk) havza içerisinde yüzeyleyen temel birimleri; Sarısu Volkanikleri (Ts) ve Alüvyon (Qal) ise örtü birimleri oluşturmaktadır (Şekil 2.2).

2.2.1. Sultaniye metamorfikleri (TRs)

Sultaniye Metamorfikleri Timur ve Aksay (2002) tarafından Sultaniye Metamorfikleri (TRs) ve Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi (TRsm) olmak üzere iki ayrı grupta incelenmiştir. Bunlardan Sultaniye Metamorfikleri (TRs) şist, fillat, kuvarsit, kuvarsşist ve kalkşist gibi metasedimanter kayalardan oluşmakta olup, inceleme alanı içerisinde gözlendiği alanların büyük bölümünde şistler yüzeylemektedir. Şistler hidrojeolojik açıdan inceleme alanında bulunan geçirimsiz birimleri temsil etmektedir. Çalışma alanı içerisinde grimsi kahverengi ile koyu gri arasında değişen renklerde görülmektedir (Şekil 2.3).

2.2.1.1. Sultaniye metamorfikleri mermer üyesi (TRsm)

Birim Sultaniye Metamorfikleri'nin üst kesimlerinde gözlenir. Tabanda yer alan şistler ile geçişli bir karakterdedir. Geçiş zonunda pembe ve mor renkli metaçamurtaşları ile yaklaşık kalınlığı 30 m olan yine pembe ve mor renkli karbonatlı metaçamurtaşları yer alır. En üst bölümde orta-kalın tabakalı mermerler ve rekristalize kireçtaşları bulunur. Sultaniye metamorfikleri mermer üyesi (TRsm) olarak adlandırılmış olan bu bölümün görünür kalınlığı yer yer 100 m'yi aşmaktadır

(Timur ve Aksay, 2002). İnceleme alanı içerisinde beyaz, kirli beyaz ve gri renklerde görülür (Şekil 2.4).

Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi (TRsm), inceleme alanı içerisinde karst akiferini teşkil eden iki formasyondan biridir. İyi gelişmiş bir karstlaşmaya sahip olan birim içerisinde dolin, uvala, subatan ve mağara gibi karstik yapılar yaygın olarak gözlenmektedir.

2.2.2. Keltepe mermeri (TRk)

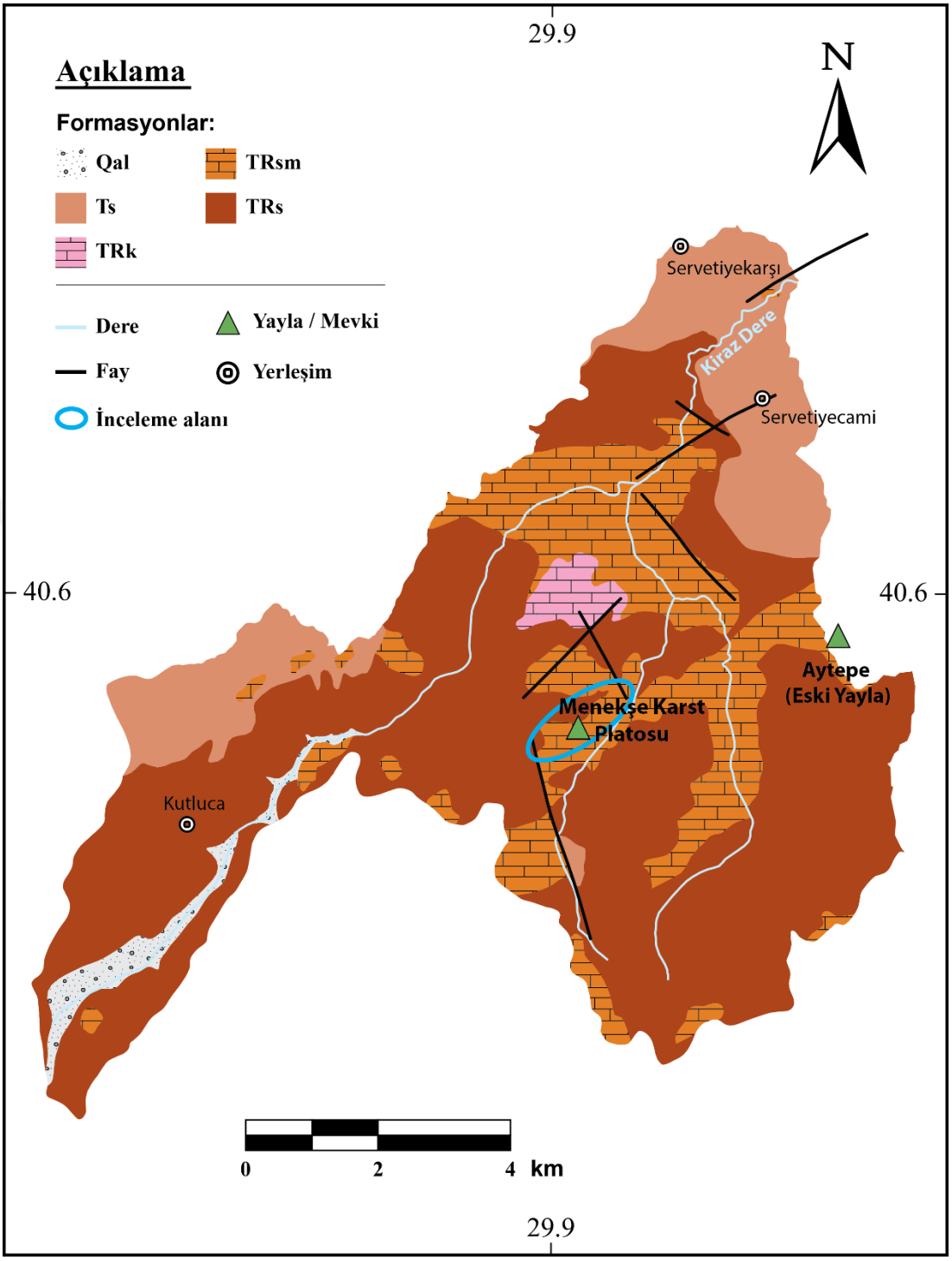
Keltepe Mermeri (TRk) Sultaniye Metamorfikleri üzerine uyumlu olarak gelir. Tabanda kalınlığı 8-10 m olan ince-orta tabakalı mermerler bulunur. Kumtaşı ardalanmalı olan bu zonun üzerine orta-kalın tabakalı, sık eklemli mermerler gelir (Bozcu, 1992). İnceleme alanı içerisinde alt seviyeleri koyu gri renkli, üst seviyeleri ise açık gri ve kirli beyaz renklerde görülmektedir (Şekil 2.5). Keltepe Mermeri, Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi (TRsm) ile birlikte inceleme alanı içerisinde karst akiferini teşkil eden iki formasyondan biridir. İyi gelişmiş bir karstlaşmaya sahip olup yüzeylediği alanlarda dolin, uvala ve polyeler yaygındır.

2.2.3. Sarısu volkanikleri (Ts)

Sarısu Volkanikleri andezitik lav ve aglomeralardan oluşan volkanik bir istiftir. Yer yer bazalt dayklarıyla kesilmekte olup, metamorfik birimleri uyumsuzlukla örtmektedir (Erendil ve diğ., 1991). Birimin inceleme alanı içerisindeki görünümü Şekil 2.6'da, metamorfik birimleri örtüşünü gösteren mostra ise Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Birim çoğunlukla masif görünümlüdür ancak yer yer çatlaklı bir yapı da sergilemektedir. Çatlaklar iyi gelişmemiş bir karakterde olup, yalnızca sığ yeraltısuyu dolaşımına izin verecek niteliktedir.

2.2.4. Alüvyon (Qal)

Alüvyon birim (Qal) inceleme alanı içerisinde oldukça kısıtlı bir alanda, Kirazdere Alt Havzası'nın güneybatısında yer alan Hekim Dere boyunca yüzeylemektedir. Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve killerden oluşmakta olup bölgesel, sığ ve düşük verimli alüvyon akiferini teşkil etmektedir.



Şekil 2.2. Kirazdere Alt Havzası'nın jeoloji haritası (Erendil ve diğ., 1991 ile Göncüoğlu ve diğ., 1986'dan değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 2.3. Sultaniye Metamorfikleri'nin (TRs) Kirazdere Alt Havzası içerisindeki görünümü



Şekil 2.4. Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi'nin (TRsm) Kirazdere Alt Havzası içerisindeki görünümü ve birim içerisinde gelişmiş karstik yapılar



Şekil 2.5. Keltepe Mermerleri'nin (TRk) Kirazdere Alt Havzası içerisindeki görünümü



Şekil 2.6. Sarısu Volkanikleri'nin (Ts) Kirazdere Alt Havzası içerisindeki görünümü



Şekil 2.7. Sarısu Volkanikleri'nin (Ts) Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi'ne ait mermerleri (TRsm) uyumsuzlukla örtüşünü gösteren mostra

3. İNCELEME ALANININ HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

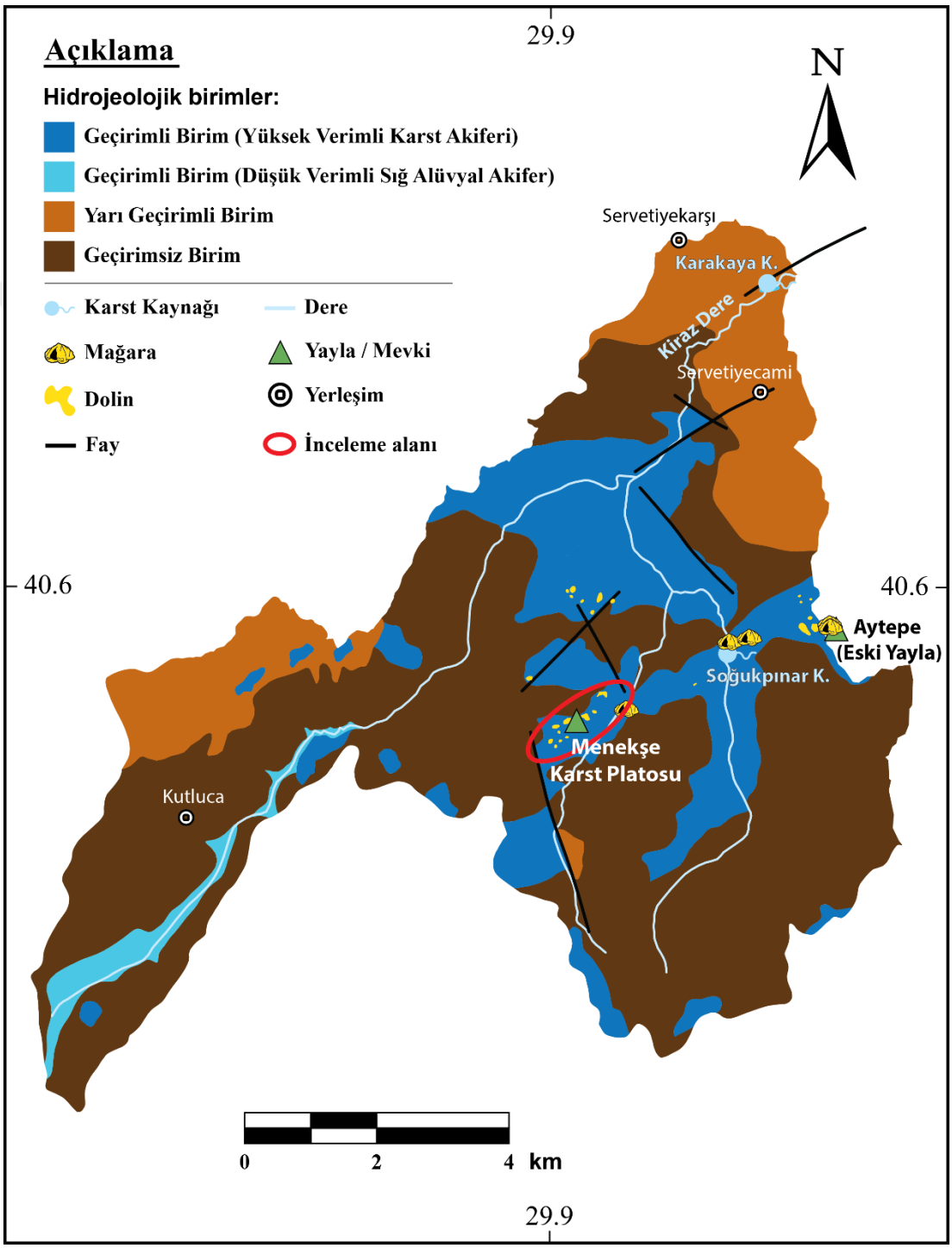
Kirazdere Alt Havzası içerisinde yüzeyleyen birimler Bölüm 2.2'de detaylı olarak açıklanmıştır. Bunlardan geçirimli birimler mermerler ve alüvyonlar olup (Şekil 3.1), mermerler havza içerisindeki yüksek verimli karst akiferini teşkil etmektedir. İçerisinde yüksek debili karst kaynakları barındıran ve yüzeylediği alanlarda hızlı ve noktasal beslenim alanları yaygın olarak gözlenen bu birimler Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi (TRsm) ve Keltepe Mermeri'dir (TRk). Diğer geçirimli birim olan Alüvyon birim (Qal) havza içerisinde çok kısıtlı bir alanda, yalnızca havzanın güneybatısında yer alan Hekim Dere boyunca yüzeylemektedir. Birim sığ, düşük verimli bir akiferi teşkil etmektedir. Sarısu Volkanikleri (Ts) çoğunlukla geçirimsiz özellik göstermekte olup, yer yer kırık ve çatlak içerikli yapısı sayesinde sığ yeraltısuyu dolaşımına izin verebilmekte ve düşük debili ($Q < 1$ L/s) kaynak suları barındırabilmektedir. Bu sebeple bu birim yarı geçirimli bir karakter sergilemektedir. Yüzeylediği alanların hemen hemen tamamında şistlerin gözlendiği Sultaniye Metamorfikleri (TRs) ise Kirazdere Alt Havzası'ndaki geçirimsiz birimleri temsil etmektedir.

3.1. Karst Kaynakları, Beslenme Alanları ve Karstik Yapılar

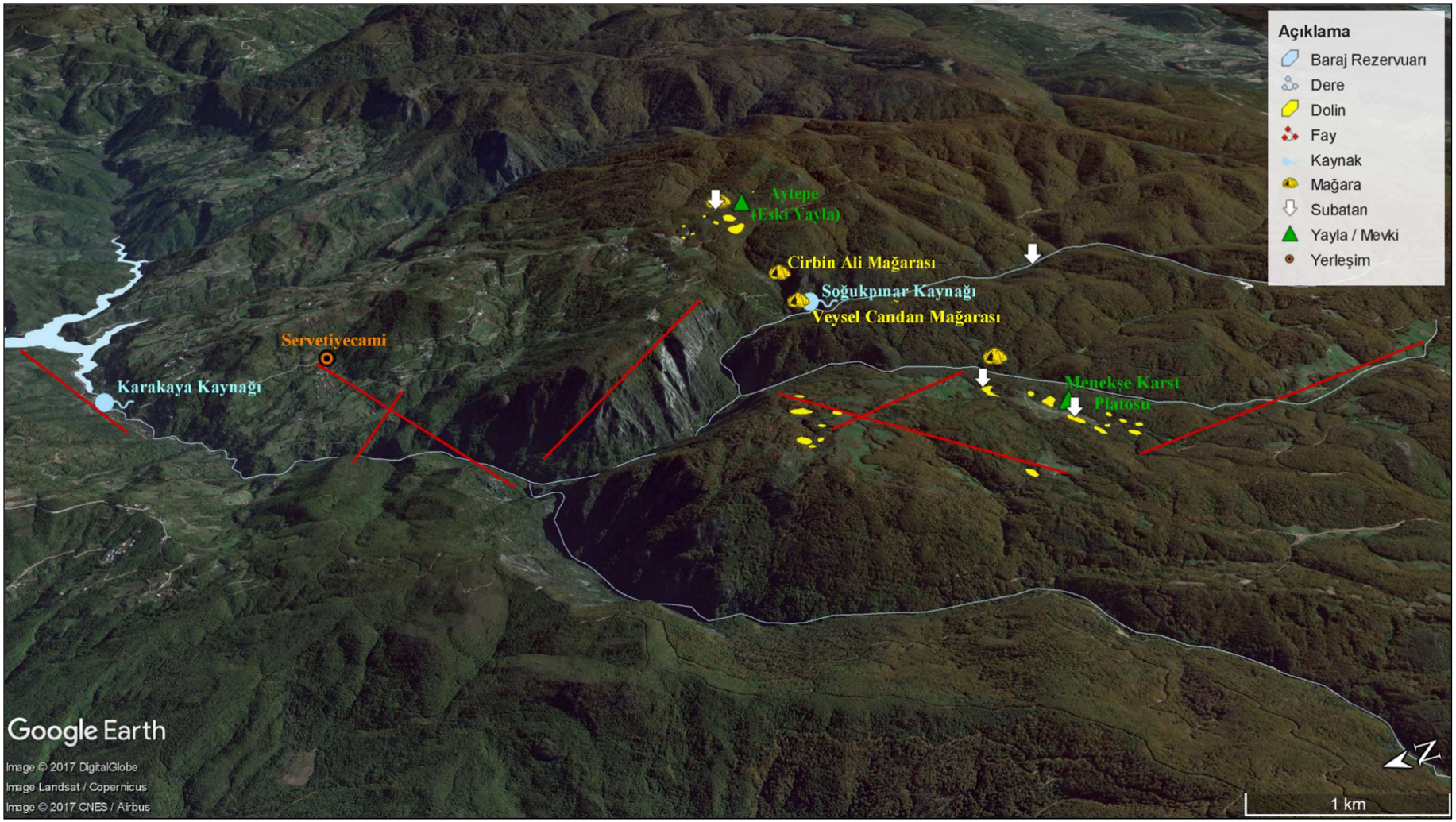
Kirazdere Alt Havzası içerisinde 204 ve 729 m kotlarından boşalan ortalama debileri 414 ve 531 L/s olan iki önemli karst kaynağı bulunmaktadır. Ortalama debisi 414 L/s olan Karakaya Kaynağı Yuvacık Barajı rezervuarına yakın bir konumda, Kiraz Dere yakınında, 204 m kotundan; ortalama debisi 531 L/s olan Soğukpınar Kaynağı ise Soğukdere Vadisi tabanında bulunan bir noktadan, 729 m kotundan boşalmaktadır (Şekil 3.2).

