

TUNA JEOFİZİK
DANIŞMANLIĞI

www.tunajeofizik.com

Tel : 0 532 642 20 06 – 0 544 642 20 06

CİHAZ TANITIMI VE BİLGİLENDİRME

1.Jeoradar nedir ve ne işe yarar.

2.1. Jeoradar

Jeoradar (GPR) yöntemi, yakın yüzey araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik, jeofizik yöntemdir. Bir yer radarı verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Verici anten (transmitter) yatay doğrultuda elektrik alan vektörüne sahiptir ve birkaç nano saniyeli bir elektromanyetik sinyal üretir. Yer içinde ilerleyen dalgalar anomali verecek herhangi bir nesne ile karşılaştıklarında yansıma veya saçılmaya uğrayarak tekrar yukarı çıkarlar ve yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımı ile zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilirler. Buna radar izi adı verilir. Zaman birimi nano saniye dir. Ölçümler genellikle bir profil üzerinde, önceden belirlenmiş ölçüm noktalarında alınırlar. Her ölçüm noktasındaki izler yan yana getirilerek radargram adı verilen radar kesitleri elde edilir. Bir alan üzerinde çalışıldığında, arazide paralel profiller kullanılarak ölçümler alınır. Sonuçlar üç boyutlu olarak görüntülenebilir.

<u>Kullanım Amaçları;</u>

GPR yöntemi başlıca yapısal araştırmalarda, toprak stratigrafisinin ortaya çıkarılmasında, yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespitinde, fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında, yeraltı karstik boşluklarının aranmasında, yeraltı su seviyesinin tespitinde, yüzeye yakın sıvı hidrokarbon aramalarında kullanılır. Bununla birlikte arkeolojik çalışmalarda tapınak, mezar, duvar, temel ve benzeri tarihi kalıntıların bulunmasında, metalik materyal arama çalışmalarında yeraltında gömülü boru, boru hattı, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının

Tespitlerin de zemin araştırmalarında, mermer oluşumlarının araştırılmasında, tünel araştırmalarında, karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağlamlık tespitinde, galeri içinde bozulmuş zon ve cevher aramada, galeri ilerleme yönü tespitlerinde ve yeraltındaki insan kalıntılarını aramada kullanılmaktadır.

Yer radarı kaynak olarak yüksek frekans elektromanyetik dalgaları (radyo dalgaları) kullanmaktadır. Genellikle kullanılan frekans aralığı 10 MHz den 2 GHz dir. Frekans seçimi araştırılmak istenen derinliğe göre yapılmaktadır. Frekans derinlikle ters orantılıdır. Araştırma derinliği azaldıkça kullanılan frekans değeri artmaktadır. Yaklaşık 90 metre derinlik için yeraltı bilgisi istendiğinde 25 MHz antenler kullanılırken, 4-5 metre derinlik için 500 MHz antenler kullanılır. 12 metre derinlik için 250 MHz anten kullanılır. 25 metre derinlik için 100 Mhz antenler kullanılır. Yer radarının portatif taşınabilir olması, çevreye herhangi olumsuz bir

etki yapmaması, diğer jeofizik yöntemlere göre çok daha hızlı veri toplanabilmesi ve yüksek çözünürlüklü yeraltı görüntülemesini yapabilmesi yöntemin en büyük avantajlarıdır. GPR yöntemini kısıtlayan durumlar ise; yüksek iletken bir ortamda çalışamaması ve derinlikle çözünürlük derecesinin azalmasıdır. Radar penetrasyon derinliği ve herhangi bir derinlikteki hedef nesnenin belirlenebilmesi o bölgedeki toprak özelliklerine bağlıdır. Toprak yüksek iletkenlikli ise GPR yöntemini etkisiz hale getirebilir. Yöntemin sonuç vermesi için aranan nesne ile çevre birim arasında yeterli elektriksel kontrastın olması gerekir.

Homojen tekdüze (izotrop) bir ortamda EM dalga yayılımı;

$$\nabla^2 E = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} + \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t}$$

ile verilir. Burada E elektrik alan yer değiştirmesi, ε dielektrik permitivity, μ manyetik geçirgenlik, σ elektriksel iletkenlik (conductivity) dir. Serbest uzayda

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

dir.

EM dalga denkleminin düzlem dalga çözümü;

$$E = E_0\, e^{iw\left(t - \frac{\vec{r}}{v}\right)}$$

veya

$$E = E_0 e^{iwt} e^{-ikz}$$

dir. Burada k dalga sayısı, E elektrik alan yer değiştirmesi, k ise dalga sayısıdır ve

$$k^2 = \mu\varepsilon\omega^2 - i\mu\sigma\omega$$

dir. Yüksek frekanslarda dalga sayısı

$$k^2 = \mu\varepsilon\omega^2$$

dir. Bu durumda dalga boyu

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\omega(\mu\varepsilon)^{1/2}}$$

Olarak bulunur.

Yüksek frekans elektromanyetik teoride dielektrik ortamlarda μ manyetik geçirgenlik ihmal edilir. Bu durumda dielektrik ortamda elektromanyetik dalga yayılma hızı

$$V = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}$$

ile tanımlanır. Dielektrik permitiviti ile dielektrik katsayısı arasındaki ilişki

$$\varepsilon = K\varepsilon_0$$

olarak tanımlanır. Bu durumda elektromanyetik dalga hızı ortamın dielektrik permitivitisi veya dielektrik katsayısı ile tanımlanabilmektedir. Dielektrik katsayısı bulunmaktadır. Yer radarı yönteminde bu dielektrik katsayısı kullanılarak yer altındaki yapıların birbirinden ayrılmasında önem taşımaktadır.

Madde	**Dielektrik Katsayısı (ε_r)**
Hava	1
Asfalt: kuru	2-4
Asfalt: ıslak	6-12
Kil	2-40
Kömür: kuru	3.5-9
Kömür: ıslak	8-25
Beton: kuru	4-10
Beton: ıslak	10-20
Saf su	80
Buz (Saf su)	4
Granit: kuru	5
Granit: ıslak	7
Kireçtaşı: kuru	7
Kireçtaşı: ıslak	8
Kaya tuzu: kuru	4-7
Kum: kuru	4-6
Kum: doygun	10-30
Kumtaşı: kuru	2-3
Kumtaşı: ıslak	5-10
Deniz suyu	81
Buz (Deniz suyu)	4-8
Toprak: işlenmiş	8-12
Toprak: Kumlu kuru	4-6
Toprak:Kumlu ıslak	15-30
Verimli toprak: kuru	4-6
Verimli toprak: ıslak	10-20
Toprak: Killi kuru	4-6
Toprak: Killi ıslak	10-15

Tablo 1. Bazı Maddelerin Dielektrik Katsayıları Soğrulma katsayısı

$$\alpha = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\frac{\sigma}{K} \approx 1.64\frac{\sigma}{\sqrt{K}} dB/m$$

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\, F/m$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-8} H/m$$

olarak tanımlanmaktadır. İletkenlik (conductivity) ve dielektrik sabiti radyo dalgalarının hızı ve soğrulma miktarında etkin parametredir. İletkenliğin yüksek olduğu ortamlarda soğrulma miktarı da yüksektir. Çoğu toprak ve kayaçlarda iletkenlik 10mS/m den düşüktür.

Düzlem EM dalgası genliği için derinlik ve soğrulma katsayısının etkisi fonksiyonel olarak

$$E = E_0 e^{(-2\alpha d)/2d}$$

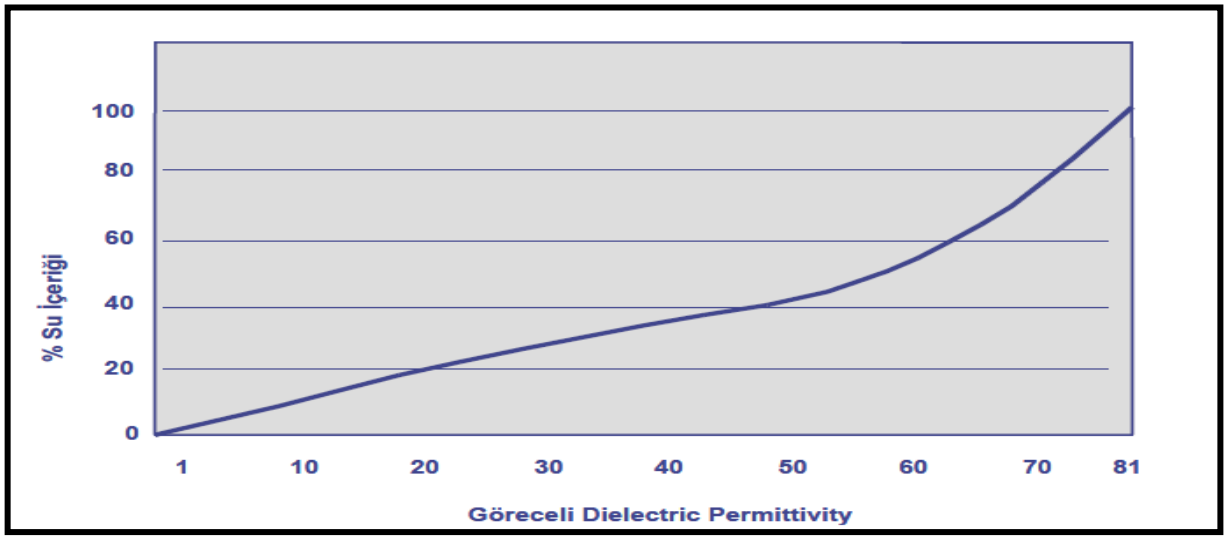
dir. Yine Düzlem EM dalgası genliği için zaman, hız ve soğrulma katsayısının etkisi fonksiyonel olarak

$$E = E_0 e^{(-\alpha V t)/Vt}$$

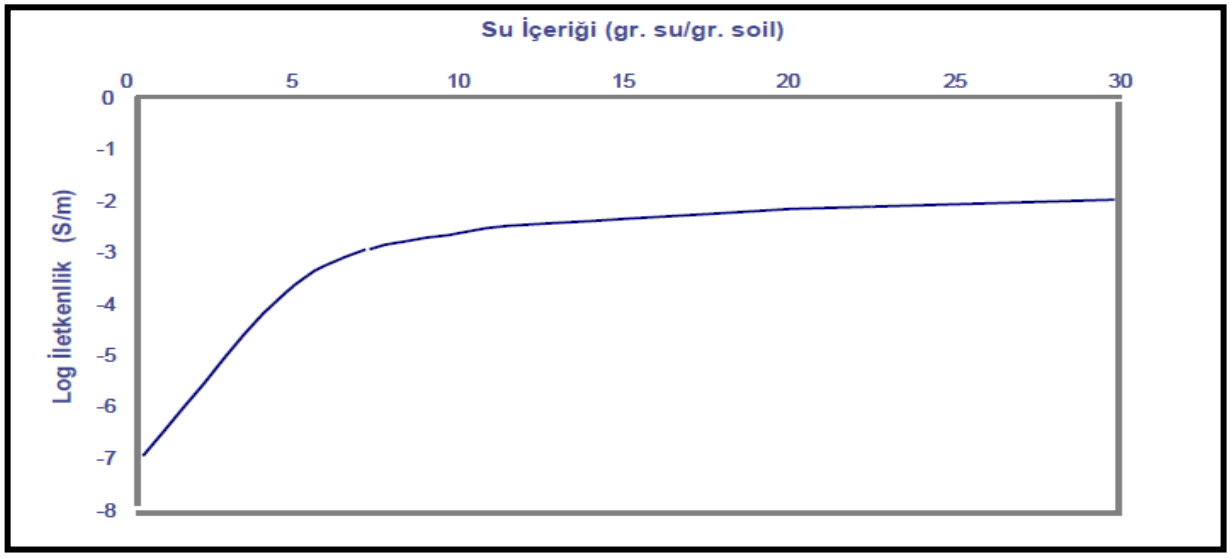
dir. Boşluklu bir ortamda su ve kil minerallerinin varlığı hem iletkenlik hem de dielektrik katsayısının artmasına neden olur. Ayrıca suyun varlığı soğrulma katsayısını artırır. Su içeriği ile dielektrik katsayısı arasındaki ampirik bağıntı

$$\theta = -5.3 \times 10^{-2} + 2.9 \times 10^{-2} K - 5.5 \times 10^{-4} K^2 + 4.3 \times 10^{-6} K^3$$

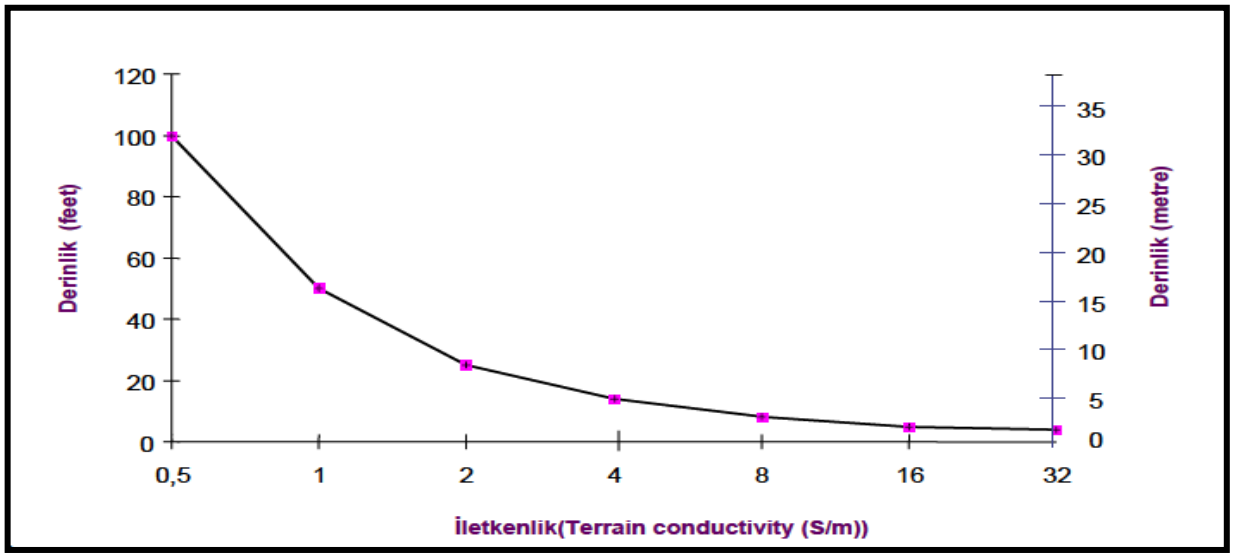
ile verilmektedir.



