1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences

https://www.iceans.org/ May 10-13, 2022, Konya, Turkey

Aydın-Magnesia antik kenti elektrik özdirenç tomografi verilerinin sonlu elemanlar yöntemiyle değerlendirilmesi

Elif KONDU[1*], Emre TİMUR [2]

[1,2]*Jeofizik Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye*

[*]*elifkondu92@hotmail.com*

Özet **–** Elektrik özdirenç yöntemi, arkeolojik çalışma alanında yapı ve ortamın özdirenç değerindeki zıtlıklarından faydalanarak duvarların, hendeklerin, mezarların, yolların, ana kaya derinliklerinin, bina temellerinin bulunmasına olanak sağlar. Litolojik birimlerin tortul ortamlarda ayrımlanması iki-boyutlu elektrik özdirenç tomografisinde var olan zorluklardan biridir. Net bir şekilde sınırların oluşturulması amacıyla geliştirilmiş çeşitli ters-çözüm yöntemleri mevcuttur fakat bu yöntemler sadece çözüme yakın bir başlangıç modeli sağlanabildiği takdirde başarıya ulaşmaktadır. Global arama yöntemleri aracılığıyla arama uzayında global minimum civarında bir noktaya varılır fakat duyarlı bir çözüm elde edilememektedir. Bu doğrultuda melez genetik algoritmalar yapı-tabanlı modellerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Yapı-tabanlı modellerin geometrik parametreleri yatay eksen boyunca yerleştirilen denetleme noktalarındaki kalınlıklardır. Bir birimin kontrol noktasındaki sıfır kalınlığı, birimin o kontrol noktasında bulunmadığını ifade eder. Yapı-tabanlı modellerin yanıtlarının hesaplanması için kullanılan yapısal olmayan sonlu-elemanlar ağı Delaunay üçgenleme yöntemi ile oluşturulmuştur. Yapılandırılmamış model ağının ölçüm süresini azalttığı ve bilinmeyen parametre sayısını birkaç onla sınırlaması sebebiyle önerilen parametreleştirme yöntemi, iki boyutlu doğru akım özdirenç problemi için genetik algoritmaları kullanılabilir hale getirir. İlk model oluşumunda rastgele çok sayıda model oluşturulur ve daha sonra biyolojik süreçlerin simülasyonu ile sonraki modellerde güncellenir. Bu çalışmada Magnesia arkeolojik kazı alanında şehir surlarının devamlılığının araştırılması amacı ile toplanan elektrik özdirenç tomografi verileri MATLAB tabanlı ELRIS2D [1] yazılımında değerlendirilerek modellerin yanıtlarının hesaplanma zamanı azaltılmıştır. Model gerçekleme işlemi genetik algoritma ve en-küçük kareler ters-çözüm yöntemlerinin melez kullanımıyla gerçekleştirilmiştir Ayrıca toplanan veriler EarthImager programı ile de değerlendirilip, her iki programdan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler – ELRIS2D, EarhtImager, yapı-tabanlı model, Magnesia, melez genetik algoritma,

I. GİRİŞ

Doğru akım özdirenç (DAÖ) üzerinde iyi çalışılmış bir jeofizik yöntemdir ve genellikle mühendislik ve sığ jeofizik problemlerini çözmek için kullanılır. Bu yöntem ile ölçüm cihazlarının mevcut durumu ile veriler çok hızlı bir şekilde toplanabilmektedir. Öte yandan, bu verilerin iki-boyutlu ters-çözümü, günümüz bilgisayar altyapısında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulanan diğer jeofizik yöntemlerle ortak olarak bu yöntemde de kısıtlı veri kullanarak yer içinin bir hacminde veya bir bölümünde fiziksel parametre değişimini belirli bir aralıkla ortaya çıkarmak için ayrıklaştırılması gerekmektedir.

Ayrıklaştırma, aynı zamanda bir ters-çözüm yöntemi aracılığıyla modelin çözülebilir parametreler kullanılarak tanımlanma işlemi şeklinde görülebilir. Doğru akım özdirenç yönteminde yer belirli sayıda küçük hücrelere bölünür ve iki-boyutlu yer modelleri parametreleştirilir. Ölçüm doğrultusuna dik yönde özdirencin değişmediği varsayıldığı için, x-z düzlemi, boyutları, düşey ve yatay yönlerde değişken

dikdörtgen elemanlara ayrılmaktadır. Diğer bir adı hücre tabanlı model parametreleştirmesi olan bu yöntemde ters çözüm işlemi boyunca hücrelerin konumları sabit kalır, atanan özdirenç değerleri ise tekrarlı olarak iyileştirilir ve son aşamada yer içine ait elektriksel yapıyı temsil ettiği kabul edilen bir kesit oluşturulur [2].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında Aydın ili Ortaklar Beldesi Tekinköy sınırları içinde bulunan Magnesia antik kazı alanında bulunan Gümüşçay üzerinde yüzeyde gözlemlenen sur yapısının devamlılığının kontrol amacı ile 43.5m uzunluğunda 3 m aralıkla 6 profil elektrik özdirenç tomografi ölçümleri alınmıştır. Elde edilen veriler, İki-boyutlu yer elektrik modellerinin parametrelerinin kestiriminde kullanılan genetik algoritmalar, genetik işleçler ve evrim kuramlarının çeşitli birleşimleri ile oluşturulmuş olan ELRIS2D yazılımı ile değerlendirilmiştir. Ayrıca veriler EartImager programıyla değerlendirilip her iki programdan elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

A. Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi, jeofizik yöntemler arasında en yaygın kullanılan ve en eski yöntemdir. Genellikle bu yöntemde bir kaynak (akü) ile yüzeyden yere iki akım elektrotundan akım verilir ve yeraltında meydana gelen potansiyeli, yüzeyde yer alan iki potansiyel elektrot ölçmektedir. Yeraltında var olan ortamların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki farklılıklardan (karstik şekiller, gömülü yapılar, su ve nem aktivitesi, tabakalanma, dom tahmini sayısı vb.) dolayı ölçülen potansiyel farkı değerleri oluşmaktadır.

Yeraltındaki materyallerde elektriksel yükün taşınma hareketi elektronik ve elektrolitik iletim olarak iki ana iletim şeklinde olmaktadır. Elektronik iletim, akım akışı serbest elektronlar yoluyla gerçekleşirken elektrolitik iletimde ise akım akışı iyonlar yoluyla gerçekleşir. Eğer bir kayaç çok az serbest elektrona sahip ise elektrik akımı dielektrik iletim ile gerçekleşmektedir. Kayaçlar doğal ortamda, sahip oldukları geçirgenlik ve gözeneklilik özelliklerine bağlı olarak geniş aralıkta özdirenç değerleri göstermektedir.

Elektrot sayılarının ve dizilişlerinin farklı olmasından kaynaklı elektrot dizilimi kavramı oluşmuştur. Literatürde birçok bilim insanının sınıfladığı birçok dizilim türü bulunmaktadır. Pratikte en yaygın olarak kullanılan dizilim türleri ise Wenner-alfa, Wenner-beta, Wenner-gama, Wenner-Schlumberger, pol-pol, pol-dipol ve dipol-dipol dizilimleridir.

Elektrotların yüzeydeki yerleşimi akımın yeraltına iletimini ve oluşturulan potansiyeli değiştirmektedir. Dolayısıyla dizilim geometrisi olarak da adlandırılan bu durum yüzeyde ölçülen görünür özdirenç değerini doğrudan etkilemektedir.[3] Bu durum dizilimin çözüm gücünü de değiştirir. Bu yöntem ile yürütülen araştırmalarda, hangi dizilimin kullanılacağı belirlenirken elektrot dizilimlerinin çözünürlük kapasitelerinin de gözetilmesi önemli bir etkendir. Geleneksel dizilimler farklı çözünürlük, sinyal-gürültü oranı, araştırmanın derinliği, yatay yönde veri kaplama alanı ve veri yoğunluğu özelliklerini içerir.

B. Ağ Tasarımı

İki boyutlu sonlu eleman ağları genellikle yeraltı birimleri arasında ara yüzlerin temsili için daha fazla esneklik sağlayan üçgen elemanlar kullanılarak oluşturulur. En yaygın olarak kullanılan sonlu eleman ağları, elemanların yerleşimi ve şekline göre "yapısal" ve "yapısal olmayan" olarak iki şekilde sınıflandırılır. Şekil 1.a, b, 2B modellemede ve doğru akım özdirenç (DAÖ) verilerinin ters çözümünde kullanılan yapısal ve yapısal olmayan üçgen ağ örneklerini göstermektedir [1].

Yapı tabanlı ağ tasarımı oluşumu, dikdörtgen (veya dörtgen) elemanların iki veya dört üçgen birime bölünmesine dayanırken (Şekil 1.b), yapısal olmayan ağ tasarımı üçgen kalitesi tarafından sınırlandırılan Delaunay üçgenleme kurallarına göre oluşturulur (Şekil 1.a). Rücker (2011), DAÖ modelleme ve ters çözümünde yapısal olmayan ağların kullanımını gözden geçirmiştir [4]. Diğerlerinin yanı sıra, yapısal olmayan bir ağ tasarımı kullanmanın ana avantajı, ağ boyutunu küçültüyor olabilmek ve böylece ileriye dönük hesaplamalarda kullanılan matrisleri yönetmektir. Ek olarak, model ağının veri duyarlılığının düşük olduğu bölümlerinde daha büyük boyutlu üçgenlerin kullanımına izin verirken, düzensiz ara

yüzleri ana hatlarıyla net bir şekilde belirtmek için esnek bir araçtır.

Şekil 1. a'da verilen yapısal olmayan ağ tasarımı, aynı modelin ayrıklaştırılması için tasarlanmış yapısal ağ tasarımındaki düğüm sayısının neredeyse yarısı kadar olan 363 düğümden oluşmaktadır. Yapısal ağı oluşturan üçgen sayısı, yapısal olmayan ağdan yaklaşık üç kat daha fazladır.[1] Yapısal olmayan ağ tasarımının yukarıda belirtilen avantajlarının yanı sıra, bilinmeyen bir yeraltı modelini parametreleştirmek için kullanıldığında bazı problemler ortaya çıkar. Örneğin, üçgenlerin oluşumu biraz düzensizdir, bu da ters çevrilmiş model bölümlerinde yıldız veya çiçek biçimindeki gövdelerin görünmesine neden olabilir. Bu durum özdirenç verileri yorumlanırken zorluklar oluşturmaktadır.