Kirazdere Alt Havzası içerisinde, Soğukpınar ile Karakaya kaynaklarının ve karst akiferinin beslenme alanlarını teşkil eden iki önemli bölge bulunmaktadır. Bunlardan biri Aytepe (Eski Yayla) Mevkisi, diğeri ise Menekşe Karst Platosu'dur. Her iki bölgede de karst akiferinin beslenimi açısından önemli olan dolin, uvala, subatan ve mağara gibi karstik yapılar bulunmaktadır (Şekil 3.1 ve 3.2). Bu yapılardan

subatanlar, karst akiferinin noktasal beslenme alanlarını temsil etmeleri ve kirlilik hassasiyetleri açısından özellikle önemlidir. Aytepe Mevkisi ve Menekşe Karst Platosu'nda bulunan subatanlar dışında, Soğuk Dere yatağı içerisinde de bir adet subatan bulunmaktadır.

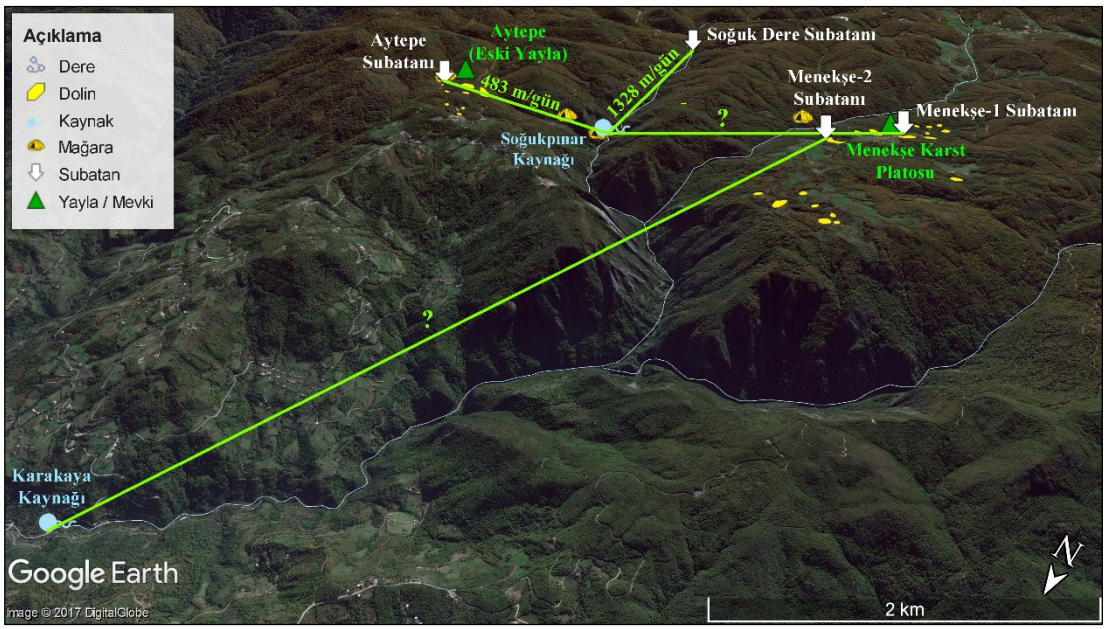


Şekil 3.1. Kirazdere Alt Havzası'nın hidrojeoloji haritası



Şekil 3.2. Kirazdere Alt Havzası içerisinde yer alan karst kaynakları, beslenme alanları ve karstik yapılar

İnceleme alanında diğer araştırmacılar tarafından daha önce yürütülen hidrojeolojik çalışmalarda, Kocaeli üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından da desteklenen 2016/001 no'lu proje kapsamında, Aytepe Mevkisi, Menekşe Karst Platosu ve Soğuk Dere içerisinde bulunan subatanlar ile karst akiferi arasındaki hidrodinamik ilişkiyi ortaya koymak amacıyla her iki bölgede ve Soğuk Dere yatağı içerisinde boya izleme deneyleri uygulanmıştır. Aytepe Mevkisi'nde uygulanan boya izleme deneyinde, Aytepe Subatanı'ndan; Soğuk Dere'de uygulanan boya izleme deneyinde ise Soğuk Dere Subatanı'ndan doğal akışla birlikte boya enjeksiyonu gerçekleştirilerek Soğukpınar Kaynağı'nda boya konsantrasyon değişimleri izlenmiş ve elde edilen verilerin analizi sonucunda görünür yeraltısuyu hızları saptanmıştır (Şekil 3.3). Menekşe Karst Platosu'nda bulunan Menekşe-1 ve Menekşe-2 Subatanı'nda ise yapay beslenim yoluyla boya enjeksiyonu geçekleştirilerek Soğukpınar ve Karakaya kaynaklarında boya konsantrasyon değişimleri izlenmiştir. Kaynaklarda yapılan uzun süreli gözlemlerde herhangi bir boya konsantrasyonuna rastlanamamış, dolayısıyla herhangi bir görünür yeraltısuyu hızı saptamak ve Menekşe Karst Platosu ile kaynaklar arasındaki bağlantıyı teyit etmek mümkün olmamıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Boya izleme deneylerinin uygulandığı noktalar

Menekşe Karst Platosu'nda uygulanan deneyler sonucunda kaynaklarda boya konsantrasyonuna rastlanmamış olması platodan akifere olan yeraltısuyu

besleniminin nispeten yavaş, difüzif bir karakterde olduğunu düşündürmüştür. Öte yandan, Menekşe Karst Platosu içerisinde Aytepe Mevkisi'nde gözlenen karstik yapılara benzer yapıların bulunması (Şekil 3.4-3.6) ve Aytepe Mevkisi'nde 483 ila 1483 m/gün gibi oldukça yüksek görünür yeraltı suyu dolaşım hızları saptanmış olması, Menekşe Karst Platosu'nda da karstlaşmanın iyi gelişmiş olduğunu, dolayısıyla hızlı bir beslenim mekanizmasının hüküm sürebileceğini işaret etmiştir.



Şekil 3.4. Menekşe Karst Platosu yakınlarında, Özekdere Mevkisi'nde bulunan bir dolin



Şekil 3.5. Menekşe Karst Platosu yakınlarında, Özekdere Mevkisi'nde yer alan bir uvala



Şekil 3.6. Menekşe Karst Platosu civarında, Papaz Mahallesi yakınlarında bulunan bir mağara

Yapay beslenim yoluyla gerçekleştirilen boya izleme deneylerinde yapay beslenimin yetersiz kalması sebebiyle gözlem noktasına boyanın ulaşmaması olasılığı her zaman mevcuttur. Ayrıca öngörülen miktarın üzerinde bir seyrelmenin gerçekleşmesi durumunda da kullanılan boya miktarı yetersiz kalabilmekte ve buna bağlı olarak gözlem noktasında boya konsantrasyonuna rastlamama durumu ortaya çıkabilmektedir. Tüm bu olasılıklar ve arazi gözlemlerine dayalı bilgiler göz önüne alındığında, mevcut bilgiler ışığında Menekşe Karst Platosu'ndan karst akiferine gerçekleşen yeraltısuyu besleniminin karakteristiği hakkında net bir yorum yapmak mümkün olmamıştır. Bu sebeple bu tez çalışması kapsamında, platodan akifere olan yeraltısuyu beslenimini daha iyi yorumlayabilmek amacıyla, kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite yöntemleri uygulanarak, plato içerisinde bulunan gömülü karstik yapıların varlığı, dağılımı ve baskın kırık-çatlak sistemlerinin uzanımları belirlenmeye çalışılmıştır.

4. MALZEME VE YÖNTEM

Menekşe Karst Platosu'ndan Kirazdere Alt Havzası'nda bulunan karst kaynaklarına ve karst akiferine gerçekleşen yeraltısuyu besleniminin karakteristiğini ortaya koymak amacıyla, elektrik özdirenç yöntemlerinden faydalanılarak, plato içerisindeki karstik boşlukların dağılımı, kırık-çatlak sistemlerinin yönelimleri ve toprak örtüsünün kalınlığı ile dağılımı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, plato içerisinde kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite yöntemleri uygulanmıştır.

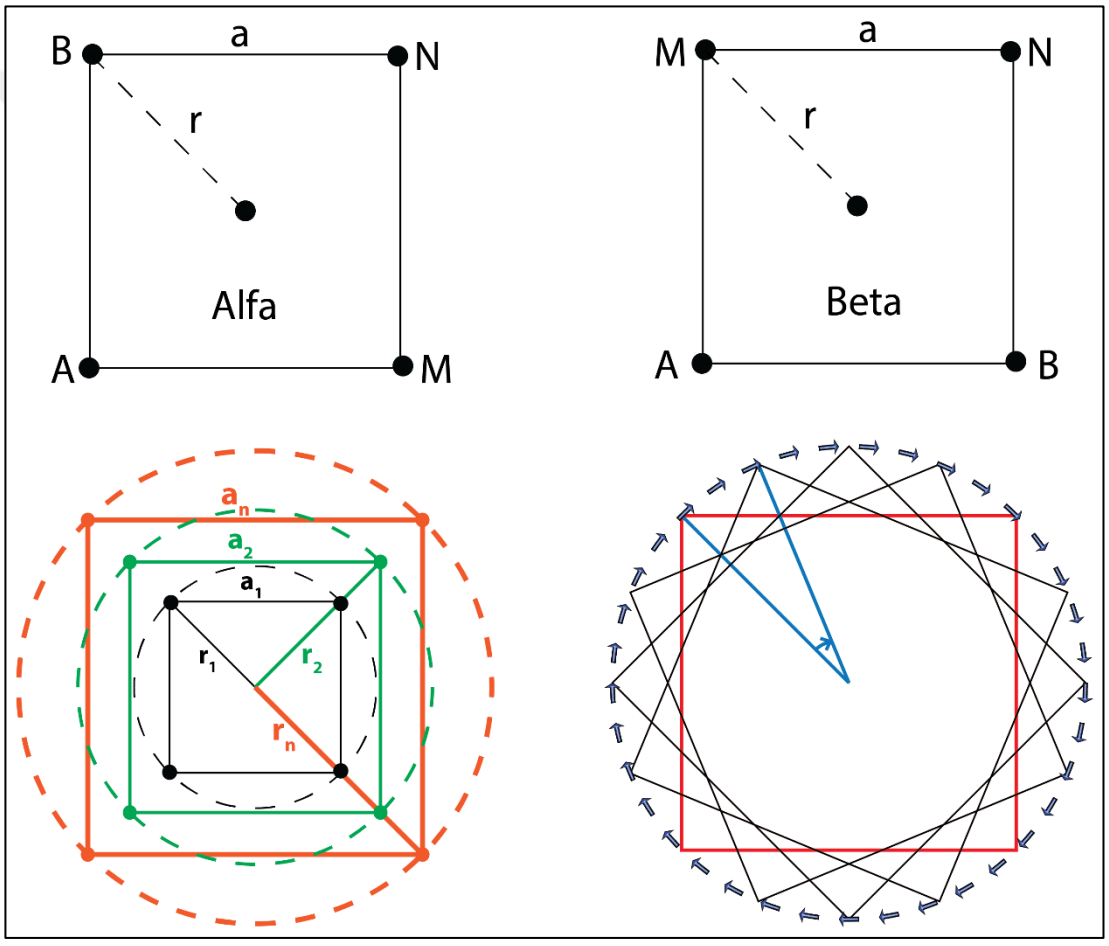
4.1. Kare Dizilim Yöntemi

Kare dizilim, yer içindeki özdirenç dağılımına ilişkin anizotropik özelliklerin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir elektrot dizilimidir (Ernstson ve Kirsch, 2009). Yaygın olarak kullanılan Schlumberger ve Wenner dizilimlerine kıyasla, yer içindeki anizotropik özelliklerin belirlenmesi hususunda daha başarılı bir yöntemdir (Lane ve diğ., 1995). Karstik arazilerde anizotropik özellikler çoğunlukla kırık-çatlak zonları gibi yapısal unsurlardan ve karstlaşmaya bağlı olarak gelişim gösteren karstik boşluklar ile mağara pasajlarının uzanımlarından kaynaklanmaktadır. Bu amaçla, çalışmada ilk olarak diğer araştırmacılar tarafından yürütülmüş olan daha önceki çalışmalarda boya izleme deneylerinin gerçekleştirildiği Menekşe-1 ve Menekşe-2 subatanları yakınında kare dizilim yöntemi uygulanarak, subatanlardan drene olan suların yer içindeki dolaşımını kontrol eden ana süreksizlik yönelimleri saptanmaya çalışılmıştır.

Kare dizilim yönteminde, elektrotlar bir merkezden eşit uzaklıkta olacak şekilde 90˚ aralıklarla yerleştirilir (Şekil 4.1). Alfa (α), beta (β) ve gama (γ) olmak üzere üç ayrı dizilim tipi bulunmakla birlikte bunlardan alfa ve beta dizilimleri (Şekil 4.1), birbirine dik doğrultular boyunca yer içindeki görünür özdirenç değerlerinin değişimi hakkında bilgi sağlayan dizilimlerdir. Bu dizilimlerle ölçülen potansiyel fark değerleri ve uygulanan akım değerleri aracılığıyla hesaplanan özdirenç değerlerinin temsil ettiği yön akım elektrotlarını birleştiren çizginin uzanım doğrultusundadır (Lane ve diğ., 1995). Gama dizilimi, gerektiğinde alfa ve beta dizilimleri ile alınan

ölçülerin doğruluğunu teyit etmek amacıyla kullanılabilen bir dizilim türü olup (Lane ve diğ., 1995), görünür özdirenç değerlerini elde etmek için uygulanması gerekli değildir.

Elektrotların merkezden olan uzaklığı (r), dolayısıyla her bir elektrot arasındaki mesafe (a) değiştirilerek farklı seviyelere (derinliklere) ait görünür özdirenç değerleri (ρ_a) elde edilebilir. Her bir seviye için başlangıçtaki elektrot dizilimi istenilen çözünürlüğe bağlı olarak belirli bir açıda döndürülerek ve bu işlem sistem başlangıçtaki konumuna gelinceye kadar tekrar edilerek ölçüm alınır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kare dizilim yöntemi ile ölçüm alımını gösteren şematik çizim (A ve B: Akım elektrotları, M ve N: Gerilim elektrotları, a: Kare dizilim kenar uzunluğu, r: Merkezden elektrotlara olan uzaklık)

Doğru akım özdirenç yöntemlerinde I: akım, ρ: özdirenç, V: gerilim olmak üzere herhangi bir M noktasındaki gerilim Eşitlik 4.1 yardımıyla elde edilir:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{VM} - \frac{1}{BM}\right) \quad (4.1)$$

Benzer şekilde herhangi bir N noktasındaki gerilim Eşitlik 4.2 yardımıyla elde edilir:

$$V_N=\frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{AN}-\frac{1}{BN}\right) \tag{4.2}$$

Dolayısıyla, "ΔV" potansiyel fark olmak üzere M ve N elektrotları arasındaki potansiyel fark Eşitlik 4.3 ile ifade edilir:

$$\Delta V_{MN}=\frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{AM}-\frac{1}{BM}-\frac{1}{AN}+\frac{1}{BN}\right) \tag{4.3}$$

Eşitlik 4.3'te kare dizilim yöntemine ilişkin AM ve BN uzaklıkları a, AN ve BM uzaklıkları ise $a\sqrt{2}$ olacak şekilde yerlerine konularak aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\rho=\frac{\Delta V_{MN}}{I}\left(\frac{2\pi a}{2-\sqrt{2}}\right) \tag{4.4}$$

Eşitlik 4.4'te parantez içindeki ifade Habberjam ve Watkins (1967) tarafından kare dizilim yöntemi için tanımlanmış olan geometrik faktördür (K):

$$K=\frac{2\pi a}{2-\sqrt{2}} \tag{4.5}$$

Aniztropik ortam anizotropi katsayısı (λ) ve ortalama özdirenç (ρ_m) değeri ile karakterize edilir (Yeboah-Forson ve Whitman, 2014). Bunlardan anizotropi katsayısı

$$\lambda=\sqrt{\frac{\rho_{a_\beta}}{\rho_{a_\alpha}}} \tag{4.6}$$

olarak, ortalama özdirenç değeri ise

$$\rho_m=\sqrt{\rho_\alpha \rho_\beta} \tag{4.7}$$

olarak ifade edilir.

Elektrotların konumunun başlangıç konumundan açısal uzaklığı, bir başka ifadeyle görünür özdirenç değerinin temsil ettiği doğrultu (başlangıç konumunun 0˚ olması

halinde) θ olacak şekilde Habberjam (1972) tarafından geliştirilen eşitlikler aracılığıyla görünür özdirenç değeri hesaplanabilir.

Anizotropi katsayısı (λ) ve ortalama özdirenç değeri (ρ_m) Eşitlik 4.6 ve 4.7 ile tanımlandığı gibi olmak üzere herhangi bir θ açısı için görünür özdirenç değeri;

$$\rho_a = \frac{1}{2-\sqrt{2}}\rho_m \left(\frac{2}{\sqrt{1+\left(N^2-1\right)\cos^2\theta}} - \frac{1}{\sqrt{2+\left(N^2-1\right)\left(1+\sin^2\theta\right)}} - \frac{1}{\sqrt{2+\left(N^2-1\right)\left(1-\sin^2\theta\right)}} \right) \qquad (4.8)$$

denklemi ile hesaplanır.

Eşitlik 4.8'de "N" etkin düşey anizotropi değeri olup, "α" anizotropiye sebep olan süreksizliğin eğim açısı olmak üzere $N=\sqrt{1+\left(\lambda^2-1\right)\sin\alpha^2}$ olarak ifade edilmektedir.