Şekil 3. Dielektrik Permittivity İle Su İçeriği Arasındaki İlişki



Şekil 4. Su İçeriği İle İletkenlik Arasındaki İlişki



Şekil 5. İletkenlik – Derinlik İlişkisi

Frekans artıkça dalganın soğrulma miktarı artmaktadır. Bu nedenle maksimum penetrasyon derinliği frekans ile ters orantılıdır.

Merkez Frekans (MHz)	**Düşey Ayrımlılık (m)**
10	2
25	1,0
50	0,5
100	0,25
200	0,125
500	0,05
800	0,03
1000	0,025

Tablo 2. Frekans İle Düşey Ayrımlılık Arasındaki İlişki

Yukarıdaki tablodan K değerinin önce havadan yere, sonra nispeten kuru olan yeryüzünden daha ıslak 30–60 metre derinliklerdeki Yer altı su seviyesine inildikçe genelde giderek arttığı anlaşılmaktadır. w bağıntısında da belirtildiği gibi K nın genel olarak derinlikle artması, elektromanyetik dalga hızının giderek azalmasına ve dolayısıyla elektromanyetik ışının giderek normale yaklaşmasına neden olacaktır. Bu durum sismik yöntemlerde karşılaşılanın tersidir. Sismik hızların derinlikle artma eğilimi, sismik kırılma yönteminin kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Öte yandan elektromanyetik dalga hızının derinlikle azalması, yer radarında kırılma yönteminin kullanılma şansını azaltmaktadır. Yer radarında en çok kullanılan yöntem sıfır ofsetli (kaynak-alıcı uzaklığı sıfır) yansıma yöntemidir.

Literatürde yeni yansıma sismiğine benzer çok kanallı (ofsetli) yer radarı yığma kesitleri de görülmeye başlanmıştır.

Bağıl permitivite K, sığalara ait dielektrik sabiti ile eşanlamlıdır. Bir sığaya ait dielektrik sabitinin büyümesi, o sığanın polarlanma yolu ile daha çok elektromanyetik enerji biriktirebilmesi anlamına gelir. Bir maddenin yapısını oluşturan nötr durumdaki moleküller, üzerlerinden geçen elektromanyetik dalganın etkisi altında polarize olurlar ve içerilerine elektromanyetik enerji depolarlar. Bunun hemen ardından söz konusu enerjiyi tekrar elektromanyetik dalga olarak geri verirler. Elektromanyetik dalga madde içerisinde bir molekülden diğerine bu şekilde ilerler. Olay bu açıdan sismik dalgaların madde içindeki ilerlemesine çok benzemektedir. Fakat elektromanyetik dalgalar madde olmaksızın uzay boşluğunda da ilerleyebilirler. Sismik dalgaların ilerleyebilmesi için ortamın maddeden oluşması şarttır (Sismik yansıma katsayısının tanımındaki yoğunluk parametresinin nedeni).

Yere gönderilen elektromanyetik sinyal harmonik bir yapıya sahip olup etken bir frekans içermektedir. Bu frekansın değeri nüfuz derinliğini, soğrulma miktarını ve saçılma derecesini belirler. Söz konusu frekans 10 MHz den küçük olduğunda, nüfuz derinliği artarken iki olumsuz durumla karşılaşılır: (1) düşen frekansla birlikte düşey çözünürlüğün azalması, (2) düşük frekanslarda madde içerisindeki polarlanabilir unsurların polarize olmak yerine asıl konumlarını terk ederek elektrik iletkenliğe (akım) neden olmaları. Düşük frekanslarda elektromanyetik enerjinin elektrik iletkenliğe dönüşmesi soğrulmanın başlıca nedenidir. 300 MHz den yüksek frekanslarda ise madde içerisindeki polarlanabilir unsurlar orijinal yerlerini terk etmeye fırsat bulamayacaklarından elektrik iletkenliğin neden olduğu soğrulmadan etkilenmeyeceklerdir. Bununla beraber yüksek frekanslarda bir etki-tepki gecikmesi sorunu yaşanacak, bunun sonucu artan frekansla birlikte bağıl permitivitede frekans bağımlı bir azalma söz konusu olacaktır. Öte yandan frekans arttıkça düşey çözünürlükte bir iyileşme olurken, bu kez nüfuz derinliği azalmaktadır. Yüksek frekanslar yer radarı kesitlerinde fazla sayıda saçılma hiperbolunun de ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Yukarıda yapılan tartışmalardan anlaşılacağı üzere, Yer altı ne denli dirençli (az iletken) ise, yer radarı görüntüleri o denli kaliteli olmaktadır. Nüfuz derinliğinin önemli olduğu durumlarda, ortamın mümkün olduğunca kuru (rutubetsiz) olması gerekmektedir. Elektromanyetik dalgalar Yer altı su seviyesine ulaştıklarında göreceli olarak daha iletken bir ortama girmektedirler. Bu söz konusu ıslak seviyede, hem önemli bir bağıl permitivite kontrastı oluşmakta (R bağıntısı), hem de elektrik iletkenliğin bu seviyedeki ani artışı nedeniyle, yansıyarak yeryüzüne gelen elektromanyetik sinyalin genliğinde ve yüksek frekans

içeriğinde soğrulmaya bağlı olarak önemli azalmalar görülmektedir. Bunun sonucu olarak yer radarı kesitlerinde, Yer altı su seviyesinden itibaren derinlere doğru inildikçe, soğrulmaya bağlı olarak genlik ve yüksek frekanslar azalmakta, kesitte Yer altı su seviyesinin altındaki bölümlerde enerji 'süpürülmüş' bir görünüm arz etmektedir (Ecevitoğlu, 2001; Pekşen, 2011).

Kullanılan Sistemler:

Bu çalışmada İsveç yapımı "Guideline geo Sweden AB" marka "Ramac Mala Proex GPR System" GPR kullanılmıştır.



Kullanılan Sistemin Özellikleri:

"Guideline geo Sweden AB" marka "Ramac Mala Proex GPR System"

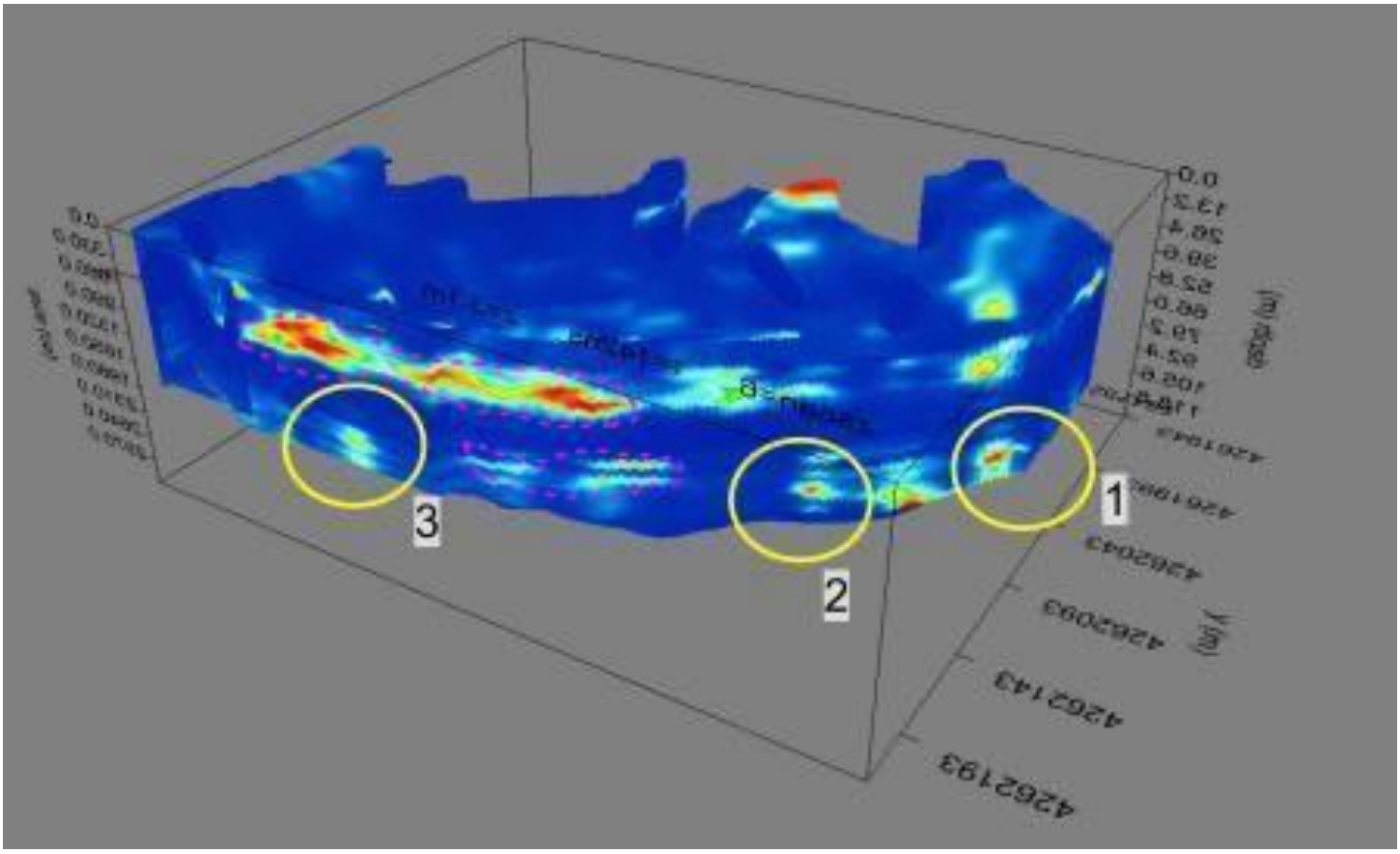
Anten / Sistem	: 25 mhz RTA unsheilted ramac mala anten
Ana Ünite	: Proex sistem
Anten Frekansı	: 100-800 KHz Kullanım Bant Aralığı
Sistem Performansı	: 174 dB
Uygulama Gerilimi	: 12 V
Örnekleme Aralığı	: 2-400 GHz Örnekleme/s
İletişim Hızı	: 100 Mbit/s
Sinyal Kararlılığı	: 70 ps
Örnek izleme	: 128-2048 Standart Yapılandırmada
İstifleme sayısı	: 1-32768 ve Otomatik İstifleme
Tarama Aralığı	: 1 – 100 Tarama/s @ 512 Örnek/Tarama
Veri Çıkışı	: 16 Bit Dijital Ham Veri
Edinme Modları	: Mesafe / Zaman / Manuel

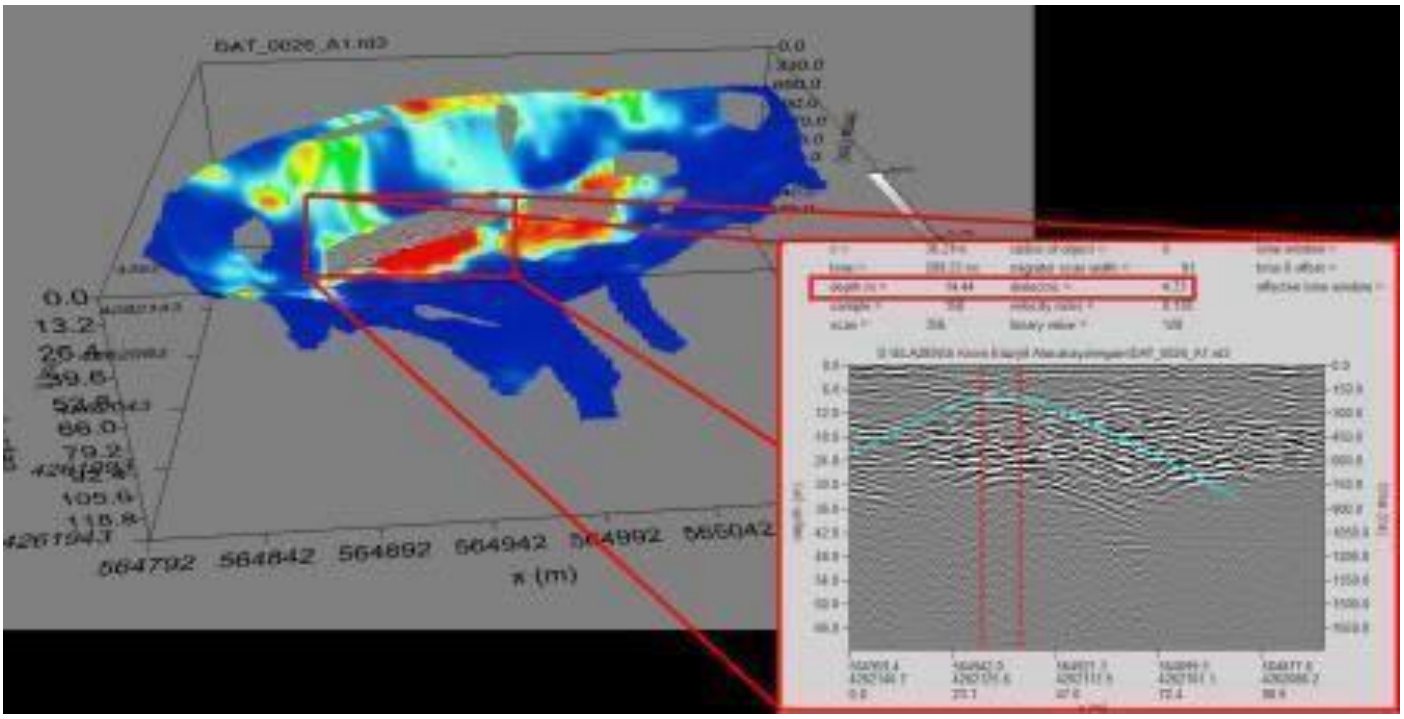
İletişim Ara Birimi	: Ethernet
Veri Aktarımı	: Fiber Optik Kablo
Kontrol Ünitesi	: Mala VX11 Monitör, Reflex Yazılım
Veri Formatı	: Ground Vision 2 (rd3 Data Format)
Kazanç Seviyesi	: -20 - +60 dB arası
Çalışma Ortam Sıcaklığı	: -20ºC - 50ºC arası
Pil	: Li-Ion: 11,8 V (6,6 Ah), 71Wh
Ölçüleri	: 13.5 m RTA hortum Anten
Ağırlık	: 16 kg
Pil	: LiIOn: 11,2 V (7.2 Ah), 71Wh x 3 adet
Çevresel	: IP65
Operasyon Süresi	: gün
Etkili Penetrasyon	: 0 – 80 m

