Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi
Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences

Araştırma makalesi / Research article

www.dergipark.org.tr/tr/pub/ngumuh / www.dergipark.org.tr/en/pub/ngumuh

Doğru akım özdirenç yöntemiyle Sultan Sazlığında (Develi, Kayseri) olası fayların araştırılması

Investigation of possible faults in the Sultan Marshes (Develi, Kayseri) using the direct current resistivity method

Zöhre Baharlu[1,*], Mehmet Ali Kaya[2], Çağlayan Balkaya[3], Emin Uğur Ulugergerli[4]

[1,2] *Trakya Üniversitesi, Edirne Meslek Yüksekokulu, Edirne, Türkiye*
[3] *Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye*
[4] *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye*

Öz

Bu çalışmada, Sultan Sazlığı–Yay Gölü (Kayseri, Türkiye) çevresinde yer alan Develi Kapalı Havzası'nın yerelektrik yapısı ve olası yapısal süreksizlikleri, doğru akım özdirenç yöntemi kapsamında gerçekleştirilen Düşey Elektrik Sondajı (DES) verileriyle değerlendirilmiştir. 2009 yılında Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından toplanan veriler, bir boyutlu (1B) ters çözüm ve farklı parametrizasyonlara sahip iki ayrı iki boyutlu (2B) ters çözüm yaklaşımıyla yeniden analiz edilmiştir. 1B ters çözüm sonuçları, yüzeye yakın kesimlerde yaygın iletken birimlerin bulunduğunu ve özdirenç değerlerinin derine doğru genel olarak arttığını göstermektedir. Araştırma alanında gözlemlenen düşük özdirenç değerleri (1–5 Ωm), kilce zengin litolojiler ve bölgedeki tuzluluk etkisiyle ilişkilendirilmiştir. 2B ters çözüm kesitleri ise bu düşey değişimlerin ötesinde, belirli profiller boyunca tekrarlayan yanal özdirenç geçişlerini ortaya koymaktadır. Profil karşılaştırmaları, bazı süreksizliklerin farklı hatlarda benzer konumlarda izlendiğini ve MTA tarafından haritalanan diri fay uzanımlarıyla genel bir konumsal uyum sergilediğini göstermektedir. Ancak, veri kümesinin başlangıçta 1B amaçlı toplanmış olması ve 2B ters çözümün çözünürlük sınırlamaları nedeniyle, bu geçişler doğrudan fay kanıtı olarak değil, jeofizik verilerde izlenen olası yapısal süreksizlikler olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, DES verilerinin uygun ters çözüm yaklaşımlarıyla yalnızca düşey tabakalanmanın değil, yanal süreksizliklerin belirlenmesinde de etkin şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: DES, 1B ve 2B ters çözüm, Jeofizik, Özdirenç, Sultan Sazlığı

Abstract

In this study, the geoelectrical structure and possible structural discontinuities of the Develi Closed Basin, located around the Sultan Marshes–Yay Lake (Kayseri, Türkiye), were investigated using Vertical Electrical Sounding (VES) data acquired as part of the direct current resistivity method. The dataset, collected by the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ) in 2009, was reanalyzed using one-dimensional (1D) inversion and two different two-dimensional (2D) inversion approaches with distinct parameterizations. The 1D inversion results indicate widespread conductive units near the surface, with resistivity values generally increasing with depth. Very low resistivity values (1–5 Ωm) are associated with clay-rich lithologies and salinity effects observed in the study area. The 2D inversion sections further reveal recurring lateral resistivity transitions along specific profiles, beyond the observed vertical resistivity variations. Comparative evaluation of the profiles shows that some of these discontinuities occur at similar locations on different survey lines and display a general spatial correlation with active fault trends mapped by the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA). However, considering that the dataset was originally acquired for 1D purposes and the resolution limitations of 2D inversion, these features were interpreted not as direct evidence of faulting but as possible structural discontinuities observed in the geophysical data. The results demonstrate that VES data, when combined with appropriate inversion approaches, can be used effectively not only for vertical stratigraphic characterization but also for identifying lateral discontinuities.

Keywords: VES, 1D and 2D inversion, Geophysics, Resistivity, Sultan Marshes

1 Giriş

Sultan Sazlığı, ekosistem özellikleri ve günümüzde de devam eden tektonik süreçlerin etkisiyle şekillenen önemli bir doğal oluşumdur. Develi Kapalı Havzası'nda yer alan bu bölge, farklı litolojik birimler ve yüzey koşullarının bir arada bulunduğu karmaşık bir jeolojik ortam sunmaktadır. Ayrıca, Avrupa–Afrika kuş göç yolları üzerinde bulunması nedeniyle uluslararası önemi olan sulak alanlardan biri olarak milli park statüsünde koruma altındadır [1]. Bu özellikler, bölgenin yalnızca ekolojik açıdan değil, aynı zamanda jeolojik ve jeofizik araştırmalar açısından da disiplinler arası bir çalışma alanı olmasını sağlamaktadır.

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: zohrebaharlu86@gmail.com (Z. Baharlu)
Geliş / Received: 31.01.2026 Kabul / Accepted: 18.08.2026 Yayımlanma / Published: 02.09.2026
doi: 10.28948/ngumuh.1878172

Bölgede 1970'li yıllardan itibaren başta Devlet Su İşleri (DSİ) olmak üzere çeşitli kamu kurumları tarafından hidrojeolojik ve jeofizik temelli araştırmalar yürütülmüştür. Uydu görüntüleriyle su yüzey değişimlerinin izlenmesi [2, 3] ve akifer sistemlerinin modellenmesine yönelik çalışmalar [4], bölgenin hidrojeolojik ve çevresel dinamiklerinin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamıştır. Ancak, son yıllarda iklim değişikliği, artan su kullanımı ve havzalar arası su transferleri gibi etkenler, bölgenin doğal dengesini etkileyerek yüzey ve yeraltı sistemleri arasındaki ilişkilerin daha karmaşık hale gelmesine yol açmıştır [5]. Bu durum, özellikle yüzey gözlemleriyle doğrudan izlenemeyen yeraltı yapıları ve olası yapısal kontrol mekanizmalarının daha ayrıntılı incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Bölgenin karmaşık jeolojik yapısı ve yüzey gözlemleriyle doğrudan izlenemeyen yeraltı özellikleri nedeniyle yapısal süreksizliklerin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Bu tür ortamlarda, yeraltı birimlerinin geometrisi ve yanal değişimlerinin belirlenebilmesi için özgün ölçüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Jeofizik yöntemler, geniş alanlarda sürekli veri sağlayabilmeleri ve yeraltı fiziksel özelliklerini temsil edebilmeleri nedeniyle bu tür problemlerin çözümünde etkin araçlar sunmaktadır. Bu bağlamda Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemi, yeraltındaki özdirenç farklarına duyarlı olması sayesinde litolojik sınırlar ve yapısal süreksizliklerin belirlenmesinde önemli üstünlükler sağlamaktadır. Yöntemin temelinde, yer içine verilen doğru akım ile oluşturulan potansiyel farklarının ölçülmesi ve bu verilere dayanarak yeraltı özdirenç dağılımının modellenmesi yer almaktadır. Ekonomik oluşu, sahada kolay uygulanabilirliği ve farklı mühendislik problemlerine uyarlanabilirliği sayesinde DAÖ yöntemi, yeraltısuyu araştırmaları, akifer haritalamaları, gömülü yapıların ve fay zonlarının belirlenmesi, jeotermal kaynak ve heyelan araştırmaları ile çevresel uygulamalar gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

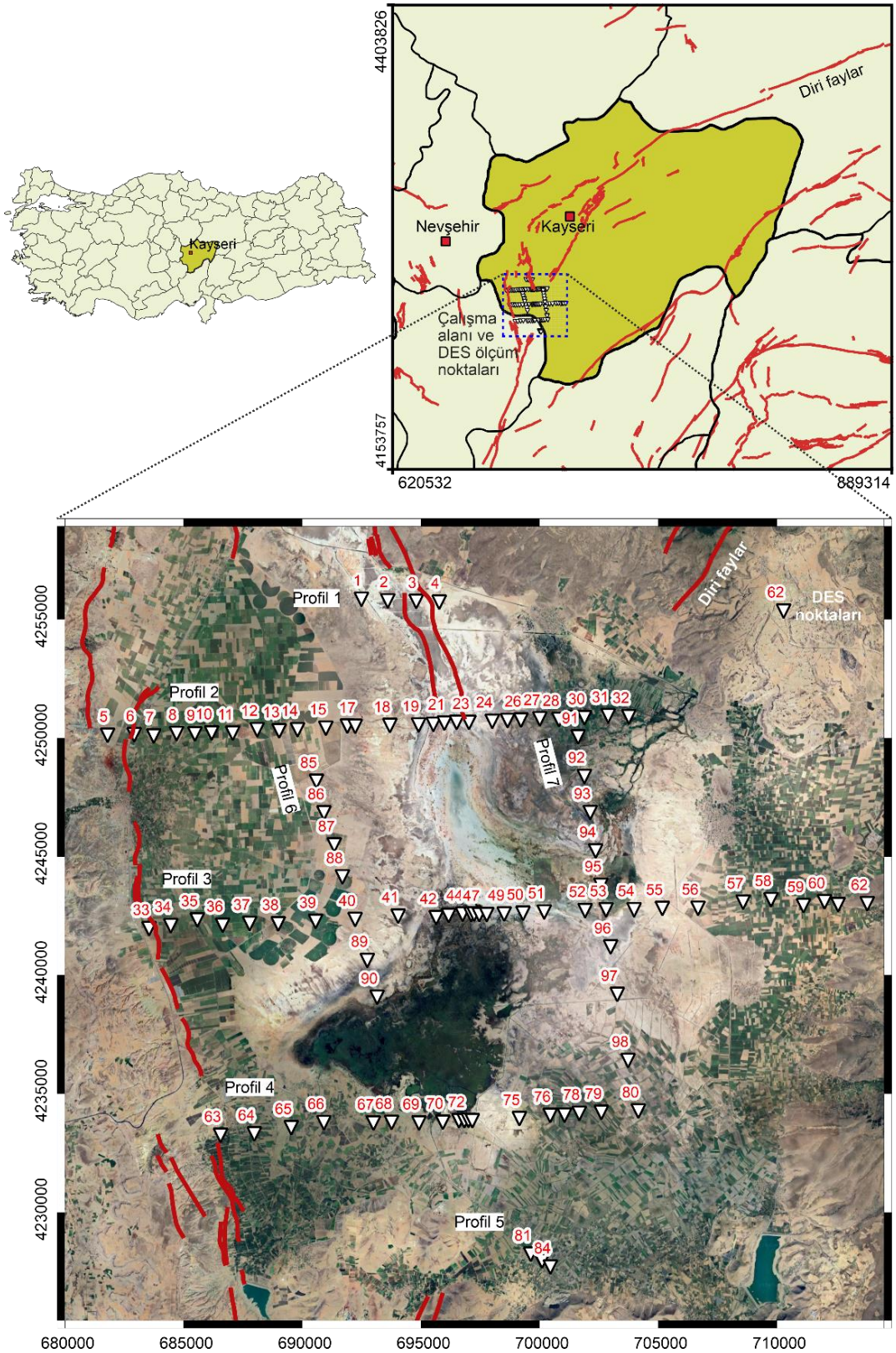
DAÖ yönteminin sahadaki uygulamalarında kullanılan en yaygın ölçüm biçimi ise Düşey Elektrik Sondajı (DES) olarak adlandırılan ölçüm tekniğidir. Schlumberger elektrot dizilimi ile gerçekleştirilen bu teknik, özellikle düşey doğrultudaki özdirenç değişimlerinin belirlenmesinde uzun yıllardır etkin bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır. DES uygulamasıyla elde edilen veriler; tuzlu su girişimi, yeraltısuyu araştırmaları, jeoteknik problemler, yeraltı özdirenç yapısı, akifer araştırmaları, heyelan alanlarının araştırılması, jeotermal ve maden kaynaklarının araştırılması ile çevresel ve hidrojeolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmıştır [6-16].

DES verileri, geleneksel olarak bir boyutlu (1B) ters çözüm yaklaşımları ile değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, yeraltı ortamının yatayda tekdüze katmanlardan oluştuğu varsayımına dayanmaktadır. Ancak bu varsayım, özellikle karmaşık jeolojik ortamlarda yaygın olarak gözlenen yanal süreksizliklerin temsil edilmesinde önemli sınırlamalar oluşturmaktadır. Bu nedenle, bir hat boyunca elde edilen DES verilerinin birlikte değerlendirilmesi ve iki boyutlu (2B) ters çözüm yaklaşımlarının kullanılması, yeraltı yapısının daha gerçekçi biçimde modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, DES verisinin ölçüm geometrisi ve veri dağılımı göz önüne alındığında, 2B ters çözüm uygulamalarının çözünürlük ve güvenilirlik açısından dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatürde hem geleneksel düşük çözünürlüklü yaklaşımlar hem de gelişmiş iki ve üç boyutlu ters çözüm algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar yöntemin farklı jeolojik ortamlardaki etkinliğini ortaya koymaktadır [17-21].

DAÖ yöntemi, yeraltı elektriksel özelliklerindeki değişimlere duyarlı olması nedeniyle fay içeren kesimlerin ve yapısal süreksizliklerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fay zonları, genellikle kırıklı ve çatlaklı yapılarıyla ilişkili olarak çevre kayaçlara göre farklı elektriksel özellikler sergilemekte ve bu durum özdirenç dağılımında yanal değişimler şeklinde gözlenebilmektedir. Son yıllarda geliştirilen çok elektrotlu ölçüm sistemleri ve iki ile üç boyutlu ters çözüm teknikleri sayesinde, DAÖ yöntemi karmaşık jeolojik ortamlarda yeraltı yapılarının daha ayrıntılı görüntülenmesine olanak sağlamaktadır [22–24].