Hesaplanan görünür özdirenç değerleri temsil ettikleri doğrultulara bağlı olacak şekilde kutupsal grafiklerle gösterilir. Grafiklerin şekli incelenerek, olası süreksizlik zonlarından kaynaklanan yön bağımlı özdirenç anomalileri belirlenmeye çalışılır.

4.1.1. Doğrultu ve eğim etkisi

Belirli bir doğrultu ve eğime sahip süreksizlikten kaynaklanacak teorik grafikleri ve süreksizliğin doğrultusu ile eğiminin değişimine bağlı olarak garfiklerin yapısında gözlenecek değişimleri göstermek amacıyla Eşitlik 4.5 ila 4.8'de ifade edilen denklemler kullanılarak Matlab programında bir kod yazılmış ve çalıştırılmıştır. Yazılan koda alfa ve beta dizilmlerine ait (süreksizliğe paralel ve dik yöndeki) özdirenç değerleri girildikten sonra önce sabit bir eğim değeri seçilerek, farklı doğrultulara sahip süreksizliklerin oluşturacağı grafikler, sonrasında ise sabit bir doğrultu seçilerek, farklı eğim açılarına sahip süreksizliklerin oluşturacağı grafikler çizdirilmiştir (Şekil 4.2 ve 4.3).

Grafikler incelendiğinde, kare dizilim ölçümlerinin gerçekleştirildiği bir alan içerisinde herhangi bir süreksizlik bulunması durumunda çiçek yapısı şeklinde bir anomali oluştuğu görülmektedir. Anomaliye sebep olan süreksizlik çiçek yapısının basık ekseni (düşük özdirençli) boyunca uzanmaktadır. Tahmin edilebileceği üzere,

süreksizliğin doğrultusu değiştikçe çiçek yapısı da bu açısal değişimle aynı miktarda yön değiştirir (Şekil 4.2). Eğim açısındaki değişiklikler ise anomalinin fark edilebilirliğine olan etkisi açısından önemlidir. Eğim 90˚ iken çiçek yapısı en mükemmel haliyle gözlenirken, eğim açısı azaldıkça anomalinin şekli elipse doğru evrilmekte, 0˚'ye yaklaştıkça fark edilebilir olmaktan uzaklaşmaktadır (Şekil 4.3).

4.1.2. Kare dizilim ölçümlerinin alınması ve değerlendirilmesi

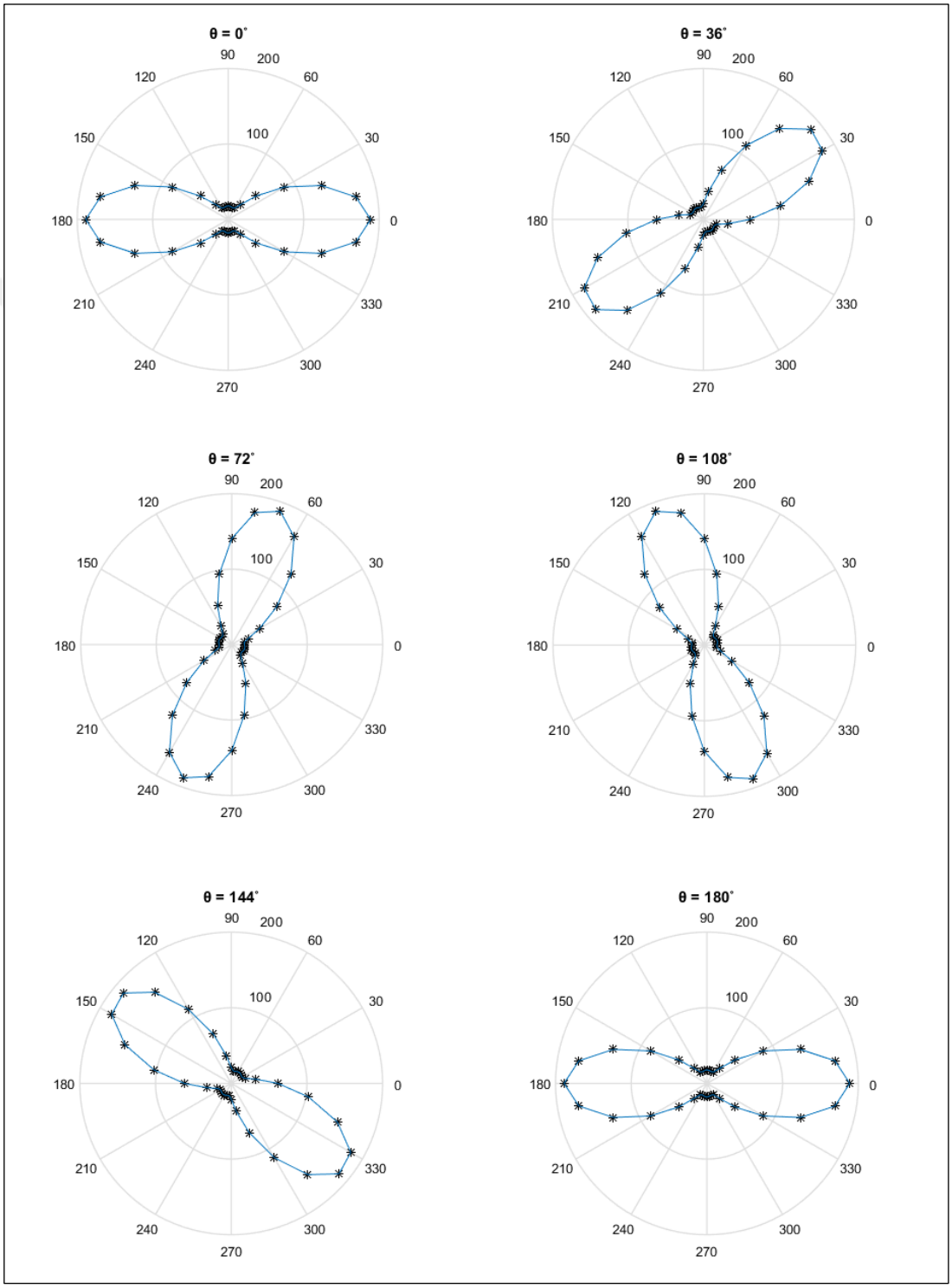
Kare dizilim ölçümleri Menekşe-1 ve Menekşe-2 subtanlarının yakınında (Şekil 4.4.-4.6), sırası ile dört ve beş farklı seviye için alınmıştır. Menekşe-1 subatanı yakınında merkezden elektrotlara olan uzaklık (r) 9 m, 14 m, 21 m ve 30 m; Menekşe-2 subatanı yakınında ise 4 m, 7 m, 11m, 16 m ve 22 m olacak şekilde ölçümler alınmıştır.

Her bir nokta ve her farklı seviye için elektrot dizilimi 22,5˚'lik açılarla döndürülerek, alfa ve beta dizilimleri için ayrı ayrı onaltışar adet ölçüm alınmıştır. Yapılan ölçümlere ilişkin dizilim türü, elektrotlar arası mesafe, uygulanan akım miktarı ve ölçülen potansiyel fark değerleri kare dizilim ölçüm karnelerine kaydedilmiştir. Kare dizilim ölçüm karnelerine kaydedilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak, Matlab programında verilerin değerlendirilmesi amacıyla yazılmış olan kod tarafından okunabilecek bir formatta text dosyası olarak kaydedilmiştir.

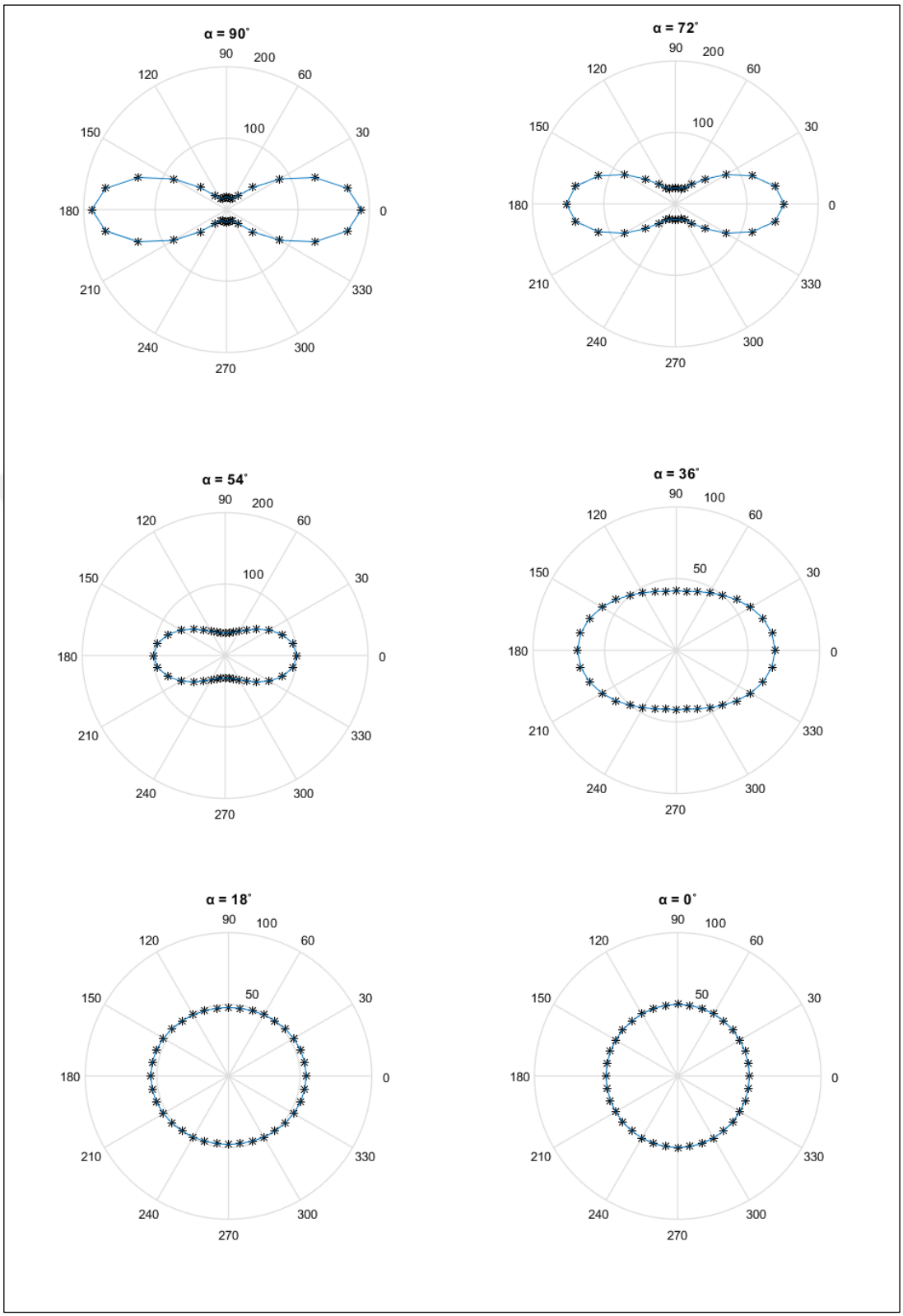
Kare dizilim verilerinin değerlendirilmesi amacıyla Matlab programında Eşitlik 4.5 ila 4.8'de ifade edilen denklemler kullanılarak, ölçüm alınan tüm doğrultulara ilişkin görünür özdirenç değerlerini hesaplayan ve bu değerleri temsil ettikleri doğrultulara bağlı olacak şekilde kutupsal grafiklerle gösteren bir kod yazılmış ve çalıştırılmıştır. İlgili kod aracılığıyla çizdirilen görünür özdirenç grafikleri incelenerek, teorik grafiklerde gözlemlenen çiçek yapısı ya da elips şekilli anomalilere benzer anomalilerin olup olmadığı araştırılmıştır. Bu sayede ölçüm alınan noktalarda baskın bir süreksizlik uzanım yönü bulunup bulunmadığı, eğer bulunuyorsa hangi yönde uzanım gösterdiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Baskın süreksizlik zonlarının karstik alanlarda yeraltısuyu akışını kontrol eden temel parametrelerden biri olması ve kare dizilim ölçümlerinin yüzey sularının yeraltına

hızlı bir beslenim mekanizması dahilinde drene olduğu subatanların yakınında alınması sebebiyle, kare dizilim uygulamaları sonucunda elde edilen bilgiler Menekşe Karst Platosu içerisindeki yeraltısuyu dolaşım mekanizmasının yorumlanması hususunda katkı sağlamıştır.



Şekil 4.2. Süreksizlik doğrultusunun kare dizilim ölçümleri üzerindeki etkisi



Şekil 4.3. Süreksizliğin eğiminin kare dizilim ölçümleri üzerindeki etkisi



Şekil 4.4. Kare dizilim ölçümlerinin alındığı noktalar



Şekil 4.5. Menekşe-1 Subatanı yakınında kare dizilim uygulaması



Şekil 4.6. Menekşe-2 Subatanı yakınında kare dizilim uygulaması

4.2. Çoklu elektrot Rezistivite Yöntemi

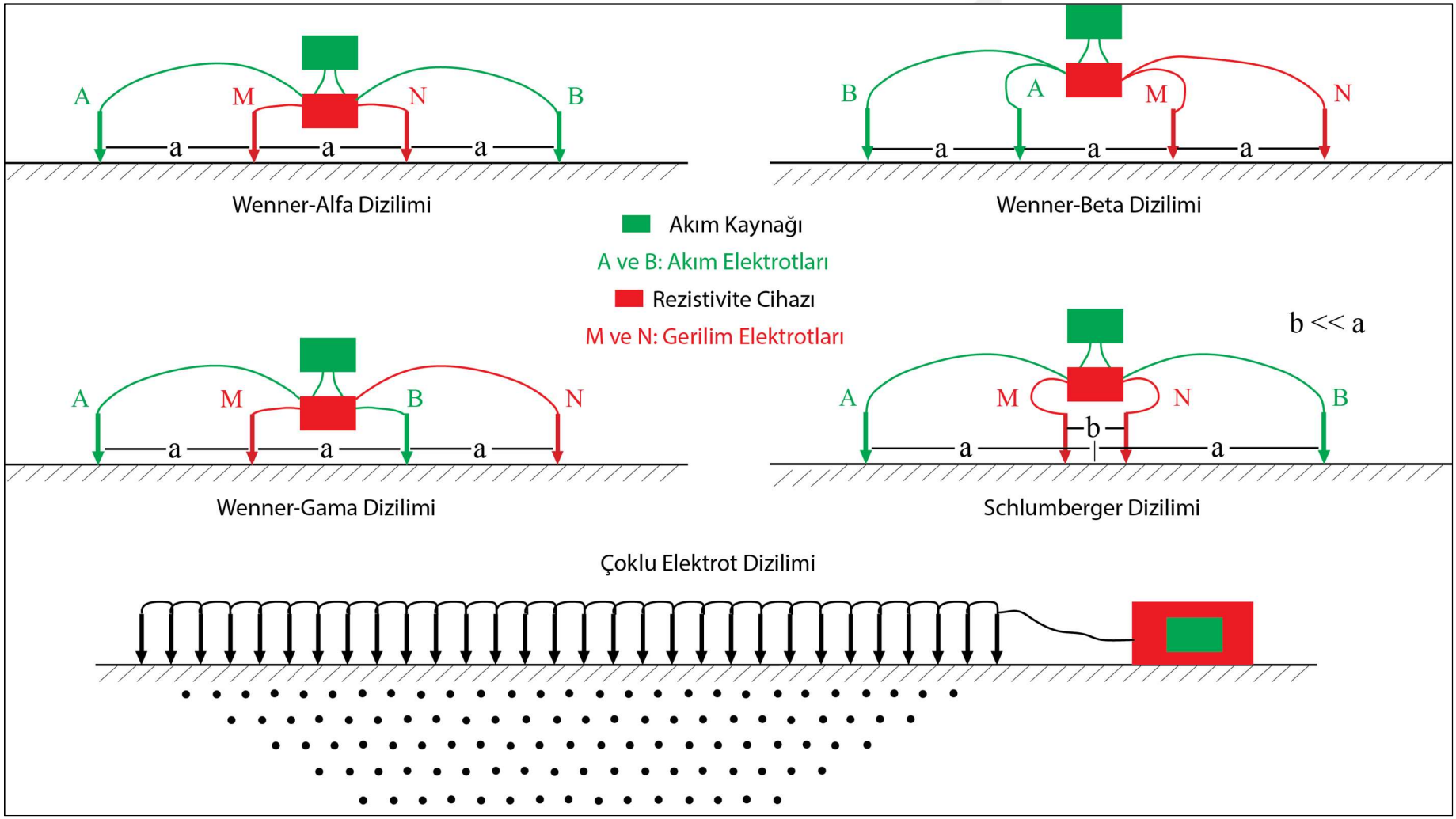
Çoklu elektrot rezistivite yöntemi, belirli bir profil boyunca yer içerisindeki özdirenç dağılımını belirlemek amacıyla kullanılan Wenner, Schlumberger, Dipol-Dipol ve Pol-Dipol dizilimleri gibi farklı elektrot dizilimleri ile gerçekleştirilen rezistivite uygulamalarının bir arada ve pratik bir şekilde uygulanabilmesi amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir (Şekil 4.7). Klasik yöntemlerde yere iki adet akım iki adet ise gerilim elektrodu çakılarak, ölçüm noktasının belirli bir profil boyunca ilerletilmesi ya da daha derinden bilgi alınabilmesi amacıyla elektrot aralığının arttırılması için her seferinde elektrotlar sökülerek yeni yerlerine taşınır ve tekrar çakılır. Bu işlem oldukça zaman alıcıdır ve fazlaca iş gücü gerektirir. Çoklu elekrot rezistivite yönteminde cihazın destekleme durumuna, profil uzunluğuna ve istenilen çözünürlüğe göre değişmekle beraber çoğunlukla 30 ila 60 adet elektrot kullanılarak, elektrotlar ilgili profil boyunca belirli aralıklarla bir kere çakılır ve ölçü esnasında yerleri değiştirilmez. Elektrotlar çakıldıktan sonra çoklu elektrot sistemini destekleyen bir rezistivite cihazı ile ölçüm alınması istenilen dizilim türü, elektrot sayısı ve elektrot aralığı gibi bilgiler cihaza girilerek ölçümler gerçekleştirilir. Cihaz girilen parametreleri kullanarak her seferinde akımın gönderildiği ve/veya potansiyel farkın ölçüldüğü elektrotları değiştirerek ölçümler alır. Cihazın hafızasına kaydedilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak, ters çözüm yazılımları aracılığıyla özdirenç kesitlerine dönüştürülür ve yorumlanır.