2.2. Veri İşlem

Arazide ölçümler kontrol edilerek alındıktan sonra, önce alınan sinyallere **subtract DC shift**
İle veri işlemeye başlanmış **Static Corection** ile istenmeyen veri atılmıştır, devamında **devow** filtre (**subtract-mean**) uygulanmıştır, daha sonra **gain** ile veriye kazanç sağlanmıştır,İşlenen veri **subtracting average** ile olumsuz yansımaları atar gerçek veriyi ön plana çıkartırız. **Running Avarage** görüntünün derinlere doğru parazitlenmeleri ortadan kaldıran filtredir.En son band geçişli filtre uygulanarak (**bandpass butterworth**) veri kalitesi arttırılmış ve istenmeyen gürültüler yok edilmiştir. İnceleme alanında yapılan jeofizik ölçüm çalışmalarından elde edilen verilerin veri işlem aşamasından sonra iki boyutlu (2D) Yer altı jeoradar görüntüleri oluşturulmuştur.Bu görüntülerde anomali olarak belirlenen lokasyonlar düzenli anomali yerleri işaretlenmiştir.

GPR ölçümlerinden elde edilen radar gram arazi ve veri işlem çıktıları.Arazide alınan 100 MHZ RTA , 50 MHZ RTA , 25 MHZ RTA anten ile bir ham verinin (PROFILE_0001_A1.DAT) proses işleminden sonra, elde edilmiş radargram kesiti ve paralel hatlardan elde edilen üç boyutlu (3D) Jeoradar görünümü, seviye kat haritası, Lejand (Kat haritalarında kullanılan genlik skalası).


1
2
3

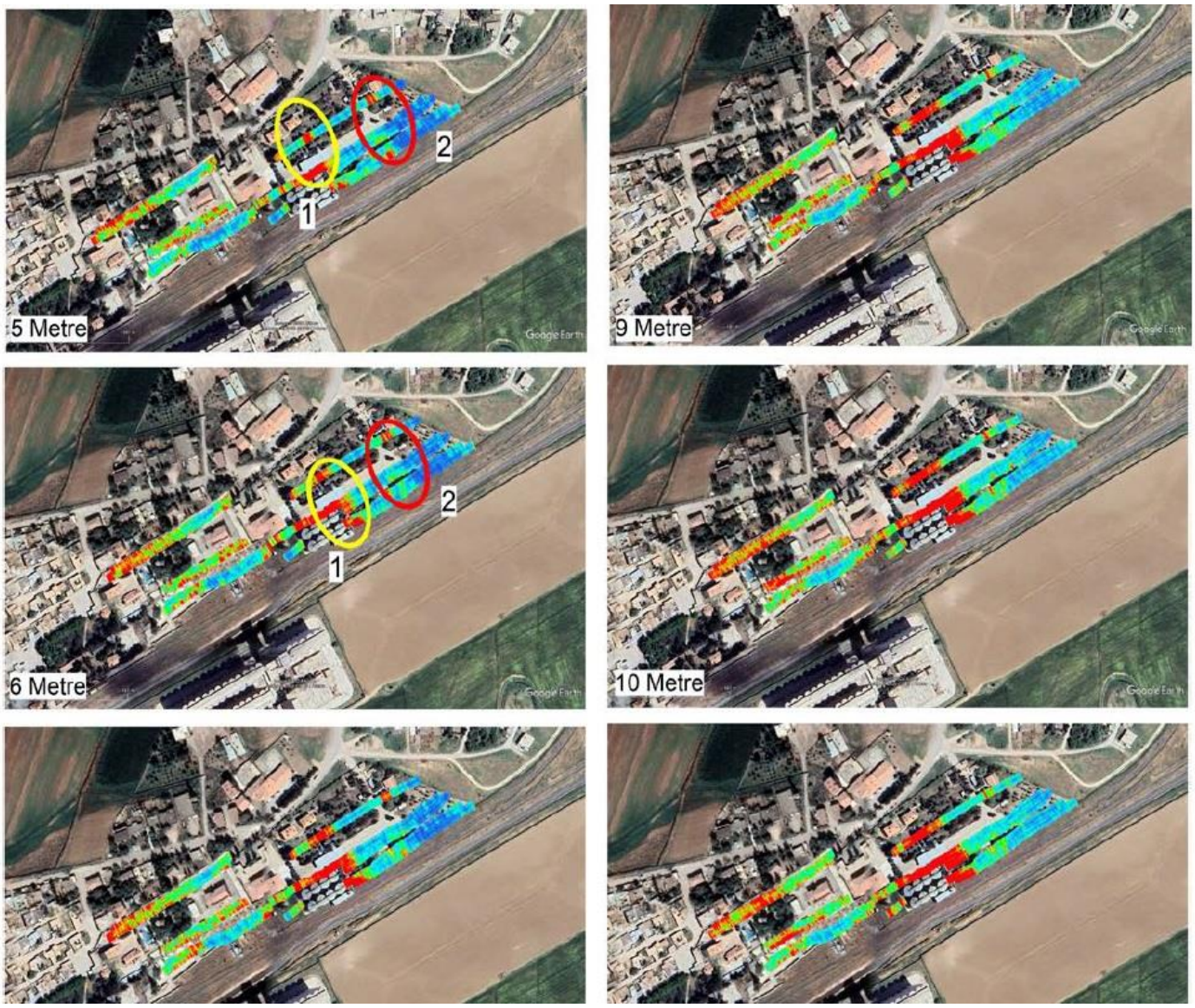

564792
564842
564892
564942
564992
x (m)



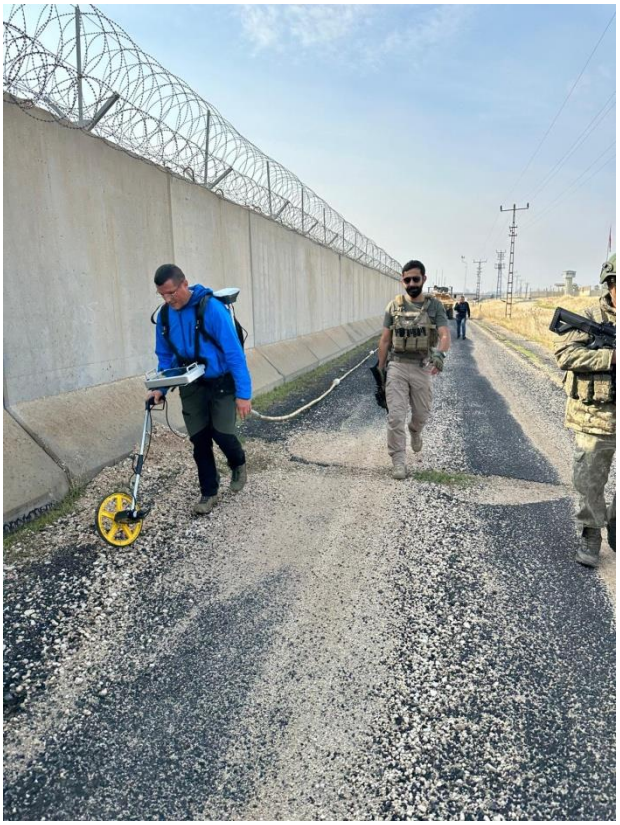




Bu örnek çalışmalar eti maden işletmelerindeki eski ve yeni galerileri ortaya çıkarmak için yapılmış bir çalışma örneğidir.



MSB Şenyurt sınır hattı ölçüm sonuçlarından bir örnek







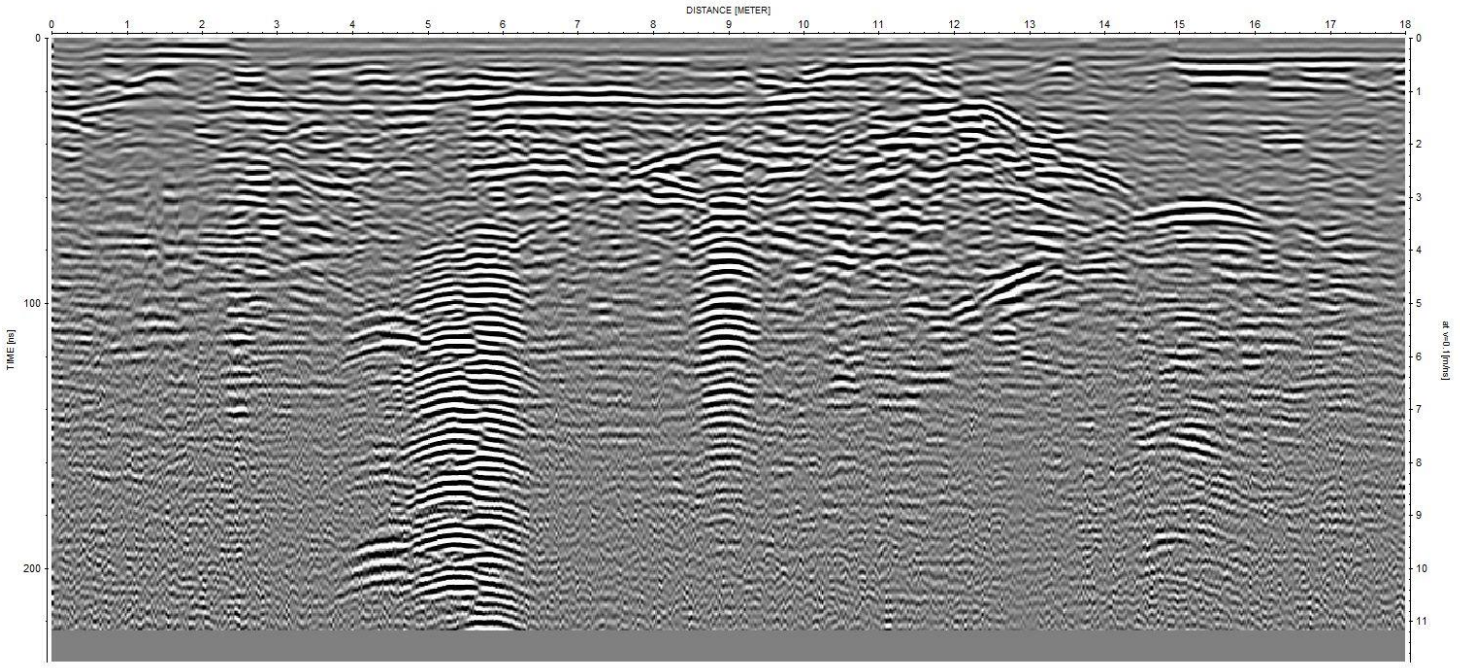
Nusaybin Kamışlı Sınır hattında 8 metre derinlikte bulunan bir kuyunun ortaya çıkarılması işi



