

1. Giriş

Multikanal elektrot yöntemi ile sahadaki jeolojik yapıya göre mermerin derinlikleri, yanal yöndeki sınırları ve çatlaklı/masif yapısı ortaya çıkartılabilmekte ve yerleri kısa sürede belirlenip, istenilen amaca yön verilebilmektedir.

Rezistivite (özdirenç) Elektrik yöntemler, yer içindeki farklı materyallerin, elektriği farklı iletibilme özelliklerinden yararlanarak, yerlerinin ve geometrilerinin saptanması esasına dayanır.

Bu çalışma, Denizli İli, Honaz İlçesi, Kocabaş Köyü yakınlarında Antiktaş Madencilğe ait sahadaki traverten sınırlarının ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, arazi şartlarına uygun 3 profil boyunca elektrik tomografi ölçümleri yapılmıştır.

2.2.1. Toprağın Elektriksel Özellikleri

Toprağın akım iletimi elektrolitik bir olaydır ve içerikteki nem bu olayı etkiler. Toprak çeşitlerindeki direnci etkileyen faktörler böyle açıklanabilir:

2.2.1.1. Toprağın Nem İçeriği

Arkeolojik çalışmalarda yeraltının sığ derinlikleri araştırıldığı için toprağın nem içeriği önemlidir. Genellikle arkeolojik yerleşim alanları akarsu yakınlarına kurulduklarından araştırma alanlarının yeraltı su seviyesi yüksektir. Bu konuda bölgenin yağış durumu da önemli faktördür. Uzun süre yağış almayan yerlerde yeraltı su seviyesi düşeceğinden özdirenç yüksek olacaktır. Ayrıca, uzun süre yağış almayan bir bölge yakın zaman içerisinde güçlü bir yağış almışsa, nem yüzeyde kalacağından elektrotlara kısa devre yaptıracığından ölçüm sonuçlarını etkileyip yanlış sonuçlara varılmasına neden olabilir.

2.2.1.2. Geçirgenlik (Permeability)

Bir toprağın yüksek oranda nem içeriğine sahip olması, akımın çok iyi akması için yeterli değildir. Toprağın su tutabilmesi gözenekliliği ile doğru orantılıdır. Böylece, gözeneklilik ile geçirgenlik arasındaki ilişki yardımıyla akımın iletimindeki geçirgenliğin de önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber toprağın içindeki bitki kökleri ve toprak türü de geçirgenlik üzerinde etkilidir.

2.2.1.3. İyon İçeriği

Toprakta çözünmüş durumda bulunan çeşitli tuzların elektrik iletimine etkisi büyüktür. Topraktaki iyon durumunu, jeolojik yapı, yağmur suyu, modern tarımsal gübreleme ve çeşitli kültürel işlemler etkiler.

2.2.1.4. Isı

Özdirenci etkileyen bir başka olay da, toprağın ısısındaki değişimlerdir. Bu konuda Hesse (1966) tarafından yapılan ayrıntılı bir çalışma özdirencin topraktaki ısı değişikliklerinden etkilendiğini ortaya koymuştur. Hesse, bu çalışmasında her 1°C' deki artışın özdirenç üzerindeki yaklaşık %2'lik bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Bir çok araştırma belirli sıcaklıklar altında yapıldığından, ısının arkeolojik yapılar üzerinde çok etkili olmayacağını söyleyebiliriz [2].

2.2.2. Ölçümleri Etkileyen Faktörler

En sade anlatımıyla özdirenç yöntemi; iki farklı noktadan yere çakılan iki metal çubuk yoluyla yeraltına gönderilen elektrik akımının, yeraltında oluşturduğu gerilimin diğer iki farklı noktaya çakılan iki metal çubuk yoluyla ölçme işlemidir. Bu ölçme işlemini etkileyen bazı faktörler vardır:

2.2.2.1. Değme Gerilimleri

Ölçme esnasında elektrotlarla yer arasında, kimyasal özelliklere bağlı olarak, küçük oranlarda doğru akım gerilimleri ölçülür. Elektrot değişimleri sırasında değme gerilimleri arasında farklılıklar olacaktır. Tuzluluğun ve nemin yüksek değerlerde olduğu yerlerde bu farklar yapının etkisini örtebilir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için dalgalı bir akım kaynağı kullanılmasında fayda vardır.