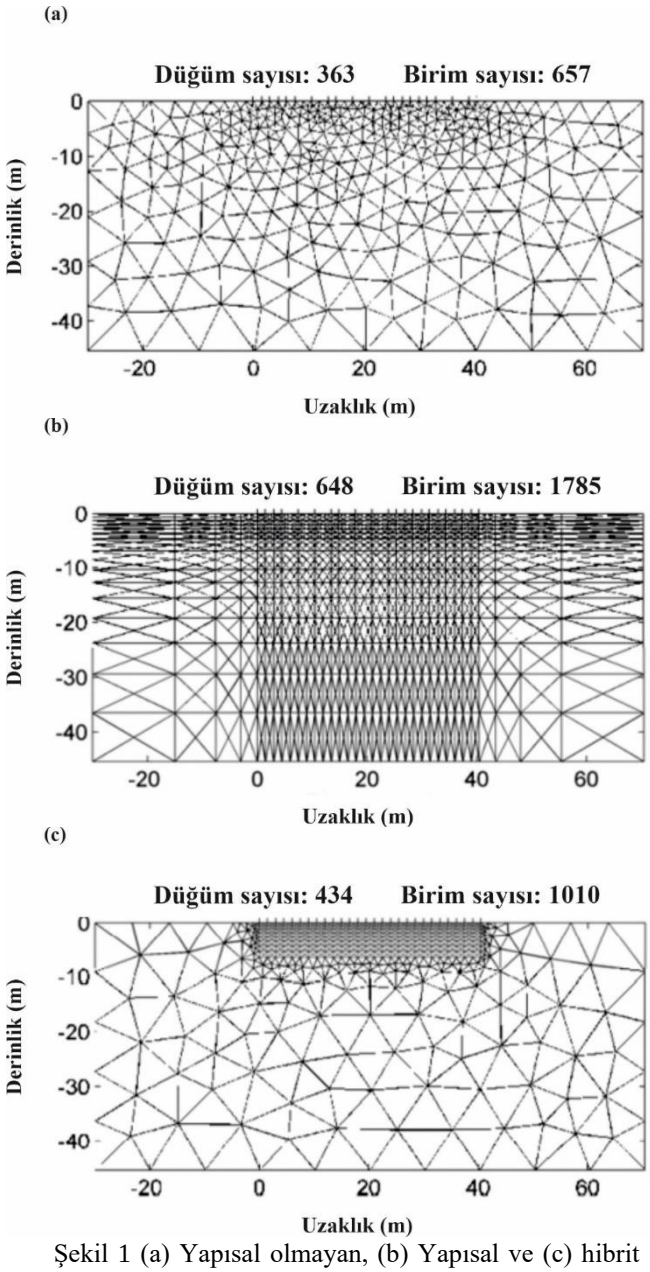
Model ve sonlu eleman ağ yapısının daha iyi anlaşılması için, yeraltının ayrıklaştırılmasıyla ilgili aşağıdaki temel hususları hatırlamak yardımcı olacaktır. Yeraltının ayrıklaştırılması iki şartın yerine getirilmesi için esastır:

(1) Belirli bir geometriye sahip bir fiziksel parametrenin yer altı dağılımını sunmak için kavramsal bir jeofizik model gereklidir.
(2) Sonlu elemanlar çözümü, sınırlı ve iyi ayrımlandırılmış bir alan gerektirir.

Tamamen yapısal veya yapısal olmayan ağlarda yukarıda listelenen iki gereksinimin karşılanması, ağ boyutunun gereksiz yere büyümesine neden olur (Şekil 1.a-b). Bu nedenle bazı araştırmacılar parametre ve hesaplama ağlarını birbirinden ayırmaktadır. Örneğin, Günther (2004) ve Rücker (2011), üç farklı yapısal olmayan ağın kullanıldığı, üçgenleme yöntemi, çözünürlüğe bağlı bir model parametreleştirmesinin düz çözüm hesaplamaları ile sonlu elemanlar kullanılarak hesaplanmasını önermiştir [5], [4]. Bu çalışmada, her iki ağ türünün avantajlarını kullanmak için yapısal ve yapısal olmayan sonlu eleman ağlarının bir kombinasyonunu temel alan ELRIS2D yazılımı kullanılmıştır.

Model ağı iki alt alana bölünmüştür. İlk alt alan, ölçülen verilerin model parametrelerini yüksek doğrulukla çözmek için yeterince hassas olan model bölgesini sınırlar. Model bölgesi, x yönündeki ilk ve son elektrot konumları ve z yönünde maksimum araştırma derinliği ile sınırlandırılmıştır [1].