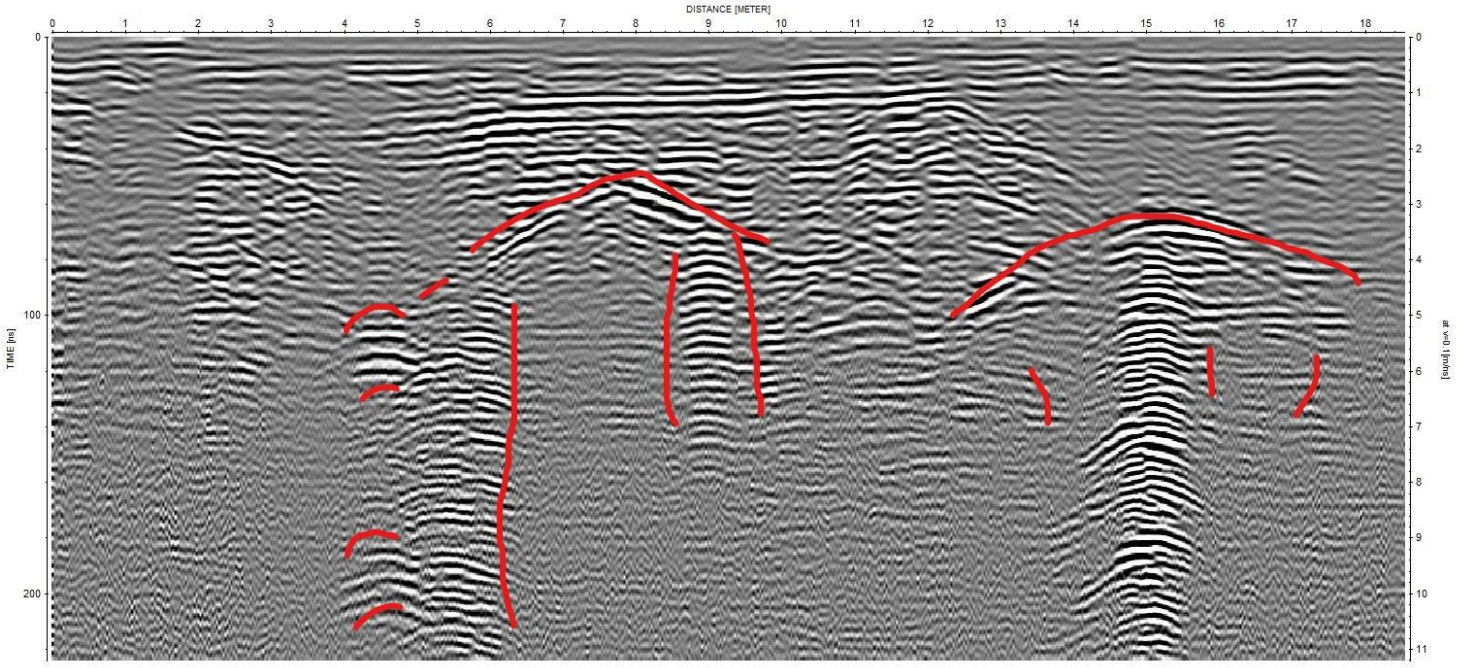
Ankara Hava Kuvvetleri Komutanlığı içi ve dışındaki boru hatlarına yönelik yapılan çalışma

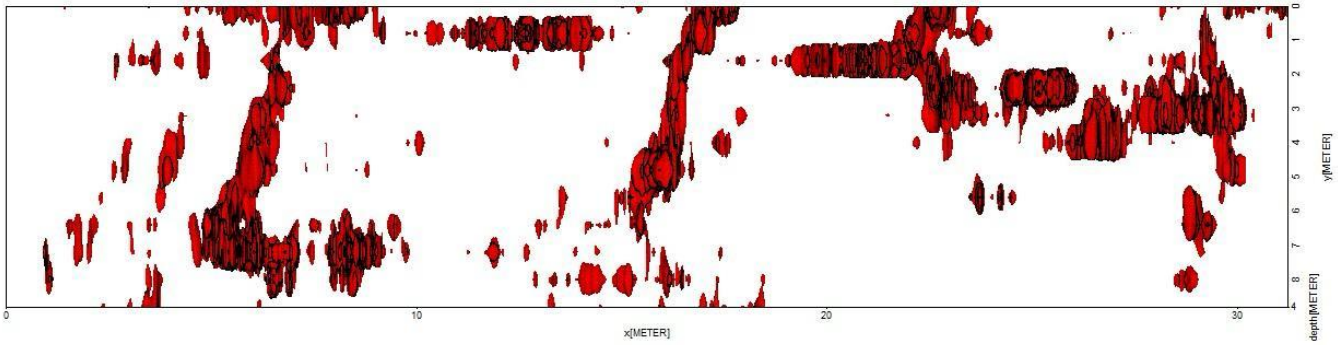
Bu ölçümler GPS eşliğinde alınarak noktasal hedefler belirlenip raporlanmaktadır.Bu ölçümlerde çeşitli derinliklere inen antenler kullanmaktayız.Örneğin derin bir çalışma yaptığımızda 100 metre derine kadar elektromanyetik sinyaller göndererek 60-70 metre derinliklere kadar inip bilgi alabilmekteyiz.Bu cihaz özellikle Mağara , Tünel ,Yarık oluşumlar , Çatlak oluşumlar , çökme olmuş alanlar , Toprak kaymaları , Alt yapı unsurları ,Arkeolojik alanların gün yüzüne çıkarılması , Gömülü tankların silah mühimmatlarının bulunması , Gömülü cesetlerin bulunması , Obruk oluşumlarının belirlenmesi , Metalik madenlerin bulunması , Beton duvarların içindeki metal demirlerin belirlenmesi ve hasar görmüş alanların belirlenmesi gibi bir çok işlemde bu cihazı kullanmaktayız.

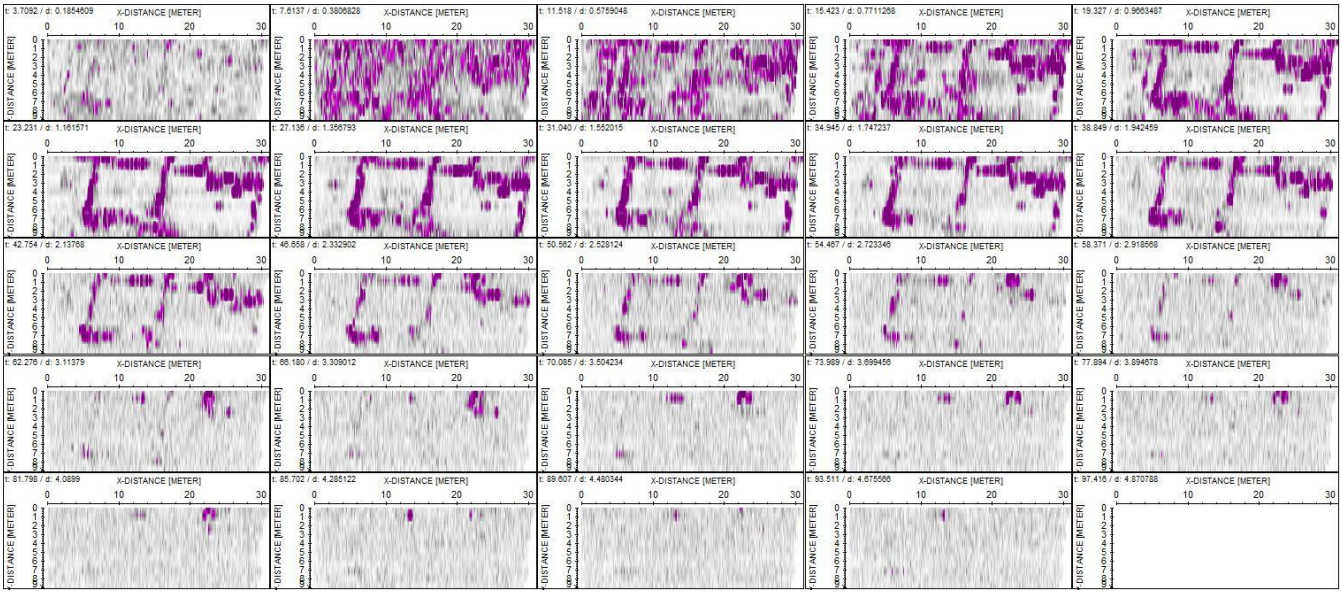
1. D:\REFLEX YENİ çalişan\murat y\PROCDATA\PROFILE_0003_A1.10T / traces: 653 / samples: 488



1. D:\REFLEX YENİ çalişan\murat 3A\PROCDATA\PROFILE_0004_A1.10T / traces: 651 / samples: 488



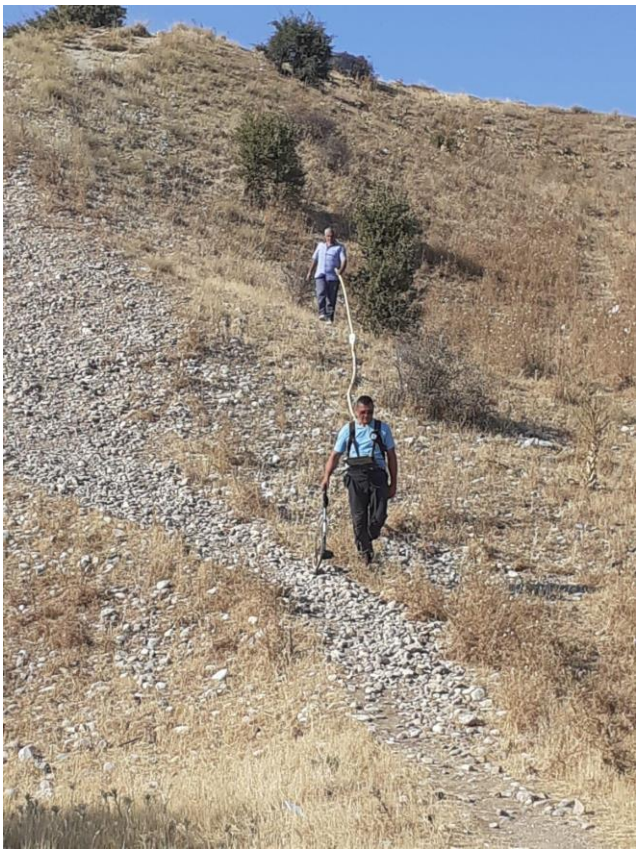

x[METER]
depth[METER]
y[METER]


X-DISTANCE [METER]
DISTANCE [METER]





Arkeolojik yapılarda kuyu ve girişlerin bulunmasından bir örnek.