2.2.2.2. Değme Direnci

Arkeolojik alanların toprak örtüleri çoğunlukla bozulmuş yapıdadır. Taşlar, bitki kökleri, tarımsal uygulamalar gibi etkenler bir noktadaki toprakla elektrot arasındaki direncin diğer bir noktadakinden farklı olmasına neden olabilir. Bu etkiyi gidermek için toprak sulanabilir ancak bu durumda da suyun derecesine bağlı olarak direnç değerlerinde farklılıklar olabilir.

2.2.2.3. Elektrot Uçlaşması

Ölçümlerde doğru akım kullanılması durumunda elektrotlar arasında elektrokimyasal uçlaşma olabilir ve bu da elektroliz benzeri bir olay yaratır. Bu durumda elektrotlar üzerinde zamanla yük birikmesi olur ve ölçülen direnç zamanla artar. Bu etkiden kurtulmak için alternatif akım kaynağı tercih edilmelidir.

2.2.2.4. Doğal Akımlar

Yer manyetik alanının geçici değişimlerine bağlı olarak indüklenmiş veya tellürik akımlar gibi doğal kaynaklı akımlar vardır. Bu tür akımlar çok geniş uzanıma sahip olabilirler ve dünyanın hemen her yerinde görülürler. Nadiren de olsa bunlar, ölçümlerde aranılan yapının etkisini örtecek büyüklükte olabilir. Bu tür gürültülerin büyüklüğü, akım yoğunluğuna, yerin öz direncine,

elektrotlar arası mesafeye ve elektrotların doğrultularına bağlıdır. Arkeolojik araştırmalarda, sığ derinlikler incelendiğinden elektrot aralıkları kısa tutulur ve bu sayede gürültüler de küçülür. Ancak tamamen yok edilmek istenirse yine dalgalı akım kullanmak yeterli olacaktır.

2.2.2.5. Yapay Akımlar

Araştırma sahasına yakın yerlerdeki elektrikli demiryolları, elektrik hatları, madenler ve insan yapısı çeşitli elektrik kaynakları yeryüzünde bir akıma neden olur ve kendiliğinden uğlaşmalar meydana gelir. Profil seçiminde bunlara dikkat etmek gerekmektedir. Ancak alternatif profil olasılığı yoksa dalgalı akım kullanmak faydalı olur.

2. Özdirenç Tomografi Yöntemi

Özdirenç, bir materyalin elektrik iletkenliğini gösteren öz iletkenliğin tersidir ve birimi ohm-m dir. Özdirenç yöntemleri; yere verilen yapay bir akımın, yer altında yarattığı elektrik alanın oluşturduğu potansiyelini ölçerek, potansiyel-akım şiddeti bağıntısından (Ohm Yasası) yeraltındaki katmanların özdirenç ve kalınlık değerlerinin hesaplanması prensibine dayanır.