Çalışma alanı, Kayseri ili sınırları içinde yer alan Sultan Sazlığı ve çevresini kapsamaktadır. Bu alana ait konum, veri dağılımı ve bölgesel yapısal çerçeve Şekil 1'de sunulmaktadır. Şeklin üst kısmında çalışma alanının bölgesel konumu ve bölgedeki diri fayların dağılımı, alt kısmında ise DES ölçüm noktalarının uydu görüntüsü üzerindeki dağılımı ve profil doğrultuları gösterilmektedir. DES noktalarının belirli hatlar boyunca konumlandırıldığı ve özellikle Yay Gölü çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca bazı ölçüm hatlarının, MTA tarafından haritalanmış diri fay uzanımlarıyla kısmen çakıştığı veya bu yapılarla paralellik gösterdiği dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, bazı bölgelerde yüzeyde sürekliliği açıkça izlenemeyen faylara karşılık, DES veri dağılımının bu alanları kapsadığı görülmektedir. Bu durum, özdirenç verilerinden elde edilen yanal süreksizliklerin, bilinen fayların devamlılığı ya da yüzeyde izlenemeyen yapısal unsurların belirlenmesinde kullanılabilirliğini sorgulayan bir araştırma konusuna işaret etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, 2009 yılında DSİ tarafından Sultan Sazlığı bölgesinde toplanan 98 adet DES verisi hem 1B hem de 2B ters çözüm teknikleriyle yeniden değerlendirilmiştir. Daha önce yalnızca 1B modelleme ile yorumlanan bu veriler bu çalışmada farklı ters çözüm yaklaşımlarıyla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, DES verilerinden elde edilen yanal özdirenç süreksizliklerinin bilinen fay uzanımlarıyla ilişkisini incelemek ve yüzeyde sürekliliği açıkça izlenemeyen yapısal unsurların belirlenmesinde bu verilerin kullanılabilirliğini değerlendirmektir. Bu kapsamda, farklı ters çözüm yaklaşımlarının model çıktıları üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve elde edilen yerelektrik modellerden türetilen süreksizliklerin yapısal açıdan yorumlanabilirliği tartışılmıştır. Bu yönüyle çalışma, DES verilerinin 2B ters çözüm ile kullanımına ilişkin metodolojik bir değerlendirme sunmakta ve yerelektrik modellerin yapısal yorumlara nasıl yansıtılması gerektiğine dair bir yaklaşım ortaya koymayı amaçlamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve DES veri dağılımı. Üst solda Türkiye içerisindeki konum, üst sağda çalışma alanının bölgesel çerçevede konumu ve diri fayların dağılımı, altta ise Sultan Sazlığı ve çevresine ait uydu görüntüsü üzerinde DES ölçüm noktalarının dağılımı ve profil doğrultuları gösterilmektedir. Kırmızı çizgiler MTA tarafından haritalanmış diri fay uzanımlarını temsil etmektedir. Haritalar QGIS ortamında hazırlanmış, taban görüntüsü olarak Google Satellite katmanı kullanılmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Bölgenin jeolojik ve tektonik yapısı

Sultan Sazlığı ve çevresi, İç Anadolu'nun aktif tektonik rejimi altında gelişmiş, farklı yaş ve kökenden gelen litolojik birimlerin bir arada bulunduğu karmaşık bir jeolojik yapı sunmaktadır. Bölge, Türkiye'nin temel tektonik birliklerinden Anatolidler ile Toridlerin birleşim zonu üzerinde yer almaktadır. Çalışma alanında Paleozoyik yaşlı metamorfik temel birimlerden Kuvaterner yaşlı alüvyonlara kadar uzanan geniş bir stratigrafik istif gözlenmektedir. Bölgenin temelini Paleozoyik–Mezozoyik yaşlı Kırşehir Masifi metamorfikleri, Silüriyen–Geç Kretase yaşlı Yahyalı İstifi ve Geç Kretase yaşlı ofiyolitik birimler oluştururken, bu temel üzerine Maestrihtiyen–Eosen yaşlı denizel birimler ile Miyosen–Kuvaterner yaşlı volkano-sedimanter örtü birimleri uyumsuzlukla gelmektedir [25, 26].

Sultan Sazlığı, Ecemiş Fay Zonu (Orta Anadolu Fay Zonu) üzerinde gelişmiş sol yönlü doğrultu atımlı bir çek-ayır (pull-apart) havza niteliğindedir [26]. Bölgedeki volkanik birimlerin stratigrafik ilişkilerine dayanan çalışmalar, havzanın Neojen dönemde gelişmeye başladığını ve zaman içinde tektonik süreçte değişiklikler yaşadığını göstermektedir [26, 27]. Güncel tektonik yorumlar, başlangıçta doğrultu atımın baskın olduğu havzanın günümüzde daha çok gerilme (extensional) süreci altında evrimini sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. Bu durum, havza dolgusunun asimetrik yapısıyla da desteklenmektedir [26].

Çalışma alanına ait jeolojik dağılım ve veri konumları Şekil 2'de sunulmaktadır. Bu harita, [26] tarafından derlenen veriler esas alınarak, MTA jeoloji haritaları ve [28] çalışmaları kullanılarak yeniden düzenlenmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, havzanın merkezinde Kuvaterner yaşlı alüvyonların geniş alan kapladığı, bu birimlerin çevresinde ise daha yaşlı volkanik ve sedimanter birimlerin yer aldığı görülmektedir. Bu litolojik birimler arasındaki sınırlar çoğunlukla tektonik kontrol altında gelişmiştir. Özellikle Erciyes volkanizmasına ait birimler ile alüvyonal çökeller arasındaki geçişler karmaşık bir yapısal geometri sunmaktadır [29].

Bölge, Türkiye'nin önemli aktif fay sistemlerinden biri olan Ecemiş Fay Zonu'nun etkisi altındadır [30]. Bu fay zonu, doğrultu atımlı karakteri ve çok segmentli yapısıyla bölgedeki morfoloji ve sedimantasyon üzerinde belirleyici rol oynamaktadır [30, 31]. Çalışma alanı içinde bu ana fay sistemine bağlı çok sayıda ikincil kırık ve süreksizlik gelişmiştir. Bu yapılar çoğu zaman yüzeyde sürekliliği net olarak izlenemeyen segmentler halinde bulunmaktadır.

Şekil 2'de gösterilen diri fay uzanımları ile DES ölçüm noktalarının dağılımı birlikte değerlendirildiğinde, bazı ölçüm hatlarının bilinen faylar ile çakıştığı veya bu yapılara paralel uzandığı, bazı bölgelerde ise yüzeyde açıkça izlenemeyen olası yapısal süreksizliklerin veri dağılımı ile örtüştüğü görülmektedir. Bu durum, çalışma alanındaki jeolojik yapının yalnızca yüzey verileriyle değil, yeraltı jeofizik verileriyle birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, bölgenin karmaşık litolojik yapısı ve aktif tektonik karakteri, yeraltı süreksizliklerinin belirlenmesi açısından uygun bir test ortamı sunmakta; özellikle yüzeyde haritalanamayan fayların sürekliliğinin araştırılması için jeofizik yöntemlerin kullanımını gerekli kılmaktadır [32].

2.2 DAÖ yöntemi

DAÖ yöntemi, yeraltı ortamının elektriksel özelliklerini belirlemek ve farklı jeolojik birimlerin sınırlarını ortaya koymak amacıyla yaygın olarak kullanılan klasik jeofizik yöntemlerden biridir. Yöntemin temel prensibi, yer içerisine verilen elektrik akımına karşılık oluşan potansiyel farklarının ölçülmesine dayanmaktadır. Bu ölçümler yardımıyla yeraltının özdirenç dağılımı dolaylı olarak belirlenmektedir [33]. Arazi uygulamalarında dört elektrotlu ölçüm düzeni kullanılmaktadır. Bu düzende, iki akım elektrodu (A ve B) aracılığıyla yere doğru akım (I) verilirken, iki potansiyel elektrodu (M ve N) arasında oluşan potansiyel farkı (ΔV) ölçülmektedir. Elde edilen ölçümlerden görünür özdirenç (ρ_a) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\rho_a = K \cdot (\Delta V / I) \tag{1}$$

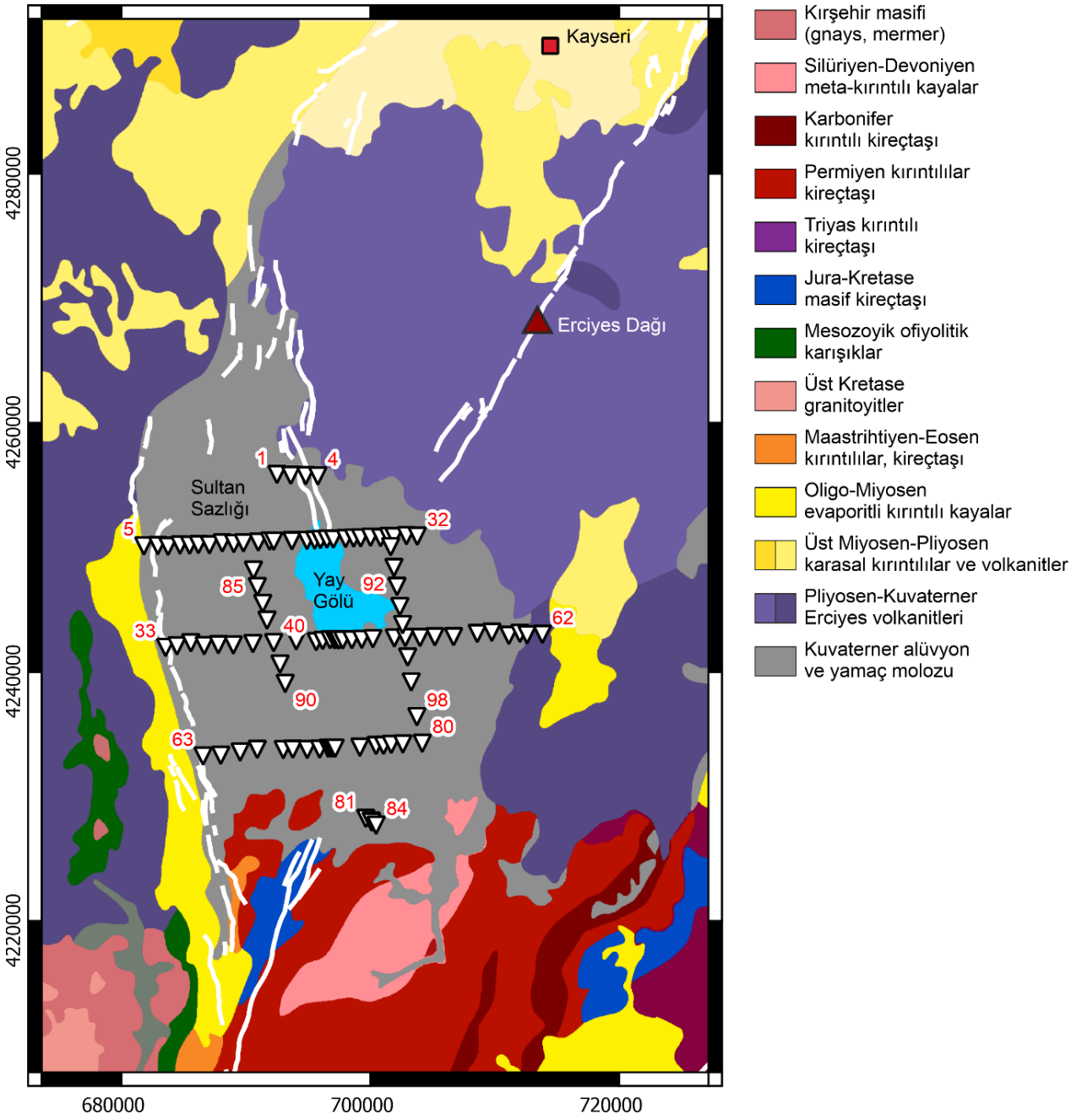
Burada K geometrik faktördür. Görünür özdirenç değeri, yeraltı ortamının gerçek özdirenç dağılımının ölçüm geometrisine bağlı ortalama bir temsilidir ve doğrudan jeolojik yorum için yeterli değildir. Bu çalışmada kullanılan ölçüm tekniği, Schlumberger elektrot dizilimine dayalı DES tekniğidir. Bu dizilim, özellikle derinlik boyunca özdirenç değişimlerinin belirlenmesinde etkindir ve litolojik sınırlar ile yapısal süreksizliklerin dolaylı olarak ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır [34-37].

DES ölçümlerinde veri geometrisi, elde edilecek modelin çözünürlüğü üzerinde doğrudan etkilidir. Profil boyunca gerçekleştirilen ölçümlerde, yanal çözünürlüğün artırılması ve ölçümlerin karşılıklı ilişkilendirilebilirliğinin sağlanması amacıyla, ardışık ölçüm noktaları arasındaki mesafe (ΔL) genellikle en büyük akım elektrot yarı açıklığından küçük olacak şekilde seçilmektedir ($\Delta L \leq AB/2$). Bu koşulun sağlanamadığı durumlarda, ölçümler arasındaki ilişki zayıflamakta ve yanal sürekliliğin yorumlanması sınırlanmaktadır.

DAÖ yöntemi ile elde edilen arazi verileri, yeraltı özdirenç dağılımına ilişkin önemli bilgiler sunmakla birlikte, bu verilerin doğrudan yorumlanması çoğu zaman yanıltıcı olabilmektedir. Bu nedenle, verilerin yeraltı yapısını temsil eden fiziksel modellere dönüştürülebilmesi için ters çözüm işlemlerinin uygulanması gerekmektedir.

2.3 DES verisi ve ölçüm geometrisi

Bu çalışmada kullanılan veri kümesi, DSİ 12. Bölge Müdürlüğü tarafından 2009 yılında Kayseri–Develi–Yeşilhisar Ovası'nda yürütülen hidrojeolojik etütler kapsamında toplanan DES verilerinden oluşmaktadır.



Şekil 2. Sultan Sazlığı ve çevresine ait jeoloji haritası ve veri dağılımı [25, 27 ve MTA jeoloji haritaları kullanılarak yeniden düzenlenmiştir]. Farklı renkler litolojik birimleri, beyaz çizgiler MTA tarafından haritalanmış diri fayları, üçgen semboller ise bu çalışma kapsamında kullanılan DES ölçüm noktalarını göstermektedir. Haritalar QGIS ortamında hazırlanmış, taban görüntüsü olarak Google Satellite katmanı kullanılmıştır.