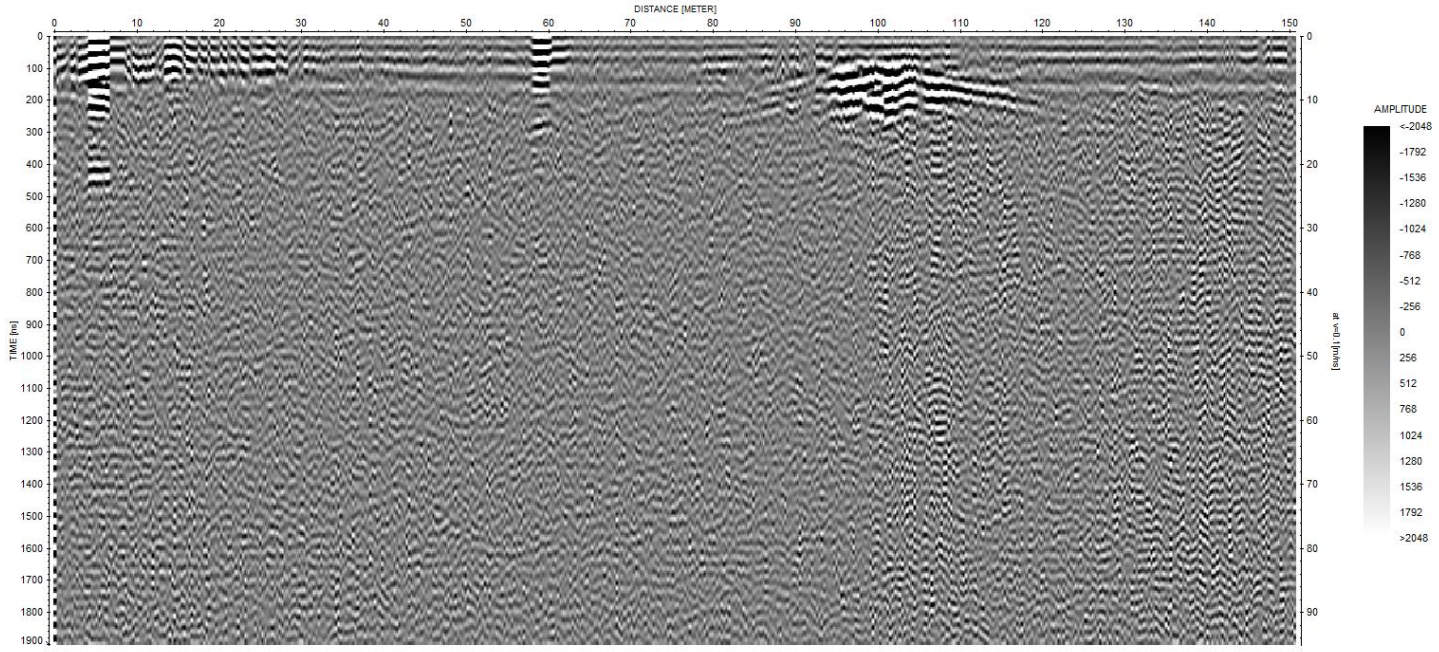




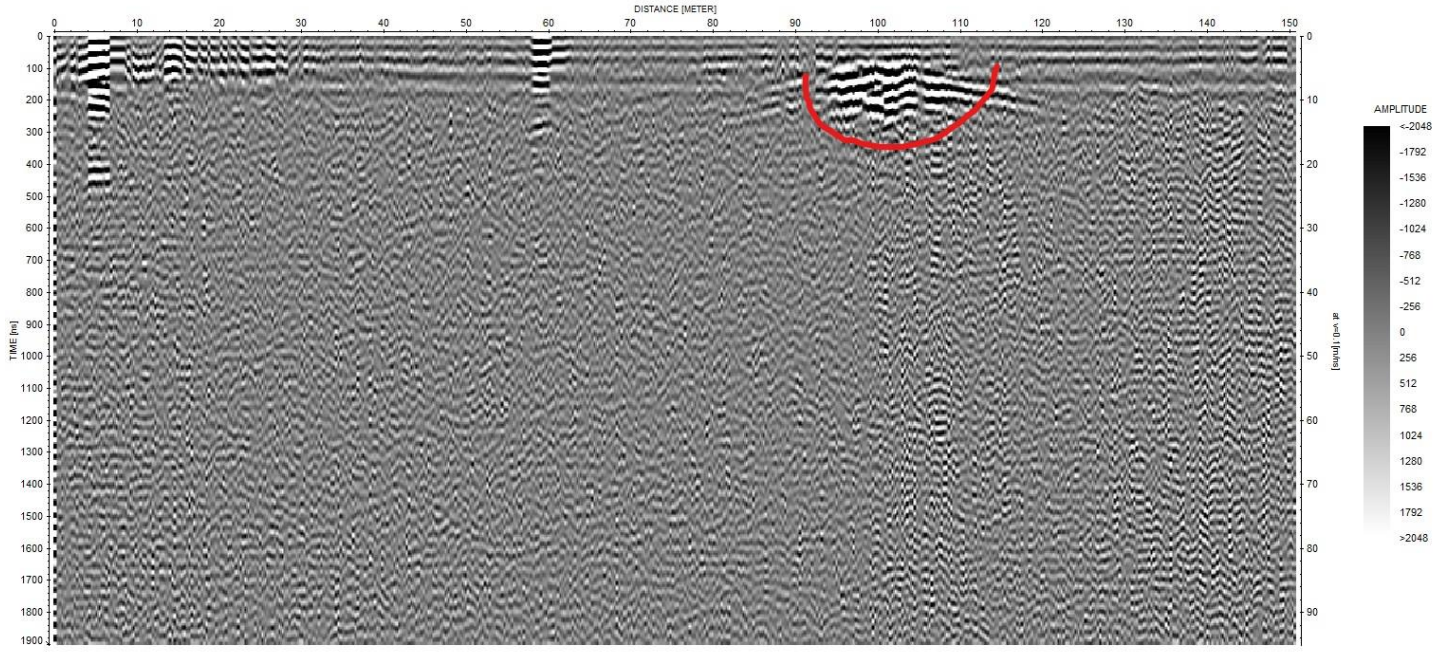


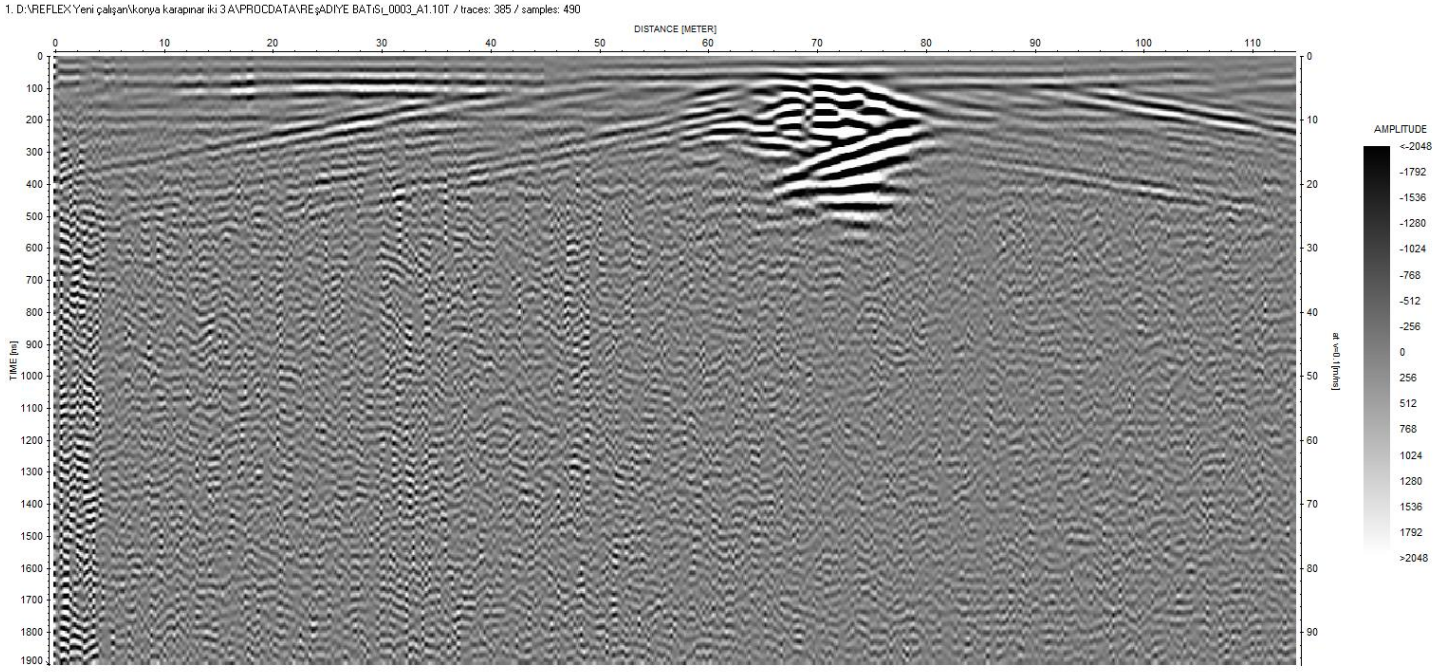
Nemrut Karakuş Timülüsünde yapılan çalışma

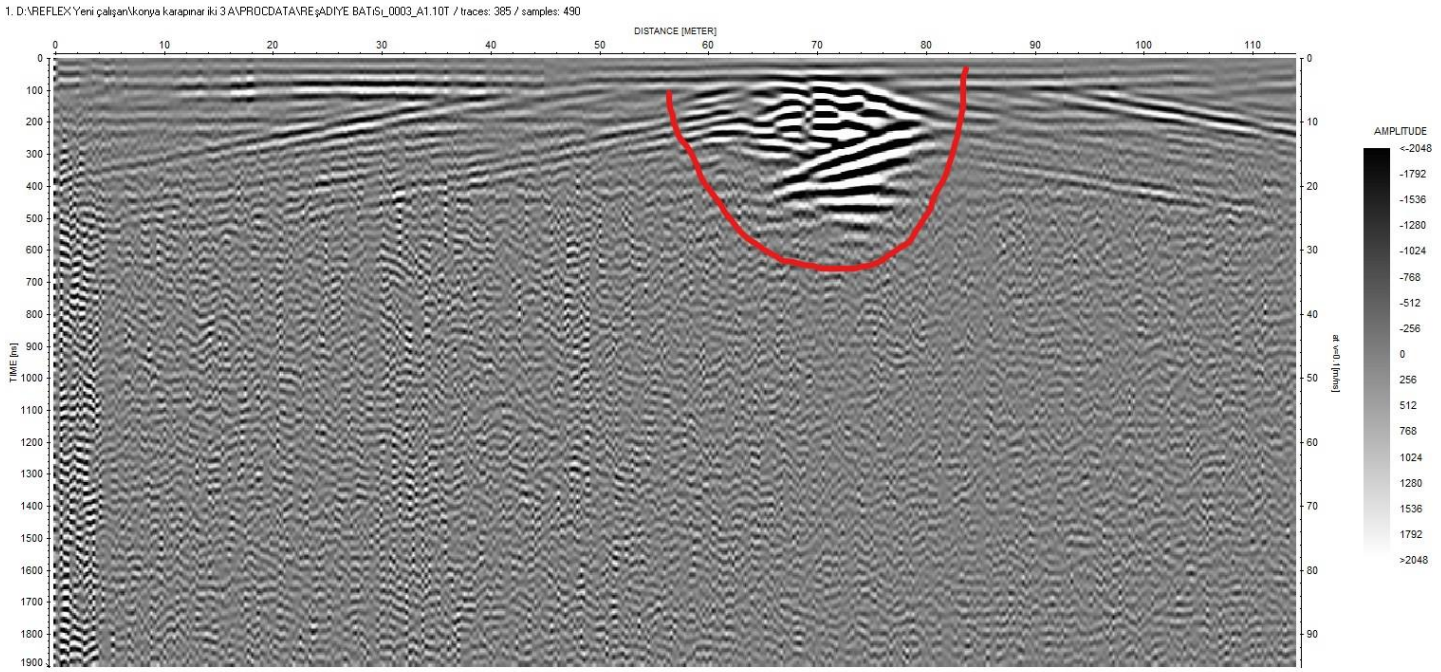
1. D:\REFLEX\Yeni çalışan\konya karapınar iki 3 A\PROCDATA\KöKEN_0005_A1.10T / traces: 509 / samples: 490



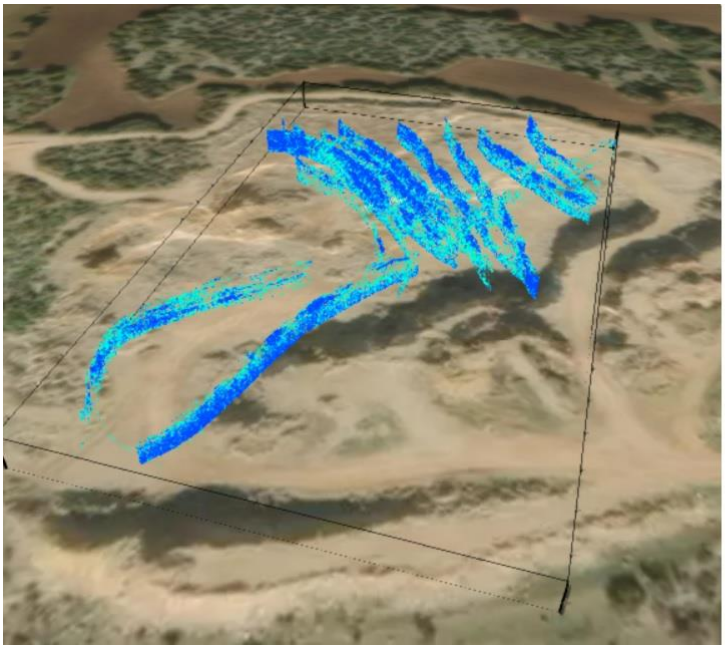
1. D:\REFLEX\Yeni çalışan\konya karapınar iki 3 A\PROCDATA\KöKEN_0005_A1.10T / traces: 509 / samples: 490







Obruk oluşumları





Bir mermer ocağında yerin altındaki taş yapısının belirlenmesi işi



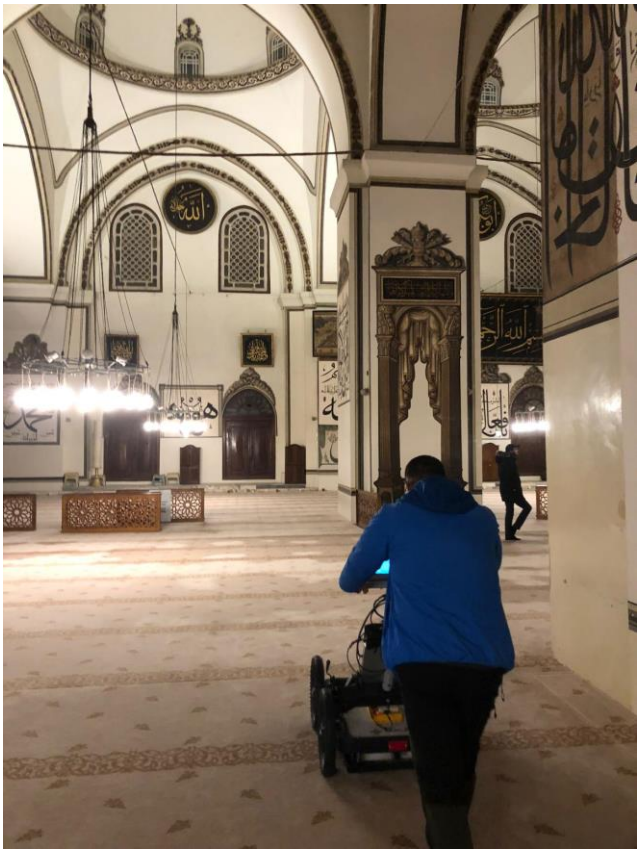


Deniz üstünde yapılan bir çalışma



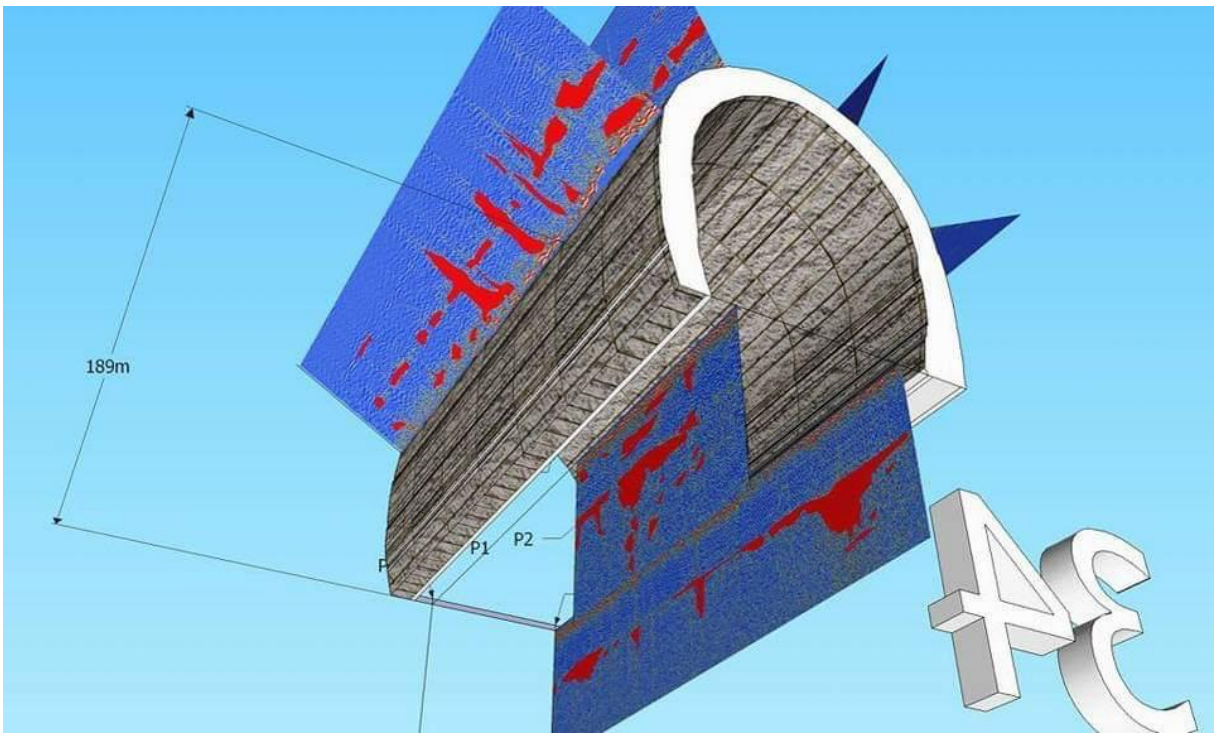
Bursa Emirsultan cami yapı hasar belirleme çalışması