$$V = R \cdot I$$

$$\rho_a = k (V / I)$$

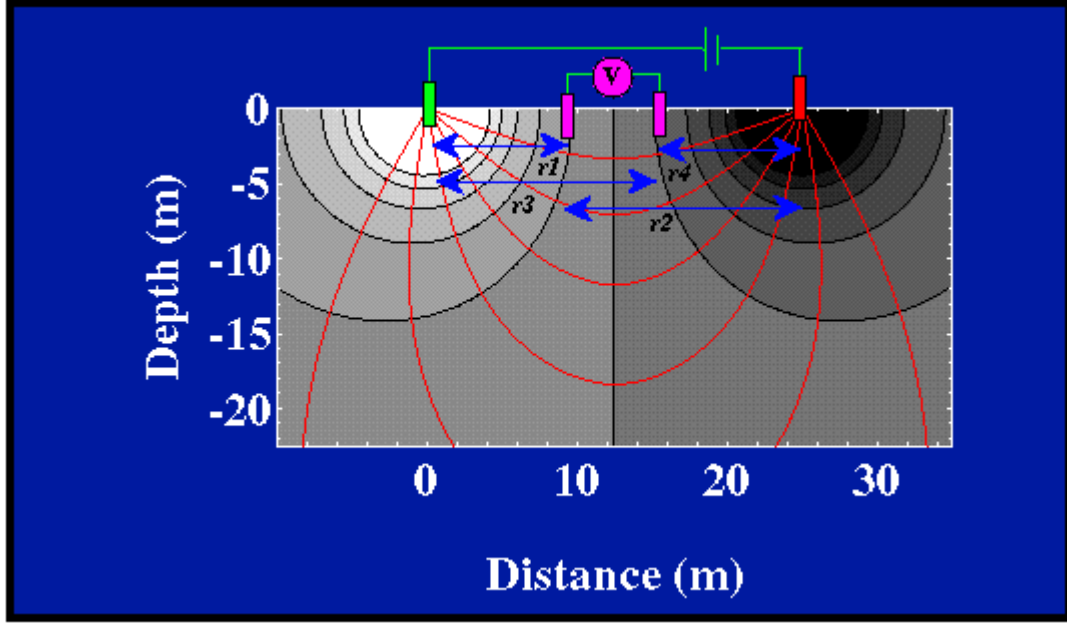
R= Direnç

k = Geometrik Faktör (Elektrot dizilim tekniğine göre değişir)

V = Ölçülen potansiyel farkı (mV)

I = Yere verilen akım (mA)

ρ_a = Görünür özdirenç (rezistivite, ohm-m)



Şekil-2.1: Özdirenç Yönteminin Bir Uygulama Şeması (Çağlar)

Bu yöntemle, yeraltındaki kayaçların özdirençlerine bağımlı olan görünür özdirenç belirlenerek, yer içinin jeolojik yapısı elektrik (özdirenç) özelliğine göre haritalanır. Yöntem, maden, petrol, su, jeotermal, arkeolojik aramalar ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılır (Candansayar).

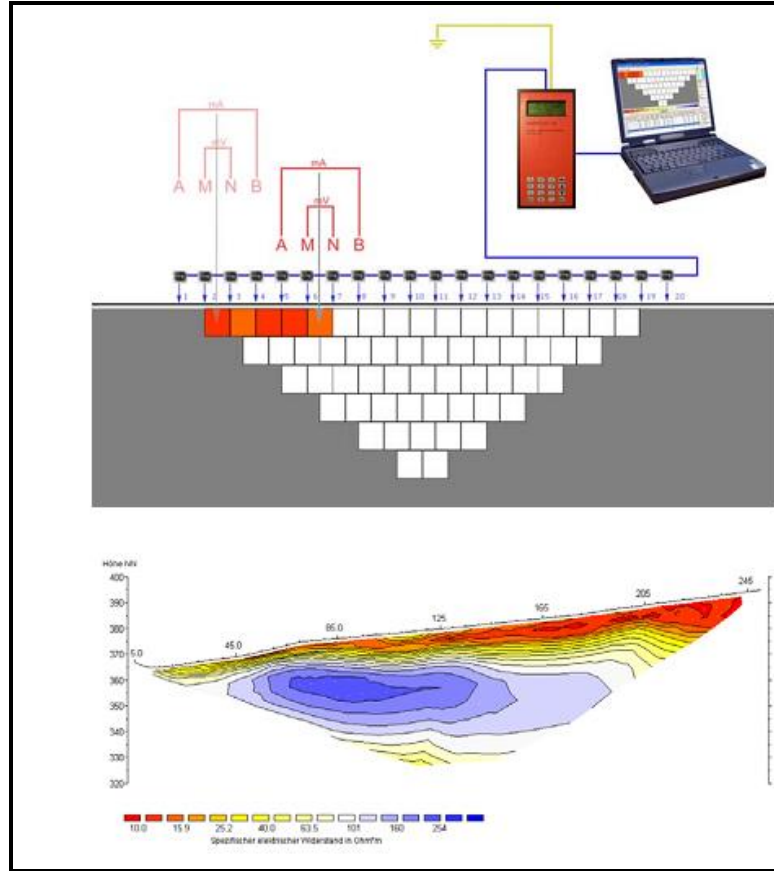
Boşluklar, çatlaklı yapılar içerisinde buldukları ortamdaki daha yüksek özdirenç gösterirler. Bu tür jeolojik birimlerin yüksek özdirenç değerlerine sahip olması, bunların aranmasında jeofizik özdirenç yönteminin kullanımını olanaklı kılar (B