Önceki çalışmalarda bu veri kümesi yalnızca 1B ters çözüm yaklaşımlarıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışmada aynı veriler hem 1B hem de 2B ters çözüm teknikleriyle yeniden değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çalışma alanında gerçekleştirilen jeofizik ve hidrojeolojik araştırmaların geçmişi 1960'lı yıllara kadar uzanmaktadır. DSİ tarafından 1966 yılında yapılan ilk kapsamlı özdirenç çalışmalarında, havza genelinde çok sayıda hat boyunca ölçümler alınmış ve yeraltı yapısını temsil eden kesitler elde edilmiştir. Bu çalışmalarda kil seviyelerinin düşük özdirenç değerleri (yaklaşık 5–15 ohm-m), iri taneli birimlerin ise daha yüksek özdirenç değerleri (40–300 ohm-m) ile karakterize olduğu belirlenmiş; havzanın merkezine doğru gidildikçe ince taneli ve düşük geçirgenlikli birimlerin baskın hale geldiği ortaya konulmuştur. Daha sonraki hidrojeolojik etütlerde (1970 ve 1995), havzanın çek-ayır karakterli bir yapı olduğu

doğrulanmış ve formasyonların dağılımı ile yeraltı suyu potansiyeli ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. 2003 yılında yapılan jeofizik ölçümler ise önceki verilerle karşılaştırıldığında havzadaki tuzluluk oranında belirgin bir artış olduğunu göstermiş, birçok ölçüm noktasında özdirenç değerlerinin 1–5 ohm-m seviyelerine kadar düştüğü belirlenmiştir. Bu çalışmaların bütüncül değerlendirilmesi, Sultan Sazlığı altında kalın, düşük özdirençli ve geçirimsiz bir kil biriminin bulunduğunu ve bu birimin havza hidrojeolojisi üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir [38].

Bu çalışmada değerlendirilen 2009 yılına ait DES verileri, ilgili jeofizik araştırma geleneğinin devamı niteliğinde olup, havzanın mevcut jeofizik ve hidrojeolojik durumunu daha ayrıntılı incelemek için önemli bir veri kaynağı sunmaktadır. Bu kapsamda toplam 98 DES ölçümü, belirli yönelimler sunan yedi profil boyunca düzenlenmiştir. Ölçüm hatlarının çoğu B-D doğrultusunda uzanırken, az sayıda hat KD-GB yönelimindedir. Ölçüm hatlarının yönelimleri ve her bir hatta yer alan DES noktası sayıları Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu noktaların dağılımı özellikle Sultan Sazlığı ve Yay Gölü çevresinde yoğunlaşmakta ve bu alan havzanın hidrojeolojik ve yapısal açıdan en kritik kesimini temsil etmektedir.

Arazi ölçümlerinde maksimum akım elektrot yarı açıklığı (AB/2) 800 m'ye kadar çıkarılmıştır. Bu değer, ölçümlerin araştırma derinliğini belirleyen temel parametrelerden biridir ve çalışma alanındaki derin jeolojik yapıların incelenmesine olanak tanımaktadır. Ölçümlerde kullanılan özdirenç cihazı, verici ve alıcı olmak üzere iki üniteden oluşmaktadır. Verici ünitede gerekli enerji, aküden sağlanan 12 V doğru gerilimin yükseltici bir sistemle yaklaşık 500 V alternatif gerilime dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Çıkış sinyalinin frekansı 0.3125 Hz olup, alıcı üniteye iletilen potansiyel fark çelik elektrotlar aracılığıyla ölçülerek sayısal olarak kaydedilmektedir. Alıcı ünitenin beslemesi 9 V'luk pillerle sağlanmakta, ölçümler köprü tipi devreler kullanılarak gerçekleştirilmektedir [39].

Tablo 1. DES profil hatlarının yönelimleri ve ölçüm noktası sayıları

Profil No	DES sayısı	Doğrultu
1	4	B-D
2	28	B-D
3	30	B-D
4	18	B-D
5	4	B-D
6	6	KD-GB
7	8	KD-GB

DES ölçümleri, profil boyunca belirli aralıklarla konumlandırılmış olmakla birlikte, ölçüm noktaları arasındaki mesafeler yer yer değişkenlik göstermektedir. Bu durum, bazı kesimlerde yanal çözünürlüğün azalmasına ve ölçümler arasındaki ilişkinin zayıflamasına neden olabilmektedir. Özellikle ölçüm aralıklarının maksimum elektrot açıklığına göre büyük olduğu durumlarda, verilerin 2B ters çözüm ile değerlendirilmesinde dikkatli olunması gerekmektedir.

Bununla birlikte, ölçüm noktalarının belirli doğrultular boyunca süreklilik göstermesi ve özellikle fay zonları ile ilişkili olabilecek hatlar üzerinde yoğunlaşması, veri kümesinin profil bazında birlikte değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Şekil 2'de DES ölçüm noktalarının dağılımı ile MTA tarafından haritalanmış diri fay uzanımları birlikte sunulmakta, bazı ölçüm hatlarının fay zonları ile çakıştığı veya bu yapılara paralel uzandığı, bazı bölgelerde ise yüzeyde açıkça izlenemeyen olası yapısal süreksizliklerin veri dağılımı ile örtüştüğü görülmektedir [40, 41].

2.4 Ters çözüm yöntemleri

DAÖ yöntemi ile elde edilen görünür özdirenç verileri, yeraltı ortamının gerçek özdirenç dağılımını doğrudan temsil etmemektedir. Bu nedenle, ölçülen verilerin jeolojik olarak anlamlı modellere dönüştürülebilmesi için ters çözüm yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada DES verileri hem 1B hem de 2B ters çözüm yaklaşımları kullanılarak değerlendirilmiştir.

DES verilerinin klasik değerlendirilmesinde kullanılan 1B ters çözüm yaklaşımı, yeraltı ortamının yatay tabakalı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu yaklaşımda, ölçülen görünür özdirenç eğrileri tabakalı bir yer modeli ile temsil edilmekte ve her bir tabaka için özdirenç ve kalınlık parametreleri belirlenmektedir. Bu tür ters çözüm yöntemleri, özellikle Schlumberger dizilimine ait sondaj verilerinin yorumlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [42].

Bu çalışmada 1B ters çözüm işlemleri, Schlumberger sondaj eğrilerinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş IPI2Win yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [43]. Ters çözüm sürecinde, ölçülen görünür özdirenç eğrileri ile modelden hesaplanan eğriler arasındaki uyum yinelemeli olarak iyileştirilmiş ve en uygun tabakalı model elde edilmiştir. Elde edilen 1B modeller, özellikle düşey doğrultudaki özdirenç değişimlerinin belirlenmesinde referans bilgi sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu yaklaşım yanal süreksizliklerin belirlenmesinde sınırlı kalmakta ve karmaşık jeolojik ortamlarda tek başına yeterli olmamaktadır.

Yanal süreksizliklerin belirlenebilmesi amacıyla DES verileri ölçüm hattı boyunca birlikte değerlendirilmiş ve 2B ters çözüm yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntemde yeraltı ortamı, hücrelerden oluşan iki boyutlu bir modelle temsil edilmekte ve her bir hücrenin özdirenç değeri yinelemeli olarak güncellenmektedir.

Bu çalışmada uygulanan 2B ters çözüm yaklaşımı, DES verilerinin profil bazlı değerlendirilmesine olanak tanıyan algoritmalara dayanmaktadır. Özellikle, DES verilerinin 2B olarak modellenmesine yönelik geliştirilen Uchida ve Murakami (1990) yaklaşımı, bu tür uygulamalar için temel bir çerçeve sunmaktadır [44]. Bu yaklaşım, birden fazla DES ölçümünün birlikte değerlendirilmesini sağlayarak yalnızca düşey değil, aynı zamanda yanal özdirenç değişimlerinin de modellenmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, ayrıca, söz konusu yaklaşım temel alınarak geliştirilen ve DES verilerinin 2B ters çözümüne yönelik optimize edilmiş Ulugergerli (2017) algoritması kullanılmıştır [45]. Bu algoritma, profil boyunca elde edilen görünür özdirenç verilerini kullanarak model ile ölçüm arasındaki farkı minimize eden yinelemeli bir çözüm süreciyle yeraltı özdirenç dağılımını belirlemektedir. 2B ters çözüm uygulamalarında model çözünürlüğü ve sonuçların güvenilirliği, veri geometrisine doğrudan bağlıdır.

Bu çalışmada kullanılan DES verileri başlangıçta 1B değerlendirme amacıyla toplanmıştır; bu nedenle veri dağılımı her zaman ideal 2B çözüm koşullarını sağlamamaktadır. Özellikle ölçüm noktaları arasındaki mesafenin yer yer artması ve veri yoğunluğunun azalması, bazı kesimlerde model çözünürlüğünü sınırlayabilmektedir. Bununla birlikte, ölçüm noktalarının belirli doğrultular boyunca süreklilik göstermesi ve profil bazlı değerlendirmeye olanak tanıması, 2B ters çözüm uygulamalarının gerçekleştirilebilirliğini desteklemektedir. Bu nedenle, elde edilen 2B modellerin yorumlanmasında veri geometrisi, ölçüm aralıkları ve model çözünürlüğü birlikte değerlendirilmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 1B ters çözüm sonuçları

Bu çalışma kapsamında DES verileri, 1B ters çözüm yaklaşımıyla yeniden değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar profil bazında birleştirilerek hem görünür özdirenç dağılımları (pseudo-kesitler) hem de tabakalı yer modeli kesitleri birlikte yorumlanmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla Profil 1 ve Profil 6'ya ait sonuçlar sunulmaktadır. Her profil için üst panellerde ölçülen görünür özdirenç verilerinden oluşturulan pseudo-kesitler, alt panellerde ise 1B ters çözüm sonuçlarının yanal olarak birleştirilmesiyle elde edilen özdirenç–derinlik dağılımları sunulmuştur. Bu iki farklı gösterim birlikte kullanılarak hem ham görünür özdirenç dağılımının hem de ters çözüm sonrası elde edilen yorumlanabilir yeraltı modelinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Profil 1 boyunca elde edilen 1B ters çözüm sonuçları incelendiğinde, yüzeye yakın seviyelerde düşük özdirençli birimlerin, daha derinlerde ise görece yüksek özdirençli birimlerin hâkim olduğu bir yapı gözlenmektedir. Bu dağılım, havza merkezinde yaygın ince taneli, suya doygun alüvyon-kil seviyeleri ile daha derindeki kompakt litolojiler arasındaki düşey geçişi yansıtmaktadır. Profil boyunca özellikle DES-2 ile DES-3 ve DES-3 ile DES-4 noktaları arasında belirgin özdirenç kontrastları ve ani yanal değişimler dikkat çekmektedir. Bu geçişler, pseudo-kesit üzerinde belirgin renk değişimleriyle izlenmekte olup, alt kesitlerde tabaka kalınlıkları ve özdirenç değerlerinin kısa mesafelerde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Ani değişimler, yalnızca litolojik farklılıklarla açıklanamayacak kadar keskin olup, yapısal süreksizliklerin varlığına işaret eden dolaylı göstergeler olarak değerlendirilebilir. Bu gözlemler, çalışma alanının jeolojik ve tektonik çerçevesiyle birlikte değerlendirildiğinde, özdirenç geçişlerinin yüzeyde haritalanan diri fay uzanımlarıyla konumsal olarak uyumlu olduğunu göstermektedir.

Profil 6 boyunca elde edilen sonuçlar, Profil 1'e benzer şekilde yüzeyde düşük, derinde yüksek özdirençli bir yapı sergilemekle birlikte, daha heterojen bir dağılım göstermektedir. Profilin orta kesimlerinde ve belirli DES noktaları çevresinde gözlenen lokal özdirenç anomalileri, sınırlı yatay yayılıma sahip ancak düşey yönde belirgin farklılıklar oluşturan yapılar şeklinde izlenmektedir. Bu anomaliler, kırıklı-çatlaklı zonlar, litolojik geçişler veya sınırlı kalınlıktaki iletken seviyelerle ilişkilendirilebilecek özellikler göstermektedir. Bölgenin aktif tektonik rejimi dikkate alındığında, bu yerel özdirenç değişimlerinin fay zonlarına bağlı ikincil kırık sistemleri veya yapısal süreksizliklerle ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir.

Elde edilen 1B ters çözüm sonuçları, havza genelinde yüzeyde çok düşük özdirençli (yaklaşık 1–5 Ωm aralığında) ve derine doğru artan özdirenç değerlerinin varlığını göstermektedir. Bu kadar düşük özdirenç değerleri, yalnızca ince taneli litolojinin varlığıyla açıklanamayacak kadar düşüktür ve yüksek iyonik iletkenliği olan gözenek sularının varlığına işaret etmektedir. Bu durum, kapalı havza koşulları, yüksek buharlaşma ve yüzey–yeraltı suyu etkileşimleriyle ilişkili tuzluluk artışıyla uyumludur. Nitekim, bölgede daha önce yapılan jeofizik çalışmalarda da özellikle 2003 yılı ölçümlerinde özdirenç değerlerinin 1–5 ohm-m seviyelerine kadar düştüğü ve bunun artan tuzlulukla ilişkili olduğu rapor edilmiştir.

1B ters çözüm sonuçlarında elde edilen IPI2Win uyum hata değerleri genel olarak düşük seviyelerde ve çözümlerde yaklaşık %2–8 aralığında değişmektedir. Daha yüksek hata değerleri gösteren bazı ölçümlerde ise veri gürültüsü, eşdeğerlik etkisi ve sınırlı veri çözünürlüğünün çözüm uyumunu etkileyebileceği değerlendirilmiştir. Her iki profil için ters çözüm sonuçlarına ait gözlenen ve hesaplanan görünür özdirenç eğrileri ek olarak Şekil 5'te sunulmuştur.