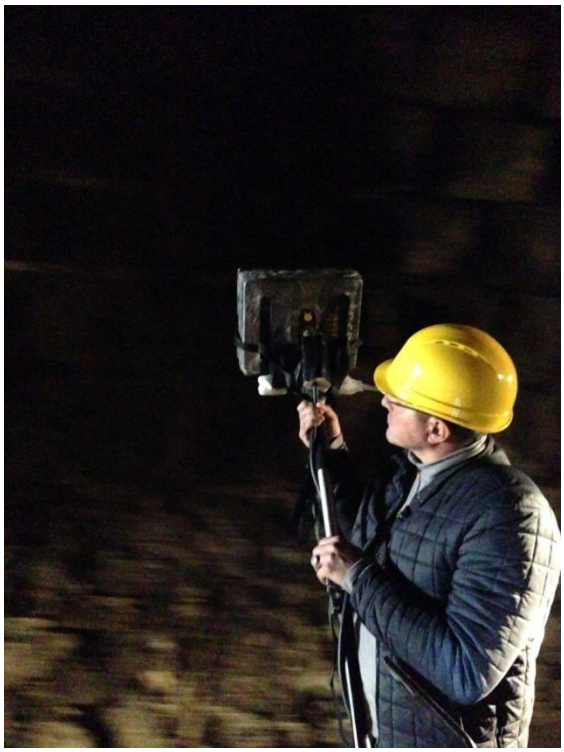




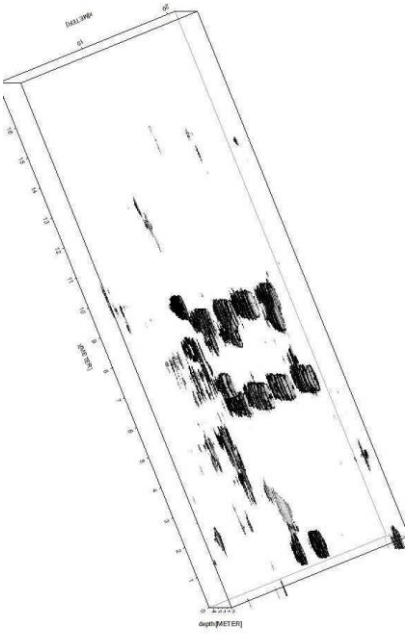
Bursa Ulucami yapı hasar belirleme çalışması





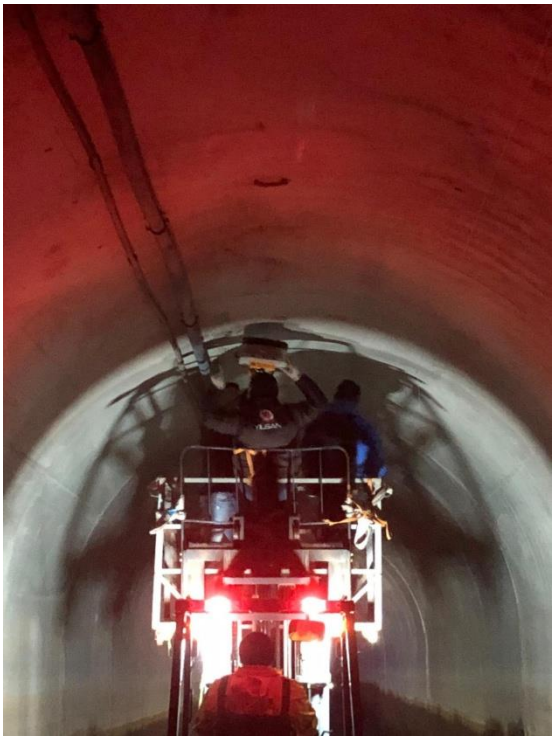


Tren Tünellerinde Tünel de oluşan çatlak ve boşlukların belirlenmesi işi



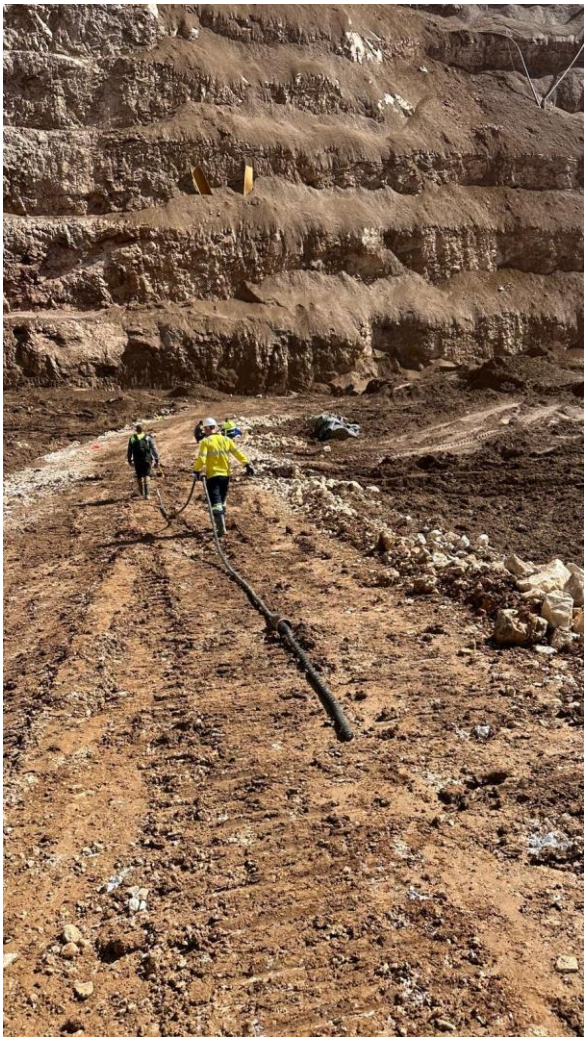
Yerin altındaki tankların belirlenmesi işi





Hes, Ges, ve Res Enerji santrallerindeki çalışmalar





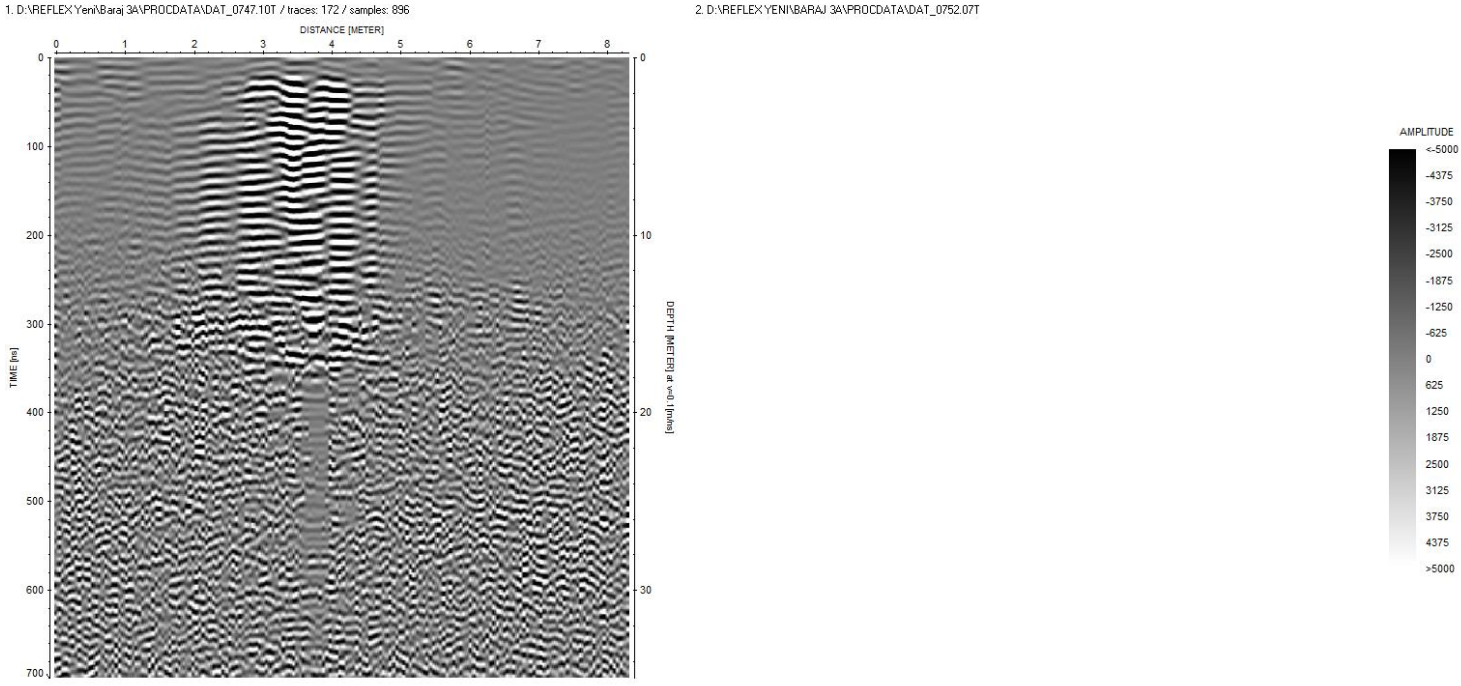


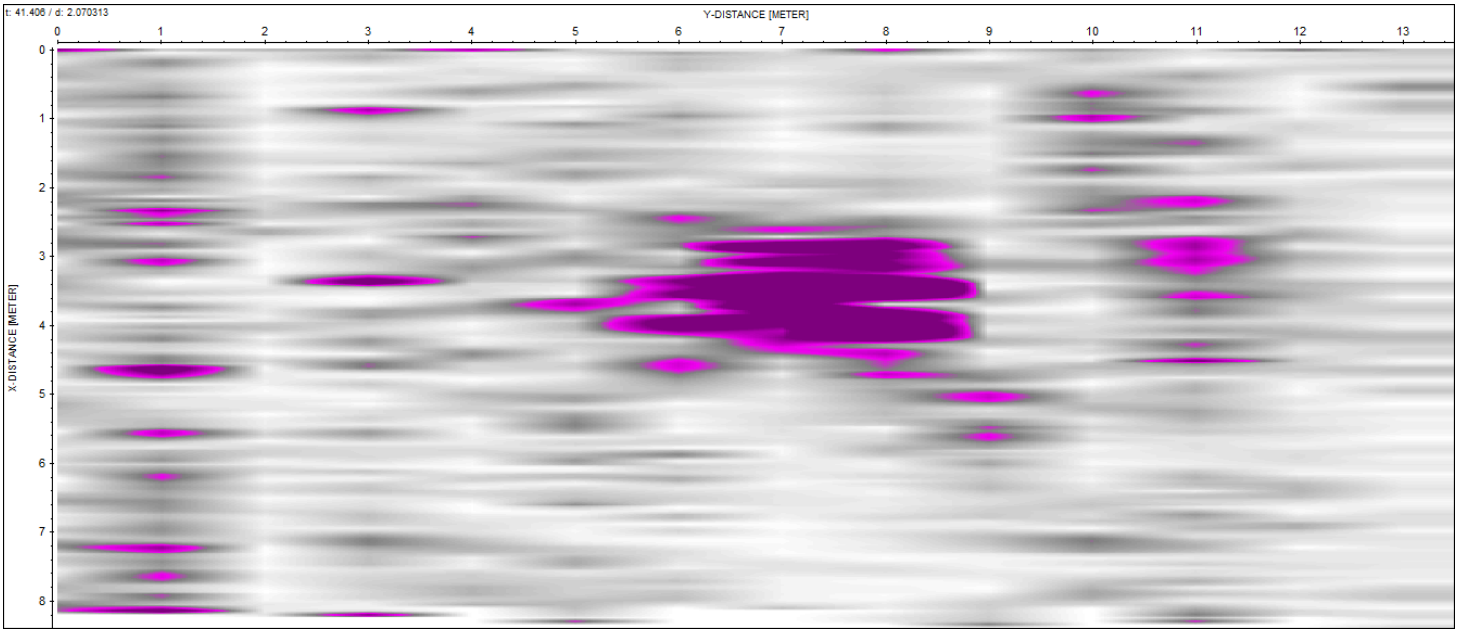
Erzincan İliç altın madeni kazasında kayan toprağın içinden 18 metre derinde kamyonun ceset ile bulunup çıkarılması işi