Verilerin ters çözüm yazılımları aracılığıyla değerlendirilmesinde görünür özdirenç bağıntılarından faydalanılır. Her bir elektrot diziliminin geometrisi birbirinden farklı olduğundan, geometrik faktör ve görünür özdirenç bağıntıları da farklılık gösterir.

Wenner dizilimlerinde elektrotlar birbirlerinden eşit uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilir (). Wenner-Alfa diziliminde AM = a, BM = 2a, AN = 2a ve BN = a uzaklıkları Eşitlik 4.3'te yerine konulduğunda Wenner-Alfa dizilimine ilişkin geometrik faktör ($K_{w\alpha}$) ve görünür özdirenç ($\rho_{a_{w\alpha}}$) bağıntısı aşağıdaki gibi bulunur:

$$K_{w\alpha}=2\pi a \tag{4.9}$$

$$\rho_{a_{w\alpha}}=2\pi a\frac{\Delta V}{I} \tag{4.10}$$



Şekil 4.7. Klasik elektrot dizilimleri ve çoklu elektrot dizilimi (A ve B akım elektrotları, M ve N gerilim elektrotları)

Benzer şekilde Wenner-Beta dizilimi için AM = a, BM = 2a, AN = 2a ve BN = 3a uzaklıkları yerine konulduğunda Wenner-Beta dizilimine ilişkin geometrik faktör ($K_{w\beta}$) ve görünür özdirenç ($\rho_{a_{w\beta}}$) bağıntısı aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$K_{w\beta}=6\pi a \tag{4.11}$$

$$\rho_{a_{w\beta}}=6\pi a\frac{\Delta V}{I} \tag{4.12}$$

Wenner-Gama dizilimi için ise AM = a, BM = a, AN = 3a ve BN = a uzaklıkları yerine konulduğunda Wenner-Gama dizilimine ilişkin geometrik faktör ($K_{w\gamma}$) ve görünür özdirenç ($\rho_{a_{w\gamma}}$) bağıntısı;

$$K_{w\gamma}=3\pi a \tag{4.13}$$

$$\rho_{a_{w\gamma}}=3\pi a\frac{\Delta V}{I} \tag{4.14}$$

olacak şekilde hesaplanır.

Schlumberger diziliminde gerilim elektrotları arasındaki mesafe (b) akım elektrotları arasındaki mesafenin yarısından (a) çok daha küçük olacak şekilde seçilir. Elektrotlar arasındaki mesafeler, gerilim elektrotları arasındaki b mesafesi a uzaklığının en az 10 katı olacak şekilde ayarlanır (Telford ve diğ., 1990).

Schlumberger dizilimi için AM uzaklığı $a-\frac{b}{2}$, AN uzaklığı $a+\frac{b}{2}$, BM uzaklığı $a+\frac{b}{2}$, AM uzaklığı $a-\frac{b}{2}$ olacak şekilde Eşitlik 4.3'te yerlerine konulduğunda Schlumberger dizilimine ilişkin geometrik faktör (K_s) ve görünür özdirenç (ρ_{a_s}) bağıntısı;

$$K_s=\pi\left(\frac{a^2}{b}-\frac{b}{4}\right) \tag{4.15}$$

$$\rho_{a_s}=\pi\left(\frac{a^2}{b}-\frac{b}{4}\right)\frac{\Delta V}{I} \tag{4.16}$$

olarak elde edilir.

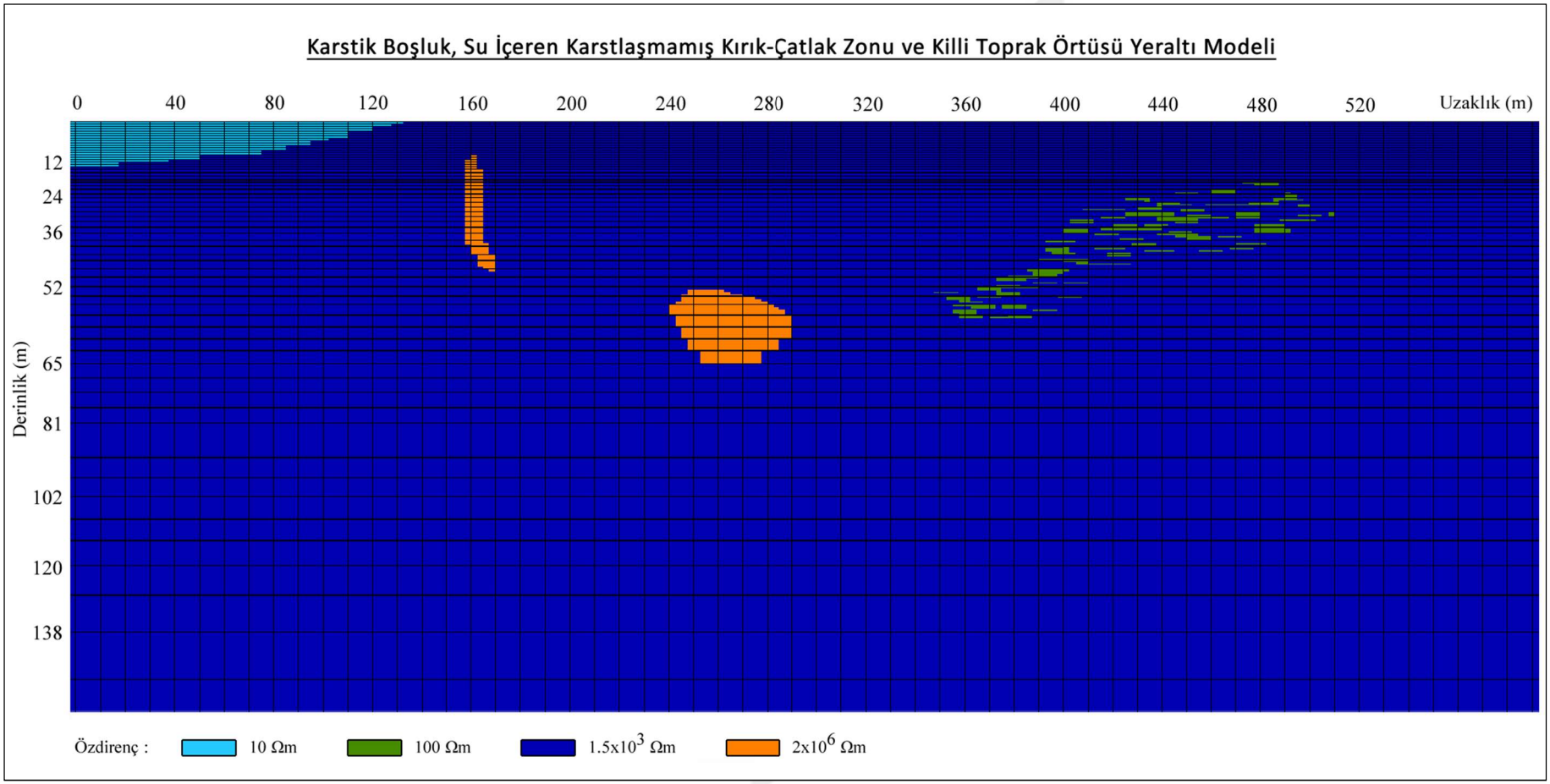
4.2.1. Çoklu elektrot rezisitivite yöntemi ile tespit edilmesi hedeflenen jeolojik yapıların düz çözüm ile modellenmesi

Çoklu elektrot rezistivite yöntemi ile tespit edilmesi hedeflenen karstik boşluklar, su içeren karstlaşmamış kırık-çatlak zonları ve killi toprak örtüsü gibi yapıların mevcut jeolojik ortam içinde (mermerler içerisinde), doğru akım özdirenç yöntemleri ile ne denli ayırt edelebileceğini ve olası anomalilerin yapısını görmek amacıyla RES2DMOD (Loke, 2002) yazılımı kullanılarak düz çözüm ile bu yapıların modelleri oluşturulmuştur (Şekil 4.8). Bu amaçla, hazırlanan modelde farklı özdirenç değerleri verilen dört ayrı jeolojik ortam ayırtlanmıştır. Özdirenç değerleri, ilgili ortamlara ilişkin, literatürde verilen özdirenç değer aralıkları içerisinde kalacak şekilde seçilmiştir.

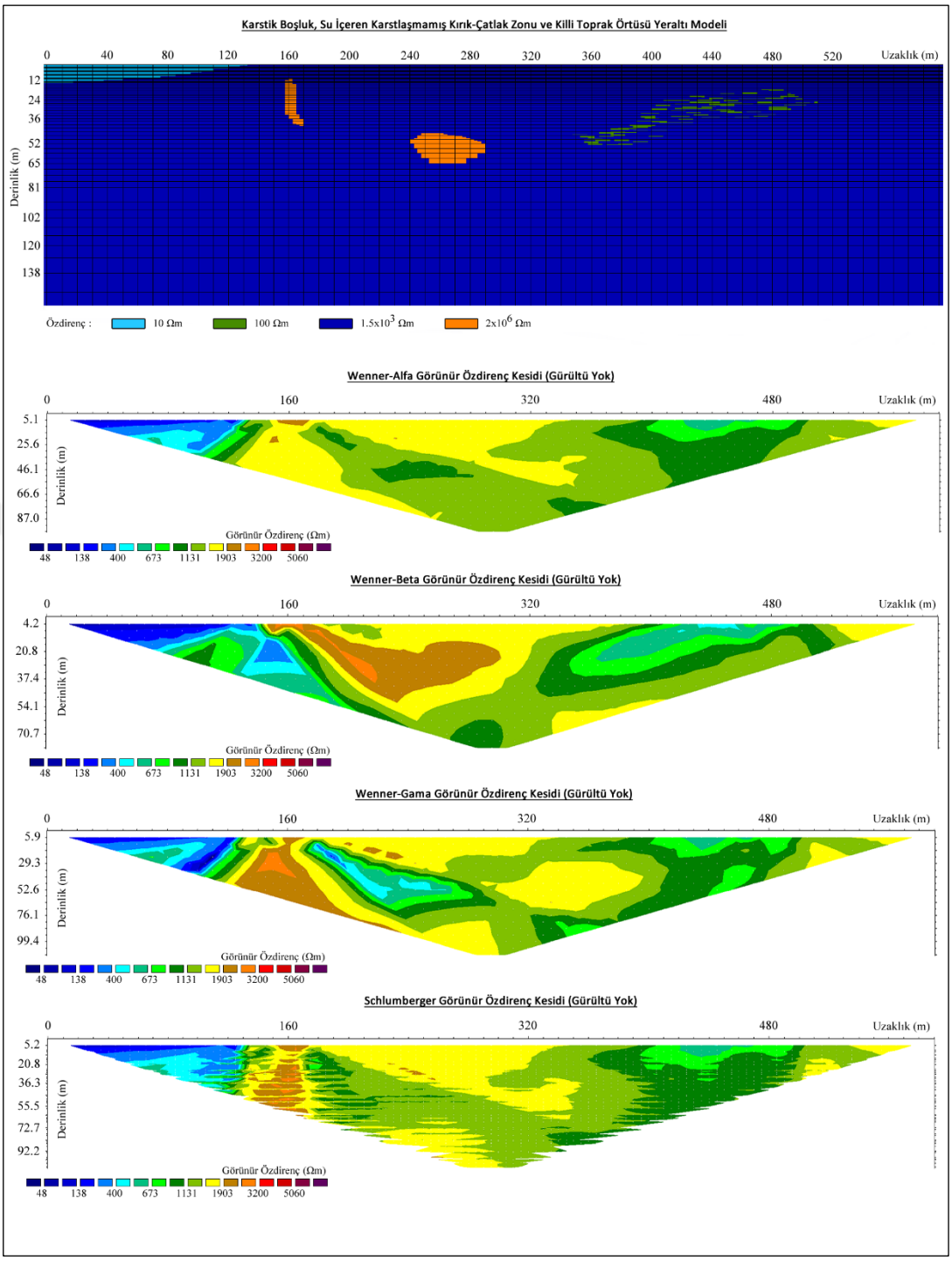
Jeolojik yapıları barındıran mermer birimlere matriks değeri olarak $1{,}5\times10^{3}$ Ωm değeri verilmiş, hava ile dolu karstik boşluklar için modelin izin verdiği en yüksek özdirenç değeri olan 2×10^{6} Ωm değeri girilmiştir. Killi toprak örtüsünü temsil eden bölgeler için 10 Ωm, su içeren karstlaşmamış kırık-çatlak zonlarını temsil eden alanlar için ise 100 Ωm değerleri seçilmiştir.

Belirlenen bu özdirenç değerleri ile, yerin altına Kirazdere Alt Havzası içerisinde rastlanan tipik karstik yapılardan olan düşey bir şaft ile lokal bir karstik boşluk (mağara) yerleştirilmiştir. Ayrıca kesitin bir ucuna yüzeyden 10 m derine kadar inen killi bir toprak zonu ve bir başka bölgesine su içeren, karstlaşmamış kırık-çatlak zonu yerleştirilmiştir (Şekil 4.8).

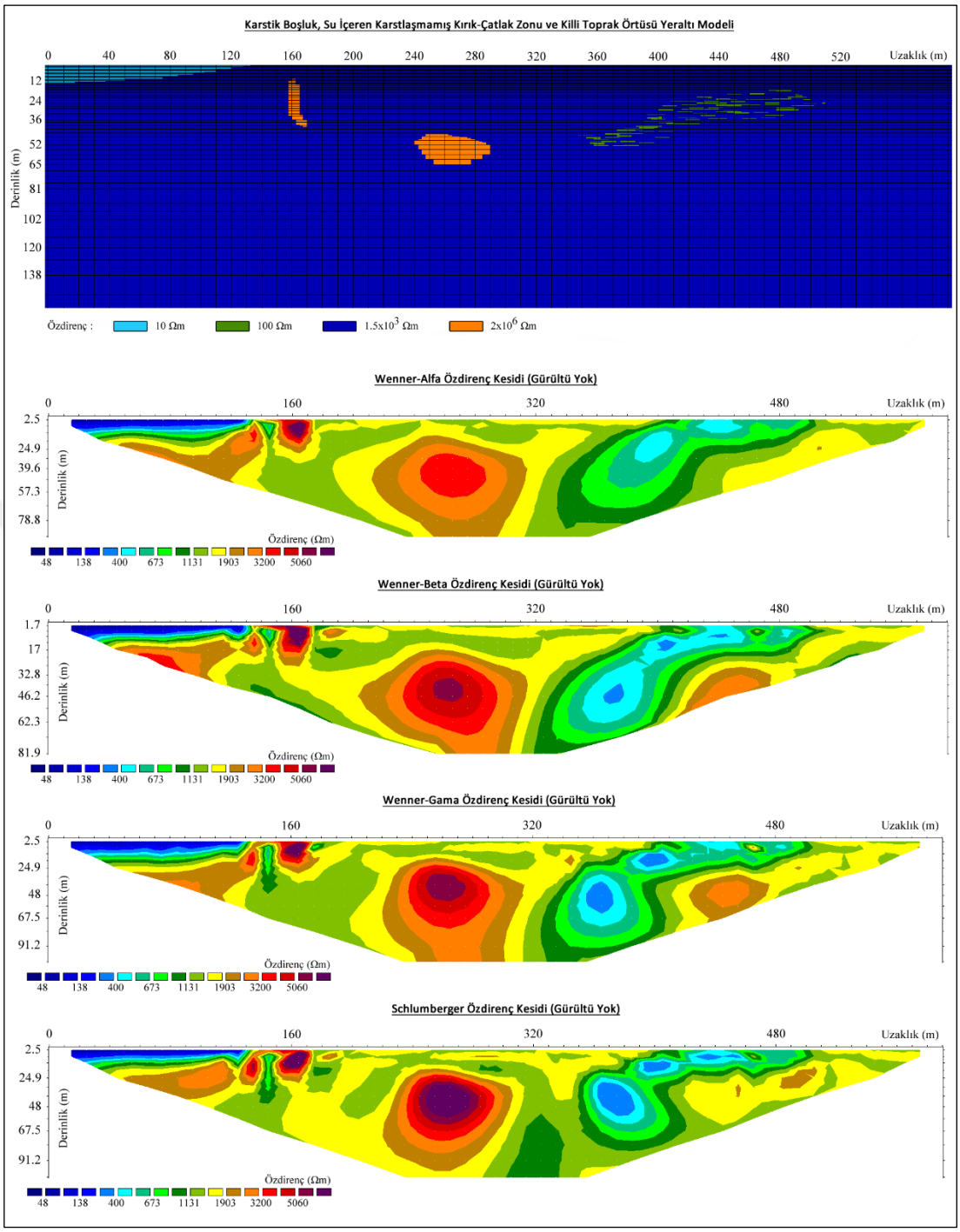
RES2DMOD yazılımında düz çözüm ile hesaplanan potansiyel değerleri RES2DINV formatında kaydedilerek ilgili programda görünür özdirenç ve özdirenç kesitleri oluşturulmuş, modellenen jeolojik yapılara ilişkin özdirenç anomalileri incelenmiştir (Şekil 4.9 ve 4.10). Ayrıca verilere rastgele gürültü eklenerek aynı yapılara ilişkin farklı gürültü oranları içeren özdirenç kesitleri oluşturularak, gürültünün farklı elektrot dizilimleri üzerindeki etkisi irdelenmiştir (Şekil 4.11 ve 4.12).