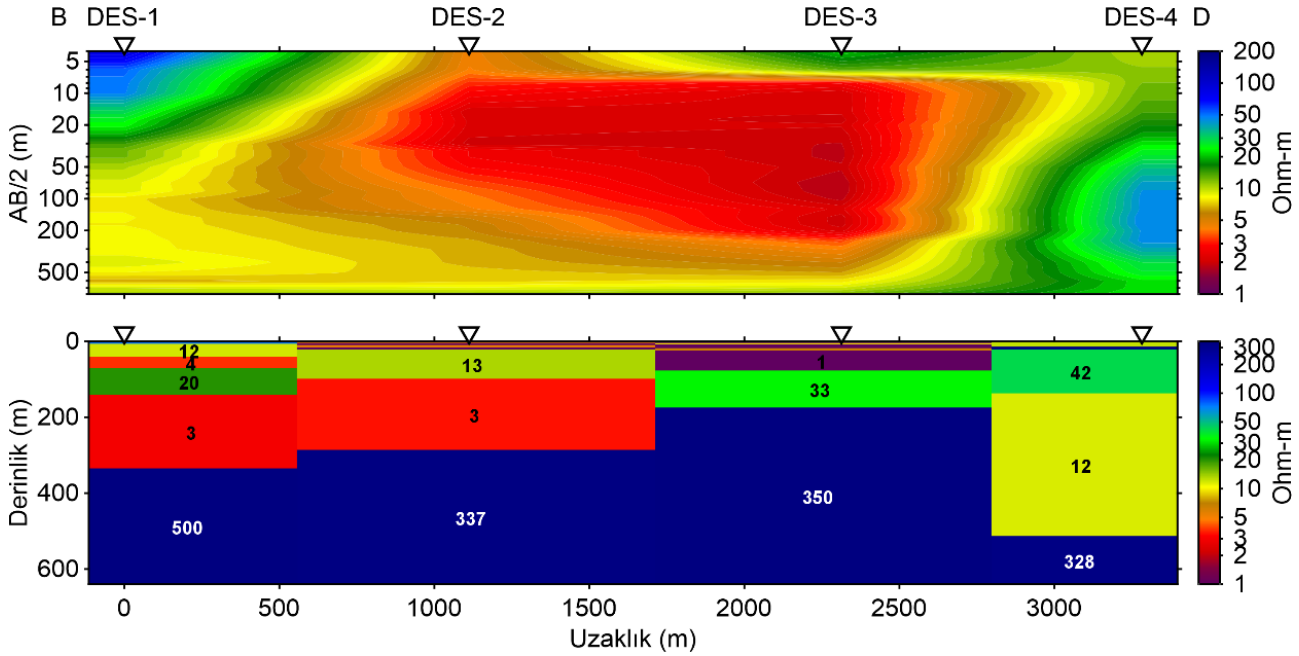
Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, söz konusu bulgularla uyumlu olup havza genelinde düşük özdirençli ve iletken karakterli birimlerin sürekliliğini doğrulamaktadır. Bu yönüyle çalışma, önceki jeofizik gözlemler ile güncel veri değerlendirmeleri arasında bir süreklilik kurmakta ve havzanın hidrojeofizik karakterine ilişkin mevcut bilgiyi desteklemektedir. Bununla birlikte, 1B ters çözüm yaklaşımının doğası gereği, bu tür özdirenç değişimlerinin geometrisi ve sürekliliği hakkında kesin bir değerlendirme yapmak mümkün değildir. Özellikle profil boyunca gözlenen ani özdirenç geçişleri yanal süreksizliklere işaret etmekle birlikte, bu yapıların konum ve sürekliliğinin daha güvenilir biçimde ortaya konulabilmesi için 2B ters çözüm sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.2 2B ters çözüm sonuçları

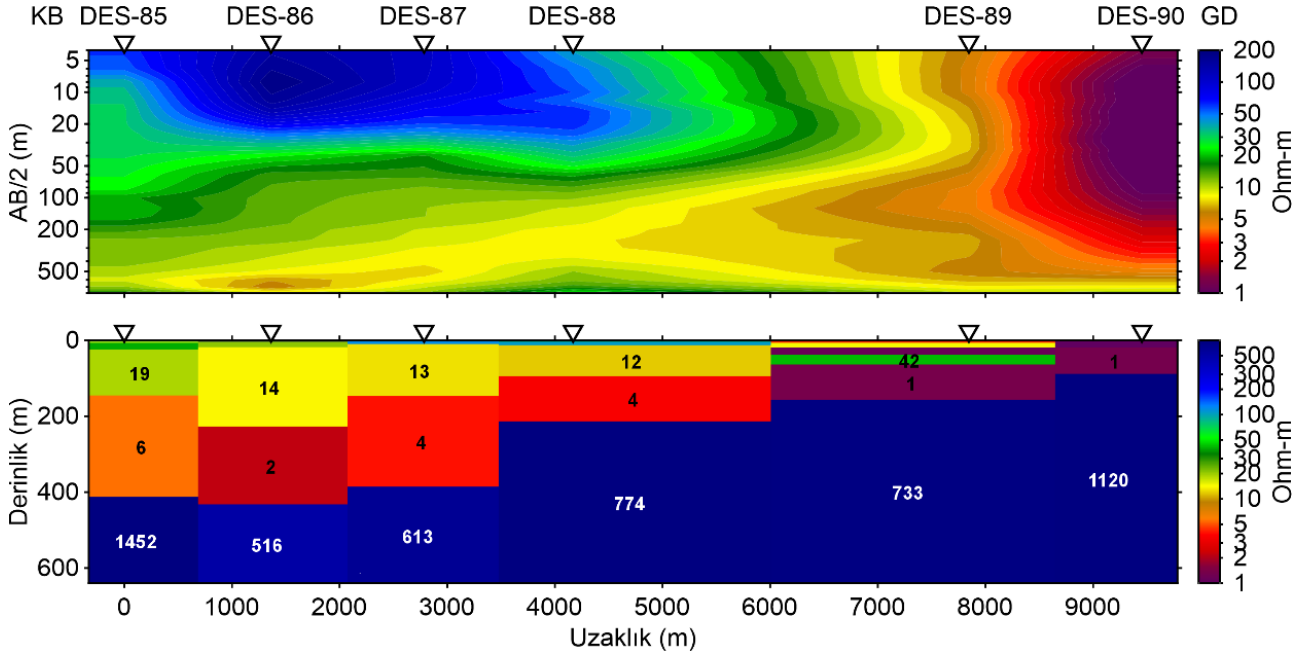
1B ters çözüm sonuçları, Profil 1 ve Profil 6 boyunca belirgin düşey özdirenç değişimleri ve bazı ani yanal geçişler ortaya koymuştur. Ancak 1B yaklaşımın yatay tabakalı ortam varsayımı nedeniyle, bu geçişlerin geometrisi ve sürekliliği sınırlı biçimde yorumlanabilmektedir. Bu nedenle, aynı profiller için iki farklı 2B ters çözüm yaklaşımı uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Profil 1 ve Profil 6'ya ait 2B modeller

Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur. Diğer profillere ait 2B ters çözüm sonuçları ise eklerde verilmiştir (Şekil 8-11).

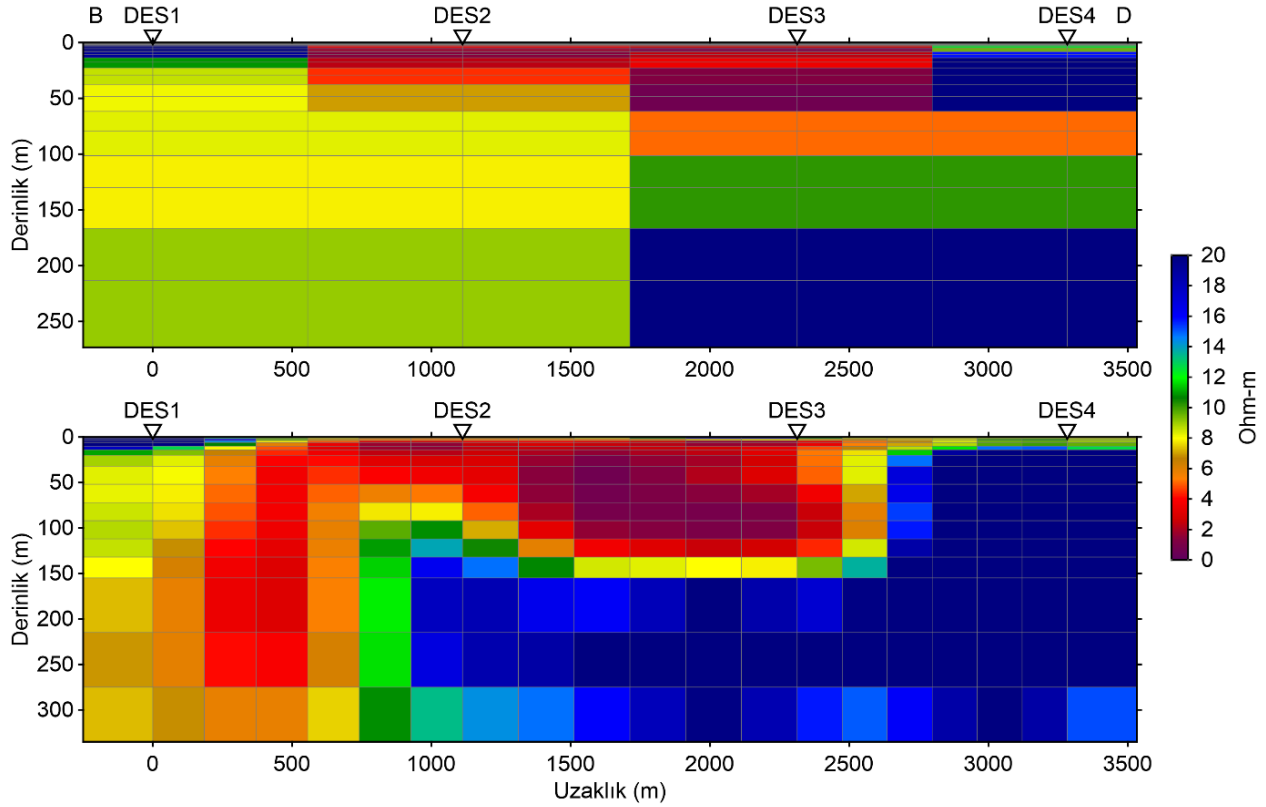
Karşılaştırmanın sağlıklı yapılabilmesi için tüm 2B kesitler ortak derinlik ve özdirenç aralığında yeniden görselleştirilmiştir. Bu kapsamda kesitler 0–300 m derinlik aralığında ve 0–20 ohm-m özdirenç ölçeğinde sunulmuştur. Böylece algoritmalar arasındaki farklar, renk ölçeği veya derinlik aralığı farklılığından kaynaklanan görsel etkilerden bağımsız olarak değerlendirilebilmiştir. 1B kesitlerde daha büyük derinliklere ulaşılması, DES eğrilerinin tabakalı model varsayımıyla daha derine projekte edilmesinden kaynaklanmaktadır. Buna karşılık 2B modeller, profil boyunca veri yoğunluğu, ölçüm aralığı ve model hücre geometrisi ile sınırlıdır; bu nedenle yorumlar özellikle ilk 300 m için yapılmıştır.



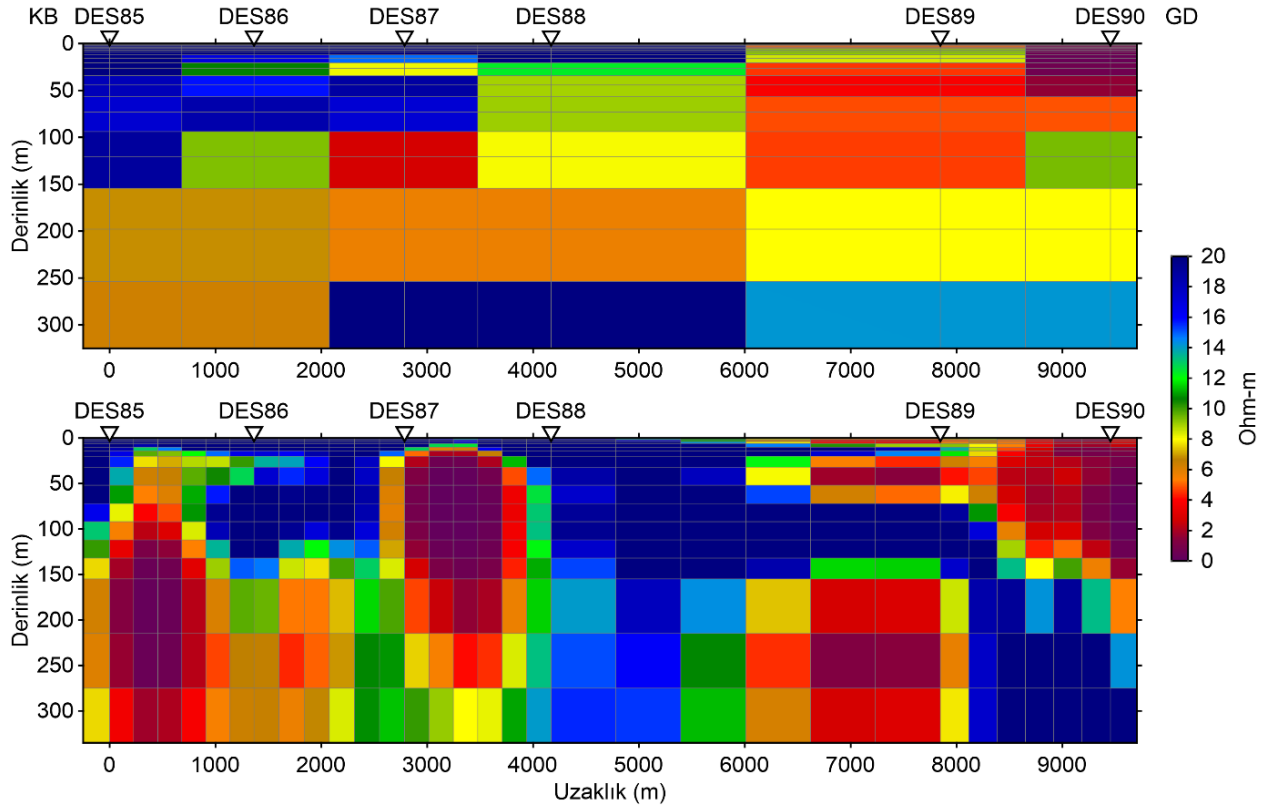
Şekil 3. Profil 1'e ait görünür özdirenç pseudo-kesiti (üst) ve 1B ters çözüm kesiti (alt).



Şekil 4. Profil 6'ya ait görünür özdirenç pseudo-kesiti (üst) ve 1B ters çözüm kesiti (alt).



Şekil 6. Profil 1'e ait 2B ters çözüm sonuçları: Uchida ve Murakami (üst), Ulugergerli (alt). Kesitler ortak derinlik (0–300 m) ve özdirenç aralığında sunulmuştur.



Şekil 7. Profil 6'ya ait 2B ters çözüm sonuçları: Uchida ve Murakami (üst), Ulugergerli (alt). Kesitler ortak derinlik (0–300 m) ve özdirenç aralığında sunulmuştur.