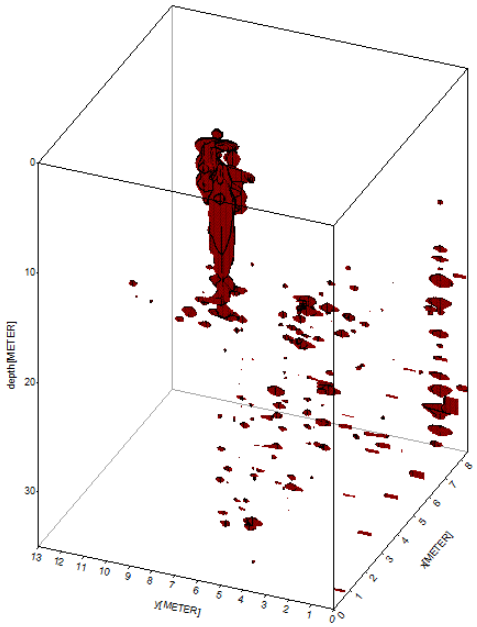




Dağ içindeki taş yapısının belirlenmesi işi



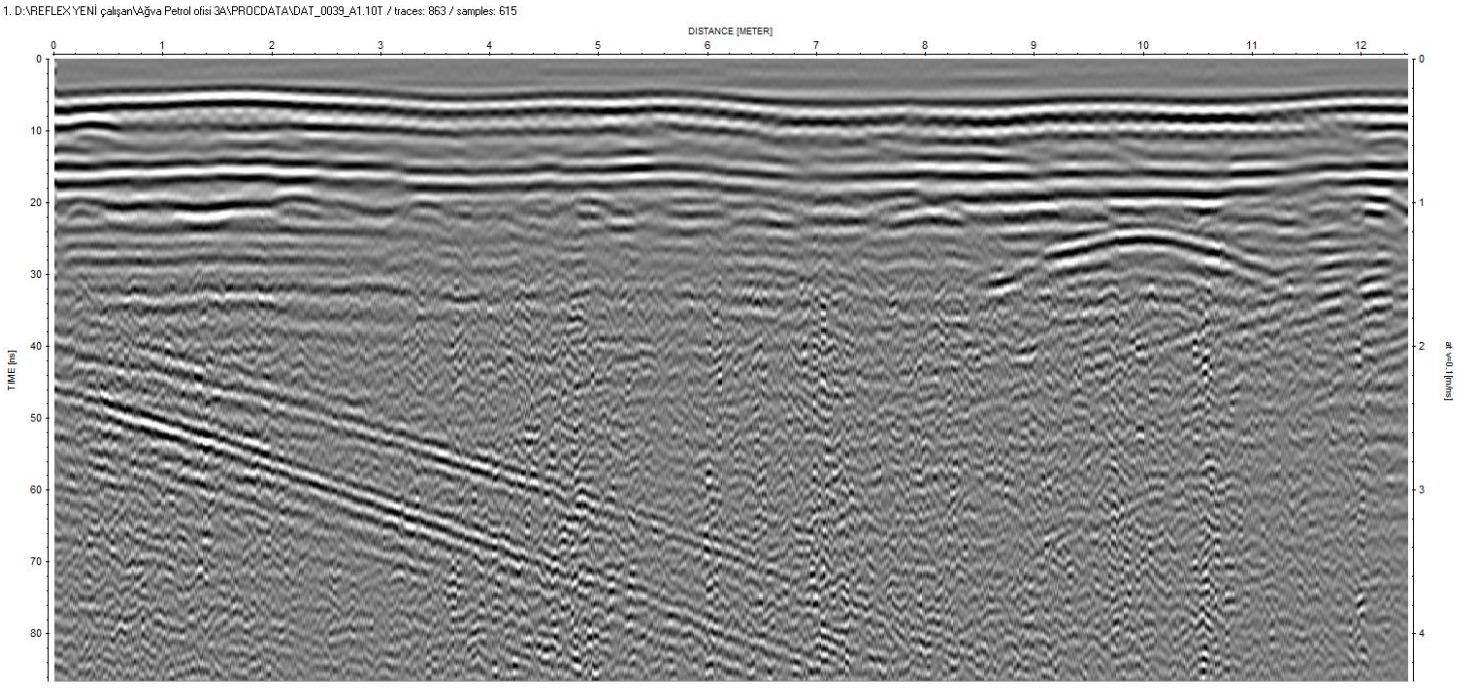

t: 41.406 / d: 2.070313
Y-DISTANCE [METER]
X: DISTANCE [METER]

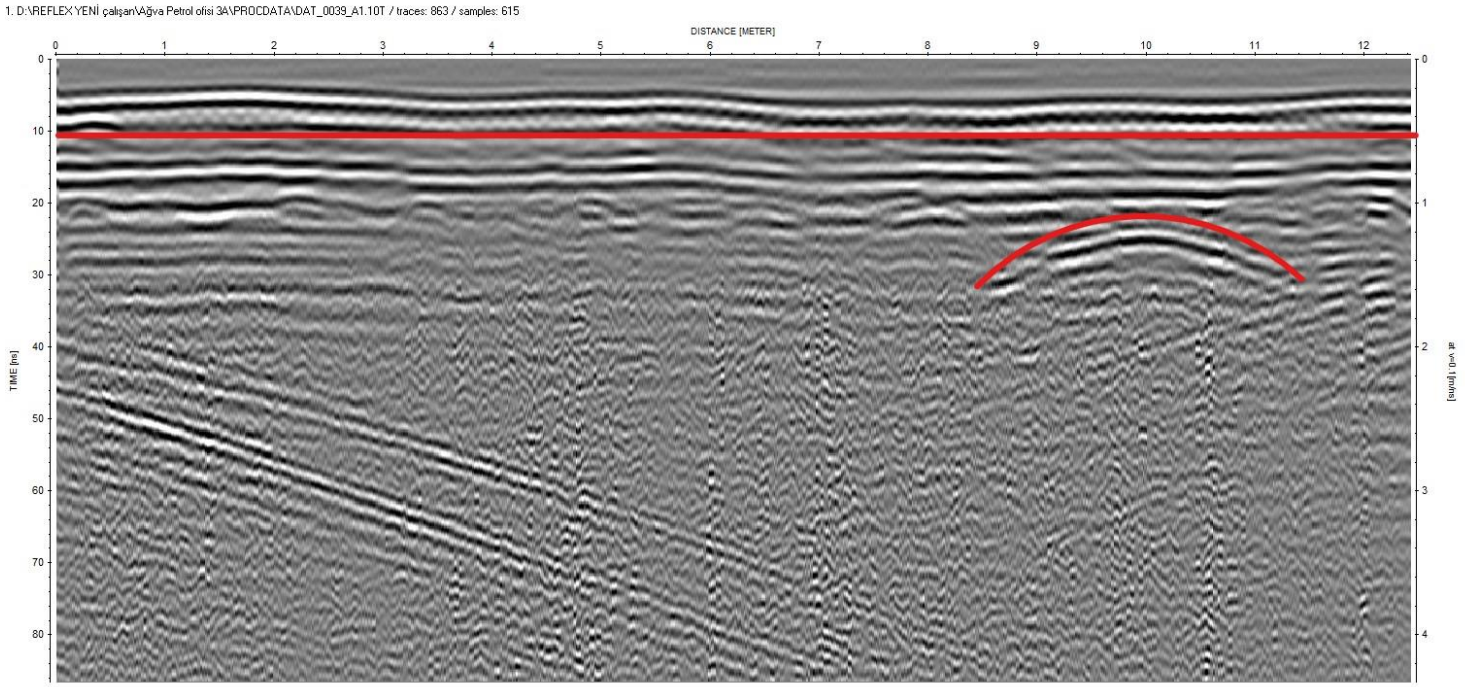

depth[METER]
Y[METER]
X[METER]


y
x
z

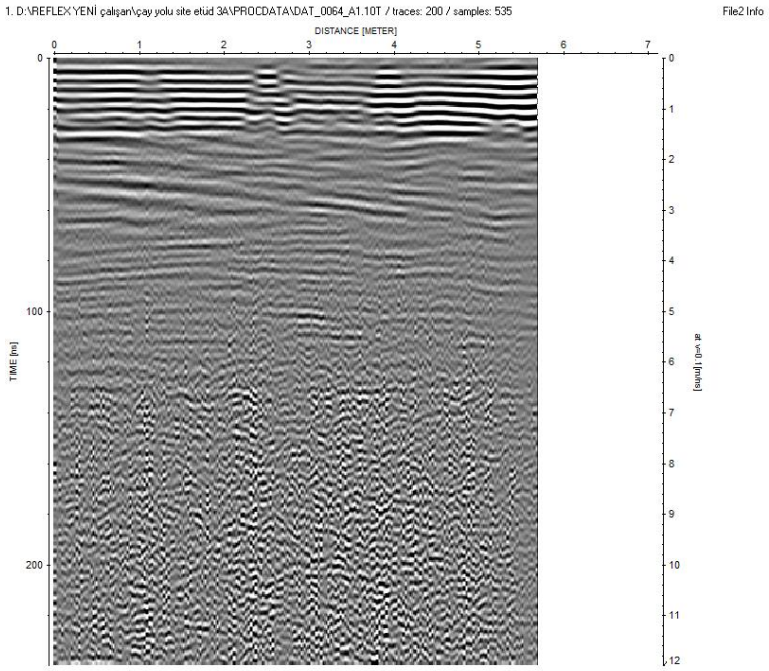


Mersi ili Baraj çalışması ve karsit boşlukların bulunması işi

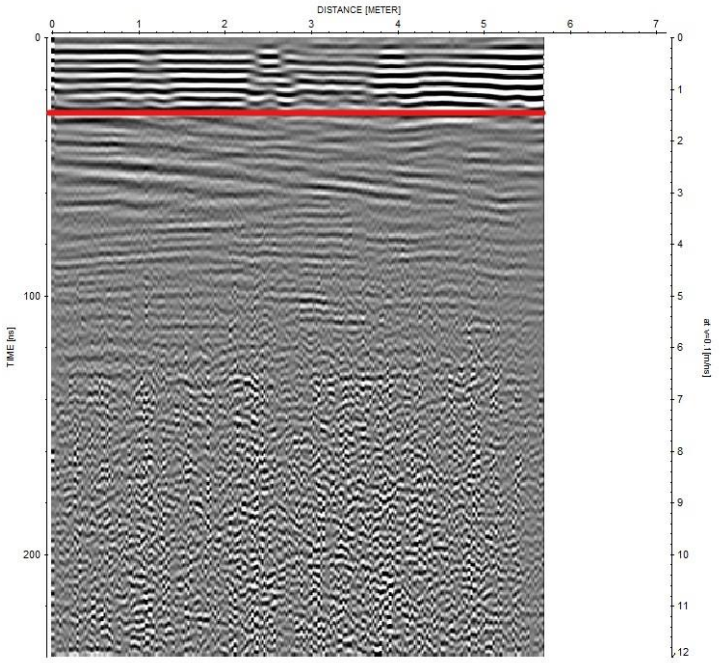




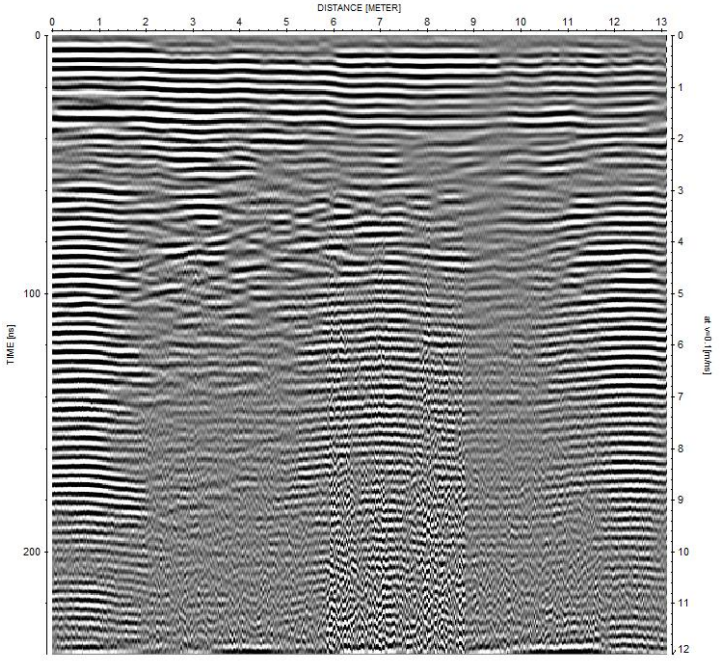
Benzin istasyonları beton kalınlıklarının bulunması ve kayıp tankların ortaya çıkarılması işi