Maksimum penetrasyon derinliği Edwards'a (1977) göre hesaplanır [6]. Ağın bu kısmı, düzenli olarak ayarlanmış dikdörtgenlerin üçgen elemanlara bölünmesiyle oluşturulur ve her dikdörtgen hücre, model parametresi gibi değerlendirilir. Diğer ağlar, sonlu elemanlar algoritmasının sayısal uygulamasında gereklidir ve boyutu üçgen elemanlar kullanılarak tasarlanmıştır. Bu üçgen elemanların boyutu ağın dış sınırlarına doğru genişlemektedir (Şekil 1.c). Bu, dikdörtgen model hücrelerin geleneksel düzenini koruyan yapısal bir ağ ile karşılaştırıldığında ağ boyutunun azalmasına yol açar.



Şekil 1 (a) Yapısal olmayan, (b) Yapısal ve (c) hibrit sonlu eleman ağları [1]

C. Model Parametreleştirme

Ters-çözüm yöntemi, ölçülen verinin içerdiği bilgilere dayanarak özel olarak tasarlanmış modellerin parametrelerinin tahmin edilmesidir. Bu işlem geleneksel jeofizik yorumlamada yeterli bir uyum yakalanana kadar yorumlayıcı tarafından sağlanan başlangıç parametrelerinin iteratif olarak iyileştirilmesiyle gerçekleştirilir. Veri farkları "genelleştirilmiş ters" adı verilen işleç aracılığıyla gerçek ön kestirim parametreleriyle parametre değerleri arasındaki farka dönüştürülür [7] Ön kestirim değerleri parametre düzeltme düzeyiyle birbirine eklenerek değeri hata enerjisi haritasında daha düşük bir noktaya taşınmaktadır [2].

DC özdirenç verilerinin tersine çevrilmesi, doğrusal olmayan ve kötü tasarlanmış bir problemdir. Kullanıcı tarafından sağlanan bir başlangıç modeli, yinelemeli bir süreçle güncellenir. Genellikle, ters çözümü stabilize etmek için bir tür model düzgünlük kısıtlaması gerekir. Model düzgünlük kısıtlamaları, anlamsız bir jeoelektrik kesite neden olabilecek özdirençlerde keskin değişiklikleri önlemek için komşu model parametrelerini (bitişik dikdörtgen hücrelerin özdirenci) birbirine bağlar. ELRIS2D yazılımında kullanılan ters çözüm rutini aşağıdaki denklemin çözümüne [11], [12], [13] dayanmaktadır.

$$\Delta \boldsymbol{m_i} = (\boldsymbol{J}^T \boldsymbol{W}_d^T \boldsymbol{W}_d \boldsymbol{J} + \lambda \boldsymbol{C})^{-1} (\boldsymbol{J}^T \boldsymbol{W}_d^T \boldsymbol{W}_d \Delta \mathbf{d} - \lambda \boldsymbol{C} \boldsymbol{m}_{i-1})$$

Burada, $\Delta \boldsymbol{m_i}$; model düzeltme vektörü, **J;** Jakobiyen matris, λ; düzenleme parametresi, $\Delta \mathbf{d}$; veri tutarsızlık vektörü, $\boldsymbol{i}$; iterasyon sayısı, $\boldsymbol{W}_d$; veri ağırlıklandırma matrisi ve $\boldsymbol{C}$; beş noktalı sonlu fark Laplacian'dır. Veri ağırlıklandırma matrisi verilen biçimdedir:

$$\boldsymbol{W}_d = diag(\frac{1}{\varepsilon_i})$$

Burada ε_i mevcudiyet durumunda ölçümlerin bireysel standart sapmasını belirtir. Aksi takdirde, veri ağırlık matrisi şu şekilde hesaplanır:

$$\boldsymbol{W}_d = diag(\frac{1}{\sqrt[4]{\boldsymbol{\rho}_{app}}})$$

Veri ağırlıklandırma prosedürü, aşırı okumaların ters çözüme etkisini azaltmayı amaçlar. Sönüm faktörünün başlangıç $\boldsymbol{\lambda}$ değeri, görünen özdirençlerin logaritmalarının standart sapmasına dayanır ve 0.01'den büyük ise her yinelemeden sonra yarıya indirilir. Jacobian matrisi (J), $\boldsymbol{K \times v = s}$ denkleminde hücre iletkenliklerine göre diferansiyelleri alınarak hesaplandı:

$$\boldsymbol{K} \frac{\partial v}{\partial \boldsymbol{\sigma_i}} = -\frac{\partial \boldsymbol{K}}{\partial \boldsymbol{\sigma_i}} \boldsymbol{v}$$

Yukarıdaki denklemde [14],[15],[16] sadece hücre iletkenliklerine göre potansiyellerin kısmi türevleri bilinmiyor. $\boldsymbol{K}$ ve $\boldsymbol{v}$ ileri çözüm sırasında zaten üretilir. Model parametrelerine göre katılık matrisinin kısmi türevi, ilgili iletkenliklere 1 ve diğerlerine 0 atanarak kolayca hesaplanabilir. İlk durumda tüm iletkenlikler 1 olarak atanır ve sonuç $\boldsymbol{K_1}$ olarak saklanır. Bu nedenle, belirli bir parametreye göre türevini hesaplamak için bir parametre bloğu içindeki üçgenlerle ilgili $\boldsymbol{K_1}$ değerlerini seçmek yeterlidir. Bu, ağ oluşturma sırasında parametrelerle ilişkilendiren bir üçgen indeksi oluşturarak kolayca uygulanır. Yukarıda verilen denklem daha sonra $\boldsymbol{Ax} = \boldsymbol{b}$ şeklinde lineer bir denklem sistemi olarak ele alınabilir ve her model parametresi için çözülmesi gerekir. Her yineleme için Jacobian matrisi hesaplanır.