2B ters çözüm analizleri, Uchida ve Murakami yaklaşımı ile Ulugergerli algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki yaklaşımda da çözüm süreci, görünür özdirenç değerlerinin ortalamasına dayalı tekdüze (homojen) bir başlangıç modeli ile başlatılmıştır. Bununla birlikte, elde edilen nihai modeller arasındaki farklılıklar başlangıç modelinden ziyade kullanılan parametrizasyon, DES noktaları arasındaki hücre yoğunluğu ve uygulanan düzgünlük (regularizasyon) kısıtlamalarından kaynaklanmaktadır. Her iki algoritma da ters çözüm sürecini model ağı ve hesaplama ağı üzerinden yürütmekle birlikte, model parametrizasyonu ve yanal çözünürlük açısından farklılık göstermektedir. Uchida ve Murakami yaklaşımında model daha sınırlı sayıda parametre ile temsil edilmekte ve DES noktaları arasındaki yanal değişimler daha genelleştirilmiş biçimde ifade edilmektedir. Buna karşılık, Ulugergerli algoritması daha yoğun bir hücre ağı kullanarak kısa mesafeli özdirenç değişimlerini daha ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. Bu nedenle iki algoritmadan elde edilen geometrik yapıların birebir örtüşmesi beklenmemeli; değerlendirme, süreksizliklerin konumu ve genel eğilimlerinin her iki modelde tutarlı biçimde izlenip izlenmediğine dayandırılmalıdır.

Uchida ve Murakami yaklaşımında model, görece daha düşük yanal çözünürlük sunan bloklu bir yapı ile temsil edilmektedir. Bu durum, ani özdirenç geçişlerinin daha yumuşatılmış ve genelleştirilmiş biçimde görünmesine neden olmakta, ancak bölgesel özdirenç eğilimlerinin izlenmesini kolaylaştırmaktadır. yaklaşım, veri uyumu ile model pürüzsüzlüğü arasındaki dengeyi Akaike Bayes Bilgi Kriteri (ABIC) aracılığıyla otomatik olarak belirleyen düzgünlük kısıtlı en küçük kareler yöntemine dayanmaktadır. Model uyumu, gözlenen ve hesaplanan görünür özdirenç değerlerinin logaritmik farklarına dayalı olarak hesaplanan RMS ölçütü ile değerlendirilmiş ve maksimum 15 yineleme gerçekleştirilmiştir. İncelenen profiller için RMS değerleri 0.09–0.24 aralığında değişmektedir. Profil 1, Profil 4, Profil 5 ve Profil 6'da sırasıyla 0.12, 0.10, 0.09 ve 0.12 gibi düşük RMS değerleri elde edilirken, Profil 2, Profil 3 ve Profil 7'de RMS değerleri sırasıyla 0.18, 0.24 ve 0.18 olarak hesaplanmıştır. Model güvenilirliği yalnızca hata değerleri üzerinden değil; düzgünlük kısıtlaması, iteratif yakınsama davranışı, modelin içsel elektriksel tutarlılığı ve bölgenin bilinen jeolojik-tektonik özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Ulugergerli algoritmasında ise model ağı, ölçüm noktalarına yakın kesimlerde daha yoğun hücre dağılımı sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Bu yapı, özellikle kısa mesafeli özdirenç değişimlerinin ve yanal süreksizliklerin daha belirgin biçimde görüntülenmesine olanak tanımaktadır. Veri aralıklarının yer yer ideal 2B çözüm koşullarını sağlamaması nedeniyle model yumuşatma katsayısı 0.25 olarak seçilmiş ve yapay süreksizliklerin etkisi sınırlandırılmıştır. Ters çözüm sürecinde Profil 1 ve Profil 6 için sırasıyla 56 ve 77 yineleme gerçekleştirilmiştir. İlk profilde uyum değeri 23.9'dan 0.49'a, Profil 6'da ise 57.2'den 2.82'ye düşmüştür. Son iterasyonlarda elde edilen uyum değişimlerinin yaklaşık 8×10^{-4} gibi oldukça düşük seviyelerde olması, çözümlerin sayısal olarak kararlı bir yakınsama davranışı sergilediğini göstermektedir. Ekler bölümünde sunulan diğer hatlara ait çözümlerde ise yineleme sayıları yaklaşık 45–85 aralığında değişmekte olup, son uyum/misfit değerleri genel olarak düşük seviyelerde elde edilmiştir.

3.2.1 Profil 1 sonuçları

Profil 1, B–D doğrultulu kısa bir hat olup, MTA tarafından haritalanan yaklaşık K–G doğrultulu fay uzanımlarını dik veya dike yakın açıyla kesmektedir. Bu nedenle Profil 1, bilinen fay izlerinin yeraltındaki karşılığını test etmek açısından önemlidir. 1B sonuçlarda DES-2–DES-3 ve DES-3–DES-4 arasında belirlenen ani özdirenç değişimleri, 2B modellerde de karşılık bulmaktadır.

Uchida ve Murakami modeli, Profil 1 boyunca batıdan doğuya doğru değişen ve görece düşük yanal çözünürlükle temsil edilen bir özdirenç dağılımı ortaya koymaktadır (Şekil 6 üst panel). Modelde özellikle DES-2 ile DES-3 arasındaki geçiş ve DES-3 doğusundaki özdirenç farkı belirgindir. Bu zonlar, bölgedeki MTA diri fay haritasında tanımlanan fay uzanımları ile konumsal olarak uyum göstermektedir. Kullanılan parametrizasyon ve sınırlı hücre sayısı nedeniyle geçişler daha basamaklı bir görünüm sunmakla birlikte, ana özdirenç süreksizliklerinin konumu 1B sonuçlarla genel olarak tutarlıdır.

Ulugergerli modeli ise aynı profil boyunca daha yüksek yanal çözünürlük sayesinde bu geçişleri daha ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır (Şekil 6 alt panel). Özellikle DES-2–DES-3 arasında izlenen düşük özdirençli zonun doğuya doğru daha yüksek özdirençli birimlerle sınırlandığı görülmektedir. Bu durum, farklı ters çözüm yaklaşımlarının aynı kesimde benzer özdirenç kontrastlarını ortaya koyduğunu göstermektedir.

Her iki model birlikte değerlendirildiğinde, DES-2–DES-3 ve DES-3–DES-4 çevresinde izlenen özdirenç geçişlerinin MTA tarafından haritalanan fay uzanımları ile konumsal olarak çakıştığı görülmektedir. Bu çakışma, söz konusu zonların faylarla ilişkili olabilecek yerelektrik süreksizlikler olduğunu düşündürmektedir. Ancak mevcut veri kümesi ve çözünürlük sınırları dikkate alındığında, bu geçişlerin doğrudan bir fay kanıtı olarak değerlendirilmesinden ziyade bu zonlar, jeolojik harita ve jeofizik model sonuçlarının birlikte yorumlanmasına dayanan olası yapısal süreksizlikler olarak ele alınmıştır.

3.2.2 Profil 6 sonuçları

Yaklaşık KB–GD doğrultulu Profil 6, çalışma alanındaki ana yapısal doğrultulara daha paralel bir konumdadır. Bu nedenle Profil 1'den farklı olarak, olası süreksizlikleri dik kesmekten çok, bu süreksizlikler boyunca gelişen yanal değişimleri izlemektedir. Bu durum, kesitlerde gözlenen anomalilerin süreklilik ve yanal yayılım açısından daha karmaşık bir dağılım sergilemesine neden olmaktadır.

Uchida ve Murakami modeli, Profil 6 boyunca daha genelleştirilmiş ve bloklu bir özdirenç dağılımı sunmaktadır (Şekil 7 üst panel). Modelde özellikle profilin batı ve orta

kesimleri arasında belirgin özdirenç değişimleri izlenmektedir. Bu değişimler, 1B ters çözüm sonuçlarında belirlenen lokal anomalilerle genel olarak uyumludur. Bununla birlikte, kullanılan parametrizasyon ve sınırlı hücre sayısı nedeniyle süreksizliklerin eğim ve geometrik özellikleri daha sınırlı biçimde temsil edilmektedir.

Ulugergerli modeli ise aynı profil boyunca daha yüksek yanal çözünürlük sayesinde daha ayrıntılı bir özdirenç dağılımı ortaya koymaktadır (Şekil 7 alt panel). Profilin batı ve orta kesimlerinde sınırlı yanal yayılıma sahip özdirenç kontrastları dikkat çekerken, doğuya doğru daha heterojen bir yapı gelişmekte ve düşük özdirençli seviyeler ile daha dirençli birimler arasında daha belirgin geçişler izlenmektedir. Profilin yapısal doğrultuya yakın konumu dikkate alındığında, bu tür geçişler yalnızca tekil fay kesitlerinden ziyade, süreksizlik zonları boyunca gelişen litolojik değişimler veya yapısal kontrollü birim farklılıkları ile ilişkili olabilir. Profil 6'da iki algoritma arasında gözlenen farklılıklar, hattın uzunluğu, DES istasyon aralığının profil boyunca değişken olması ve profilin yapısal doğrultuya paralel konumu ile açıklanabilir. Bununla birlikte, her iki modelde de belirli kesimlerde tekrarlayan özdirenç kontrastlarının gözlenmesi, bu profilin yalnızca düşey tabakalanmayı değil, aynı zamanda yanal değişimleri ve olası süreksizlik alanlarını da yansıttığını göstermektedir.

3.2.3 Ek profillerin genel değerlendirmesi

Eklerde sunulan Profil 2, Profil 3, Profil 4 ve Profil 7'ye ait 2B ters çözüm sonuçları (Ek Şekiller 8–11), yukarıda ayrıntılı olarak incelenen Profil 1 ve Profil 6 bulgularını tamamlayıcı niteliktedir. Profil 2 ve Profil 3, hat uzunluklarının fazla olması nedeniyle görsel okunabilirliği artırmak amacıyla iki bölüm halinde sunulmuştur. Bu kesitler incelendiğinde, özellikle Yay Gölü çevresinde geniş alan kaplayan düşük özdirençli zonların yanal sürekliliği izlenmektedir. Bu düşük özdirençli alanlar, önceki çalışmalarda tanımlanan kilce zengin ve tuzluluk etkisi altındaki birimlerle uyumludur.

Şekil 1'de verilen DES hatlarının dağılımı ve yönelimleri dikkate alındığında, Profil 1, Profil 2, Profil 3 ve Profil 4'ün yaklaşık B–D doğrultulu olduğu, Profil 6 ve Profil 7'nin ise yaklaşık KB–GD doğrultusunda uzandığı görülmektedir. Bölgedeki MTA tarafından haritalanmış diri faylar ise çoğunlukla K–G ile KB–GD doğrultuları arasında değişen uzanımlar göstermektedir. Bu nedenle B–D doğrultulu profiller, özellikle K–G ve KD–GB bileşenli yapısal süreksizlikleri kesen kesitler üretirken, Profil 6 ve Profil 7 bazı kesimlerde bu doğrultulara paralel veya oblik konumlanmaktadır. Bu geometrik ilişki, profillerde gözlenen özdirenç geçişlerinin yorumlanmasında belirleyici bir rol oynamaktadır.

Profil 2, Profil 3 ve Profil 4 birlikte değerlendirildiğinde, bazı özdirenç süreksizliklerinin profiller arasında izlenebildiği görülmektedir. Özellikle Profil 2'de (Şekil 8) DES 7–13 aralığında belirginleşen özdirenç geçişleri, Profil 3'te (Şekil 9) DES 33–37 ve Profil 4'te DES 63–67 çevresindeki değişimlerle birlikte değerlendirildiğinde, çalışma alanının batı kesiminde KB–GD doğrultuya yakın, yer yer K–G bileşeni gösteren olası bir yapısal süreksizlik bölgesine işaret etmektedir. Bu alanın konumu, Şekil 1'de verilen MTA diri fay uzanımları ile genel olarak uyum göstermektedir.

Benzer şekilde, Profil 2'de DES 18–23 aralığında gözlenen geçişlerin, Profil 3'te DES 39–42 ve Profil 4'te (Şekil 10) DES 67–72 çevresinde izlenen özdirenç değişimleriyle birlikte değerlendirilmesi, Yay Gölü'nün batı ve orta kesimleri boyunca yüzeyde sürekliliği net olarak izlenemeyen ikinci bir olası süreksizlik bölümüne işaret etmektedir. Daha doğuda, Profil 2'de DES 23–32 aralığında, Profil 3'te DES 52–62 ve Profil 4'te DES 75–80 çevresinde gözlenen ani yanal özdirenç değişimleri, göl ve alüvyon örtüsü altında maskelenmiş olası yapısal devamlılıkların varlığına ilişkin önemli ipuçları sunmaktadır.

Profil 4'ün, Profil 3'ün güneyinde paralel konumu dikkate alındığında, bu üç profil boyunca gözlenen süreksizliklerin yalnızca lokal anomaliler olmadığı, belirli doğrultular boyunca devamlılık gösteren yerelektrik sınırlar olabileceği anlaşılmaktadır. Bu durum, çalışma alanındaki yapısal kontrolün yalnızca yüzeyde haritalanan faylarla sınırlı olmayabileceğine işaret etmektedir.

Profil 6 (Şekil 7) ve Profil 7 (Şekil 11) ise yaklaşık KB–GD doğrultulu olduklarından, B–D uzanımlı profillerde belirlenen süreksizlik zonlarını farklı bir açıyla kesen veya bu zonlar boyunca gelişen değişimleri izleyen tamamlayıcı kesitler sunmaktadır. Bu profillerde gözlenen özdirenç kontrastları, özellikle Yay Gölü çevresindeki iletken birimlerin sınırlarında gelişen yapısal veya litolojik kontrollü geçişlerle uyumludur. Bununla birlikte, bu kesitlerdeki anomaliler fay zonlarının doğrudan dik kesit karşılığı olmaktan ziyade, yapısal doğrultu boyunca gelişen süreksizlik eğilimleri olarak değerlendirilmelidir.