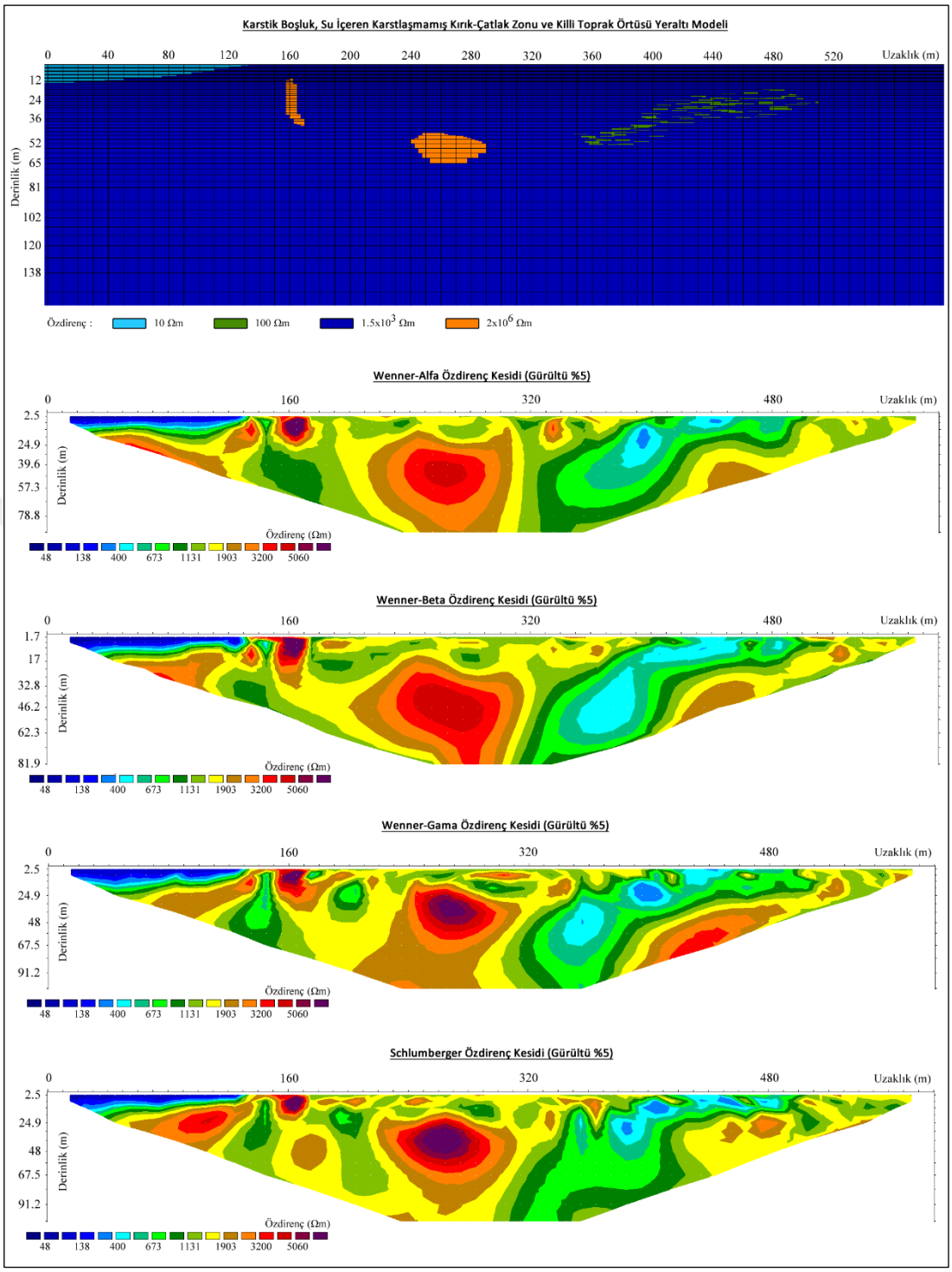
Şekil 4.8. Düz çözümle modellenen jeolojik yapılar



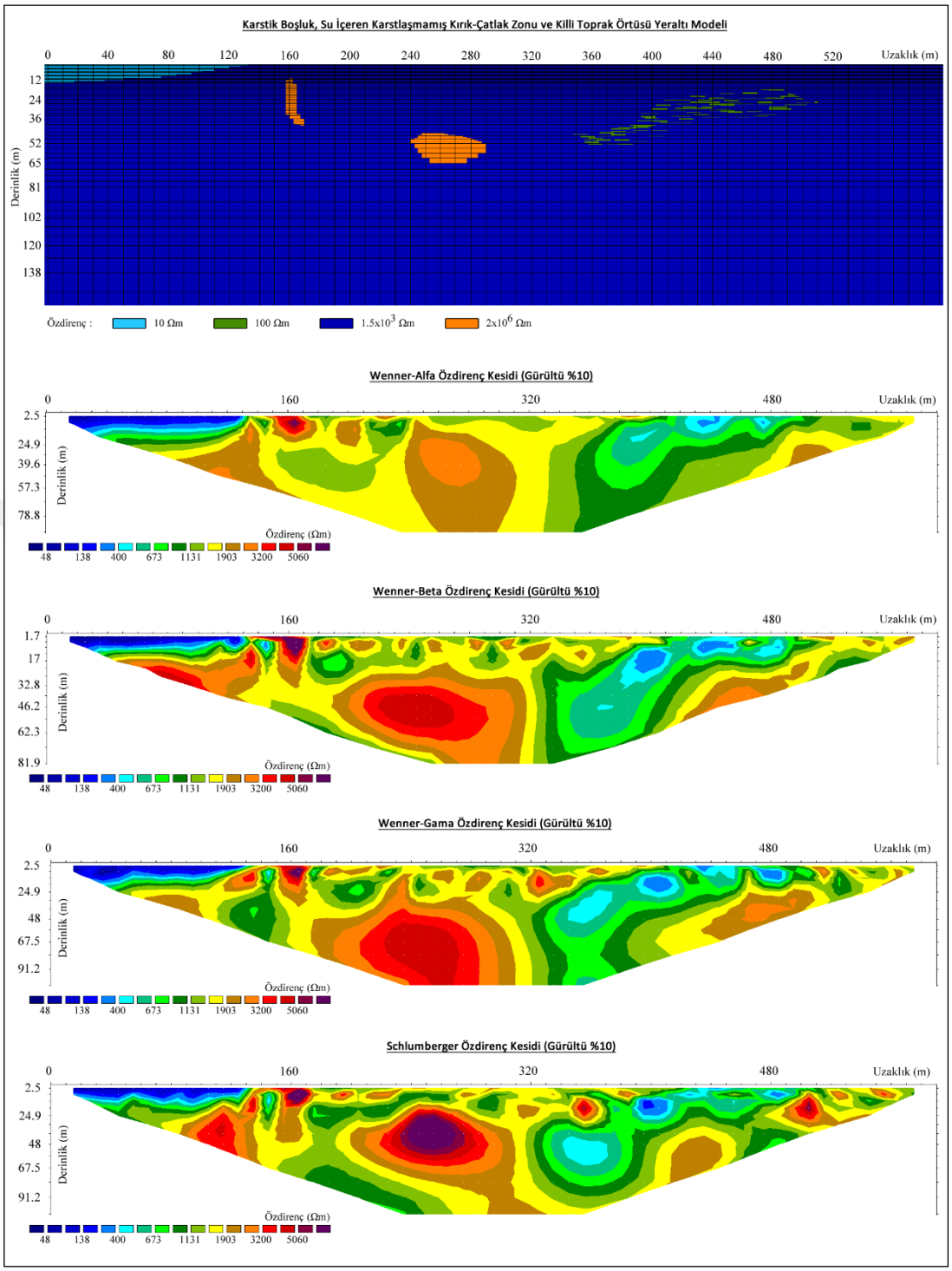
Şekil 4.9. Düz çözümle modellenen yapılara ilişkin görünür özdirenç kesitleri



Şekil 4.10. Düz çözümle modellenen yapılara ilişkin gürültüsüz özdirenç kesitleri



Şekil 4.11. Düz çözümle modellenen yapılara ilişkin %5 gürültülü özdirenç kesitleri



Şekil 4.12. Düz çözümle modellenen yapılara ilişkin %10 gürültülü özdirenç kesitleri

Özdirenç kesitlerinde, modellenen tüm jeolojik yapıların ayırt edilebilir nitelikte özdirenç anomalisi verdiği görülmektedir. Gürültü eklenmemiş olan verilere bakıldığında göze çarpan iki temel noktadan biri karstik boşluğun üst ve alt sınır hattının Schlumberger dizilimde, diğer dizilimlere nazaran modeldeki geometriye daha yakın haliyle görülmesidir. Bu durum Schlumberger diziliminin düşey süreksizliklere karşı daha duyarlı bir elektrot dizilimi olması ile uyumluluk göstermektedir. Benzer şekilde, su içeren karstlaşmamış kırık-çatlak zonunun olduğu alandaki özdirenç dağılımında Wenner-Alfa dizilimi bu alanı, diğer elektrot dizilimlerine nazaran daha süreklilik arz eder bir biçimde göstermekte, Schlumberger dizilimi ise zonun uzanımı boyunca yüzeyden olan derinliğin farklılaşmasına bağlı olarak bu alanı ardışık düşük özdirenç kapanımları şekilinde göstermektedir. Bu durum da yine Schlumberger diziliminin düşey süreksizliklere olan duyarlılığından ve aynı zamanda Wenner-Alfa diziliminin düşeyden ziyade yanal süreksizliklere olan duyarlılığından kaynaklanmaktadır.

Wenner-Beta ve Wenner-Gama dizilimlerinde mağaranın alt sınırlarında kesitin derinine doğru bir miktar kayma görülmekte, su içeren kırık-çatlak zonunda ise Schlumberger dizilimine ilişkin özdirenç kesidine benzer ardışık kapanımlar gözlenmektedir. Sonuç olarak, gürültü eklenmemiş olan özdirenç kesitlerinde Wenner-Alfa ve Wenner-Beta dizilimleri de dahil tüm elektrot dizilimlerinde jeolojik yapılar ufak farklılıklar olsa da net bir şekilde ayırt edilebilmektedir.

Gürültü eklenmiş olan veriler incelendiğinde, gürültü oranı arttıkça özdirenç kesitlerinde yanlış yorumlamaya sebep olabilecek yalancı kapanımlar oluştuğu görülmektedir. Gerek bu sahte özdirenç kapanımları açısından gerekse yapı sınırlarındaki kaymalar açısından değerlendirildiğinde; Wenner-Alfa ve Schlumberger dizilimlerinin, Wenner-Beta ve Wenner-Gama dizilimlerine nazaran gürültüden daha az etkilendiği söylenebilir. Özellikle Schlumberger diziliminde, karstik boşluktan kaynaklanan anomalideki bozulmanın diğer tüm dizilimlere oranla son derece az olması dikkat çekicidir.

Sonuç olarak, düz çözümle elde edilen özdirenç kesitlerinde gerek gürültüsüz gerekse gürültülü verilere ilişkin yapılmış olan tüm gözlemler, arazide alınan

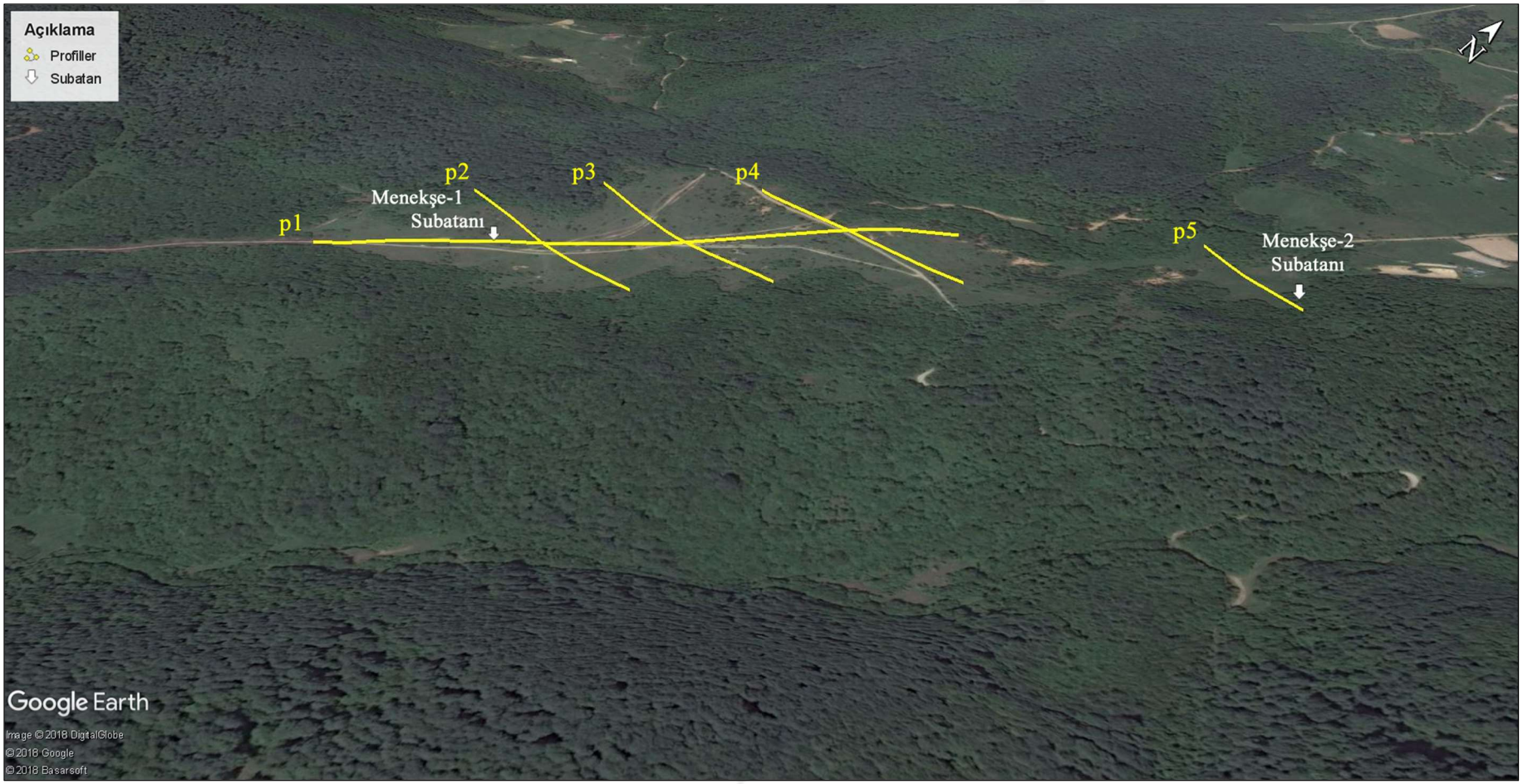
ölçümlerin yorumlanması ve şüphe duyulan anomalilerin ayırtlanması hususunda fayda sağlaması açısından önemli olmuştur.

4.2.2. Çoklu elektrot rezistivite ölçümlerinin alınması ve değerlendirilmesi

Menekşe karst platosu içerisinde bulunan gömülü karstik yapılar ve dağılımları ile toprak örtü kalınlığı ve dağılımını belirlemek amacıyla, Menekşe-1 Subatanı yakınından geçen, plato boyunca uzanan 600 m'lik bir hat ile bu hattı kesen 300 m'lik üç adet profil ve bu üç profille aynı doğrultuya sahip, Menekşe-2 Subatanı yakınından geçen bir başka profil boyunca çoklu elektrot rezistivite ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.13).

Ölçümlerde BTSK WDJD-4 marka çok fonksiyonlu doğru akım özdirenç ölçüm cihazı kullanılmıştır. 300 m'lik dört hat için birer adet, 600 m'lik hat için ise iki adet 30 elektrot girişli, maksimum elektrot aralığı 10 m olan kablo kullanılmıştır. Elektrotlar, aralarındaki mesafe 10 m olacak şekilde çakılarak ara kablolar aracılığıyla kabloların üzerinde bulunan jak girişlerine bağlanmış, daha sonra cihazın menüsü kullanılarak elektrot sayısı, elektrot aralığı, dizilim türü gibi parametreler girilerek düzenek ölçüme hazır hale getirilmiştir. Her beş profil için de Wenner-Alfa, Wenner-Beta, Wenner-Gama ve Schlumberger olmak üzere dört farklı elektrot dizilimi ile ölçümler alınmıştır.