Kayaçlar	
Konglomeralar	$2 \times 10^3 - 10^4$
Kumtaşları	$1 - 6.4 \times 10^8$
Kireçtaşları	$50 - 10^7$
Dolomit	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Marn	3-70
Killer	1-100
Alüvyon ve kumlar	10-800
Petrol kumları	4-800
Granit	$3 \times 10^2 - 10^6$
Diyorit	$10^2 - 10^6$
Andezit	$20 - 5 \times 10^7$
Diyabaz	$20 - 5 \times 10^7$
Gabro	$10^3 - 10^6$
Bazalt	$10 - 10^7$

Gnays	$7 \times 10^4 - 3 \times 10^6$
Mermer	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Kuarsit	$10 - 2 \times 10^8$
Şeyl	$20 - 2 \times 10^3$
Anhidrit	10^9

aşokur, 1999).

Özdirenç yönteminin, **mermer** alanlardaki en fazla uygulanan şekli, tomografi ölçüleridir. Aşağıda, bu yöntemle ilgili örnek bir çözümlenme yer almaktadır.



Şekil-2.2: Elektrik Tomografi Uygulaması Örneği

2. Çoklu Elektrot Düzenegi

Özdirenç ölçülerinde, Kanada Mc Phar tipi, Geotronic marka alet kullanılmıştır (Şekil 2.6). Bu alet üç bölümden oluşmuştur. Güç kaynağı (Power supply), verici (Transmitter) ve alıcı (Receiver).

Güç kaynağı, 60 Ah kapasiteli 12 volt bir aküdür. İstenildiğinde 450 volt kapasiteli bir pil devresi de kullanılabilir. Akü kullanıldığında, bir invertör aracılığıyla, aküden alınan akım 450 volta kadar yükseltilebilmektedir.

Verici, aküden aldığı akımı seçilen frekansta kare dalgaya çevirerek yeryüzüne uygular. Uygulanan akımın şiddeti, verici üzerindeki bir mili ampermetreden okunabilmektedir. Uygulama frekansları 0.25, 0.5, 1, 2 ve 4 CPS Herz dir.

Alıcı, verici ile aynı frekanslara ayarlanabilen 0.001 mVolt duyarlıklı bir voltmetredir. Bu nedenle, yalnız vericinin yerde oluşturduğu gerilimi ölçer.

Ölçülerde, akım ve gerilim elektrotu olarak daire kesitli krom çelik alaşımlı çubuklar, kablo olarak ise çok kanallı (30) 2 adet tomografi kablosu kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Özdirenç Tomografi Aleti (uygulama sırasında)