Özellikle Yay Gölü çevresinde dikkat çeken bir diğer durum, MTA haritalarında bazı fay uzanımlarının göl ve güncel alüvyon örtüsü altında yüzeyde kesintili izlenmesidir. Buna karşılık 2B özdirenç kesitlerinde aynı bölgelerde izlenen belirgin yanal süreksizlikler, bu yapıların yüzeyde izlenemeyen kesimlerde de devam ediyor olabileceğine işaret etmektedir. Bu yorum, B–D doğrultulu profillerde fay uzanımlarını kesen ani özdirenç geçişleri ile Profil 6 ve Profil 7'de yapısal doğrultuya paralel veya oblik gelişen anomalilerin birlikte değerlendirilmesiyle tutarlı bir yorum çerçevesi sunmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 2B ters çözüm sonuçları 1B modellerde belirlenen düşey özdirenç değişimlerini yanal süreklilik açısından tamamlamakta ve çalışma alanındaki yapısal kontrol olasılığını daha belirgin hale getirmektedir. İki farklı algoritmanın benzer konumlarda özdirenç geçişleri üretmesi, bu geçişlerin yalnızca modelleme kaynaklı rastlantısal etkilerden ziyade, jeolojik olarak anlamlı tekrar eden özdirenç kontrastları olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, model parametrizasyonu, veri geometrisi, ölçüm noktası aralıkları ve ters çözüm kısıtlamaları dikkate alındığında, belirlenen süreksizlikler kesin fay sınırları olarak değil, olası fay zonları veya litolojik geçişler olarak değerlendirilmelidir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen bulgular, 2B ters çözüm kesitlerinde gözlenen yanal özdirenç değişimleri ve profiller arası karşılaştırmalar dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Özellikle Profil 2, Profil 3 ve Profil 4 boyunca tekrar eden özdirenç geçişleri, çalışma alanında belirli doğrultular boyunca izlenebilen olası yerelektrik süreksizliklerin varlığına işaret etmektedir. Tekil bir kesit niteliği taşıyan Profil 1 bu kapsamda doğrudan bir korelasyon analizine dahil edilmemiş, ancak içerdiği belirgin özdirenç kontrastları ile bu yorumları destekleyen referans bir kesit olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanının bölgesel yerelektrik yapısı, 1B ters çözüm sonuçlarına göre yüzeye yakın kesimlerde yaygın düşük özdirençli birimlerin, derine doğru artan özdirenç değerleri ile temsil edildiğini göstermektedir. Özellikle 1–5 Ωm aralığında gözlenen çok düşük özdirenç değerleri, kilce zengin litoloji ile birlikte yüksek iyonik iletkenliğe sahip gözenek sularının varlığına işaret etmektedir. Bu durum Sultan Sazlığı–Yay Gölü çevresinde daha önce rapor edilen tuzluluk etkisi ile uyumludur. Bu bulgu, havza merkezindeki iletken zonların yalnızca litolojik değil, aynı zamanda hidrojeokimyasal koşullarla da kontrol edildiğini göstermektedir.

2B ters çözüm sonuçları, 1B modellerde belirlenen düşey değişimlerin ötesinde, belirli profiller boyunca tekrarlayan yanal özdirenç süreksizliklerini ortaya koymuştur. Özellikle Profil 1'de DES-2–DES-3 ve DES-3–DES-4 arasında belirlenen ani geçişler, MTA tarafından haritalanan fay uzanımlarını kesen bir geometri sergilemekte ve bu yapıların yeraltındaki olası karşılıklarına işaret etmektedir. Bu tür süreksizliklerin farklı ters çözüm algoritmalarında da benzer konumlarda gözlenmesi, modelleme kaynaklı rastlantısal etkiler olma olasılıklarını azaltmaktadır.

Profil 2, Profil 3 ve Profil 4 birlikte değerlendirildiğinde, bazı özdirenç geçişlerinin yalnızca lokal anomaliler olmadığı, belirli doğrultular boyunca izlenebilen yerelektrik zonlar oluşturduğu görülmektedir. Bu kapsamda, çalışma alanının batı kesiminde Profil 2'de DES 7–13, Profil 3'te DES 33–37 ve Profil 4'te DES 63–67 aralıklarında gözlenen geçişler, KB–GD doğrultuya yakın ve yer yer K–G bileşeni gösteren zayıf bir süreklilik sunmaktadır. Bu bölgenin konumu, MTA tarafından haritalanan diri fay uzanımları ile genel bir uyum sergilemekle birlikte sürekliliği sınırlıdır ve yalnızca diğer profillerle birlikte değerlendirildiğinde anlam kazanmaktadır.

Buna karşılık, Profil 2'de DES 18–23 ve 25–32 aralıklarında, Profil 3'te DES 39–42 ve 52–62 aralıklarında ve Profil 4'te DES 67–72 ile 75–80 çevresinde gözlenen daha belirgin özdirenç geçişleri, çalışma alanının orta ve doğu kesimlerinde daha güçlü bir yanal süreksizlik eğilimi ortaya koymaktadır. Özellikle Yay Gölü çevresinde izlenen bu geçişler, alüvyon ve göl çökelleri altında maskelenmiş olası litolojik sınırların veya yapısal kontrollü geçişlerin varlığına işaret etmektedir. Bu süreksizliklerin farklı profillerde benzer konumlarda tekrar etmesi, bunların yalnızca yerel heterojenliklerden ziyade daha geniş ölçekli yerelektrik geçiş zonları olabileceğini düşündürmektedir.

Doğu kesimde gözlenen özdirenç değişimleri ise daha sınırlı bir süreklilik göstermektedir. Bu kesimde izlenen geçişler, bağımsız bir yapısal zon olarak tanımlanmaktan çok, daha batıda gelişen süreksizliklerin doğu sınırı veya litolojik kontrollü bir geçiş olarak değerlendirilmektedir.

Yaklaşık KB–GD doğrultulu Profil 6 ve Profil 7, B–D uzanımlı profillerde belirlenen süreksizlikleri farklı bir açıdan kontrol eden tamamlayıcı kesitler sunmaktadır. Bu profillerde gözlenen özdirenç kontrastları, özellikle Yay Gölü çevresindeki iletken zonların sınırlarında gelişen geçişlerle uyumlu olup, süreksizliklerin yalnızca tek bir doğrultuda değil, daha karmaşık bir yapısal düzen içerisinde geliştiğine işaret etmektedir.

Profiller arası korelasyonlardan elde edilen bu yerelektrik süreksizlik eğilimlerinin çalışma alanındaki olası uzanımları Şekil 12'de sentez olarak sunulmuştur. Şekilde verilen sarı kesikli çizgiler, 2B ters çözüm kesitlerinde tekrar eden özdirenç geçişlerinin profiller arası ilişkileri dikkate alınarak yorumlanan olası yerelektrik süreksizlik alanlarını göstermektedir. [26] tarafından önerilen sarı sürekli yapısal uzanımlar ile bu çalışmada elde edilen 2B ters çözüm sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, özellikle orta kesimdeki uzanım boyunca Profil 2, Profil 3 ve Profil 4'te tekrarlayan yanal özdirenç geçişleri izlenmektedir. Daha doğudaki uzanımda ise özdirenç kontrastları daha parçalı ve sınırlı bir süreklilik göstermektedir. Bu nedenle, söz konusu ilişki doğrudan fay doğrulaması olarak değil, literatürde önerilen yapısal modelle genel olarak uyumlu yerelektrik süreksizlik eğilimleri şeklinde değerlendirilmelidir.

Elde edilen sonuçlar, iki farklı ters çözüm yaklaşımının benzer konumlarda özdirenç geçişleri üretmesi sayesinde güçlenmektedir. Bununla birlikte, veri kümesinin başlangıçta 1B amaçlı toplanmış olması, ölçüm noktaları arasındaki mesafelerin değişkenliği ve 2B ters çözümün çözünürlük sınırlamaları dikkate alındığında, tanımlanan süreksizliklerin kesin fay sınırları olarak yorumlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında belirlenen geçişler, jeofizik verilerde izlenen ve jeolojik verilerle uyumlu olabilecek olası yapısal süreksizlikler olarak değerlendirilmelidir.

Bu çalışma, DES verilerinin yalnızca düşey tabakalanmanın belirlenmesinde değil, uygun profil geometrisi ve çoklu ters çözüm yaklaşımları kullanıldığında yanal süreksizliklerin izlenmesinde de etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, daha net yapısal yorumların yapılabilmesi için gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalarda, yüksek çözünürlüklü ERT ölçümleri, sismik kırılma veya yansıma yöntemleri ile birlikte manyetik ve gravite verilerinin entegrasyonu önerilmektedir. Özellikle göl ve alüvyon örtüsü altında maskelenmiş yapıların daha güvenilir biçimde ortaya konulabilmesi için çok yöntemli jeofizik yaklaşımlar kritik önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma Sultan Sazlığı–Yay Gölü çevresinde, yüzey jeolojisi ile doğrudan izlenemeyen ancak yerelektrik verilerle ortaya konulabilen olası yapısal süreksizliklerin varlığına işaret etmekte ve bu yapıların bölgesel tektonik çerçeve içerisinde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

CRediT yazarlık katkı beyanı

Zöhre Baharlu: Yazma-ilk taslak, Veri derlenmesi ve işlenmesi, Araştırma, İlk taslak, Kaynak sağlama; **Mehmet Ali Kaya**: Fikrin oluşması, Elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve sonuçların incelenmesi; **Çağlayan Balkaya**: Formal analiz, Veri düzenleme, Kavramsallaştırma, Formal analiz, Doğrulama, Görselleştirme; **Emin Uğur Ulugergerli**: Veri düzenleme, Yazılım denetimi ve içerik kontrolü, Yöntem.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): 9%

Yazım sürecinde üretken yapay zekâ (YZ) ve YZ destekli teknolojilerin kullanımına ilişkin beyan

Yazarlar, bu çalışmanın hazırlanmasında herhangi bir yapay zekâ aracı kullanmamıştır.

Kaynaklar

[1] T. Meriç ve S. Çağırankaya, *Sulak Alanlar*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2013.

[2] U. Özesmi, M. Somuncu ve H. Tunçel, "Sultan Sazlığı Ekosistemi", *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 2, 275-288, 1993.

[3] F. Dadaser-Celik, P. L. Brezonik and H. G. Stefan, "Agricultural and environmental changes after irrigation management transfer in the Develi Basin, Turkey", *Irrigation and Drainage Systems*, 22(1), 47-66, 2008. https://doi.org/10.1007/s10795-007-9032-4.

[4] F. E. Yıldız ve İ. Gürer, "An Integrated Water Resources Management of Develi Closed Basin in Kayseri-Türkiye", *Gazi University Journal of Science*, 22(3), 2009.

[5] E. Çiçek ve S. Sungur, "Ichthyofauna of Sultan Marshes (Turkey) and possible effects of fish invasion from Seyhan Basin on diversity and conservation", *Commagene Journal of Biology*, 4(2), 115-120, 2020. https://doi.org/10.31594/commagene.817306.

[6] M. A. Kaya, G. Özürlan and Ç. Balkaya, "Geoelectrical investigation of seawater intrusion in the coastal urban area of Çanakkale, NW Turkey", *Environmental Earth Sciences*, 73, 1151-1160, 2015. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3467-3.

[7] M. Bozcu, O. Uyanık ve Ö. Ç., "Eşen I HES Projesi Alanının Jeoteknik Özellikleri", *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 75-83, 2007.

[8] Ç. Balkaya, M. A. Kaya and G. Göktürkler, "Delineation of shallow resistivity structure in the city of Burdur, SW Turkey by vertical electrical sounding measurements", *Environmental Geology*, 57, 571-581, 2009. https://doi.org/10.1007/s00254-008-1326-9.

[9] A. Akingboye, "Geohydraulic characteristics and groundwater vulnerability assessment of tropically weathered and fractured gneissic aquifers using combined georesistivity and geostatistical methods", *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, 2022. https://doi.org/10.46481/jnsps.2022.497

[10] G. Göktürkler, Ç. Balkaya, Z. Erhan and A. Yurdakul, "Investigation of a shallow alluvial aquifer using geoelectrical methods: a case from Turkey." *Environmental Geology*, 54, 1283-1290, 2008. https://doi.org/10.1007/s00254-007-0911-7.

[11] O. Uyanık ve E. Türker, "Fethiye-Esen II HES Salt ve Santral Sahasındaki Potansiyel Heyelanının Yerteknik Özellikleri ve Yorumu", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 84-90, 2009, https://doi.org/10.19113/sdufbed.48622.

[12] O. Çakmak, *Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemlerle Buldan (Denizli) Horst Sistemi İçerisindeki Jeotermal Alanların Modellenmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2022.

[13] S. U. Eze, O. M. Orji, A. E. Onoriode, S. A. Saleh and M. O. Abolarin, "Integrated geoelectrical resistivity method for environmental assessment of landfill leachate pollution and aquifer vulnerability studies", *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 10(9), 2022. https://doi.org/10.4236/gep.2022.109001.

[14] M. Eleraki, M. M. Gadallah, K. S. Gemail and M. Attwa, "Application of resistivity method in environmental study of the appearance of soil water in the central part of Tenth of Ramadan City, Egypt", *The Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(2), 171, 2010. https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-079.

[15] N. Raju and T. V. K. Reddy, "Fracture pattern and electrical resistivity studies for groundwater exploration", *Environmental Geology*, 34, 175-182, 1998. https://doi.org/10.1007/s002540050269.

[16] O. Uyanık, Z. Öncü, N. A. Uyanık and N. Ekin, "Seismic microzonation and geotechnical modeling studies considering local site effects for İnegöl Plain (Bursa-Turkey)", *Earth and Space Science*, 11(11), 2024, https://doi.org/10.1029/2023EA003460

[17] D. Irawan, H. Grandis, and P. Sumintadireja, "Quasi-2D Resistivity Model from Inversion of Vertical Electrical Sounding (VES) Data using Guided Random Search Algorithm," *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 47(3), 267-280, 2015, https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2015.47.3.5.

[18] I. Demirci, E. Erdoğan and M. E. Candansayar, "Two-dimensional inversion of direct current resistivity data incorporating topography by using finite difference techniques with triangle cells: Investigation of Kera fault zone in western Crete", *Geophysics*, 77(1), E67-E75, 2012. https://doi.org/10.1190/geo2011-0130.1

[19] Ö. Özyıldırım, I. Demirci, N. Y. Gündoğdu and M. E. Candansayar, "Two dimensional joint inversion of direct current resistivity and radiomagnetotelluric data based on unstructured mesh", *Journal of Applied Geophysics*, 172, 103885, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103885

[20] S. Awad Sultan and F. A. Monteiro Santos, "1D and 3D resistivity inversions for geotechnical investigation", *Journal of Geophysics and Engineering*, 5(1), 1-11, 2008. https://doi.org/10.1088/1742-2132/5/1/001

[21] D. Över and M. E. Candansayar, "Enhancing DC resistivity data two-dimensional inversion result by using U-net based Deep learning-algorithm: Examples from archaegeophysical surveys", *Journal of Applied Geophysics*, 227, 105430, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2024.105430

[22] D. Demanet, F. Renardy, K. Vanneste, D. Jongmans, T. Camelbeeck and M. Meghraoui, "The use of geophysical prospecting for imaging active faults in the Roer Graben, Belgium", *Geophysics*, 66(1), 78-89, 2001. https://doi.org/10.1190/1.1444925

[23] F. Nguyen, S. Garambois, D. Jongmans, E. Pirard, and M. H. Loke, "Image processing of 2D resistivity data for imaging faults," *Journal of Applied Geophysics*, 57(4), 260-277, 2005, https://doi.org/10.1016/j.jaageo.2005.02.001

[24] B. Suski, G. Brocard, C. Authemayou, B. C. Muralles, C. Teyssier and K. Holliger, "Localization and characterization of an active fault in an urbanized area in central Guatemala by means of geoelectrical imaging", *Tectonophysics*, 480(1-4), 88-98, 2010. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.09.028

[25] F. E. Yıldız, *Kayseri Sultansazlık Alanında Yeraltı ve Yerüstü Suları İlişkisinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2007.