Her bir ölçüme ilişkin, cihazın hafızasına kaydedilmiş veriler bilgisayar ortamına aktarılarak RES2DINV (Loke, 2004) yazılımında değerlendirilmiş, her bir profile ve dizilim türüne ait iki boyutlu özdirenç kesitleri elde edilmiştir. Elde edilen kesitler jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik bilgiler ışığında değerlendirilerek Menekşe Karst Platosu içerisinde gömülü karstik yapılar ile iyi gelişmiş karstik zonların bulunup bulunmadığı, olan yapıların plato içerisindeki dağılımı, plato genelinde toprak örtüsünün kalınlığı ve dağılımı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.13. Çoklu elektrot rezistivite ölçümlerinin alındığı profiller

5. BULGULAR

Menekşe Karst Platosu içerisinde gerçekleştirilen kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite uygulamaları sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek platodan karst akiferine gerçekleşen yeraltısuyu besleniminin karakteristiği yorumlanmıştır. Bu amaçla kare dizilim uygulamalarına ilişkin görünür özdirenç grafikleri aracılığıyla baskın süreksizlik zonları, çoklu elektrot rezistivite uygulamalarına ilişkin özdirenç kesitleri aracılığıyla ise karstik boşlukların, iyi gelişmiş karstik zonların dağılımı ve toprak örtüsünün kalınlığı ile dağılımı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

5.1. Kare Dizilim Uygulamalarına İlişkin Bulgular

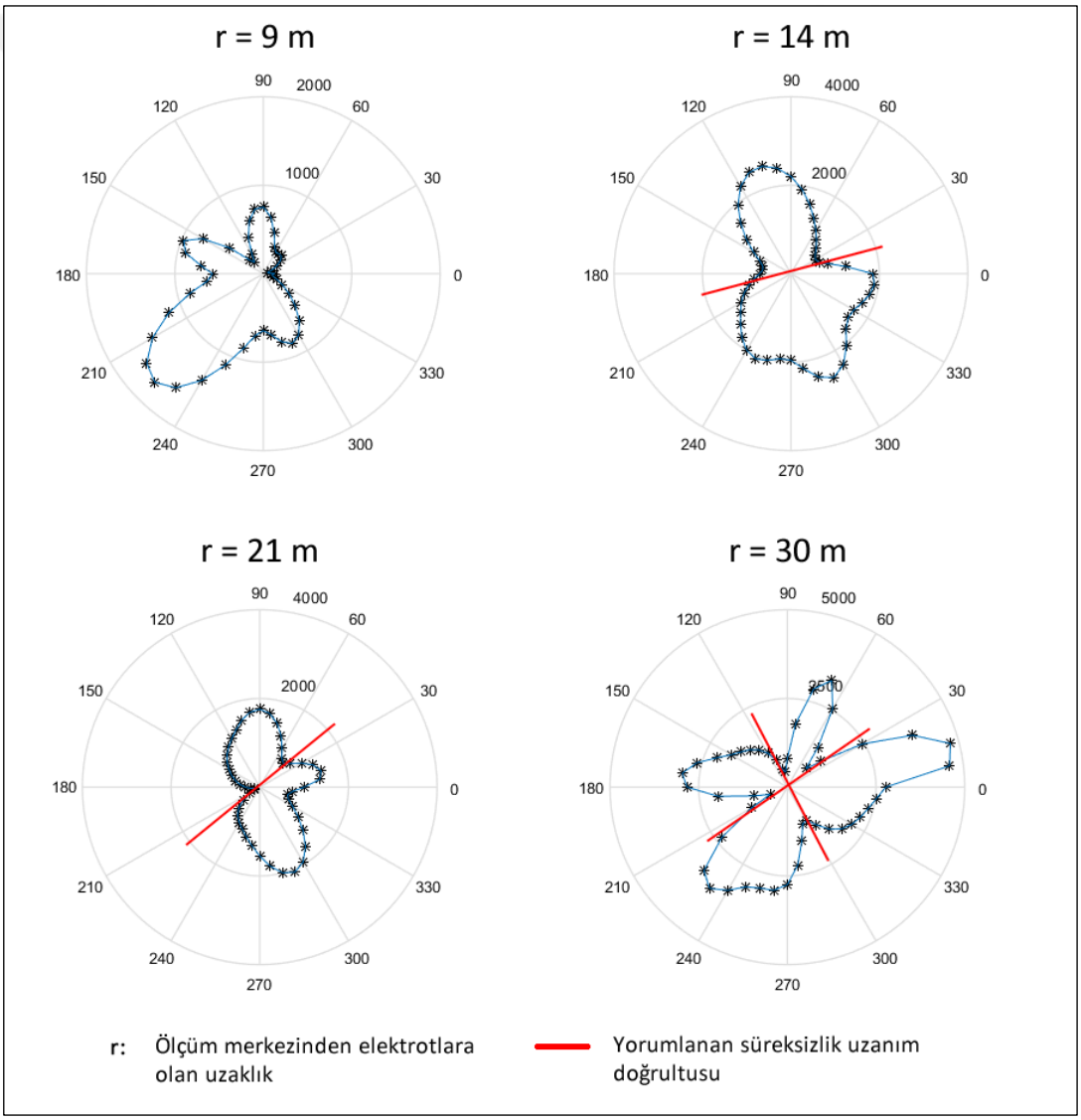
Menekşe-1 Subatanı yakınında alınan kare dizilim ölçümlerine ilişkin görünür özdirenç grafikleri (Şekil 5.1) incelendiğinde; 14 m'lik açılıma ilişkin grafikte K70˚D-G70˚B doğrultulu, 21 m'lik açılıma ilişkin grafikte ise K50˚D-G50˚B doğrultulu görünür özdirenç anomalileri gözlenmektedir. Mevcut jeolojik ve jeomorfolojik bilgiler ışığında, Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi (TRsm) içerisinde gözlenen bu anomalilerin kaynağı bahsi geçen doğrultular boyunca uzanım gösteren baskın süreksizlik zonları olarak yorumlanmıştır.

Yine Menekşe-1 Subatanı yakınında 30 m'lik açılımla alınan ölçümlere ilişkin grafikte biri K60˚D-G60˚B diğeri K30˚B-G30˚D doğrultulu, çiçek yapısı şeklinde gözlenen iki ayrı görünür özdirenç anomalisi bulunmaktadır. Aynı noktaya ait 9 m'lik açılıma ilişkin grafikte ise süreksizlik uzanımı olarak yorumlanabilecek karakterde bir anomali gözlenmemiştir.

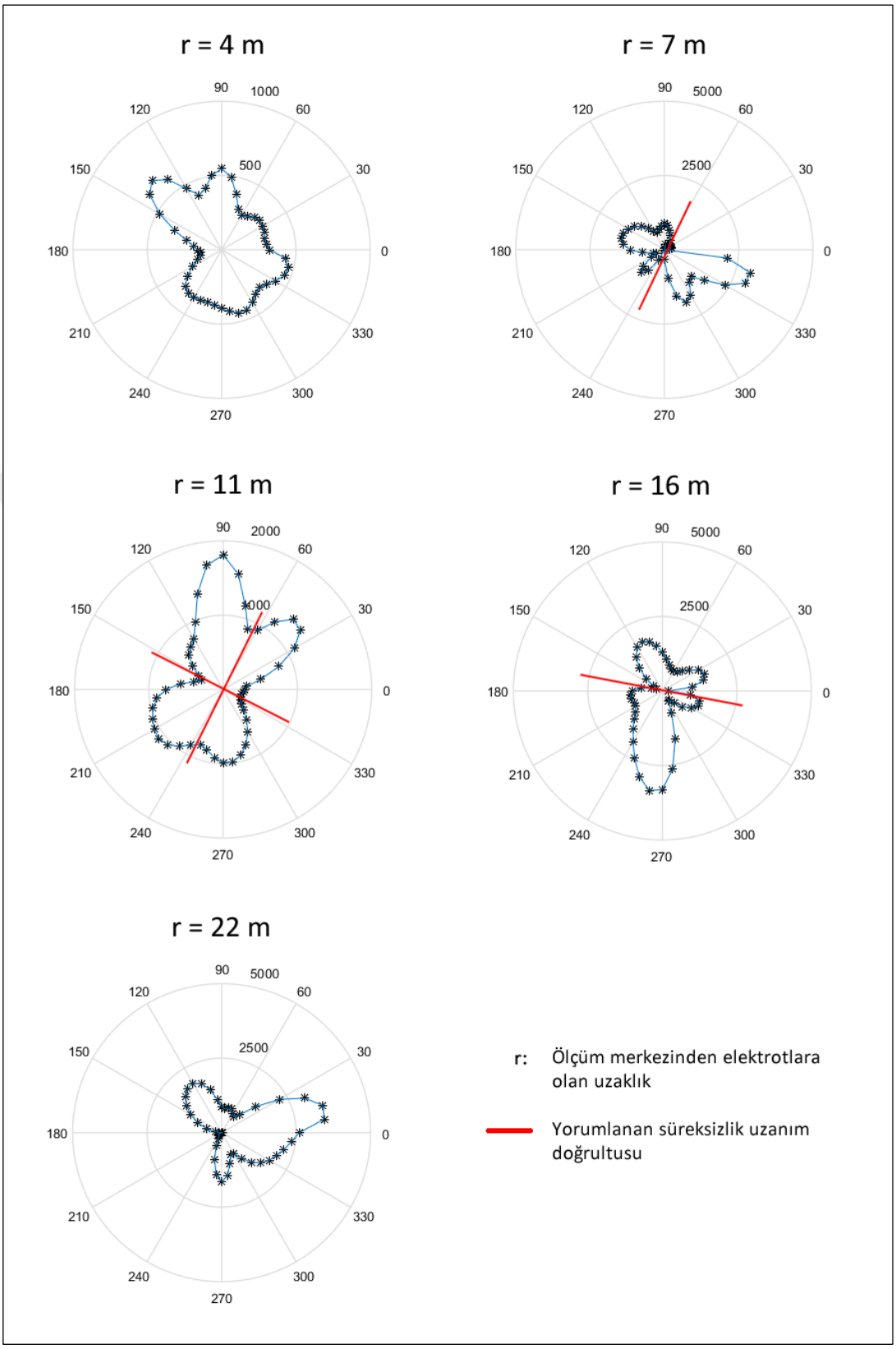
Menekşe-2 Subatanı yakınında alınmış olan kare dizilim ölçümlerine ilişkin görünür özdirenç grafikleri (Şekil 5.2) incelendiğinde; 7 m'lik açılıma ilişkin görünür özdirenç grafiğinde K30˚D-G30˚B, 11 m'lik açılıma ilişkin görünür özdirenç grafiğinde ise K30˚D-G30˚B ve K60˚B-G60˚D doğrultulu görünür özdirenç anomalileri gözlenmektedir.

Aynı noktada 16 m'lik açılımla alınan ölçümlere ilişkin grafikte K80˚B-G80˚D doğrultulu anomaliler gözlenirken 4 m ve 21 m'lik açılımlara ilişkin grafiklerde karakteristik bir anomali görülmemektedir.

Menekşe-1 ve Menekşe-2 subatanları yakınında bulunan noktalarda alınan kare dizilim ölçümlerine ilişkin görünür özdirenç grafikleri bir arada değerlendirildiğinde her iki noktada da ağırlıklı olarak kuzeydoğu-güneybatı ve güneybatı-kuzeydoğu yönelimli süreksizlik zonlarının olduğu görülmektedir. Bu süreksizlik uzanımları Menekşe Karst Platosu çevresinde ve Kirazdere Alt Havzası genelinde gözlenen ana fayların ve çizgiselliklerin yönelimleriyle uyumluluk göstermektedir.



Şekil 5.1. Meneşe-1 Subatanı yakınında alınan kare dizilim ölçümlerine ilişkin görünür özdirenç grafikleri



Şekil 5.2. Meneşe-2 Subatanı yakınında alınan kare dizilim ölçümlerine ilişkin görünür özdirenç grafikleri

5.2. Çoklu Elektrot Rezistivite Uygulamalarına İlişkin Bulgular

Menekşe Karst Platosu boyunca uzanan P1 profiline ilişkin özdirenç kesitleri incelendiğinde (Şekil 5.3), düşük özdirenç anomalisi veren bir bölge ile yüksek özdirenç anomalisi veren üç farklı bölge göze çarpmaktadır. Yüksek özdirenç anomalisi veren bölgelerden birincisi profilin Menekşe-1 Subatanı yakınından geçtiği kesimde, 120 ila 210'uncu metreleri arasında bulunmakta olup; merkezi yüzeyden yaklaşık 30 m, üst ve alt sınırları ise sırası ile yaklaşık 15 m ve 45 m derinlikte yer almaktadır. Mermer birimler içerisinde gözlenen yüksek özdirençli zonlar karstik boşluklardan kaynaklanabileceği gibi, ikincil gözenekliliğin gelişmediği, süreksizlik oranı düşük, yeraltısuyu içermeyen masif bölgelerden de kaynaklanabilmektedir. Bu bilgiler ışığında, bahsi geçen anomalinin yapısı ve konumu göz önüne alındığında, anomalinin Menekşe-1 Subatanı'nın izdüşümünde konuşlanmış olması ve özelllikle keskin geçişli ve belirgin bir geometrik yapısının bulunması, anomaliye sebep olan yapının bir karstik boşluk olduğunu işaret etmektedir.

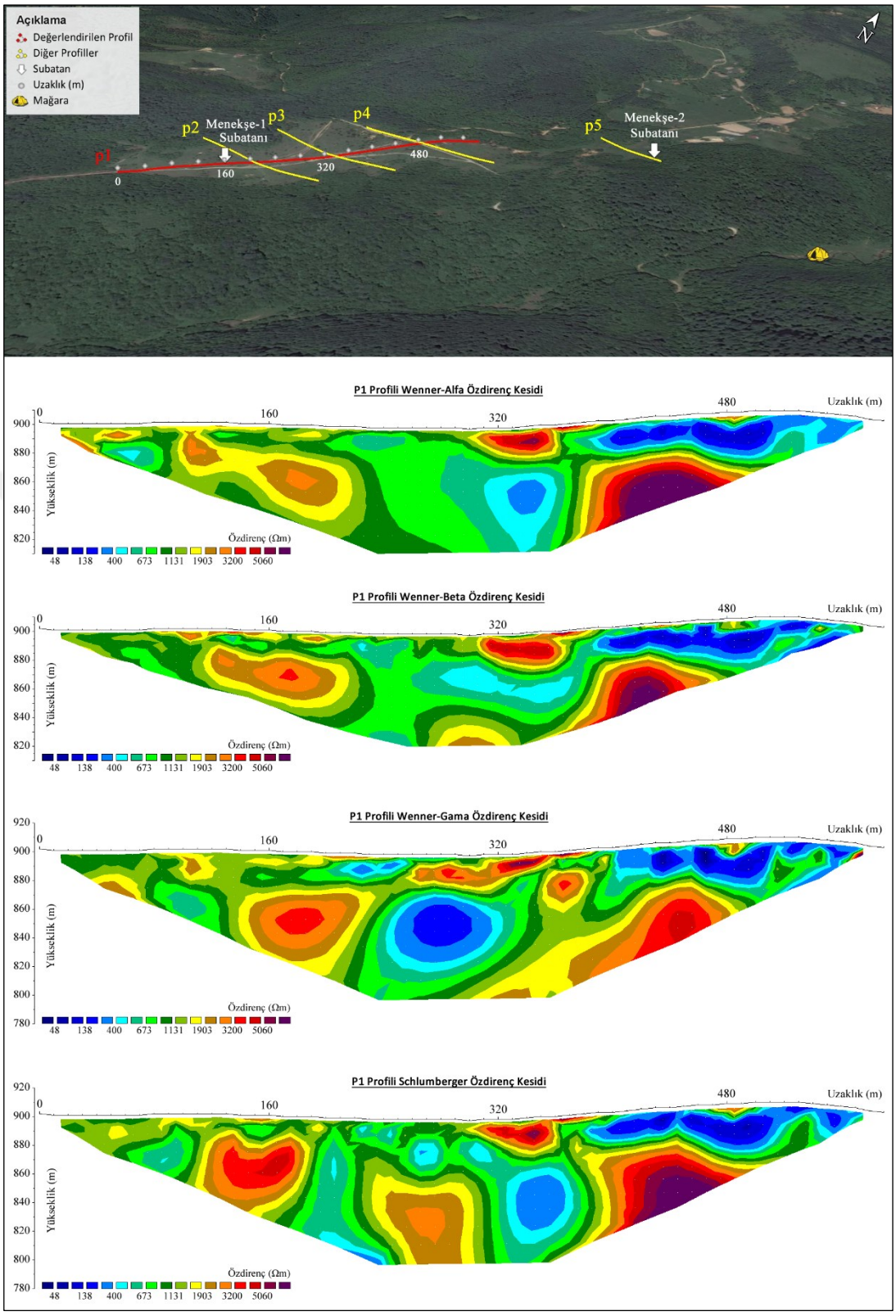
Karstik boşluk olarak yorumlanan bir diğer anomali profilin 310 ila 355'inci metreleri arasında yer alan, merkezi yüzeyden 10 m derinde bulunan, üst ve alt sınırları yaklaşık 5 m ve 20 m olan yüksek özdirençli zondur. Bu anomalinin profil doğrultusunda sonlandığı bölgenin en üst kesimine komşu olup yüzeye dek uzanan yüksek özdirençli bölge ise toprakla üzerlenmiş karstik bir depresyon olarak değerlendirilmiştir.

Yüzeye yakın konumlanmış bu karstik boşluklara ek olarak, profilin 410 ila 470'inci metreleri arasında gözlenen, alt sınırı araştırma derinliğinin altında kalmakla birlikte muhtemelen yüzeyden 90 m derinliklere kadar ulaşan, oldukça derin bir yüksek özdirençli zon bulunmaktadır. Bu zon, profilin 310 ila 355'inci metreleri arasında yer alan, yüzeye yakın konumdaki yüksek özdirençli zon ile zayıf bir bağlantı dahilinde ilişkili gibi görülmektedir.