3. Özdirenç Tomografi Arazi Uygulaması

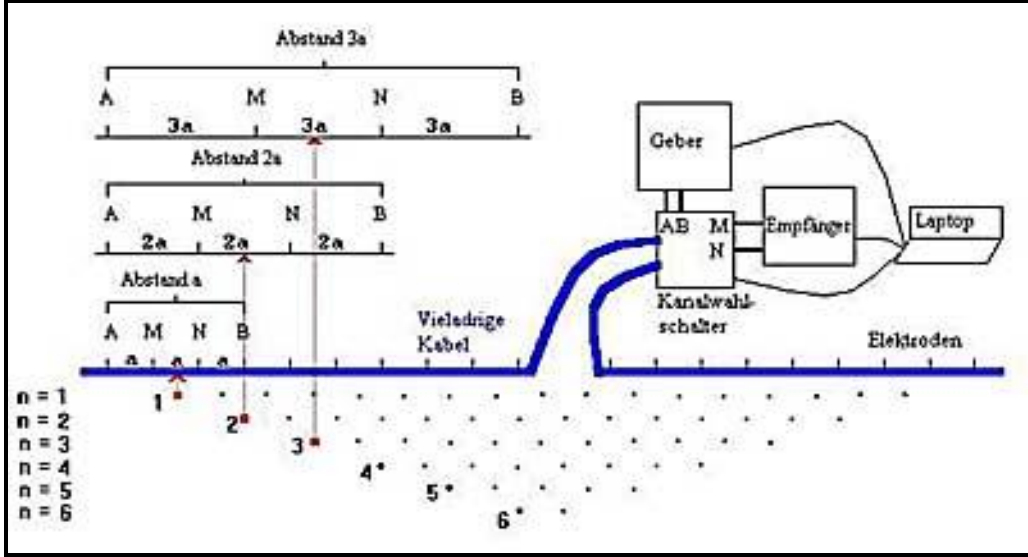
Çok elektrotlu özdirenç aleti ile etüt alanı içerisinde 3 ve 4 metre aralıklarla oluşturulan ortalama 120-160 metre uzunluklu toplam 3 adet profil (kesit) üzerinde wenner-schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak, her tomografi ölçüsü için yaklaşık 385 adet data alınmıştır.

Profillerden ikisi birbirlerine yaklaşık paralel ve doğu-batı yönlü, üçüncü ölçü ise bu iki profile dik yönde ne kuzey güney doğrultulu alınmıştır. Profil yerleri ve koordinatları aşağıdaki lokasyon haritasında ayrıntılı verilmiştir. Şekil 2.4.ve 2.5.

Profil no	başlangıç	orta	son
1	35 S 0706129 / 4189204	35 S 0706072 / 4189187	35 S 0706013 / 4189172
2	35 S 0706144 / 4189282		35 S 0705986 / 4189242
3	35 S 0706081 / 4189322	35 S 0706071 / 4189260	35 S 0706065 / 4189170



Şekil 2.5. Lokasyon Haritası



Şekil 2.6. Özdirenç Tomografi Uygulama Şeması

4. Özdirenç Tomografi Verilerinin Yorumu

Çalışma, çoklu elektrot (40 elektrot) sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm şekli özdirenç tomografi yöntemi olarak adlandırılır.

Arazi çalışması sonucunda elde edilen verileri değerlendirmek için bu çalışma kapsamında İki boyutlu bir modelleme programı olan "Res2Dinv" kullanılmıştır.