Model parametrelerine hesaplanan düzeltmeler eklenerek güncellenmiş bir model elde edilir. Yeni model, tepkisi ölçülen verilerle karşılaştırarak doğrulanır. Veri uygunluğu, şu şekilde tanımlanan RMS ile ölçülür:

$$RMS = \sqrt{\frac{(\boldsymbol{W}_d \Delta \mathbf{d})^{\boldsymbol{T}} (\boldsymbol{W}_d \Delta \mathbf{d})}{N}}$$

$\boldsymbol{N}$, veri sayısıdır ve üst simge $\boldsymbol{T}$, matris tersini belirtir. Verilen uyumsuzluk fonksiyonu, ters çözüm rutini tarafından minimize edilecek hata fonksiyonudur.

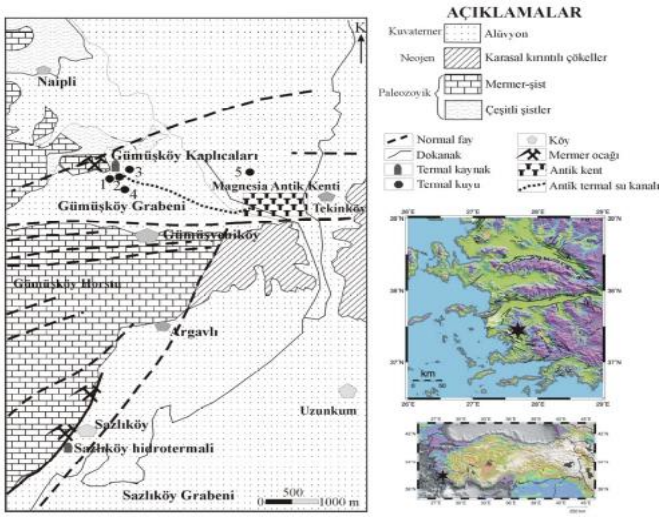
D. Magnesia Arkeolojik Alanı ve Jeolojik Özellikleri

Magnetler adı verilen bir kavim tarafından kurulan Magnesia antk kenti yaklaşık 1.5 km. çapında bir alanı kapsamakta olup kent suru ile çevrili bir haldedir. Izgara planlı cadde ve sokak sistemine sahip bir kent olan Magnesia; Priene, Tralleis ve Ephesos üçgeni arasında da ticari ve stratejik açıdan önemli bir konumdadır. İnsan kaynaklı fazla yıkım ve tahribata uğramamış bir kenttir. Bu durumun oluşmasında nehir taşmalarının ve Gümüş Dağı'ndan inen yağmur sularının getirdiği mil tabakasının kenti örtmesinin rolü

yüksektir. M.S. 17'de geçirdiği yıkıcı bir deprem sebebiyle epeyce zarar görmüştür [8].

Jeolojik olarak, bölgede temeli paleozoik yaşlı Menderes masifi metamorfikleri bulunmaktadır. Bunlar Büyük Menderes çöküntüsünün dışında kalan yükselim bölgelerinde geniş yüzlekler vermektedirler (Şekil 2). Metamorfikler; mermer, çeşitli şistler, gnays, kuvarsit ve serpantinitten oluşmaktadır [9]. Çalışma yürütülen arkeolojik bölge sel sularının taşıdığı ince silt tabakalarıyla örtülmüş durumdadır. Bölgede Akdeniz iklimi hakimdir. Kış yağmurları bölgeden kaçamadığı için Artemis Kutsal Alanı ve Anıt Giriş Alanı (Propylon) yılın 7-8 ayı sular altında kalmaktadır.

Çalışma alanı güncel alüvyon birimleri içerisinde yer almakta ve alüvyon ağırlıklı olarak silt ve ince taneli kum birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 2). Bu birimlerin özdirençleri çevre birimlere göre düşük özdirençli olup, özdirenç değerleri 15 ile 30 ohm.metre arasında değişim göstermektedir. Yer altı su seviyesinin etkisinde ise bu değerler daha da düşmektedir. Aranan olası yapının alüvyon ortam içinde gömülü, olasılıkla traverten veya mermerden yapılmış bir sur yapısı olması nedeniyle, çevresine göre, yüksek elektrik özdirenç göstermesi beklenmektedir.