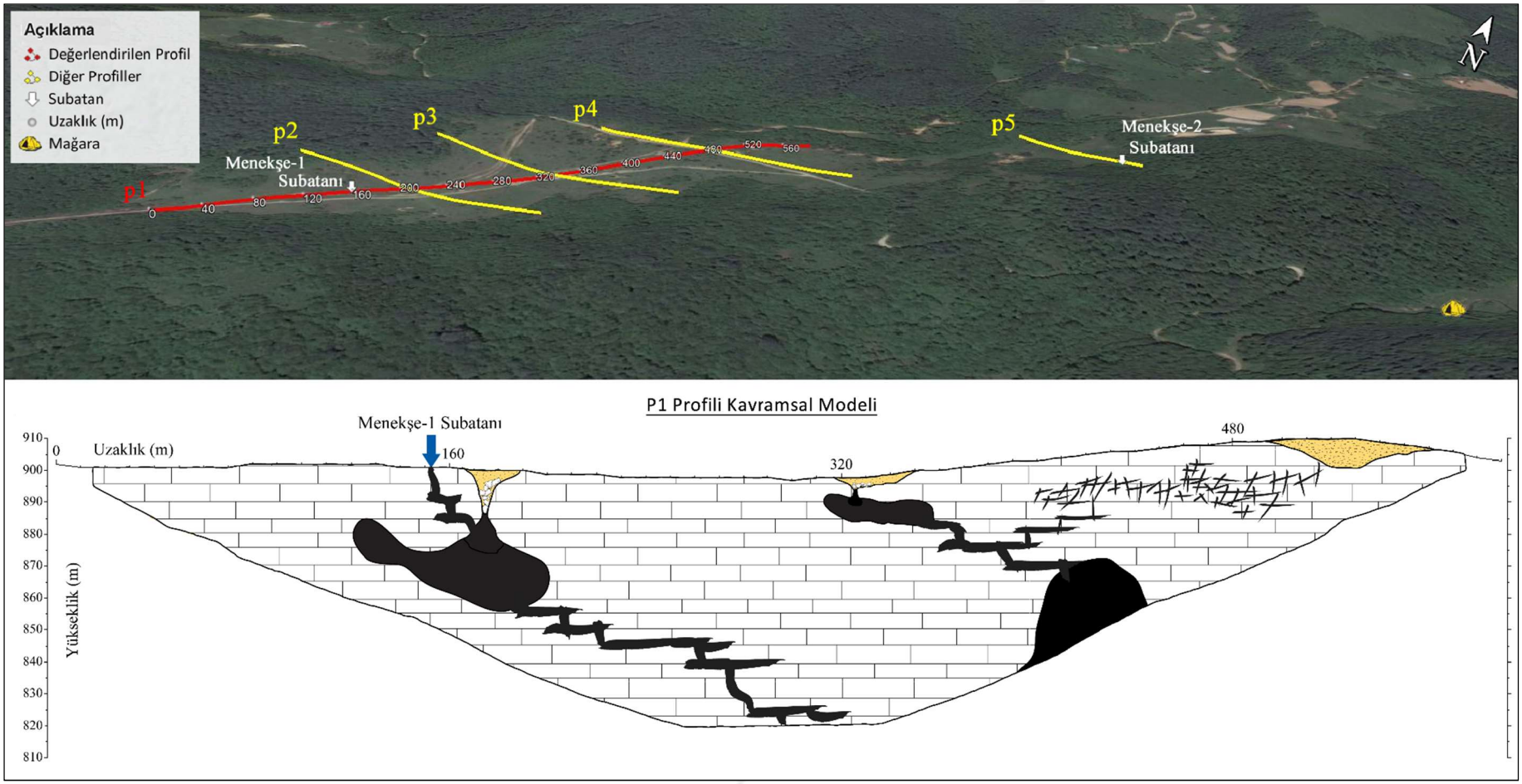
P1 profili boyunca gözlenen düşük özdirenç anomalisi biri doğrudan yüzeyden başlayan, profilin 400 ila 510'uncu metreleri arsında gözlenen; diğeri ise yüzeye yakın konumlanmış olan, profilin 500 ila 560'ıncı metreleri arsında gözlenen iki zonun birleşiminden oluşmaktadır. Bunlardan yüzeyde olan zon Menekşe-2 Subatanı'ndan drene olan suları taşıyan derenin P1 profili ile kesiştiği bölgeye denk

gelmektedir. Bahsi geçen dere inceleme alanının batısından, şistlerin yüzeylediği alanlardan gelerek, profilin düşük özdirençli anomaliye sahip ilgili bölgesinden geçmekte ve Menekşe-2 Subatanı'na ulaşmaktadır. Şistlerin ayrışması neticesinde ortaya çıkan killi malzemenin bir kısmının, ani ve şiddetli yağışların ardından gerçekleşen sellenmelerin etkisiyle profilin ilgili kesimine denk gelen alanda birikmiş olduğu arazi çalışmalarında gözlenmiştir. Dolayısıyla, mevcut jeolojik ve morfolojik bilgiler ışığında yüzeyde gözlenen anomalinin killi toprak örtüsünden kaynaklandığı düşünülmüştür. Sığ derinlikte gözlenen diğer anomaliye sebep olan yapı ise killi toprak dolgusu içeren, karstlaşmanın iyi gelişmediği, difüzif karakterli yeraltısuyu dolaşımına izin veren çatlak zonları olarak yorumlanmıştır. Rezistivite ölçümlerinin yağışlı bir dönemin ardından alınmış olması düşük özdirenç anomalisi veren bu zonlara ilişkin yorumları destekleyici niteliktedir.

P1 profili özdirenç kesitleri boyunca gözlenen anomalilerle ilişkili olarak yorumlanmış olan jeolojik yapılar şematik bir çizimde birleştirilerek, ilgili profile ilişkin kavramsal model ortaya konulmuştur (Şekil 5.4). İnceleme alanı içerisinde rezistivite ölçümlerinin gerçekleştirildiği alanda tek bir jeolojik birimin (Sultaniye Metamorfikleri Mermer Üyesi) bulunması ve sahanın gerek jeolojik gerekse jeomorfolojik özelliklerinin iyi biliniyor olması sebebiyle; bahsi geçen kavramsal modelde öngörülen jeolojik yapılar (karstik boşluklar, killi toprak örtüsü ve difüzif karakterli yeraltısuyu dolaşımına izin veren kırık-çatlak zonları) diğer tüm profilerde karşılaşılabilecek olası jeolojik yapıları temsil edici nitelikte olmuştur. P2, P3, P4 ve P5 profillerinde gözlenen özdirenç anomalileri bu olası jeolojik yapılar çerçevesinde değerlendirilmiştir.



Şekil 5.3. P1 profiline ilişkin özdirenç kesitleri



Şekil 5.4. P1 profili kavramsal modeli

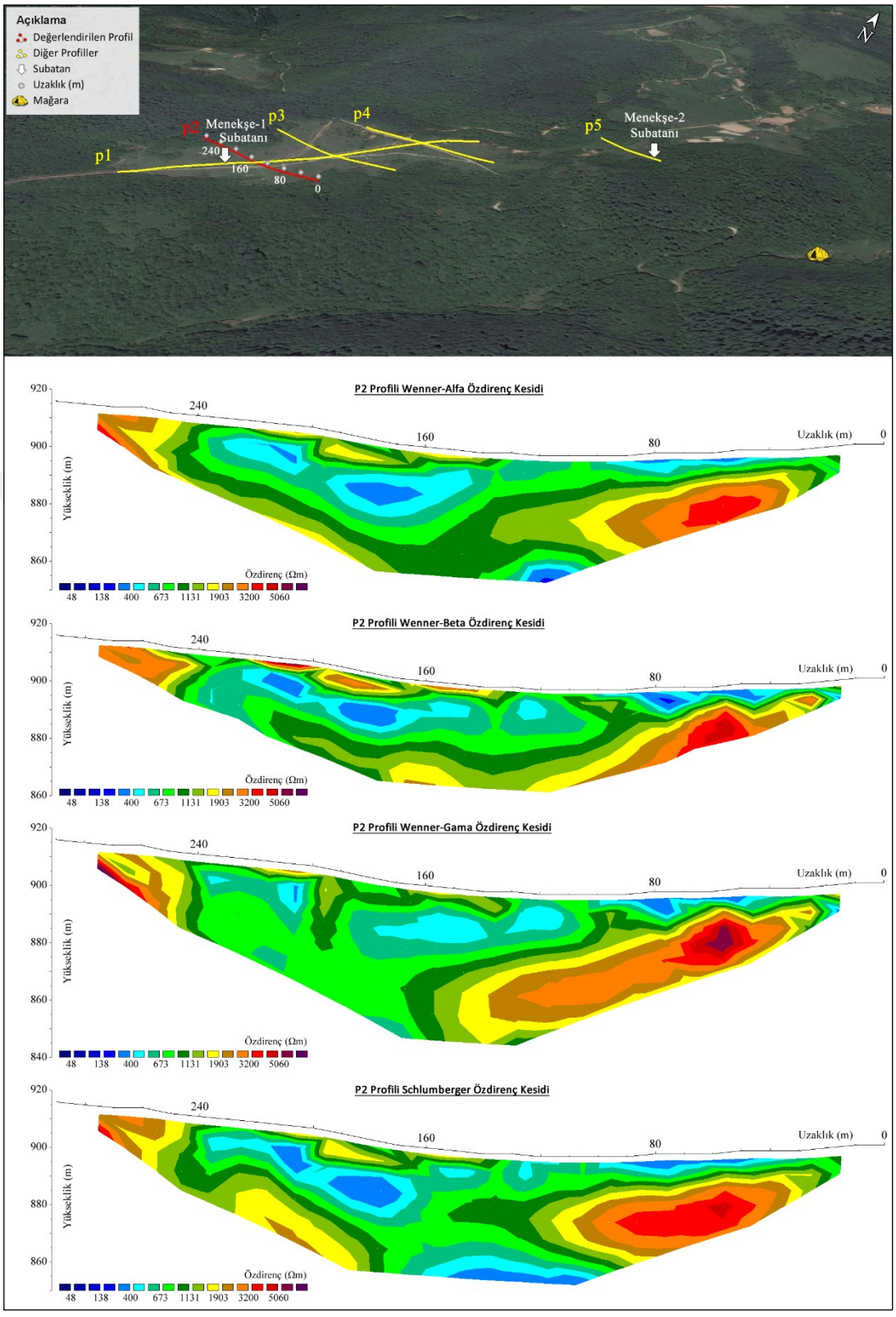
P2 profiline ilişkin özdirenç kesitlerinde (Şekil 5.5), profilin 30 ila 90'ıncı metreleri arasında gözlenen, üst sınırı yüzeyden yaklaşık 10 m, alt sınırı ise yaklaşık 35 m derinde bulunan yüksek özdirençli anomali zonu gözlenmektedir. İyi gelişmiş karstlaşmaya sahip bir zondan ya da lokal bir karstik boşluk kaynaklanan yüksek özdirençli bu anomaliye karşın, aynı profilin çeşitli kesimlerinde düşük özdirençli anomali bölgeleri de görülmektedir.

Düşük özdirençli zonlardan biri profilin 200 ila 240'ıncı metreleri arasında sığ bir derinlikte başlayıp 100 ila 170'inci metreleri arasında profilin alt sınırına kadar hemen hemen kesintisiz bir şekilde uzanmaktadır. Bu yapı difüzif karakterli yeraltısuyu dolaşımlarının hüküm sürdüğü iyi gelişmemiş kırık-çatlak zonları olarak yorumlanmıştır. Yapının ulaştığı 850-860 m kotlarının, inceleme alanının doğusunda bulunan, dönemsel su çıkışının gözlendiği mağaranın kotuyla uyumluluk göstermesi ilgili zondaki yeraltısuyu dolaşımının varlığını destekleyici niteliktedir. Dahası, bahsi geçen zonun profil boyunca olan görünür eğimi de suçıkan olarak çalışan mağaranın bulunduğu doğu yönünde olup, anomaliye sebep olan yapıya ilişkin yorumu güçlendirmektedir.

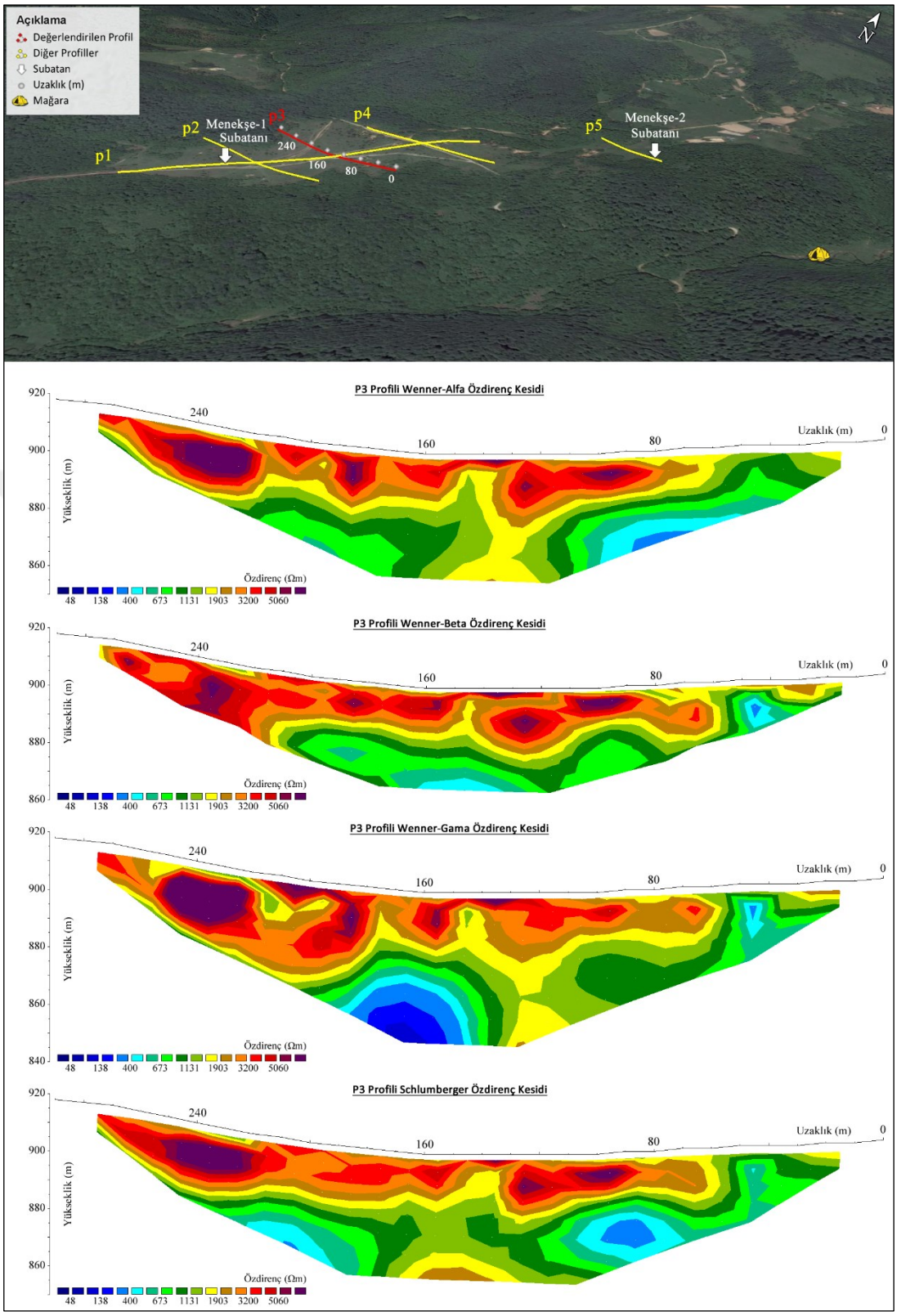
P2 profili üzerinde gözlenen bir başka düşük özdirençli bölge profilin 40 ila 90'ıncı metreleri arasında, yüzeyden itibaren görülmektedir. Bu bölge P1 profilinde yüzeyde gözlenmiş olan düşük özdirençli zona benzer şekilde, killi toprak örtüsü olarak yorumlanmıştır.

P3 profili özdirenç kesitlerinin alt bölgelerinde (Şekil 5.6) P2 profilinde gözlenen, difüzif karakterli yeraltısuyu dolaşımlarının hüküm sürdüğü iyi gelişmemiş kırık-çatlak zonları olarak yorumlanmış olan düşük özdirençli zonla aynı karakterde olan bir anomali bölgesi göze çarpmaktadır. Bu bölge de tıpkı P2 profilinde gözlenen zonda olduğu gibi 850-860 m kotlarına kadar inmekte ve inceleme alanının doğusunda bulunan, dönemsel su çıkışının gözlendiği mağaranın kotuyla uyumluluk göstermektedir.

P3 profiline ilişkin özdirenç kesitlerinde gözlenen bir diğer anomali profilin 80 ila 250'nci metreleri boyunca uzanan yüksek özdirençli zondur. Anomaliye sebep olan yapı oldukça sığ derinliklerde, yüzeyden maksimum 5-10 m kadar derinde konuşlanmış, iyi gelişmiş karstik boşluklar olarak değerlendirilmiştir.