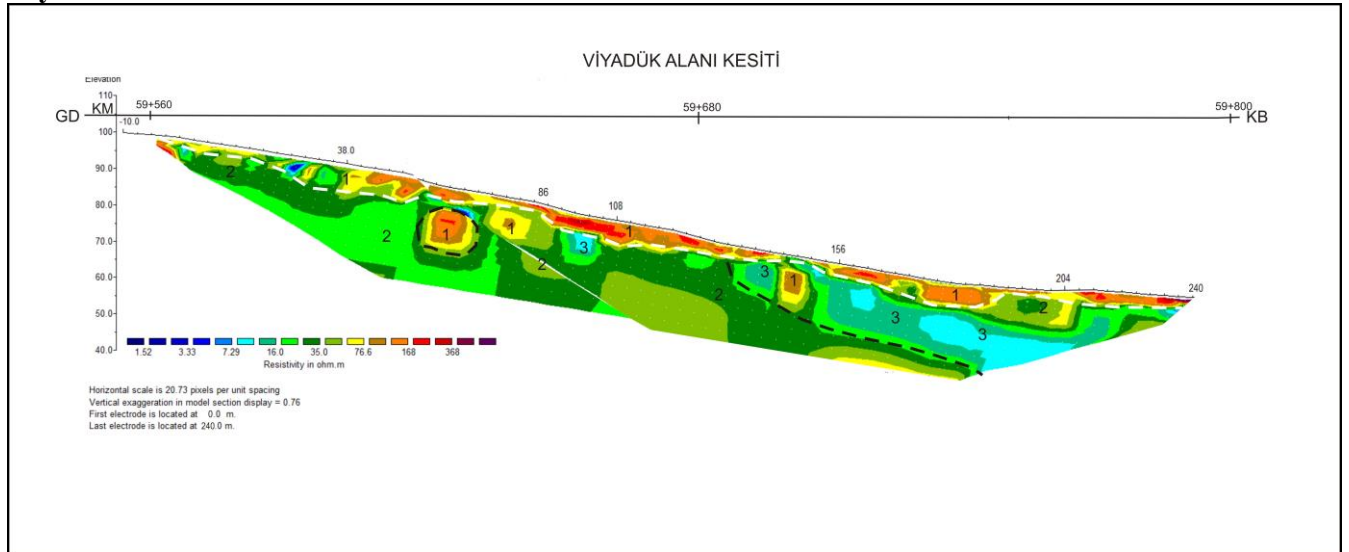
Bu program tarafından iki boyutlu model yeryüzünü birçok dikdörtgen bloklara böler. Programın amacı; arazi ölçüleriyle uyumlu, görünür özdirenç değeri verecek dikdörtgen blokların doğru özdirencini tanımlamaktır. Program; Wenner, Dipol-dipol, Pole-pole, Pole-dipol vs. gibi klasik dizilim türleriyle alınan ölçüleri değerlendirip, çeşitli ters çözüm teknikleriyle sonuç modellerini oluşturabilmeyi sağlamaktadır.

Bu çalışmada veriler değerlendirilirken "En Küçük Kareler" ters çözüm yöntemi kullanılmıştır. Veriler üçlü-beşli iterasyona sokulmuş; ölçülen, hesaplanan görünür özdirenç kesitleri ve doğru özdirenç model sonuçları hata oranları ile birlikte elde edilmiştir.

Yer-Elektrik Kesiti ve Yapma-Kesit, kesit boyunca ölçülen derinliklere ait resistivite değerlerinin yerlerine yazılıp konturlanması ya da bu değerlere göre renklendirilmesiyle elde edilmiştir. Profil uzunluğunun düşey düzlemindeki öz direnç değişimini gösterirler. Bu kesitler, katmanların doğrultu ve eğimleri, süreksizlikler, boşluk, blok, birimlerin tuzlanma vb. yeraltı yapılarının belirlenmesini sağlarlar. 2-B Ters Çözüm ise yeni bir veri işlem tekniğidir. Olası yapının konumu, derinliği ve boyutları hakkında bilgi verir. Bilgisayar ortamında yapılan tüm bu jeofizik kesit ve haritalar jeolojik açıdan değerlendirilip yorumlanarak, yer altı yapısı ile ilgili birimler, boşluklar ve zonları belirlenmeye çalışılmıştır.

5. Değerlendirme Sonuçları

Viyadük Alanı Kesiti



1 Nolu profile göre en üstte 3-4 m kalınlığında çok yüksek öz dirençli (6000-13000 ohmm) aralığında travertene ait yer yer çatlaklı bir seviye bulunmaktadır. Bu seviye profilin 20nci -50nci metreleri arasında en kalın olduğu yerdir. Bu seviyenin altında 17-20 m derinliğe kadar devam eden 500-2500 ohm arası öz direnç değerine sahip yine travertene ait farklı seviye bulunmaktadır. Profilin doğu ucundan itibaren 0 ile 20 metreler arasında bu seviye görülmemekte, daha düşük öz dirençli seviyelere girilmektedir. Travertene ait bu 2.

seviyenin bozuşmuş bir seviye olduğu düşünülmüştür. 20 m nin altında tabanda ise travertene nispeten çok düşük özdirence (20-100 ohmm) sahip killi birimlerin varlığından söz edilebilir. 1. profil de sondaj için en uygun yerin, profilin başlangıcına göre en doğu noktasından batıya doğru 44. ve 65. metreler olduğu görülmektedir. Su seviyesi yaklaşık 14-15 dir.