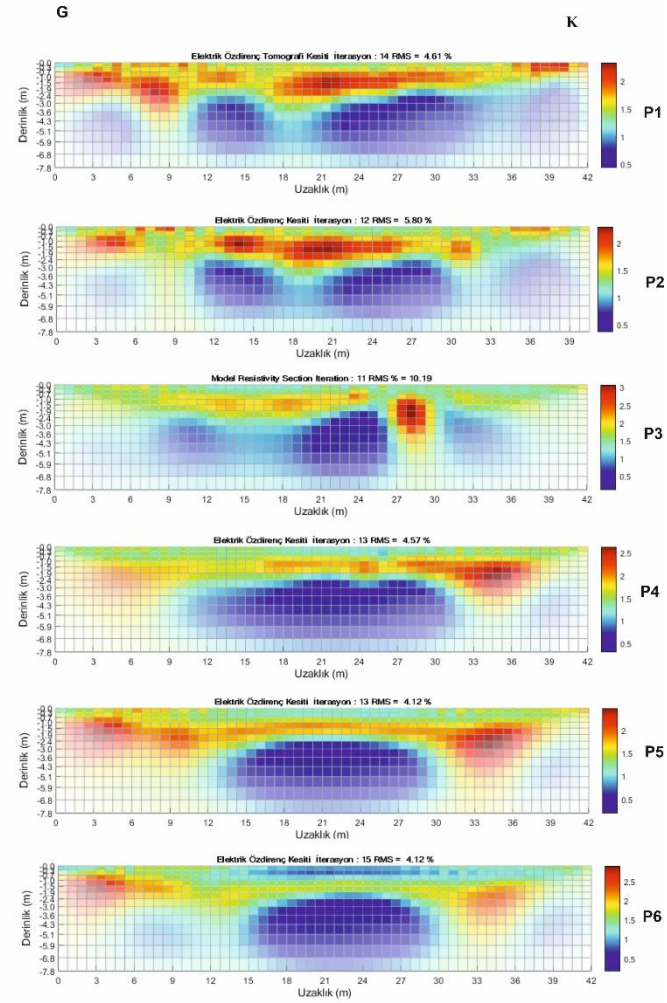


Şekil 2 Magnesia arkeolojik alanının konumu ve jeolojisi [10]

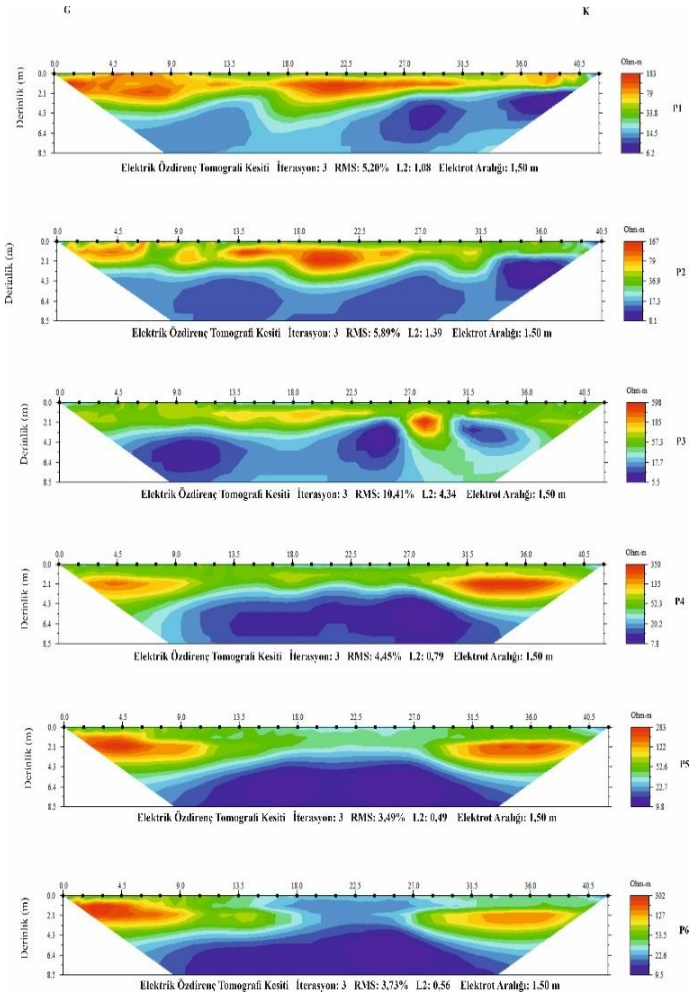
III. BULGULAR

Çalışma alanından toplanan 6 adet elektrik özdirenç tomografi verileri ELRIS2D yazılımı ile değerlendirilmiş olup, yazılım ile üretilen elektrik özdirenç tomografi kesitleri şekil 3'te gösterilmiştir.

Ayrıca toplanan veriler ticari amaçlarla oluşturulan ve dünya genelinde elektrik özdirenç verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan EarthImager programı ile de değerlendirilmiş, program tarafından üretilen elektrik özdirenç tomografi kesitleri şekil 4 'te gösterilmiştir.