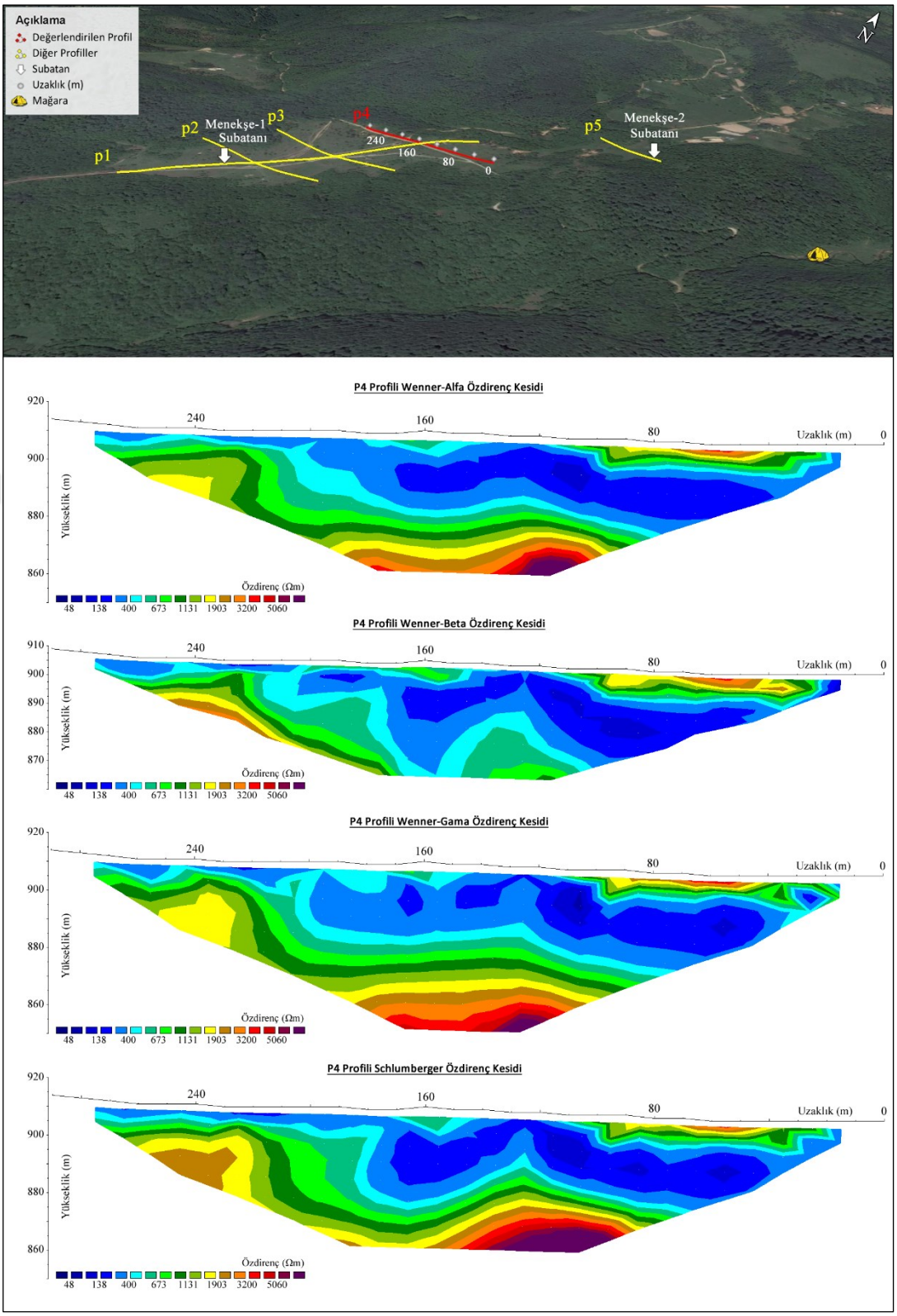
Şekil 5.5. P2 profiline ilişkin özdirenç kesitleri



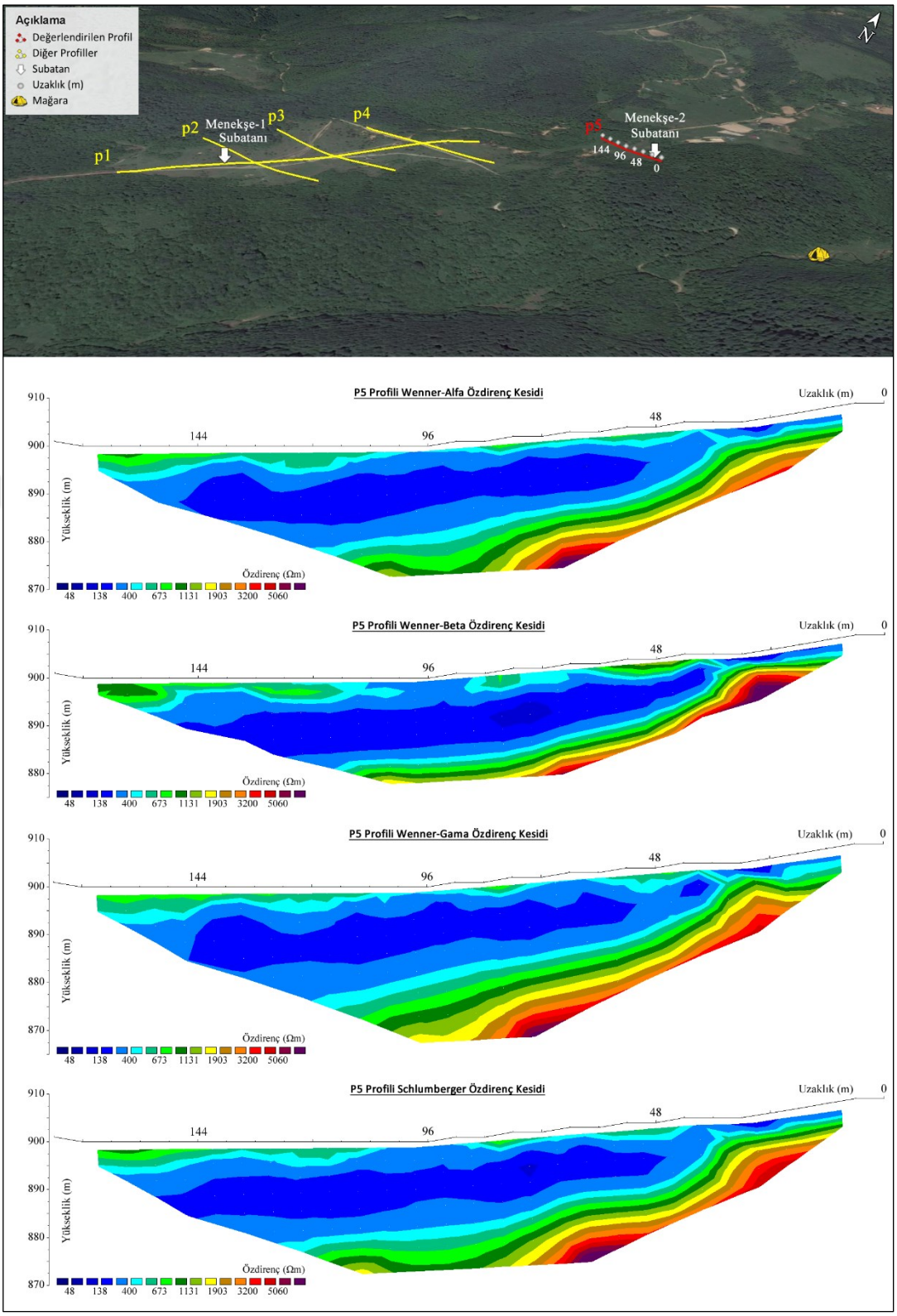
Şekil 5.6. P3 profiline ilişkin özdirenç kesitleri

P4 profiline ilişkin özdirenç kesitleri (Şekil 5.7) ile P5 profiline ilişkin özdirenç kesitleri (Şekil 5.8) incelendiğinde, ilgili kesitlerde P1, P2 ve P3 profiline ilişkin özdirenç kesitlerine nazaran daha homojen bir özdirenç dağılımının gözlendiği, lokal anomali oluşturan yapılara rastlanmadığı söylenebilir. Bununla birlikte her iki profilde de yüzeyden başlayan ve P4 profilinde 10 m, P5 profilinde ise 15 m derinliğe kadar inen düşük özdirençli bir üst katman göze çarpmaktadır. Mevcut jeolojik ve morfolojik bilgiler ışığında, arazi gözlemlerine ilişkin bilgiler de göz önünde bulundurularak bu düşük özdirençli zonlar kalın killi toprak örtüsü olarak yorumlanmıştır.

Profillerin en alt kesimlerinde yüksek özdirençli seviyeler gözlenmektedir. Bu seviyelerin karakteristikleri araştırma derinliğinin sınırında yer almaları sebebiyle anlaşılamamaktadır. Dolayısıyla yüksek özdirenç değerlerine sahip bu bölgeler hakkında doğrudan bir yorum yapmak ve bu zonları bir jeolojik yapıyla ilişkilendirmek mümkün olmamıştır. Ancak, P5 profilinin 15 ila 70'inci metreleri arasına denk gelen yüksek özdirençli bölgenin Menekşe-2 Subatanı'nın izdüşümünde, yüzeye nispeten yakın (üst sınırı 10 m kadar derinden başlayacak şekilde) bir konumda başlayıp daha derinlere, kesitin alt sınırı olan 30 m'lere uzanması düşündürücüdür. Profilin ilgili kısmı yoğun bitki örtüsünün olduğu bölgeye denk geldiği için, profil burada kesilmiş, profilin devamındaki alanlardan ve daha derinden bilgi almak mümkün olmamıştır. Bu sebeple her ne kadar mevcut bilgiler dahilinde net bir yorum yapmak mümkün olmasa da, bahsi geçen yüksek özdirençli zonun Menekşe-2 Subatanı'ndan drene olan suları taşıyan iyi karstlaşmış zonlara tekabül etmesi ve profilin devam ettirilemediği kısım içerisinde derine doğru uzanması mevcut jeolojik ve morfolojik veriler dahilinde muhtemeldir.



Şekil 5.7. P4 profiline ilişkin özdirenç kesitleri



Şekil 5.8. P5 profiline ilişkin özdirenç kesitleri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Menekşe Karst Platosu içerisinde gerçekleştirilen kare dizilim rezistivite uygulamaları, plato içerisinde kuzeydoğu-güneybatı ve kuzeybatı-güneydoğu yönelimli baskın süreksizlik zonlarının olduğunu, yeraltısuyu dolaşımını kontrol eden karstik drenaj ağlarının baskın olarak bahsi geçen doğrultular boyunca uzandığını göstermiştir. Tespit edilen süreksizlik zonları Kirazdere Alt Havzası içerisinde gözlenen ana fayların ve çizgiselliklerin uzanımları ile uyumluluk göstermektedir. Bu durum inceleme alanında bulunan fayların ve kırık-çatlak sistemlerinin, bölgedeki karstlaşmanın gelişimi üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.

Çoklu elektrot rezistivite uygulamaları sonucunda elde edilen veriler, plato içerisinde gerek yüzeye yakın (yüzeyden 10 m kadar derinde) gerekse derinde konumlanmış (yüzeyden yaklaşık 90 metrelere kadar ulaşan) çok sayıda karstik boşluk ve iyi gelişmiş karstlaşma gösteren zon olduğunu ortaya koymuştur. Bu yapılardan bazıları plato içerisindeki hızlı beslenim noktalarını temsil eden subatanlar ile çöküntü dolinlerinin izdüşümünde yer almaktadır. Bu durum platodan drene olan suların hızlı bir beslenim mekanizması dahilinde, kanal akımlarının hüküm sürdüğü zonlar içerisinde ilerlediğini işaret etmektedir.

Çoklu elektrot rezistivite uygulamaları sonucunda elde edilen verilerle yorumlanan diğer önemli yapı difüzif karakterli yeraltısuyu dolaşımlarının hakim olduğu karstlaşmamış kırık-çatlak zonlarıdır. Bu zonların dağılımı, uzandığı derinlik ve gözlendiği profillerdeki görünür eğimi inceleme alanı yakınında bulunan, dönemsel su çıkışı gözlenen mağaranın konumu ve kotu ile uyumluluk göstermektedir.

Toprak örtüsü kalınlığının plato içerisinde homojen bir dağılım göstermediği, oldukça değişken olduğu özdirenç kesitlerinde gözlenmiştir. Geçirimsiz karakterdeki kalın killi toprak örtüsünün bazı kritik alanlarda, noktasal beslenimin gözlendiği subatanların yakınında beklenenin aksine 10-15 m kalınlıklara ulaştığı görülmektedir.

Kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite yöntemlerinin bir arada uygulandığı bu çalışma neticesinde Menekşe Karst Platosu içerisinde bulunan karstik yapıların ve iyi gelişmiş karstik zonların dağılımı, derinliği; difüzif karakterli yeraltısuyu dolaşımına izin veren karstik zonların dağılımı, derinliği ve toprak örtüsünün kalınlığı ile dağılımı ortaya konulmuştur. Elde edilen veriler jeolojik ve jeomorfolojik bilgiler ışığında değerlendirilerek platodan karst akiferine gerçekleşen yeraltısuyu besleniminin karakteristiği yorumlanmıştır.

Menekşe karst platosunda yürütülen bu çalışma, kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite uygulamalarının bir arada kullanımının, karstik akiferlerde yürütülen, beslenme alanları ile akifer arasındaki ilişkinin karakterizasyonuna yönelik çalışmalar için oldukça başarılı bir yöntem teşkil ettiğini ve bu tür çalışmalarda destekleyici bir metot olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Yöntemin beslenim karakteristiğindeki lokal değişimlerin ortaya konulması konusundaki katkısı özellikle koruma alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar için önemlidir. Kirlilik hassasiyetinin bir karstik saha içerisindeki bölgesel değişiminin temel parametre olduğu bu çalışmalarda, karst hidrojeolojisine yönelik metotların yetersiz kaldığı koşullarda, kare dizilim ve çoklu elektrot rezistivite uygulamaları aracılığıyla, kirliliğe hassas bölgelerin yer içerisindeki dağılımı ve bu bölgelerin yüzey morfolojisi ile ilişkisi daha doğru bir şekilde yorumlanabilir.

KAYNAKLAR

Abu-Shariah M. I. I., Determination of Cave Geometry by Using a Geoelectrical Resistivity Inverse Model, *Engineering Geology*, 2009, **105**(3–4), 239–244.

Andrej M., Uroš S., Electrical Resistivity Imaging of Cave Divaška Jama, Slovenia, *Journal of Cave and Karst Studies*, 2012, **74**(3), 235–242.

Boadu F. K., Gyamfi J., Owusu E., Determining Subsurface Fracture Characteristics from Azimuthal Resistivity Surveys: A Case Study at Nsawam, Ghana, *Geophysics*, 2005, **70**(5), 35-42.

Bozcu M., Geyve (Adapazarı İli) Sapanca Dolayının Jeolojik ve Petrolojik İncelemesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992, 25174.

Erendil M., Göncüoğlu M. C., Tekeli O., Aksay A., Kuşçu İ., Ürgün B. M., Tunay G., Temren A., Armutlu Yarımadası'nın Jeolojisi, *MTA*, 9165, 1991.

Ernstson K., Kirsch R., Geoelectrical Methods, Editors: Kirsch R., *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology*, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, 85–117, 2009.

Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Ürgün B. M., Aksay A., Kuşçu İ., Armutlu Yarımadası'nın Doğu Kesiminin Jeolojisi, *MTA*, 7943, 1986.

Habberjam G. M., The Effects of Anisotropy on Square Array Resistivity Measurements, *Geophysical Prospecting*, 1972, **20**(2), 249–266.

Habberjam G. M., Watkins G. E., The Use of a Square Configuration in Resistivity Prospecting, *Geophysical Prospecting*, 1967, **15**, 221–235.

Lane J. W., Haeni F. P., Watson W. M., Use of a Square-Array Direct-Current Resistivity Method to Detect Fractures in Crystalline Bedrock in New Hampshire, *Groundwater*, 1995, **33**(3), 476–485.

Loke M. H., RES2DINV Rapid 2-D Resistivity and IP Inversion Using the Least Square Method, 2004, Ver. 3.50, *Geotomo Software*.

Loke M. H., RES2DMOD Rapid 2D Resistivity Forward Modelling Using the Finitedifference and Finite-Element Method, 2002, Ver. 3.01, *Geotomo Software*.

McLean J., Luke B., Electrical Resistivity Surveys of Karst Features Near Fort Stanton, Lincoln County, New Mexico, *New Mexico Geological Society Fifty-Seventh Annual Field Conference*, Socorro, USA, 21-24 Eylül 2006.

Nazik L., Poyraz M., Türkiye Karst Jeomorfolojisi Genelini Karakterize Eden Bir Bölge: Orta Anadolu Platoları Karst Kuşağı, *Türk Coğrafya Dergisi*, 2017, **68**, 43–56.

Putiška R., Nikolaj M., Dostál I., Kušnirák D., Determination of Cavities Using Electrical Resistivity Tomography, *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 2012, **42**(2), 201-211.

Rădulescu V., Rădulescu F., Diacopolos C., Popescu M., Geoelectrical Study for Delineating Underground Cavities in Karst Areas, *GeoEcoMarina*, 2007, **13**(1), 89–95.

Satitpittakul A., Vachiratienchai C., Siripunvaraporn W., Factors Influencing Cavity Detection in Karst Terrain on Two-Dimensional (2-D) Direct Current (DC) Resistivity Survey: A Case Study from the Western Part of Thailand, *Engineering Geology*, 2013, **152**(1), 162–171.

Taylor R. W., Fleming A. H., Characterizing Jointed Systems by Azimuthal Resistivity Surveys, *Ground Water*, 1988, **26**(4), 464–474.

Telford W. M., Geldart L. P., Sheriff R. E., *Applied Geophysics*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

Timur E., Aksay A., 1:100.000 Ölçekli Adapazarı G4 Paftası Jeoloji Haritası, *MTA*, 2002.

URL-1: http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari, (Ziyaret Tarihi: 4 Ekim 2017).

Whitman D., Yeboah-Forson A., Electrical Resistivity and Porosity Structure of the Upper Biscayne Aquifer in Miami-Dade County, Florida, *Journal of Hydrology*, 2015, **531**, 781–791.

Yeboah-Forson A., Whitman D., Electrical Resistivity Characterization of Anisotropy in the Biscayne Aquifer, *Groundwater*, 2014, **52**(5), 728–736.

Yiğitbaş E., Bozcu M., Aylan E., Gürer Ö. F., Yılmaz K., Armutlu Yarımadasının Yalova Batısında Kalan Kesiminin Morfotektonik-Jeolojik Niteliklerinin İncelenmesi, *TÜBİTAK*, YDABAG-101Y068, 2-22, 2006.

Yigitbaş E., Elmas A., Yilmaz Y., Pre-Cenozoic Tectono-Stratigraphic Components of the Western Pontides and Their Geological Evolution, *Geological Journal*, 1999, **34**(1–2), 55–74.

Yiğitbaş E., Yılmaz Y., Bozcu M., Yılmaz K., Morphotectonic Evolution of the Armutlu Peninsula and Surroundings - NW Anatolia- Turkey: Some Major Characteristics of Eastern Marmara Region, *2004 GSA Annual Meeting*, Denver, United States, 7-10 Kasım 2004.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Şener A., Yolcubal İ., Sanğu E., Recharge-Discharge Mechanism and Groundwater Flow Dynamics of Karst Aquifer in the Watershed of Yuvacık Dam, *International Water Association Second Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment*, Çeşme-İzmir, Türkiye, 22-24 Mart 2017.

Şener A., Pekşen E., Yolcubal İ., Karst Akiferlerinin Koruma Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Çalışmalarda Kare Dizilim ve Çoklu Elektrot Rezistivite Yöntemlerinin Kullanılması: Menekşe Karst Platosu (Yuvacık, KOCAELİ) Örneği, *71. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 23-27 Nisan 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini İstanbul'da Burak Reis İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde, Vatan Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, 2016 yılında ise yine aynı enstitüde Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Tezli Yüksek Lisans programlarına başladı. 2018 yılında her iki tezli yüksek lisans programını tamamlayarak mezun oldu. 2016 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.