Servis Yolu Kesit



2 Nolu profile göre profilin 35. metresinden başlayan (4000-10000 ohmm) ve sonuna doğru kalınlaşan çatlaklı bir seviyenin kalınlığı 7 m ye kadar ulaşmaktadır. Başlangıç tarafındaki derenin etkisinden dolayı düşük özdirenç değerleri elde edilmiştir. Onun altında yine travertene ait profilin başlangıç tarafında 15 m den başlayıp sonuna doğru eğimli olarak 27 m ye kadar devam eden daha düşük özdirençli (400 – 2200 ohmm) seviye bozuşmuş traverten olarak yorumlanmıştır. altta ise 30 – 100 ohm özdirence sahip killi seviyeye girildiği düşünülmüştür. Bu seviye doğu noktasında 17m den başlayıp batı noktasına doğru yaklaşık 30 m derinlikte devam etmektedir. Su seviyesi 15-

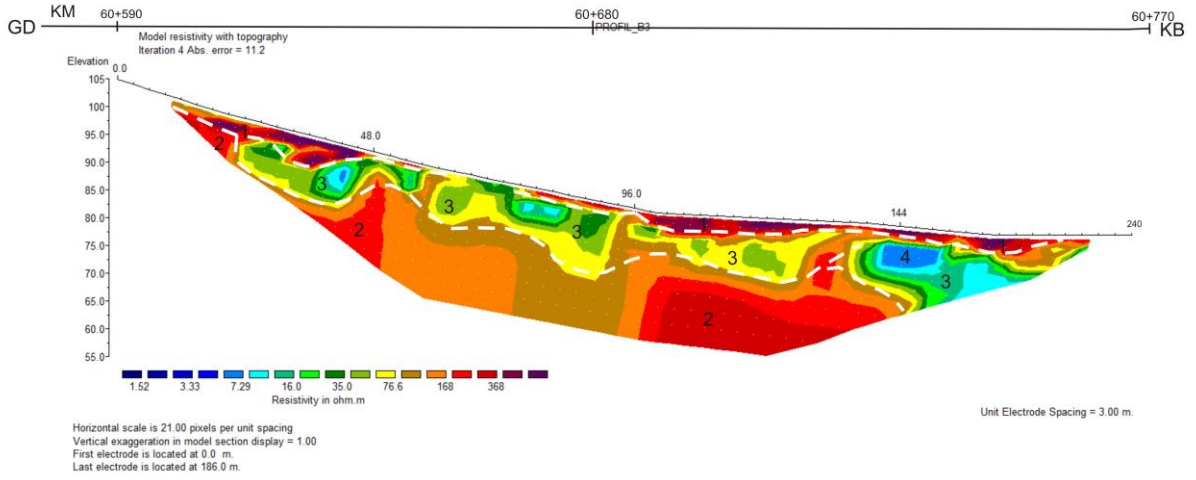
16 m dendir. Sondaj için en uygun yerin profilin 112 ve 116 . metreleri arası uygun görülmüştür.