Şekil 3 ELRIS2D yazılımı ile değerlendirilmiş 6 profil elektrik özdirenç tomografi kesitleri



Şekil 4 EarthImager programı ile değerlendirilmiş 6 profil elektrik özdirenç tomografi kesitleri

Profi-1 için ELRIS2D yazılımıyla oluşturulan kesit incelendiğinde ağırlıklı olarak düşük özdirenç değerlerinden oluştuğu görülmektedir. Yüzeye yakın kısımlarda ise yüksek özdirençli değerler görülmektedir. Kesitte yüksek özdirençli yapılar profilin 3, 7, 21 ve 39 metreler arasında yer aldığı görülmektedir.

Profil-2 için ELRIS2D yazılımıyla elde edilen kesit incelendiğinde gözlemlenen en belirgin anomali 12-26 metrelerde yer alan yaklaşık 3 metre derinliğindeki yüksek özdirençli yapıdır.

Profil-3'ün ELRIS2D yazılımı ile değerlendirilmesi sonucu elde özdirenç kesiti incelendiğinde kesitteki en önemli anomali 28 metrede yüksek özdirenç değeri ile gözlemlenen 3 metre derinliğindeki kapanımdır

Profil-1 için EarthImager programı ile değerlendirilmiş kesit incelendiğinde benzer şekilde ağırlıklı olarak düşük özdirenç değerlerinden oluştuğu görülmektedir. Kesitte yüksek özdirençli yapılar profilin 3, 6 ve 21 metreler arasında yer aldığı görülmektedir

Profil-2 için ErathImager programı ile elde edilen kesit incelendiğinde ELRIS2D ile üretilen kesitle yaklaşık olarak benzer sonuçları görmekteyiz.

Profil-3'ün EarthImager programı ile değerlendirilmiş kesit incelendiğinde. kesitte en belirgin anomali 28 metrede yaklaşık 3 metre derinliğindeki kapanımdır

Profil-4'ün ErathImager programı ile elde edilen kesit incelendiğinde en belirgin anomali 3-6 ve 29-38 metreler arasında yer alan yaklaşık 2 metre derinlikte yer alan yüksek özdirençli kapanımlardır. Bunun yanı sıra ELRIS2D yazılımıyla elde edilen

Profil-4'ün ELRIS2D yazılımı değerlendirilmesi sonucu elde edilen kesitte gözlemlenen en belirgin anomali 3-7 ve 27-37 metreler arasında yer alan yaklaşık 3 metre derinlikte yer alan yüksek özdirençli kapanımlardır. Bu kapanımların geniş olması anomalinin önemli olabileceğini göstermektedir. Bunun yanı sıra 18-25 metreler arasında yer alan yaklaşık 1.5 metre derinliğindeki yüksek özdirenç değerli kapanım dikkat çekmektedir

Profil-5'in ELRİS2D yazılımı ile değerlendirilmesi neticesinde elde edilen kesit incelendiğinde en belirgin anomali 3-10 ve 31-37 metreler arasında yer almaktadır.

Profil-6'nın ELRİS2D yazılımı ile değerlendirilmesi neticesinde elde edilen özdirenç kesitleri incelendiğinde Profil-5'te gözlenen yapıların devamlılığı görülmektedir. Ayrıca 15-30 metreler arasında düşük özdirençli değerler varlığını göstermiştir

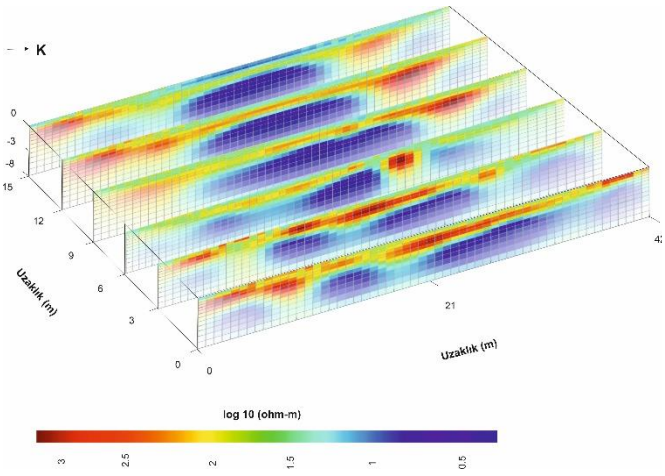
18-25 metrelerinde bulunan kapanım EarthImager ile gözlenememiştir.

Profil-5'in ErathImager programı ile elde edilen kesit incelendiğinde benzer şekilde en belirgin olay 2-6 ve 29-38 metreler arasında yer alan yüksek özdirençli anomalilerdir

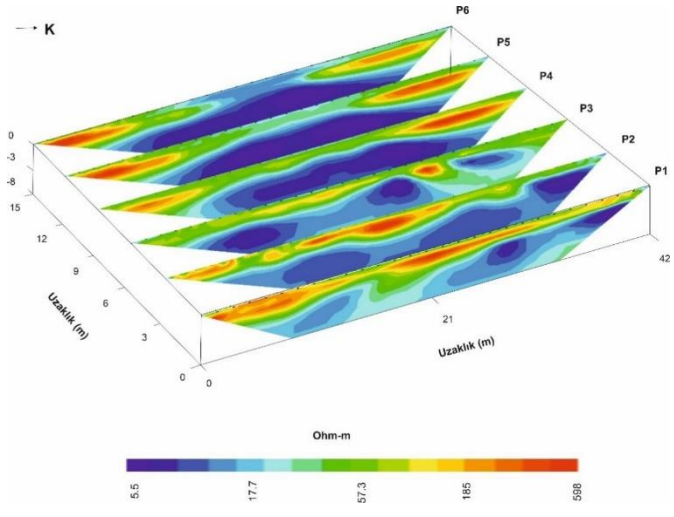
Profil-6 için EartImager programı ile elde edilen kesit incelendiğinde Profil-5'te gözlemlenen 3-6 ve 29-38 metreler arasında ve yaklaşık 2 metre derinlikte yer alan yapıların devamlılığı söz konusudur. Ayrıca 15-30 metreler arasında yüzeye ulaşan düşük özdirençli değerler gözlenmişir.