1. D:\REFLEX YENİ çalışan\çay yolu site etüd 3A\PROCDATA\DAT_0064_A1.10T / traces: 200 / samples: 535 File2 Info

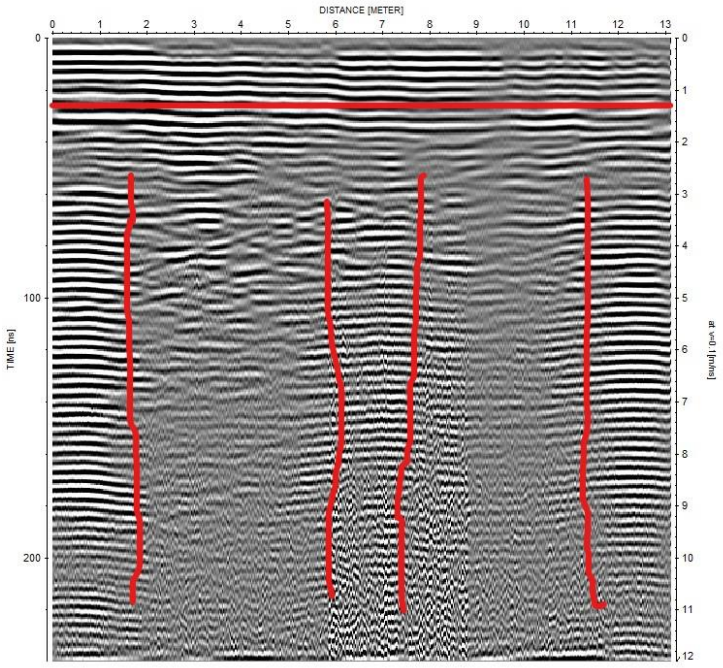


1. D:\REFLEX YENİ çalışan\çay yolu site etüd 3A\PROCDATA\DAT_0093_A1.11T / traces: 461 / samples: 535 File2 Info



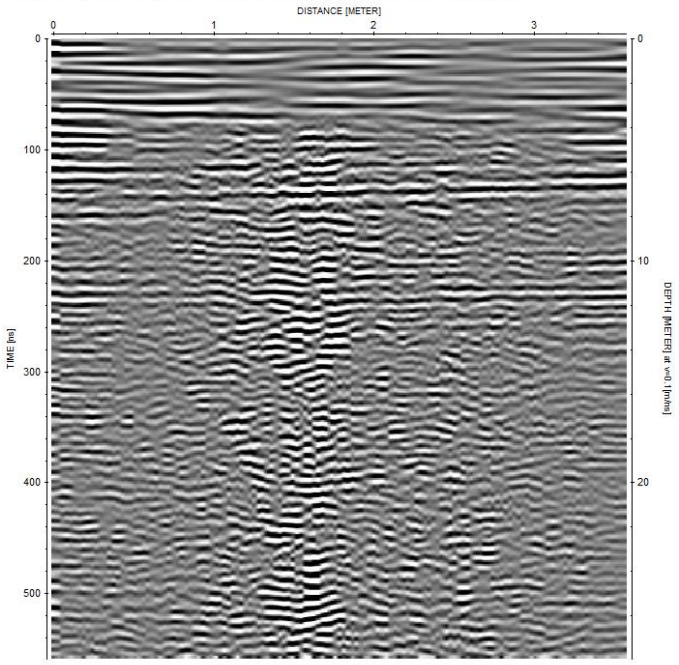
1. D:\REFLEX YENİ çalişan\çay yolu site etüd 3A\PROCDATA\DAT_0093_A1.11T / traces: 461 / samples: 535

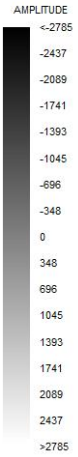
File2 Info

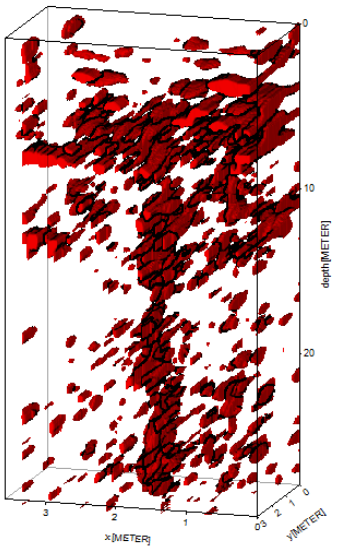


1. D:\REFLEX Yeni çalişan\Bursa İznik 3A\PROCDATA\JG ON UC_0003_A1.10T / traces: 135 / samples: 482

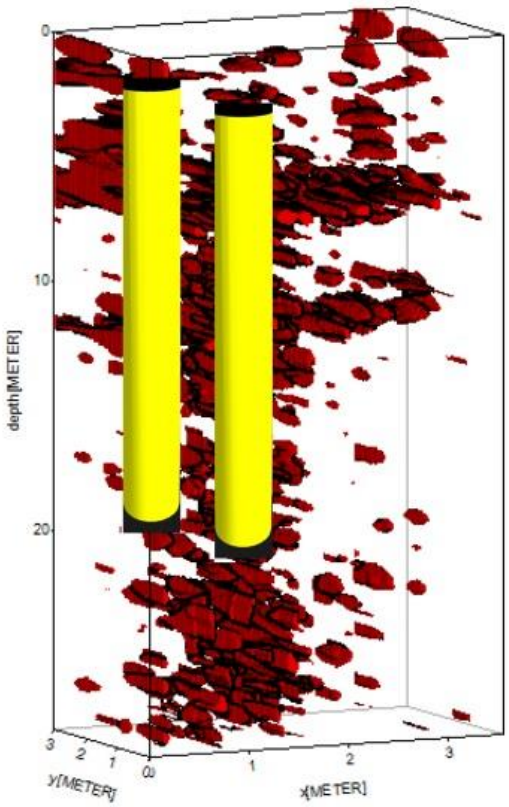
File2 Info

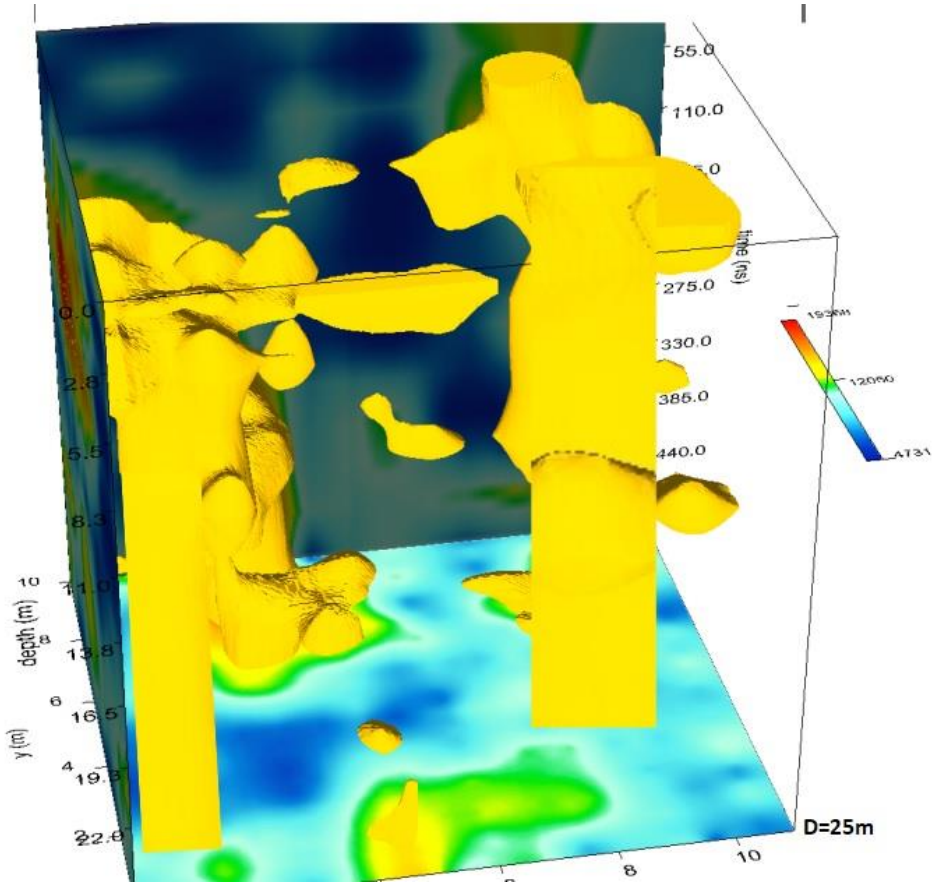


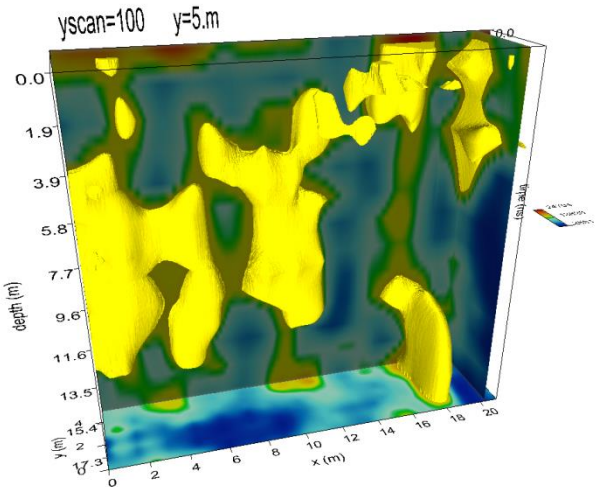


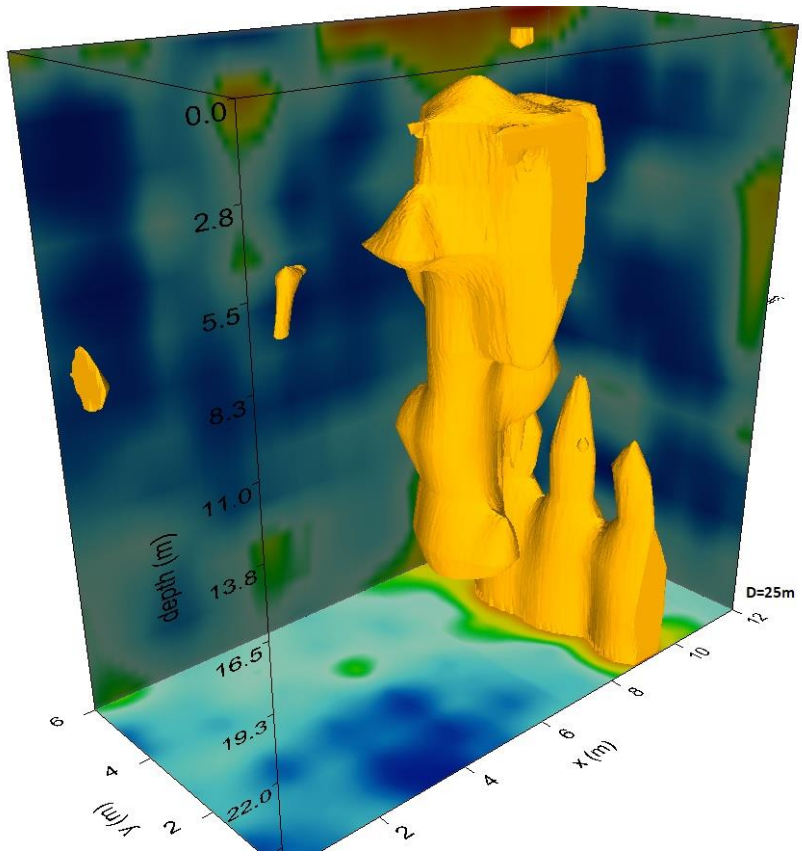

0
10
20
depth[METER]
3
2
1
0
x[METER]
3
2
1
0
y[METER]

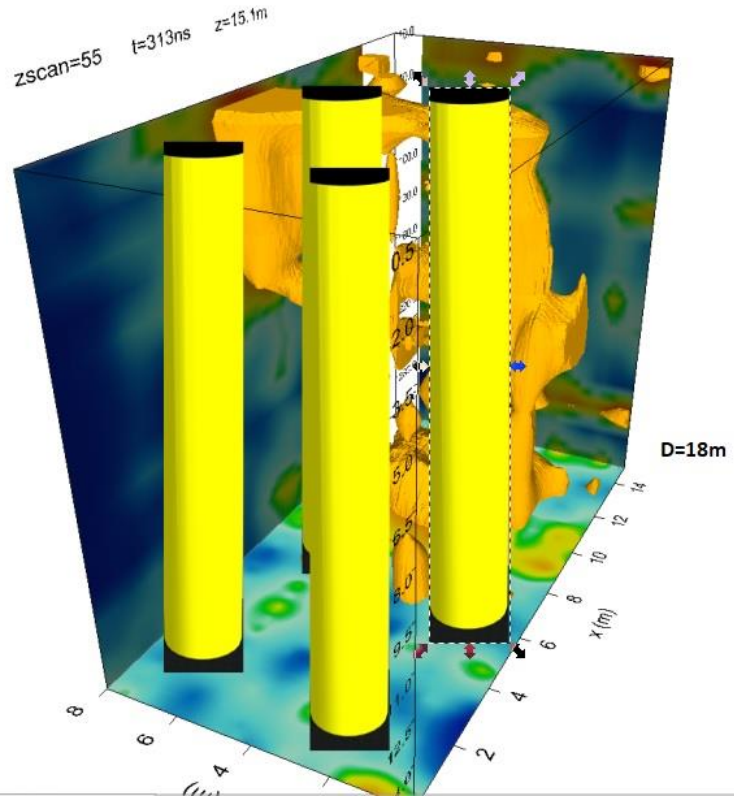

x
y
z


0
10
20
depth[METER]
3
2
1
0
y[METER]
0
1
2
3
x[METER]


55.0
110.0
275.0
330.0
385.0
440.0
time (ns)
depth (m)
y (m)
D=25m


yscan=100 y=5.m
depth (m)
x (m)





Devlet hastaneleri , Toki konutları , Özel binalar ve Türk Telekom binaları alt zeminindeki temel kalınlıklarının ölçülmesi ve yapılan fore kazıklar ile jet enjeksiyonlarının ne kadar derine indiği amacına ulaşıp ulaşmadığı işleri