Profil-3

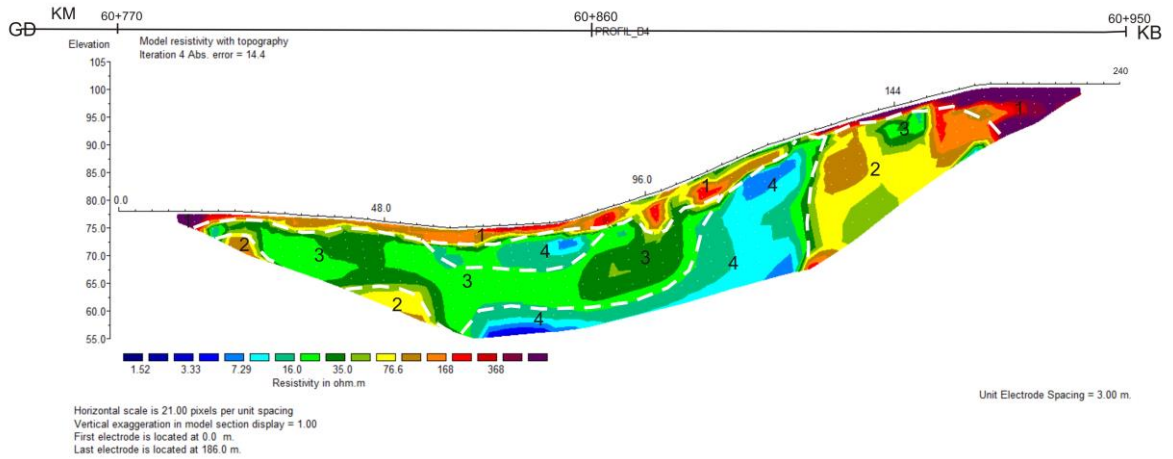


1 ve 2 nolu noktalara dik yapılan 3 Nolu profildeki başlangıç noktasındaki kuzeyde 0-44 m ler arasındaki düşük öz dirençli değerlere göre bir travertenin varlığından söz edilemez. Bu ölçümde karmaşık bir yapı ortaya çıkartılmıştır. Ancak 68. m ile 124. m ler arasında 500-3000 ohmm öz dirence sahip yüksek öz dirence sahip bir traverten seviyesi görülmektedir. Bu seviye yüzeyin 3 m altından başlamakta arada killi seviyeler geçilmekte ve yine 14-15 m lerde devam etmektedir. Başlangıç kuzey tarafına doğru traverten kalınlığı azalmaktadır. Sondaj için en uygun yerin profilin kuzeyden 74 ve 100 . metreleri arası uygun görülmüştür.

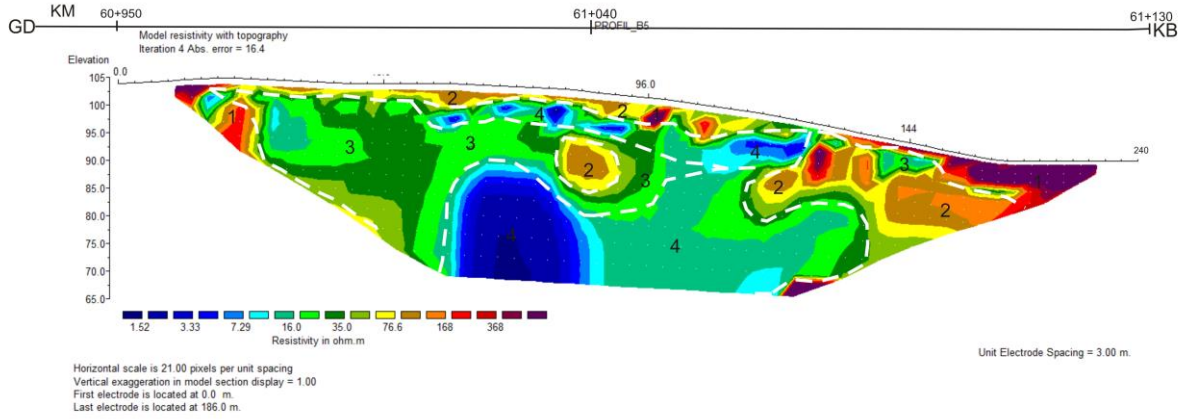
SERVİS YOLU KESİTİ
(60+590 KM - 60+770 KM)



SERVİS YOLU KESİTİ
(60+770 KM - 60+950 KM)



SERVİS YOLU KESİTİ (60+950 KM - 61+130 KM)



SERVİS YOLU KESİTİ (60+130 KM - 61+310 KM)