IV. TARTIŞMA

Her iki program ile üretilen birbirine paralel olarak alınmış 6 profil özdirenç tomografi kesitleri (Şekil 5 ve şekil 6) bir arada incelendiğinde yüksek özdirençli bölgelerin olası sur yapısı olduğu ve K-G yönünde devamlılık gösterdiği düşünülmektedir. Bazı profillerde yüksek özdirenç değerleri içeren küçük kapanımların varlığı saçılmış şekilde yer alsa da anomalinin genel yapısı ana hatları ile görülmektedir. Bu saçılımların olası nedeninin, ana yapıdan kopmuş veya ayrılmış malzemelerin etkisi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5 ELRIS2D ile değerlendirilmiş elektrik özdirenç tomografi kesitlerinin 3B görüntüsü



Şekil 6 EarthImager ile değerlendirilmiş elektrik özdirenç tomografi kesitlerinin 3B görüntüsü

V. SONUÇLAR

Genel olarak elde edilen kesitler incelendiğinde ELRIS2D yazılımı ticari amaçlarla oluşturulan EarthImager programı ile önemli derecede benzer kesitler üretip, güvenirliliğini kanıtlamıştır. Kesitlere bakıldığında yüksek özdirençli bölgelerin olası sur yapıları olduğu beklenmektedir. Fakat en güvenilir sonuç için bu bölgelerde kazı çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın veri toplama aşamasında kıymetli bilgi, tecrübe ve zamanını paylaşan, destek ve yardımlarını esirgemeyen Zülfikar ERHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

[1] Akça, İ. 2016. Elris2D: A Matlab Package fort the 2D Inversion of DC Resistivity/IP Data, 3 s.

[2] Akça, İ. 2010. Melez Genetik Alagortimalar ile Yapı Tabanlı Model Gerçekleme. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

[3] Berge, M. A., İki-Boyutlu Özdirenç Ters Çözüm Modellemesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir,2005.

[4] Rücker, C. (2011), Advanced electrical resistivity modelling and inversion using unstructured discretization, Ph.D. Thesis, Leipzig University, Germany

[5] Günther, T. (2004), Inversion methods and resolution analysis for the 2D/3D reconstruction of resistivity structures from DC measurements, Ph.D. Thesis, Technische Universitaet Bergakademie, Freiberg, Germany.

[6] Edwards, L.S. (1977), A modified pseudosection for resistivity and IP, Geophysics 42, 5, 1020-1036, DOI: 10.1190/1.1440762. *FLEXChip Signal Processor (MC68175/D)*, Motorola, 1996.

[7] "Akça, İ. and Başokur, A.T. 2010. Extraction of structure-based geoelectrical models by hybrid genetic algorithms. Geophysics, 75 (1); F15-F22.

[8] Bingöl, O. (2005). Menderes Magnesiası/Magnesia on the Meander: Theatron. İstanbul: Homer Yayınları.

[9] Tarcan, G. ve Gemici, Ü. (2003).Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, İzmir, Turkey. J. Volcanol.Geotherm. Res. 126, 225–242

[10] Timur, E. (2009). Manyetik ve Elektromanyetik Verilerinin Birleşik Ters Çözümü. (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

[11] Loke, M.H. (2014), Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, http://www. geotomosoft.com/coursenotes.zip.

[12] Wolke, R., and H. Schwetlick (1988), Iteratively reweighted least squares: algorithms, convergence analysis, and numerical comparisons, SIAM J. Sci. Stat. Comput. 9, 5, 907-921, DOI: 10.1137/0909062

[13] Farquharson, C.G., and D.W. Oldenburg (1998), Non-linear inversion using general measures of data misfit and model structure, Geophys. J. Int. 134, 1, 213- 227, DOI: 10.1046/j.1365-246x.1998.00555.x.

[14] Tripp, A.C., G.W. Hohmann and C.M. Swift (1984), Two-dimensional resistivity inversion, Geophysics 49, 10, 1708-1717, DOI: 10.1190/1.1441578.

[15] Sasaki, Y. (1994), 3-D resistivity inversion using the finite-element method, Geophysics 59, 12, 1839-1848, DOI: 10.1190/1.144357

[16] Spitzer, K. (1998), The three-dimensional DC sensitivity for surface and subsurface sources, Geophys. J. Int. 134, 3, 736-746, DOI: 10.1046/j.1365-246x.1998. 00592.x.