[26] G. Arat, *Sultan Sazlığı'nın (Kayseri) Çevre Jeolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2014.

[27] A. E. Akçay, M. Dönmez ve A. Türkecan, "Sultan Sazlığı Havzası'nın (Kayseri) Açılım Yaşına İlişkin Jeolojik Veriler", *Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 22, 57-62, 2017.

[28] H. Keskin, M. Dönmez ve A. E. Akçay, *1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Kayseri L34 Paftası*, No: 141, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2010.

[29] M. Alpyürür, "Kayseri kenti için olasılıksal sismik tehlikenin değerlendirilmesi", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 2022. https://doi.org/10.29048/makufebed.1195045

[30] D. Ş. Erdağ, *Ecemiş Fay Zonu'nun Yahyalı (Kayseri)-Pozantı (Adana) arasında kalan kesimin morfotektoniği ve paleosismik aktivitesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Eurasia Institute of Earth Sciences, Türkiye, 2007.

[31] Kayseri AFAD, *İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP)*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Kayseri, 2021. https://kayseri.afad.gov.tr/kurumlar/kayseri.afad/Egitim/Kayseri_IRAP_Baski.pdf.

[32] W. D. Cunningham and P. Mann, *Tectonics of strike-slip restraining and releasing bends*, Geological Society, London, Special Publications, 2007.

[33] W. M. Telford, L. P. Geldart and R. E. Sheriff, *Applied geophysics*, Cambridge University Press, 1990.

[34] M. A. Kaya, G. Özürlan and E. Şengül, "Delineation of soil and groundwater contamination using geophysical methods at a waste disposal site in Çanakkale, Turkey", *Environmental Monitoring and Assessment*, 135, 441-446, 2007. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9662-x.

[35] A. Mohamed, A. Othman, W. F. Galal and A. Abdelrady, "Integrated geophysical approach of groundwater potential in Wadi Ranyah, Saudi Arabia, using gravity, electrical resistivity, and remote-sensing techniques", *Remote Sensing*, 15(7), 1808, 2023. https://doi.org/10.3390/rs15071808.

[36] G. Gamal, T. M. Hassan, A. Gaber and M. Abdelfattah, "Groundwater quality assessment along the West of New Damietta Coastal City of Egypt using an integrated geophysical and hydrochemical approaches", *Environmental Earth Sciences*, 82(4), 2023. https://doi.org/10.1007/s12665-023-10762-0.

[37] E. Ş. Uluocak and E. Ulugergerli, "Yer bilimlerinde modellemeye genel bir bakış; Çevre jeofiziği uygulamalarından çıkarımlar", *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 67(4), 2024. https://doi.org/10.25288/tjb.1325550.

[38] F. E. Yıldız, N. Ünsal, İ. Gürer, N. Pelen, "Develi Kapalı Havzası'nda Yapılan Jeofizik Etüt Çalışmaları", DSİ Teknik Bülteni, 109, 13-22, 2010.

[39] DSİ, *Kayseri- Develi Yeşilhisar Ovası Jeofizik Etüt Raporu*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 12. Bölge Müdürlüğü, Kayseri, Türkiye, 2010.

[40] Z. Gharakhani, *Yeraltı Suyu Araştırmalarında Jeofizik Özdirenç Yönteminin Uygulanması: Sultan Sazlığı-Develi Bölgesi Örneği*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2024.

[41] MTA, *Türkiye Jeolojik Haritası [Kayseri]*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2026. https://www.mta.gov.tr.

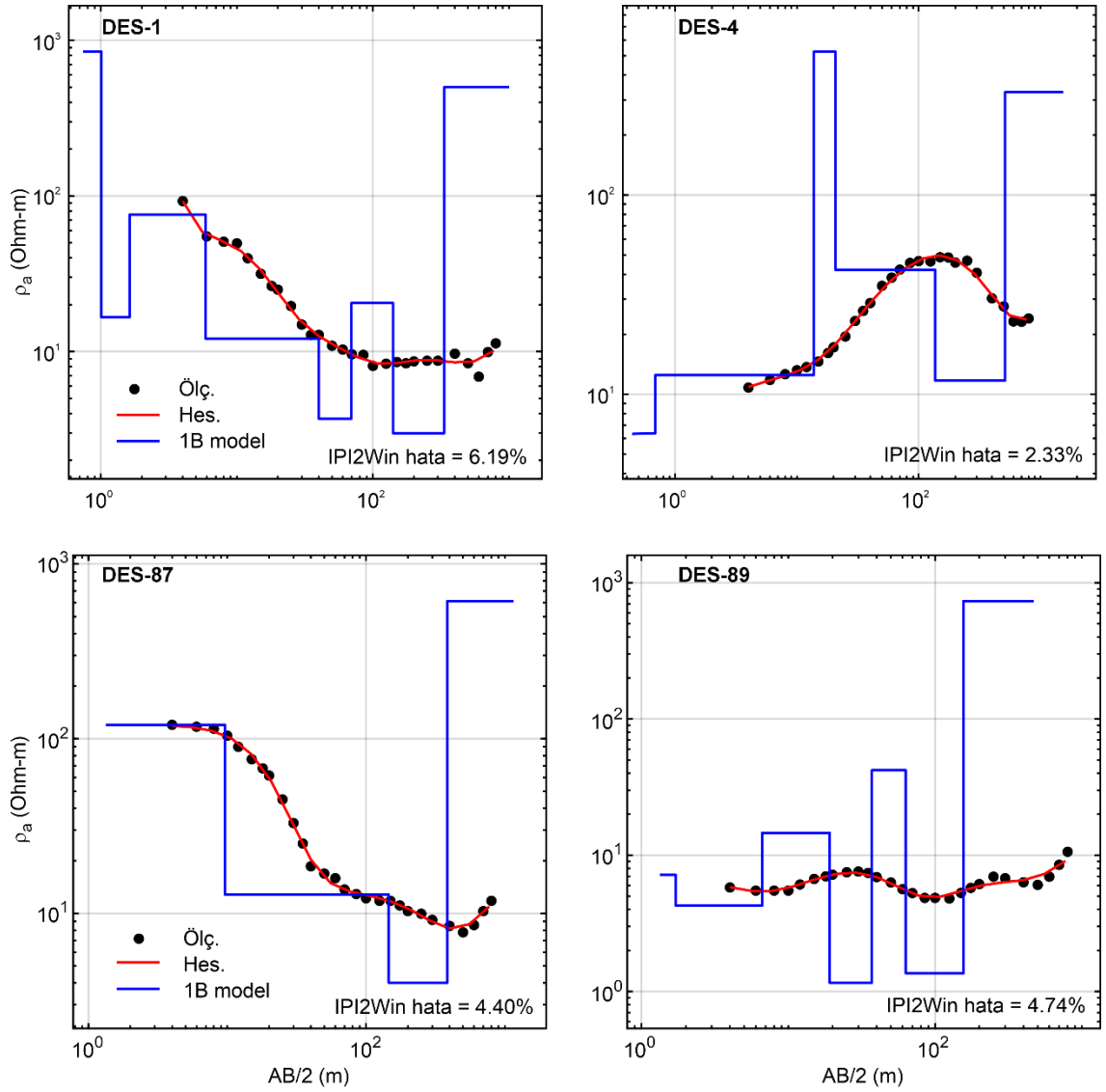
[42] Y. L. Ekinci and A. Demirci, "A damped least-squares inversion program for the interpretation of Schlumberger sounding curves", *Journal of Applied Sciences*, 8(22), 4070-4078, 2008. https://doi.org/10.3923/jas.2008.4070.4078.

[43] C. Bobachev, *IPI2Win: A windows software for an automatic interpretation of resistivity sounding data*, Moscow State University, 320, 2002.

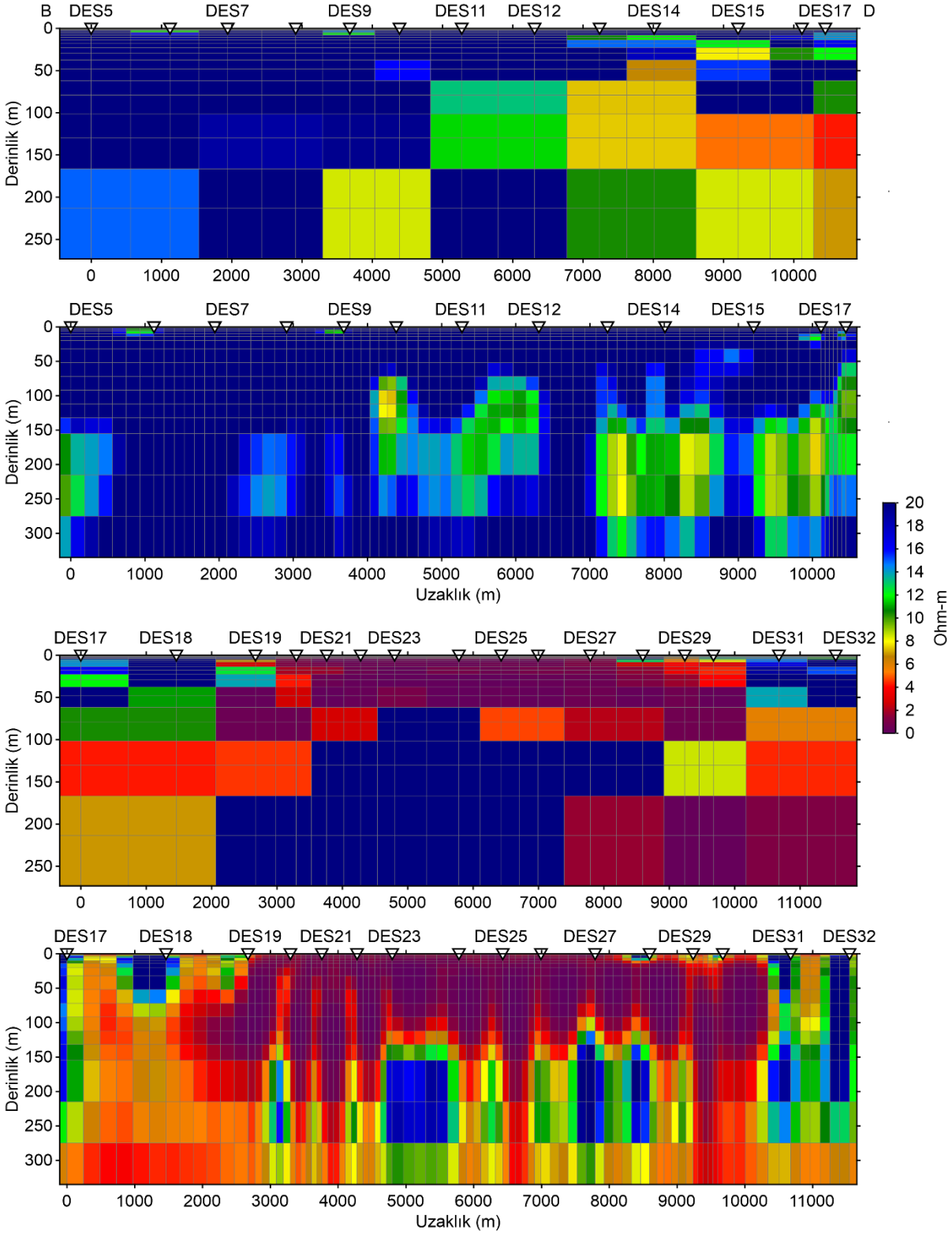
[44] T. Uchida and Y. Murakami, *Development of a Fortran Code for the Two Dimensional Schlumberger Inversion*, Geological Survey of Japan Open-File Report, 150, 1990.

[45] E. U. Ulugergerli, "Marine Effects on Vertical Electrical Soundings Along Shorelines", *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 1-16, 2017. https://doi.org/10.3906/yer-1610-10.

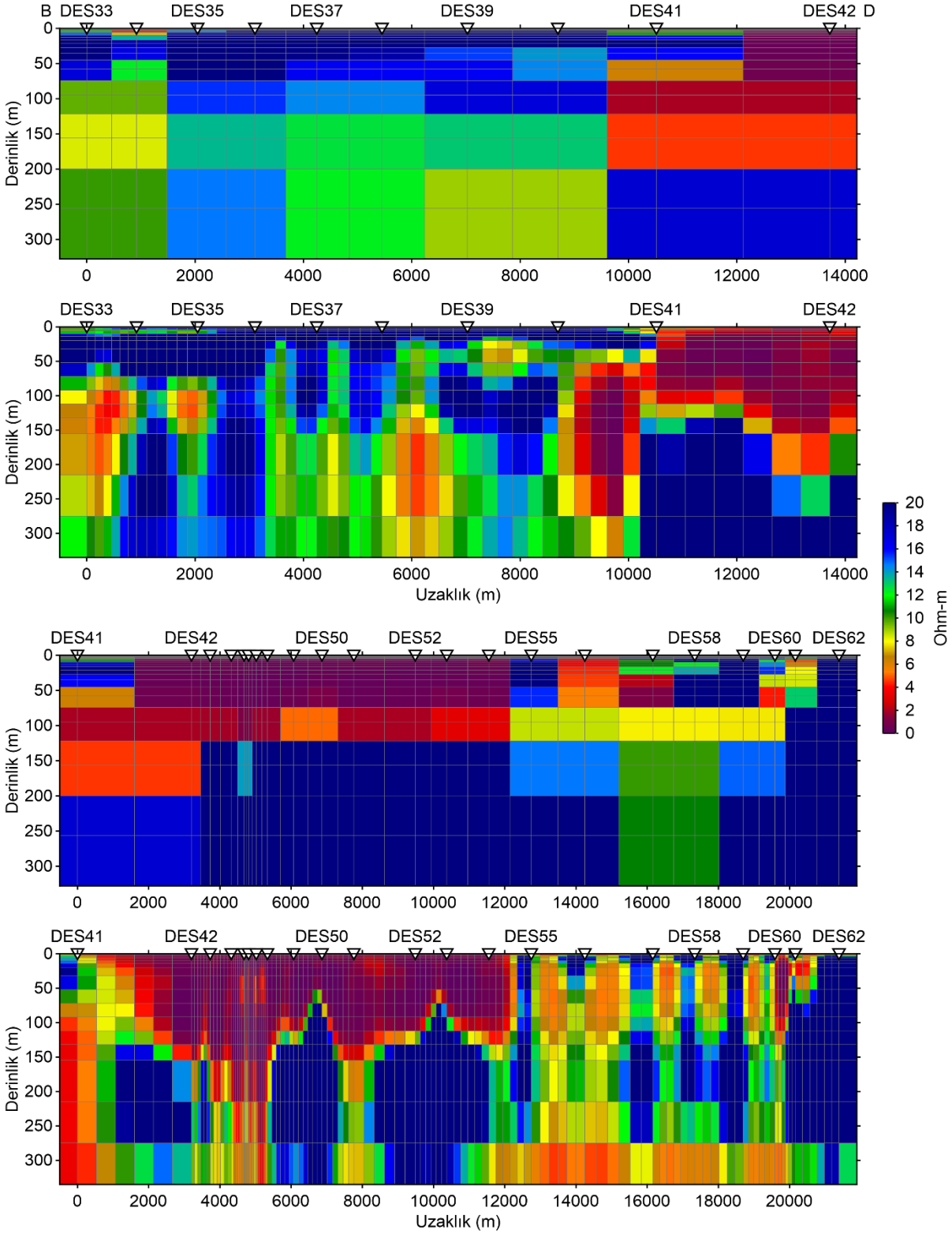
Ekler



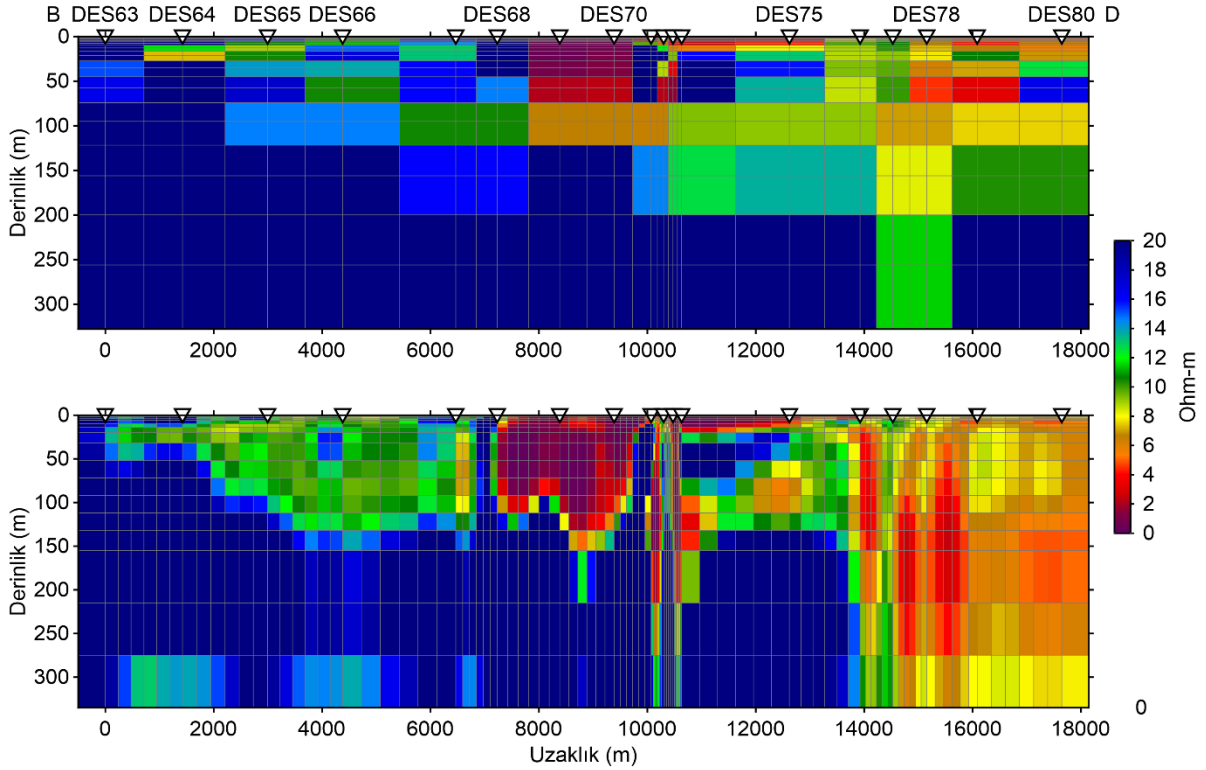
Şekil 5. Profil 1 üzerindeki DES-1 ve DES-4 ile Profil 6 üzerindeki DES-87 ve DES-89 noktalarına ait 1B ters çözüm sonuçları. Siyah noktalar gözlenen görünür özdirenç verilerini (Ölç.), kırmızı eğriler hesaplanan görünür özdirenç yanıtlarını (Hes.) ve mavi basamaklı eğriler ters çözümden elde edilen 1B katman modellerini göstermektedir. Şekiller üzerinde ilgili çözümlere ait IPI2Win uyum hata değerleri verilmiştir.



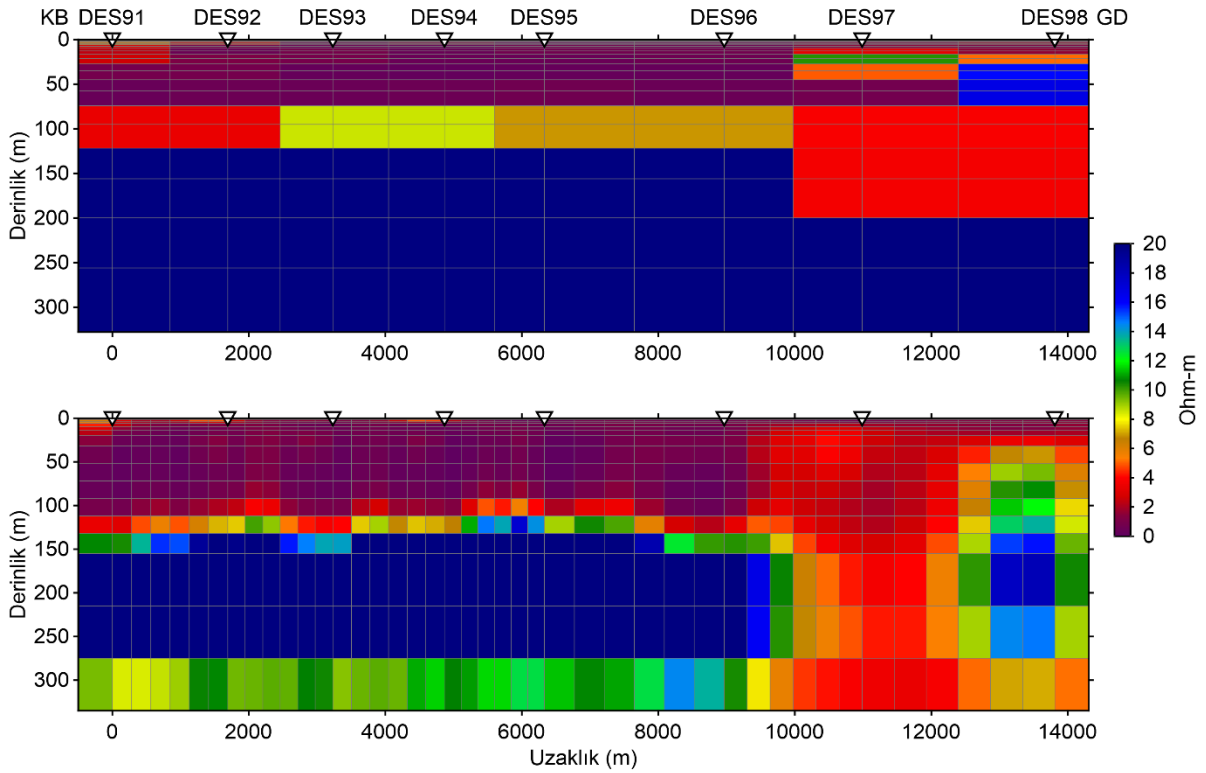
Şekil 8. Profil 2'ye ait 2B ters çözüm sonuçları: ilk iki panel profilin batı kesimine (ilk bölüm) ait Uchida ve Murakami (üst) ile Ulugergerli (alt) çözümlerini, alt iki panel ise profilin doğu kesimine (ikinci bölüm) ait Uchida ve Murakami (üst) ile Ulugergerli (alt) çözümlerini göstermektedir. Tüm kesitler ortak derinlik (0–300 m) ve özdirenç aralığında sunulmuştur.



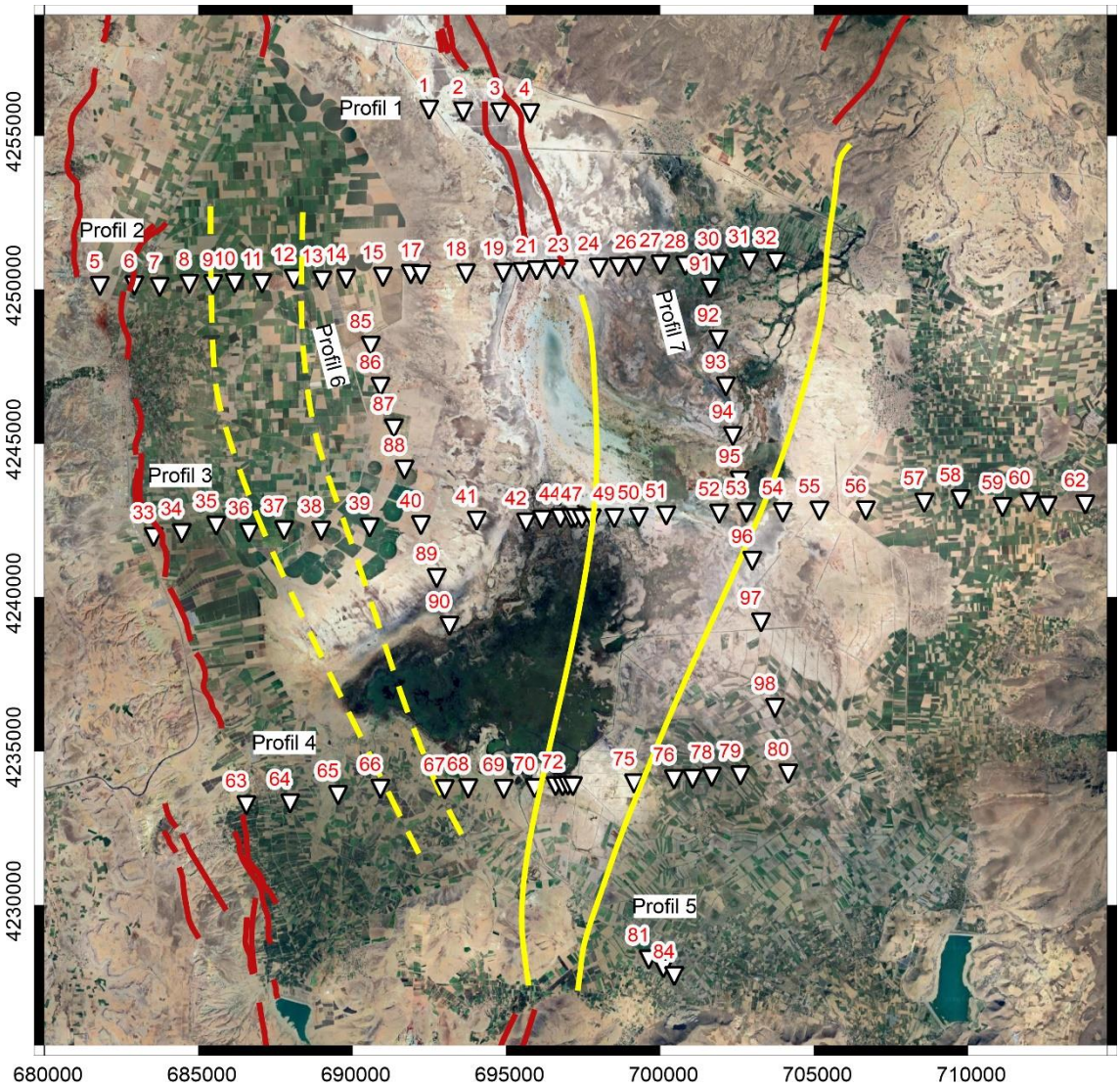
Şekil 9. Profil 3'e ait 2B ters çözüm sonuçları: ilk iki panel profilin batı kesimine (ilk bölüm) ait Uchida ve Murakami (üst) ile Ulugergerli (alt) çözümlerini, alt iki panel ise profilin doğu kesimine (ikinci bölüm) ait Uchida ve Murakami (üst) ile Ulugergerli (alt) çözümlerini göstermektedir. Tüm kesitler ortak derinlik (0–300 m) ve özdirenç aralığında sunulmuştur.



Şekil 10. Profil 4'e ait 2B ters çözüm sonuçları: Uchida ve Murakami (üst), Ulugergerli (alt). Kesitler ortak derinlik (0–300 m) ve özdirenç aralığında sunulmuştur.



Şekil 11. Profil 7'ye ait 2B ters çözüm sonuçları: Uchida ve Murakami (üst), Ulugergerli (alt). Kesitler ortak derinlik (0–300 m) ve özdirenç aralığında sunulmuştur.



Şekil 12. 2B ters çözüm kesitlerinde izlenen başlıca yerelektrik süreksizlik eğilimlerinin çalışma alanındaki olası uzanımları. Sarı kesikli çizgiler bu çalışmada profiller arası korelasyonlardan yorumlanan yerelektrik süreksizlikleri, sarı sürekli çizgiler ise [26] tarafından önerilen bölgesel yapısal modeli göstermektedir.